



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University
Vol. 7, No. 27, Autumn 2026



Spatial Modeling of Climate Resilience in Vulnerability Hotspots of Urban and Rural Settlements under Water Scarcity: A Case Study: Boyer-Ahmad County

Seyed Keramat Hashemi Ana^{1*}, Hossein hosseinikhah², Taghi tavousi³

¹ (Corresponding Author) Assistant Professor of Geography, Yasouj University, Yasouj, Iran,
Email: k.hahsemi@yu.ac.ir

² PhD in Geography and Urban Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran, Email: hosseinhosseinekhah@yahoo.com

³ Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan, Sistan, Iran, Email: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2027-07-30

Revised: : 2026-09-15

Accepted: 2026-09-22

Keywords:

Resilience
Climate Change
Water Scarcity Crisis
Hot Spots (Getis-Ord Gi)
Boyer-Ahmad County

ABSTRACT

This study adopts an applied, descriptive–analytical research design to spatially model and analyze climate resilience to water scarcity in Boyer-Ahmad County, Iran. In the first stage, to identify the key dimensions and determinants influencing watershed resilience under water-stress conditions, a comprehensive set of 23 spatial indicators was compiled and classified into six major categories, namely climatic, hydrological, topographical, environmental, demographic, and geological factors. These indicators were identified through a systematic review of the international literature and subsequently validated in accordance with the geomorphological and environmental characteristics of the study area. To determine the relative importance of the selected indicators while minimizing subjective bias in the weighting process, the Method based on the Removal Effects of Criteria (MEREC) was employed. Following the estimation of criterion weights, the standardized spatial layers were integrated within a Geographic Information System (GIS) using a weighted overlay approach to generate the final climate resilience map of Boyer-Ahmad County. Subsequently, spatial statistical analyses were conducted to identify spatial clustering patterns and evaluate the statistical significance of the spatial distribution of resilience levels using the Getis–Ord G_i^* local spatial autocorrelation statistic. This method enables the identification of statistically significant hotspots and cold spots, where hotspots represent areas characterized by a high concentration of climate vulnerability and low resilience to water scarcity, whereas cold spots indicate relatively resilient areas with lower levels of vulnerability and greater adaptive capacity.

Cite this article: Hashemi Ana, S.K., Hosseinikhah, H., Tavousi, T. (2026). Spatial Modeling of Climate Resilience in Vulnerability Hotspots of Urban and Rural Settlements under Water Scarcity: A Case Study: Boyer-Ahmad County. *Journal of the Climate Change research*, 7 (27), 79-103.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

DOI: [10.30488/ccr.2026.594703.1352](https://doi.org/10.30488/ccr.2026.594703.1352)



مدل سازی فضایی تاب آوری اقلیمی کانون‌های آسیب پذیر در سکونتگاه‌های شهری و روستایی در برابر بحران کم آبی (پژوهش موردی: شهرستان بویراحمد)

سیدکرامت هاشمی عنا^{۱*}، حسین حسینی خواه^۲، تقی طاوسی^۳

^۱ (نویسنده مسئول) استادیار جغرافیا، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران، رایانامه: k.hahsemi@yu.ac.ir

^۲ دانش آموخته دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: hosseinhosseinekhah@yahoo.com

^۳ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، رایانامه: t.tavousi@gep.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۳۱ واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری تغییرات اقلیمی بحران کم‌آبی شهرستان بویراحمد	پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی فضایی تاب‌آوری اقلیمی در برابر بحران کم‌آبی و واکاوی الگوهای تمرکز آسیب‌پذیری در سکونتگاه‌های شهری و روستایی شهرستان بویراحمد تدوین شده است. این تحقیق از نظر ماهیت، کاربردی-تحلیلی و جهت سنجش تاب‌آوری، ۲۳ شاخص در ۶ رسته اصلی شامل اقلیمی، هیدرولوژیک، توپوگرافی، محیطی، جمعیتی و زمین‌شناسی استخراج گردید. برای وزن‌دهی به معیارها از مدل نوین MEREC (مبتنی بر حذف اثر معیار) استفاده شد که نتایج آن نشان داد شاخص‌های بارندگی با وزن (۰/۸)، دما (۰/۷) و کاربری اراضی (۰/۷) بیشترین نقش را در تعیین تاب‌آوری منطقه ایفا می‌کنند. پس از تلفیق لایه‌ها در محیط GIS و پهنه‌بندی بحران کم‌آبی، جهت شناسایی کانون‌های بحرانی و بررسی معناداری توزیع، از آماره خودهمبستگی فضایی گتیس-ارد استفاده گردید. یافته‌ها حاکی از آن است که ۵۳ درصد از روستاهای منطقه در محدوده خطر «متوسط» تا «زیاد» قرار دارند، در حالی که شهرهای مادوان و سپیدار در وضعیت بحرانی «خیلی زیاد» و شهر یاسوج در وضعیت خطر «زیاد» شناسایی شدند. آماره گتیس-ارد موفق به شناسایی خوشه‌های بحرانی (لکه داغ) با اطمینان ۹۹ درصد در محور شمال غرب به جنوب شرق (پیرامون گراب سفلی، یاسوج و مادوان) گردید که مساحتی بالغ بر ۷۳۴ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد و بیشترین تراکم نقاط روستایی آسیب‌پذیر دقیقاً با این کانون‌ها انطباق مکانی دارد. همچنین تحلیل ساختار تأمین و توزیع آب، بیانگر نرخ هدررفت ۶۲/۶۷ درصدی در شبکه روستایی و شکاف ساختاری میان ظرفیت اسمی و توان واقعی تولید است. در نهایت، یافته‌ها مؤید وجود شکافی بنیادین میان توان اکولوژیک حوضه آبریز و الگوی فعلی بارگذاری کالبدی است که موجب شکل‌گیری بحران اقلیمی شدید گردیده؛ لذا جهت گذار به توسعه پایدار و مدیریت تنش‌های آبی، بازآرایی آمایش سرزمین با اولویت‌بندی انتقال کانون‌های توسعه به پهنه‌های شمالی و شمال‌غربی که از تاب‌آوری محیطی بالاتری برخوردارند، به عنوان راهبرد گریزناپذیر و نقشه راه آمایشی پیشنهاد می‌گردد.

استناد: هاشمی عنا، سیدکرامت؛ حسینی خواه، حسین؛ طاوسی، تقی (۱۴۰۵). مدل سازی فضایی تاب آوری اقلیمی کانون‌های آسیب پذیر در سکونتگاه‌های شهری و روستایی در برابر بحران کم آبی (پژوهش موردی: شهرستان بویراحمد). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۷ (۲۷)، ۷۹-۱۰۳.



مقدمه

بحران کم آبی در سال های اخیر به یکی از مهم ترین چالش های محیطی، اقتصادی و اجتماعی در بسیاری از مناطق کشور تبدیل شده است؛ با این حال، آثار و پیامدهای این بحران در همه نقاط و برای همه سکونتگاه ها به یک اندازه بروز نمی کند. شدت و گستره آسیب پذیری در برابر کم آبی، تابعی از برهم کنش پیچیده میان شرایط اقلیمی، ویژگی های هیدرولوژیکی، موقعیت جغرافیایی، ساختار کالبدی سکونتگاه، سطح دسترسی به منابع آب، نوع معیشت، ویژگی های جمعیتی و میزان وابستگی ساکنان به منابع محدود آب است. از این رو، بحران کم آبی نه صرفاً یک پدیده طبیعی، بلکه مسأله ای فضایی است که در قالب الگوهای نابرابر مکانی خود را نشان می دهد و برخی نواحی را در مقایسه با سایر بخش ها در وضعیت شکننده تر قرار می دهد. از این منظر، آسیب پذیری در برابر کم آبی نه یک وضعیت یکنواخت، بلکه پدیده ای فضایی و ناهمگون است که در برخی سکونتگاه ها به صورت کانون های بحرانی تمرکز می یابد. بنابراین، تحلیل فضایی این ناهمگونی، برای شناخت الگوی واقعی بحران و تعیین نواحی در معرض خطر، ضروری است (IPCC, 2077: 4-6). پژوهش های جدید نشان می دهند که کمبود آب صرفاً به معنای کاهش حجم منابع در دسترس نیست، بلکه پیامدهای آن در سطح اقتصادی، اجتماعی، سلامت عمومی و پایداری معیشت نیز گسترش می یابد؛ به گونه ای که پیامدهای آن می تواند بخش هایی مانند کشاورزی، انرژی، امنیت غذایی و زیست پذیری سکونتگاه ها را تحت فشار قرار دهد (Ross et al, 2024: 5). در این میان، تغییر اقلیم با افزایش دما، تغییر الگوی بارش، تشدید خشکسالی و بی ثباتی هیدرولوژیکی، شکاف میان عرضه و تقاضای آب را عمیق تر کرده و بحران آب را از یک مسئله صرفاً منابعی به یک بحران تاب آوری تبدیل کرده است (Wilson et al., 2024: 3). از منظر فضایی، سکونتگاه ها صرفاً نقاط جمعیتی مجزا نیستند، بلکه سامانه های اجتماعی-بوم شناختی درهم تنیده ای به شمار می روند که هرگونه اختلال در دسترسی به منابع پایه محیطی

می تواند تعادل کارکردی آن ها را برهم زده و الگوهای ناهمگونی از تاب آوری مکانی ایجاد کند (Folke, 2006: 5-6). سکونتگاه های مختلف به دلیل تفاوت در موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی، کیفیت دسترسی به شبکه های آبرسانی، و میزان وابستگی اقتصاد محلی به منابع آب، حساسیت و ظرفیت سازگاری متفاوتی را در برابر تنش های اقلیمی تجربه می کنند (IPCC, 2022: 1-3). از این منظر، تاب آوری اقلیمی به معنای توانایی نظام های انسانی و طبیعی برای جذب شوک ها، سازگاری با تغییرات و حفظ کارکردهای اساسی در شرایط تنش آبی است؛ بنابراین، تمرکز صرف بر تأمین بیشتر آب بدون توجه به الگوهای مصرف، سازوکارهای رفتاری، و ظرفیت نهادی، پاسخ پایداری به بحران محسوب نمی شود (Zimmermann et al, 2025: 2). در این میان، عدم شناسایی الگوهای مکانی آسیب پذیری موجب می شود که برنامه ریزی های کلان بدون در نظر گرفتن واقعیت های جغرافیایی تدوین شده و مناطق بحرانی در سایه آمارهای کلی پنهان بمانند (Adger, 2006: 4). شواهد تجربی نیز نشان می دهد که اتکای بیش از حد به مداخلات سخت افزاری، اگر بدون حکمرانی مناسب و سازوکارهای سازگاری اجتماعی همراه شود، ممکن است در بلندمدت خود به تضعیف تاب آوری منجر گردد؛ زیرا زیرساخت های آبی هرچند در کوتاه مدت سبب کاهش کمبودها خواهد شد، اما می توانند الگوهای انطباق بومی و ظرفیت های سنتی سازگاری را کاهش دهند (Piemontese et al, 2024: 5). در این میان کشور ایران با قرارگرفتن بر روی کمربند خشک جهان بارشی کمتر از یک سوم میانگین بارش جهان را دریافت می کند و به نوعی، کشوری کم بارش و نسبتاً خشک محسوب می شود. در کنار این ویژگی، وقوع خشکسالی های شدید و کم آبی گسترده می تواند آثار عمیقی بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و حتی سیاسی برجای بگذارد (قادر مرزی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱). در همین راستا شهرستان بویراحمد به عنوان یکی از مهم ترین کانون های جمعیتی و خدماتی استان کهگیلویه و

فشار بر منابع آب شهرستان بویراحمد منجر شود؟

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با ماهیت کاربردی-توصیفی-تحلیلی به مدل‌سازی و تحلیل فضایی «تاب‌آوری اقلیمی در برابر کم‌آبی در شهرستان بویراحمد» می‌پردازد. در گام نخست، به‌منظور شناسایی ابعاد و مؤلفه‌های اثرگذار بر تاب‌آوری حوضه در مواجهه با تنش‌های آبی، مجموعه‌ای از ۲۳ لایه اطلاعاتی در ۶ رسته اصلی (اقلیمی، هیدرولوژیک، توپوگرافی، محیطی، جمعیتی و زمین‌شناسی) از طریق مرور نظام‌مند ادبیات جهانی و انطباق با ویژگی‌های ژئومورفولوژیک منطقه استخراج و اعتبارسنجی شد. انتخاب لایه‌های اطلاعاتی با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر تاب‌آوری اقلیمی مراکز جمعیتی شهرستان بویراحمد، بر پایه تلفیق مطالعات پیشین، ویژگی‌های جغرافیایی محدوده پژوهش، دسترسی به داده‌های مکانی معتبر و نظر خبرگان انجام شد. در این فرایند، تاب‌آوری اقلیمی نه صرفاً به‌عنوان یک ویژگی مستقل، بلکه به‌مثابه برآیند تعامل میان شدت مخاطرات اقلیمی، میزان مواجهه جمعیت و دارایی‌ها، حساسیت محیطی و ظرفیت سازگاری در نظر گرفته شد. بر این مبنا، ۲۳ لایه اطلاعاتی در شش رسته اصلی شامل: اقلیمی، هیدرولوژیک، توپوگرافی، ژئومورفولوژیک، محیطی-کاربری اراضی و انسانی- سکونتگاهی انتخاب شدند. لایه‌های اقلیمی عمدتاً شدت مخاطره؛ لایه‌های هیدرولوژیک و توپوگرافی حساسیت طبیعی و امکان دسترسی به منابع؛ لایه‌های محیطی و کاربری زمین حساسیت اکولوژیک؛ و لایه‌های انسانی-سکونت گاهی میزان مواجهه و بخشی از ظرفیت سازگاری را بازنمایی می‌کنند.

بویراحمد، به‌ویژه با تمرکز شهر یاسوج و سکونتگاه‌های پیرامونی، با فشار فزاینده‌ای بر منابع و شبکه‌های تأمین آب مواجه است. وابستگی بالای این شهرستان به منابع آب زیرزمینی، چشمه‌ها و چاه‌ها، آن را در برابر کاهش بارش، افت آبخوان‌ها و تداوم خشکسالی بسیار آسیب‌پذیر کرده است. از سوی دیگر، پراکندگی گسترده ۴۴۰ سکونتگاه روستایی، تمرکز تقاضا در چهار شهر اصلی و بالابودن هدررفت آب، نشان‌دهنده وجود چالش‌های جدی در مدیریت، توزیع و بهره‌برداری از منابع آب است. بنابراین، بررسی وضعیت تأمین و توزیع آب در شهرستان بویراحمد برای شناخت شکاف‌های موجود و ارائه راهکارهای پایدار، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی و پهنه‌بندی سلسله‌مراتبی تاب‌آوری اقلیمی سکونتگاه‌های جمعیتی شهرستان بویراحمد در برابر بحران کم‌آبی با رویکرد آمایش سرزمین و به‌منظور شناسایی کانون‌های آسیب‌پذیر است. همچنین سؤالات پژوهش مشتمل بر موارد زیر هستند.

- شاخص‌های محیطی، اقلیمی، هیدرولوژیک و کالبدی چه تأثیری بر تاب‌آوری سکونتگاه‌های جمعیتی شهرستان بویراحمد در برابر بحران کم‌آبی دارند؟

- الگوی فضایی توزیع کم‌آبی در سکونتگاه‌های شهری و روستایی شهرستان بویراحمد چگونه است و کدام پهنه‌ها آسیب‌پذیری بیشتری در برابر بحران کم‌آبی دارند؟

- در میان سکونتگاه‌های شهری و روستایی شهرستان بویراحمد، کدام مراکز جمعیتی دارای تنش آبی بیشتری هستند؟

- چه راهبردهای مدیریتی و آمایشی می‌تواند به ارتقای تاب‌آوری سکونتگاه‌های بحرانی، کاهش آسیب‌پذیری در برابر کم‌آبی و تعدیل

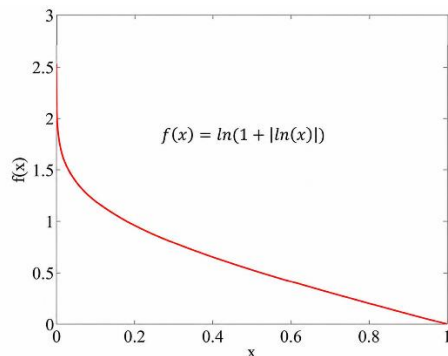
جدول ۱: ابعاد، شاخص ها و ابزارهای تحلیل تاب آوری اقلیمی در شهرستان بویراحمد

رسته اصلی	شاخص (لایه اطلاعاتی)	منبع گردآوری اطلاعات	ابزار تحلیل در GIS
اقلیمی	بارندگی، دما، تبخیر، رطوبت، تیپ اقلیمی، یخبندان، ساعات آفتابی، گرد و غبار	سازمان هواشناسی، ایستگاه های سینوپتیک	Interpolation (Kriging/IDW) / Raster Calculator
هیدرولوژیک	رودخانه ها، سدها، دریاچه ها	شرکت آب منطقه ای، نقشه های پایه	Euclidean Distance / Buffer Analysis
توپوگرافی	شیب، جهت شیب، حرکات دامنه ای (لغزش)	مدل رقومی ارتفاع (DEM)، سازمان نقشه برداری	Surface Analysis / Slope / Aspect
محیطی/کاربری	کاربری اراضی، لایه های خاک، مراکز پسماند	تصاویر ماهواره ای، سازمان جنگل ها	Supervised Classification / Reclassify
جمعیتی/خدماتی	نقاط شهری، نقاط روستایی، مراکز صنعتی، راه ها، اکوتوریسم	مرکز آمار ایران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی	Kernel Density / Network Analysis
زمین شناسی	سازندهای زمین شناسی	سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی	Georeferencing / Vector to Raster

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}$$

نرمال سازی: در این تکنیک از نرمال سازی خطی برای بی بعد کردن عناصر ماتریس تصمیم استفاده می شود.

رابطه (۲)



محاسبه عملکرد کلی گزینه ها (Si): این اندازه گیری بر اساس یک تابع غیرخطی است که در شکل زیر نشان داده شده است.

در ادامه، به منظور تعیین میزان اهمیت نسبی شاخص ها و کاهش مداخله قضاوت های ذهنی در فرایند وزن دهی، از مدل (Merec) استفاده شد. پس از تعیین وزن معیارها، لایه های استاندارد شده در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شدند تا الگوی نهایی محرومیت فضایی خدمات شهری در سطح شهر یاسوج استخراج شود. در مرحله تحلیل فضایی، به منظور شناسایی الگوهای تمرکز مکانی و بررسی معناداری توزیع فضایی شاخص ها، از آماره گتیس-آرد جی آی استار استفاده شد. این آماره امکان شناسایی لکه های داغ^۱ و لکه های سرد^۲ را فراهم می سازد؛ به گونه ای که لکه های داغ بیانگر پهنه هایی با تمرکز بالای محرومیت خدماتی و لکه های سرد نشان دهنده نواحی دارای برخورداری بیشتر و محرومیت کمتر هستند. در پژوهش حاضر مراحل وزن دهی مدل (Merec) مشتمل بر فرایند زیر است. تشکیل ماتریس تصمیم: یک ماتریس تصمیم در این مرحله ساخته می شود که امتیاز هر گزینه را در مورد هر معیار نشان می دهد.

رابطه (۱)

^۱. Hot Spots

^۲. Cold Spots

اجزا اثر بگذارد. بر اساس نظریه تاب‌آوری بوم‌شناختی هالینگ، یک سامانه تنها زمانی پایدار تلقی می‌شود که بتواند آشفتگی‌ها و شوک‌ها را جذب کند، بدون آن‌که ساختار، کارکرد و هویت اصلی خود را از دست بدهد (Holling, 1973:11). بر اساس دیدگاه‌های نظری مطرح شده، این بحران نه تنها ناشی از کاهش نزولات جوی، بلکه متأثر از توزیع نامتوازن مکانی و زمانی منابع آب در مقیاس‌های محلی و منطقه ای است که با رشد شتابان شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های کشاورزی تشدید می‌شود (Greve et al, 2024: 5). در حوزه آب، کاهش بارش، افزایش دما، افت آب‌های زیرزمینی، کاهش دبی چشمه‌ها و رودخانه‌ها یا افزایش برداشت آب، از مهم‌ترین آشفتگی‌هایی هستند که می‌توانند سامانه اجتماعی - بوم‌شناختی را از وضعیت تعادل خارج کنند. اگر شدت این فشارها از ظرفیت تحمل سامانه فراتر رود، بحران کم‌آبی به مرحله‌ای می‌رسد که پیامد آن کاهش تولید کشاورزی، محدود شدن دسترسی خانوارها به آب، افزایش هزینه تأمین آب، مهاجرت، تشدید نابرابری فضایی و تضعیف پایداری سکونتگاه‌ها خواهد بود. بنابراین، در پژوهش حاضر شدت بحران کم‌آبی به‌عنوان برآیند عدم تعادل میان عرضه قابل دسترس آب و تقاضا یا فشار انسانی بر منابع آب در نظر گرفته می‌شود. نیازمند تغییر پارادایم از تمرکز بر توسعه عرضه به سمت مدیریت تقاضا و حفاظت از منابع موجود است (Rockstrom et al, 2023: 6). در این چارچوب، متغیرهایی همچون بارش، دما، تبخیر و تعرق، شیب، ارتفاع، فاصله از منابع آب، وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراکم جمعیت، وسعت اراضی کشاورزی، نوع کاربری زمین و میزان دسترسی به زیرساخت‌های آبی، در تبیین شدت بحران نقش دارند.

نظریه آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اقلیمی: نظریه آسیب‌پذیری اقلیمی بیان می‌کند که میزان تأثیرپذیری جوامع از مخاطراتی نظیر خشکسالی و کم‌آبی، تنها وابسته به شدت مخاطره نیست؛ بلکه از میزان مواجهه، حساسیت و ظرفیت سازگاری آن‌ها نیز تأثیر می‌پذیرد. در این چارچوب، آسیب‌پذیری را

$$S_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)| \right) \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

محاسبه عملکرد گزینه‌ها با حذف اثرات معیارها (S'): تفاوت بین این مرحله و مرحله قبل این است که عملکرد گزینه‌ها بر اساس حذف هر معیار به طور جداگانه محاسبه می‌شود.

رابطه (۴)

$$S'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)| \right) \right)$$

محاسبه مجموع انحرافات مطلق (E): در این مرحله، اثر حذف معیار j را بر اساس مقادیر به دست آمده از مرحله ۳ و مرحله ۴ محاسبه می‌شود. E_j اثر حذف معیار j را نشان دهد. با استفاده از فرمول زیر می‌توانیم مقادیر E_j را محاسبه کنیم:

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad \text{رابطه (۵)}$$

محاسبه اوزان نهایی (W): در این مرحله اوزان نهایی معیارها تعیین می‌شود. وزن هر معیار با استفاده از اثرات حذف (E_j) مرحله ۵ محاسبه می‌شود. در ادامه، w_j مخفف وزن معیار j است. برای محاسبه W از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad \text{رابطه (۶)}$$

مبانی نظری

نظریه سامانه‌های اجتماعی - بوم‌شناختی و بحران کم‌آبی: نظریه سامانه‌های اجتماعی - بوم‌شناختی، انسان و طبیعت را دو جزء جدایی‌ناپذیر یک سامانه پویا می‌داند که به‌طور مستمر بر یکدیگر اثر می‌گذارند. در این دیدگاه، منابع آب، اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و ساختار حوضه آبخیز، اجزای بوم‌شناختی سامانه را تشکیل می‌دهند؛ در حالی که جمعیت، سکونتگاه‌ها، کشاورزی، اقتصاد محلی، نهادهای مدیریتی و الگوهای مصرف آب، اجزای اجتماعی آن هستند. هرگونه اختلال در یکی از این اجزا، می‌تواند از طریق سازوکارهای بازخوردی بر سایر

نظریه مدیریت یکپارچه منابع آب و حکمرانی انطباقی: مدیریت یکپارچه منابع آب، آب را منبعی چندبُعدی می‌داند که مدیریت آن باید به صورت هم‌زمان با کاربری زمین، محیط زیست، توسعه سکونتگاهی، نیازهای کشاورزی، صنعت و مصارف شرب انجام شود. بر اساس این دیدگاه، مدیریت آب صرفاً یک مسئله فنی و مهندسی نیست، بلکه یک مسأله فضایی، اجتماعی و نهادی نیز محسوب می‌شود. بنابراین، تخصیص و بهره‌برداری از آب باید با ظرفیت اکولوژیک حوضه، نیازهای زیست‌محیطی، عدالت فضایی و پایداری بلندمدت منابع هماهنگ باشد.

در این چارچوب، بحران کم‌آبی زمانی تشدید می‌شود که میان محل استقرار جمعیت و فعالیت‌ها، توان طبیعی منابع آب و ظرفیت زیرساختی تأمین و توزیع آب، تناسب وجود نداشته باشد. برای مثال، تمرکز جمعیت و فعالیت‌های خدماتی در یک کانون شهری، توسعه کشاورزی آب‌بر در نواحی دارای ظرفیت محدود یا استقرار روستاهای وابسته به منابع کم‌دوام محلی، می‌تواند فشار بر منابع آب را افزایش دهد. مکمل مدیریت یکپارچه، نظریه حکمرانی انطباقی آب است. این نظریه بر انعطاف‌پذیری نهادهای مدیریتی، مشارکت ذی‌نفعان، استفاده از دانش محلی، پایش مستمر منابع و اصلاح تصمیم‌ها بر اساس تغییر شرایط تأکید می‌کند. از این منظر، مدیریت موفق بحران کم‌آبی مستلزم آن است که نهادهای محلی و منطقه‌ای بتوانند بر پایه اطلاعات مکانی و زمانی به‌روز، مناطق بحرانی را شناسایی کرده، اولویت‌های مداخله را تعیین کنند و متناسب با شرایط هر سکونتگاه، سیاست‌های سازگاری و کاهش مصرف را به اجرا گذارند (Pahl-Wostl, 2009:2-5). در نتیجه، پهنه‌بندی بحران کم‌آبی در این پژوهش صرفاً به منظور نمایش مناطق دارای کمبود آب انجام نمی‌شود؛ بلکه ابزاری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری فضایی، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها، هدف‌گیری اقدامات سازگاری و ارتقای عدالت در تخصیص منابع آب است. این شیوه مدیریت باید بر اساس هماهنگی میان سیاست‌های کاربری اراضی، حفاظت از کیفیت آب و تخصیص

می‌توان تابعی از سه مؤلفه اصلی دانست: در زمینه بحران کم‌آبی، مواجهه به شرایطی مانند کاهش بارش، افزایش دما، خشکسالی‌های مکرر و افت منابع آب اشاره دارد. حساسیت نیز به وابستگی معیشت خانوارها به کشاورزی، دامداری، منابع آب محلی، جمعیت وابسته و ضعف دسترسی به خدمات و زیرساخت‌ها مربوط است. در مقابل، ظرفیت سازگاری شامل وجود منابع آب جایگزین، کیفیت شبکه انتقال و توزیع آب، توان اقتصادی خانوارها، تنوع معیشتی، سرمایه اجتماعی، دسترسی به اطلاعات و توان نهادهای محلی برای مدیریت بحران است. ولتکمپ و همکاران (۲۰۲۳) تأکید می‌کنند که ارتقای تاب‌آوری اقلیمی مستلزم گذار از راهبردهای واکنشی و سنتی مهندسی سازه‌ای به سمت سیستم‌های منعطف و چندعملکردی است که توانایی مواجهه با نااطمینانی‌های آینده را داشته باشند (Veldkamp et al., 2023:1-5).

از منظر تاب‌آوری اقلیمی، سکونتگاهی تاب‌آورتر است که بتواند در شرایط کاهش دسترسی به آب، نیازهای اساسی خود را تأمین کند، مصرف را مدیریت نماید، منابع جایگزین ایجاد کند و پس از وقوع تنش، کارکردهای اجتماعی و اقتصادی خود را حفظ یا بازیابی کند. از این رو، در تحلیل حاضر، سکونتگاه‌هایی که هم‌زمان دارای مواجهه و حساسیت بالا و ظرفیت سازگاری پایین هستند، در طبقات بحرانی‌تر قرار می‌گیرند. بنابراین، دستیابی به تاب‌آوری اقلیمی فراتر از اقدامات فنی بوده و نیازمند یکپارچه‌سازی دانش بومی با ابزارهای نوین تحلیل فضایی برای پیش‌بینی و کاهش اثرات مخاطرات اقلیمی است (Adger et al., 2024:3-4). این رویکرد برای شهرستان بویراحمد اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا تفاوت‌های ارتفاعی، پراکندگی ناهمگون بارش، وابستگی بخش مهمی از سکونتگاه‌های روستایی به کشاورزی و دامداری، محدودیت زیرساخت‌های تأمین آب و تمرکز نسبی خدمات در شهر یاسوج، سبب می‌شود شدت و پیامدهای کم‌آبی در سطح سکونتگاه‌ها یکسان نباشد.

بهینه منابع با اولویت حفظ جریان‌های زیست‌محیطی استوار باشد (Veldkamp et al., 2024:1-2).

نظریه سلسله‌مراتب سکونتگاهی و عدالت فضایی در دسترسی به آب: نظریه سلسله‌مراتب سکونتگاهی بر این اصل استوار است که سکونتگاه‌ها از نظر جمعیت، سطح خدمات، نقش عملکردی، دسترسی به زیرساخت‌ها و حوزه نفوذ با یکدیگر تفاوت دارند. شهرها، شهرهای کوچک، مراکز دهستان‌ها و روستاها هر یک نقش متفاوتی در سازمان فضایی منطقه ایفا می‌کنند. این تفاوت عملکردی، در میزان برخورداری آن‌ها از زیرساخت‌های آب، خدمات مدیریتی، امکانات ذخیره‌سازی و توان مقابله با بحران نیز منعکس می‌شود. در این دیدگاه، معمولاً سکونتگاه‌های بزرگ‌تر و مرکزی‌تر از دسترسی بیشتری به شبکه‌های آبرسانی، خدمات فنی، اعتبارات و ظرفیت نهادی برخوردارند؛ در حالی که روستاهای کوچک، پراکنده و دور از مرکز ممکن است وابستگی بیشتری به چشمه‌ها، قنات، چاه‌ها یا منابع آب محلی داشته باشند. از این رو، آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر خشکسالی و افت منابع آب بیشتر است. با این حال، تمرکز جمعیت و فعالیت در مراکز شهری نیز می‌تواند فشار تقاضا بر منابع آب را افزایش داده و آن‌ها را با تنش آبی مواجه کند (Falkenmark, 1989:1). بر همین اساس، طبقه‌بندی

سلسله‌مراتبی سکونتگاه‌ها در پژوهش حاضر باید با شاخص‌های بحران کم‌آبی پیوند یابد. به بیان دیگر، جایگاه هر سکونتگاه در سلسله‌مراتب فضایی، همراه با شدت کم‌آبی، ظرفیت خدماتی، دسترسی به منابع آب و توان سازگاری آن، مبنای تعیین اولویت‌های مدیریتی خواهد بود. این تلفیق کمک می‌کند مشخص شود کدام سکونتگاه‌ها، با وجود نقش جمعیتی یا خدماتی مهم، در معرض تنش شدیدتری قرار دارند و کدام روستاهای پیرامونی به دلیل محرومیت زیرساختی، نیازمند مداخله فوری‌تر هستند.

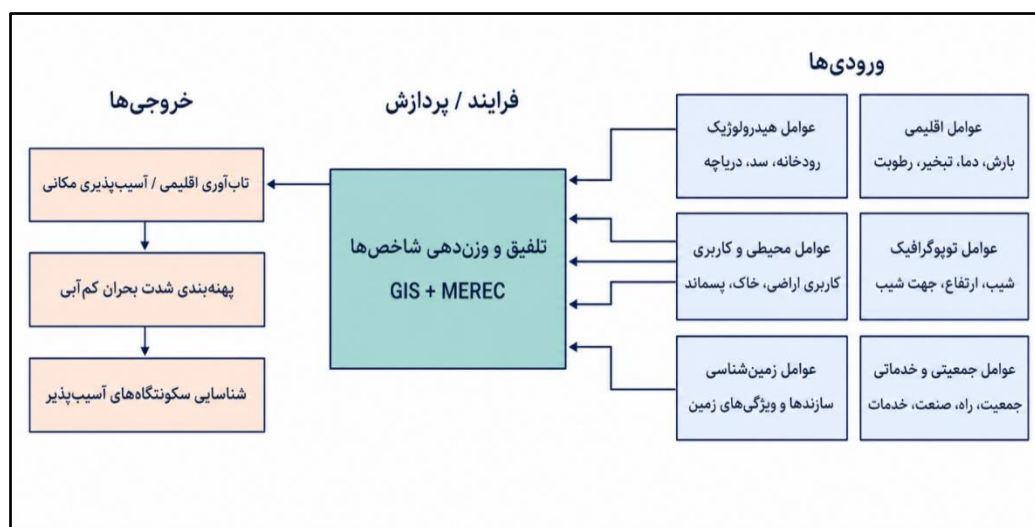
بر مبنای مباحث فوق، بحران کم‌آبی در پژوهش حاضر پدیده‌ای چندبعدی تلقی می‌شود که از تعامل چهار دسته عامل شکل می‌گیرد:

- عوامل طبیعی و اقلیمی: بارش، دما، تبخیر و تعرق، خشکسالی، شیب، ارتفاع و وضعیت منابع سطحی و زیرزمینی؛

- عوامل انسانی و فشار تقاضا: جمعیت، تراکم سکونتگاه‌ها، کاربری اراضی؛

- عوامل زیرساختی و مدیریتی: دسترسی به شبکه آبرسانی، فاصله از منابع آب و...؛

- عوامل فضایی و سکونتگاهی: جایگاه سکونتگاه در سلسله‌مراتب منطقه‌ای، تمرکز خدمات، دسترسی‌پذیری و پیوندهای مرکز - پیرامون.



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

پیشینه تحقیق

طاهر و همکاران (۲۰۲۶)، در پژوهشی با عنوان مخاطرات تغییر اقلیم و راهبردهای تاب آوری برای تأسیسات آب شیرین کن در منطقه خلیج فارس به این نتیجه رسیده اند که تأسیسات آب شیرین کن در منطقه خلیج فارس به شدت در معرض مخاطرات ناشی از افزایش دما، نوسانات شدید اقلیمی و تهدیدات زیرساختی قرار دارند و ارتقای تاب آوری این سامانه ها مستلزم برنامه ریزی فنی، تنوع بخشی انرژی و بازنگری در راهبردهای مدیریتی است.

آپوستولاکی (۲۰۲۵)، در پژوهشی با عنوان راه حل های مبتنی بر طبیعت: از دفاع در برابر سیلاب تا مواجهه با کم آبی و مخاطرات تغییر اقلیم به این نتیجه رسیده است که راه حل های مبتنی بر طبیعت، به ویژه سامانه های مدیریت و ذخیره آب باران و انواعی از سامانه های زهکشی پایدار شهری، علاوه بر نقش سنتی خود در کنترل رواناب و کاهش خطر سیلاب، ظرفیت بالایی برای استفاده مجدد از آب، مدیریت خشکسالی و تقویت امنیت آبی در مناطق دارای تنش آبی دارند.

ادریس و همکاران (۲۰۲۵)، در پژوهشی با عنوان ارزیابی کم آبی آینده در چین تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و اجتماعی اقتصادی: آیا انتقال بین حوضه های می تواند تنش فزاینده را کاهش دهد؟ به این نتیجه رسیده اند که تغییرات اقلیمی همراه با رشد جمعیت و تحولات اقتصادی می تواند شدت کم آبی را در بسیاری از نواحی چین افزایش دهد و اگرچه انتقال بین حوضه های آب در برخی مناطق می تواند از شدت تنش آبی بکاهد، اما این راهکار به تنهایی پاسخگوی بحران آینده نبوده و باید در کنار مدیریت تقاضا و سازگاری منطقه ای مورد توجه قرار گیرد.

پیمونتسه و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی با عنوان اتکای بیش از حد به زیرساخت های آبی می تواند تاب آوری اقلیمی را در سرزمین های خشک دامداری تضعیف کند به این نتیجه رسیده اند که وابستگی شدید به زیرساخت های سخت و متمرکز آبی، نه تنها لزوماً موجب افزایش تاب آوری نمی شود،

بلکه در برخی سرزمین های خشک دامداری می تواند انعطاف پذیری اجتماعی و اکولوژیکی را کاهش داده و جوامع محلی را در برابر شوک های اقلیمی آسیب پذیرتر سازد.

راس و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی با عنوان تحلیل کلان از پیامدهای اجتماعی اقتصادی کم آبی ناشی از تغییر اقلیم: تلفیق ابعاد رفتاری و تاب آوری به این نتیجه رسیده اند که کم آبی ناشی از تغییر اقلیم تنها یک چالش محیطی نیست، بلکه تبعات اجتماعی، اقتصادی و رفتاری گسترده ای به همراه دارد و سطح تاب آوری جوامع در برابر این بحران، به شدت تحت تاثیر کیفیت سیاست گذاری، واکنش های رفتاری و ظرفیت انطباقی نظام های انسانی قرار دارد.

ویلسون و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی با عنوان بحران های اقلیم - آب: بازاندیشی انتقادی در ابعاد رابطه ای، فضایی و زمانی به این نتیجه رسیده اند که بحران آب و اقلیم باید فراتر از نگاه فنی و خطی تحلیل شود، زیرا این بحران ها در بستر روابط قدرت، مقیاس های فضایی متفاوت و روندهای زمانی نابرابر شکل می گیرند و درک جامع آنها نیازمند رویکردی چندبعدی، انتقادی و زمینه محور است.

زیمرن و همکاران (۲۰۲۵)، در پژوهشی با عنوان پرداختن به کم آبی برای حمایت از تاب آوری اقلیمی و سلامت انسان به این نتیجه رسیده اند که کم آبی نه تنها تاب آوری اقلیمی را تضعیف می کند، بلکه تهدیدی مستقیم برای سلامت انسان به شمار می رود و مقابله با آن مستلزم سیاست های یکپارچه در حوزه آب، سلامت، سازگاری اقلیمی و مدیریت ریسک است. ملکی نیا و همکاران (۱۴۰۴)، در پژوهشی با عنوان «تحلیل زمین آماری توزیع پهنه بندی آب زیرزمینی در دشت بیرجند» به این نتیجه رسیده اند که که غلظت های بالای کلرید و نیترات عمدتاً در بخش های مرکزی، شمالی و شمال غربی دشت متمرکز است. همچنین، مقایسه نتایج با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و استانداردهای ملی ایران، ضرورت توجه به کانون های آلوده و اتخاذ تدابیر مدیریتی برای حفاظت و

بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند را آشکار ساخت.

میرمعصومی (۱۴۰۴)، در مقاله‌ای با عنوان «مدیریت آب در ایران با استفاده از فناوری باستانی قنات» با بررسی کارکرد و اهمیت قنات‌ها در تأمین آب مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، بر نقش این فناوری بومی در انتقال آب زیرزمینی بدون نیاز به انرژی تأکید کرده است. نتایج بیانگر آن است که قنات‌ها افزون بر تأمین بخشی از نیازهای آبی، با ایجاد تعادل میان ورودی و خروجی طبیعی آب، الگویی پایدار برای مدیریت منابع آب محسوب می‌شوند؛ از این رو حفاظت، احیا و بهره‌گیری متناسب از ظرفیت قنات‌ها می‌تواند در مواجهه با بحران کم‌آبی و مدیریت پایدار آب در ایران مؤثر باشد.

بحث و نتایج

تحلیل ساختار منابع و شبکه تأمین منابع آب در شهرستان بويراحمد: شهرستان بويراحمد از مهم‌ترین مناطق جمعیتی و خدماتی استان کهگیلویه و بويراحمد است و به دلیل تمرکز شهر یاسوج و سکونتگاه‌های پیرامونی، از نظر تأمین و مدیریت آب دارای اهمیت ویژه‌ای است. بررسی داده‌های سالنامه آماری استان نشان می‌دهد که ساختار تأمین آب در این شهرستان، مانند بخش عمده‌ای از استان، عمدتاً بر منابع آب زیرزمینی استوار است. منابع آب زیرزمینی شامل چاه‌های عمیق، چاه‌های نیمه‌عمیق، قنات و چشمه‌ها هستند و پایداری آن‌ها به میزان بارش، تغذیه آبخوان‌ها و شرایط اقلیمی وابستگی مستقیم دارد. بر اساس داده‌های سال آبی ۱۴۰۰، در سطح استان کهگیلویه و بويراحمد مجموعاً ۱۳۴۱ منبع آب زیرزمینی شناسایی شده است. از این تعداد، ۵۸/۸ درصد مربوط به چشمه‌ها بوده است. همچنین میزان تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی استان حدود ۱۰۳۱۰۱۱ میلیون مترمکعب گزارش شده که ۷۵/۳ درصد آن از طریق چشمه‌ها تأمین شده است. این ارقام نشان می‌دهد که چشمه‌ها در نظام تأمین آب استان نقش غالب دارند و هرگونه کاهش بارش یا افت

تغذیه آبخوان‌ها می‌تواند به‌طور مستقیم بر دبی چشمه‌ها و در نتیجه بر پایداری تأمین آب اثر بگذارد. در سطح شهرستان بويراحمد نیز داده‌های سالنامه، منابع آب زیرزمینی را به تفکیک نوع منبع گزارش کرده است. بر اساس جدول شهرستانی، در بويراحمد حدود ۱۳۳ حلقه چاه عمیق، ۳۳۳ حلقه چاه نیمه‌عمیق، ۱ رشته قنات و حدود ۱۳۳ مورد چشمه ثبت شده است. میزان تخلیه سالانه برای چاه‌های عمیق حدود ۳/۱ میلیون مترمکعب و برای چاه‌های نیمه‌عمیق حدود ۱/۰۳ میلیون مترمکعب گزارش شده است. همچنین ترکیب منابع نشان می‌دهد که بخش مهمی از تأمین آب شهرستان به منابعی وابسته است که در برابر خشکسالی، کاهش بارندگی و افت سطح آب زیرزمینی آسیب‌پذیرند. در بخش آب شهری، بر اساس داده‌های موجود، تعداد کل انشعاب آب در شهر پاتاوه ۶۵۰۱ فقره و حجم فروش کل آب آن حدود ۳۱۳۴۸۸ مترمکعب گزارش شده است. در شهر مادوان، تعداد انشعاب حدود ۳۱۱۳۱ فقره و حجم فروش آب نیز برای شهر مارگون، حدود ۳۳۴۳ فقره انشعاب و حدود ۳۳۴/۳۱۱ مترمکعب فروش آب ثبت شده است. در شهر یاسوج نیز تعداد کل انشعاب آب حدود ۸۳۱۳۱ فقره و حجم فروش کل آب حدود ۳ میلیون مترمکعب دیده می‌شود. وجود چنین تعداد بالایی از انشعاب‌ها، به‌ویژه در یاسوج، نشان‌دهنده تمرکز تقاضای آب در مرکز شهرستان و فشار قابل توجه بر شبکه تأمین و توزیع است. در بخش روستایی شهرستان بويراحمد نیز داده‌های مستقلی درباره ظرفیت، تولید، فروش و تعداد انشعاب آب ارائه شده است. بر اساس جدول آب روستایی، حداکثر ظرفیت منابع تأمین آب شهرستان حدود ۳۱۳۴۴ هزار مترمکعب، حجم تولید آب حدود ۳۸۳۳ هزار مترمکعب، حجم فروش آب حدود ۱۴۳۱ مترمکعب و تعداد انشعاب آب حدود ۳۳۰۱۱ فقره گزارش شده است. تفاوت میان ظرفیت منابع، حجم تولید و حجم فروش آب می‌تواند بیانگر وجود محدودیت در بهره‌برداری، نوسان عرضه، هدررفت شبکه، یا تفاوت میان ظرفیت اسمی و عملکرد واقعی سامانه آب‌رسانی

باشد. از این نظر، بررسی وضعیت آب شهرستان تنها با شمارش منابع طبیعی کافی نیست، بلکه باید توان واقعی تولید، انتقال، ذخیره سازی و توزیع آب نیز مورد توجه قرار گیرد. با توجه به داده های موجود، وضعیت آب شهرستان از چند جهت آسیب پذیر است. نخست، بخش قابل توجهی از منابع آب شهرستان متکی بر منابع زیرزمینی و چشمه ها است؛ دوم، تعداد انشعاب های شهری و روستایی نشان دهنده گستردگی مصرف و افزایش تقاضاست؛ سوم، اختلاف میان ظرفیت تأمین، تولید و فروش آب می تواند نشانه ای از محدودیت های زیرساختی و مدیریتی در شبکه آب رسانی باشد. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که مسئله آب در شهرستان بویراحمد صرفاً به وجود یا نبود منابع طبیعی محدود نمی شود، بلکه به پایداری منابع، میزان برداشت، وضعیت شبکه توزیع، ظرفیت ذخیره سازی و الگوی مصرف نیز وابسته است. در مجموع، شهرستان بویراحمد با وجود برخورداری از چاه ها، چشمه ها و سایر منابع زیرزمینی، در برابر کاهش بارندگی، افت آبخوان ها، افزایش جمعیت و رشد مصرف شهری و روستایی آسیب پذیر است. از این رو، مدیریت پایدار آب در این شهرستان نیازمند مجموعه ای از اقدامات هم زمان شامل کنترل برداشت از چاه ها، حفاظت از چشمه ها، کاهش هدررفت شبکه، افزایش ظرفیت ذخیره سازی، بازسازی تأسیسات فرسوده، مدیریت مصرف و برنامه ریزی سازگار با خشکسالی است. این رویکرد می تواند زمینه کاهش فشار بر منابع زیرزمینی و افزایش پایداری تأمین آب در شهرستان بویراحمد را فراهم کند. تحلیل ساختار تأمین و توزیع آب در شهرستان بویراحمد با تمرکز بر چهار نقطه شهری پاتاوه مادوان مارگون و یاسوج در کنار پراکنش گسترده ۴۴۰ سکونتگاه روستایی نشان دهنده یک چالش ساختاری عمیق در زمینه تاب آوری منابع و پایداری شبکه توزیع است زیرا تمرکز شدید تقاضای آب در بخش شهری به ویژه در مرکز شهرستان یاسوج با ۸۳۱۳۱ فقره انشعاب و شهر حاشیه ای مادوان با ۳۱۱۳۱ فقره انشعاب فشار مضاعفی بر ابخوان های زیرزمینی وارد می کند و در

سمت مقابل پراکندگی وسیع ۴۴۰ روستا هزینه های انتقال توزیع و نگهداری شبکه را به شدت افزایش داده و زمینه ساز هدررفت بالای آب شده است به طوری که محاسبات نشان می دهد در بخش روستایی شهرستان نرخ هدررفت آب یا آب بدون درآمد به رقم نگران کننده ۶۲/۶۷ درصد می رسد که این امر ناشی از فرسودگی خطوط انتقال انشعابات غیرمجاز و عدم مدیریت بهینه شبکه توزیع در این سکونتگاه ها است از سوی دیگر نرخ بهره برداری بسیار پایین از ظرفیت منابع تأمین آب روستایی که تنها ۱۲/۲۳ درصد برآورد شده است نشان دهنده وجود یک شکاف ساختاری میان ظرفیت اسمی منابع و توان واقعی تولید و توزیع آب در مناطق روستایی است که به دلیل نبود زیرساخت های مناسب انتقال و پمپاژ رخ می دهد بنابراین هرچند ممکن است در تراز کلی سالانه شهرستان کمبود فیزیکی مطلق آب به شکل حاد برجسته نباشد اما پراکندگی جغرافیایی ۴۴۰ روستا و تمرکز مصرف در ۴ شهر موجب شکل گیری بحران های موضعی تنش آبی فصلی و ناپایداری شدید در تأمین آب شرب به ویژه در فصول خشک سال می گردد که نیازمند اصلاح فوری شبکه انتقال پایش انشعابات غیرمجاز و زون بندی هیدرولیکی در سراسر شهرستان بویراحمد است.

تبیین فضایی نقش شاخص های مؤثر بر تاب آوری اقلیمی در برابر بحران کم آبی در شهرستان بویراحمد: پدیده تاب آوری اقلیمی در برابر کم آبی در جغرافیای کوهستانی بویراحمد، تابعی از برهم کنش متغیرهای تغذیه کننده و مصرف کننده است که در این پژوهش با رویکردی سیستمی مورد واکاوی قرار گرفت. در تحلیل پیش ران های اصلی، رسته «اقلیمی» به عنوان موتور محرک بیان آبی عمل می کند؛ در این میان، لایه بارندگی با وزن (۰/۸) درصد به عنوان منبع بنیادین تأمین آب و جبران خشکسالی، بالاترین اهمیت را داراست. در مقابل، لایه های دما (۰/۷) با تشدید نیاز آبی گیاهان و تبخیر و تعرق (۰/۷) با خروج مستقیم رطوبت از دسترس، عوامل اصلی تشدید بحران کم آبی محسوب می شوند. لایه رطوبت (۰/۵) با تعدیل نرخ

تبخیر، تیپ اقلیمی (۰/۴) با تعیین الگوی کلی بارش، و لایه یخبندان (۰/۴) با مدیریت ذخیره برفی و رهاسازی تدریجی آب، نقش حیاتی در پایداری جریان‌های آبی دارند. همچنین لایه‌های ساعات آفتابی (۰/۳) درصد) با افزایش پتانسیل خشک‌شوندگی اراضی و گرد و غبار (۰/۳) با تأثیر بر کیفیت منابع آب و کاهش بازدهی بارش، بر شدت تنش‌های آبی می‌افزایند. هم‌راستا با این بخش، رسته «هیدرولوژیک» با لایه‌های رودخانه (۰/۶) به عنوان جریان‌های اصلی توزیع آب، سد (۰/۵) جهت تنظیم جریان در فصول خشک و دریاچه (۰/۴) به عنوان ذخایر استراتژیک محلی، امنیت آبی منطقه را در برابر نوسانات اقلیمی تضمین می‌کنند. در لایه دوم تحلیل، ساختار فیزیکی زمین نرخ ماندگاری و نفوذ آب را کنترل می‌نماید. رسته «توپوگرافی» با لایه‌های شیب (۰/۶) که تعیین‌کننده سرعت خروج رواناب و کاهش فرصت نفوذ است، و جهت شیب (۰/۶) که به دلیل تأثیر بر تابش خورشید میزان تبخیر در دامنه‌ها را تغییر می‌دهد، نقشی کلیدی در حفظ ذخایر آب دارد. لایه حرکات دامنه‌ای (۰/۴) نیز با اختلال در سیستم‌های زهکشی طبیعی و تخریب خاک، پایداری منابع آب را تهدید می‌کند. در تکمیل این ساختار، رسته «محیطی و کاربری» با لایه کاربری اراضی (۰/۷) نقش تعیین‌کننده‌ای در تبدیل بارش به رواناب

یا نفوذ به سفره‌ها ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که پوشش‌های گیاهی تاب‌آوری را تقویت و سطوح نفوذناپذیر شهری آن را تضعیف می‌کنند. لایه خاک (۰/۵) با تعیین ظرفیت نگهداری رطوبت در ریشه و لایه پسماند (۰/۳) با ریسک آلوده‌سازی منابع آب زیرزمینی و غیرقابل استفاده کردن آن‌ها در شرایط کم‌آبی، بر پیچیدگی مدیریت بحران می‌افزایند. در نهایت، بخش «جمعیتی و خدماتی» به همراه بستر «زمین‌شناسی»، توازن میان عرضه و تقاضا را ترسیم می‌کنند. لایه‌های شهر (۰/۴)، روستا (۰/۳) و مراکز صنعتی (۰/۳) به عنوان کانون‌های اصلی تمرکز مصرف، بیشترین فشار را بر منابع محدود آبی وارد می‌سازند. فعالیت‌های اکوتوریسم (۰/۱) با ایجاد تقاضای فصلی مضاعف در مناطق حساس و لایه راه‌ها (۰/۲) با تغییر در الگوهای زهکشی و تسهیل دسترسی به منابع دوردست، بر مدیریت کم‌آبی اثرگذارند. در زیربنای این فرآیندها، لایه زمین‌شناسی (۰/۳) با تعیین جنس سازندها و پتانسیل ذخیره‌سازی در آبخوان‌ها، ظرفیت نهایی شهرستان بویراحمد را برای مقابله با خشکسالی‌های طولانی‌مدت مشخص می‌کند. ترکیب وزنی این ۲۳ شاخص با مجموع واحد (۱,۰۰)، ابزاری دقیق برای پهنه‌بندی مناطقی فراهم می‌سازد که به دلیل تداخل فشارهای انسانی و محدودیت‌های طبیعی، در اولویت برنامه‌ریزی برای مقابله با کم‌آبی قرار دارند.

جدول ۲: نقش شاخص‌های مؤثر بر تاب‌آوری اقلیمی در برابر کم‌آبی در شهرستان بویراحمد (وزن از ۱)

ردیف	رسته اصلی	شاخص (نام لایه)	وزن
۱	اقلیمی	بارندگی	۰,۰۸
۲		دما	۰,۰۷
۳		تبخیر و ترق	۰,۰۷
۴		رطوبت	۰,۰۵
۵		تیپ اقلیمی	۰,۰۴
۶		یخبندان	۰,۰۴
۷		ساعات آفتابی	۰,۰۳
۸		گرد و غبار	۰,۰۳
۹	هیدرولوژیک	رودخانه	۰,۰۶
۱۰		سد	۰,۰۵
۱۱		دریاچه	۰,۰۴
۱۲	توپوگرافی	شیب	۰,۰۶

ردیف	رسته اصلی	شاخص (نام لایه)	وزن
۱۳		جهت شیب	۰,۰۶
۱۴		حرکات دامنه‌ای	۰,۰۴
۱۵	محیطی/کاربری	کاربری اراضی	۰,۰۷
۱۶		خاک	۰,۰۵
۱۷		پسماند	۰,۰۳
۱۸	جمعیتی/خدمت‌مندی	شهر	۰,۰۴
۱۹		روستا	۰,۰۳
۲۰		مراکز صنعتی	۰,۰۳
۲۱		راه‌ها	۰,۰۲
۲۲		سایت های تفریحی و گردشگری	۰,۰۱
۲۳	زمین‌شناسی	زمین‌شناسی	۰,۰۳
-	-	جمع کل	۱,۰۰

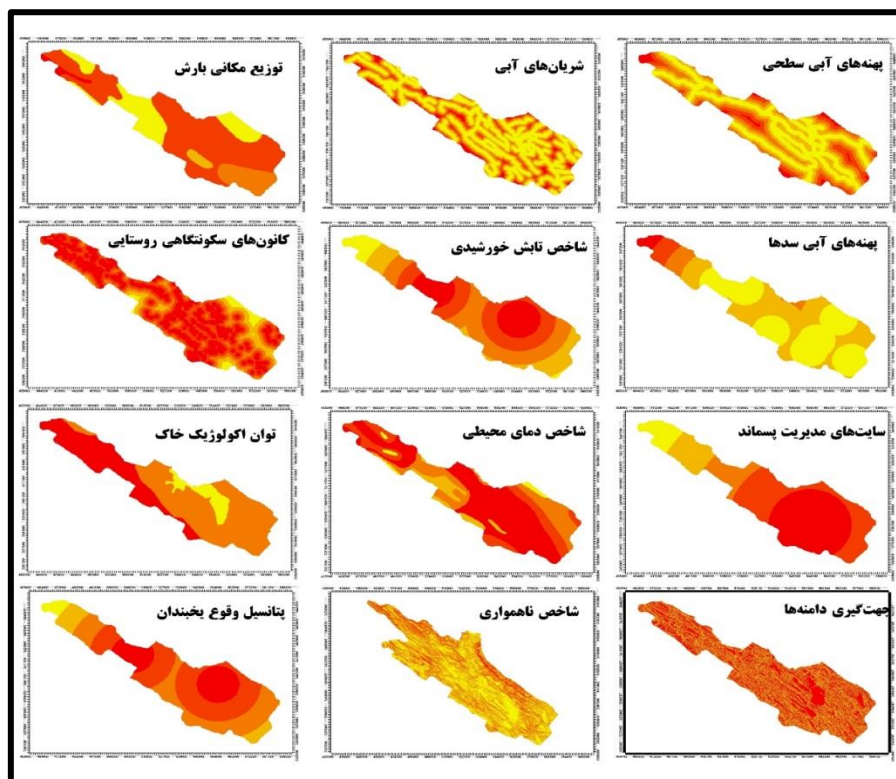
واکاوی الگوهای تاب آوری اقلیمی و تنش آبی در

پیکره‌بندی فضایی شهرستان بویراحمد: ارزیابی پهنه‌بندی تاب آوری اقلیمی در شهرستان بویراحمد با بهره‌گیری از مدل‌سازی چندمعیاره فضایی و تحلیل همپوشانی لایه‌های دوازده‌گانه در محیط GIS، بیانگر شکافی بنیادین میان الگوی پراکنش کانون‌های سکونتگاهی و توان اکولوژیک حوضه آبریز است که این عدم انطباق منجر به تشدید آسیب‌پذیری ساختاری در برابر تنش‌های آبی شده است؛ به‌طوری که تحلیل هم‌زمان توزیع بارش و شبکه هیدرولوژیک نشان می‌دهد در حالی که بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی به عنوان سهم‌گاه‌های بارشی شهرستان، واجد بالاترین ظرفیت ذخیره استراتژیک آبی هستند، کانون‌های توسعه کالبدی با تراکم بالا عمدتاً در پهنه‌های مرکزی و جنوب‌غربی متمرکز شده‌اند که با شاخص‌های دمایی فرین و جزایر حرارتی کالبدی هم‌پوشانی دارند؛ تلاقی جهت‌گیری دامنه‌ها با مدل تابش خورشیدی در این بخش‌ها، نه تنها بار گرمایشی سکونتگاه‌ها را به لحاظ انرژی مصرفی افزایش داده، بلکه نرخ تبخیر و تعرق پتانسیل را در اراضی پایین‌دست تشدید کرده و تراز آبی دشت‌ها را با مخاطره منفی مواجه ساخته است؛ افزون بر این، تحلیل تقابلی سایت‌های مدیریت پسماند با لایه توان اکولوژیک خاک و نفوذپذیری هیدرولوژیک، بیانگر ریسک بالای آلودگی منابع آب زیرزمینی در کریدورهای اصلی توسعه است که این امر

تاب آوری زیستی پهنه‌های مرکزی را به‌طور معناداری تضعیف نموده است؛ از منظر توپوگرافیک، استقرار غیربهمینه سکونتگاه‌ها در اراضی دارای شیب تند و ناهمواری بالا در دامنه‌های جنوبی و شرقی، افزون بر افزایش هزینه‌های نگهداری زیرساخت‌ها در برابر مخاطرات اقلیمی نظیر یخبندان‌های فصلی، مانع از مدیریت یکپارچه منابع در مواقع بحران شده است؛ همچنین توزیع ناموزون کانون‌های روستایی در پهنه‌هایی با ظرفیت تولید زیستی پایین، ضرورت بازنگری بنیادین در الگوی آمایش سرزمین را با تأکید بر انتقال کانون‌های توسعه به مناطق برخوردار از تراز آب زیرزمینی مثبت در محورهای شمالی و شمال‌غربی دوچندان می‌کند؛ در همین راستا، همپوشانی لایه خاک‌شناسی با شاخص‌های اقلیمی نشان می‌دهد پهنه‌های دارای بالاترین توان اکولوژیک که باید به عنوان کمربند حفاظتی زیستی عمل کنند، هم‌اکنون تحت فشارهای کالبدی سکونتگاهی قرار دارند که تداوم این روند، ظرفیت خودترمیمی اکوسیستم بویراحمد را با چالش برگشت‌ناپذیر مواجه خواهد ساخت؛ یافته‌ها مؤید آن است که توسعه فعلی، الگویی غیرانطباقی است که با بی‌توجهی به ظرفیت برد اکولوژیک، بدهی اقلیمی سنگینی را برای نسل‌های آتی ایجاد کرده است؛ در نهایت جهت‌گذار به پایداری، بازتعریف الگوی استقرار با اولویت‌بندی پهنه‌های شمالی و شمال‌شرقی که دارای ظرفیت‌های

می‌گردد تا از این طریق، ضمن کاهش وابستگی کالبدی به منابع محدود آبی، تاب‌آوری منطقه‌ای در برابر نوسانات اقلیمی آتی تضمین گردد (شکل ۱).

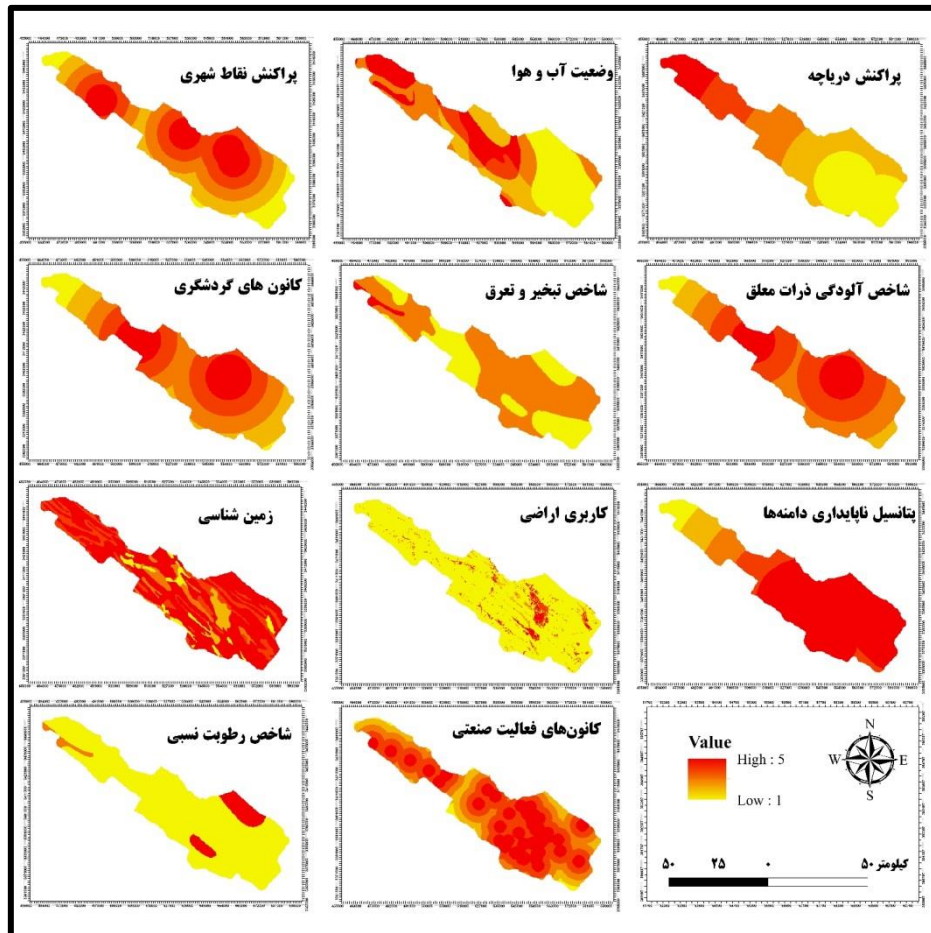
زیستی متعادل‌تر هستند، به عنوان راهبردی گریزناپذیر برای کنترل بحران کم‌آبی و دستیابی به توسعه حفاظتی و انطباقی در افق برنامه پیشنهاد



شکل ۱: نقشه شاخص‌های محدودیت اقلیمی و توپوگرافیک مؤثر بر تاب‌آوری شهرستان بویراحمد

هم‌پوشانی مستقیم دارند؛ تلاقی این لایه‌ها مؤید شکل‌گیری یک حلقه بازخورد مثبت مخرب است که در آن، استقرار فعالیت‌های صنعتی متراکم در اراضی دارای توان ناپایداری ژئومورفولوژیک، نه تنها به تشدید آلاینده‌های جوی و ایجاد جزایر حرارتی در مقیاس خرد کانون‌های زیستی دامن زده، بلکه ظرفیت خودترمیمی اکوسیستم را در مواجهه با تغییرات ناگهانی اقلیمی تحلیل برده است؛ افزون بر این، تحلیل تقابلی شاخص رطوبت نسبی و پراکنش منابع آبی سطحی و زیرزمینی نشان می‌دهد که در حالی که بخش‌های شمالی و شمال غربی شهرستان به عنوان سهم‌گاه‌های اقلیمی منطقه، واجد بالاترین ظرفیت‌های زیستی، تراز آبی مثبت، و پایداری دامنه‌ای بهینه هستند، این مناطق از منظر توسعه کالبدی در حاشیه قرار گرفته‌اند

ارزیابی پهنه‌بندی تاب‌آوری اقلیمی در شهرستان بویراحمد بر مبنای تحلیل هم‌پوشانی یازده لایه اطلاعاتی محیطی و انسانی در محیط GIS، بیانگر شکافی بنیادین و ساختاری میان الگوی استقرار کالبدی و توان اکولوژیک حوضه آبریز است که این عدم انطباق فضایی، منجر به تشدید آسیب‌پذیری سیستماتیک در برابر تنش‌های اقلیمی نوپدید شده است؛ به‌طوری‌که تحلیل هم‌زمان پراکنش کانون‌های سکونتگاهی، محورهای صنعتی و پهنه‌های گردشگری با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر، نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از بارگذاری کالبدی شهرستان در نیمه مرکزی و جنوب شرقی متمرکز شده است؛ این در حالی است که تحلیل انطباقی داده‌ها نشان می‌دهد دقیقاً همین پهنه‌ها با بالاترین مقادیر شاخص فرین ذرات معلق، نرخ بالای تبخیر و تفرق واقعی، پتانسیل بالای فرسایش دامنه‌ای و ضعف پوشش گیاهی



شکل ۲: نقشه شاخص های محدودیت اقلیمی و توپوگرافیک مؤثر بر تاب آوری در شهرستان بویراحمد

؛ این عدم تقارن استراتژیک، یک بدهی اقلیمی انباشته ایجاد کرده است که خود را در قالب افزایش سرانه مصرف انرژی برای تعدیل دما در پهنه های ناپایدار و تحمیل هزینه های سنگین انتقال آب برای پشتیبانی از کاربری های ناسازگار نشان می دهد؛ از منظر زمین شناسی و هیدرولوژی، توان بارگذاری اکولوژیک اراضی مرکزی و جنوبی به هیچ وجه پاسخگوی بارگذاری فعلی نیست و استمرار این روند توسعه فرصت طلبانه، امنیت زیستی سکونتگاه ها را در بلندمدت با چالش های برگشت ناپذیری مواجه خواهد کرد؛ سنتز نهایی یافته های چندمعیاره نشان می دهد که توسعه فعلی، الگوی غیرانطباقی است که با نادیده انگاری ظرفیت برد محیطی و کریدورهای طبیعی تهویه، پایداری نسل های آتی را قربانی اولویت های کوتاه مدت کالبدی کرده است؛ بنابراین، جهت گذار به پایداری راهبردی، بازآرایی آمایش

سرزمین با اولویت بندی انتقال کانون های توسعه به پهنه های شمالی و شمال غربی به عنوان بسترهای تاب آور توسعه پیشنهاد می گردد؛ این بازآرایی نه تنها به کاهش وابستگی کالبدی به منابع محدود پرخطر منجر خواهد شد، بلکه با ایجاد کریدورهای انطباق اکولوژیک میان جهات جغرافیایی مختلف، امکان بازتولید تاب آوری محیطی را در افق برنامه فراهم می آورد تا از این طریق، ضمن شکستن سیکل تشدید مخاطرات، تعادلی پویا میان توسعه کالبدی و ظرفیت های زیستی شهرستان بویراحمد برقرار و تاب آوری منطقه ای در برابر نوسانات شدید اقلیمی و خشکسالی های فصلی تضمین گردد؛ در نهایت اجرای این مدل مستلزم تدوین نظام نامه ای جامع برای پایش مستمر تغییرات کاربری مبتنی بر شاخص های تاب آوری است تا از هرگونه مداخله غیرعلمی در پهنه های حفاظتی جلوگیری شود و با اتخاذ

رویکردهای مدیریت تقاضای آب، فشار بر منابع هیدرولوژیک کاهش یابد؛ به‌علاوه، تلفیق نتایج تحلیل‌های فضایی با مدل‌های پیش‌بینی تغییر اقلیم، بستر لازم را برای مدیریت سناریومحور مخاطرات و ارتقای آمادگی در برابر رویدادهای اقلیمی حدی فراهم می‌آورد؛ نهایتاً، این رویکرد پیش‌ران‌محور می‌تواند به عنوان یک الگوی موفق در آمایش سرزمین برای سایر مناطق کوهستانی کشور که با چالش‌های مشابه مواجه‌اند، تعمیم یافته و نقشه راهی برای گذار از برنامه‌ریزی سنتی به توسعه انطباقی و دانش‌بنیان ارائه نماید (شکل ۲).

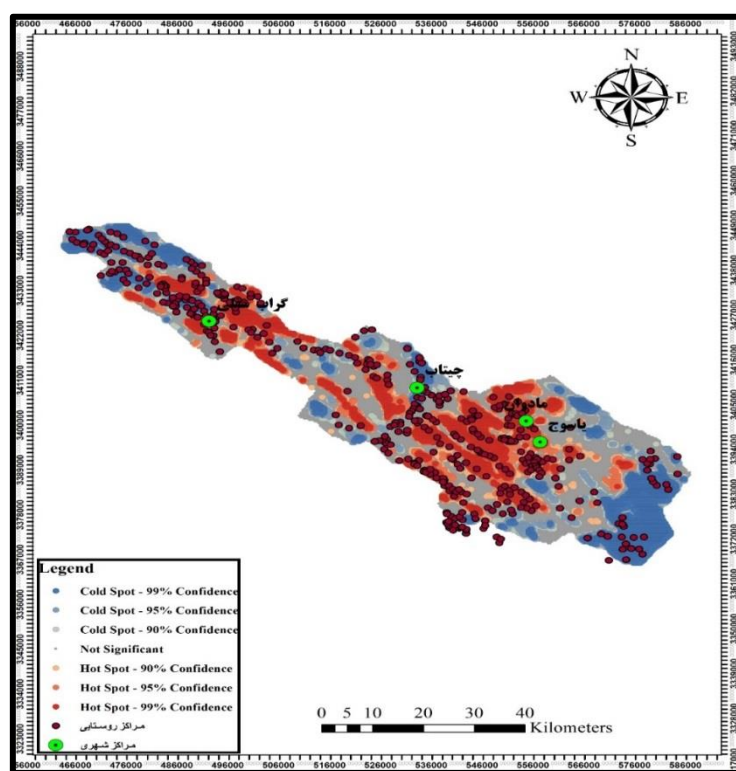
تحلیل فضایی پهنه‌بندی خطر کم‌آبی و پایش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در شهرستان بویراحمد: رهیافتی بر پایه مدل‌سازی جی‌آی‌اس و تحلیل خوشه‌ای گتیس-ارد: تحلیل فضایی پهنه‌بندی شدت خطر کم‌آبی در شهرستان بویراحمد نشان دهنده توزیع ناهمگون محدودیت‌های منابع آب در پهنه‌های مختلف جغرافیایی است که از این میان پهنه با شدت کم‌آبی خیلی کم مساحتی بالغ بر ۳۱۱/۷ کیلومتر مربع معادل ۱۰/۶۱ درصد از کل مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده است که عمدتاً در بخش‌های مرتفع شمالی و شمال غربی به دلیل پوشش جنگلی متراکم و بارش‌های جوی مناسب‌تر قرار دارد در حالی که پهنه کم‌آبی با شدت کم با مساحت ۸۳۱/۹ کیلومتر مربع معادل ۲۸/۳۱ درصد از قلمرو شهرستان را در بر می‌گیرد و بخش‌های کوهپایه‌ای و دامنه‌های جنوبی رشته کوه دنا را شامل می‌شود که پایداری نسبی بیشتری جهت استقرار سکونتگاه‌های روستایی دارند هم‌چنین پهنه کم‌آبی متوسط با وسعت ۹۰۲/۲۵ کیلومتر مربع معادل ۳۰/۷۰ درصد کل مساحت شهرستان به عنوان بزرگترین پهنه شناسایی شده است که بخش‌های مرکزی شهرستان و دشت یاسوج را در بر گرفته و به دلیل تمرکز بالای جمعیت روستایی و فعالیتهای کشاورزی نیازمند مدیریت بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی است از سوی دیگر پهنه‌های با کم‌آبی زیاد با مساحت ۶۵۰/۴ کیلومتر مربع معادل ۲۲/۱۳ درصد و پهنه

خیلی زیاد با مساحت ۲۴۲/۴۷ کیلومتر مربع معادل ۸/۲۵ درصد از وسعت شهرستان که بیشتر در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی و نواحی مرزی مشترک با استان‌های مجاور واقع شده‌اند زنگ خطری جدی برای پایداری زیستی روستاهای این مناطق محسوب می‌شوند زیرا فرونشست دشت‌ها و کاهش شدید دبی چاه‌ها در بخش‌های شرقی به وضوح مشهود است و بر این اساس ارایه راهکارهای علمی نوین مانند تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی از طریق پخش سیلاب در نواحی شرقی شهرستان اصلاح الگوی کشت و جایگزینی محصولات کم‌آب‌بر در اراضی زراعی دشت مرکزی اجرای سیستم‌های آبیاری نوین قطره‌ای و تحت فشار زیرسطحی زون‌بندی حریم‌های آبی لازم است.

تحلیل فضایی لکه‌های داغ و سرد با استفاده از شاخص خودهمبستگی فضایی محلی گتیس-ارد جی‌ای‌استار در شهرستان بویراحمد نشان دهنده یک الگوی ساختاریافته و قطبی شده از تمرکز فضایی پدیده مورد مطالعه در راستای شمال غربی به جنوب شرقی است و توزیع لکه‌های داغ با سطوح اطمینان ۹۰ و ۹۵ و ۹۹ درصد که با رنگ‌های طیف قرمز تا نارنجی مشخص شده‌اند نشان دهنده خوشه‌بندی فضایی مقادیر بالا و بحرانی آسیب‌پذیری و فقر خدماتی در بخش‌های متراکم سکونتگاهی است به طوری که بزرگترین لکه داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد در نیمه شمال غربی شهرستان پیرامون مرکز شهری گراب سفلی شکل گرفته و با امتداد به سمت جنوب شرقی بخش وسیعی از روستاهای پیوسته این بخش را تحت تأثیر قرار داده است و لکه داغ بحرانی دیگری نیز در بخش جنوب شرقی پیرامون قطب‌های شهری یاسوج و مادوان مشاهده می‌شود که تمرکز شدید مراکز روستایی در داخل این محدوده قرمز رنگ گویای بالا بودن ضریب آسیب‌پذیری یا فقر خدماتی در این پهنه‌های پیرامون شهری است و به طور کلی پهنه‌های لکه داغ با سطح اطمینان ۹۹ درصد مساحتی نزدیک به ۷۳۴/۶۸ کیلومتر مربع معادل ۲۵ درصد از وسعت کل شهرستان را به خود اختصاص

های روستایی در این لکه های سرد آبی رنگ با اطمینان ۹۹ درصد به ویژه در ارتفاعات جنوب شرقی مشهود است و نواحی فاقد معنی داری آماری با رنگ خاکستری به عنوان زون های واسط و انتقالی مساحتی بالغ بر ۱۶۱۶,۳ کیلومترمربع معادل ۵۵ درصد از مساحت منطقه را تشکیل می دهند که توزیع پراکنده تری دارند و این تحلیل مکانی ضرورت بازنگری در ساختار شبکه جریان های فضایی و توزیع عادلانه تر منابع را آشکار می سازد.

داده اند که بیشترین تراکم نقاط روستایی (مراکز روستایی قرمز رنگ) نیز دقیقاً انطباق مکانی کاملی با این کانون های بحرانی دارد در حالی که لکه های سرد با رنگ های طیف آبی که نشان دهنده خوشه بندی مقادیر پایین و پایداری نسبی یا برخورداری فضایی هستند عمدتاً در حاشیه های ارتفاعات شرقی و جنوب شرقی یاسوج و همچنین بخش هایی از شمال غرب متمرکز شده اند و مساحتی در حدود ۵۸۷,۷۴ کیلومترمربع معادل ۲۰ درصد از قلمرو شهرستان را پوشش می دهند که کمترین میزان تمرکز سکونتگاه



شکل ۳: نقشه تحلیل فضایی کانون های بحرانی و زون های تاب آور شهرستان بویراحمد بر اساس شاخص گتیس-ارد (Getis-Ord Gi*)

مراکز خدمات رسانی واسط در روستاهای مرکزی واقع در لکه های سرد جهت تعادل بخشی منطقه ای استفاده از مدل های پیشرفته زمین آمار مانند رگرسیون وزن دار جغرافیایی^۱ برای تبیین عوامل اثرگذار شکل گیری این لکه های داغ، تقویت شبکه های ارتباطی بین مرکزیتی در محور گراب سفلی

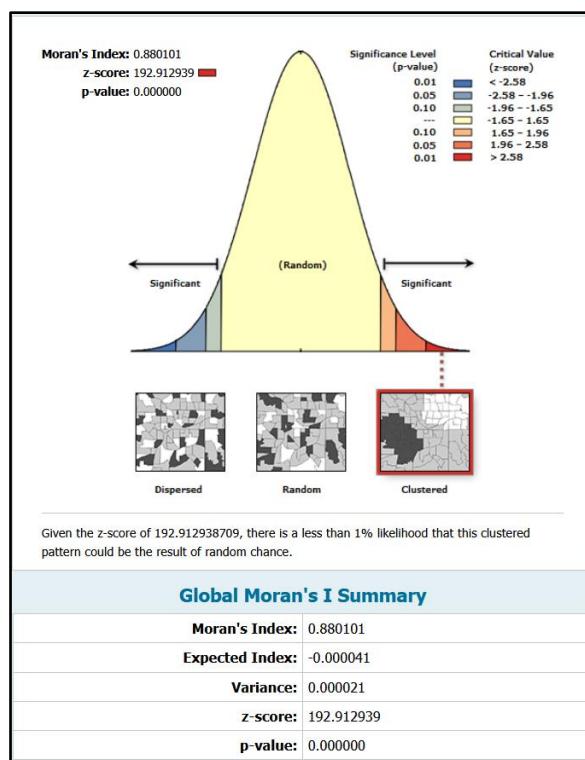
زیرا انباشت نقاط روستایی در هسته های داغ نشان دهنده اسکان بیش از حد جمعیتی در پهنه های آسیب پذیر و فاقد کشش محیطی است و بر این اساس توصیه های علمی نوین بر پایه یافته های این نقشه شامل اعمال سیاست های تعدیل فضایی و تمرکززدایی خدماتی از هسته های داغ یاسوج و مادوان به سمت زون های انتقالی خاکستری ایجاد

^۱. GWR

و چیتاب برای کاهش انزوای جغرافیایی سکونتگاه‌های واقع در کانون‌های بحرانی است. از طرفی اعمال زون بندی‌های حفاظتی شدید در لکه‌های سرد شرقی به دلیل حساسیت‌های اکولوژیکی و منابع آبی و در نهایت طراحی سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری فضایی جهت پایش سالانه تحولات کالبدی و فضایی این خوشه‌های داغ و سرد برای دستیابی به توسعه پایدار و تاب آوری سرزمینی در شهرستان بويراحمد ضروری می باشد (شکل ۳).

برای سیاست‌گذاری فضایی نخست، در کانون‌های داغ یاسوج، مادوان و گراب سفلی باید تأمین و توزیع

خدمات زیربنایی، کاهش فشار بر شبکه‌های آب، کنترل توسعه فیزیکی بی‌برنامه و تقویت پیوندهای ارتباطی سکونتگاه‌ها در اولویت قرار گیرد. دوم در لکه‌های سرد واقع در ارتفاعات شرقی، هرگونه توسعه باید با رعایت ظرفیت‌های اکولوژیکی، حفاظت از پوشش گیاهی و صیانت از منابع آب صورت پذیرد. بدین ترتیب، نقشه لکه‌های داغ و سرد می‌تواند به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری برای تخصیص هدفمند منابع و پایش دوره‌ای تحولات فضایی به‌کار رود.



شکل ۴: تحلیل الگوی خودهمبستگی فضایی و ساختار خوشه‌ای تنش آبی در شهرستان بويراحمد

تحلیل خودهمبستگی فضایی موران (Global Moran's I)

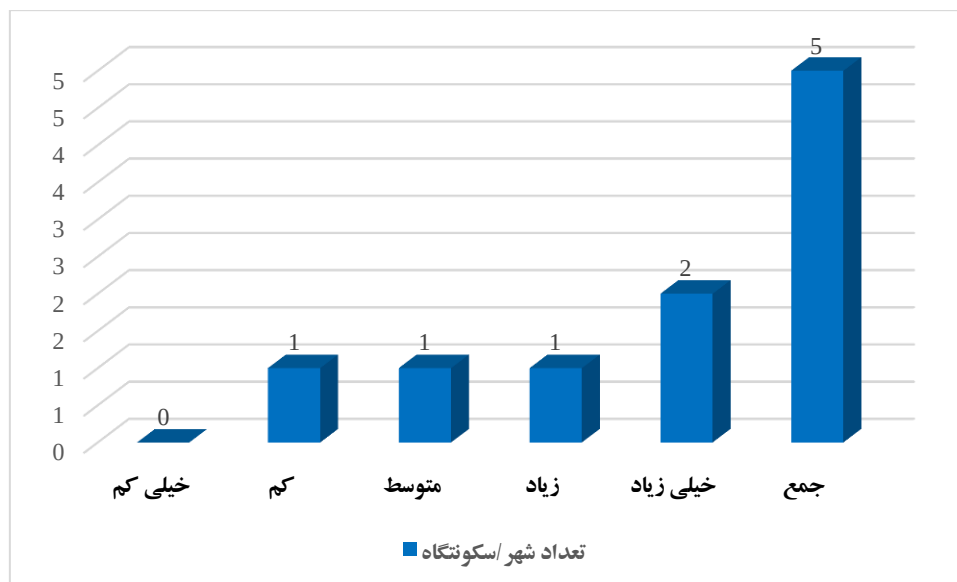
شاخص تاب آوری اقلیمی در برابر کم‌آبی در سطح سکونتگاه‌های شهرستان بويراحمد: به منظور واکاوی الگوی پراکندگی فضایی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های شهرستان بويراحمد در برابر تنش آبی، از آماره

خودهمبستگی فضایی جهانی موران^۱ استفاده شد. نتایج حاصل از این تحلیل که در شکل نمایش داده شده است، بیانگر یک الگوی خوشه‌ای^۲ بسیار قوی با مقدار شاخص موران برابر با ۰.۸۸۰۱ است. مقدار Z-score معادل ۱۹۲.۹۱۲ و p-value برابر با ۰.۰۰۰۰، با اطمینان آماری بالای ۹۹ درصد تأیید

1. Global Moran's I
2. Clustered

لزوم گذار از رویکردهای نقطه‌محور به راهبردهای آمایشی پهنه‌بندی شده و سیاست‌گذاری‌های یکپارچه در قالب مدل IHSRM را به عنوان یک الزام مدیریت تاب‌آوری اقلیمی در زاگرس مرکزی تثبیت می‌نماید. از دیدگاه مدیریتی، وجود خودهمبستگی فضایی بالا ایجاب می‌کند که تخصیص اعتبارات، پروژه‌های تأمین آب، بهسازی شبکه انتقال، طرح‌های تغذیه مصنوعی و اقدامات سازگاری، به‌جای رویکردهای منفرد و نقطه‌محور، در قالب بسته‌های مداخله‌ای برای خوشه‌های فضایی بحرانی طراحی شوند. کمبود آب در شهرستان بویراحمد است.

می‌کند که توزیع تنش آبی در سطح شهرستان از یک ساختار نظام‌مند و غیرتصادفی تبعیت می‌کند. نزدیکی مقدار شاخص موران به عدد ۱ نشان‌دهنده همگنی شدید آسیب‌پذیری در پهنه‌های خاص و تشکیل کانون‌های بحرانی در مقیاس منطقه‌ای است. این یافته به روشنی اثبات می‌کند که چالش کم‌آبی در بویراحمد نه یک پدیده پراکنده و جزیره‌ای، بلکه یک عارضه تجمعی مکان‌مند است؛ به‌گونه‌ای که سکونتگاه‌های با سطوح بحرانی مشابه در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و پهنه‌های همگن آسیب‌پذیری را پدید آورده‌اند. از این رو، استقرار الگوی خوشه‌ای در این سطح از معناداری،



نمودار ۱. دسته‌بندی سکونتگاه‌های شهری شهرستان بویراحمد بر اساس بحران آبی

عنوان مرکز سیاسی، اداری و خدماتی شهرستان در سطح «زیاد» قرار دارد که بیانگر تمرکز تقاضا، تراکم عملکردی و وابستگی شدید به زیرساخت‌های آبی موجود است، در حالی که گراب سفلی با قرارگیری در سطح «متوسط» شرایطی بین‌آبینی دارد و هنوز به مرحله بحران حاد نرسیده، اما در برابر افزایش جمعیت و نوسانات اقلیمی آسیب‌پذیر است. در مقابل، چیتاب در سطح «کم» قرار گرفته که می‌تواند بازتابی از فشار جمعیتی کمتر، بار عملکردی محدودتر و تعادل نسبی میان عرضه و تقاضای آب باشد؛ بنابراین، آرایش فضایی سکونتگاه‌های شهری بویراحمد نشان می‌دهد

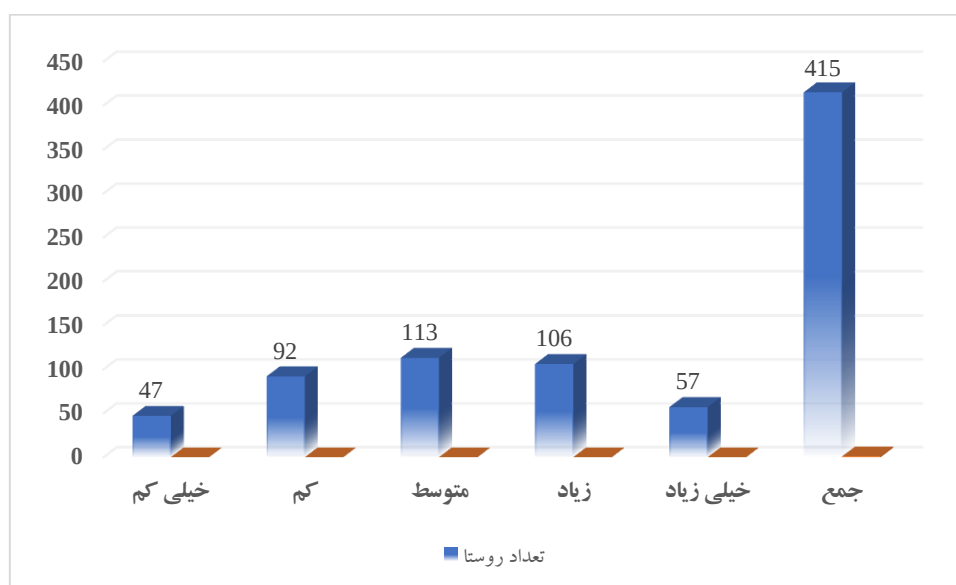
پهنه‌بندی سلسله‌مراتبی سکونتگاه‌های جمعیتی شهرستان بویراحمد براساس سطوح شدت بحران کم آبی: پهنه‌بندی سلسله‌مراتبی سکونتگاه‌های شهری شهرستان بویراحمد نشان می‌دهد که الگوی شدت بحران آب در این شهرستان از یک ساختار فضایی نامتوازن و مرکز-پیرامون تبعیت می‌کند، به گونه‌ای که مادوان و سپیدار در بالاترین سطح بحران یعنی «خیلی زیاد» قرار گرفته‌اند و این وضعیت بیش از هر چیز ناشی از رشد شتابان جمعیت، گسترش فیزیکی بی‌برنامه، افزایش مصرف شهری و فشار همزمان بر شبکه تأمین و توزیع آب است. در رتبه بعد، یاسوج به

که هرچه از کانون‌های اصلی تمرکز جمعیت و توسعه کالبدی به سمت سکونتگاه‌های کم‌تراکم‌تر حرکت می‌کنیم، از شدت بحران آب کاسته می‌شود، و این امر ضرورت مداخله مدیریتی هدفمند، بازتوزیع عادلانه زیرساخت‌ها، کاهش هدررفت شبکه، کنترل توسعه فیزیکی و تقویت تاب‌آوری شهری را به ویژه در مادوان، سپیدار و یاسوج دوچندان می‌کند. این آرایش فضایی ضرورت اولویت‌بندی راهبردهای مدیریت منابع آب و اجرای طرح‌های ارتقای تاب‌آوری را با تأکید ویژه بر شهرهای با شدت بالا الزامی می‌سازد. لذا این تحلیل، ابزار کلیدی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در خصوص تخصیص منابع آب، اولویت‌بندی پروژه‌های تأمین آب، و تدوین استراتژی‌های سازگاری با تحلیل توزیعی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان بویراحمد بر

اساس شدت کم آبی، الگوی فضایی ناهمگونی را آشکار می‌سازد که نشان‌دهنده تفاوت‌های معنادار در پتانسیل توسعه، دسترسی به زیرساخت‌ها و فشارهای محیطی است. بررسی آماری نشان می‌دهد که از مجموع ۴۱۵ روستای شناسایی‌شده، توزیع فراوانی در سطوح شدت به شرح زیر است: تعداد ۴۷ روستا در سطح «خیلی کم»، ۹۲ روستا در سطح «کم»، ۱۱۳ روستا در سطح «متوسط»، ۱۰۶ روستا در سطح «زیاد» و ۵۷ روستا در سطح «خیلی زیاد» قرار دارند. این داده‌ها بیانگر آن است که بیشترین تراکم سکونتگاه‌ها (معادل ۵۳ درصد از کل روستاها) در رده‌های «متوسط» و «زیاد» متمرکز شده‌اند که عمدتاً منطبق بر محورهای مواصلاتی اصلی و دره‌های حاصلخیز شهرستان است.

جدل ۳: دسته‌بندی سکونتگاه‌های شهری شهرستان بویراحمد بر اساس سطوح بحران آبی

شدت	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
سکونتگاه شهری	-	چیتاب	گراب سفلی	یاسوج	مادوان-سپیدار



نمودار ۱. دسته‌بندی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان بویراحمد بر اساس بحران کم آب

از سوی دیگر، زون‌های «خیلی کم» و «کم» که قریب به ۳۴ درصد از کل آبادی‌ها را شامل می‌شوند، عمدتاً در پهنه‌های کوهستانی و حاشیه‌ای با توپوگرافی دشوار قرار گرفته‌اند که این امر دسترسی به خدمات زیربنایی را با محدودیت مواجه ساخته است. در مقابل،

زون‌های دارای شدت «خیلی زیاد» با ۵۷ مورد، هسته‌های در حال توسعه‌ای هستند که عمدتاً در شعاع پیرامونی مراکز شهری شکل گرفته و تحت تأثیر فرآیندهای رشد شتابان و ادغام کالبدی، با بالاترین سطح تغییرات کاربری و فشارهای زیرساختی

مواجهه‌اند. این توزیع سلسله‌مراتبی، همبستگی بالایی را میان متغیرهای مورفولوژیک (شیب، جهت و ارتفاع) و دسترسی به منابع آب با شدت توسعه روستاها نشان می‌دهد. یافته‌های حاضر بر این مهم تأکید دارد که برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری اقلیمی و توسعه پایدار در شهرستان بویراحمد، نیازمند اتخاذ رویکردهای متمایز است؛ به‌گونه‌ای که در مناطق با شدت پایین، اولویت‌بندی بر توسعه زیرساخت‌های پایه و در مناطق با شدت بالا، تمرکز بر مدیریت رشد و کاهش اثرات جزایر حرارتی مدیریت منابع آب برای پیشگیری از بحران‌های آتی در اولویت قرار گیرد.

جدل ۴: تقسیم بندی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان بویراحمد بر اساس شدت کم آبی

شدت	نام روستا
خیلی کم	پهنای بهی، تنک الک، تنگ کلاچیکی تهلیون، چشمه جفته تنگ الک، آب پوتی گلال، اشکفت سفلی گلال، اشکفت علیا گلال، پاتاوه گلال، سه چاه گلال، شهدالی عبدی، آب گرمک گوزنان، اشکفت سیاه، پستوک، دلاوری گرگیان، سی لارستان سفلی دم لوداب، ده چل دم لوداب، ده سوخته دم لوداب، ابلون، آبمورد تنگیار، انارک برمیون، چنگ دم لوداب، دره گرو چنگ، ده چل دلی تا، هود، اله آباد، تنگ خشک، تنگ مشکان، تنگسرخ، دره ماهینی، سرتنگ تنگ سرخ، چشمه چنار تنگ سرخ، اسلام آباد تنگ سرخ، حسن آباد تنگ سرخ، گنجگان سفلی، گنجگان علیا، محراب آباد، چشمه پهن گنجگان، خنگ، ده نو کاکان، زردخانی، وغمی، لیروگردوه، ساران، شهدالی سلبعلی، پی راه دول شیرین، دول زندان گلال، کلکه پانتخت.
کم	نسه کوه علی چین، آب چنداران علیا گلال، برافتاب تهلیون، برافتاب علیا گلال، بنار شهدالی، تنگ ناکمی، تهلیون، دروهان گلال، دسیری، زیرتوت، ساختمان جمشید چین، طوف فاضل تهلیون، ظفر تهلاپی، تنگ زرد گلال، دوراهه سفلی گلال، ده نو گلال، شهدالی ادريس، بنستان جلیل، بهمن گزلی، قاسم آباد جلیل، خشکدان علیا، دم سفیدار، دلی، دلی بچک سفیدار، دوروه، کوه پهن سفلی، گوراب، اسکان عشایر دلی بچک، دم دیلگون، احمد قلندری، شاهزاده محمد، پوزه سفید، تل خالی کاکان، اب چندار گوزنان، اسلام آباد حیدرآباد، تل سیاه لوداب، چهارتنگ قلندری، دهنو لوداب، زیزی، سرگر ساسرگون، سی لارستان علی آدم لوداب، گاودانه لوداب، من لوا، اب مورد دم لوداب، اسکندری برمیون، برمیون، چفتاب برمیون، سرتنگ پیواره، سرگردنگاه، گردن پرتراج تنگ پیواره، گردن تل برمیون، گردنگاه، لم اب برمیون، مله ابگیر، دره بنگرگردنگاه، تل بن پراشکفت، چال کوب پراشکفت، چل محمدباقری پراشکفت، دره خانی پراشکفت، پاسگاه ژاندارمری تنگ سرخ، سه تنگون، حسین خانی، عباسعلی خانی، منصورخانی، گردو کنگک، پریکدون، وزگ منصورآباد، قلات، ایریزی پریکدان، ورد برده‌ری تنگاری، نادرآباد نقاره خانه، ماهور سبز نقاره خانه، لیشکان، کرکرزار، صالحان، دروهان نقاره خانه، بهزادی نقاره خانه، بلوط کارون، بطاری، ابگرمک سفلی نقاره خانه، اب زالو وسطی نقاره خانه، سرکوه شهید دلی بچک، میان چنار مذکور، سالارآباد چنار، دم تنگ شهید دلی بچک، بونه ریزک چنار، نظرآباد، چشمه ریزک زیرتوت، صفراآباد چین، دره سرد چنارس، تل سرخ دیلگون، پادگان قدس.
متوسط	آب بهاره چین، دم اب بهاره چین، ساختمان کهیار دره بید، طوف دره بید، آب چنداران سفلی گلال، ایدروشه چین، پوزه بلی بلند، چشمه پوتی له فراخ، دره تی تهلیون، دره دراز چین، له فراخ مله نامداران، ولی حسین، ده نسه مذکور گلال، چال انجیر، اسلام آباد جلیل، بردپهن عبداللطیف، دروهان جلیل، سیوکی جلیل، مله باریک بابکان، راجونه کاری، سیسه گرگ علیا، صادقی، عسکرآباد دلی بچک، کون سرخو، نرگسی، امیرآباد بابکان، برافتاب زیزی، اب اسپید گوزنان، اب چنداران تل دراز، اسلام آباد گرگیان، تل دراز، تنگ بوستان زیزی، تنگ رود زیزی، دم بیل دون دلی ریچ علیا، ده سم لوداب، سرکورکی دلی ریچ علیا، کبونه، کره دان زیزی، گردکان، گرگیان، گوزنان، لیروسوخته لوداب، ملادارا سرتلی، میرزارحیم، نرگسی گوزنان، گراب علیا، زیرنسه زیزی، دره دزدان، ده چل دلی ریچ علیا، ده میرقمنصور دلی ریچ علیا، کلکه دلی ریچ علیا، غلامعلی پیروزگ، چشمه خرسی پیروزگ، چیتاوه پراشکفت، دره کلکه پراشکفت، ده بزرگ پراشکفت، مرادی پراشکفت، بردخیاری، چاه پازنان، دولت آباد، پیروزگ، تل سیاه، حمزه خانی، دوراهی سفیدار، پازنان دلی علی پناه بیگی، جدول دارتا مختار، چشمه چنار یاسوج، زردک، محمدآباد اشورپاشور، سراب خمزان کوچک، غضنفرخانی، میرغضب، محمدآباد صالحان، نقاره خانه، گردوه، گاوخوس چیتاب، رهمالی، چال دال، تنگ سهته، ابگرمک وسطی نقاره خانه، ابگرمک علیا نقاره خانه، اب زالو علیا نقاره خانه، آب زالو سفلی نقاره خانه، کلکه جلیل، دره گودرزی، خرتز، چشمه وزگ دلی خمسیر، چشمه چنار مردخدا، باوری، کبکیون، برافتاب علی کرمی، علی کرمی علیا، سرمست، سرچنار، زنگوای علیا، دره گرم چنار، دم چنار عزیزی، چونک محمدحسن، بن دره، ولی آباد دلی خمسیر، مردخدا، حیدرآباد سفلی، حیدرآباد علیا، قوام آباد علیا، میرعباسعلی، سروزگ دره بید، دوبند تنگلو بابکان، سربتاوه، کهوا، سروک، گنجه ای سه ریز، میرمقیمی چیتاب، شولکش زنگوا.
زیاد	نسه کوه ویسی چین، خیارکال، ده سرشک، امیرشیرخان، خشکدان بابکان، باجولی، بلوطک خورشید، بونه دم سفیدار، بیدبرزه

شدت	نام روستا
	سفیدار، بیدمیدان، تل سیدفخر احمد، تنگ اب سردار، دره بیدی سفیدار، سرکور کی سفیدار، گرکلاغ نشین، دره ماری بابکان، ده شیخ دیلگون، نرماب کی مصطفی، تلخه دان بزرگ امیرآباد، چشمه جیوری منتنگون، آباد، اب کاسه تل دراز، ایلمی گوزنان، نصراله جهان بین، آزادی دم لوداب، کمک خداداد، کمک عزیزاله، کمک گرگلی، نده برمیون، تل گهی، جونک، چشمه قنات جونک، دره گرو فیروزآباد، دواب کالوس، دوپوت، سرتنگ فیروزآباد، سردشت کالوس، قهوه خانه کورکی مختار، کالوس سفلی، کالوس مرکزی، بهاره بردخیاری، جهادآباد چشمه تاگی، چشمه بلوطک، چشمه تاگی، چشمه رفات، چشمه سرخ، دم تنگ تیکاب، اب چنارو، ابگردو، مورگاه کاکان، جهان آباد برافتاب، چشمه پهن دشت روم، بازرنگ، جدول غوره مختار، جدول غوره نره گاه، وردگودخانی، چنارستان علیا، چنارستان وسطی، خادم آباد مختار، خلف آباد، دهنو یاسوج، علی آباد سرتل، علی آباد مختار، کردلاغری، کریم آباد، گلشن بزرگ مختار، مازه خرید، محمودآباد علیا، موردراز رهبر، موردراز سفلی، موردراز وسطی، نره گاه مرکزی، یوسف آباد مختار، جهان آباد مرکزی، حیدرآباد تنگ سه ریز، ده برافتاب علیا، شهیدآباد تنگ سه ریز، ده برافتاب سفلی، سه ریز، محمدآباد تنگ سه ریز، پلیس راه اصفهان، شهدادلی خمیسر، چشمه قنات دلی خمیسر، چشمه سیب دلی خمیسر، موگر، گندم کش چیتاب، چشمه دزدک سفلی، پس گچ چنار، باغ تیلکوچنار، نره گاه مشایخ، خهکی چیتاب، کمک نادعلی، تنگاری، اکبرآباد، دکل مخابرات پازنان، تنگ تلخاب زیزی، بلهزار، تل خسرو، سیب مداب سفلی، گوشه شاهزاده قاسم، مادوان سفلی، ماسه شویی کرمی، مهران، نجف آباد، سرقنات چیتاب، له دراز دلی خمیسر.
خیلی زیاد	چال شاهین خدابخش، شش برد، باغچه جلیل، سواره بابکان، پاتاوه، پازنان، دره کی صالحی، دره کی علی خانی، سیسه گرگ سفلی، گودتاک، وزگستان، کالوس وسطی، حسن آباد تبرقو، آب سردان تل دراز، موردی، کمک راه خدا، کمک صفر، کمک خارحم، چشمه انجیر فیروزآباد، چشمه خانی فیروزآباد، ده بزرگ فیروزآباد، طاوه بادام، کالوس علیا، امیرآباد سفلی، امیرآباد وسطی کی محمدخان، منصورآباد سراب خمزان، آب دره جونک، اسلام آباد تنگ سه ریز، امیرآباد علیا، جهان آباد سفلی، چال بنیودشت روم، حسین آباد سفلی، حسین آباد علیا، کل قنات جهان آباد، جدول غوره مهران، چشمه تبرقو، چنارستان سفلی، داودآباد مختار، ده اقا شفیع، ده کهنه مزدک، دینتل حبیب آباد، شاه مختار، حسین آباد مختار، گنجه ای کهنه، موردراز علیا، گرکلاغ نشین امیرآباد، جات باریک جهان آباد، شهرک صنعتی فرودگاه، چشمه به مله خمیسر، سی لارستان جوزار، جوزار، سرقنات قبادچنار، دم چنار هادی آباد، چشمه دزدک علیا، دم تنگ باوری، سفیدار مرکزی، حبیب آباد مزدک، گرگو، فاریاب کلمک، کلمک لال، تمنک سفلی، تمنک علیا، حرونراد، ده تاوه مرادی، سرتنگی، سرچاتی علی میرزا، ده الهداد، ده سفلی، ده علیا، ده محمدطاهر، ده مذکور و نصرالله، برقولدگ باجولی، پوزه تیزاب صفر، سادات آباد، کوشک علیا، گودبلی، تل گاوی، برقولدگ سفلی، زیرگر، مله جی آب باریک، درکلگه، پورجاوید.

بر مبنای این یافته‌ها، پهنه‌های دارای شدت «زیاد» و «خیلی زیاد» به عنوان اولویت نخست مداخله معرفی شدند و اقداماتی مانند کاهش هدررفت شبکه‌های آبرسانی، ارتقای ظرفیت ذخیره و انتقال آب، کنترل توسعه فیزیکی سکونتگاه‌ها، مدیریت تقاضای آب، حفاظت از منابع آب سطحی و زیرزمینی و استقرار سامانه پایش مستمر برای آن‌ها پیشنهاد شد. در پهنه‌های با شدت «کم» و «خیلی کم» نیز بر حفاظت پیشگیرانه از منابع موجود، توسعه متناسب زیرساخت‌های پایه و جلوگیری از افزایش فشارهای جمعیتی و کاربری تأکید شد. بنابراین، نتایج GIS صرفاً به ارائه نقشه پهنه‌بندی محدود نشده، بلکه به عنوان مبنایی برای تخصیص مکانی منابع، اولویت‌بندی پروژه‌های تأمین آب، شناسایی

سکونتگاه‌های بحرانی و تدوین راهبردهای سازگاری با کم‌آبی در شهرستان بویراحمد به کار گرفته شده است.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی فضایی تاب‌آوری اقلیمی سکونتگاه‌های شهری و روستایی شهرستان بویراحمد در برابر بحران کم‌آبی انجام شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که آسیب‌پذیری در برابر کم‌آبی، پدیده‌ای صرفاً اقلیمی نیست؛ بلکه حاصل برهم‌کنش هم‌زمان کاهش و نوسان بارندگی، افزایش دما و تبخیر و تعرق، وابستگی به منابع زیرزمینی، الگوی نامتوازن استقرار جمعیت و فعالیت‌ها، تغییر کاربری اراضی و ناکارآمدی زیرساخت‌های انتقال و توزیع آب است. همچنین نتایج حاصل از پژوهش

تأمین آب بدون اصلاح شبکه، کاهش پرت آب و مدیریت تقاضا، به تنهایی نمی تواند مسئله کم آبی را حل کند. بنابراین، ارتقای تاب آوری سکونتگاه ها مستلزم تلفیق مدیریت عرضه و تقاضای آب، حفاظت از منابع طبیعی و هدایت توسعه فضایی متناسب با ظرفیت اکولوژیک هر سکونتگاه در شهرستان بویراحمد است.

محدودیت ها و پیشنهاداتی برای پژوهش های آینده: از محدودیت های پژوهش می توان به محدودیت دسترسی به داده های زمانی بلندمدت برای برخی شاخص های هیدرولوژیک، تغییرپذیری فصلی منابع آب، و دشواری اندازه گیری دقیق هدررفت و مصرف واقعی آب در همه سکونتگاه ها اشاره کرد. همچنین پیشنهاد می شود در پژوهش های آینده، تغییرات زمانی خشکسالی و منابع آب در مقیاس فصلی و سالانه بررسی شود؛ سناریوهای تغییر اقلیم در مدل تاب آوری وارد گردد؛ اثر توسعه گردشگری، کشاورزی و گسترش کالبدی شهر یاسوج بر تقاضای آب تحلیل شود؛ و مدل های پیش بینی افت آبخوان و نیاز آبی سکونتگاه ها با استفاده از داده های سنجش از دور و مدل های تصمیم گیری ترکیبی توسعه یابد.

نشان می دهد که بارندگی، دما، تبخیر و تعرق و کاربری اراضی، مهم ترین عوامل مؤثر بر وضعیت تاب آوری در شهرستان بویراحمد هستند. از سوی دیگر نتایج پهنه بندی نیز بیانگر آن است که بیش از ۳۰ درصد از مساحت شهرستان در پهنه کم آبی متوسط و حدود ۳۰ درصد دیگر در طبقات کم آبی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. تمرکز پهنه های بحرانی عمدتاً در بخش های مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی شهرستان مشاهده می شود؛ مناطقی که هم زمان با تراکم بیشتر سکونتگاه ها، فشار جمعیتی و فعالیتی، دمای بالاتر، تبخیر بیشتر و محدودیت منابع آب مواجه اند. همچنین، تحلیل لکه های داغ نشان داد که کانون های آسیب پذیری به صورت معناداری در محدوده های پیرامون یاسوج، مادوان و گراب سفلی تمرکز یافته اند. مقدار بالای شاخص موران جهانی نیز نشان دهنده خوشه ای بودن الگوی فضایی آسیب پذیری است؛ بنابراین، مدیریت بحران آب در بویراحمد نباید به صورت پراکنده و موردی انجام شود، بلکه نیازمند برنامه ریزی یکپارچه، منطقه محور و مبتنی بر اولویت بندی فضایی است. از سوی دیگر، وابستگی زیاد سکونتگاه های روستایی به منابع آب زیرزمینی و چشمه ها، همراه با هدررفت قابل توجه در شبکه های انتقال و توزیع آب روستایی، پایداری تأمین آب را با مخاطره مواجه کرده است. در نتیجه، افزایش ظرفیت

منابع

۱. افتخاری، ر.، موسوی، م.، پورطاهری، م.، فرج زاده اصل، م. (۱۳۹۳). تحلیل نقش تنوع معیشتی در تاب آوری خانوارهای روستایی در شرایط خشکسالی. *پژوهش های روستایی، دوره ۳۵ (۳)*، ۶۳۹-۶۶۲.
۲. ملکی نیا، م.، جهانگیر، ع.، و نخعی، م. (۱۴۰۴). تحلیل زمین آماری توزیع پهنه بندی آب زیرزمینی در دشت بیرجند. در *سیزدهمین کنفرانس بین المللی مطالعات نوین مهندسی عمران، معماری، شهرسازی و محیط زیست در قرن ۲۱*. ۱۷۷۶۳۰۳. <https://civilica.com/doc/1776303>
۳. میرمعصومی، م. (۱۴۰۴). مدیریت آب در ایران با استفاده از فناوری باستانی قنات. *فصلنامه مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری*، ۱۱ (۳)، ۸-۱۷.
4. Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), pp. 268–281. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.
5. Adger, W.N., Brown, K., & Landauer, M. (2024). Social ecological resilience and local adaptation to climate extremes. *Global Environmental Change*, 85, 102810. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102810>.

6. Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed? *Ambio*, 18(2), pp. 112–118. DOI/JSTOR: <http://www.jstor.org/stable/4313548>.
7. Falkenmark, M., & Rockström, J. (2008). Building resilience to drought in desertification-prone savannas in Sub-Saharan Africa: The water perspective. *Natural Resources Forum*, 32(2), 93–102.
8. Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), pp. 253–267. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002.
9. Greve, P., Kahil, T., & Wada, Y. (2024). Global water scarcity dynamics: Integrating hydrological changes and socio-economic water demand. *Earth's Future*, 12(4), e2023EF004112. <https://doi.org/10.1029/2023EF004112>.
10. Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), pp. 1–23. DOI: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245.
11. Idrees, M. B., Liu, H., Sun, S., Zhou, X., & Riaz, M. Z. B. (2025). Assessing future water scarcity in China under climate and socioeconomic change: Can inter-basin transfers mitigate rising stress? *Science of the Total Environment*, 987, 179812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179812>.
12. IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, pp. 1–3056. DOI: 10.1017/9781009325844.
13. Keshavarz, M., Karami, E., & Zamani, G. H. (2026). Motivational roots of farmers' adaptation to water scarcity in Iran. *Environmental Development*, 58, 101145. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01929>.
14. Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), pp. 419–422. DOI: 10.1126/science.1172133.
15. Pahl-Wostl, C. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*, 19(3), pp. 354–365. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001.
16. Pahl-Wostl, C. (2023). Adaptive water governance: Managing institutions, networks, and basins under global change. *Environmental Science & Policy*, 142, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.01.015>.
17. Piemontese, L., et al. (2024). Over-reliance on water infrastructure can hinder climate resilience in pastoral drylands. *Nature Climate Change*, 14(3), 267–274. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-01929>.
18. Rockstrom, J., Gupta, J., & Lenton, T. M. (2023). Safe and just Earth system boundaries for water and biosphere. *Nature*, 618(7964), 102–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06086-x>.
19. Ross, A. G., Connolly, K., Vögele, S., & Kuckshinrichs, W. (2024). A macro-level analysis of the socio-economic impacts of climate change driven water scarcity: Incorporating behavioural and resilience aspects. *Water Research X*, 23, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2024.100223>.
20. Tahir, F., Al-Ghamdi, S. G., & Al-Ansari, T. (2026). Climate change risks and resilience strategies for desalination plants in the Gulf region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 227, 116488. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116488>.
21. Veldkamp, T. I. E., Ward, P. J., & de Ruiter, M. C. (2023). Building climate resilience in water systems: From infrastructure to nature-based solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 62, 101280. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101280>.
22. Wilson, N. J., Shah, S. H., Montoya, T., Fallon Grasham, C., Korzenevica, M., Octavianti, T., Vonk, J., & Sultana, F. (2024). Climate–water crises: Critically engaging relational, spatial, and temporal dimensions. *Ecology and Society*, 29(4), 13. <https://doi.org/10.5751/ES-15469-290413>.

23. Zarepour Moshizi, M., Yousefi, A., Amini, A. M., & Shojaei, P. (2023). Rural vulnerability to water scarcity in Iran: An integrative methodology for evaluating exposure, sensitivity and adaptive capacity. *GeoJournal*, 88(2), 2121–2136. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10726-0>.
24. Zimmermann, K., Abadi, A. M., Brauman, K. A., Maestu, J., Oude Essink, G., Schuster-Wallace, C., Smith, R., & Madani, K. (2025). Addressing water scarcity to support climate resilience and human health. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 21(2), 291–300. <https://doi.org/10.1093/iteam/vjaf001>.