

Quantitative Assessment of Water Stress in Razavi Khorasan Province Using the Water Poverty Index (WPI)

Mohammad Gholami¹  | Majid Kazemzadeh^{2*}  

1. Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
E-mail: kazemzadeh@um.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 27 May, 2024

Revised: 13 Aug. 2024

Accepted: 15 Aug. 2024

Published online: 01 Mar. 2025

Keywords:

Razavi Khorasan Province,

Sustainable development,

Water scarcity,

Water Poverty Index,

Water Resources.

Abstract

The inappropriate utilization of water resources has led to water shortages and numerous challenges for humanity. Assessing water scarcity can significantly contribute to sustainable water resource management. The Water Poverty Index (WPI), as a composite tool, assesses the factors affecting water conditions in a specific area using five critical criteria: Resources, Access, Capacity, Use, and Environment. In the present study, Razavi Khorasan Province was divided into 22 study areas, and the Water Poverty Index was used to assess water scarcity in each of them. WPI results revealed that the Dargh study area scored 50.63, indicating the best water condition, while the Kashmir study area, Red Mountain, and Khalilabad had the worst water conditions, scoring 20.20 compared to other regions. The average WPI for the entire province was 34.41, indicating an unfavorable state of water scarcity in this region. The average values for the five criteria—Resources, Access, Capacity, Use, and Environment—across the entire province were 19.41, 36.35, 31.23, 38.06, and 47.05, respectively. According to the Use and Resource criteria, water utilization in this province exceeds available water resources by a factor of 1.96. Consequently, overexploitation of water resources, particularly in the agricultural sector, along with neglecting sustainable development and resilience thresholds of natural ecosystems, were identified as significant strategic management mistakes contributing to water scarcity in this province. Therefore, achieving a balance between water utilization and available resources, allocating a portion of water for the requirements of natural ecosystems, and reducing economic reliance on agriculture can serve as a roadmap for effective water resource management and help prevent further deterioration of the current situation.

Cite this article: Gholami, M., Kazemzadeh, M. (2025). Quantitative Assessment of Water Stress in Razavi Khorasan Province Using the Water Poverty Index (WPI). *Journal of Range & Watershed Management*, 78 (1), 49-72. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.377111.1766>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

ارزیابی کمی تنش آبی در استان خراسان رضوی، رهیافتی ترکیبی با استفاده از شاخص فقر آب (WPI)

محمد غلامی^۱ | مجید کاظمزاده^۲

۱. گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲. گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

رایانامه: kazemzadeh@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

استفاده نادرست از منابع آبی، سبب کمبود آب و در پی آن ایجاد مشکلات متعددی برای انسان‌ها شده است. لذا، ارزیابی تنش آبی می‌تواند به مدیریت پایدار منابع آبی کمک کند. شاخص فقر آب (WPI) به عنوان ابزاری ترکیبی، عوامل تاثیرگذار بر وضعیت آب در یک منطقه مشخص را در قالب ۵ معیار مهم منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست ارزیابی می‌کند. در پژوهش حاضر، استان خراسان رضوی، به ۲۲ محدوده مطالعاتی تفکیک و از WPI به منظور ارزیابی تنش آبی آن‌ها استفاده شد. مطابق نتایج WPI، محدوده درگز با امتیاز ۵۰/۶۳ بهترین و محدوده کاشمر، کوهسرخ، خلیل‌آباد با امتیاز ۲۰/۲۰ بدترین وضعیت آبی را نسبت به سایر محدوده‌ها به خود اختصاص دادند. میانگین WPI برای کل استان، عدد ۳۴/۴۱ بدست آمد که نشان‌دهنده وضعیت بحرانی آب می‌باشد. میانگین ۵ معیار منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست نیز برای کل استان به ترتیب ۱۹/۴۱، ۳۶/۳۵، ۳۱/۲۳، ۳۸/۰۶ و ۴۷/۰۵ بدست آمدند که با توجه به مقادیر معیارهای مصرف و منابع، مصرف آب، ۱/۹۶ برابر منابع آبی می‌باشد. بنابراین، بهره‌وری بی‌رویه از منابع آبی، مخصوصاً در بخش کشاورزی و عدم توجه به توسعه پایدار و آستانه تاب‌آوری اکوسیستم‌ها به عنوان مهمترین بخش تولید آب، مهم‌ترین اشتباهات استراتژیک مدیریتی مسبب بحران آبی شناخته شدند. لذا، ایجاد توازن بین مصرف آب و منابع آبی، اختصاص بخشی از آب به نیاز آبی اکوسیستم‌ها، استفاده از ظرفیت جامعه علمی در مدیریت منابع آب، کاهش وابستگی اقتصادی به کشاورزی و ... می‌توانند به عنوان نقشه راه مدیریت منابع آبی جهت جلوگیری از بحرانی‌تر شدن شرایط موجود باشند.

کلیدواژه‌ها:

تنش آبی،

توسعه پایدار،

استان خراسان رضوی،

شاخص فقر آب،

منابع آب.

استناد: غلامی، محمد، کاظمزاده، مجید (۱۴۰۴). ارزیابی کمی تنش آبی در استان خراسان رضوی، رهیافتی ترکیبی با استفاده از شاخص فقر آب (WPI). نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۸(۱)، ۴۹-۷۲

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.377111.1766>

© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

از دیرباز تا کنون، زندگی جوامع بشری کاملاً وابسته به آب است، به طوری که تمام تمدن‌های گذشته در نزدیکی منابع آبی ایجاد شده‌اند. این وابستگی به آب در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت بیشتری برخوردار است. این مناطق به دلیل شرایط اقلیمی خاص، دارای بارندگی کمتر و در پی آن ذخیره آبی کمتر در مخازن آب‌های زیرزمینی هستند. چراکه بارش در هر منطقه آب را در حوضه به جریان درآورده و در نهایت آب حاصل از بارش وارد آبخوان‌ها و رودخانه‌ها می‌شود (Eishoei et al., 2021). بهره‌برداری بیش از حد از این ماده حیاتی، موجب کاهش منابع آبی شده و استفاده ناکارآمد از آب در بخش‌های مختلف که ناشی از سیاست‌های نادرست هستند، منجر به کمبود آب در جهان شده است (Prabha et al., 2020). با توجه به اینکه تامین آب کافی و سالم یکی از مهم‌ترین عوامل برای حفظ زندگی انسان و دستیابی به رشد و توسعه پایدار است (Usoh et al., 2023)، لذا راه حل پیشنهادی برای رفع این مشکل، مدیریت پایدار منابع آبی می‌باشد. این موضوع مستلزم استفاده بهینه از منابع آب موجود با در نظر گرفتن در دسترس بودن منابع، قابل اطمینان بودن منابع، الگوی مصرف آب و همچنین مسائل اجتماعی و اقتصادی است (Alqatarneh & Al-Zboon, 2022).

اهمیت موضوع تنش آبی به قدری زیاد است که ششمین هدف از اهداف توسعه پایدار (SDGs¹)، با اشاره مستقیم به تنش آبی، هدف تامین آب آشامیدنی سالم و مقرون به صرفه و همچنین تامین خدمات بهداشتی اولیه، کافی و ایمن برای همه مردم دنیا را تا سال ۲۰۳۰ مدنظر قرار داده است. چراکه کشورهای بیشتری در حال تجربه تنش آبی هستند و افزایش خشکسالی و بیابان‌زایی در حال حاضر این روند را بدتر می‌کند (UNDP, 2024). این افزایش بیابان‌زایی که موجب افزایش تنش آبی می‌شود، طبق تعریف کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی (UNCCD²) از این پدیده، بیشتر در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک جنب مرطوب اتفاق می‌افتد و استان خراسان رضوی به عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک، یکی از مناطق مورد توجه از لحاظ پدیده بیابان‌زایی و خشکسالی می‌باشد. در مطالعه‌ای مشخص شد که حدود ۶۰ درصد مساحت استان در معرض بیابان‌زایی بسیار زیاد است (Pashaei et al., 2017). البته که این مسئله فقط یکی از جنبه‌های موثر بر تنش آبی می‌باشد و تنش آبی از زوایای مختلفی تحت تاثیر می‌باشد. آموزش مناسب و دسترسی به منابع معیشتی مثل آب، پیش‌نیازهای اساسی یک زندگی سالم است و از همین روست که محرومیت از آب نشان دهنده فقر است (Dhawan & Gundimeda, 2024).

با توجه به این که عوامل مختلفی می‌توانند باعث فقر آبی شوند، لذا جهت بررسی ابعاد متفاوت این مسئله مهم، شاخص فقر آب (WPI³) با رویکردی ترکیبی، نشان‌دهنده ابعاد مختلف فقر آب می‌باشد. این شاخص که اولین بار توسط سالیوان⁴ (۲۰۰۲) ارائه شد، از ۵ معیار مهم منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست تشکیل شده است که هر کدام از آن‌ها توسط شاخص‌های مشخصی قابل محاسبه می‌باشند. در زمینه بررسی تنش آبی، تحقیقات بسیاری در دنیا و کشور ایران به انجام رسیده که توانسته‌اند با استفاده از WPI، میزان فقر آب را در محدوده مورد مطالعه خود بدست آورند. به عنوان مثال، هوانگ⁵ و همکاران (۲۰۱۷) روند تغییرات WPI را در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ برای سه حوضه رودخانه کوریدور هکسی⁶، واقع در کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که وضعیت تنش آبی با توجه به افزایش روند WPI، در حوضه رودخانه SYRB که مقادیر WPI آن از ۲۶ در سال ۲۰۰۳ تا ۳۹ در سال ۲۰۱۵، کاهش یافته که تاثیرات مثبت سیاست‌های یکپارچه و طرح‌های تنش آبی در این منطقه را آشکار می‌کند و از این نظر رتبه اول را در بین سه حوضه رودخانه مورد مطالعه در این پژوهش به خود اختصاص داد. روند WPI در دو حوضه دیگر نیز افزایشی بود. لویز-آلوارز⁷ و همکاران (۲۰۲۰) مقدار WPI

1 Sustainable Development Goals

2 United Nations Convention to Combat Desertification

3 water poverty index

4 Sullivan

5 Huang

6 Hexi Corridor

7 Lopez-Alvarez

را برای آبخوان ریو ورد^۱، واقع در منطقه میانی سن لوئیس پوتوسی^۲ برآورد کردند، اشاره نمود. طبق نتایج آن‌ها، مقدار WPI برای منطقه مورد مطالعه ۵۶ بدست آمد که طبق نظر محققان این پژوهش، این عدد منعکس‌کننده تناقضات در مدیریت منابع فراوان آب است. کویرالای^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، با استفاده از ۱۲ شاخص که با توجه به ارتباط محلی و در دسترس بودن داده‌ها برای محاسبه WPI انتخاب شدند، تنش آبی را در ۲۷ ناحیه از حوضه رودخانه کوشی^۴، واقع در کشور نپال^۵ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها وضعیت متوسط رو پایین تنش آبی را با توجه به مقدار ۵۴/۴ شاخص فقر آب، نشان می‌دهد. همچنین طبق نتایج این پژوهش، معیار منبع بیشترین تنش را در بین ۵ معیار WPI به خود اختصاص داد. القترنه و الزبون^۶ (۲۰۲۲)، از WPI به عنوان یک ابزار جهت ارزیابی عملکرد مدیریتی استفاده کردند و مقدار آن را برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار دادند و با توجه به برنامه‌های در حال اجرا جهت مدیریت و بهبود منابع آب، مقدار WPI را برای سال ۲۰۲۵ برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، مقدار WPI برای سال ۲۰۰۲، ۴۶/۴۰ و برای سال ۲۰۱۸، ۵۰/۷ بوده است و در صورت ادامه همین روند مدیریتی، مقدار آن برای سال ۲۰۲۵، ۵۶/۳۸ خواهد شد.

از مطالعاتی که در کشور ایران به انجام رسیده‌اند می‌توان به مطالعه جعفری شلمزاری^۷ و همکاران (۲۰۱۸) اشاره نمود که مقدار WPI را برای شهرستان‌های استان گلستان محاسبه کردند. طبق نتایج آن‌ها، WPI کلی ۴۱.۱ بدست آمد که طبق نظر محققان پژوهش، این عدد نشان‌دهنده یک فقر آب هشداردهنده و جدی در منطقه مورد مطالعه است. سرشتی^۸ و همکاران (۲۰۲۳) مقدار WPI را برای شهرستان‌های استان اصفهان محاسبه کردند چراکه مرزهای سیاسی در کشور ایران به عنوان مرزهای مدیریتی مد نظر قرار دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر این شاخص از حدود ۴۵ تا حدود ۶۸ برای شهرستان‌های این استان متغیر است. رنج‌پور^۹ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شاخص فقر آب، تنش آبی را طی دوره سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۴ در کشور ایران برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند این شاخص طی این بازه زمانی رو به بهتر شدن نهاده است که این گواهی بر روند صعودی کاهش منابع آبی در کشور می‌باشد چراکه یکی از دلایل این روند صعودی شاخص فقر آب در کشور، افزایش معیار مصرف طی سال‌های مورد مطالعه و در پی آن کاهش منابع آبی می‌باشد. همچنین محققین در این پژوهش عنوان کردند که افزایش جمعیت، تولید ناخالص داخلی، شاخص توسعه مورد استفاده و سهم ارزش افزوده در بخش کشاورزی، سبب افت شاخص فقر آب شده است. در پژوهشی دیگر کیانی فیض‌آباد (۲۰۲۳)، جهت سنجش وضعیت آب در حوضه‌های آبریز کشور ایران، اقدام به برآورد شاخص فقر آب برای سال ۱۳۹۵ کردند. طبق نتایج، میانگین این شاخص در کل حوضه‌های آبریز کشور مقدار ۴۳/۷۳ بدست آمد که بر اساس رتبه‌بندی پایداری آبی شاخص فقر آب، حوضه‌های آبریز کویر درانجیر، بلوچستان جنوبی، هامون جازموریان، قره‌سو و گرگان، کل - مهران و بندرعباس - سدیح دارای وضعیت ناپایداری از لحاظ شاخص فقر آب می‌باشند و حوضه‌های آبریز سفیدرود بزرگ، مرزی غرب، دریاچه ارومیه و کارون بزرگ طبق برآوردها و در مقایسه با سایر حوضه‌های آبریز، فاقد تنش آبی بوده و در گروه پایداری کامل آب دسته‌بندی می‌شوند.

هدف این پژوهش نیز با توجه به اهمیت بررسی موضوع کم‌آبی و وجود خشکسالی‌های پی در پی طی سنوات گذشته در استان خراسان رضوی به عنوان منطقه‌ای که به دلایل مختلف دچار تنش آبی می‌باشد، برآورد و ارزیابی کمی شاخص فقر آبی WPI برای محدوده‌های مشخص است. به همین جهت مقدار WPI شامل ۵ معیار منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست در استان خراسان رضوی برای ۲۲ محدوده مطالعاتی که برخی شامل یک شهرستان و برخی به دلیل نبود اطلاعات به تفکیک هر شهرستان، شامل ۱، ۲، ۳ و یا ۴

1 RVA

2 San Luis Potosi

3 Koirala

4 Koshi

5 Nepal

6 Alqatarneh & Al-Zboon

7 Jafari Shalamzari

8 Sereshti

9 Ranjpour

۲-۲. اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش با توجه به شاخص‌های انتخاب شده برای برآورد ۵ معیار WPI، از سه سازمان دولتی شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، مرکز آمار ایران و جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه شاخص فقر آب

مقدار بارندگی سالانه	۱۴۰۰-۱۴۰۱ (سال آبی)	
کل منابع آب	۱۴۰۰-۱۴۰۱ (سال آبی)	شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی
مقدار آب مصرف شده در بخش خدمات، صنعت و خانگی	۱۴۰۰-۱۴۰۱ (سال آبی)	
کل جمعیت	۱۴۰۰	
تعداد انشعابات آب	۱۴۰۰	مرکز آمار ایران
تعداد مراکز مراقبت‌های بهداشتی اولیه	۱۴۰۰	
تعداد افراد در حال تحصیل در تمام مقاطع تحصیلی	۱۴۰۰-۱۴۰۱ (سال تحصیلی)	
مساحت کل زمین‌های قابل کشت (آبی و دیم)	۱۴۰۰	جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی
مساحت کل زمین‌های کشت آبی	۱۴۰۰	
Landsat 8, Level 2, Collection 2	۱۴۰۱	تصاویر ماهواره‌ای (پایگاه داده USGS)

۲-۳. محاسبه شاخص فقر آب

WPI به عنوان یک ابزار ترکیبی از عوامل تاثیرگذار بر وضعیت آب، میزان تنش آبی در یک منطقه مشخص را به صورت کمی محاسبه می‌کند و بر این فرض استوار است که ترکیبی از متغیرهای مرتبط، می‌تواند چشم‌انداز کامل‌تری را در یک موقعیت مشخص نسبت به خود ارائه دهد (Lopez-Alvarez et al., 2020). WPI، توسط سالیوان^۱ و همکاران (۲۰۰۲) ارائه شده و از ۵ معیار مهم شامل منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست تشکیل شده است (جدول ۲) که جهت محاسبه هر کدام از آن‌ها و در نهایت WPI، انتخاب شاخص‌های مناسبی که تنش آب را نشان می‌دهند، بسیار مهم است (Koirala et al., 2020). این شاخص‌ها، باید از دقت کافی برخوردار باشند؛ باید برای تمام محدوده‌های مورد مطالعه به صورت کامل و بدون نقص موجود باشند؛ باید روند تهیه آن‌ها یکسان باشد و یا به عبارتی سازگاری داشته باشند؛ باید اطلاعات آن‌ها نزدیک به زمان مطالعه باشد تا بازتاب وضعیت فعلی باشند؛ و در نهایت باید به گونه‌ای انتخاب شوند که قابل درک باشند (Sereshti et al., 2023). WPI، به عنوان رویکردی جامع و در عین حال ساده برای اندازه‌گیری تنش آبی، تنوع فضایی قابل توجهی را بین پنج معیار آن که ساختار متفاوتی با یکدیگر دارند، برجسته می‌کند (Dhawan & Gundimedda, 2024).

جدول ۲. تعریف معیارهای شاخص فقر آب (Sullivan et al., 2003)

منابع	در دسترس بودن فیزیکی آبهای سطحی و زیرزمینی، با در نظر گرفتن تنوع و کیفیت و همچنین مقدار کل آب
دسترسی	دسترسی به آب برای استفاده‌های مختلف انسان
ظرفیت	اثربخشی توانایی مردم در مدیریت آب
مصرف	میزان استفاده از آب در مصارف مختلف شامل مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی
محیط زیست	ارزیابی یکپارچگی محیط زیستی مرتبط با آب، کالاها و خدمات اکوسیستمی در زیستگاه‌های آبی منطقه

شاخص فقر آب براساس ۵ معیار اشاره شده، از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در این رابطه، WPI شاخص فقر آب را نشان می‌دهد

و R, A, C, U و E به ترتیب نشان‌دهنده معیارهای منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست می‌باشند. W_U, W_C, W_A, W_R و W_E نیز به ترتیب نشان‌دهنده وزن هر یک از این معیارها هستند. مقادیر هر یک از معیارها نیز مشابه همین رابطه محاسبه می‌شوند و در نهایت پس از وزن‌دهی به هر معیار، با جایگذاری این مقادیر در رابطه شماره (۱)، مقدار WPI بدست می‌آید. در شاخص‌های ترکیبی، انتخاب وزن‌ها با هدف انعکاس اهمیت نسبی داده شده به متغیرهای تشکیل‌دهنده شاخص است (Garriga & Foguet, 2010) که روش‌هایی همچون AHP و ANP بر اساس نظر متخصصان (Zare-Bidaki et al., 2023) و روش‌های دیگری همچون آنتروپی بر اساس ویژگی‌های آماری (Shen et al., 2023) برای این کار استفاده می‌شوند. با این حال، اغلب از وزن مساوی استفاده می‌شود و استدلال اصلی برای آن، بر این فرض استوار است که مکانیسم عینی برای ارزیابی اهمیت نسبی جنبه‌های مختلف موجود در ساختار شاخص‌ها وجود ندارد (Garriga & Foguet, 2010). بنابراین، در پژوهش حاضر از وزن‌های برابر جهت وزن‌دهی به شاخص‌ها و معیارها استفاده شد و بر همین اساس، WPI از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Qiang et al., 2008) و در واقع عددی بین ۰ تا ۱۰۰ است که در آن امتیاز پایین نشان‌دهنده فقر آب و امتیاز بالا نشان‌دهنده تامین خوب آب است (Jaren & Mondal, 2021).

$$WPI = \frac{(W_R \cdot R) + (W_A \cdot A) + (W_C \cdot C) + (W_U \cdot U) + (W_E \cdot E) + (W_Q \cdot Q)}{W_R + W_A + W_C + W_U + W_E + W_Q} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$WPI = \frac{R + A + C + U + E + Q}{5} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مهم‌ترین و اصلی‌ترین معیار در برآورد WPI ، معیار منابع باشد. این امر با توجه به منطقه مورد مطالعه در این پژوهش از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ چراکه همان‌طور که اشاره شد استان خراسان رضوی واقع در شمال شرقی کشور، جزو مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد که در سال‌های گذشته به سبب فعالیت‌های اقتصادی مخصوصاً کشاورزی، دچار کمبود قابل توجه ذخایر منابع آب زیرزمینی در بلند مدت نسبت به سایر استان‌ها شده است. همچنین میانگین ۳۰ ساله بارندگی تا سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ حدود ۱۹۶ میلی‌متر و ضریب تغییرات آن ۰/۲۸ می‌باشد. در این مطالعه برای برآورد معیار منابع، از سه شاخص مقدار بارندگی سالانه (Heidecke, 2006)، سرانه کل منابع آب (Huang et al., 2018; Jafari Shalamzari & Zhang, 2017) و ضریب تغییرات بارندگی (در یک دوره ۳۰ ساله) (Koirala et al., 2020) استفاده شد. طبق گزارش $UNEP$ ، ضریب تغییرات بارندگی بیش‌تر از ۳۰ درصد، نشان‌دهنده آسیب‌پذیری سیستم منابع آبی است (Babel & Wahid, 2009) که با توجه به این مطلب، به عنوان یک شاخص منفی در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که اشاره شد معیار دسترسی، میزان دسترسی جمعیت به منابع آبی برای مقاصد مختلف همچون شرب، بهداشت و کشاورزی می‌باشد. لذا در این مطالعه با توجه به اطلاعات موجود جهت بررسی دسترسی مردم به آب برای استفاده‌های شرب و بهداشتی، سرانه تعداد انشعابات آب (Kiani Feyzabad et al., 2023) به عنوان یک شاخص مهم جهت ارزیابی این موضوع انتخاب شد. همچنین، دسترسی زمین‌های کشاورزی به آب (Yazdi et al., 2021) به عنوان یک شاخص منفی جهت ارزیابی معیار دسترسی در بخش کشاورزی انتخاب شد. معیار ظرفیت نیز که به عنوان توانایی جامعه انسانی در مدیریت منابع آب شناخته می‌شود، می‌تواند از طیف وسیعی از شاخص‌ها ایجاد شود. با توجه به اطلاعات موجود و ضرورت ذکر شده در متن در خصوص انتخاب شاخص‌های مناسب، دسترسی به مراکز بهداشتی اولیه (Jafari Shalamzari & Zhang, 2018; SERESHTI et al., 2024) و همچنین درصد افراد در حال تحصیل (Alqatarnah & Al-Zboon, 2022) به عنوان دو شاخص جهت ارزیابی این معیار در نظر گرفته شد. برای محاسبه معیار مصرف، از ۵ شاخص مصرف آب در بخش‌های خدمات، صنعت، خانگی (شرب و بهداشت)، کشاورزی (Sullivan et al., 2003) استفاده شد. بیشترین مصرف آب در تمام شهرستان‌های استان، با اختلاف قابل توجهی در بخش کشاورزی اتفاق می‌افتد. بر اساس آمار ارائه شده در سیمای آب استان خراسان رضوی منتشر شده توسط شرکت آب منطقه‌ای این استان، از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱، بیش از ۸۰ درصد مصارف آب، مربوط به بخش کشاورزی بوده است که به طور میانگین بیش از ۸۷ درصد این مقدار، از ذخایر آب‌های زیرزمینی تامین

شده است. یکی از شاخص‌های برآورد معیار محیط زیست، پوشش گیاهی می‌باشد. مطالعات قبلی از شاخص‌های پوشش گیاهی همچون SAVI و NDVI، به عنوان یک شاخص برای برآورد معیار محیط زیست استفاده کرده‌اند (López-Álvarez et al., 2019; Lopez-Alvarez et al., 2020). با توجه به این که استان خراسان رضوی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و تراکم پوشش گیاهی در آن کم است، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده^۱ (NDVI) از کارایی کم‌تری در بازتاب پوشش گیاهی برخوردار می‌باشد. نتایج مطالعه غلامی و اکبری (۲۰۲۴) که باهدف بررسی کارایی شاخص‌های پوشش گیاهی در استان خراسان رضوی انجام شد، نشان داد که دو شاخص پوشش گیاهی شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک^۲ (SAVI) و نسخه اصلاح‌شده شاخص گیاهی تعدیل شده با خاک^۳ (MSAVI2) بیش‌ترین کارایی را در آشکارسازی پوشش گیاهی در این استان دارند. لذا در این مطالعه از شاخص SAVI به عنوان یک شاخص جهت ارزیابی معیار محیط زیست استفاده شد. برای این کار از تصاویر لندست ۸ با وضوح مکانی ۳۰ متر استفاده شد و در سامانه گوگل ارث انجین^۴ (GEE)، برای هر محدوده مطالعاتی در پژوهش حاضر مقدار SAVI با استفاده از این تصاویر محاسبه و سپس برای استفاده جهت برآورد معیار، به صورت میانگینی از ارزش SAVI تمام پیکسل‌ها محاسبه شد. لازم به ذکر است که این نحوه استفاده از شاخص SAVI برای برآورد معیار محیط زیست در پژوهش حاضر، مطابق روش مطالعات قبلی در دنیا نیست و برای اولین در این مطالعه صورت گرفته که به طور قابل توجهی کار ارزیابی معیار از این طریق، سریع‌تر، راحت‌تر و البته به طور قابل قبولی انجام شد. شاخص دیگری که جهت ارزیابی این معیار استفاده شد، شاخص شوری آب بود که از طریق بررسی هدایت الکتریکی^۵ (EC) محاسبه شد. شوری مخصوصا در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی کم و برداشت از آب‌های زیرزمینی بیشتر است، بیشتر اتفاق می‌افتد و به عنوان یک شاخص منفی در نظر گرفته می‌شود. جدول ۳، نحوه محاسبه هر کدام از این شاخص‌ها را نشان داده است.

جدول ۳. نحوه محاسبه شاخص‌های مورد استفاده برای برآورد هر معیار شاخص فقر آب

پارامترهای مورد استفاده در محاسبات	روابط	زیرمؤلفه‌ها	مؤلفه‌ها
مقدار بارندگی سالانه (mm) : a کل جمعیت : b کل منابع آب (m ³) : c تعداد انشعابات آب : d	a	(+) بارندگی سالانه : R ₁	منابع
	c/b	(+) سرانه کل منابع آب : R ₂	
	STDV/mean	(-) ضریب تغییرات بارندگی (دوره ۳۰ ساله) : R ₃	
مساحت کل زمین‌های قابل کشت (Hectare) : e تعداد مراکز بهداشتی اولیه : f افراد در حال تحصیل در تمام مقاطع تحصیلی : g مقدار آب مصرف شده در بخش خدمات (m ³) : h مقدار آب مصرف شده در بخش صنعت (m ³) : i مقدار آب مصرف شده در بخش خانگی (m ³) : j مساحت زمین‌های کشت آبی (Hectare) : k	d/b	(+) سرانه تعداد انشعابات آب : A ₁	دسترسی
	e/c	(-) دسترسی بخش کشاورزی به آب : A ₂	
f/b (g/b) × 100	f/b	(+) دسترسی به مراکز بهداشتی : C ₁	ظرفیت
	(g/b) × 100	(+) درصد جمعیت افراد در حال تحصیل : C ₂	
	h/b	(+) سرانه آب در بخش خدمات : U ₁	مصرف
	i/b	(+) سرانه آب در بخش صنعتی : U ₂	
j/b	(+) سرانه آب در بخش خانگی : U ₃		
(k/e) × 100	(+) مصرف آب در بخش کشاورزی : U ₄		
SAVI EC	SAVI	(+) پوشش گیاهی : E ₁	محیط زیست
	EC	(-) شوری آب : E ₂	

جدول ۴، تمام پارامترهای مورد استفاده در روابط در جدول ۳ به آن‌ها اشاره شده را در خود جای داده است.

1 Normalized difference vegetation index

2 Soil-Adjusted Vegetation Index

3 Modified Soil Adjusted Vegetation Index

4 Google Earth Engine

5 Electrical Conductivity

جدول ۴. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در روابط (مطابق جدول ۳) برای تمام محدوده‌های مطالعاتی

درگز	بجستان	فوجان	تربت جام، فریمان	سرخس	نیشابور، فیروزه، زیرخان	گناباد	سبزوار	بردسکن	مشهد، چاران، طرقبه-شاندیز، گلبهار	خواف	مساحت (Hectare)
۳۷۶۶۳/۳۶	۳۷۲۰۲/۲	۳۸۴۷۹۳/۹	۸۳۲۲۵۱/۹۷	۵۳۶۸۹/۱	۸۳۶۳۳۹/۸۶	۵۷۸۸۹۰	۷۱۰۰۰/۸۵	۷۱۲۵۷۱/۲	۱۳۴۰۵۴۷/۱	۹۸۲۶۹/۱	
۲۸۵	۹۴	۲۵۱	۱۵۰	۱۴۹	۱۷۵	۱۵۱	۱۳۰	۷۱	۲۲۳	۱۴۹	a
۸۳۴۰۰۰۰	۳۴۵۰۰۰۰	۹۷۶۰۰۰۰	۲۱۸۹۰۰۰۰	۶۳۰۰۰۰۰	۳۶۲۶۰۰۰۰	۴۷۷۰۰۰۰۰	۸۷۷۰۰۰۰۰	۵۳۳۰۰۰۰۰	۴۴۲۵۰۰۰۰	۶۱۷۰۰۰۰۰	c
۱۳۰۳۷	۳۲۶۳۹	۱۷۵۷۰۳	۳۴۱۹۴۹	۱۰۶۶۱۰	۵۱۶۴۱۱	۹۷۰۲۸	۲۹۹۸۴۰	۸۰۴۵۵	۳۸۹۳۶۸۰	۱۵۲۰۱۵	b
۲۰۷۵۷/۸۲	۸۳۵۸/۳۷	۴۵۲۶۲/۴	۷۷۰۵۶/۱۵	۱۶۴۴۲	۱۰۱۷۳۹/۵۸	۲۱۹۲۶/۳۴	۳۳۱۶۱/۶	۲۴۶۶۸/۹۳	۱۲۷۳۳۳/۱۸	۱۸۵۵۷/۰۲	e
۳۳۷۵۶	۱۰۵۱۳	۵۱۶۰۴	۸۰۸۱۴	۱۹۳۰۹	۱۵۸۹۸۶	۳۳۰۰۹	۱۱۴۲۴۴	۲۴۶۱۴	۱۱۳۸۸۳۱	۳۹۱۳۲	d
۶۲	۳۴	۱۳۲	۱۷۵	۶۶	۳۰۰	۵۷	۸۲	۵۰	۶۵۶	۷۴	f
۱۴۷۲۵	۶۳۶۰	۴۱۶۸۶	۷۹۴۳۳	۲۲۲۵۲	۱۱۵۷۱۱	۲۶۳۰۸	۱۳۵۶۷	۱۵۸۹۲	۸۶۶۸۸۰	۳۹۱۱۳	g
۳۴۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۹۴۰۰۰۰۰	۱۱۵۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰۰	۹۴۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰	۶۷۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۶۰۷۰۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰۰	h
۳۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰۰	۹۶۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۳۷۴۰۰۰۰۰	۳۹۰۰۰۰۰	i
۸۹۰۰۰۰۰	۳۷۰۰۰۰۰	۱۴۵۰۰۰۰	۳۳۹۰۰۰۰	۸۲۰۰۰۰۰	۶۱۸۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰	۳۲۱۰۰۰۰۰	۸۵۰۰۰۰۰	۳۳۱۱۰۰۰۰۰	۱۳۳۰۰۰۰۰	j
۱۵۹۷۵/۳۲	۸۳۳۲/۳۷	۳۳۵۰۹/۴	۶۸۶۲۸/۱۵	۱۵۹۴۲	۹۳۸۰۷/۵۸	۱۹۹۶۹/۳۹	۲۹۳۰۶/۶	۲۴۶۳۰/۹۳	۱۱۲۲۱۰/۱۸	۱۷۸۹۱/۰۲	k
۲۸۷/۸۷	۱۴۶/۱	۲۳۳/۸۲	۱۸۷/۹۹	۲۰۵/۷۱	۲۴۶/۰۱	۱۶۹/۹۸	۱۶۶/۵۳	۱۵۵/۴	۲۶۱/۴۱	۱۵۶/۴	میانگین بارندگی (mean)
۷۹/۸۷	۵۷/۴۷	۶۸/۸۶	۵۸/۹۲	۶۶/۷۶	۷۸/۳۳	۶۲/۷۸	۶۰/۳۱	۶۳/۵۴	۶۷/۳۲	۵۹/۵	انحراف معیار بارندگی (STD)
۲۱۰۴	۹۸۰۱	۱۷۷۴	۴۳۷۲/۵	۷۲۸۰	۸۳۲۶/۵	۶۵۹۴/۵	۸۶۰۵	۸۰۶/۵	۴۰۴۳/۵	۲۳۳۵	EC
۰/۱۵۶	۰/۰۲۳	۰/۱۴۲	۰/۱۰۷	۰/۰۹۳	۰/۱۱۶	۰/۰۷۹	۰/۰۷۴	۰/۰۶۴	۰/۱۱۶	۰/۰۸۵	SAVI

ادامه جدول ۴

بخارز	چوین، خوشاب، چغتای	کاشمر، کوهسرخ، خلیل آباد	داورزن	ششمند	تایباد	صالح آباد	مه ولات	کلات	رشتخوار	تربت حیدریه، زاوه	مساحت (هکتار)
۱۶۹۳۳۳	۵۱۱۷۸۴/۸۷	۴۴۷۲۵۰/۸۱	۲۴۲۰۳۱/۴	۳۰۵۳۵۷/۴	۳۱۲۴۸۷/۵۸	۳۱۸۳۱۴/۳۸	۳۳۱۶۴۳/۵۶	۳۵۰۲۸۱/۰۲	۳۵۹۷۵۴/۰۵	۶۲۵۶۴۹/۹۳	a
۱۴۵	۱۶۵	۸۴	۹۳	۱۳۳	۱۴۳	۱۸۲	۶۸	۲۱۸	۱۲۶	۱۷۱	c
۳۳۱۰۰۰۰۰	۲۲۵۵۰۰۰۰	۵۱۸۰۰۰۰۰	۳۱۳۰۰۰۰۰	۴۷۳۰۰۰۰۰	۹۹۰۰۰۰۰۰	۲۸۴۰۰۰۰۰	۳۳۷۰۰۰۰۰	۳۳۱۱۰۰۰۰۰	۵۲۱۰۰۰۰۰۰	۸۹۱۰۰۰۰۰۰	b
۴۹۹۵۴	۱۴۲۵۶۹	۳۳۷۰۶۵	۳۳۵۰۵	۳۳۴۱۰	۱۳۵۱۴۱	۴۴۲۰۴	۵۵۱۵۸	۲۶۱۹۷	۶۳۷۳۲	۳۰۷۹۴۱	e
۱۱۰۲۰/۵۵	۸۸۸۴۳/۹۱	۴۸۶۲۷/۱۱	۱۵۰۵۸/۱۹	۸۰۰۳۹/۸	۴۷۶۰۰/۸	۱۰۳۳۲	۳۰۴۸۵	۵۶۰۲/۴۶	۳۰۰۲۰/۵	۵۷۸۱۴/۳۷	d
۸۷۳۰	۳۶۸۸۱	۷۱۳۵۸	۶۶۶۸	۳۴۱۳	۳۳۶۹۸	۵۸۱۶	۱۵۰۰۵	۸۴۹۸	۱۳۲۹۲	۸۵۸۴۱	f
۴۴	۱۳۳	۱۱۳	۲۴	۳۴	۵۱	۴۱	۳۳	۲۸	۵۰	۱۷۳	g
۱۱۵۲۰	۲۹۹۸۳	۴۹۷۷۷	۳۰۴۵	۴۷۵۳	۳۳۴۴۱	۱۰۲۶۴	۱۰۵۵۵	۸۱۴۹	۱۳۱۵۶	۷۰۷۳۷	h
۱۶۰۰۰۰۰	۲۹۰۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۱۷۰۰۰۰۰	۴۳۰۰۰۰۰	۱۷۰۰۰۰۰	۱۸۹۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰	۵۲۰۰۰۰۰	i
۴۰۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۰	۶۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۰	۲۲۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	j
۶۰۰۰۰۰۰	۱۸۰۰۰۰۰۰	۲۶۳۰۰۰۰۰	۵۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۲۴۰۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰۰	۹۴۰۰۰۰۰	۲۰۲۰۰۰۰۰	k
۶۸۷۰/۱۵	۷۵۶۸۷/۸۱	۳۴۵۳۶/۶۱	۱۵۰۱۱/۱۹	۱۲۰۰۵/۸	۴۳۰۳۰/۸	۵۸۷/۵	۳۰۴۵۰	۴۰۵۶/۴۶	۳۰۰۰۰/۵	۵۳۱۶۴/۳۲	(mean)
۱۹۶/۱۵	۱۹۹/۷	۱۵۹/۹۳	۱۵۸/۰۱	۱۸۴/۳۳	۱۶۶/۹۶	۳۱۵/۵	۱۲۶/۲	۲۴۸/۵	۱۷۹/۷۶	۲۴۱/۸۳	(STDV)
۶۰/۴۶	۵۴/۳۶	۶۳/۳۹	۴۸/۶۷	۶۲/۵۵	۵۴/۳	۶۱/۰۹	۵۶/۰۵	۷۳/۱۸	۶۳/۶۷	۸۰/۱۸	EC
۱۳۳۳/۵	۶۰۶۱	۱۱۲۰۸/۵	۷۲۵۰	۷۷۶۳/۵	۴۹۵۸	۱۸۰۹/۵	۱۰۴۱۵/۵	۴۴۷۵/۸۳	۳۸۷۵/۵	۱۸۲۵	SAVI
۰/۱۱۲	۰/۱۰۷	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۰۶	۰/۱۲۱	۰/۰۹۵	۰/۰۸۲	۰/۱۱۸	۰/۱۰۲	۰/۱۰۵	

پس از محاسبه شاخص‌ها با توجه به اینکه هر کدام از آنها واحدهای متفاوتی دارند، نیاز است به حالت استاندارد تبدیل شده و بعد از آن برای محاسبه WPI مورد استفاده قرار بگیرند. برای این منظور از دو رابطه (۳) و (۴) استفاده می‌شود تا به حالت استاندارد تبدیل شوند که در آن‌ها X_i و N_i به ترتیب مقادیر کمی هر شاخص قبل و بعد از استانداردسازی هستند. $X_{j(max)}$ و $X_{j(min)}$ نیز به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شاخص مربوطه می‌باشند. با توجه به تفاوت شاخص‌ها از نظر اثربخشی مثبت و منفی، از رابطه (۳) برای استانداردسازی شاخص‌های مثبت و رابطه (۴) برای استانداردسازی شاخص‌های منفی استفاده می‌شود. برای این که مقادیر بین ۰ تا ۱۰۰ بدست آیند بعد از فرآیند استانداردسازی، در عدد ۱۰۰ ضرب می‌شوند.

$$N_i = \frac{X_i - X_{i(min)}}{X_{i(max)} - X_{i(min)}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$N_i = \frac{X_{i(max)} - X_i}{X_{i(max)} - X_{i(min)}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

با توجه به نتایج WPI و بر اساس جدول ۵، وضعیت شاخص فقر آب در تمام محدوده‌های مورد مطالعه در ۵ کلاس عدم امنیت آبی، امنیت کم آبی، امنیت متوسط آبی، امنیت بالای آبی و امنیت کامل آبی طبقه‌بندی شدند. با وجود اینکه این روش طبقه‌بندی، تأثیر معنای فیزیکی بر شاخص‌ها را در نظر نمی‌گیرد، اما به دلیل آسانی کار با آن، به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (Qiang et al., 2008). میانگین و انحراف معیار WPI که برای طبقه‌بندی محدوده‌های مورد مطالعه در این پژوهش مورد نیاز هستند، به ترتیب ۳۴/۴۱ و ۸/۰۶ بدست آمدند.

جدول ۵. طبقه‌بندی شاخص فقر آب برای محدوده‌های مطالعاتی در این پژوهش

شماره	کلاس	محدوده هر کلاس برای این مطالعه	روابط مربوطه جهت طبقه‌بندی
۱	عدم امنیت آبی	$WPI < 26.35$	$WPI < \bar{WPI} - \sigma$
۲	امنیت کم آبی	$26.35 \leq WPI < 30.38$	$WPI - \sigma \leq WPI < WPI - 0.5\sigma$
۳	امنیت متوسط آبی	$30.38 \leq WPI < 38.45$	$\bar{WPI} - 0.5\sigma \leq WPI < \bar{WPI} + 0.5\sigma$
۴	امنیت بالای آبی	$38.45 \leq WPI < 42.48$	$\bar{WPI} + 0.5\sigma \leq WPI < \bar{WPI} + \sigma$
۵	امنیت کامل آبی	$WPI \geq 42.48$	$WPI \geq \bar{WPI} + \sigma$

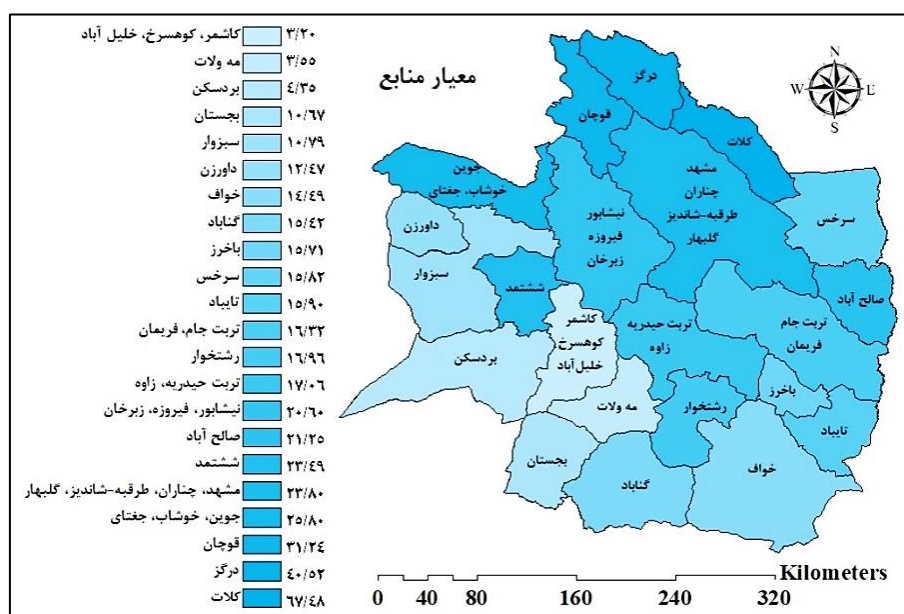
۳. یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، ۵ معیار منابع، دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست، با استفاده از ۱۳ شاخص که با توجه به جامع و کامل بودن و همچنین بروز بودن اطلاعات انتخاب شدند، محاسبه شده و در نهایت با توجه به این ۵ معیار، WPI جهت ارزیابی تنش آبی در استان خراسان رضوی به تفکیک ۲۲ محدوده مطالعاتی که در شکل (۱) مشخص شده‌اند، برآورد شد. همان‌طور که اشاره شد، انتخاب این محدوده‌های مطالعاتی با توجه مشترک بودن اطلاعات برای بعضی از شهرستان‌ها تعیین شدند.

۳-۱. تحلیل معیار منابع

میانگین معیار منابع برای کل استان خراسان رضوی ۱۹/۴۱ بدست آمد که در این میان محدوده مطالعاتی کلات با امتیاز ۶۷/۴۸ بیشترین امتیاز و محدوده مطالعاتی کاشمر، کوهسرخ و خلیل‌آباد با امتیاز ۳/۲ کمترین امتیاز را به خودشان اختصاص دادند. لازم به ذکر است که فقط ۴ محدوده مطالعاتی امتیازی بیشتر از ۲۵ را در معیار منابع به خود اختصاص دادند که همگی در قسمت‌های شمال و شمال شرقی

استان واقع شده‌اند و شامل محدوده‌های مطالعاتی کلات، درگز، قوچان و محدوده مطالعاتی جوین، خوشاب و جغتای می‌باشند. این امتیازات، نشان‌دهنده وضعیت نه چندان مناسب منابع آب در استان خراسان رضوی می‌باشد. شکل ۲، پراکنش مکانی این معیار را در تمام محدوده‌های مورد مطالعه در استان نشان می‌دهد. نکته مهم قابل اشاره در مورد معیار منابع این است که در شهرستان‌های جنوبی استان به دلیل بارندگی کم، استفاده از منابع آبی زیرزمینی مخصوصاً برای مصارف کشاورزی بیشتر می‌باشد و همین امر به مرور باعث تخلیه بیشتر این منابع آبی نسبت به مناطق مرتفع‌تر در شمال استان که بارندگی وضعیت بهتری دارد شده است. در نتیجه در این مناطق، مصرف نامناسب و نامتعادل و بیش از حد منابع آب‌های زیرزمینی، فرآیندهای بیابان‌زایی نیز تسریع شده و در صورت ادامه این شرایط، ادامه‌دار خواهد بود.



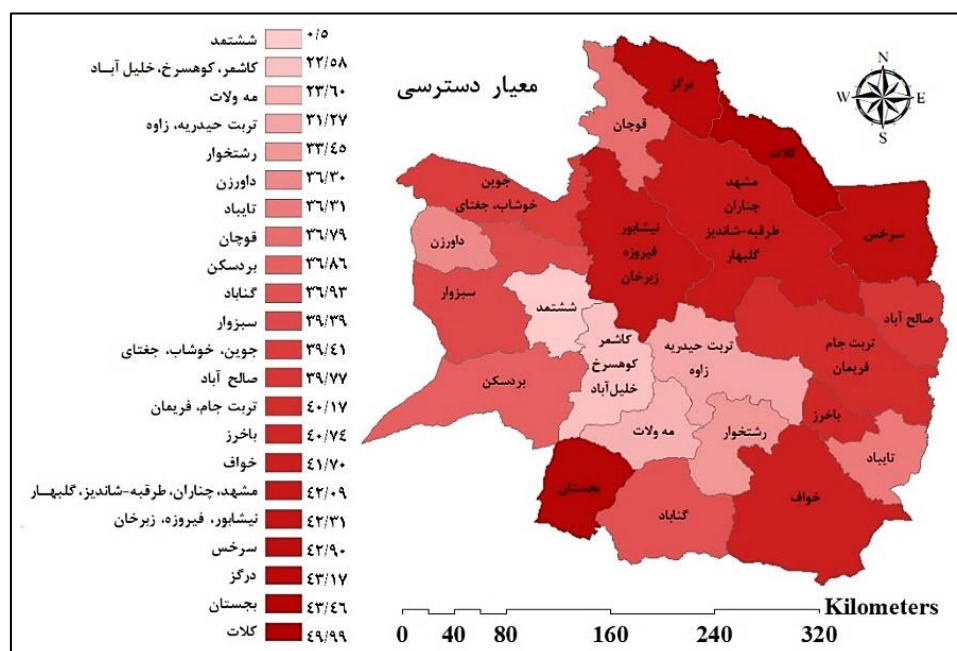
شکل ۲. پراکنش مکانی معیار منابع در محدوده‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

شاخص‌های مورد استفاده برای برآورد این معیار شامل بارندگی سالانه، سرانه کل منابع آب و ضریب تغییرات بارندگی در یک دوره ۳۰ ساله بودند. متوسط بارندگی برای کل استان خراسان رضوی ۱۵۳ میلی‌متر بود که محدوده‌های مطالعاتی مه‌ولات، بردسکن، کاشمر؛ کوهسرخ؛ خلیل‌آباد، داورزن و بجستان با بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر، کمترین امتیازها و محدوده‌های مطالعاتی کلات، مشهد؛ چناران؛ طرقبه-شاندیز و گلپهار، قوچان و درگز با بارندگی بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر، بیشترین امتیازها را در رابطه با این شاخص در بین تمام محدوده‌های مورد مطالعه، به خود اختصاص دادند. این موضوع نشان‌دهنده افزایش بارندگی‌ها از سمت جنوب استان به سمت شمال آن است. سرانه منابع آب برحسب مترمکعب به ازای هر نفر در محدوده‌های مطالعاتی مشهد؛ چناران؛ طرقبه-شاندیز و گلپهار، کاشمر؛ کوهسرخ؛ خلیل‌آباد، تربت حیدریه، زاوه و محدوده مطالعاتی سبزوار با سرانه کمتر از ۳۰۰، کمترین امتیازها و محدوده مطالعاتی بجستان، درگز، داورزن، جوین؛ خوشاب؛ جغتای، ششتمد و کلات با سرانه بیشتر از ۱۰۰۰، بیشترین امتیاز را در رابطه با این شاخص به خود اختصاص دادند که در این میان محدوده مطالعاتی کلات با سرانه ۶۳۸۴، اختلاف قابل توجهی با سایر محدوده‌ها داشت. همچنین شاخص ضریب تغییرات بارندگی برای هیچ محدوده‌ای کمتر از ۲۵ درصد برآورد نشد ضمن اینکه از ۲۲ محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، ضریب تغییرات بارندگی در ۱۵ محدوده مطالعاتی بیش از ۳۰ درصد برآورد شده که از بین آن‌ها دو محدوده بردسکن و مه‌ولات با ضریب

تغییرات بیش از ۴۰ درصد، کمترین امتیاز را در رابطه با این شاخص از آن خود کردند. این موضوع که نشان‌دهنده تغییرات زیاد بارندگی طی سال‌های متمادی می‌باشد، یکی از ویژگی‌های مناطق خشک و بیابانی است که نتایج این پژوهش نیز آن را تایید می‌کند. چراکه روند ضریب تغییرات از جنوب به سمت شمال استان که از اقلیم بیابانی کاسته می‌شود، نزولی است. بنابراین طبق این توضیحات، قسمت‌های شمالی استان نسبت به قسمت‌های جنوبی از نظر معیار منابع از وضعیت مطلوب‌تری برخوردارند.

۳-۲. تحلیل معیار دسترسی

میانگین معیار دسترسی، برای کل استان خراسان رضوی ۳۶/۳۵ بدست آمد که محدوده مطالعاتی کلات، با امتیاز ۴۹/۹۹ بیشترین امتیاز و محدوده مطالعاتی ششتمد با امتیاز ۰/۵ کمترین امتیاز را دریافت کردند. در این معیار تنها ۳ محدوده مطالعاتی امتیازی کمتر از ۲۵ را به خود اختصاص دادند که نشان‌دهنده وجود حداقل زیرساخت‌های لازم جهت استفاده‌های شرب و بهداشت و کشاورزی در اکثر مناطق می‌باشد. شکل ۳، پراکنش مکانی این معیار را در تمام محدوده‌های مورد مطالعه در استان نشان می‌دهد.



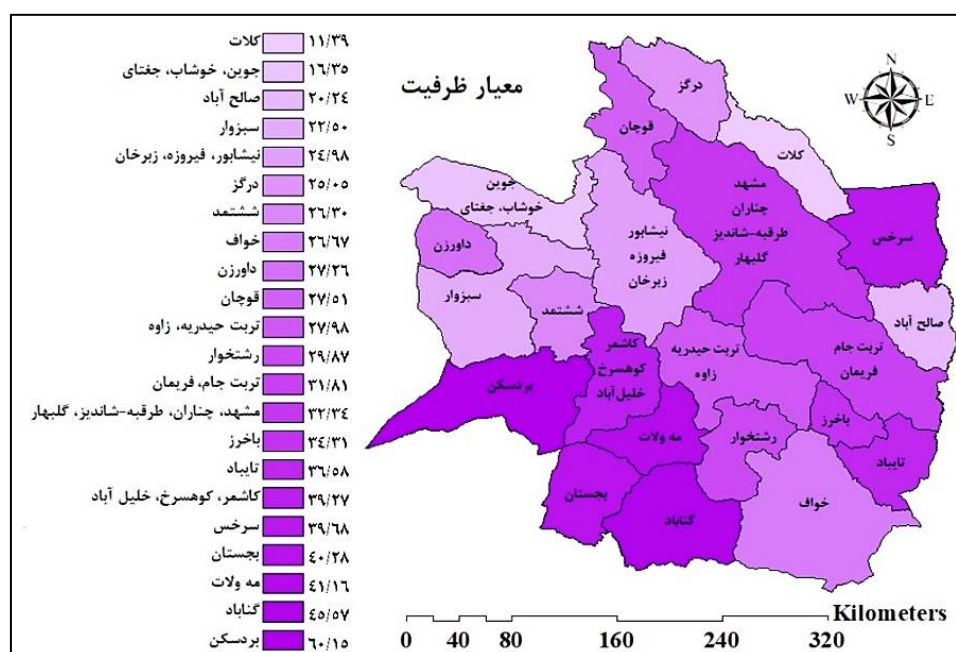
شکل ۳. پراکنش مکانی معیار دسترسی در محدوده‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

شاخص‌های مورد استفاده برای برآورد این معیار، شامل سرانه تعداد انشعابات آب و دسترسی بخش کشاورزی به آب می‌باشند. نتایج بررسی شاخص سرانه تعداد انشعابات آب نشان داد که در استان خراسان رضوی به ازای هر ۱۰۰ نفر به طور متوسط ۲۵ انشعاب آب وجود دارد که محدوده‌های مطالعاتی سبزوار و گناباد با سرانه بیشتر از ۳۵ به ازای هر ۱۰۰ نفر، بیشترین امتیاز و محدوده‌های مطالعاتی رشتخوار، سرخس، باخروز، صالح‌آباد و ششتمد با سرانه کمتر از ۲۰ به ازای هر ۱۰۰ نفر، کمترین امتیاز را از این شاخص دریافت کردند. در مورد شاخص دسترسی بخش کشاورزی به آب نیز که بر اساس آب اختصاص یافته به سطح زیر کشت محاسبه شد که مقادیر بیشتر آن نشان‌دهنده وضعیت نامناسب زمین‌های کشاورزی از لحاظ دسترسی به آب می‌باشد و برعکس مقادیر کمتر آن نشان‌دهنده وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر محدوده‌ها می‌باشد. محدوده‌های مطالعاتی مشهد؛ چناران؛ طرقبه-شاندیز؛ گلپهار، نیشابور؛ فیروزه؛ زبرخان، سرخس، درگز، بجستان و کلات، برای مساحت‌ها کمتر مساوی ۳۰۰ هکتار، به ۱ میلیون متر مکعب آب دسترسی دارند که در این بین

شهرستان کلات با اختلاف قابل توجهی نسبت به سایر محدوده‌های مطالعاتی، برای هر ۲۴ هکتار، به ۱ میلیون متر مکعب آب دسترسی دارد که بیشترین امتیاز این شاخص را از آن خود کردند. محدوده‌های مطالعاتی تربت حیدریه؛ زاوه، مه‌ولات، کاشمر؛ کوهسرخ؛ خلیل آباد و ششتمد با دسترسی ۱ میلیون متر مکعب آب به مساحت‌های بزرگتر مساوی ۶۰۰ هکتار، کمترین امتیاز را از این شاخص به خود اختصاص دادند که شهرستان ششتمد، با اختلاف قابل توجهی برای مساحت حدودی ۱۶۹۲ هکتار فقط به ۱ میلیون متر مکعب آب دسترسی دارد و کمترین امتیاز را نیز خود اختصاص داده است.

۳-۳. تحلیل معیار ظرفیت

میانگین معیار ظرفیت برای کل استان خراسان رضوی ۳۱/۲۳ بدست آمده که نشان‌دهنده وجود ظرفیت نه چندان مناسب جامعه انسانی جهت مدیریت منابع آب با توجه به شاخص‌های انتخابی در این پژوهش در اکثر مناطق می‌باشد. بیشترین امتیاز در معیار ظرفیت با عدد ۶۰/۱۵ به محدوده مطالعاتی بردسکن و کمترین امتیاز با عدد ۱۱/۱۳ به محدوده مطالعاتی کلات تعلق گرفت. شکل ۴، پراکنش مکانی این معیار را در تمام محدوده‌های مورد مطالعه در استان نشان می‌دهد.

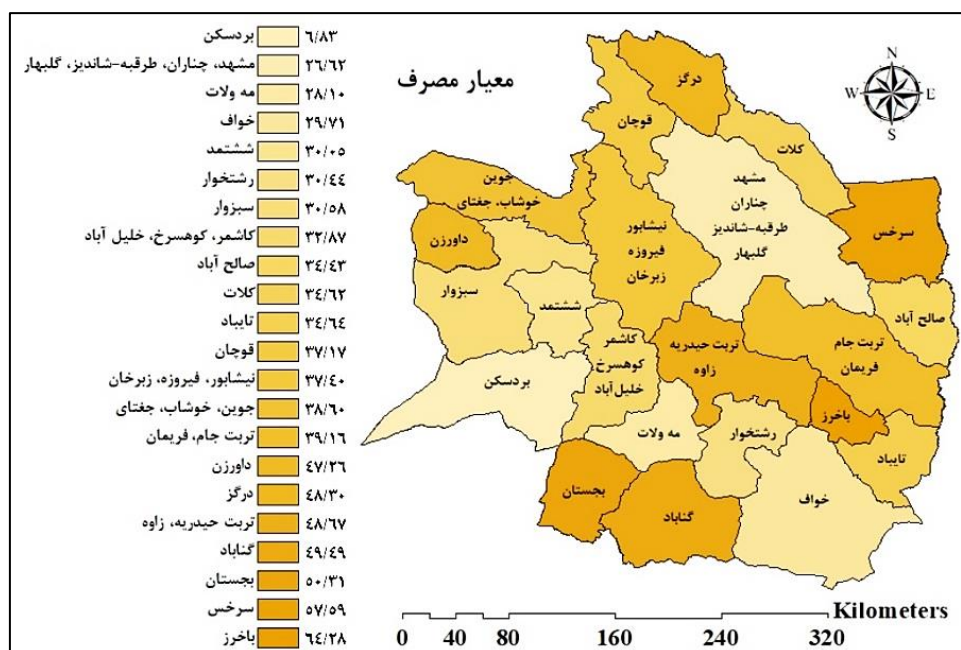


شکل ۴. پراکنش مکانی معیار ظرفیت در محدوده‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

شاخص‌های مورد استفاده برای محاسبه این معیار، دو شاخص دسترسی به مراکز بهداشتی و درصد جمعیت افراد در حال تحصیل انتخاب شدند. دسترسی مراکز بهداشتی به ازای هر ۱۰۰۰۰ نفر در محدوده‌های مطالعاتی داورزن، ششتمد و کلات، بیش از ۱۰ مرکز بهداشتی برآورد شد که بیشترین امتیاز را در مورد این شاخص کسب کردند و در محدوده‌های مطالعاتی مشهد؛ چناران؛ طرقبه-شاندیز؛ گلپهار، تایباد و سبزوار کمتر از ۴ مرکز بهداشتی برآورد شد و به همین سبب کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند. در مورد شاخص دوم نیز فقط در محدوده مطالعاتی گناباد و خواف، درصد افراد در حال تحصیل بیش از ۲۵ بدست آمد که بیشترین امتیاز این شاخص به آنان تعلق گرفت و در محدوده‌های مطالعاتی بردسکن، بجستان، مه‌ولات و داورزن، کمتر از ۲۰ درصد جمعیت در حال تحصیل برآورد شدند و کمترین امتیاز این شاخص را به خود اختصاص دادند.

۳-۴. تحلیل معیار مصرف

میانگین معیار مصرف برای کل استان خراسان رضوی ۳۸/۰۶ بدست آمد که محدوده مطالعاتی باخرز با امتیاز ۶۴/۲۸ بیشترین امتیاز و شهرستان بردسکن با امتیاز ۶/۸۳ کمترین امتیاز را دریافت کردند. این موضوع نشان دهنده این است که مصرف آب در استان خراسان رضوی به طور میانگین ۱/۹۶ برابر منابع آبی موجود می باشد که زنگ خطری برای ایجاد تمهیدات لازم جهت مدیریت پایدار منابع آب است. شکل ۵، پراکنش مکانی این معیار را در تمام محدوده های مورد مطالعه در استان نشان می دهد.



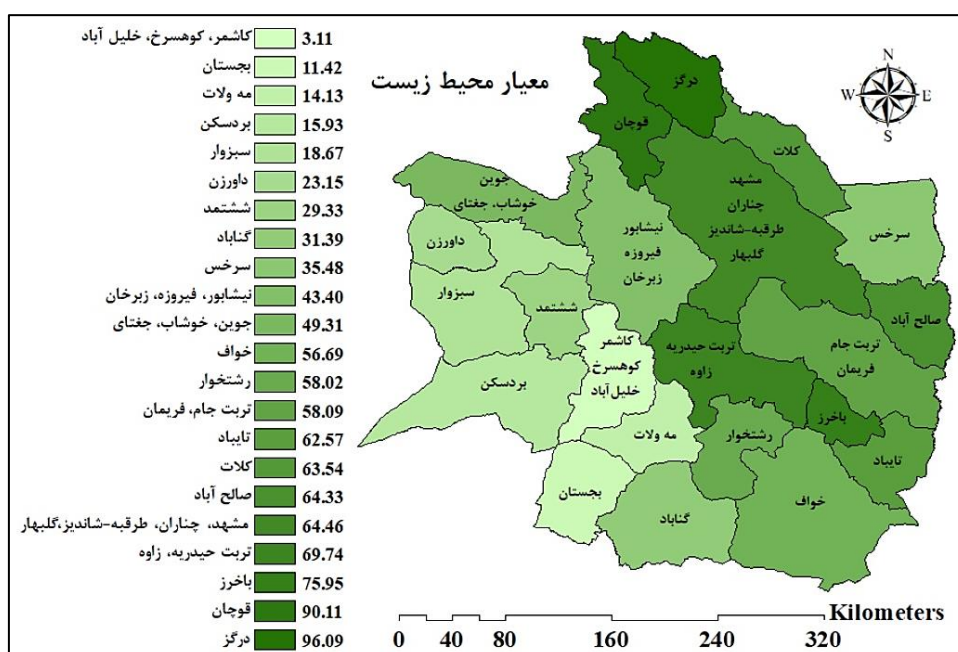
شکل ۵. پراکنش مکانی معیار مصرف در محدوده های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

این معیار با استفاده از ۴ شاخص سرانه آب در بخش خدمات، صنعتی و خانگی و همچنین مصرف آب در بخش کشاورزی محاسبه شد. مقادیر سرانه، متر مکعب به ازای هر نفر در نظر گرفته شد. سرانه آب در بخش خدمات، در محدوده های مورد مطالعه کلات، صالح آباد، قوجان، درگز و داورزن، بیش از ۳۵ متر مکعب به ازای هر نفر بدست آمد که در محدوده کلات سرانه با مقدار ۵۷۷، اختلاف قابل توجهی با سایر محدوده های مطالعاتی داشت. محدوده صالح آباد بعد از کلات با سرانه ۹۷ در جایگاه دوم قرار گرفت. در مورد سرانه مصرف آب در بخش صنعت، محدوده های مطالعاتی رشتخوار، تایباد، بردسکن، کاشمر، کوهسرخ، خلیل آباد و گناباد با سرانه کمتر از ۱۵، کمترین امتیاز این شاخص را کسب کردند. در بخش صنعتی، محدوده های مورد مطالعه خواف، سرخس و رشتخوار، با مقدار سرانه بیش از ۲۵، بیشترین امتیاز را از شاخص دریافت کردند در حالی که محدوده های مورد مطالعه بردسکن، تربت حیدریه، زاوه، صالح آباد، تایباد و درگز، کلات و ششتمد، با مقدار سرانه کمتر از ۵ کمترین امتیاز این شاخص را دریافت کردند که سرانه مصرف آب در بخش صنعتی در دو محدوده مطالعاتی کلات و ششتمد نیز صفر برآورد شد. در مورد سرانه مصرف آب در بخش خانگی (شرب و بهداشت) نیز محدوده های مطالعاتی داورزن، رشتخوار و جوین؛ خوشاب؛ جغتای، با مقادیر سرانه بیش از ۱۲۵ بیشترین امتیاز را در مورد این شاخص به خود اختصاص دادند و محدوده های مطالعاتی تربت حیدریه؛ زاوه، گناباد و ششتمد، با مقادیر سرانه کمتر از ۷۰ کمترین امتیاز این شاخص را دریافت کردند. اما همان طور که اشاره شد، عمده مصارف آب در استان خراسان رضوی در بخش کشاورزی اتفاق می افتد. در مورد این شاخص که درصد سطح زیر کشت آبی در کل سطح زیر کشت را در نظر می گیرد، از ۲۲ محدوده مورد مطالعه، ۱۱ محدوده امتیازی بیشتر از ۹۰

درصد، ۷ محدود امتیازی بیشتر از ۷۰ درصد، ۳ محدود امتیازی بیشتر از ۵۰ درصد و در نهایت فقط محدوده مطالعاتی ششتمد با ۱۵ درصد سطح زیر کشت آبی، کمترین امتیاز را به خود اختصاص داد.

۳-۵. تحلیل معیار محیط زیست

در نهایت میانگین معیار محیط زیست، برای کل استان خراسان رضوی ۴۷/۰۴ بدست آمد که در این بین محدوده مطالعاتی درگز با امتیاز ۹۶/۰۹ بیشترین امتیاز و محدوده مطالعاتی کاشمر، کوهسرخ و خلیل آباد مشابه معیار منابع کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند. اکثر مناطقی که در این معیار امتیاز کمتر از ۲۵ را به خود اختصاص داده‌اند در جنوب و جنوب شرقی استان که اقلیم خشک‌تر و از بارندگی و منابع آبی کمتر برخوردارند واقع شده‌اند. در این مناطق هم پوشش گیاهی کمتر است و هم میزان شوری آب نسبت به مناطق شمالی استان بیشتر می‌باشد. شکل ۶، پراکنش مکانی این معیار را در تمام محدوده‌های مورد مطالعه در استان نشان می‌دهد.



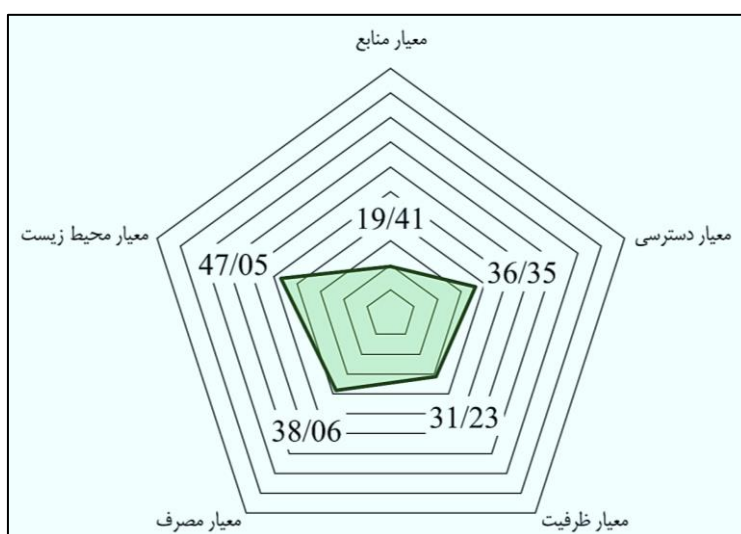
شکل ۶. پراکنش مکانی معیار محیط زیست در محدوده‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

دو شاخص جهت برآورد این معیار انتخاب شد که پوشش گیاهی و شوری آب می‌باشند. همان‌طور که گفته شد، برای اعمال بررسی پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی SAVI استفاده شد که مقادیر آن از ۱- (بدون پوشش گیاهی) تا ۱ (پوشش گیاهی متراکم) تنظیم می‌شود که به صورت میانگینی از تمام پیکسل‌ها محاسبه شد. محدوده مطالعاتی درگز، قوچان و تایباد به ترتیب با مقادیر ۰/۱۵، ۰/۱۴ و ۰/۱۲ بیشترین امتیاز این شاخص را دریافت کردند و محدوده‌های مطالعاتی داورزن، کاشمر، کوهسرخ، خلیل آباد و بردسکن با مقدار تقریبی ۰/۰۶ کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند. ابزار بررسی شوری آب نیز EC در نظر گرفته شد که بر اساس میکروزیمنس بر سانتی‌متر ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) برآورد شده است. میانگین شوری در کل استان خراسان رضوی، ۵۸۲۸ می‌باشد که محدوده‌های مطالعاتی کاشمر، کوهسرخ، خلیل آباد، مه‌ولات و بجستان با مقادیر شوری بیش از ۹۰۰۰، کمترین امتیاز این شاخص را به خود اختصاص دادند و محدوده‌های مطالعاتی تربت حیدریه، زاوه، صالح آباد، قوچان و باخرز با مقادیر شوری کمتر از ۱۰۰۰، بیشترین امتیاز این شاخص را از آن خود کردند. میزان شوری با مقدار آب‌های زیرزمینی ارتباط مستقیمی دارد؛ زیرا کاهش مقدار آب باعث افزایش غلظت املاح موجود در آب

می‌شود. این موضوع با توجه به آنچه که در مورد معیار منابع ذکر شد، قابل توضیح است؛ چراکه افزایش برداشت آب‌های زیرزمینی در قسمت‌های جنوبی استان در طول زمان باعث افزایش شوری این آب‌ها شده است.

۳-۶. تحلیل شاخص فقر آب

شکل ۷، میانگین معیارهای WPI برای کل استان خراسان رضوی را نشان داده است. در این شکل، هرچه ۵ ضلعی ایجاد شده بزرگتر و برابری اضلاع در آن بیشتر باشد، وضعیت شاخص فقر آبی بهتر خواهد بود چراکه در این صورت امتیازها نزدیک به ۱۰۰ خواهند شد و در نهایت WPI نیز امتیازی نزدیک به ۱۰۰ خواهد گرفت. همان‌طور که از شکل پیداست، این ۵ ضلعی برای استان خراسان رضوی، شکلی نامنظم و با اضلاع نابرابر و نسبتاً کوچک ایجاد کرده که نشان‌دهنده شرایط نامطلوب فقر آب در این استان می‌باشد.

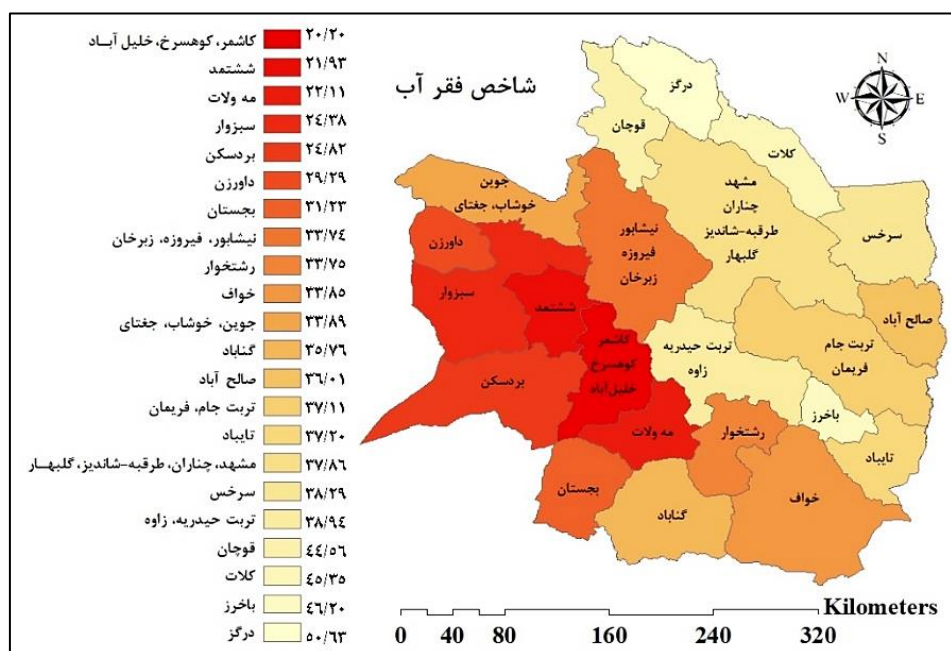


شکل ۷. میانگین امتیاز معیارهای شاخص فقر آب

پس از محاسبه WPI، میانگین این شاخص برای کل استان خراسان رضوی با توجه مقدار WPI برای همه محدوده‌های مطالعاتی، عدد ۳۴/۴۱ بدست آمد که محدوده مطالعاتی درگز با امتیاز ۵۰/۶۳ بیشترین امتیاز و محدوده مطالعاتی بردسکن با امتیاز ۲۰/۲۰ کمترین امتیاز را دریافت کردند. این موضوع نشان‌دهنده فقر آبی قابل توجه در این استان می‌باشد. چراکه فقط یک محدوده مطالعاتی امتیاز بیشتر از ۵۰ و ۳ محدوده مطالعاتی امتیازی بین ۳۰ تا ۴۰ کسب را کردند. در شکل ۸، مقادیر WPI برای تمام محدوده‌های مطالعاتی از مقادیر کم‌تر و وضعیت بدتر (رنگ قرمز) تا مقادیر زیاد و وضعیت بهتر (رنگ زرد)، نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، شهرستان‌های واقع در جنوب و مخصوصاً جنوب غربی استان از نظر شاخص فقر آب وضعیت حادثری دارند. این محدوده‌های مطالعاتی، غالباً از نظر وضعیت معیارهای منابع، محیط زیست، مصرف و دسترسی از وضعیت نامطلوب‌تری نسبت به سایر محدوده‌ها برخوردار بودند که همین باعث کاهش امتیاز شاخص فقر آب آن‌ها شده است.

نتایج طبقه‌بندی WPI که وضعیت آبی محدوده‌های مورد مطالعه را نسبت به یکدیگر طبقه‌بندی می‌کند، نشان داد که محدوده‌های مورد مطالعه درگز، باخرز، کلات و قوچان دارای امنیت کامل آبی و فقط محدوده مطالعاتی تربت حیدریه و زاوه دارای امنیت بالای آبی هستند. همچنین محدوده مورد مطالعه داورزن دارای امنیت کم آبی و محدوده‌های مطالعاتی بردسکن، سبزوار، مه‌ولات، ششتمد و کاشمر؛ کوهسرخ؛ خلیل‌آباد در کلاس عدم امنیت آبی طبقه‌بندی شدند. سایر محدوده‌های مطالعاتی باقی مانده نیز در کلاس امنیت متوسط آبی

قرار گرفتند. اگرچه که این طبقه‌بندی براساس محدوده‌های مورد مطالعه در این پژوهش انجام شده است و حتی بهترین شهرستان که از نظر شاخص فقر آب که امتیاز ۵۰/۶۳ را به خود اختصاص داده است وضعیت بسیار قابل قبولی ندارد، اما اطلاعات خوبی را در خصوص اولویت‌بندی رسیدگی به موضوعات مدیریتی آب در شهرستان‌های استان خراسان رضوی در اختیار مدیران و تصمیم‌گیرندگان در حوزه مدیریت منابع آب قرار می‌دهد.



شکل ۸. پراکنش مکانی WPI در محدوده‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

نتایج ماتریس همبستگی بر اساس جدول ۶، ارتباط مثبت و نسبتاً قوی بین WPI و ۴ معیار منابع، مصرف و محیط زیست و دسترسی را نشان داد که بیان‌کننده تاثیر زیاد این معیارها در کنترل شاخص فقر آب می‌باشد.

جدول ۶. ماتریس همبستگی بین معیارها و شاخص فقر آب

معیار منابع	معیار دسترسی	معیار ظرفیت	معیار مصرف	معیار محیط زیست	WPI
۱					
۰/۳۳	۱				
-۰/۶۶	-۰/۱۶	۱			
-۰/۱۰	۰/۲۴	-۰/۱۵	۱		
۰/۶۰	۰/۳۶	-۰/۴۶	۰/۲۶	۱	
-۰/۶۶	۰/۶۲	-۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۸۸	۱

اما در مورد معیار ظرفیت نکته جالبی وجود دارد؛ چراکه نه تنها همبستگی ضعیفی با WPI دارد، بلکه این همبستگی منفی نیز می‌باشد. این موضوع از مقایسه شکل ۴ مربوط به پراکنش مکانی معیار ظرفیت و شکل ۵ مربوط به WPI، نیز پیداست. همبستگی ضعیف این معیار با WPI، نشان‌دهنده عدم استفاده از ظرفیت جامعه انسانی در مدیریت منابع آب است و همبستگی منفی آن نیز نشان‌دهنده این

موضوع است که پتانسیل بالاتر ظرفیت جامعه انسانی جهت مدیریت منابع آب، در محدوده‌های مطالعاتی که در آن‌ها تنش آبی قابل توجه‌تر است، باعث بهبود وضعیت این مناطق از نظر مدیریت منابع آب نشده و فقط از نظر عددی باعث افزایش مقدار WPI شده است. چرا که محدوده‌های مطالعاتی که در این پژوهش، طبق امتیازات WPI دارای تنش آبی بیشتری هستند، از نظر وضعیت معیار ظرفیت امتیاز بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند که لزوم انجام پژوهش‌های بیشتر جهت بررسی دلایل این موضوع و با استفاده از شاخص‌های دیگر جهت بررسی این معیار، کاملاً حس می‌شود. در بین ۵ معیار ارزیابی شاخص فقر آب، دو معیار منابع و محیط زیست وابسته به شرایط طبیعی محیطی نیز هستند و با توجه به جدول ۶، همبستگی این دو شاخص ۰/۶ برآورد شد که نشان‌دهنده ارتباط قوی بین این دو معیار و در نتیجه ارتباط آشکار پراکنش مکانی این دو معیار با شرایط اقلیمی است. به طوریکه تا حد قابل توجهی با حرکت از سمت جنوب و جنوب غرب که اقلیم خشک‌تر می‌باشد به سمت شمال که از خشکی اقلیم کم می‌شود، وضعیت این دو معیار بهبود پیدا می‌کند.

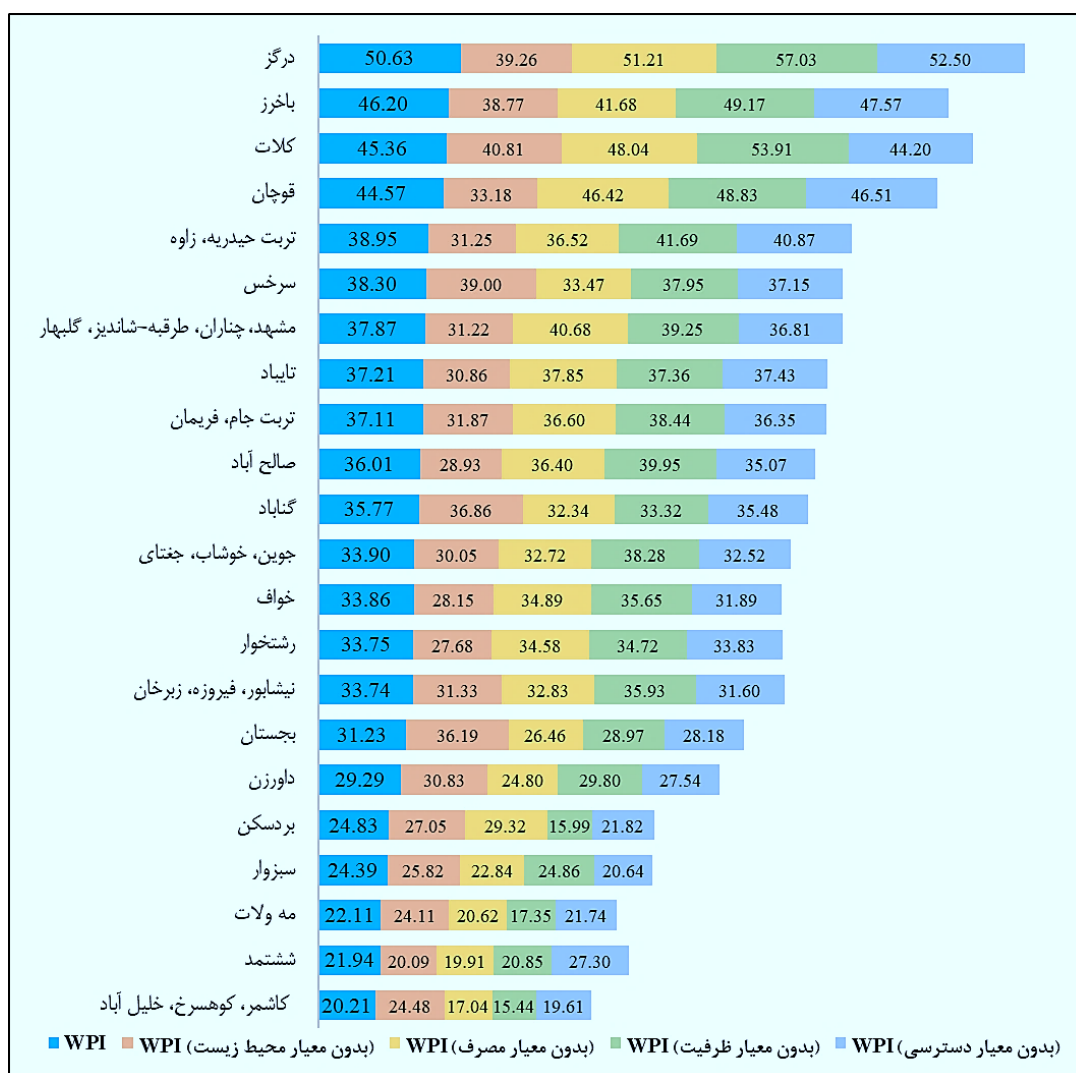
۳-۷. آنالیز حساسیت شاخص فقر آب

آنالیز حساسیت در این پژوهش، با هدف بررسی میزان تاثیر هر معیار بر شاخص فقر آب صورت گرفت که در آن مقدار WPI بدون چهار معیار دسترسی، ظرفیت، مصرف و محیط زیست محاسبه شد. با توجه به اینکه اساس تنش آبی در یک منطقه منابع آبی می‌باشد، لذا برآورد شاخص فقر آب بدون معیار منابع، بی‌معنی است. بر اساس شکل ۹، حذف معیار محیط زیست غالباً باعث کاهش WPI در محدوده‌های مطالعاتی واقع در شمال و شمال شرقی استان که از پوشش گیاهی غنی‌تر و شوری کمتر برخوردار بودند، شد و در مقابل، باعث افزایش آن در محدوده‌های مطالعاتی جنوب و جنوب غربی که دارای اقلیم خشک‌تر و در پی آن پوشش گیاهی کمتر هستند و شوری آب نیز در آن مناطق بیشتر است، شد. با وجود اینکه حذف معیار مصرف در تغییر مقدار WPI در محدوده‌های مورد مطالعه از نظم خاصی پیروی نکرده است اما در ۴ محدوده مطالعاتی که کمترین امتیاز WPI با ۵ معیار را به خود اختصاص دادند، باعث کاهش این شاخص شد که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده مصرف بیش از حد توان منابع آبی در این ۴ محدوده که با تنش بالای آبی مواجه هستند، باشد. نتایج WPI بدون معیار ظرفیت با توجه به همبستگی ضعیف و منفی آن با این شاخص، می‌تواند نتایج واقعی‌تری را از جهت تاثیر نامناسب آن بر مقادیر WPI مخصوصاً در محدوده‌هایی که مقدار معیار ظرفیت در آن‌ها بیشتر است نشان دهد. به عنوان مثال، مقدار WPI بدون معیار ظرفیت در محدوده مطالعاتی کاشمر؛ کوهسرخ؛ خلیل‌آباد باعث کاهش قابل توجه این شاخص شده است. در مورد محدوده‌های مه‌ولات و بردسکن نیز چنین است. و در نهایت حذف معیار دسترسی باعث کاهش WPI در ۱۶ محدوده مطالعاتی از ۲۲ محدوده و افزایش آن در سایر محدوده‌ها شد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، وضعیت تنش آبی استان خراسان رضوی از جهات متفاوتی با استفاده از شاخص فقر آب ارزیابی شد. به طور کلی، نتایج حاکی از وضعیت نامناسب فقر آب در این استان است. مهمترین عامل در ارزیابی تنش آبی در هر منطقه‌ای، موجودیت منابع آب می‌باشد و نحوه بهره‌برداری انسان‌ها از این منابع، تعیین‌کننده شرایط پایدار و یا دچار تنش شده منابع آبی می‌باشد. عدم توجه به مفاهیمی همچون توسعه پایدار و تاب‌آوری اکوسیستم‌ها به عنوان مهمترین بخش تولید آب در استراتژی‌های مدیریتی با توجه به کسری بلندمدت مخازن آب زیرزمینی در استان از گذشته تا کنون باعث تخریب منابع طبیعی مخصوصاً سفره‌های آب زیرزمینی و در موارد زیادی وقوع فرونشست‌های ناشی از آن شده است. توسعه پایدار در پی مفیدترین و موثرترین روش استفاده از منابع متناسب با توانایی زیست‌کره و با هدف فراهم نمودن بهره‌وری ثابت، سازگار و طولانی‌مدت است (DesJardins, J. R., 2013/2017) و تاب‌آوری به این موضوع اشاره دارد که اکوسیستم‌ها تا آستانه‌های مشخصی می‌توانند تغییرات اطراف خودشان را تحمل کنند و در صورتی که تغییرات عوامل محیطی اطراف که به عنوان جزئی از آن‌ها در نظر گرفته می‌شوند، از این آستانه‌های مشخص گذر کنند، اکوسیستم‌ها حالت پایداری مناسب خود را از

دست خواهند داد و امکان برگشت آن به حالت اولیه بسیار سخت و یا حتی غیر ممکن خواهد بود (D'Odorico et al., 2013; Sánchez-Pinillos et al., 2024). آب نیز به عنوان یکی از مهمترین اجزای اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد که بهره‌برداری بیش از حد آن سبب ایجاد تغییراتی در اکوسیستم‌ها می‌شود و اگر این تغییرات از آستانه‌های مشخصی فراتر روند، ممکن است تخریبی غیرقابل جبران اتفاق افتد و همچنین توان اکوسیستم‌ها در تولید آب کاهش یابد و این خلاف مفهوم توسعه پایدار نیز است. لذا بهره‌برداری بیش از توان منابع آبی با آسیب به اکوسیستم‌ها، بهره‌وری ثابت، سازگار و طولانی مدت را نیز دچار مشکل کرده که نتایج آن در شرایط کنونی استان از نظر وضعیت آبی قابل مشاهده است.



شکل ۹. آنالیز حساسیت شاخص فقر آب با حذف معیارها

کشاورزی به عنوان مهمترین فعالیت اقتصادی آب‌بر در استان خراسان رضوی، سهم قابل توجهی از مصرف آب که بیش از توان منابع طبیعی می‌باشد را به خود اختصاص داده است. در رابطه با این موضوع، دو مسئله مهم باید مورد ارزیابی قرار گیرد؛ اول ارزیابی فعالیت‌های کنونی کشاورزی از لحاظ پایداری و اجرای اصولی و دوم تناسب شرایط استان برای ادامه و توسعه آن‌ها. مطالعات نشان

داده‌اند که بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در استان که سهم قابل توجه آن در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مهمترین فعالیت انسانی مسبب تخریب اراضی است که منجر به شوری آب، خاک و در نهایت بیلان منفی آب در دشت‌ها شده است (Akbari et al., 2020). در واقع کشاورزی ناپایدار و غیر اصولی، علاوه بر رساندن آسیب جبران‌ناپذیر به منابع آبی، سبب تسریع فرایند تخریب زمین و در نهایت منجر به بیابان‌زایی می‌شود که همین امر همان‌طور که در هدف ششم اهداف توسعه پایدار (UNDP, 2024) نیز به آن اشاره شده، به صورت یک چرخه هم‌افزایی باعث آسیب مجدد به منابع آبی می‌شود. بنابراین، افزایش رشد اقتصادی از طریق فعالیت‌های کشاورزی که در برنامه هفتم توسعه پایدار نیز به آن اشاره شده، نیاز مبرم به بازنگری و توجه جدی به نتایج مطالعاتی که شرایط محیطی حاصل از کشاورزی طی سالیان اخیر را آشکار کرده‌اند، دارد. چراکه منابع آبی در استان، در حله اول تحت تاثیر فعالیت‌های کشاورزی می‌باشند و ادامه روال کنونی می‌تواند تهدیدی بسیار جدی هم برای منابع طبیعی و هم برای انسان باشد.

مدیریت منابع آب، نیازمند همکاری دو سویه و موثر بین نهادهای مدیریتی و جامعه می‌باشد. بنابراین وقتی صحبت از تجدید نظر درباره فعالیت‌های کشاورزی به عنوان فعالیت‌هایی که بیشترین تاثیر را بر منابع آبی گذاشته‌اند، می‌شود؛ باید به معیشت کشاورزان که وابسته به کشت و زرع می‌باشد توجه ویژه‌ای شود و هر اقدام مدیریتی همسو با امنیت غذایی و معیشت پایدار برای مردم فقیر و دسترسی منظم آن‌ها به آب کافی به عنوان یک دارایی اساسی برای ایمن کردن زندگی‌شان باشد (Zoleikhaie Sayyar et al., 2022). البته باید درک صحیحی نیز در کشاورزان از نظر وضعیت فعلی منابع آب ایجاد شود و به طور قاطع از رفتارهای طمع‌ورزانه و منفعت‌گرایانه برخی جلوگیری به عمل آید (Damavandi et al., 2023).

اگرچه که بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد، اما در جوامع شهری نیز بسیاری از رفتارهای جامعه در ارتباط با مصرف آب هنوز هم غیرقابل قبول هستند. این رفتارها، هم ناشی از عدم توجه خود جامعه به این مسئله مهم و هم ناشی از مدیریت نابجا می‌باشد. مدیریت نادرست و نابجا از دو طریق سبب هدر رفت منابع آبی می‌شود؛ یکی مصرف نادرست آب در امور شهری مثل آبیاری فضای سبز در روز آفتابی که سبب تبخیر بخشی از آب می‌شود و توسط شهرداری صورت می‌گیرد و دیگری فرصت‌هایی است که در اختیار شهروندان برای مصرف نادرست آب قرار می‌گیرد، مثل عدم توجه به مسئله تامین آب به عنوان مهمترین عامل به هنگام ارائه مجوز برای تاسیس کارواش‌ها و قالیشوئی‌ها. به همین دلیل، همان بخش کوچک جامعه شامل افراد دغدغه‌مند که در این پژوهش در قالب معیار ظرفیت بررسی شدند و امتیاز نسبتاً کمی هم دریافت کرد، نمی‌تواند تاثیر بسزایی در جلوگیری از رفتارهای اشتباه مصرف آب داشته باشند.

از آب به عنوان مایه حیات یاد می‌شود که به واقع تعبیر بسیار پسندیده‌ای هم است. آب نه تنها در حیات انسان‌ها تاثیر مستقیم دارد، بلکه گاهی اهرم فشاری است که توسط دولت‌ها برای رسیدن به اهداف خاص، مورد استفاده قرار می‌گیرد و برعکس کمبود آن می‌تواند سبب فشار به دولت‌ها شود. اهمیت بحران آب تا آنجاست که می‌تواند ماهیت سیاست را دگرگون و مدنیت را به بدویت تبدیل کند (Moradi Tadi, 2017)؛ به عبارت دیگر، بحران آب می‌تواند جامعه انسانی را دچار پسرفت کرده و آن را با مشکلات اساسی روبرو کند. لذا، بهره‌وری از منابع آبی، باید در چهارچوب یک دیدگاه همه‌جانبه‌نگر، استراتژیک و آینده‌نگر صورت گیرد و اگر تا کنون چنین اتفاقی نیفتاده که با وضعیت تنش آبی کنونی قطعاً چنین اتفاقی هم نیفتاده، اکنون تا وضعیت به مراحل بحرانی‌تر نرسیده باید فکری به حال آن کرد. البته، بحران آب در استان خراسان رضوی به قدری آشکار است که نیاز به اصلاح مدیریت منابع آبی در آن غیر قابل انکار است و نیاز به انجام پژوهشی ندارد؛ اما نتایج پژوهش حاضر که وضعیت این بحران را از جهات گوناگونی آشکار کرده می‌تواند راهگشای خوبی در شناسایی نقاط ضعف مدیریتی باشند. لذا، پیشنهاد می‌شود:

✓ به مفهوم توسعه پایدار و تاب‌آوری اکوسیستم‌ها و نیاز آبی آن‌ها در مدیریت منابع آبی توجه ویژه شود و فعالیت‌های کشاورزی با توجه به این مفاهیم انجام شود (توجه به آینده منابع آبی و برقراری توازن بین مصرف آب و منابع موجود آب و اختصاص بخشی از آن به اکوسیستم‌ها با توجه به نیاز آبی آن‌ها و به عنوان حق ذاتی آن‌ها).

- ✓ وابستگی اقتصاد به کشاورزی کاهش پیدا کند.
- ✓ در صورت لزوم انجام فعالیت‌های کشاورزی، محصولات کم‌آب‌بر و متناسب با منابع آب موجود کشت شوند.
- ✓ از تجهیزات و روش‌های به روز و قابل اطمینان برای توزیع و آبیاری در کشاورزی با هدف کاهش حداکثری هدررفت آب، استفاده شود.
- ✓ برای مدیریت و ذخیره آب حاصل از بارندگی (مثل اصلاح طراحی فضا‌های سبز شهری که در بسیاری نقاط به دلیل ارتفاع بیشتر، توانایی جذب رواناب حاصل از بارندگی را ندارد) و مخصوصاً منابع عظیم آبی حاصل از سیلاب، جهت استفاده در اموری همچون آبیاری فضای سبز شهری، کشاورزی و... با هدف بهره‌بردی کمتر از آب‌های زیرزمینی، برنامه‌ریزی و اقدام صورت گیرد.
- ✓ ایجاد سازوکاری جهت حذف واسطه‌ها و یا کاهش سود آن‌ها در خرید و فروش محصولات کشاورزی با هدف افزایش درآمد و رفاه کشاورزان که در پی آن مجبور به آوردن فشار بیشتر به زمین و منابع آبی برای گذران زندگی سخت خودشان نباشند، می‌تواند به عنوان یک اقدام مدیریتی موثر عمل کند تا از چرخه هم‌افزایی بین بیابان‌زایی و تخریب منابع آب جلوگیری شود.
- ✓ اعمال سیاست‌ها و تصویب قوانین بازدارنده با هدف جلوگیری از رفتارهای اشتباه مسبب هدررفت آب، صورت گیرد.
- ✓ برای آگاه‌سازی، آموزش و فرهنگ‌سازی موثر جامعه انسانی با هدف افزایش ظرفیت آن در رابطه با مدیریت منابع آبی، برنامه‌ریزی مجدد و اقدام موثر صورت گیرد.

References

- Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., & Alizadeh Noughani, M. (2020). Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-17 .
- Akbari, M., Neamatollahi, E., Noughani, M. A., & Memarian, H. (2022). Spatial distribution of soil erosion risk and its economic impacts using an integrated CORINE-GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 81(10), 287 .
- Alqatarneh, G., & Al-Zboon, K. K. (202). Water poverty index: a tool for water resources management in Jordan. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(11), 461 .
- Babel, M. S., & Wahid, S. M. (2009). *Freshwater under threat South Asia: vulnerability assessment of freshwater resources to environmental change: Ganges-Brahmaputra-Meghna River Basin, Helmand River Basin, Indus River Basin*. UNEP .
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., & Runyan, C. W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in water resources*, 51, 326-344.
- Damavandi, A., Saadi, H., Naderi Mahdi-e, K., & Malekian, A. (2023). Evaluation of Agricultural Water Poverty Index in Hamadan Province and Identification of Critical Components. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10(1), 45-56. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i1.2207-1165>
- Dhawan, A., & Gundimeda, H. (2024). Assessing the spatial variation of water poverty determinants in Maharashtra, India. *Water Policy*, 26(2), 131-153 .
- DesJardins, J. R. (2017). *Environmental ethics: An introduction to environmental philosophy* (Kolahi, M., Trans.). Tehran: Research Institute of Culture, Art and Communication. (Original work published 2013).
- Eishoei, E., Miryaghoubzadeh, M., & Shahedi, K. (2021). Investigation of water resources and water scarcity in Gorganroud river basin using Falkenmark index. *Extension and Development of Watershed Management*, 9(32), 41-50. https://www.wmji.ir/article_254371_729206a2db45b3448f8950cef99869e9.pdf (In Persian)
- Emamian, A., Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Gholami, A., Opp, C., & Middleton, N. (2021). Assessing vegetation restoration potential under different land uses and climatic classes in northeast Iran. *Ecological Indicators*, 122, 107325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107325>
- Garriga, R. G., & Foguet, A. P. (2010). Improved method to calculate a water poverty index at local scale. *Journal of Environmental Engineering*, 136(11), 1287-1298 .

- Gholami, M., & Akbari, M. (2024). Comparison of the efficiency of satellite images in vegetation changes of Khorasan Razavi province. *The 4rd National Conference on Data Mining in Earth Sciences, Arak University*. (In Persian)
- Heidecke, C. (2006). *Development and evaluation of a regional water poverty index for Benin*. Intl Food Policy Res Inst .
- Huang, S., Feng, Q., Lu, Z., Wen, X., & Deo, R. C. (2017). Trend analysis of water poverty index for assessment of water stress and water management polices: a case study in the Hexi Corridor, China. *Sustainability*, 9(5), 756 .
- Jafari Shalamzari, M., & Zhang, W. (2018). Assessing water scarcity using the Water Poverty Index (WPI) in Golestan province of Iran. *Water*, 10(8), 1079 .
- Jaren, L. S., & Mondal, M. S. (2021). Assessing water poverty of livelihood groups in peri-urban areas around Dhaka under a changing environment. *Water*, 13(19), 2674 .
- Kiani Feyzabad, Z., Yazdani, S., Salami, H., & Peykani, G. R. (2023). Analyze and identification components of instability in Iranian basins (application of water poverty index in basin scale). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 54(2), 471-485 .
- Koirala, S., Fang, Y., Dahal, N. M., Zhang, C., Pandey, B., & Shrestha, S. (2020). Application of water poverty index (WPI) in spatial analysis of water stress in Koshi River Basin, Nepal. *Sustainability*, 12(2), 727 .
- López-Álvarez, B., Rizo-Fernández, Z., Ramos-Leal, J. A., Morán-Ramírez, J., & Almanza-Tovar, Ó. G. (2019). Wáter poverty index in arid zones: the barril aquifer, Santo Domingo, San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 35-46 .
- Lopez-Alvarez, B., Urbano-Peña, M. d. I. A., Moran-Ramírez, J., Ramos-Leal, J. A., & Tuxpan-Vargas, J. (2020). Estimation of the environment component of the Water Poverty Index via remote sensing in semi-arid zones. *Hydrological Sciences Journal*, 65(16), 2647-2657 .
- Moradi Tadi, M. (2017). water, politics, hydropolitics, crisis, public policy. *Interdisciplinary Studies in the Humanities*, 9(4), 71-90. <https://doi.org/10.22631/isih.2017.1981.2512>. (In Persian)
- Pashaei, M., Rashki, A., & Sepehr, A. (2017). An integrated desertification vulnerability index for Khorasan-Razavi, Iran. *Natural Resources and Conservation*, 5(3), 44-55 .
- Prabha, A. S., Ram, A., & Irfan, Z. B. (2020). Exploring the relative water scarcity across the Indian million-plus urban agglomerations: an application of the Water Poverty Index. *HydroResearch*, 3, 134-145 .
- Qiang, F., Kachanoski, G., Dong, L., & Zilong, W. (2008). Evaluation of regional water security using water poverty index. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 1(2), 8-14 .
- Ranjpour, R., Sadeghi, S. K., Azad, M. A. M., Behboodi, D., & Taslimi, A. (2023). Water poverty index and its influential factors in Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, 15(1). (In Persian)
- Sánchez-Pinillos, M., Dakos, V., & Kéfi, S. (2024). Ecological dynamic regimes: A key concept for assessing ecological resilience. *Biological Conservation*, 289, 110409. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110409>
- Sereshti, M., Valibeigi, M., & Safari, N. (2023). A Framework for Assessment of Water Poverty in Iran. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, 11(04), 2350022 .
- SERESHTI, M., VALIBEIGI, M & ,SAFARI, N. (2024). A Framework for Assessment of Water Poverty in Iran. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, 2350022 .
- Shen, J., Zhang, H., Zhao, Y., & Song, J. (2023). An examination of the mitigation effect of vegetation restoration on regional water poverty: Based on panel data analysis of 9 provinces in the Yellow River basin of China from 1999 to 2019. *Ecological indicators*, 146, 109860 .
- Sullivan, C. (2002). Calculating a water poverty index. *World development*, 30(7), 1195-1210 .
- Sullivan, C. A., Meigh, J. R., & Giacomello, A. M. (2003). The water poverty index: development and application at the community scale. *Natural resources forum* ,
- Usoh, G., Umoh, E., Orji, F., Ahuchaogu, I., Sam, E., & Edet, J. (2023). Determination of Water Poverty Index in Mkpato Enin Metropolis of Akwa Ibom State using Composite Index and Simple Time Analysis Approaches. *Adeleke University Journal of Engineering and Technology*, 6(2), 172-182 .
- United Nations Development Programme. (2024). <https://www.undp.org/sustainable-development-goals/clean-water-and-sanitation>

Yazdi, N., Mousavi, S. N., Shirvanian, A., & Zarei, A. R. (2021). Assessing the effects of climate and drought changes on the water poverty index in the Fasa plain. *Irrigation and Water Engineering*, 11(3), 289-304. (In Persian)

Zare-Bidaki, R., Pouyandeh, M., & Zamani-Ahmadm Mahmoodi, R. (2023). Applying the enhanced Water Poverty Index (eWPI) to analyze water scarcity and income poverty relation in Beheshtabad Basin, Iran. *Applied Water Science*, 13(2), 53 .

Zoleikhaie Sayyar, L., Naderi Mahdei, K., Shabanali Fami, H., & Motaghed, M. (2022). Developing and analyzing the agricultural water poverty index in West Iran. *Sustainability*, 14(3), 1410.