Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 4 - Serial Number 22, Winter 2025 **Online ISSN: 2783-0764**
Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_216659.html?lang=en

Analyzing the Impact of E and L Indices on Water Sustainability and Security in the Samian Watershed[1]

Fariba Esfandyari Darabad [1] *,Behrouz Nezafat Takle [2]
[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.

Received Date: 02 January 2025 **Accepted Date:** 02 February 2025

Abstract

Background and Objective: Water and water governance have attracted much attention as a political concern in recent years. In response to the growing understanding of the water crisis, the literature on water governance has been rapidly increasing over the past two decades. The aim of the present study is to analyze the impact of E and L Indices on water sustainability and security in the Samian Watershed.

Methodology: In this study, environmental indicators and the life index were used to estimate the water security index. The environmental criterion focuses on environmental pressure, vegetation cover, and the percentage of protected areas in the watershed. The parameters of the life standard are related to the quality of human life and evaluate the standard of living and the human development index in the watershed. The pressure parameter is determined by the change in per capita income during the study period. In other words, the water security index uses normalization to assess the sustainability of the watershed.

Results and findings: The results of the standardization of the environmental index showed that the highest score was related to sub-basin 7 with a value of one and the lowest was related to sub-basins 5, 10, 14 and 27. Based on the results of the standardization of the human development index, it was shown that the highest level of human development was related to sub-basins 1, 4, 5, 11, 15, 17, 24 and 27. The lowest level of human development was related to sub-basins 12, 13, 18, 19, 21, 22 and 25. Finally, it is recommended to test and use other methods of estimating the Water Security Index (WSI) in future studies.

Keywords: Evaluation, Life Index, Environmental 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. and Behrouz Nezafat Takle, B. (2026). Analyzing the Impact of E and L Indices on Water Sustainability and Security in the Samian Watershed. Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(4), 15-30.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۴، شماره پیاپی ۲۲، زمستان ۱۴۰۴ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_216659.html?lang=fa

تجزیه و تحلیل تاثیرگذاری شاخص‌های E و L در پایداری و امنیت آب حوزه آبخیز سامیان [۱]

فریبا اسفندیاری درآباد*[۱] ، بهروز نظافت‌تکله[۲]

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.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: آب و حکمرانی آب در سال‌های اخیر توجه زیادی را به‌عنوان یک نگرانی سیاسی به‌خود جلب کرده است. در پاسخ به درک رو به رشد از بحران آب، ادبیات مربوط به حکمرانی آب در طول دو دهه گذشته به سرعت در حال افزایش است. هدف از پژوهش حاضر تجزیه و تحلیل تاثیرگذاری شاخص‌های E و L در پایداری و امنیت آب حوزه آبخیز سامیان است.

روش‌شناسی: در این پژوهش از شاخص‌های زیست محیطی و شاخص زندگی جهت برآورد شاخص امنیت آب استفاده شد. معیار محیط‌زیست بر فشار زیستمحیطی، سطح پوش‌گیاهی و درصد مناطق حفاظت‌شده در حوزه آبخیز تمرکز دارد. پارامترهای معیار زندگی مربوط به کیفیت زندگی بشر است و استاندارد زندگی و شاخص توسعه انسانی را در حوزه آبخیز ارزیابی می‌کند پارامتر فشار با تغییر درآمد سرانه در دوره مورد مطالعه مشخص می‌گردد. به‌عبارتی شاخص امنیت آب از نرمال نمودن جهت ارزیابی پایداری حوزه آبخیز استفاده می‌کند.

نتایج و یافته‌ها: نتایج استانداردسازی شاخص زیست‌محیطی نشان داد که بیش‌ترین امتیاز مربوط به زیرحوزه ۷ با مقدار یک و کم‌ترین میزان مربوط به زیرحوزه ۵، ۱۰، ۱۴ و ۲۷ است. براساس نتایج استانداردسازی شاخص توسعه انسانی نشان داد که بالاترین میزان توسعه انسانی مربوط به زیرحوزه‌های ۱، ۴، ۵، ۱۱، ۱۵، ۱۷، ۲۴ و ۲۷ است. کم‌ترین میزان توسعه انسانی نیز مرتبط به زیرحوزه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۵ می‌باشد در نهایت پیشنهاد می‌گردد از آزمون و استفاده از سایر روش‌های تخمین شاخص امنیت آب (WSI)، در مطالعات آتی توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: ارزیابی، شاخص زندگی، شاخص زیست محیطی، WSI، سامیان.

---

[۱] – 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 و نظافت تکله, بهروز . (۱۴۰۴). ۲.تجزیه و تحلیل تاثیرگذاری شاخص‌های E و L در پایداری و امنیت آب حوزه آبخیز سامیان. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۴), ۱۵-۳۰.

مقدمه و بیان مسأله

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. امنیت آب به‌طور بالقوه همواره در معرض خطر افزایش جمعیت و تغییرات آب و هوای است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۲). در جوامع توسعه‌یافته واژه امنیت آب به مفهوم پایداری محیط‌زیست و امنیت ملی تعریف می‌گردد (دالینو ، ۲۰۱۰، پاتریک، ۲۰۱۱).

یکی از شاخص‌های اولیه امنیت آب تامین آب کافی برای انسان است. زمانی که هر فرد دسترسی به آب سالم و مقرون به‌صرفه کافی برای برآوردن نیازهای اولیه نظیر نوشیدن و شست‌وشو دارد امنیت آب فراهم است (ریجسبرمن ، ۲۰۰۶). امنیت آب از دیدگاه بانک جهانی تنها نهادی است که امنیت آب را به‌صورت کمی عنوان نموده که عبارت است از تأمین سالیانه یک 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 نهاد تأمین ۱۱۰۱ متر مکعب در سال برای هر نفر به مفهوم تأمین امنیت آب است (الان، ۲۰۰۱).

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).

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).

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).

اهداف فرعی این پژوهش در راستای زیر محاسبه شاخص امنیت آب در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل. بررسی عوامل اقتصادی موثر بر امنیت آب در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل. اولویت‌بندی مسائل مختلف زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو در استان اردبیل از نظر هیدرولوژی، محیط‌زیست، معیشت و اقتصادی. مقایسه زیرحوزه‌های مختلف آبخیز قره‌سو در استان اردبیل از نظر مسائل اصلی پایداری آبخیز است.

هدف از پژوهش حاضر تجزیه و تحلیل تاثیرگذاری شاخص‌های E و L در پایداری و امنیت آب حوزه آبخیز سامیان است.

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. 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.

سلامی سرمست و زهرایی (۱۴۰۰)، به ارزیابی امنیت آبی ایران در سطح استانی با استفاده از شاخص ترکیبی با استفاده از روش نیمه جبرانی تجمیع هندسی پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص امنیت آبی برای هیچ‌کدام از استان‌های ایران بیشتر از ۴۳۰ نمی‌شود که نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب همه استان‌های ایران از منظر شاخص امنیت آبی است.

مالکی و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی امنیت آبی استان‌های ایران در بازه ۱۳۹۰_۱۳۹۵ با استفاده از شاخص امنیت آب پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مناطق مرکزی و جنوب شرقی و شرقی ایران مشکلات بیش‌تری دارند.

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 (۱۴۰۱)، به‌تحلیل مفهوم امنیت آب در حوزه آبخیز دشت نیشابور با استفاده از چارچوب تعاملات نظام انسان محیط‌زیست (HES) پرداختند.ایشان به این نتیجه رسیدند که شناخت سطوح سلسله مراتبی آگاهی محیط‌زیستی و در نهایت یادگیری و عمل بر اساس مؤلفه‌های کلیدی و تعاملات شناسایی شده توسط چارچوب HES تجزیه و تحلیل پیچیدگی سیستم را به‌نحو مطلوبی میسر می‌سازد.

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.

عالمی‌حیدرانلو و همکاران (۱۴۰۲)، به‌ارزیابی وضعیت امنیت آبی از منظر منابع و مصارف آبی زیر حوضه غربی دریاچه ارومیه پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که وضعیت امنیت منابع و مصارف آب در محدوده‌های غربی حوضه دریاچه ارومیه دارای شرا یط نسبتا مشابه و در طبقه متوسط وضعیف قرار گرفته است.

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.

سئویون پارک و همکاران (۲۰۲۲)، به ارزیابی امنیت آب در کشورهای از آسیا بر اساس چارچوب پنج ضلعی برای مدیریت کارآمد منابع آب پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که ژاپن، مالزی و کره‌جنوبی سطوح بالایی از امنیت آبی را نشان می‌دهند. در مقابل هند، پاکستان و فیلیپین به‌عنوان کشورهای دارای ناامنی آبی در نظر گرفته می‌شوند.

نک‌یاکا (۲۰۲۲)، به بررسی عوامل اجتماعی اقتصادی تعیین‌کننده امنیت آب در مناطق در حال توسعه آفریقا، آسیا-اقیانوسیه و آمریکای لاتین پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید که بیش از ۹۰ درصد از کشورهای آفریقا و مناطق آسیا-اقیانوسیه در برابر آب ناامن هستند، در حالی که اکثر کشورهای کارائیب به جز هائیتی، گواتمالا و نیکاراگوئه از نظر آب ایمن هستند.

میرالس و همکاران (۲۰۲۲)، به ارزیابی امنیت آب از طریق مجموعه‌ای از معیارهای منسجم و کاربرد در مناطقی از آمریکا لاتین پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که جدا از ارتقای بهره‌وری اقتصادی و منابع طبیعی، این چارچوب برنامه‌ریزی یکپارچه برای جلوگیری از پیامدهای ناخواسته و درگیری‌های احتمالی امنیت آب در دهه‌های آینده در منطقه آمریکای لاتین مهم است. این چارچوب معیارهای اولیه امنیت آب نشان‌دهنده یک توسعه عملی مهم در این جهت است.

الواتهافا و همکاران (۲۰۲۳)، به ارزیابی شاخص امنیت آب شهری در کشور یمن پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که امنیت آبی در وهله اول ناکافی است و در برخی شاخص‌ها آبی نقص‌های وجود دارد که برای بهبود مدیریت منابع آبی در شهرهای ناامن آب ضروری است.

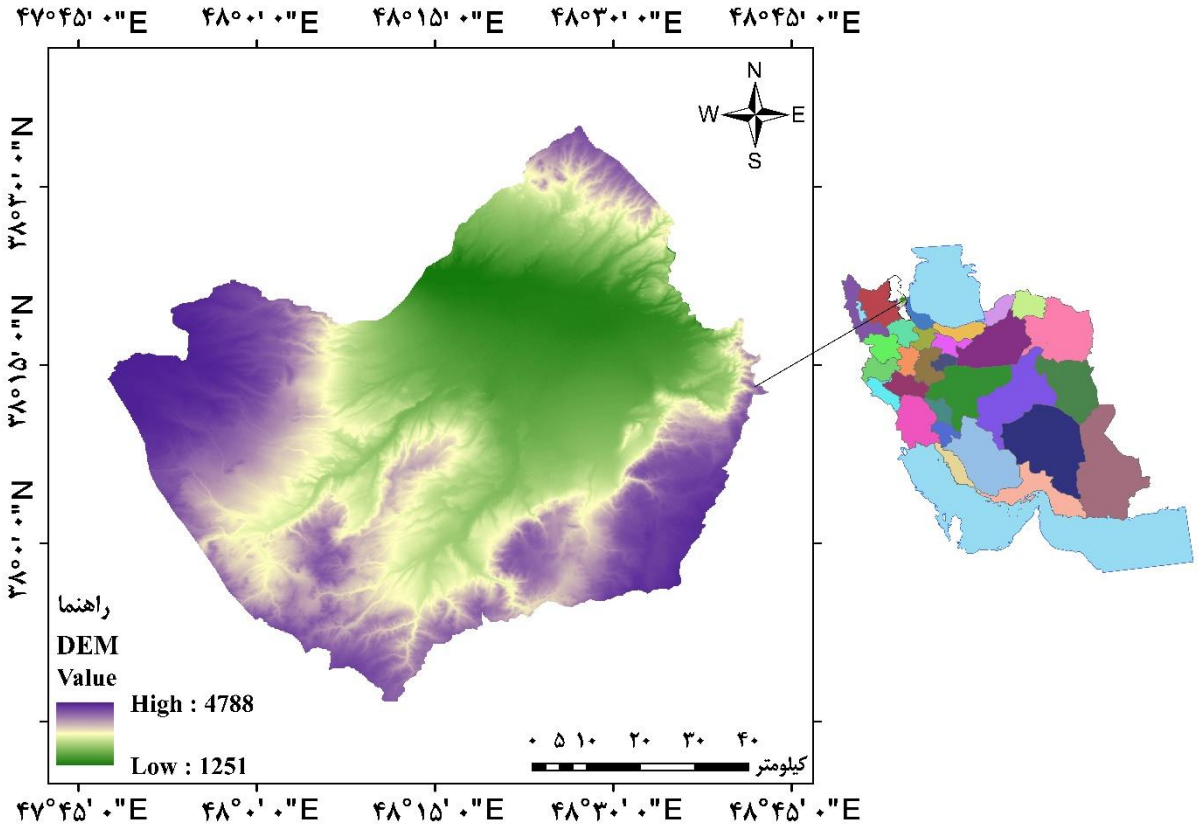
اولسونوسکی و جیانولی (۲۰۲۴)، به ارزیابی مدیریت آب برای کنترل سیل در نیواورلئان پرداختند. یافته‌های پژوهش آنان حاکی از آن است که برخی از عوامل کلیدی کمک‌کننده (مانند هزینه‌ها، عدم قطعیت، وابستگی به مسیر، قدرت و مشروعیت و پیچیدگی) فعالیت سازمانی را در بخش مدیریت آب نیواورلئان مرتبط با کنترل سیل ترویج کردند.

بنابراین در زمینه امنیت آب میتوان دریافت کرد که آب، قلب توسعه پایدار است اهمیت آن برای بقای انسان توسعه اقتصادی اجتماعی و اکوسیستم سالم قابل انکار نیست. در هر سیستم بخش‌های مصرف آب مانند خانگی، کشاورزی، صنعت و انرژی به‌هم پیوسته است. این بخش‌های به‌هم پیوسته هم مصرف‌کننده آب هستند و هم سبب آلودگی آن می‌شوند. از این رو به جهت تأمین منابع آب برای مردم و مصارف اقتصادی، منابع آب باید با پایداری اداره شوند. در نتیجه بهبود امنیت آب، به سرعت درحال تبدیل شدن به یک نکته کلیدی در برنامه سیاست‌گذاری و توسعه در سطح ملی و بین‌المللی است.

روش‌شناسی

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل حوزه آبخیز سامیان واقع در استان اردبیل است. حوزه آبخیز سامیان جزء مجموعه حوزه‌های رودخانه قره‌سو بوده که مساحتی معادل با ۴۲۳۶ کیلومتر مربع دارد. شهرستان اردبیل، مرکز استان اردبیل در مرکز این حوزه آبخیز واقع شده و شهرستانهای نمین، نیر و سرعین بخشی از آن را تشکیل می‌دهند. قسمت‌های مرکزی حوضه از واحدهای اراضی دشت‌های دامنه‌ای تشکیل‌شده که عمده فعالیت‌های کشاورزی استان اردبیل در این قسمت متمرکز است. ارتفاع بلندترین نقطه نسبت به سطح دریا برابر ۴۷۸۸ متر و ارتفاع پست‌ترین نقطه واقع در حوالی پل سامیان برابر ۱۲۰۰ متر است (حزباوی و همکاران، ۱۴۰۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز سامیان

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
محیط‌زیست	حوزه آبخیز (روستایی و شهری) در دوره مورد مطالعه E .P.I	$EPI > 10\%$	۰/۲۵
		$10\% < EPI < 5\%$	۰/۵۰
		$5\% < EPI < 0\%$	۰/۷۵
		$EPI < 0\%$	۱
زندگی	تغییر در درآمد سرانه حوزه آبخیز در ۵ سال گذشته	$\Delta < -10\%$	۰/۲۵
		$-10\% < \Delta < 0\%$	۰/۵۰
		$0 < \Delta < +10\%$	۰/۷۵
		$\Delta > +10\%$	۱

[۱]- Calizaya
[۲]- Schueler
[۳]- Chaves And Alipaz
[۴]- Catano
[۵]- Firdaus

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

معیار	پارامترهای فشار	سطح	نمره
محیط زیست	درصد پوشش‌گیاهی طبیعی حوزه آبخیز(Av)	$EPI > 10\%$	۰/۲۵
		$10\% < \text{BOD} < 5\%$	۰/۵۰
		$5\% < EPI < 0\%$	۰/۷۵
		$\text{EPI} > 0\%$	۱
زندگی	شاخص توسعه انسانی حوزه آبخیز (وزن‌ها به وسیله جمعیت شهرستان)	$HDI < 0/6$	۰/۲۵
		$0/6 < \text{HDI} < 0/75$	۰/۵۰
		$۰/۷۵ < \text{HDI} < 0/9$	۰/۷۵
		$\text{HDI} < 0/9$	۱

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

معیار	پارامترهای فشار	سطح	نمره
محیط‌زیست	رشد و پیشرفت در فعالیت‌های حفاظتی در حوزه آبخیز (درصد مناطق حفاظت شده،BMP) در پنج سال گذشته	$\Delta < -۱۰٪$	۰/۲۵
		$-۱۰٪ < \Delta < ۰٪$	۰/۵۰
		$۰ < \Delta < +۱۰٪$	۰/۷۵
		$\Delta > +۱۰٪$	۱
زندگی	تکامل در شاخص توسعه انسانی حوزه آبخیز در ۵ سال گذشته	$\Delta < -۱۰٪$	۰/۲۵
		$-۱۰٪ < \Delta < ۰٪$	۰/۵۰
		$۰ < \Delta < +۱۰٪$	۰/۷۵
		$\Delta > +۱۰٪$	۱

معیار محیط‌زیست (E)

همانند پارامترهای هیدرولوژی پارامترهای محیط‌زیست در سطوح فشار وضعیت و پاسخ تقسیم شدند. معیار محیط‌زیست بر فشار زیست‌محیطی، سطح پوشش‌گیاهی و درصد مناطق حفاظت‌شده در حوزه آبخیز تمرکز دارد.

برای تعریف پارامتر فشار، شاخص فشار زیست‌محیطی (EPI) که یک نسخه اصلاح شده از شاخصAntropic Pressure Index) API) بوده و فشار فعالیت‌های کشاورزی انسان را بر محیط‌زیست ارزیابی می‌کند. این شاخص با میانگین تغییرات از مناطق کشاورزی حوزه آبخیز و جمعیت شهری حوزه آبخیز (درصد) در دوره مورد مطالعه تخمین زده می‌شود.

رابطه ۲: $$\boldsymbol{EPI} = (\text{تغییر درصد در جمعیت شهری حوزه آبخیز} + \text{تغییرات درصد در زمین‌های کشاورزی حوزه آبخیز})/\mathbf{2}$$

نسبت مناطق کشاورزی و شهری با کیفیت آب حوزه آبخیز ارتباط دارد علاوه بر این، از آن‌جایی که اطلاعات کشاورزی و سرشماری جمعیت به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه بسیار آسان‌تر به‌دست می‌آیند به‌عنوان پارامتر انتخاب می‌شوند (کاتانو و همکاران، ۲۰۰۹).

EPI روش مؤثر ارزیابی تعادل میان جمعیت شهری و مناطق کشاورزی است. تعادل کردن این دو به‌طور مستقیم به حفظ سلامتی محیط ناشی از فعالیت‌های انسانی بستگی دارد برای رسیدن به نمره خوب پارامتر فشار نیاز به توسعه زمین‌های کشاورزی همراه با افزایش جمعیت کم است (کاتانو و همکاران، ۲۰۰۹). که بر این اساس می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. ارزش‌های مثبت فشارهای بالا بر پوشش‌گیاهی طبیعی باقیمانده در حوزه آبخیز را نشان می‌دهد (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

پارامتر وضعیت میزان پوشش‌گیاهی طبیعی در حوزه آبخیز را مشخص کرده و نشان می‌دهد چند درصد حوزه آبخیز دارای پوشش گیاهی است. این پارامتر تغییرات محیط در طول زمان را به ذینفعان نشان می‌دهد. بهترین نمره برای این پارامتر یک حوزه آبخیز با پوشش بالغ بر ۴۰ درصد از کل مساحت آن حوزه آبخیز است (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

پارامتر پاسخ بهبود وضعیت در فعالیت‌های حفاظتی در حوزه آبخیز شامل جنگل‌های ملی، پارک‌های ملی به بهترین روش‌ها را ارزیابی می‌کند در صورتی که درصد مناطق حفاظت‌شده رشدی برابر و بیش‌تر از ده درصد داشته باشند حداکثر نمره به این پارامتر داده خواهد شد (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

معیار زندگی (L)

پارامترهای معیار زندگی مربوط به کیفیت زندگی بشر است و استاندارد زندگی و شاخص توسعه انسانی را در حوزه آبخیز ارزیابی می‌کند پارامتر فشار با تغییر درآمد سرانه در دوره مورد مطالعه مشخص می‌گردد. این پارامتر در ارزیابی کیفیت زندگی به ذینفعان کمک می‌کند و از زیر معیارهای HDI است. بهبود برابر یا بیش‌تر از ده درصد در درآمد سرانه در طول دوره مورد مطالعه نشان‌دهنده رشد اقتصادی قابل توجه بوده و حداکثر نمره را می‌گیرد و مقادیر منفی این پارامتر نشان می‌دهد که جمعیت در این دوران فقیرتر می‌شوند (شاوز و علیپاز، ۲۰۰۷).

پارامتر وضعیت با استفاده از شاخص توسعه انسانی (HDI) و پارامتر پاسخ با تغییرات در HDI در طول دوره مورد مطالعه ارزیابی می‌شود مزیت استفاده از HDI این است که در سراسر جهان محاسبه شده است و به‌راحتی قابل مقایسه با سایر حوزه‌های آبخیز مشابه بوده، هم‌چنین به‌شدت تحت تأثیر شاخص‌های اجتماعی مانند بهداشت و آموزش است و تغییر در متوسط درآمد جمعیت‌ها به نوبه خود می‌تواند به‌عنوان یک کل بر پایداری حوزه آبخیز مؤثر باشد حداکثر نمرات در صورت داشتن شاخص HDI بیش از ۰/۹۰ و تغییر بیش از ۲۰ درصد مثبت در HDI در دوره مورد مطالعه است (کاتانو و همکاران، ۲۰۰۹).

برای محاسبه شاخص توسعه انسانی در مدل موریس، در مرحله اول ماتریس اولیه داده‌ها که مبنا و پایه انجام پژوهش است تشکیل شد. یافته‌های حاصل از بررسی، وضعیت اولیه شهرستان‌های استان اردبیل به لحاظ شاخص‌های توسعه انسانی در جدول (۴)، نشان داده شده است. در شاخص امید به زندگی شهرستان‌های اردبیل و نیر به ترتیب با امید به زندگی ۷۳/۳۵ و ۶۹/۳۰ سال، دارای بیش‌ترین و کم‌ترین میزان امید به زندگی در میان ۱۰ شهرستان استان اردبیل هستند. در ارتباط با شاخص درصد باسوادی یافته‌ها نشان می‌دهد شهرستان‌های اردبیل و سرعین به ترتیب با نرخ باسوادی ۸۵/۰۱ درصد و ۶۸/۴۰ درصد، دارای بیش‌ترین و کم‌ترین نرخ باسوادی در استان هستند. هم‌چنین یافته‌های پژوهش در خصوص شاخص میانگین درآمد سرانه نشان می‌دهد دو شهرستان اردبیل و نیر به ترتیب با میانگبن درآمد سرانه ۶۲۰۰۴۲۶ تومان در سال و ۴۸۸۰۳۴۹ تومان در سال، دارای بیش‌ترین و کم‌ترین درآمد سرانه در بین شهرستان‌های استان هستند.

جدول (۴): تشکیل ماتریس اولیه داده‌ها جهت سنجش شاخص توسعه انسانی در شهرستان‌های استان اردبیل (منبع: حاضری و همکاران، ۱۴۰۳)

شهرستان	امید به زندگی (سال)	باسوادی (درصد)	درآمد سرانه (تومان)
اردبیل	۷۳/۳۵	۸۵/۰۱	۶۲۰۰۴۲۶

بیله سوار	۷۱/۲	۷۴/۰۸	۵۹۸۵۳۳۰
خلخال	۷۱/۲۵	۷۸/۵۶	۵۳۰۸۰۳۱
مشگین شهر	۷۲/۵۸	۸۳/۰۶	۵۷۹۸۸۸۷
گرمی	۷۱/۴۵	۷۵/۷۹	۵۶۸۹۷۱۳
پارس اباد	۷۲/۶۸	۷۶/۲۳	۶۰۰۴۴۶۸
کوثر	۷۰/۷۰	۷۲/۵۹	۵۱۹۷۶۵۵
نمین	۷۲/۵۱	۸۲/۶۸	۵۲۱۳۷۶۱
نیر	۶۹/۳۰	۶۹/۳۴	۴۸۸۰۳۴۹
سرعین	۷۰/۹۰	۶۸/۴۰	۵۳۲۵۶۴۵

نرمال کردن داده‌ها (استانداردسازی داده‌ها)

برای این‌که به‌توان از ترکیب شاخص‌های مورد ارزیابی در پژوهش به یک شاخص واحد رسید. ابتدا هریک از ۴ شاخص با استفاده از فرمول شاخص پایه که مقدار آن بین صفر و یک است تبدیل می‌گردند رابطه (۴). (دستورانی و محمدی، ۱۳۹۶)

رابطه ۳:

$$\text{شاخص پایه} = \frac{\text{کمترین مقدار} - \text{متوسط شاخص}}{\text{کمترین مقدار} - \text{بیشترین مقدار}}$$

برای اینکه هریک از شاخص‌ها به شاخص نرمال تبدیل شوند ابتدا لازم است برای هریک از آن‌ها مقادیر حداکثر و حداقل در نظر گرفته شود.

نتایج و یافته‌ها

نتایج و تجزیه و تحلیل شاخص امنیت آب (WSI)، براساس حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در استان اردبیل در جدول (۵)، 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.

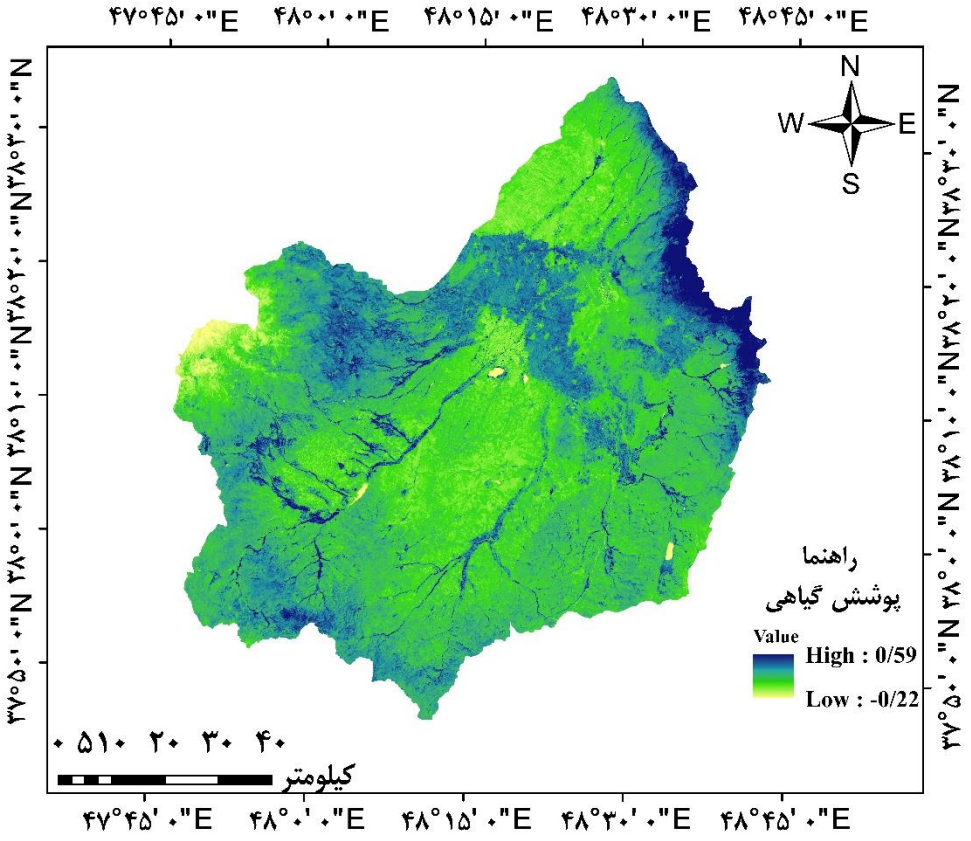
شاخص نرمال‌شده پوشش‌گیاهی (NDVI) حوزه آبخیز سامیان

پوشش‌گیاهی یکی از مهم‌ترین متغیرهای موثر در شاخص امنیت آب به شمار می‌رود. بنابراین، مطالعه پوشش‌گیاهی منطقه از نظر تاثیر آن بر روی سایر مولفه‌های محیطی از قبیل فرایندهای ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و حتی حیات وحش از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی کلی از پوشش‌گیاهی زیرحوزه‌های قره‌سو سامیان از شاخص پوشش‌گیاهی (NDVI) استفاده شد. تصویر شاخص پوشش‌گیاهی برای سال ۱۴۰۲ آخذ شد. هم‌چنین از داده‌های ماهواره لندست ۹ جهت تهیه نقشه پوشش‌گیاهی پس از انجام تصحیحات مربوط استفاده شد. دامنه این شاخص بین ۱- برای حداقل میزان و ۱+ برای حداکثر میزان فعالیت فتوسنتزی است. شاخص NDVI به‌صورت زیر تعریف می‌شود. رابطه(۴)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

که در آن: NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵ در تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹) و RED باند قرمز (باند ۴ در تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹) می‌باشد.

با استفاده از شاخص پوشش‌گیاهی به‌عنوان عاملی برای برآورد امنیت آب در حوزه آبخیز سامیان (زیرحوزه‌های قره‌سو) مورد محاسبه قرار گرفت. در این مطالعه شاخص پوشش‌گیاهی نرمال‌شده برای محاسبه میزان و تراکم پوشش‌گیاهی در نظر گرفته شد. براساس مقادیر محاسبه شده برای شاخص پوشش‌گیاهی در حوزه آبخیز سامیان در دامنه بین ۰/۲۲- تا ۰/۵۹ می‌باشد. براساس مقادیر به‌دست آمده از شاخص پوشش‌گیاهی مناطق شمال شرقی و شمال غربی از تراکم بیش‌تر پوشش‌گیاهی برخوردار است و در مقابل مناطقی از ارتفاعات کوهستان سبلان و مناطق جنوب و جنوب غربی از تراکم پوشش‌گیاهی کم‌تری برخوردار است شکل (۲).

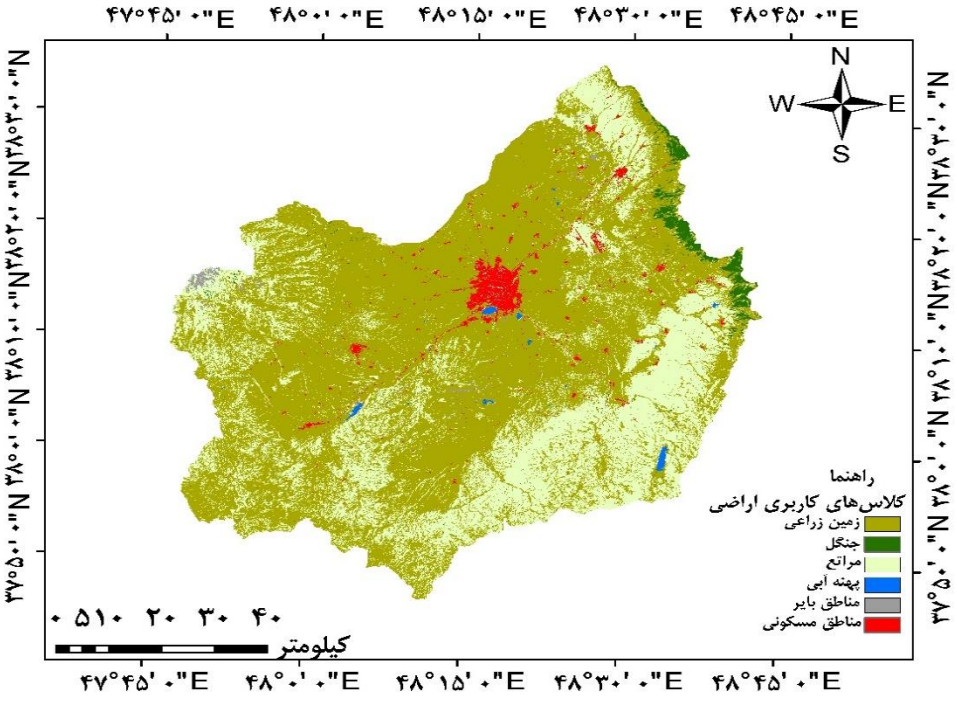


شکل (۲)، نقشه شاخص نرمال‌شده پوشش‌گیاهی حوزه آبخیز سامیان

نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سامیان

تغییرات کاربری اراضی از جمله اساسی‌ترین تغییرات سطح زمین هستند که اثرات قابل توجهی بر روی محیط و فرایندهای طبیعی می‌گذارند. نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۳ برای حوزه آبخیز سامیان محاسبه شد. همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد کاربری اراضی حوزه آبخیز سامیان دارای تغییرات قابل توجهی در سطح حوزه است. بر این اساس کاربری حوزه سامیان به ۶ کلاس

زمین زراعی، جنگل، مراتع، پهنه آبی، مناطق بایر و مناطق مسکونی طبقه‌بندی شد. با توجه به شکل (۳) مشخص شد که بیش‌ترین کاربری تشکیل‌دهنده در حوزه سامیان کاربری زمین زارعی بوده است. در رده دوم و سوم نیز کاربری‌های جنگلی و مراتع بیش‌ترین درصد کاربری در سطح حوزه سامیان را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین براساس شکل بیش‌ترین تجمع مناطق مسکونی در مرکز استان اردبیل است. در پژوهش حاضر از کاربری‌های مراتع و جنگلی برای ارزیابی شاخص زیست‌محیطی برای شاخص امنیت آب (WSI) استفاده شد.



شکل (۳)، نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز قره‌سو سامیان در سال ۲۰۲۳

نتایج شاخص زیست‌محیطی

نتایج حاصله از ارزیابی شاخص زیست‌محیطی در زیرحوزه‌های مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین مقدار اراضی مرتعی در زیرحوزه ۱۷ با مقدار ۱۹/۳۳ درصد می‌باشد و هم‌چنین کم‌ترین مقدار اراضی مرتعی نیز به‌ترتیب در زیرحوزه‌های ۱۱ و ۱۴ با مقدار ۰/۰۴ و ۰/۰۷ درصد می‌باشد. از نظر ارزیابی مناطق جنگلی نیز بیش‌ترین میزان اراضی جنگلی مربوط به زیرحوزه ۷ با مقدار ۶۰/۹۲ درصد است که نشان می‌دهد که زیرحوزه ۷ دارای پوشش‌گیاهی غنی جنگلی در سطح حوزه آبخیز قره‌سو است و کم‌ترین درصد اراضی جنگلی نیز مربوط به زیرحوزه‌های ۵، ۱۱ و ۱۴ با مقدار ۰/۰۱ است که این میزان نشان‌دهنده این است که زیرحوزه‌های مرتبط از نظر پوشش جنگلی بسیار فقیر هستند (جدول ۵).

شاخص توسعه انسانی (HDI)

براساس ارزیابی‌های انجام شده بیش‌ترین افراد ساکن شهری و روستایی در زیرحوزه ۱۴ شهرستان اردبیل با تعداد نفرات ۵۳۸۵۰۹ نفر می‌باشد و کم‌ترین افراد ساکن نیز در زیرحوزه ۲۷ منطقه پل‌الماس با تعداد نفرات ۵۲۲ نفر است.

براساس نتایج حاصله از ارزیابی شاخص توسعه انسانی در زیرحوزه‌های مورد بررسی در حوزه آبخیز قره‌سو این نتایج حاصل شد که بیش‌ترین میزان شاخص توسعه انسانی از نظر میزان امید به زندگی، میزان باسوادی و درآمد سرانه مربوط به زیرحوزه‌های ۱، ۴، ۵، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۴ و ۲۵ براساس مقادیر استاندارد شده ۱ می‌باشد که این مقدار نشان از توسعه انسانی بسیار بالا در زیرحوزه‌های منتخب دارد. کم‌ترین میزان شاخص توسعه انسانی نیز مربوط به زیرحوزه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۵ براساس مقادیر استاندارد شده ۰/۰۲ است (جدول ۵).

جدول (۵):مقادیر محاسبه شده شاخص امنیت آب در زیرحوزه‌های آبخیز قره‌سو سامیان

زیر حوزه	مساحت (Km)	هیدرومتری	ایستگاه مبنا	جعیت شهر و روستا (نفر)	اراضی مرتعی (درصد)	اراضی جنگلی (درصد)	شهرستان	شاخص توسعه انسانی (HDI)
۱	۱۸۶/۷	-	نمین	۲۲۵۵۵	۲/۹	۰/۲۹	اردبیل	۱
۲	۶۱/۵	-	نمین	۱۵۹۱۵	۴/۴۵	۰/۸۸	نمین	۰/۶۳
۳	۵۶/۱	نمین	-	۲۵۸۴	۱/۵۸	۰/۸۹	نمین	۰/۶۳
۴	۴۸/۳	ننه کران	-	۱۱۹۷۳	۲/۰۲	۲/۰۱	اردبیل	۱
۵	۵۱/۸	سولا	-	۳۹۷۴	۰/۰۹	۰/۰۱	اردبیل	۱
۶	۲۶۲/۳	-	آلادیزگه + ایریل	۱۶۵۹۱	۱/۶۸	۲/۴۳	نمین	۰/۶۳
۷	۱۳۲/۲	-	آلادیزگه + ایریل	۳۰۷۹۱	۵/۹۹	۶۰/۹۲	نمین	۰/۶۳
۸	۳۴۸/۱	هیر	-	۲۰۹۱	۰/۷۹	۸/۲۷	نمین	۰/۶۳
۹	۱۵۷/۱	-	شمس آباد	۱۰۸۰	۱/۱۹	۱۱/۴۴	نمین	۰/۶۳
۱۰	۲۱۵/۵	-	شمس آباد	۱۰۷۳۹	۱/۴۴	۰/۴۵	سرعین	۰/۲۴
۱۱	۱۸۹/۷	شمس‌آباد	-	۱۰۸۴۵	۰/۰۴	۰/۰۱	اردبیل	۱
۱۲	۱۳۰/۲	-	نیر	۳۹۳۵	۵/۶۶	۱/۸۵	نیر	۰/۰۲
۱۳	۲۲۵/۷	-	نیر	۲۵۵۸	۴/۵۲	۱/۱۴	نیر	۰/۰۲
۱۴	۲۲۴/۳	نیر	-	۵۳۸۵۰۹	۰/۰۷	۰/۰۱	اردبیل	۱
۱۵	۳۲۵/۷	-	نیر	۸۸۰۳	۴/۷۳	۰/۳۶	اردبیل	۱
۱۶	۵۵/۵	-	نوران	۲۵۵۴	۲/۱۳	۰/۱۴	نمین	۰/۶۳
۱۷	۱۸۹/۳	نوران	-	۱۲۴۱۴	۱۹/۳۳	۱/۶۸	اردبیل	۱
۱۸	۲۲۸/۱	باروق	-	۴۶۶۶	۸/۲۱	۰/۹۸	نیر	۰/۰۲
۱۹	۷۱/۲	-	باروق	۲۶۷۲	۵/۰۱	۰/۸۶	نیر	۰/۰۲
۲۰	۶۲/۴	-	نوران	۳۱۲۰	۹/۲۴	۰/۵۸	کوثر	۰/۲۸
۲۱	۷۴/۴	-	نوران	۶۱۷۶	۵/۵۲	۰/۸۴	نیر	۰/۰۲
۲۲	۳۲۷/۳	-	هیر	۲۸۴۴	۳/۱۴	۰/۵۱	نیر	۰/۰۲
۲۳	۹۳	-	ننه‌کران	۲۳۹۶۱	۵/۷۹	۱/۶۳	سرعین	۰/۲۴

۲۴	۲۴۸/۷	-	شمس آباد	۱۰۹۴۰	۱/۰۷	۰/۲۱	اردبیل	۱
۲۵	۷۵/۴	-	پل الماس	۱۰۴۶	۲/۰۸	۰/۲۳	نیر	۰/۰۲
۲۶	۴۴/۳	-	شمس آباد	۱۴۷۴	۰/۶۱	۰/۰۸	سرعین	۰/۲۴
۲۷	۱۵۱	پل الماس	نوران	۵۲۲	۰/۲	۰/۰۳	اردبیل	۱

نتایج شاخص امنیت آب (WSI)

با توجه به نتایج حاصله از شاخص امنیت آب بعداز استانداردسازی شاخص‌های زیست‌محیطی و شاخص توسعه انسانی این نتایج حاصل شد که در جدول (۵) قابل مشاهده است نتایج استانداردسازی شاخص زیست‌محیطی نشان داد که بیش‌ترین امتیاز مربوط به زیرحوزه ۷ با مقدار یک و کم‌ترین میزان مربوط به زیرحوزه ۵، ۱۰، ۱۴ و ۲۷ است. براساس نتایج استانداردسازی شاخص توسعه انسانی نشان داد که بالاترین میزان توسعه انسانی مربوط به زیرحوزه‌های ۱، ۴، ۵، ۱۱، ۱۵، ۱۷، ۲۴ و ۲۷ است. کم‌ترین میزان توسعه انسانی نیز مرتبط به زیرحوزه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۵ می‌باشد (جدول ۶).

براین اساس با توجه به ارزیابی و تلفیق شاخص‌های 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 ۶).

جدول (۶): نتایج شاخص‌های ارزیابی امنیت آب (WSI) در حوزه آبخیز سامیان در استان اردبیل

زیرحوزه	اراضی طبیعی (St)	شاخص HDI (St)	شاخص امنیت آب (WSI)
۱	۰/۰۵	۱	۰/۶۳
۲	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۳۲
۳	۰/۰۴	۰/۶۳	۰/۴۸
۴	۰/۰۶	۱	۰/۲۹
۵	۰	۱	۰/۲۵
۶	۰/۰۶	۰/۶۳	۰/۱۸
۷	۱	۰/۶۳	۰/۴۱
۸	۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۲۱
۹	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۲۲
۱۰	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۰۷
۱۱	۰	۱	۰/۲۵
۱۲	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۱۱
۱۳	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲/۱
۱۴	۰	۱	۰/۲۹
۱۵	۰/۰۸	۱	۰/۳۸
۱۶	۰/۰۳	۰/۶۳	۰/۱۷
۱۷	۰/۳۱	۱	۰/۳۳

۱۸	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۴
۱۹	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۳
۲۰	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۱
۲۱	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۳
۲۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵
۲۳	۰/۱۱	۰/۲۴	۰/۲۹
۲۴	۰/۰۲	۱	۰/۲۶
۲۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴
۲۶	۰/۰۱	۰/۲۴	۰/۰۷
۲۷	۰	۱	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. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار اراضی مرتعی در زیرحوزه ۱۷ با مقدار ۱۹/۳۳ درصد می‌باشد و هم‌چنین کم‌ترین مقدار اراضی مرتعی نیز به‌ترتیب در زیرحوزه‌های ۱۱ و ۱۴ با مقدار ۰/۰۴ و ۰/۰۷ درصد می‌باشد. از نظر ارزیابی مناطق جنگلی نیز بیش‌ترین میزان اراضی جنگلی مربوط به زیرحوزه ۷ با مقدار ۶۰/۹۲ درصد است که نشان می‌دهد که زیرحوزه ۷ دارای پوشش‌گیاهی غنی جنگلی در سطح حوزه آبخیز قره‌سو است و کم‌ترین درصد اراضی جنگلی نیز مربوط به زیرحوزه‌های ۵، ۱۱ و ۱۴ با مقدار ۰/۰۱ است که این میزان نشان‌دهنده این است که زیرحوزه‌های مرتبط از نظر پوشش جنگلی بسیار فقیر هستند

بیش‌ترین میزان شاخص توسعه انسانی از نظر میزان امید به زندگی، میزان باسوادی و درآمد سرانه مربوط به زیرحوزه‌های ۱، ۴، ۵، ۱۱، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۴ و ۲۵ براساس مقادیر استاندارد شده ۱ می‌باشد که این مقدار نشان از توسعه انسانی بسیار بالا در زیرحوزه‌های منتخب دارد. کم‌ترین میزان شاخص توسعه انسانی نیز مربوط به زیرحوزه‌های ۱۲، ۱۳، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲ و ۲۵ براساس مقادیر استاندارد شده ۰/۰۲ است. 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. آزمون و استفاده از سایر روش‌های تخمین شاخص امنیت آب (WSI)، در مطالعات آتی توصیه می‌گردد.

منابع و مأخذ

اسفندیاری درآباد، ف، نظافت تکله، ب، مصطفی‌زاده، 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. https://www.srds.ir/article_216650.html

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، ۱۱۹-۱۳۱.

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.

جباری قره باغ، ث، رضایی، ح، باقری، ع. (۱۴۰۰). کاربست رویکرد شاخص محور در ارزیابی امنیت آبی حوضه دریاچه ارومیه، **پژوهشات منابع آب ایران**، ۲، ۱۰۰-۱۱۳.

حزباوی، ز، بابایی، ل، زارعی، ش، علائی، ن، ملکیان، ر. (۱۴۰۱). ناهمگونی فضایی امنیت اکولوژیکی آبخیز سامیان، استان اردبیل. **فصلنامه علمی برنامه ریزی منطقه ای**، ۱۲(۴۸)، ۷۷-۹۴.

حاضری نیری، ه، جامی اودولو، م، نظافت تکله، ب. (۱۴۰۳). ۱۳.عوامل اقتصادی موثر بر ارتقا شاخص‌های توسعه انسانی در استان اردبیل. **فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای**، ۵(۳)، ۲۰۵-۲۱۹. https://www.srds.ir/article_212804.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.

سالمی سرمست، س، زهرایی، ش. (۱۴۰۰). ارزیابی امنیت آبی ایران در سطح استانی با استفاده از شاخص ترکیبی، **مدیریت آب و آبیاری**، ۳، ۱۱، ۶۱۷-۶۳۲.

سلامی، ح، طاهری ریکنده، ع. (۱۳۹۸). سنجش وضعیت امنیت آبی در استانهای ایران اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۳، ۹۴-۷۵.

عالمی حیدرانلو، ز، رضایی، ح، خلیلی، ک. (۱۴۰۲). ارزیابی وضعیت امنیت آبی از منظر منابع و مصارف آبی مطالعه موردی زیرحوزه غربی دریاچه ارومیه، **نشریه دانش آب و خاک**، ۱، ۱۴۵-۱۵۹.

مالکی ،ن، شاکری بستانآباد، ر، صالحی کمرودی، م، سید آبادی، س. (۱۴۰۰). بررسی وضعیت شاخص ترکیبی امنیت آبی استانهای ایران در بازه ۱۳۹۵-۱۳۹۰ کاربردی از روشهای تحلیل چند معیاره، **آب و توسعه پایدار**، ۲۱-۳۲.

یزدانپرست، م، قربانی، م، سلاجقه، ع،کراچیان، ر. (۱۴۰۲). تحلیل و ارزیابی شاخص امنیت آب (WSI) در حوزه آبخیز دشت نیشابور، ۱، ۱۱، ۱۳۵-۱۱۶.

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

Allan, A. (2001). Water Security Policies and Global Systems for Water-Scarce Regions, World Bank.

Alwathafa, Y, Kawya ,A, AlAreeqe, N, AlAreeqd, A, Al-qatnie, K. (2023), Urban Water Security Index assessment For Ibb City, Yemen: Comprehensive Vision, Water Conservation & Management (Wcm) 7(1) 28-35

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.

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

Cook, C. and Bakker, K. (2012). Water security, Debating emerging paradigm. Global Environmental Change, 22:102_94.(۱)

Dolhinow, R., (2010). A Jumble of Needs: Women's Activitsm and Neoliberalism in the Colonias of the Southwest. University of Minnesota, Minneapolis, MN

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

Miralles, WF, Sanchez, MR, Muñoz, CR, (2022), Assessing Water Security Through a Set of Consistent Metrics and Application to Water Funds in Latin America, Current Trends in Civil & Structural Engineering,2643_6876, DOI: 10.33552/CTCSE.2022.09.000704

Nkiaka, E. (2022), Exploring the socioeconomic determinants of water security in developing regions. Water Policy, 24 (4). pp. 608-625. ISSN 1366-7017

Olsonoski, A., & Gianoli, A. (2024). Water management for flood control in New Orleans: Key factors contributing to institutional inertia. Cities.

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

Rijsberman, FR, (2006). Water scarcity fact or fiction? Agricultural Water Management 80, 5-22.

Seo, YP, Jong, SK , Seungho, L, Joo, HL, (2022), Appraisal of Water Security in Asia: The Pentagonal Framework for EfficientWater Resource Management, Applied Sciences, 12(16), 8307; https://doi.org/10.3390/app12168307

Wang, X. J., Zhang, J. Y., Shahid, S., EIMahdi, A., He, R. M., Wang, X. G., & Ali, M. (2012). Gini coefficient to assess equity in domestic water supply in the Yellow River Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 17(1), 65-75.