Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 1 - Serial Number 19, Spring 2025 **Online ISSN: 2783-0764**

Journal Hompage https://www.srds.ir/

https://www.srds.ir/article_216650.html?lang=en

Evaluating the Impact of Hydrological Index on Water Security Index (WSI) in Qarasu Watershed Sub-basins[1]

Fariba Esfandyari Darabad[*] [1], Behrouz Nezafat Takle[2] , Raoof Mostafazadeh[3]

1.Professor of Geomorphology, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Phd student of geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

3.Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received Date: 03 October 2024 **Accepted Date:** 02 March 2025

Abstract

Background and Objective: Water security is strongly influenced by many factors including increasing urban population, economic development, changes in living standards, increasing water pollution, over-exploitation of groundwater resources, and climate change. The aim of the study is to evaluate the impact of hydrological index on water security index (WSI) in Qarasu sub-basins.

Methodology: In this study, hydrological index (H), per capita water, and water discharge were used to estimate the water security index. In other words, the water security index uses normalization to assess the sustainability of the watershed.

Results and findings: The results of the water discharge index assessment in the Qarasu watershed showed that the highest water discharge among the 27 sub-basins studied was related to sub-basin 1 at the Namin hydrometric station with a value of 560,196,073 cubic meters and sub-basin 23 at the Nanekaran hydrometric station with a value of 305,170,988 cubic meters. The results of the per capita water assessment in the Qarasu sub-basins showed that the highest per capita water for each person was allocated to sub-basin 20 at the Nooran station with a value of 957.9733,133 liters and in the next rank, sub-basin 18 at the Baroq station with a per capita water value of 914.9249,868 liters among the sub-basins studied. Therefore, it is concluded that the higher the hydrological index in the sub-basins studied, the more suitable the basin sustainability index will be. Finally, it is suggested that executive and management measures be implemented in some sub-basins that do not have a suitable hydrological index, as the Water Security Index (WSI) is very low in them, in order to witness the development of sub-indices in all the studied basins so that the Water Security Index takes an upward trend.

Keywords: Assessment, Hydrological Index, WSI, Samian.

[1] This article is extracted from the elite research project titled "Assessment and Prioritization of Water Security Index (WSI) in Qarasu Sub-basins" conducted at the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran .Employer: University of Mohaghegh Ardabili Project, Supervisor: Fariba Esfandiari Darabad, Elite Soldier: Behrouz Nezafat Takleh.

[*] **Correspong Author Email :**Esfandyari@uma.ac.ir

Cite this article: Esfandyari Darabad, F. , Nezafat Takle, B. and Mostafazadeh, R. (2025). Evaluating the Impact of Hydrological Index on Water Security Index (WSI) in Qarasu Watershed Sub-basins. Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(1), 315-335.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۹، بهار ۱۴۰۴ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_216650.html?lang=fa

ارزیابی میزان تاثیرگذاری شاخص هیدرولوژی بر شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو[1]

فریبا اسفندیاری درآباد[1] *، بهروز نظافت‌تکله[2]، رئوف مصطفی‌زاده[3]

۱.استاد ژئومورفولوژی گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران

۲. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳.دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: امنیت آب شدیدا تحت تاثیر عوامل بسیاری از جمله افزایش جمعیت شهرنشینی، توسعه اقتصادی، تغییرات در استاندارد زندگی، افزایش آلودگی آب، برداشت بیش از اندازه از منابع آب‌های زیرزمینی و تغییرات آب و هوای است. هدف از پژوهش ارزیابی میزان تاثیرگذاری شاخص هیدرولوژی بر شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو است.

روش‌شناسی: در این پژوهش از شاخص هیدرولوژی (H)، سرانه آب، میزان آبدهی جهت برآورد شاخص امنیت آب استفاده شد. به‌عبارتی شاخص امنیت آب از نرمال نمودن جهت ارزیابی پایداری حوزه آبخیز استفاده می‌کند.

نتایج و یافته‌ها: نتایج ارزیابی شاخص آبدهی در حوزه آبخیز قره‌سو نشان داد که بیش‌ترین میزان آبدهی در بین ۲۷ زیرحوزه مورد بررسی مربوط به زیرحوزه ۱ در ایستگاه هیدرومتری نمین با مقدار ۵۶۰۱۹۶۰۷۳ مترمکعب و زیرحوزه ۲۳ در ایستگاه هیدرومتری ننه‌کران با مقدار ۳۰۵۱۷۰۹۸۸ مترمکعب می‌باشد. نتایج ارزیابی سرانه آب درزیرحوزه‌های قره‌سو نشان داد که بیش‌ترین میزان سرانه آب برای هر نفر در زیرحوزه ۲۰ در ایستگاه نوران با مقدار ۹۵۷/۹۷۳۳۱۳۳ لیتر و در رده بعدی زیرحوزه ۱۸ در ایستگاه باروق با مقدار سرانه آب ۹۱۴/۹۲۴۹۸۶۸ لیتر را در بین زیرحوزه‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد که هرچه میزان شاخص هیدرولوژی در زیرحوزه‌های مورد مطالعه بیش‌تر باشد به همان میزان شاخص پایداری حوزه نیز مناسب خواهد بود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد اقدامات اجرائی و مدیریتی در برخی زیرحوزه‌ها که که شاخص هیدرولوژی مناسبی ندارند تا میزان شاخص امنیت آب (WSI)، در آن‌ها بسیار پایین است اجرا کرد تا شاهد توسعه زیرشاخص‌ها در کل حوزه‌های مورد مطالعه باشد تا شاخص امنیت آب حالت صعودی بگیرد.

واژگان کلیدی: ارزیابی، شاخص هیدرولوژی، WSI، سامیان.

[1]. این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی نخبگان تحت عنوان ارزیابی و اولویت‌بندی شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در دانشگاه محقق اردبیلی،اردبیل، ایران انجام شده است. کارفرما: دانشگاه محقق اردبیلی، ناظر طرح: فریبا اسفندیاری درآباد، سرباز نخبه آقای بهروز نظافت تکله.

*نویسنده مسئول: Esfandyari@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اسفندیاری درآباد, فریبا , نظافت تکله, بهروز و مصطفی زاده, رئوف . (۱۴۰۴). ۱۹.ارزیابی میزان تاثیرگذاری شاخص هیدرولوژی بر شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۱), ۳۱۵-۳۳۵.

مقدمه و بیان مسأله

در سال‌های اخیر امنیت آب تبدیل به یک مفهوم بسیار پیچیده و بحث برانگیز شده است و محققان مطالعات زیادی را در این زمینه به انجام رسانیدهاند و سیاست‌گذاران علاقه خاصی به این حوزه نشان دادهاند. با تمرکز بر مشکل حوزه تعریف امنیت آب در مقیاسهای فضائی شامل دامنه گسترده‌ای میشود (جیسون، ۲۰۱۴). نگرانی در مورد امنیت آب منعکس‌کننده یک بحران بزرگ همراه با آسیب‌پذیری در مورد خطر فقدان آب، محرومیت جمعیتی از انسان‌ها در دسترسی به آب، تغییرات آب و هوایی و آلودگی محیط‌زیستی است (پاتریک، ۲۰۱۱). در گزارش سازمان ملل امنیت آبی به‌این صورت تعریف می‌شود «امنیت آب ظرفیت یک جامعه برای حفاظت از دسترسی پایدار به مقادیر کافی از آب با کیفیت قابل قبول به‌منظور حفاظت از معیشت، رفاه انسان و توسعه اجتماعی و اقتصادی است. امنیت آبی هم‌چنین به‌معنای اطمینان از محافظت در برابر بحران‌های آبی آلودگی آب و حفظ اکوسیستم در شرایط صلح و ثبات سیاسی است» (پاتریک، ۲۰۱۱).

مجمع جهانی آب که در سال ۲۰۰۰ و به‌منظور تعیین اهداف کلان مدیریت منابع آب برگزار شد را می‌توان یکی از نقاط عطف در گسترش رویکرد امنیت آبی دانست چرا که در آن امنیت آبی محور اصلی گفت‌وگوها و بیانیه نهایی مجمع بود یکی از تلاش‌های ابتدایی برای ارزیابی امنیت آبی در سال ۲۰۰۷ و به‌منظور ارزیابی امنیت آبی حوزه‌های آبخیز منطقه هگزی کریدور کشور چین صورت گرفته است (ژاوو و همکاران، ۲۰۰۸). جامع‌ترین شاخص امنیت آبی توسط بانک توسعه آسیا تدوین شده است. کشورهای شرق آسیا و آسیای میانه با استفاده از این شاخص در ساله‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ ارزیابی شده‌اند. این شاخص ترکیبی از پنج بعد کلیدی امنیت آبی روستایی، امنیت آبی شهری، امنیت آبی اقتصادی، امنیت آبی محیط‌زیستی و تاب‌آوری در برابر بحران‌های آبی تشکیل شده است (آدب ، ۲۰۲۰).

به‌طور کلی می‌توان ابعاد امنیت آب را در ۳ معیار اصلی دسترسی، قابلیت، وصول و پایایی عنوان کرد (مک‌نیل و همکاران، ۲۰۱۷). اما از آن‌جا که مفهوم امنیت آب پویا و چند معیاری است و تفسیر امنیت آب به‌صورت عددی کمی‌سازی به روشن شدن مفهوم و کاهش ابهام کمک می‌کند. ابعاد و شاخصهای متعددی به‌منظور کمی‌سازی مفهوم امنیت آب ایجاد شده است. محققان مختلف مؤلفه‌های امنیت آب را متفاوت تعریف کرده‌اند که عبارت‌اند از: نیازهای اساسی تولید محصولات کشاورزی، جریان محیط‌زیستی، مدیریت ریسک، استقلال مصارف خانگی، اقتصاد شهری محیط‌زیست و مقاومت در برابر فجایع ناشی از آب است. شاخص‌ها و اندیس‌های دیگری که برای اهداف مشابه مورد استفاده قرار میگیرد عبارت‌اند از: شاخص اساسی نیاز انسان، شاخص تنش آب، شاخص پایداری حوزه آبخیز، شاخص تأمین آب، شاخص وضعیت امنیت آب و شاخص فقر آب است (تهاپا و همکاران، ۲۰۱۸). که هر کدام از ابعاد و شاخصهای امنیت آب برای سطح و مقیاس مشخصی قابل استفاده و کاربردی هستند. این بدان معناست که یک کشور با توجه به یک معیار خاص در مقیاس ملی ممکن است از نظر آب ایمن باشد اما اگر در مقیاس محلی در نظر گرفته شود وضعیت ممکن است بسیار متفاوت باشد (کوک و بکی ، ۲۰۱۲). در راستای اهداف پژوهش سوالات مطرح شد. ۱- روند امنیت آب در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل چگونه است؟ ۲- شاخص امنیت آب (WSI)، در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل با یکدیگر متفاوت است؟ از جمله چالش موجود در منطقه کمبود سرانه آب، فقر پوشش گیاهی و معیار امنیت زندگی بوده است.

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی میزان تاثیرگذاری شاخص هیدرولوژی بر شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو است.

مبانی نظری

حوزه آبخیز

حوزه آبخیز، عرصه‌ای است که رواناب ناشی از بارش بر روی آن توسط آبراهه‌ها جمع‌آوری و به یک خروجی نظیر رودخانه، آب انباشت، تالاب، دریاچه و دریا هدایت می‌گردد (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸).

هر رودخانه پهنه‌ای از اراضی را زهکشی می‌کند که حوزه زهکشی، حوزه آبخیز یا حوزه آبریز نامیده می‌شود. این پهنه منطقه ذخیره آب و رسوب برای کانال جریان رودخانه به شمار می‌رود. این محدوده به‌وسیله خط تقسیم آب یا مرز حوزه آبریز محصور می‌شود که در مناطق کوهستانی به‌صورت مرز کوه‌ها به وضوح قابل مشاهده است؛ اما در مناطقی که توپوگرافی ملایمی دارند، تشخیص این محدوده کمی مشکل‌تر است (ثقفی و رضایی مقدم، ۱۳۹۶).

آبخیزداری

طبق تعریف، آبخیزداری (WatershedManagement)، علم و هنر برنامه‌ریزی مستمر و اجرای اقدامهای لازم برای مدیریت منابع حوزه‌های آبخیز اعم از طبیعی، کشاورزی، اقتصادی و انسانی بدون ایجاد اثرات منفی در منابع آب و خاک در راستای توسعه پایدار میباشد. به‌عبارت دیگر آبخیزداری طراحی و مدیریت حوزه به‌منظور حفاظت و استفاده صحیح و پایدار از منابع طبیعی با توجه ویژه به منابع آب و خاک است (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸).

اهداف آبخیزداری

- کاهش خطر بلایای طبیعی و انسانی (سیل و زمین لرزه).
- حفظ و تقویت ظرفیتهای بالقوه تولید با اجرای عملیات حفاظت خاک.
- افزایش بازده ملی سرمایه‌گذاری‌ها با اجرای عملیات بهتر زراعی و جلوگیری از پر شدن مخزن سدها.
- تقویت سفره آب‌های زیرزمینی با عملیات پخش سیلاب.
- ایجاد اشتغال برای روستائیان و جلوگیری از مهاجرت آنان به شهرها.
- قانون‌مند کردن و نظام دادن به انواع بهره‌برداریهای منابع در حوزه‌های آبخیز.
- هماهنگی و یکپارچگی برنامه‌ای کلید پروژه‌ها و فعالیتهای عمرانی و اقتصادی حوزه‌های آبخیز (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸).

وضعیت منابع آب ایران در حال حاضر با موانع زیر روبه‌رو می‌باشد:

- پایین بودن میزان بارندگی کشور (متوسط بارندگی، تغییر روش مدیریت منابع آب)
- باید الگوی مدیریت منابع آب با رعایت موارد زیر تغییر نماید:
- تعیین بهای خدمات آب به‌صورت واقعی و ارزش نهادن به آب برای تمام مصرف‌کنندگان.
- مدیریت شفاف منابع آب با تمرکز بر روی درخواست مصرف‌کنندگان.
- افزایش مشارکت همگانی مردم در تأمین، نگهداری و مصرف آب دنیا ۱۲۲ میلیمتر است و این رقم در ایران به ۲۵۰ میلیمتر تقلیل می‌یابد (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸).
- پراکنش نامناسب میزان بارندگی.
- عدم تطابق مکانی آب و خاک.
- پایین بودن راندمان آبیاری.
- افزایش تقاضا به‌دلیل افزایش جمعیت و گسترش صنعت.
- برداشت محدود از آب‌های موجود تجدیدشونده.
- برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی.
- ظرفیتهای استفاده نشده سدهای مخزنی به‌دلیل کمبود یا فقدان شبکه آبیاری مناسب.
- کاهش تدریجی کیفیت آب و آلودگی آن.

امنیت آب

عبارت است از دسترسی مطمئن به میزان قابل قبول کمی و کیفی آب برای تولید، حیات و سلامتی که همراه با سطح قابل قبول ریسکی که تأثیرات غیرقابل پیش‌بینی مرتبط با آب را در جامعه داراست (زرگرپور و نورزاد، ۱۳۸۸). مفهوم امنیت آبی از دیدگاه‌های مختلف به‌صورت موارد زیر قابل بیان می‌باشد:

امنیت آبی از منظر برنامه ارزیابی جهانی آب سازمان ملل متحد

این برنامه، چهار شاخص اصلی را به‌عنوان مؤلفه‌های امنیت آبی بیان می‌کند که عبارت‌اند از: تأمین آب برای نیاز پایه انسانی، تأمین آب برای امنیت تمدنی، تأمین آب برای حفظ محیط‌زیست و تأمین آب برای صنعت و انرژی (WWAP, 2001).

امنیت آبی از منظر بیانیه وزرای آب در اجلاس جهانی آب در لاهه

در این بیانیه امنیت آبی به‌مفهوم پرداختی به مقوله‌های تأمین نیازهای حیاتی، امنیت بخش تأمین غذا، حفاظت محیط‌زیست، مشارکت در مدیریت منابع آب، اعمال مدیریت ریسک، ارزش‌گذاری آب، استقرار حکمرانی آب و نهایتاً آب صنعت، انرژی و شرب عنوان می‌کند (فتاحی و مقیمی، ۱۳۹۸).

امنیت آبی از منظر مشارکت جهانی آب

امنیت آبی از این منظر عبارت است از استفاده پایدار و حفاظت از منابع آب، تامین عملکرد آب و دسترسی به خدمات اکوسیستمی آب برای انسان و محیط‌زیست و حفاظت از خطرات مرتبط با منابع آبی (سیل و خشک‌سالی) (GWP, 2000).

امنیت آبی از منظر بانک جهانی

بانک جهانی تنها نهادی است که امنیت آبی را به‌صورت کمی عنوان نموده که عبارت است از تأمین سالیانه ۱ متر مکعب آب شرب و بهداشتی برای شرب فرد، تأمین ۱۰۰ متر مکعب آب بهداشتی برای بهداشت فرد و تأمین ۱۰۰۰ متر مکعب آب برای تولید کشاورزی، صنعتی و زیست‌محیطی، لذا از منظر این نهادهای تأمین ۱۱۰۱ مترمکعب در سال برای هر نفر به مفهوم تأمین امنیت آبی است (Allan, 2001).

امنیت آب از منظر گری و صدوف

عبارت است از دسترسی به‌مقدار قابل قبول از کمیت و کیفیت آب برای سلامتی، معیشت، پایداری اکوسیستم‌ها و قابلیت تولید، همراه با سطوح قابل قبول خطرات مرتبط با منابع آبی برای مردم، محیط‌زیست و شرایط اقتصادی (Grey and Sadoof, 2007).

امنیت آبی از دیدگاه باکر

سطح قابل قبول خطرات مرتبط با آب برای انسان و اکوسیستم، همراه با دسترسی به کمیت و کیفیت مناسب آب برای حمایت از معیشت، امنیت ملی، سلامت انسان و خدمات اکوسیستم (Bakker, 2012).

امنیت آبی از دیدگاه اسکات

امنیت آب عبارت است ازدسترسی پایدار به کمیت و کیفیت مناسب آب در جهت ایجاد اکوسیستمها و جوامع تاب‌آور در مواجهه با تغییرات غیر قطعی جهانی (Scott, 2013).

امنیت آبی از منظر سازمان ملل متحد

عبارت است از ظرفیت جمعیت برای دسترسی پایدار به مقادیر کافی از آب قابل قبول برای حفظ معیشت، رفاه و توسعه اقتصادی و اجتماعی، همراه با ضمانت حفاظت در برابر آلودگی آب و بحران‌های طبیعی مرتبط با آب و به‌منظور حفظ اکوسیستم‌ها، تداوم صلح و ثبات سیاسی (UN-Water, 2013).

مدیریت منابع آب

مدیریت منابع آب عبارت از ایجاد تعادل بین منابع و مصارف آب با رعایت جنبه‌های زیست محیطی، توسعه پایدار و عدالت اجتماعی است. مدیریت منابع آب دارای دو وجه مدیریت عرضه و تقاضا می‌باشد. هدف اصلی از مدیریت منابع آب، اداره مطلوب ارتباطات جامعه در خصوص بهره‌مندی از منابع آب در فرایند توسعه و با لحاظ نمودن معیارهای توسعه پایدار است. مدیریت منابع آب در قالب فعالیت‌های ارزیابی کمی و کیفی، توسعه، تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب، حفاظت و بهبود کمی و کیفی آن و در چارچوب برنامه‌های اجرایی و پژوهشی، بودجه‌ریزی و بالاخره زیر ساخت مدیریت آب تجلی می‌یابد. اصول مدیریت آب دوبلین، که در کنفرانس سال ۱۹۹۲مورد موافقت قرار گرفته‌اند، اصول مدیریت پایدار آب را به شرح زیر خلاصه میسازند.

اصل ۱: آب شیرین یک منبع محدود و آسیب‌پذیر، ضروری برای تداوم زندگی، توسعه و محیط است.

اصل ۲: توسعه و مدیریت آب باید بر مبنای یک رهیافت مشارکتی صورت پذیرد که مصرف‌کنندگان، برنامهریزان و سیاستگزاران را در تمامی سطوح در برگیرد.

اصل ۳: زنان نقش محوری در تأمین، مدیریت و پاسداشت آب ایفا میکنند.

اصل ۴ : آب در تمامی مصارف خود دارای یک ارزش اقتصادی بوده و باید به‌عنوان یک کالای اقتصادی شناخته شود (کلانتری و شعبانعلی فمی، ۱۳۸۷).

گستره مدیریت آب

موقعیت و ارتباط آب به هر یک از طرف آن در چرخه هیدرولوژی اعم از آب سطحی زیرزمینی و یا بخار آب در جو در هر یک از حالت‌های آب شیرین یا شور، آب شرب با فاضلاب، پساب‌های کشاورزی صنعتی و شهری، دریاچه‌ها، مرداب‌ها، تالاب‌ها و آب‌های ساحلی و حتی رطوبت هوا و خاک، ابر، برف و باران و ارتباط متقابل آن‌ها با سایر عوامل طبیعی و محیطی ایجاب می‌کند که گستره مدیریت توامان آب و خاک به‌طور جامع و یکپارچه کلیه حالت‌های فوق‌الذکر آب را در برگیرد و تقسیمات اداری و تشکیلاتی نباید موجب تفکیک مدیریت هر یک از اشکال فوق‌الذکر آب از یکطرف و مدیریت آب و خاک از طرف دیگر گردد و به این ترتیب از تناقض و عدم سازگاری در سیاست‌های مدیریت آب اجتناب شود (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۳).

اهداف اساسی مدیریت آب

سیاست‌گذاری برنامه‌ریزی و کلیه اقدامات و فعالیتهای که در ارتباط با توسعه بهره‌برداری از منابع آب و خاک صورت می‌پذیرد، به‌منظور تحقق اهدافی است که به‌تواند منابع محدود کشور را از طریق مناسب‌ترین گزینه‌های استحصال به‌ضروری‌ترین انواع مصارف منطقی با رعایت منافع دراز مدت و حائز بالاترین بهره‌دهی اقتصادی ممکن با توجه به‌خصوصیات منطقه‌ای به‌گونه‌ای تخصیص دهد که منافع ملی را در حال و آینده بدون ایجاد خسارت به منابع آب و خاک با فراهم نمودن امکانات بهره‌برداری پایدار برآورده سازد.

- توسعه پایدار باید محور اساسی مدیریت آب با انگیزه استمرار در بهره‌برداری منطقی از منابع در قالب مناسب‌ترین گزینهها و سازگار با تعادل طبیعی محیط را تشکیل دهد.
- توسعه منابع آب در هر مقطع زمانی با توجه به امکانات مالی و تکنولوژی و خصوصیات و شرایط منطقه‌ای و مشخصات منابع باید به‌شکلی انجام شود که متضمن استحصال، تخصیص و مصارف بهینه بارعایت جنبه‌های محیطی باشد.

• سیاستهای مدیریت تقاضا و مصرف آب با درنظر گرفتن سیاستهای اقتصاد ملی و منطقه‌ای به گونه‌ای انتخاب شود که ضمن تأمین منافع بیشینه مصرف‌کنندگان متضمن استمرار در بازدهی مطلوب و مقرون به‌صرفه برای اقتصاد ملی باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۸۳).

پیشینه پژوهش

مطالعات متعددی در خصوص پژوهش حاضر در داخل و خارج از ایران انجام شده است که در ذیل به صورت مختصری به آن‌ها می‌گردد.

انصاری و همکاران (۱۳۹۸)، به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات اقلیم حوزه آبریز طشک بختگان تحت سناریوهای مختلف مدیریتی در دوره ۲۰۰۹ - ۲۰۲۰، بر اساس شاخص‌های امنیت آبی در دوره پایه و دوره آتی برای این حوضه محاسبه کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که توسعه کشاورزی خسارات شدیدی به منابع آب زیرزمینی وارد کرده است و باید با اعمال محدودیت برداشت آب این مسئله کنترل شود.

گودرزی و همکاران (۱۳۹۹)، به ارزیابی شاخص‌های مدیریت آب آبیاری در تولید انگور استان مرکزی پرداختند. نتیجه حاصل از پژوهش آن‌ها بیانگر قابلیت اجرای کم‌آبیاری در سطح تاکستان‌های استان است، لذا ترویج و آموزش کم‌آبیاری به‌روش صحیح و کاربردی به باغداران می‌تواند باعث افزایش قابل‌توجه بهره‌وری آب در تولید انگور گردد.

کاویانی‌راد و محمدی (۱۳۹۹)، به تاثیر نوسان منابع آب بر امنیت آب خراسان جنوبی با روش تبیینی و تحلیلی پرداختند. ایشان به‌این نتیجه رسیدند که درهم‌تنیدگی افزایش برداشت آب، افت سطح مخازن، کاهش بارش، رشد جمعیت به همراه سیاست‌گذاری‌های حاکمیتی پیونددار با گسترش کشاورزی به افزایش تنش‌ها، نزاع‌ها و دعاوی حقوقی انجامیده و بر امنیت آب استان اثرگذار بوده است.

جباری قره‌باغ و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی رویکرد شاخص محور در ارزیابی امنیت آبی حوزه دریاچه ارومیه پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که چالش‌های هیدرولیکی زیاد و ظرفیت‌ها اقتصادی کم برای دست‌یابی به امنیت آبی است.

ذاکری و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزیابی وضعیت امنیت آب در بزرگ آبخیز فلات مرکزی ایران با استفاده شاخص‌های ارزیابی امنیت آب پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که اندازه‌های به‌دست آمده برای امنیت آب در سال‌های پژوهش ۰/۳۵۶، ۰/۳۳۰، ۰/۳۶۳، و ۰/۲۹۱ واحد برای سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ و میانگین آن در بیست سال پژوهش ۳۲۶ واحد بود.

بهارشاهی و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی و رتبه‌بندی امنیت آبی محدوده‌های مطالعاتی استان خراسان جنوبی به کمک تحلیل خاکستری پرداختند. نتایج تحلیل خاکستری نشان داد بالاترین امتیاز سطح امنیت آبی در محدوده‌های دهسلم ۰/۵۲۴ ده نو میغان ۰/۵۱۹ و چاهک موسویه ۰/۵۰۴ است و درجه امنیت آن‌ها عمدتاً توسط توانایی آن‌ها در کاهش مخاطرات کم‌آبی و کم‌یابی آب تفسیر میشود هرچند که تا زمانی که خطر کم‌آبی و کم‌یابی وجود نداشته باشد محدوده مطالعاتی امن نخواهد بود. محدوده مطالعاتی مهمی هم‌چون دشت بیرجند با امتیاز ۰/۶۴۲ وجود دارند که در حال حاضر دچار ناامنی آبی هستند.

یزدان‌پرست و همکاران (۱۴۰۲)، به‌تحلیل و ارزیابی شاخص امنیت آب در حوزه آبخیز دشت نیشابور پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که در بین ۵ معیار اصلی شناسایی شده جهت ارزیابی امنیت آب معیار اقتصاد آب در طول ۳ دوره آماری مورد مطالعه (۱۳۹۱-۱۳۹۰، ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸) روند افزایشی داشته و در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده است. اما به‌طور کلی روند وضعیت امنیت آب کلی در حوزه آبخیز دشت نیشابور طی ۱۰ سال گذشته روند کاهشی داشته و در وضعیت ضعیف قرار دارد.

زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۲)، به‌بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر امنیت آبی در ایران پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که آب ذخیره در دسترس طی دو دهه گذشته در ایران روند کاهشی داشته است. برونداد مدل امنیت آبی نشان داد دوره بازگشت کمبود آب در کل کشور منفی است. پایین‌ترین مقدار با ۱۰۱ در نیمه شرقی و مناطق مرکزی کشور دیده می‌شود که نشان‌دهنده امنیت آبی پایین در این مناطق است.

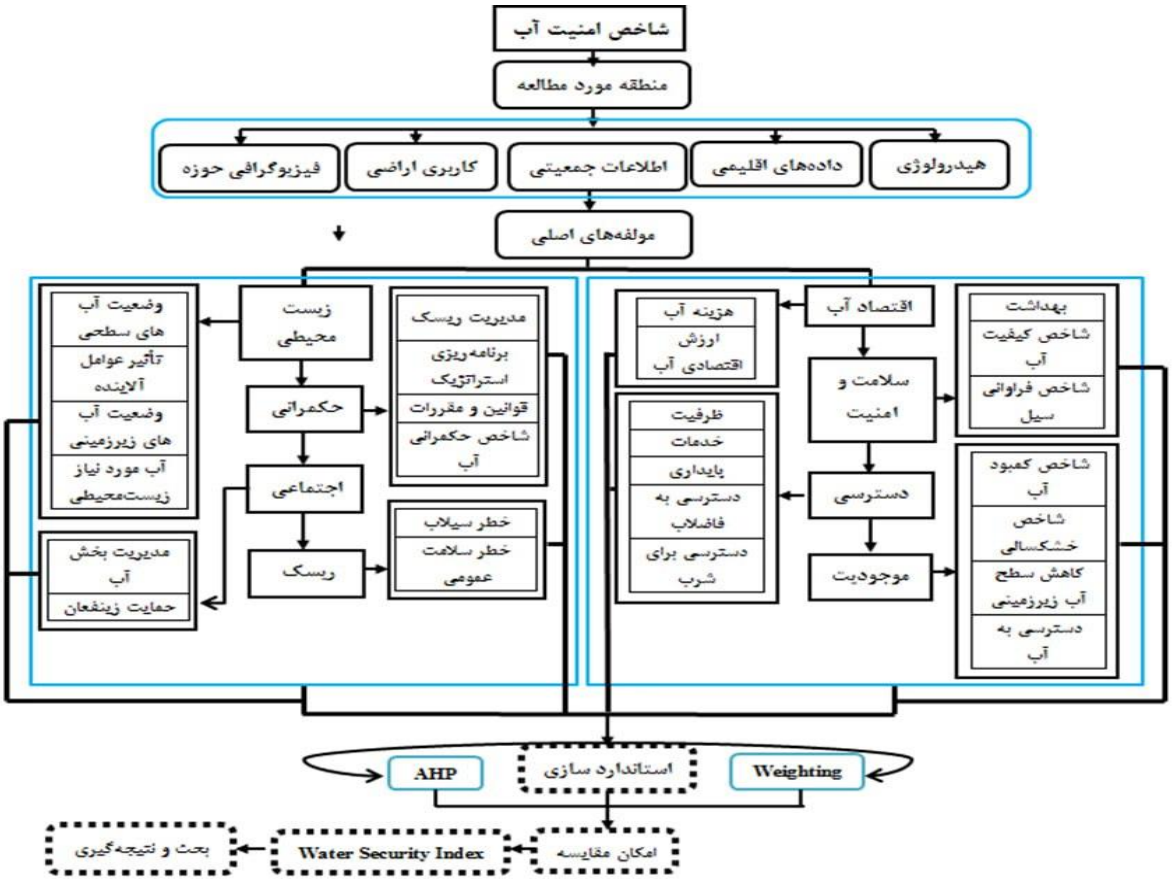
کاستیلو و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از مدل GCAM به مدل‌سازی رابطه، اقلیم، زمین، انرژی آب و اقتصاد اجتماعی به‌منظور تعیین مسیرها و نیازهای زیربنایی امنیت آب در آمریکای لاتین و کارائیب پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مشکل منطقه عدم وجود فیزیکی آب نیست بلکه مشکل، عدم مدیریت صحیح درون مناطق و عدم مدیریت تقاضای روبه رشد است.

هایلو و همکاران (۲۰۲۰)، شاخص‌های امنیت آب خانوارها را بر اساس موجودی منابع آب، دسترسی به آب مصرف آب ظرفیت و محیط‌زیست و موسسات آب در اتیوپی بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که اکثر خانوارها با ناامنی آب مواجه هستند و علت اصلی آن موسسات ضعیف سازمان‌یافته و هم‌چنین عدم وجود سیستم و دانش کافی در مورد سیستم‌های مدیریت آب است.

مارشت و همکاران (۲۰۲۰)، به توسعه شاخص امنیت آب داخلی شهر باهیر در کشور اتیوپی پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که شهرستان باهیر در وضعیت امنیت آب خانگی متوسط (۲/۸) با شاخص‌های بالا (۳/۴۱)، متوسط (۲/۲۹) و بسیار پایین (۱/۰) از ابعاد تامین آب، بهداشت است.

ترونگ و همکاران (۲۰۲۳)، به چارچوب ارزیابی امنیت آب برای دلتاهای حوزه رودخانه‌های فرامرزی مکونگ ویتنام پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که ارزیابی امنیت آب برای دلتاهای حوزه رودخانه‌های فرامرزی نیازمند یک چارچوب ارزیابی جامع است. چارچوب پیشنهادی به سیاستگذاران کشورهای ساحلی مکونگ کمک می‌کند تا تأثیر برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه حوزه بر شرایط امنیت آب را به‌طور مشترک نظارت کنند و راه‌حل‌های مناسب برای افزایش امنیت آب برای حوضه را تعیین کنند.

هدف از پژوهش حاضر ارزیابی میزان تاثیرگذاری شاخص هیدرولوژی بر شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو است. نمودار جریانی پژوهش در زیرآورده شده است.

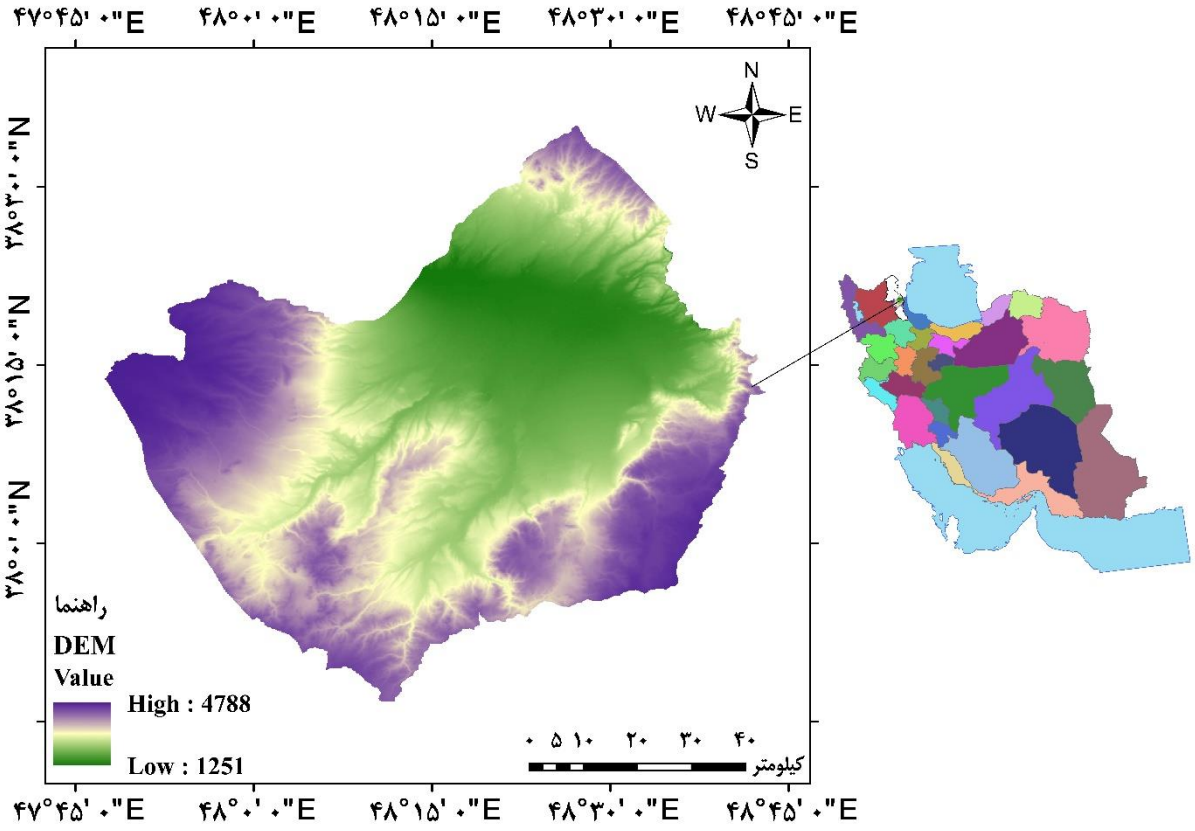


شکل شماره۱-فرایند انجام پژوهش

روش‌شناسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه قره‌سو یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های استان اردبیل می‌باشد. حوضه آبریز رودخانه قره‌سو دارای مساحتی حدود ۴۱۰۰ کیلومترمربع است. مختصات جغرافیایی منطقه، ۴۷ دقیقه و ۴۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی، در قسمت شمال غربی ایران واقع شده است. رودخانه قره‌سو از رشته کوه‌های تالش در شرق اردبیل سرچشمه می‌گیرد و در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل آب‌های جاری بالیخلوچای که از ارتفاعات ارسباران و شهرستان نیر زهکش می‌شود را جمع‌آوری می‌کند (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۰).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل

مواد و روش

شاخص امنیت آب (WSI)

این روش‌ها به‌منظور ارزیابی بهتر سلامت حوزه آبخیز باید معیارهای کمی و کیفی که سطح پایداری حوزه آبخیز را تعیین می کنند. اکثریت اطلاعاتی که نمرات این زیر معیارها را تعیین می‌کند ماهیت قابل سنجش دارند. اما زیر معیارهایی وجود دارد که کیفی بوده و بر اساس نظرات کارشناسان و افراد درگیر در حوزه آبخیز سنجش می‌شوند. این زیر معیارهای کیفی به یک مقیاس عددی تبدیل می‌شوند تا به‌توان آن‌ها را با معیارهای کمی استفاده کرد و مقادیر نهایی عددی را به‌توان برای محاسبه شاخص استفاده کرد (کاتانو و همکاران، ۲۰۰۹).

رابطه ۱:

$$WSI = \frac{H + E + L + P}{4}$$

از آن‌جا که نمره معیارها بین صفر تا یک نرمال می‌شود لذا نمره نهایی شاخص نیز بین صفر تا یک خواهد بود. به‌منظور تسهیل برآورد سطح پارامترها توسط کاربران پارامترهای کمی و کیفی به پنج نمره (۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱)، تقسیم شدند و به کاربران اجازه می‌دهند تا بهترین نمره ممکن را برای هر پارامتر انتخاب کنند.

برای محاسبه شاخص WSI از پارامترهایی اساسی و در دسترس برای کلیه آبخیزها مانند شاخص توسعه انسانی، اکسیژن بیوشیمیایی در طی یک دوره پنج روزه BOD5 و EPI استفاده می‌شود (کالیزیا[۱] و همکاران، ۲۰۰۸).

از آن‌جایی که مدیریت حوزه آبخیز در سطح محلی و منطقه‌ای در حوزه‌های آبخیز تا ۲۵۰۰ کیلومتر مربع مؤثرتر است این حد برای استفاده از WSI در برآورد پایداری حوزه آبخیز پیشنهاد شده است (اسکولیر[۲]، ۱۹۹۵). با این حال اگر حوزه آبخیز بزرگ باشد برای محاسبه WSI می‌توان حوزه آبخیز را به زیر حوزه‌هایی تقسیم کرد و نمره کلی از جمع نمرات WSI در زیر حوزه‌ها به‌دست می آید (شاوز، ۲۰۱۱).

از آن‌جایی که مدیریت منابع آب یک فرآیند پویا و جامع است رویکرد پویایی پاسخ وضعیت فشار برای این چهار معیار در یک طرح بیان می‌شود (شاوز و علیپاز[۳]، ۲۰۰۶). مزیت استفاده از رویکرد فشار وضعیت پاسخ در این واقعیت است که به روابط علت معلول توجه می‌کند و بدین ترتیب قضایی جامع‌تر از حوزه آبخیز نسبت به یک شاخص که فقط وضعیت کنونی را بررسی می‌کند فراهم می کند و به ذینفعان، مدیران و تصمیم‌گیرندگان مختلف برای شناسایی و درک ارتباطات میان پارامترها کمک می‌کند (کاتانو[۴] و همکاران، ۲۰۱۱).

از آن‌جایی که مدیریت منابع آب یک فرآیند پویا و جامع است رویکرد پویایی پاسخ وضعیت فشار برای این چهار معیار در یک طرح بیان می‌شود (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۶). این رویکرد اغلب در گزارش‌های زیست‌محیطی استفاده می‌شود زیرا ابزار ساده و مفید برای رسمیت دادن مشکلات زیست‌محیطی است (فیرداس[۵] و همکاران، ۲۰۱۴).

نمرات پارامترهای، فشار وضعیت و پاسخ هر معیار در معادله شاخص پایداری از جدول‌های مربوطه به‌دست می‌آید جدول (۱، ۲، ۳)

جدول (۱): نمرات پارامترهای فشار شاخص پایداری حوزه آبخیز (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷)

معیار		پارامترهای فشار	سطح	نمره
هیدرولوژی	کمیت	Δ1_ در سرانه آب در دسترس حوزه آبخیز در ۵ سال گذشته نسبت به میانگین بلند مدت (متر معکب در سال)	$\Delta 1 < -10\%$	۰/۲۵
			$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	۰/۵۰
			$0 < \Delta 1 < +10\%$	۰/۷۵

[۱]- Calizaya

[۲]- Schueler

[۳]- Chaves And Alipaz

[۴]- Catano

[۵]- Firdaus

			$\Delta 1 > +10\%$	۱
کیفیت	$\Delta 2$_ تغییر در اکسیژن بیو شیمیایی BOD5 حوزه آبخیز در ۵ سال گذشته نسبت به میانگین درازمدت		$\Delta 2 > 10\%$	۰/۲۵
			$-10\% < \Delta 2 < 0\%$	۰/۵۰
			$-10\% < \Delta 2 < 0\%$	۰/۷۵
			$\Delta 2 < -10\%$	۱

جدول (۲): نمرات پارامترهای وضعیت شاخص پایداری حوزه آبخیز (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷)

معیار		پارامترهای فشار	سطح	نمره
هیدرولوژی	کمیت	سرانه آب در دسترس برای هر فرد در حوزه آبخیز با توجه به منابع آب های سطحی و زیرزمینی (m3/ capita year)	$Wa < 1700$	۰/۲۵
			$1700 < Wa < 3400$	۰/۵۰
			$3400 < Wa < 5100$	۰/۷۵
			$Wa < 5100$	۱
	کیفیت	متوسط بلند مدت اکسیژن بیوشیمیایی حوزه آبخیز (mg/l)	$BOD > 10$	۰/۲۵
			$10 < BOD < 5$	۰/۵۰
			$5 < BOD < 3$	۰/۷۵
			$BOD < 3$	۱

جدول (۳): نمرات پارامترهای پاسخ شاخص پایداری حوزه آبخیز (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷)

معیار		پارامترهای فشار	سطح	نمره
هیدرولوژی	کمیت	بهبود راندمان استفاده از آب در حوزه آبخیز در ۵ سال گذشته	Poor	۰/۲۵
			Medium	۰/۵۰
			Good	۰/۷۵
			Excellent	۱
	کیفیت	بهبود در روش‌های تصفیه فاضلاب و هدایت هرزآب‌ها در حوزه آبخیز در ۵ سال گذشته	Poor	۰/۲۵
			Medium	۰/۵۰
			Good	۰/۷۵
			Excellent	۱

معیار هیدرولوژی (H)

معیار هیدرولوژی مشخصات فیزیکی و شیمیایی پهنه‌های آب موجود در حوزه آبخیز مورد نظر را ارزیابی می‌کند. این معیار شامل زیر معیار کمیت و کیفیت آب است کمیت آب با توجه به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌صورت سرانه سالانه است این دو زیر معیار برای به‌دست آوردن معیار کلی هیدرولوژی استفاده می‌شود.

زیر معیار کمیت آب

درصد تغییرات WA از سال پایه تا سال آخر دوره مورد مطالعه پارامتر فشار و مقدار WA برای سال پایه پارامتر وضعیت است. پارامتر سرانه آب در دسترس در هر سال برای هر شخص (WA) از مجموع مقدار دبی آب‌های سطحی به‌همراه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی تقسیم بر جمعیت حوزه آبخیز در دوره مورد مطالعه به‌دست می‌آید. تنش آب زمانی اتفاق می‌افتد که دسترسی آب به زیر ۱۷۰۰ متر مکعب برای شخص در سال کاهش یابد (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

رابطه ۱: $$\text{WA} = \left(\text{دبی آب} = \text{زیست محیطی} - \left(\text{دبی آب زیرزمینی} + \text{دبی جریان}\right)\right.$$

پارامتر پاسخ تنها پارامتر کیفی این زیر معیار است. این پارامتر بهبود عملکرد استفاده از آب در حوزه آبخیز را ارزیابی می‌کند به عبارت دیگر بهبود و ساخت تأسیسات تصفیه آب آشامیدنی در حوزه آبخیز مدنظر قرار می‌گیرد (کورتز[۱] و همکاران، ۲۰۱۲).

با این حال بر اساس طبقه‌بندی شاخص هدرفت آب برای سیستم‌های تأمین آب امتیازات زیر می‌توان داده شود. اگر $P < ۲۵$ ٪ سیستم تأمین آب به‌عنوان "خوب" طبقه‌بندی شده و نمره WSI آن یک است؛ اگر $۲۵P > < ۴۰$ سیستم به‌عنوان متوسط طبقه بندی و نمره WSI آن ۰/۵ شود و اگر $P > ۴۰$ سیستم به‌عنوان "ضعیف" طبقه‌بندی و حداقل نمره به آن داده می‌شود (مایناردِ[۲] و همکاران، ۲۰۱۷).

برای محاسبه دبی زیست‌محیطی از منحنی تداوم جریان (FDC[۳]) استفاده شد. این منحنی درصد زمانی که جریان روزانه با ماهانه رودخانه در یک دوره تاریخی برای یک حوزه آبخیز از مقدار معینی تجاوز کند را ارائه می‌دهد (شهنواز و همکاران، ۱۳۹۴). منحنی تداوم جریان از رسم تجمعی دبی رودخانه نسبت به زمان به دست می‌آید. هر یک از نقاط منحنی نشان‌دهنده درصد مواقعی از سال است که دبی رودخانه مساوی یا بیش‌تر از مقدار دبی مشخصی بوده است. با توجه به این منحنی می‌توان پارامترهای دبی نرمال رودخانه را در حالت پرآبی، دبی نرمال در حالت کم آبی دبی، میانگین دبی میانه و دبی‌نما را به‌عنوان مشخصه جریان رودخانه در مقطع پیش از احداث پروژه‌های توسعه منابع آب و نیز در مقطع پس از آن به‌دست آورد (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۸).

زیر معیار کیفیت آب

در مورد کیفیت آب اکسیژن بیوشیمیایی در طی یک دوره پنج روزه (BODS) به‌عنوان پارامتر انتخاب می‌شود زیرا حاوی اطلاعات اساسی مطالعات هیدرولوژیکی است و به‌طور کلی در حوزه‌های آبخیز موجود است. این پارامتر هم‌چنین با سایر پارامترهای کیفیت آب مهم مانند اکسیژن، محلول کدری و غلظت آلاینده ارتباط دارد. اگر سایر پارامترهای کیفی آب به‌عنوان مثال (نیتروژن مهم‌تر و حیاتی‌تر از BODS در حوزه آبخیز باشند آن‌ها می‌توانند به‌عنوان معیار کیفیت آب استفاده شوند (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

هرچه مقدار BODS کم‌تر باشد زباله‌های ارگانیک کم‌تر بوده و اکسیژن محلول بیش‌تری در آب خواهد بود بنابراین نمره بالاتری خواهد گرفت (کاتانو و همکاران، ۲۰۰۹). پارامتر وضعیت مقدار BODS در سال پایه است و در صورتی که میانگین دراز مدت BODS

۱- Cortés

۲- Maynard

۳- Flow Duration Curve

کم‌تر از یک باشد بر اساس نمرات جدول نمره عالی خواهد گرفت پارامتر فشار درصد تغییرات BODS از سال پایه تا سال آخر در دوره مورد مطالعه است. اگر BODS بیش از ده درصد کاهش یابد پارامتر فشار نمره صفر را دریافت می‌کند (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

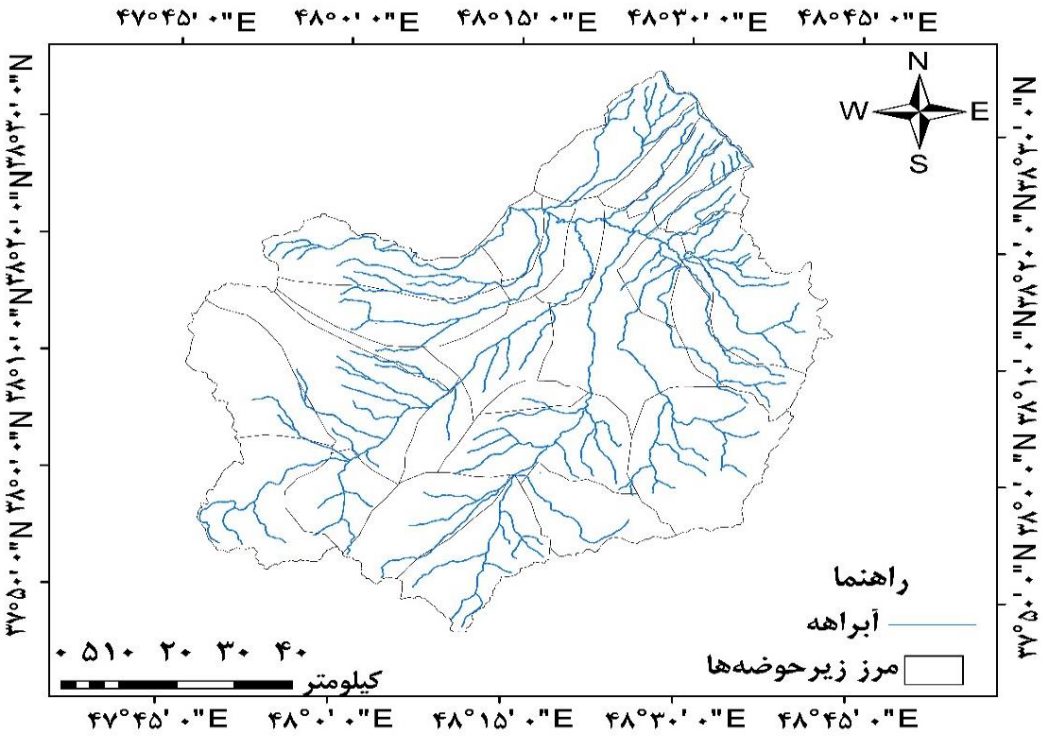
بهبود در روش‌های تصفیه فاضلاب و هدایت هرزآب در دوره مورد مطالعه به‌عنوان پارامتر پاسخ انتخاب شده است. این پارامتر به صورت کیفی سنجیده می‌شود و به پنج سطح بسیار فقیر، فقیر، متوسط، خوب و عالی تقسیم گردیده است (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

نتایج و یافته‌ها

نتایج و تجزیه و تحلیل شاخص امنیت آب (WSI)، براساس زیرحوزه‌های حوزه آبخیز قره‌سو در استان اردبیل در جدول (۴)، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که از نظر مساحت زیر حوزه ۸ در ایستگاه هیر با مقدار ۳۴۸/۱ کیلومترمربع بیش‌ترین مساحت را در بین زیرحوزه‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده است. هم‌چنین زیرحوزه ۲۶ در ایستگاه شمس‌آباد با مساحتی بالغ بر ۴۳/۳ کیلومترمربع کم‌ترین مساحت را در بین زیرحوزه‌های قره‌سو به‌خود اختصاص داده است.

نقشه هیدروگرافی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان

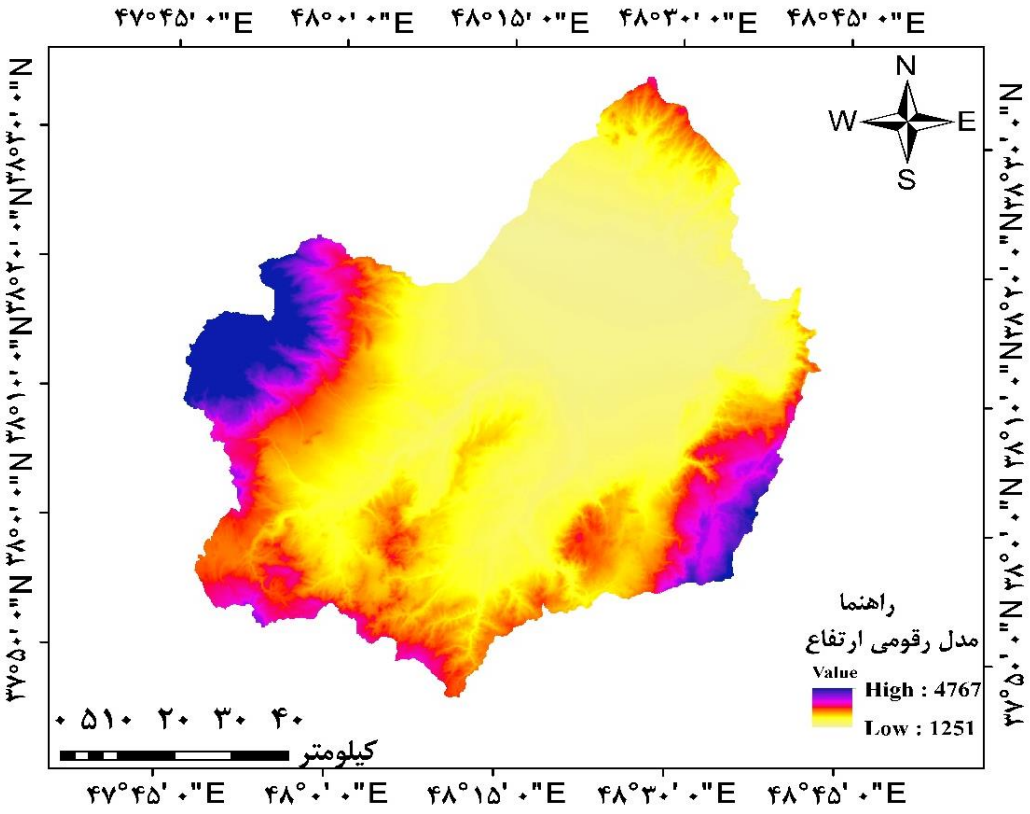
یک پارامتر بسیار اساسی در تحلیل‌های مورفومتریک شبکه هیدروگرافی است. همان‌گونه که در شکل (۲) قابل مشاهده است شبکه هیدروگرافی حوزه سامیان در استان اردبیل دارای الگوی زهکشی شاخه درختی است که در مجموع عمل تخلیه را انجام می‌دهد.



شکل (۲)، نقشه هیدروگرافی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در استان اردبیل

مدل رقومی ارتفاعی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان

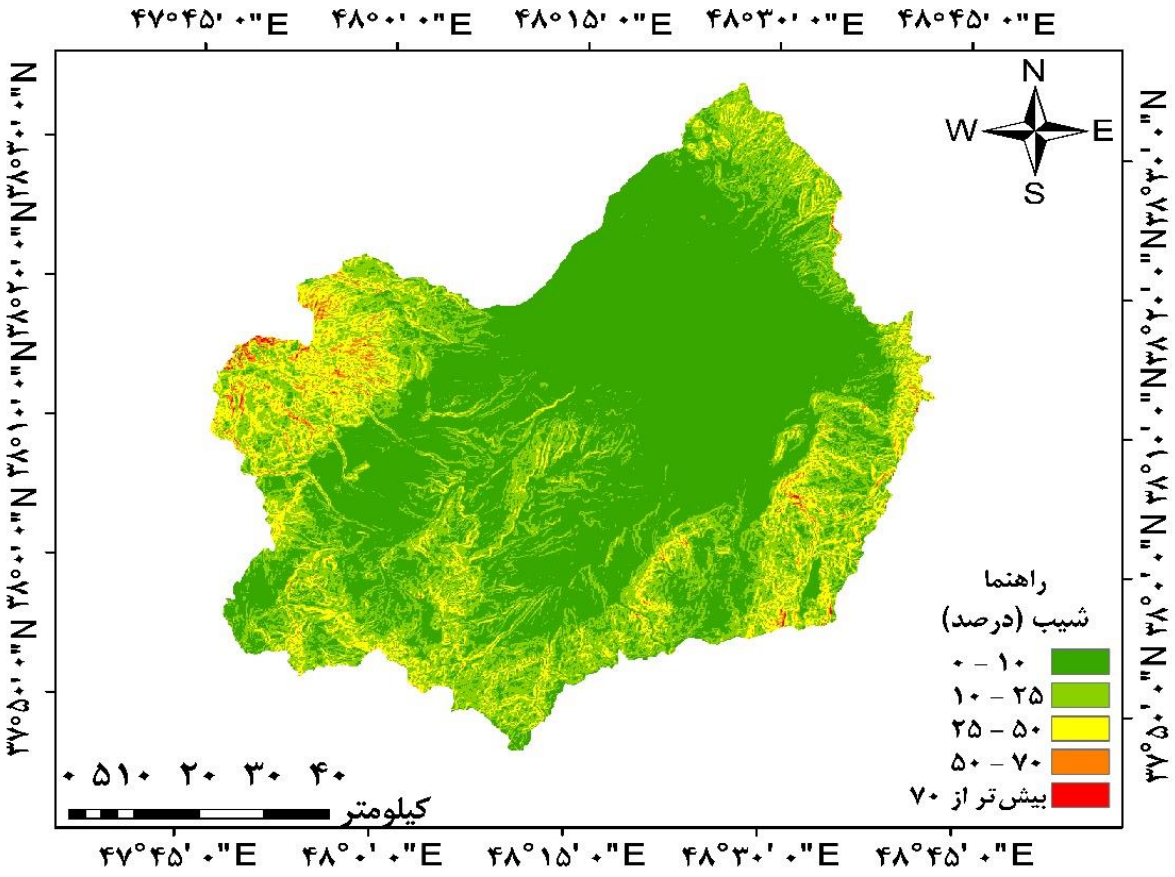
حوزه آبخیز سامیان دارای حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۴۷۶۷ متر و حداقل ارتفاع ۱۲۵۱ می‌باشد. بیش‌ترین ارتفاع مناطق از کوهستان سبلان است و کم‌ترین ارتفاع مناطق مرکزی که دشت اردبیل را شامل می‌شود شکل (۳).



شکل (۳)، نقشه مدل رقومی ارتفاعی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در استان اردبیل

شیب حوزه آبخیز قره‌سو سامیان

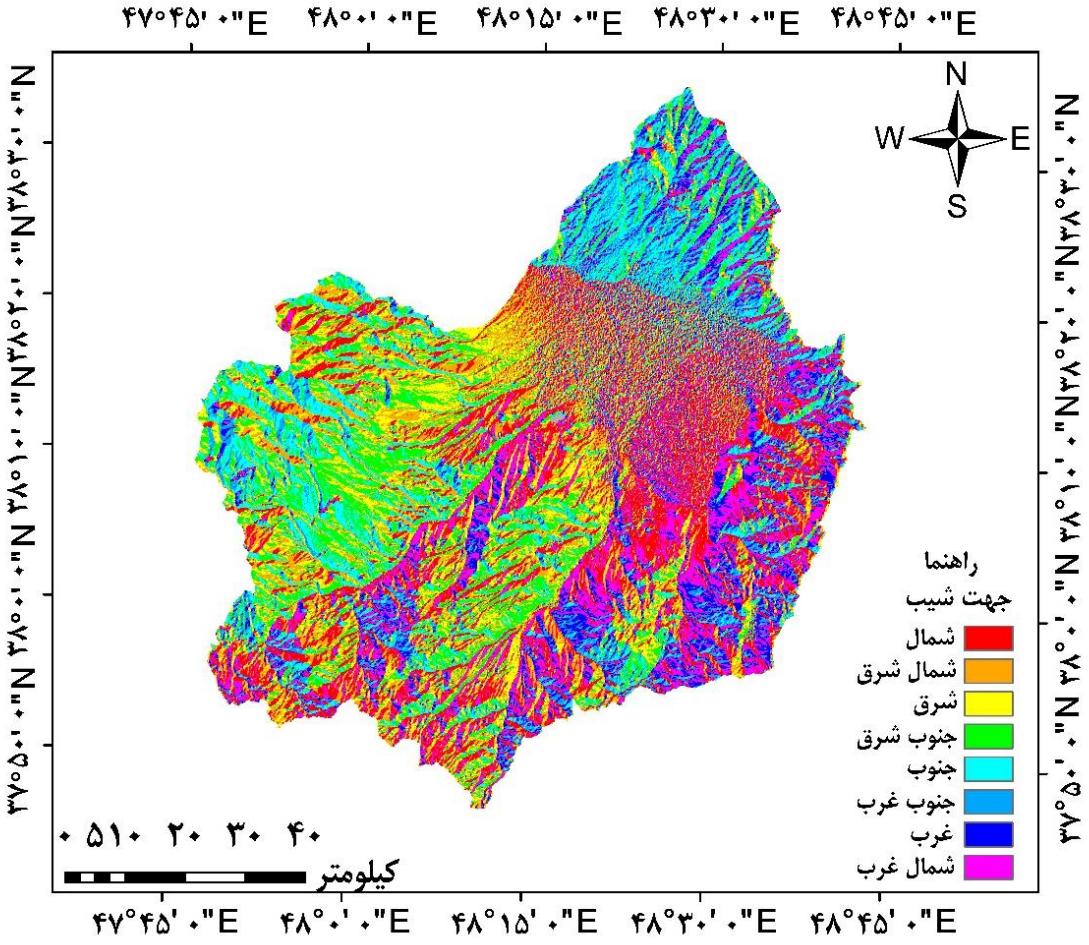
با توجه به مشاهده شکل (۴)، از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۱۲/۵ متر جهت به‌دست آوردن شیب مناطق مورد مطالعه استفاده شد. همان‌طور که براساس شکل (۴) ملاحظه می‌گردد بخش عمده حوزه ابخیز قره‌سو سامیان که شامل دشت اردبیل است دارای شیب بین صفر تا ۱۰ درصد است. که این امر نشان‌دهنده این است که بیش‌ترین مناطق مسکونی هم در این بازه شیب قرار داشته باشند. بیش‌ترین شیب نیز که بیش از ۷۰ درصد را شامل می‌شوند مربوط به ارتفاعات کوهستان سبلان و قسمت‌های از بخش‌های جنوبی حوزه سامیان است.



شکل (۴)، نقشه شیب حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در استان اردبیل

جهت شیب حوزه آبخیز قره‌سو سامیان

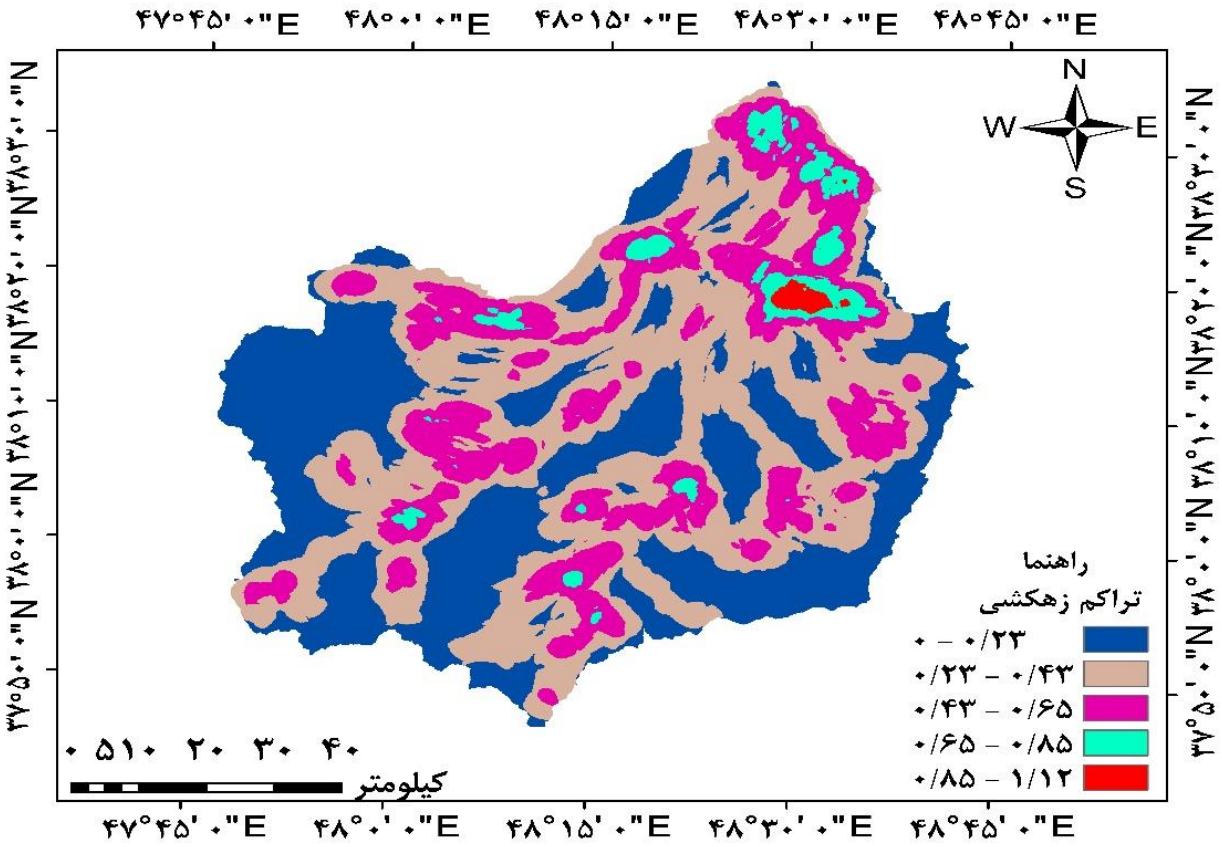
جهت شیب نشان‌دهنده جهت جغرافیایی بیش‌ترین شیب رو به سمت پایین در موقعیت هر سلول نسبت به سایر سلول‌های مجاور آن می‌باشد و می‌توان آن را به‌عنوان جهت شیب یا جهت قطب نمایی در نظر گرفت. این کمیت بر اساس واحد درجه اندازه‌گیری می‌شود و مقدار آن از صفر درجه (جهت شمال) تا سیصد و شصت درجه (مجددا جهت شمال) و طی‌کردن تمام زوایای یک دایره کامل جغرافیایی در جهت موافق حرکت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۵) قابل مشاهده است بیش‌ترین شیب حوزه سامیان در جهت شمال غرب است و هم‌چنین کم‌ترین شیب حوزه نیز در جهت شمال است.



شکل (۵)، نقشه جهت شیب حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در استان اردبیل

تراکم زهکشی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان

تراکم زهکشی یکی از مهم‌ترین پارامترهای ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز است که اغلب از آن به‌عنوان شاخصی برای بیان وضعیت آبراهه‌های حوضه، بارندگی، رواناب، ظرفیت‌یابی، تکامل توپوگرافی و فرسایش حوزه استفاده می‌شود و تعادل بین نیروهای فرسایش و مقاومت مواد تشکیل‌دهنده سطح زمین را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۶) قابل مشاهده است بیش‌ترین تراکم زهکشی در مناطق شمال شرقی و شرق دیده می‌شود به‌عبارتی بیش‌ترین تراکم زهکشی در زیرحوزه ۱ قابل رویت است و هم‌چنین کم‌ترین تراکم زهکشی نیز در مناطقی از جنوب، غرب و شمال غرب قابل مشاهده است.



شکل (۶)، نقشه تراکم زهکشی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در استان اردبیل

نتایج شاخص هیدرولوژی

نتایج ارزیابی شاخص آبدهی در حوزه آبخیز قره‌سو نشان داد که بیش‌ترین میزان آبدهی در بین ۲۷ زیرحوزه مورد بررسی مربوط به زیرحوزه ۱ در ایستگاه هیدرومتری نمین با مقدار ۵۶۰۱۹۶۰۷۳ مترمکعب و زیرحوزه ۲۳ در ایستگاه هیدرومتری ننه‌کران با مقدار ۳۰۵۱۷۰۹۸۸ مترمکعب می‌باشد. هم‌چنین کم‌ترین میزان آبدهی مربوط به زیرحوزه ۲۶ در ایستگاه هیدرومتری شمس‌آباد با مقدار ۱۱۴۵۷۵۲ مترمکعب و زیرحوزه ۱۶ در ایستگاه هیدرومتری نوران با مقدار ۲۶۶۱۱۳۲ مترمکعب است که نشان‌دهنده کم‌ترین میزان آبدهی در بین زیرحوزه‌های مورد مطالعه در حوزه آبخیز قره‌سو در استان اردبیل است (جدول ۴).

نتایج ارزیابی سرانه آب درزیرحوزه‌های قره‌سو نشان داد که بیش‌ترین میزان سرانه آب برای هر نفر در زیرحوزه ۲۰ در ایستگاه نوران با مقدار ۹۵۷/۹۷۳۳۱۳۳ لیتر و در رده بعدی زیرحوزه ۱۸ در ایستگاه باروق با مقدار سرانه آب ۹۱۴/۹۲۴۹۸۶۸ لیتر را در بین زیرحوزه‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین کم‌ترین میزان سرانه آب نیز مربوط به زیرحوزه ۱۶ با مقدار ۱۰۴۱/۹۴۶۸۶۷ لیتر است (جدول ۴).

جدول (۴):مقادیر محاسبه شده شاخص امنیت آب در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو سامیان

زیر حوزه	مساحت (Km)	هیدرومتری	ایستگاه مبنا	آبدهی (M^3)	آبدهی میلیون متر مکعب (M^3)	جمعیت شهر و روستا (نفر)	سرانه آب (لیتر)
۱	۱۸۶/۷	-	نمین	۵۶۰۱۹۶۰۷۳	۵۶۰/۲۰	۲۲۵۵۵	۲۴۸۳۶/۸۹۰۸۴
۲	۶۱/۵	-	نمین	۱۸۴۴۷۶۹۳۲	۱۸۴/۴۸	۱۵۹۱۵	۱۱۵۹۱/۳۸۷۴۷
۳	۵۶/۱	نمین	-	۱۳۲۰۱۸۸۹۴	۱۳۲/۰۲	۲۵۸۴	۵۱۰۹۰/۹۰۳۲۵
۴	۴۸/۳	ننه کران	-	۲۶۲۶۱۰۴۱	۲۶/۲۶	۱۱۹۷۳	۲۱۹۳/۳۵۵۱۲۱
۵	۵۱/۸	سولا	-	۳۴۴۳۳۳۷	۳/۴۴	۳۹۷۴	۸۶۶/۴۶۶۲۸۰۸
۶	۲۶۲/۳	-	آلادیزگه + ایریل	۱۳۲۸۲۲۴۹	۱۳/۲۸	۱۶۵۹۱	۸۰۰/۵۶۹۵۰۱۲
۷	۱۳۲/۲	-	آلادیزگه + ایریل	۱۳۲۸۲۲۴۹	۱۳/۲۸	۳۰۷۹۱	۴۳۱/۳۶۷۸۸۶۵
۸	۳۴۸/۱	هیر	-	۷۴۵۱۵۰۶	۷/۴۵	۲۰۹۱	۳۵۶۳/۶۰۸۹۳۲
۹	۱۵۷/۱	-	شمس‌آباد	۴۰۶۴۲۲۱	۴/۰۶	۱۰۸۰	۳۷۶۳/۱۶۷۶۸
۱۰	۲۱۵/۵	-	شمس‌آباد	۵۵۷۴۴۸۰	۵/۵۷	۱۰۷۳۹	۵۱۹/۰۸۷۴۷۳۷
۱۱	۱۸۹/۷	شمس‌آباد	-	۳۳۱۱۲۸۰	۳/۳۱	۱۰۸۴۵	۳۰۵/۳۲۷۸۰۰۸
۱۲	۱۳۰/۲	-	نیر	۴۴۵۷۳۷۶۳	۴۴/۵۷	۳۹۳۵	۱۱۳۲۷/۵۱۲۸۸
۱۳	۲۲۵/۷	-	نیر	۷۷۲۷۳۲۰۸	۷۷/۲۷	۲۵۵۸	۳۰۲۰۸/۴۴۷۲۹
۱۴	۲۲۴/۳	نیر	-	۸۷۶۴۰۹۲۴	۸۷/۶۴	۵۳۸۵۰۹	۱۶۲/۷۴۷۳۷۱۱
۱۵	۳۲۵/۷	-	نیر	۱۱۱۴۹۶۶۱۲	۱۱۱/۵۰	۸۸۰۳	۱۲۶۶۵/۷۵۱۷۳
۱۶	۵۵/۵	-	نوران	۲۶۶۱۱۳۲	۲/۶۶	۲۵۵۴	۱۰۴۱/۹۴۶۸۶۷
۱۷	۱۸۹/۳	نوران	-	۶۰۳۷۲۲۱	۶/۰۴	۱۲۴۱۴	۴۸۶/۳۲۳۵۹۱۲
۱۸	۲۲۸/۱	باروق	-	۴۲۶۹۰۴۰	۴/۲۷	۴۶۶۶	۹۱۴/۹۲۴۹۸۶۸
۱۹	۷۱/۲	-	باروق	۳۲۳۳۳۹۵	۳/۲۳	۲۶۷۲	۱۲۱۰/۱۰۳۰۷۳
۲۰	۶۲/۴	-	نوران	۲۹۸۸۸۷۷	۲/۹۹	۳۱۲۰	۹۵۷/۹۷۳۳۱۳۳
۲۱	۷۴/۴	-	نوران	۳۵۶۶۲۷۲	۳/۵۷	۶۱۷۶	۵۷۷/۴۴۰۴۵۴۶
۲۲	۳۲۷/۳	-	هیر	۱۳۷۰۲۲۳۲	۱۳/۷۰	۲۸۴۴	۴۸۱۷/۹۴۳۶۰۸
۲۳	۹۳	-	ننه‌کران	۳۰۵۱۷۰۹۸۸	۳۰۵/۱۷	۲۳۹۶۱	۱۲۷۳۶/۱۵۴۰۹
۲۴	۲۴۸/۷	-	شمس‌آباد	۶۴۳۴۲۳۶	۶/۴۳	۱۰۹۴۰	۵۸۸/۱۳۸۵۸۵۴
۲۵	۷۵/۴	-	پل الماس	۴۸۷۷۱۵۶	۴/۸۸	۱۰۴۶	۴۶۶۲/۶۷۳۳۲۵
۲۶	۴۴/۳	-	شمس‌آباد	۱۱۴۵۷۵۲	۱/۱۵	۱۴۷۴	۷۷۷/۳۰۸۰۲۷
۲۷	۱۵۱	پل الماس	نوران	۷۲۳۴۵۴۱	۲۳/۷	۵۲۲	۱۳۸۵۹/۲۷۳۸۵

نتایج شاخص امنیت آب (WSI)

با توجه به نتایج حاصله از شاخص امنیت آب بعداز استانداردسازی شاخص‌های هیدرولوژی، زیست‌محیطی و شاخص توسعه انسانی این نتایج حاصل شد که در جدول (۵) قابل مشاهده است. بر این اساس نتایج حاصله از استانداردسازی شاخص هیدولوژی مشخص شد که بیش‌ترین میزان آبدهی مربوط به زیر حوزه ۱ با مقدار یک است و کم‌ترین میزان آبدهی نیز به زیرحوزه ۲۶ با مقدار صفر است.

هم‌چنین میزان سرانه آب نیز بعد از استانداردسازی مقادیر این نتایج حاصل شد که بیش‌ترین سرانه آب با مقدار یک به زیرحوزه ۳ اختصاص دارد و کم‌ترین مقدار مربوط به زیرحوزه ۱۴ با مقدار صفر است (جدول ۵).

براین اساس با توجه به ارزیابی و تلفیق شاخص‌های هیدرولوژی، زیست‌محیطی، زندگی و توسعه انسانی نتایج شاخص امنیت آب استخراج شد. براین اساس نتایج حاصله نشان داد که بیش‌ترین شاخص امنیت آب مربوط به زیرحوزه آبخیز ۱ با مقدار ۰/۶۳ است که نشان‌دهنده این است که این زیرحوزه از نظر شاخص‌های مورد مطالعه در سطح بالاتری قرار دارد. کم‌ترین میزان امنیت آب نیز مربوط به زیرحوزه ۲۱ با مقدار ۰/۰۳ است که کم‌ترین پایداری حوزه را در بین ۲۷ زیرحوزه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است (جدول ۵).

جدول (۵): نتایج شاخص‌های ارزیابی امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل

زیرحوزه	آبدهی (St)	سرانه آب (St)	شاخص امنیت آب (WSI)
۱	۱	۰/۴۸	۰/۶۳
۲	۰/۳۳	۰/۲۲	۰/۳۲
۳	۰/۲۳	۱	۰/۴۸
۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۲۹
۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۲۵
۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۱۸
۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۴۱
۸	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲۱
۹	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۲۲
۱۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷
۱۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۲۵
۱۲	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۱۱
۱۳	۰/۱۴	۰/۵۹	۰/۲/۱
۱۴	۰/۱۵	۰	۰/۲۹
۱۵	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۸
۱۶	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰/۱۷
۱۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۳
۱۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴
۱۹	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳
۲۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰/۱۱
۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۳
۲۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۵
۲۳	۰/۵۴	۰/۲۵	۰/۲۹
۲۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۶
۲۵	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۴
۲۶	۰	۰/۰۱	۰/۰۷
۲۷	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۳۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر به ارزیابی میزان تاثیرگذاری شاخص هیدرولوژی بر شاخص امنیت آب (WSI) در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو پرداخته شد. در این پژوهش ابتدا شاخص‌های هیدرولوژی، سرانه آب و آبدهی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. سپس هریک از این شاخص‌ها براساس روش‌های مورد ارزیابی برآورد شد. در ادامه نتایج ارزیابی شاخص‌ها استانداردسازی شد. به‌طوری که شاخص آبدهی، سرانه آب، برای ارزیابی شاخص امنیت آمنیت (WSI) استخراج شد با توجه به نتایج حاصله از ارزیابی شاخص امنیت درخصوص شاخص هیدرولوژی بیش‌ترین میزان آبدهی در زیرحوزه ۱ با مقدار ۵۶۰۱۹۶۰۷۳ مترمکعب محاسبه شد و کم‌ترین میزان آبدهی نیز در زیرحوزه ۲۶ با مقدار ۱۱۴۵۷۵۲ مترمکعب را نشان داد. هم‌چنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان سرانه آب برای هرنفر در زیرحوزه ۲۰ با مقدار ۹۵۷/۹۷۳۳۱۳۳ لیتر است که نشان‌دهنده بالاترین میزان سرانه آب در زیرحوزه‌های قره‌سو استان اردبیل است و کم‌ترین میزان سرانه آب نیز مربوط به زیرحوزه ۱۶ با مقدار ۱۰۴۱/۹۴۶۸۶۷ لیتر بوده است که براین اساس باید مطالعاتی در خصوص علل پایین بودن سرانه آب در این مناطق انجام شود.

بنابراین براساس نتایج حاصله از ارزیابی شاخص‌ها در ارزیابی امنیت آب مشخص شد که بیش‌ترین شاخص امنیت آب مربوط به زیرحوزه آبخیز ۱ با مقدار ۰/۶۳ است که نشان‌دهنده این است که این زیرحوزه از نظر شاخص‌های مورد مطالعه در سطح بالاتری قرار دارد. کم‌ترین میزان امنیت آب نیز مربوط به زیرحوزه ۲۱ با مقدار ۰/۰۳ است که کم‌ترین پایداری حوزه را در بین ۲۷ زیرحوزه مورد مطالعه به‌خود اختصاص داده است.

در نهایت پیشنهاد می‌گردد اقدامات اجرائی و مدیریتی در برخی زیرحوزه‌ها که میزان شاخص امنیت آب (WSI)، در آن‌ها بسیار پایین است اجرا کرد تا شاهد توسعه زیرشاخص‌ها در کل حوزه‌های مورد مطالعه باشد تا شاخص امنیت آب حالت صعودی بگیرد

منابع و مأخذ

اسفندیاری درآباد، ف، مصطفیزاده، ر، عبیات، ا، ناصری، ا. (۱۴۰۰). تعیین الگوی پیچانرودی رودخانه قرهسو با استفاده از شاخصهای ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی (محدوده روستای انزاب تا پل سامیان)، نشریه پژوهشات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۱، ۶۱، ۱۳۱-۱۱۹.

انصاری، س، مساح بوانی، ع، باقری، ع. (۱۳۹۸). ارزیابی راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم بر اساس شاخصهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی امنیت آب. پژوهشات منابع آب، ۱۴(۵)، ۲۳۷-۲۵۳.

بهارشاهی، م، خزیمه نژاد، ح، نیک نیا، ن، خاشعی سیوکی، ع. (۱۴۰۰). بررسی و رتبهبندی امنیت آبی محدوده‌های مطالعاتی خراسان جنوبی به کمک تحلیل خاکستری، نشریه آب و توسعه پایدار، ۳، ۱۱-۲۲.

خالدی، ش، فرهمند، ق، علی بخشی، ا. (۱۴۰۰). تحلیل و پهنه‌بندی آسیب پذیری مخاطرات طبیعی (سیل و زلزله) ژئومورفولوژیکی استان کرمانشاه. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۲(۱), ۱۷-۳۶. https://www.srds.ir/article_132471.html

ذاکری، م ع، میرنیا، خ، مرادی، ح ر. (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت امنیت آب در بزرگ آبخیز فلات مرکزی ایران، پژوهشهای آبخیزداری، ۲، ۳۵، ۷۱-۸۷.

زرین، آ، داداشی رودباری. (۱۴۰۲). بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر امنیت آبی در ایران، نشریه آب و توسعه پایدار، ۱، ۳۷-۴۴.
شرکت ملی مدیریت منابع آب ایران، (۱۳۸۳).

عابدینی، م، صبوری، ح، پاسبان، ا ح . (۱۴۰۴). ۵.پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رضی‌چای، استان اردبیل). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۲), ۶۸-۸۴. https://www.srds.ir/article_214387.html

فتاحی، ا، مقیمی ش. (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات پوشش برف شمال‌غرب ایران تحت تاثیر تغییرات اقلیمی پژوهشات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۴) :۴۷-۶۳ ۱۰،۲۹۲۵۲.

کاویانیراد، م، محمدی، م. (۱۳۹۹). تاثیر نوسان منابع آب بر امنیت آب (نمونه پژوهی: خراسان جنوبی)، نشریه پژوهشهای جغرافیای سیاسی، ۵، ۴، ۱۱۵-۱۳۲.

کلانتری، خ، شعبانعلی فمی، ح. (۱۳۸۷). اقتصاد توسعه کشاورزی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۴۴ صفحه.

گودرزی، م، عباسی، ف، هدایتی‌پور، ا. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های مدیریت آب آبیاری در تولید انگور (مطالعه موردی استان مرکزی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۶)، ۲۰۰۳-۲۰۱۲.

یزدانپرست، م، قربانی، م، سلاجقه، ع،کراچیان، ر. (۱۴۰۱). تحلیل مفهوم امنیت آب در حوزه آبخیز دشت نیشابور با استفادهاز چارچوب تعاملات نظام انسان_محیط زیست(HES)، مجله علمی سامانههای سطوح آبگیر باران، ۱۰، ۱۳-۲۶.

Adb. (2020). Asian Water Development Outlook, Strengthening Water Security in Asia and the Pacific.

Arreguin-Cortes, F.I., Saavedra-Horita, J.R., Rodriguez-Varela, J.M., Tzatchkov V.G., Cortez-Mejia P.E., Llaguno-Guilber, to O. J. and Sainos-Candelario A. (2020). State level water security indices in Mexico. Sustainable Earth, 3: 1-14

Calizaya A. Chaves H. Bengtsson L. Berndtsson R. and Hjorth P. (2008). Application of the Watershed Sustainability Index to the Lake Poopo Watershed, Bolivia. Unesco/Phi Intern Conf on Water and Global Change. 28 June. Montevideo, Uruguay.

Castillo, R.M., Wilhelm, F.M., Machado, K. (2019). A Clews Nexus modeling approach to assess water security trajecto- ries and infrastructure needs in Latin America and the Carib-bean. Inter-American Development Bank. Water and Sanita- tion Division. 63P

Catano, N, Marchand, M, Staley, S, Wang, Y. (2009). Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (Wsi) for the Watershed Cartago, Costa Rica: Comcure Report.

Chaves, H, M, Alipaz, S, (2007). An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy. The Watershed Sustainability Index. Water Resources Management 21:883–895

Chaves, H, M, L, (2011). Integrated Sustainability Analysis of Six Latin-American Help Basins. Second International Symposium on Building Knowledge Bridges for a Sustainable Water Future. November 21-24. Panama, Republic of Panama

Chaves, H, M, L, Alipaz, S, (2006). An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy. The Watershed Sustainability Index. Water Resources Management 21:883-895

Firdaus, R, Nakagoshi, N, Idris, A. (2014). Sustainability Assessment of Humid Tropical Watershed: A Case of Batang Merao Watershed, Indonesia. Procedia Environmental Sciences 20:722-731

Hailu R., Tolossa D. and Alemu G. 2020. Household Wa- ter Security Index: Development and Application in the Awash Basin of Ethiopia. International Journal of River Basin Management, 9: 1-17.

Integrated water Resources Management for Urumia lake basin, (2003), Water Research Institulte, Tehran. IWRM, planning, Training Manual and operation Guide VNDP, (2006) Cap Net.

Integrated water Resources Management, (2000), Global water partner ship, technical advisory committee (TAC), GWP, Stockholm.

IWRM for Sustainable Use for water, 50 years of International experience with the concept of IWRM, (2004), Ministry of Agriculture Nether Lands.

Marangoz, D, Daloglu, I. (2022), Development of a Water Security Index Incorporating Future Challenges, Climate Change in the Mediterranean and Middle Eastern Region pp 313–329

Patrick, RJ. (2011a). Enhancing water security in Saskatchewan, Canada: an opportunity for a water soft path. Water International 36 (6), 748-763

Xiao, S., Li, J., Xiao, H., Liu, F. (2007). Comprehensive assess- ment of water security for inland watersheds in the Hexi Cor- ridor, Northwest China. Environ. Geol. 55 (2), 369-376.