Future research of tension and water crisis in Iran

Yahya Mirshekaran[1]

Type of article: research article
Received: 23/12/2023 Accepted: 11/02/2024
NAJA Strategic Studies Quarterly/Vol.8/NO.4 (serial 30)/Winter 2024*59-94
DOR:10.1022034/ssj.2024.102627

Abstract

Background and purpose: Water is considered as one of the factors affecting political and security crises within countries, relations between governments and one of the most important challenges of the current century. The global and regional water shortage crisis has shaped certain political and economic tendencies in international relations. This issue and its consequences will have a significant impact on Iran's international relations with neighboring countries and will give special importance to the role of water resources management. Therefore, water resource management will play an important role in reducing water tension and establishing stable security in different geographical regions of Iran.

Method: The present research, with a prospective research approach and a descriptive method, seeks to analyze water crisis indicators (rainfall, underground and surface water) using monthly rainfall, piezometric and hydrometric data in the central plateau of Iran. The zoning map of the crisis levels was prepared in GIS software based on the spatial data of the stations, and after that, the map of the state of tension and unrest in different regions of the central plateau basin of Iran was prepared for the next ten years.

Findings: The indicators of water degradation in the catchment area of the Central Plateau are classified as lower than normal and at critical levels. The signs of crisis have started with the tension and unrest of the last few years in Yazd and Isfahan provinces, and the forecast of the long-term trend of the next ten years in the Drinc software shows a decrease in the area of level 2 stress from 55% to 46% in the next 10 years and an increase in the area of level 3 stress. It is from 12% to 20% in the next ten years and the scope of unrest and tension will extend from Isfahan and Yazd provinces to Tehran and Alborz provinces.

Results: The stress of water resources in the next ten years scenario of the Central Plateau catchment area shows the expansion of areas with severe and very severe stress levels, and this means that in the next 10 years, based on the climate change simulation scenario, the situation of water resources management will be more critical and the spread of stress It will progress from levels with lower stress to levels with severe stress and these areas (Tehran and Alborz provinces) will experience water stress in terms of drinking, agriculture and industry.

Keywords: water crisis, future studies, tension and unrest, Central Plateau watershed, climate change.

---

1. Assistant Professor, Department of Geography, Amin University of Management Sciences, Tehran, Iran, yahya1361@chmail.ir

آینده‌پژوهی تنش و بحران آب در ایران

یحیی میرشکاران [1]

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲

فصلنامه مطالعات راهبردی ناجا/سال هشتم/ شماره ۴ (پیاپی ۳۰)-زمستان ۱۴۰۲*۵۹-۹۴

DOR:10.1022034/ssj.2024.102627

چکیده

زمینه و هدف: آب به‌عنوان یکی‌از مؤلفه‌های مؤثر بر بحران‌های سیاسی و امنیتی داخل کشورها، روابط بین دولت‌ها و یکی‌از چالش‌های مهم قرن حاضر به‌شمار می‌رود. بحران کمبود آب در سطح جهانی و منطقه‌ای، تمایلات سیاسی و اقتصادی خاصی را در مناسبات بین‌المللی شکل داده‌است. این موضوع و پیامدهای آن، در مناسبات بین‌المللی ایران با کشورهای همسایه تأثیر به‌سزایی خواهد داشت و به نقش مدیریت منابع آب اهمیت ویژه‌ای می‌بخشد؛ ازاین‌رو، مدیریت منابع آب نقش مهمی را در کاهش تنش آب و شکل‌گیری امنیت پایدار در مناطق مختلف جغرافیایی ایران ایفا خواهدکرد.

روش: پژوهش حاضر با رویکرد آینده‌پژوهی و به‌روش توصیفی به‌دنبال تحلیل شاخص‌های بحران آب (بارش، آب زیرزمینی و سطحی) بااستفاده‌از داده‌های ماهانه بارش، پیزومتری و هیدرومتری در محدوده فلات مرکزی ایران است. نقشه پهنه‌بندی سطوح بحران براساس داده‌های فضایی ایستگاه‌ها، در نرم‌افزار جی. آی. اس تهیه و پس‌از آن، نقشه وضعیت تنش و ناآرامی در سطح مناطق مختلف حوضه فلات مرکزی برای ده سال آینده ایران تهیه شد.

یافته‌ها: شاخص‌های تحلیل آب در حوضه آبریز فلات مرکزی پایین‌تر از حد معمول و در سطوح بحرانی، دسته‌بندی می‌شوند. نشانه‌های بحران با تنش و ناآرامی‌های چند سال اخیر در استان‌های یزد و اصفهان آغاز شده و پیش‌بینی روند بلندمدت ده سال آینده در نرم‌افزار دریِنک نشان‌دهنده کاهش مساحت تنش سطح ۲ از ۵۵ درصد به ۴۶ درصد در ۱۰ سال آینده و افزایش مساحت تنش سطح ۳ از ۱۲ درصد به ۲۰ درصد در ده سال آینده است و دامنه ناآرامی و تنش از استان‌های اصفهان و یزد به استان‌های تهران و البرز کشیده خواهد شد.

نتایج: تنش منابع آب در سناریوی ده سال آینده حوضه آبریز فلات مرکزی نشان از گسترش مساحت مناطق با سطوح تنش شدید و خیلی شدید دارد و این یعنی در ۱۰ سال آینده بر پایه سناریو شبیه‌سازی تغییر اقلیم، وضعیت مدیریت منابع آب بحرانی‌تر خواهد بود و گسترش تنش از سطوح با تنش پایین‌تر به‌سمت سطوح با تنش شدید پیش خواهدرفت و این مناطق (استان‌های تهران و البرز) به‌لحاظ شرب، کشاورزی و صنعت دچار تنش آبی می‌شوند.

واژگان کلیدی: بحران آب، آینده‌پژوهی، تنش و ناآرامی، حوضه آبریز فلات مرکزی، تغییر اقلیم.

---

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه جامع علوم‌انتظامی‌امین، تهران، ایران، yahya1361@chmail.ir

مقدمه

کمبود منابع آب یکی‌از چالش‌های مهم قرن حاضر ب شمار می‌رود. افزایش جمعیت، جهت‌گیری مصرف‌گرایی و استفاده بی‌رویه و نابه‌جا از فناوری‌ها، سبب شده‌است که منابع آبی موجود بدون درنظرگرفتن پیامدهای آن، با سرعت و قدرت بیشتری استخراج شوند (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۲). با گرمایش جهانی منابع آب، کمبود و افزایش تقاضای آن، انتظار می‌رود که خشکی تبدیل به یک چالش عمده در سراسر جهان به‌ویژه در مناطق با آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک شود(سیواکومار[1]، ۲۰۲۱: ۱۶۰). درحال‌حاضر، تهی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان دومین منبع آب شیرین در دنیا، چالش جدی را در بیشتر کشورها ایجاد نموده‌است. آمارها نشان می‌دهد که ۳۰۰ نقطه در ۵۰ کشور جهان از ظرفیت درگیری و بحران بر سر آب برخوردارند (میرشکاران، ۱۳۹۹: ۸۰). با رشد جمعیت جهان در هزاره سوم، ارتقای سطح زندگی و بهداشت، گسترش شهرنشینی، صنایع و کشاورزی، نزاع بر سر آب تشدید می‌یابد؛ به‌طوری‌که پیش‌بینی می‌شود در آینده مسئله آب از مهم‌ترین زمینه‌های بروز منازعات و مناقشات محسوب شود. آمارهای سازمان هواشناسی، متوسط بارش در ایران را ۲۴۸ میلی‌متر تخمین زده‌اند که این میزان کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی آن ـ یعنی ۸۳۱ میلی‌متر ـ است.

به‌این‌ترتیب، درحالی‌که ایران ی درصد جمعیت کل جهان را به‌خود اختصاص داده‌است، سهم کشورمان از منابع آب تجدیدپذیر فقط ۳۶ درصد است (کریمی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). کشور ایران به‌دلیل موقعیت خاص ویژگی‌های توپوگرافیک آن، از بارش و آب‌وهوای متفاوتی برخوردار است و میزان بارش متوسط سالانه آن حدود یک‌سوم متوسط بارش کره زمین است؛ به‌همین‌دلیل، قسمت اعظم ایران در قلمرو آب‌وهوایی خشک جهان قرار می‌گیرد (لایکلی و سالامون[2]، ۲۰۱۹: ۱۴). باتوجه‌به میزان منابع آب و سرانه مصرف، ایران ازجمله کشورهایی است که در گروه کشورهای مواجهه با کمبود

1. Sivakumar
2. Lickley &Solomon

فیزیکی آب قرار دارد. حدود٪ ۲۵ درصد مردم جهان ازجمله ایران، مشمول این گروه هستند. سازمان محیط‌زیست سرعت استفاده‌از منابع آب زیرزمینی در ایران را در قیاس با استاندارد جهانی، سه برابر بیشتر تخمین می‌زند. این برداشت بی‌رویه، عامل خشکیدن ۲۹۷ دشت از ۶۰۰ دشت در ایران است. مقدار سرانه مصرف آب به‌شدت درحال افزایش است؛ به‌گونه‌ای که مصرف آب در سطح جهانی در ۳۰۰ سال گذشته، ۳۵ برابر افزایش یافته‌است که بیش‌از نیمی از آن، بعد از ۱۹۵۰ صورت گرفته‌است (آفتابی و دیگران، ۱۴۰۲). طبق میانگین جهانی، حدود ۷۰ درصد از کل منابع آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود ولی در ایران با وجود واقع‌شدن در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک، حدود ۹۰ درصد از منابع آبی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (احمدی، ۱۴۰۰: ۳۱).

چنانچه میانگین تقاضای سرانه آب تغییر نکند و جمعیت جهان براساس پیش‌بینی‌های سازمان‌ملل به نه‌میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ برسد، محدودیت شدید آب برای تولید غذا، صنعت و ارتقای بهداشت انسانی در سطح جهان، قبل از سال ۲۱۰۰ نمایان شده و افزایش جمعیت به‌عنوان یکی‌از دلایل افزایش مصرف آب در آینده باعث فشار بیشتر بر منابع محدود آب شده و زمینه را برای بحران‌های بیشتر فراهم خواهد نمود (کریمی پور و همکاران، ۱۳۹۶)؛ ازهمین‌رو، شرکت‌کنندگان در آخرین کنفرانس تغییرات آب‌وهوایی (کوپ ۲۸) در امارات‌متحده‌عربی نیز خواستار گذار به دوران عاری‌از سوخت‌های فسیلی، مقابله‌با بلایای آب‌وهوایی و کم‌کردن اثرات گازهای گلخانه‌ای شدند[1]. ایران ازنظر اقلیم جغرافیایی، نیمه‌خشک و جزء مناطق کم‌آب جهان محسوب می‌شود. افزایش جمعیت طی ۵۰ سال گذشته، سرانه مصرفی آب شیرین ایران را بسیار کاهش داده‌است. کاهش سرانه آب، افزایش جمعیت و نیاز به تولید مواد غذایی، کنترل آب‌های سطحی به‌خصوص رودخانه‌های مرزی و یا حوزه‌ای مشترک بین ایران و کشورهای همسایه را ضروری نموده‌است. مدیریت منابع آب در ایران و تأثیرات بلندمدت آن، نشان از نارسایی بخش‌های مختلف دولتی

1. www.rfi.fr

در هم‌پوشی میان توسعه و محیط‌زیست شده‌است(مدنی[1] و دیگران، ۲۰۱۶: ۹۷۷). سوء مدیریت منابع آب در کشور، سبب کاهش وسعت و خشکیدن دریاچه ارومیه در بخش غربی کشور شده‌است که بزرگ‌ترین دریاچه در خاورمیانه و یکی‌از بزرگ‌ترین دریاچه‌های پرجمعیت جهان بوده‌است. خشکیدن و ناپدیدشدن دریاچه هامون در یک دهه اخیر در منطقه شرقی(مرادی[2] و دیگران، ۲۰۱۷: ۱۱۷) و خشکیدن فصلی رودخانه زاینده‌رود که ستون‌فقرات توسعه در مرکز ایران و نمودی بحرانی از وضعیت منابع آب در ایران به‌شمار می‌آید، نیز موید همین مطلب است. بحران یا کمبود آب در ایران، نتیجه عوامل فیزیکی و اقتصادی ناشی‌از مدیریت ضعیف منابع آب موجود است و عوامل دیگری مانند بارش کم سالانه، خشکسالی مداوم، دسترسی‌به آب محدود، افزایش جمعیت، مصرف آب نامناسب در بخش‌های کشاورزی، عدم برنامه‌ریزی پایدار آب درازمدت (عدم مدیریت مداوم آب) نیز در آن دخیل است (میرشکاران، ۱۳۹۹: ۸۵).

اهمیت و ضرورت پژوهش از آن جهت است که در چارچوب تحولات جدید به‌ویژه تغییر اقلیم، خشکسالی در برخی‌از مناطق جهان ازجمله بخش‌های زیادی از ایران تشدید خواهدشد. مقابله‌با این چالش و تهدید بزرگ، نیازمند مطالعات علمی، برنامه‌ریزی دقیق و صرف منابع مالی است. درصورت شناسایی و تحلیل فضایی منابع آبی کشور و برنامه‌ریزی براساس آمارهای موجود، می‌توان برای پیشگیری و مدیریت بحران‌های انتظامی پیش رو آماده بود و درصورت عدم شناخت این موارد، هرگونه پیشامد امنیتی انتظامی متصور است. ازآنجاکه این چالش‌ها به‌صورت خفته و نامرئی است، پیشگیری بدون برنامه‌ریزی برای آن ناممکن و یا همراه‌با هزینه‌های زیادی خواهد بود.

پژوهش حاضر با دو هدف نگاشته شده‌است؛ نخست، شناخت وضع موجود منابع آب و دوم، پیش‌بینی وضعیت منابع آب در ده‌سال آینده. این پژوهش، شاخص‌های فضایی بحران آب را باتوجه‌به سناریوهای تغییر اقلیم و داده‌های

1. Madani
2. Moradi

ماهانه بارش، پیزومتری و هیدرومتری در حوضه آبریز فلات مرکزی که نیمی‌از مساحت کشور را دربرگرفته و نقطه آغاز تنش آبی و ناآرامی آن، اصفهان و یزد بوده‌است را به‌عنوان منشأ تنش‌های سیاسی ــ امنیتی مورد تحلیل فضایی و پیش‌بینی قرار داده‌است و به‌دنبال پاسخ به این سوال است که وضعیت حال حاضر و آینده منابع آب در حوضه آبریز فلات مرکزی کشور براساس شاخص‌های تنش آبی چگونه است؟

پیشینه

آفتابی و دیگران (۱۴۰۲) در مقاله خود با عنوان «تدوین راهبرد مؤثر بر مناسبات فراروی هیدروپلیتیک ایران در حوضه آبریز اروندرود با رویکرد آینده‌نگاری» به نقش تعیین‌کننده رودها در پیدایش و پایداری روندهای امنیت‌ساز و ثبات‌آفرین به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان پرداخته و سناریوهای پیش روی ایران در ارتباط‌با اروندرود را در این حوضه آبریز مورد تحلیل قرار داده‌است.

ابراهیمی خوسفی (۱۴۰۲) در پژوهشی با عنوان «تحلیل روند تغییرات منابع آب و عوامل مؤثر در آن در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران» بااستفاده‌از محصولات ماهواره‌ای به بررسی وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی درحوضه آبریز فلات مرکزی بااستفاده‌از سامانه گوگل‌ارث‌انجین پرداخته و شاخص‌های محیطی، بارش، دما و تبخیر، رطوبت و رواناب را موردبررسی قرارداده‌است. باتوجه‌به نتایج حاصل، تغییرات گرانش زمین که از نشانگرهای سطحی آب زیرزمینی است و مساحت پیکره‌های آبی‌که بیانگر منابع آب سطحی است و رطوبت خاک، روندی کاهشی و معنادار را نشان می‌دهد.

نوری و میرشکاران (۱۳۹۹) در مقاله خود با عنوان «اثر دگرگونی آب‌وهوا بر ناآرامی‌های حاصل‌از بحران آب» وضعیت تنش آب در مناطق حاشیه زاینده‌رود را موردبررسی قرار دادند که نتایج نشانگر آن است که گستره ناآرامی و درگیری‌های حاصل‌از تنش آب در عرض ۵ سال، ۲۸ درصد افزایش داشته‌است.

کوهانالس[1] (۲۰۲۱) در پژوهش خود «حفاظت‌از محیط‌زیست در فعالیت‌های کشاورزی؛ مطالعه موردی ایران و چین» آب را یکی‌از عوامل رشد و توسعه کشورها دانسته‌است که کمبود آن از یک‌سو و نیاز روزافزون به غذا ازسوی دیگر، منابع موجود را با بحران جدی مواجه کرده‌است. به‌عقیده وی، پایین رفتن سطح سفره‌های آب زیرزمینی و بحرانی‌شدن وضعیت آب در بیش از ۱۲۰ دشت از دشت‌های مستعد کشور که هرساله به این تعداد اضافه می‌شود، یکی‌از بزرگ‌ترین مشکلات بخش کشاورزی است.

لفوری[2] و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهش خود با عنوان «شاخصی برای پایداری مدیریت زمین براساس نظرسنجی از کشاورزان در ویتنام، اندونزی و تایلند» مصرف بی‌رویه را ازجمله عوامل مهم فشار بیش‌ازحد بر منابع آب در مناطق خشک معرفی نموده‌اند.

ژائو[3] و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی «خشکسالی‌های چین از ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰» بیان کردند که روند افزایشی در خشکی، تبخیر و تعرق پس از سال ۲۰۰۰ افزایش خشکسالی‌های جنوب‌غرب چین را درسال‌های اخیر سبب شده‌است.

هادی‌پور و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی «جابه‌جایی مناطق خشک ایران از ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹» تغییر ۴/۸۴٪ از مناطق نیمه‌خشک به خشک به‌دلیل افزایش میزان خشکی سالانه را گزارش کرده‌اند. همچنین، ۶/۴۵٪ از اراضی نیمه‌خشک به خشک درطول زمستان تبدیل شده‌است.

جبرمدهین[4] و همکاران (۲۰۱۹) با توجه به افزایش خشکی شمال اتیوپی (۲۰۱۸-۱۹۸۰) بااستفاده‌از شاخص‌های IDM و شاخص خشکی سازمان خواربار وکشاورزی، اهمیت استفاده‌از سیستم‌های مناسب آبیاری و مدیریت منابع آب را یادآور شده‌اند.

1. Kouhanales
2. Lefoury
3. Zhao
4. Gebremedhin

کالیتسو و دریک[1] (۲۰۱۷)، تأثیر هویت سیاسی و تجربه گذشته بحران در نگرش‌های آب را مورد ارزیابی قراردادند و نتایج بیانگر این است که باتوجه‌به کاهش منابع آب منطقه‌ای و منابع آب آشامیدنی شهری و اطلاع‌رسانی به مردم، نگرش کلی مردم نسبت‌به منابع آبی، بیانگر نگرانی آنها نسبت‌به این مسئله است.

در پژوهش‌های پیشین، اغلب به اثبات وجود بحران آب بااستفاده‌از یکی‌از شاخص‌های خشک‌سالی پرداخته شده‌است؛ اما در پژوهش حاضر، علاوه‌بر رویکرد آینده‌پژوهانه، نقشه مناطق مختلف حوضه از تلفیق سه شاخص خشک‌سالی متفاوت استخراج و وضعیت موجود منطقه مورد بررسی قرارگرفته و الگوسازی مدیریت منابع آب در این منطقه به‌صورت تلفیقی انجام شده‌است که قاعدتاً با شرایط واقعی تطبیق بیشتری دارد و نتایج هم منطقی‌تر خواهدبود.

مبانی نظری

تغییر اقلیم[2] فرآیند منحصر به عصر ما نیست؛ براساس شواهد موجود، کره زمین در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی، همواره با چنین تغییراتی مواجه بوده‌است؛ ولی آنچه تغییرات اقلیمی قرن حاضر و به‌ویژه در نیمه دوم قرن بیستم را از گذشته متمایز ساخته‌است، ماهیت و سرعت آن است. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در طول یک‌صدسال گذشته، به‌طور میانگین، دما ۱۸ تا ۲۷ درجه افزایش یافته‌است (میرفخرایی و خدایی، ۱۴۰۰: ۳۱۱). از پیامدهای دوسویه گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، تأثیرات آن بر آلودگی آب‌وهوا است که خود می‌تواند باعث ازبین‌رفتن مناطق روستایی برای کشاورزی و مناسب‌نبودن خاک و مهاجرت روستاییان برای زندگی به شهرها و درنتیجه آن، افزایش جمعیت و استفاده بیش‌ازحد از سوخت‌های انسان‌ساخت و آلودگی بیشتر شود که بر سلامت انسان‌ها نیز تأثیرگذار است (منصورمقدم و روستا، ۱۴۰۲: ۲۳). روند پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در سطح جهان تا سال ۲۰۹۵ براساس الگوهای FLO, GISS, CCSM نشان می‌دهد که در هریک از این

1. Calitso & Derick
2. Climate Change

الگوهـا، کشـور ایـران در پهنـه شـدید کـم‌آبـی قـرار گرفتـه‌اسـت. همـان‌گونـه‌کـه جانسـون ــ جغرافیـدان آمریکـایی ــ بیـان مـی‌کنـد آب و تغییـرات ناشـی‌از آن، عنصـر تحـولات سیاسـی و اجتمـاعی بـوده‌اسـت (مختـاری هشـی و مـرادی، ۱۴۰۰: ۱۱۸). تغییـر اقلـیم، نـاموزونی و بـی‌نظمـی در وضـعیت عناصـر اقلیمـی و وضـعیت آب‌وهـوایی منـاطق را بـه حـداکثر مـی‌رسـاند. منـاطق سـاحلی، منـاطق کوهسـتانی و منـاطق دورافتـاده و نیـز منـاطق خشـک بیشـترین آسـیب‌پـذیری از تغییـر اقلـیم را دارند؛ درحالی‌که بـارش در عـرض‌هـای شـمالی بـه‌شـدت روبـه‌فزونـی است، منـاطق جنـب حـاره‌ای (مثـل ایـران) بـه‌شـدت دچـار خشکسـالی مـی‌شـوند. تغییـر اقلـیم ازطریـق افـزایش دمـای میـانگین زمـین، بـه‌ویـژه در منـاطق خشـک و نیمـه‌خشـک جهان، موجب تشـدید خشـک‌سـالی و فراینـد تبخیـر و کـاهش رطوبـت خـاک شـده و زمان رشـد محصـولات کشـاورزی را دچـار اخـتلال کـرده و نیـاز آبـی آنهـا را افـزایش می‌دهد. خشکسـالی مـی‌توانـد تبعـات منفـی گسـترده‌ای را بـرای اقتصـاد، کشـاورزی، محیط و اجتماع ایجـاد کنـد. ازجملـه ایـن تبعـات مـی‌تـوان بـه سـیل و سـیلاب‌هـای گسـترده، مهـاجرت‌هـای بـزرگ منطقـه‌ای و خـالی‌شـدن جمعیـت و نـاامنی اشـاره کـرد کـه زمینـه‌سـاز بحـران‌هـای امنیتـی در منطقـه و در سـطح کـلان خواهـدبود. متأسـفانه دانـش بشـری هنـوز بـه آن انـدازه توسـعه نیافتـه‌اسـت کـه راهکارهـای مناسبی را برای رفـع کمبـود بارنـدگی بیابـد؛ ازایـن‌رو، پـیش‌بینـی دوره‌هـای خشـک، مهم‌ترین راهکار در جلوگیری‌از بروز خسارت این پدیده زیان‌بخش است.

نظریـــه هیـــدرولیک: براسـاس نظریـه هیـدرولیک، آب موجـب پیـدایش شـهرها مـی‌شـود؛ زیـرا آبیـاری زمـین‌هـای قابـل کشـــت، افـزایش جمعیـت و تمرکـز آن در نواحی مساعد طبیعـی باعـث پیـدایش شـهرها مـی‌شـود. در شـهرهای سـومر باسـتان، بـرای نگهـداری نیـروی نظـامی، از ثـروت و درآمـد شـهرها اسـتفاده مـی‌شـده‌اسـت. ثروت و درآمد شـهری نیـز از حاصـل‌خیـزی و وجـود یـک سـیســـتم آبیـاری مـنظم بـه‌دســـت مـی‌آمـده و ســـیلاب‌هـای مـنظم بهـاری بـا ســـدها و کانـال‌هـا مهـار شـــده و به بخـش‌هـای موردنیـاز مـی‌رسـید. ایـن سیسـتم آبیـاری در بـه‌دسـت‌آوردن مازاد محصـــول، بســـیار مـوثر بـود. ســـومری‌هـا بـا آگـاهی از روش‌هـای آبیـاری بـه مازاد محصـــول دســـت یافتـه و عـالی‌تـرین تمـدن شـهری را بـا امتیـازاتی کـه از آن

حاصل می‌شد، بنا نهادند (مختاری هشی و مرادی، ۱۴۰۰: ۱۱۸). کارل مارکس ـ که نظریه هیدرولیک ریشه در آثار او دارد ــ معتقد بود که تطور تمدن در شرق، مسیری متفاوت با تطور تمدن در غرب و مستقل از آن داشته است. یکی‌از اندیشمندان مارکسیست به نام کارل ویتفوگل از این دید به مسئله پیدایش حکومت‌های باستانی در خاور نزدیک آسیا پرداخته و معتقد است که گسترش و تداوم نظام آب‌رسانی در سطح وسیع (شامل آبیاری در کشاورزی و کنترل سیلاب) مستلزم یک قدرت مرکزی است که این نهاد قدرت، پایه و اساس استبداد شرقی می‌باشد.

نظریه جامعه پراکنده کم‌آب: کاتوزیان با نقد نظریه فئودالیسم ایرانی، به طرح دیدگاه خود در قالب نظریه «جامعه کم‌آب و پراکنده» می‌پردازد. به نظر وی، برخلاف نظریه «جامعه هیدرولیک» ویتفوگل و نظریه «شیوه تولید آسیایی» موریس گودالیه، سیستم آبیاری مصنوعی و انجام کارهای بزرگی مانند خشکانیدن آب رود نیل، هیچ‌یک منشأ پیدایش دولت مستبد شرقی در ایران نبوده‌است؛ بلکه فقر طبیعت از یک‌سو باعث پراکندگی و جداافتادگی واحدهای کار و زندگی اجتماعی (روستاها) از یکدیگر شده و ازسوی دیگر، موجبات ضعف قدرت اقتصادی و نظامی این واحدها را فراهم نموده‌است؛ درنتیجه، با دسترسی نیروی نظامی قوی و متحرک (که عموماً ایلات بودند) بر مازاد تولید واحدهای جداافتاده، زمینه‌های شکل‌گیری استبداد سیاسی فراهم شد (توحیدی و دیگران، ۱۴۰۲: ۵۷).

السورث هانتینگتن با مطالعه شهرهای آسیا نتیجه می‌گیرد که کاهش میزان بارندگی در جنوب‌غرب آسیا و آسیای مرکزی موجب ازبین‌رفتن رودها، جویبارها، چشمه‌سارها و چاه‌های آب گردیده و ویرانی تدریجی مراکز کشاورزی و نقاط آباد و پرجمعیت را فراهم ساخته‌است تاآنجاکه دریاچه‌های آب شور با نقصان واردات و بخارشدن تدریجی آب‌ها و محدودکردن وسعت خود، راه‌های تازه‌ای را در اختیار کاروان‌ها قرار داده‌است.

استبداد آب‌محور: امپراتوری آبی به ساختاری اجتماعی گفته می‌شود که قدرت خود را ازطریق دراختیارگرفتن انحصاری منابع آبی حفظ کرده و

گسترش می‌دهد. امپراتوری‌هایی که با این روند ایجاد می‌شوند، امپراتوری آب‌محور هستند و در مناطقی ایجاد می‌شوند که کنترل سیلاب و آبیاری، نیازمند هماهنگی متمرکز و دیوان‌سالاری ویژه است. این بدنه یک ساختار سیاسی است که معمولاً با سیستم سلسله‌مراتب و کنترل مشخص می‌شود و اغلب براساس کاست یا طبقه است. قدرت، هم بر سر منابع (غذا، آب و انرژی) و هم به‌وسیله نیروی انتظامی (مانند ارتش) برای حفظ کنترل حیاتی است (مختاری هشی و مرادی، ۱۴۰۰: ۱۱۸).

خشکسالی: خشکسالی یک پدیده تصادفی طبیعی است که ناشی از کمبود قابل‌توجه بارش بوده و با افزایش دما در اندازه جهانی، اثرهای گسترده‌ای را در زیست‌بوم‌های مختلف برجای می‌گذارد و هرچندکه در تمام مناطق اقلیمی اتفاق می افتد ولی در هر منطقه، دارای شدت و مدت متفاوت است (تیموری و دیگران، ۱۴۰۲: ۳۷). ساختارهای خشکسالی کاربردهای مهمی را در برنامه‌ریزی‌های منابع آب و آبرسانی برعهده دارند که با موضوع‌های اجتماعی و اقتصادی جوامع مرتبط است. ارزیابی خطر خشکسالی از دیدگاه‌های مختلف هواشناسی، آب‌شناسی و کشاورزی بررسی می‌شود و در هر سه دیدگاه مزبور، تحلیل رابطه‌های عددی بین داده‌های اقلیمی، شاخص آماری جدیدی را توسعه می‌دهد و تحلیل پیچیده خشکسالی را ساده می‌کند (اتکور و همکاران، ۲۰۲۱). اگرچه داده‌های بارش در تمام شاخص‌ها به‌عنوان مهم‌ترین متغیر استفاده شده‌است اما استفاده‌از یک متغیر به‌تنهایی بیانگر شدت و مدت خشکسالی نبوده و سایر متغیرها مانند دما، تبخیر و آب‌های سطحی و زیرین نیز می تواند نقش مهمی را در رخداد خشکسالی و ارزیابی آن ایفا کنند؛ بنابراین، در این پژوهش، از پرکاربردترین شاخص‌های خشکسالی ــ یعنی شاخص‌های بارش (SPI)[1]، آب زیرزمینی (GRI)[2] و آب‌های سطحی (SDI) ــ به‌صورت تلفیقی استفاده می‌شود.

1. Standardized precipitation index
2. Groundwater resource index

آینده پژوهی اقلیمی: الگوهای آب‌وهوایی، نمایانگر فرآیندهای فیزیکی در جو، اقیانوس و سطح زمین و درحال حاضر، پیشرفته‌ترین ابزارهای موجود برای شبیه‌سازی پاسخ سیستم آب‌وهوای جهانی به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند. هر شبیه‌سازی شامل ترکیبی‌از یک خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای و مسیر مشترک اقتصادی ــ اجتماعی است. برخی معتقدند که ممکن است الگوهای آب‌وهوایی در مناطق با توپوگرافی پیچیده، برای بعضی‌از متغیرهای اقلیمی بیش‌برآوردی و یا در مناطق خشک، کم‌برآوردی داشته باشند(ریاحی[1]، ۲۰۱۷: ۱۵۴). سناریوها بخش اساسی پژوهش‌های تغییر اقلیم را تشکیل می‌دهند و استفاده‌از آنها به ما کمک می‌کند تا عواقب طولانی‌مدت تصمیمات کوتاه‌مدت بشر را بیشتر درک کنیم و باتوجه‌به عدم قطعیت، سناریوها به محققان کمک می‌کنند تا بتوانند آینده‌های احتمالی را کشف کنند. چارچوب سناریوهای جدید که توسط جامعه تحقیقاتی تغییر اقلیم طراحی شده‌اند، می‌توانند تجزیه‌وتحلیل یکپارچه‌ای از تأثیرات آینده آب‌وهوا، آسیب‌پذیری‌ها، سازگاری و کاهش این آسیب‌ها را فراهم کنند. آنها دارای چهار روایت از تحولات اجتماعی ــ اقتصادی ازجمله توسعه پایدار، توسعه میانه، رقابت منطقه‌ای، نابرابری و توسعه با سوخت فسیلی هستند. چهار سناریوی اصلی و تعدادی سناریوی فرعی به‌عنوان سناریوهای جدید در این الگوها جهت شبیه‌سازی اقلیم آینده طراحی شده‌اند (سلطانی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۹).

شاخص‌های بحران آب

محاسبه بحران آب براساس شاخص‌های سرانه مصرف، درصد منابع تجدیدپذیر و مانند آن تعریف می‌شود. شاخص‌های فالکن مارک، شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان‌ملل و شاخص موسسه بین‌المللی مدیریت آب، نمونه‌هایی از شاخص‌های موجود هستند که بیشتر از انواع دیگر شاخص‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند.

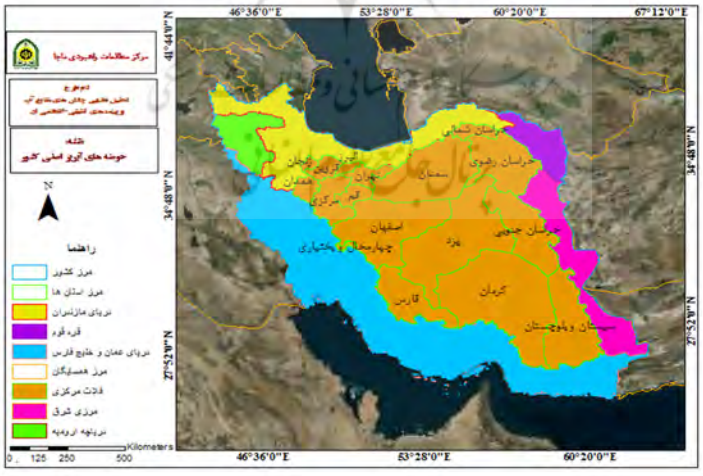
1. Riahi

جدول۲. بررسی شاخص‌های تنش آب در ایران

کشور	جمعیت (میلیون نفر)	منابع آب تجدیدپذیر (میلیارد مترمکعب)	سرانه اسمی آب تجدیدپذیر ایران (میلیارد مترمکعب)	میزان آب مصرف‌شده (میلیارد مترمکعب)	سرانه واقعی آب تجدیدپذیر (مترمکعب)	نتایج ارزیابی شاخص‌های بین‌المللی		
						فالکن مارک	سازمان ملل	IWMI
ایران	۸۰	۱۳۰	۱۹۰۰	۵/۸۹	۱۷۱۸	در آستانه تنش	بحران شدید	بحران شدید

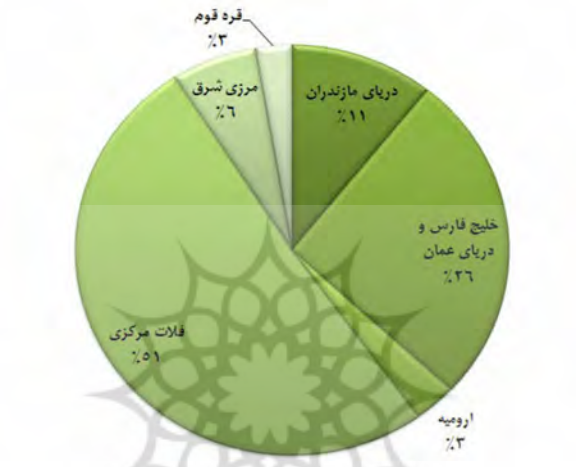
قلمرو پژوهش

حوضه آبریز فلات مرکزی ایران که در زمره مناطق خشک و نیمه خشک جای دارد، ازجمله حوضه‌های بسته‌ای است که در دامنه‌های جنوبی سلسله‌جبال البرز مرکزی بین مختصات جغرافیایی ۴۸° تا ۵۲° طول شرقی و ۳۳° تا ۳۷° عرض شمالی واقع است و در تقسیم‌بندی طرح جامع آب کشور، به‌عنوان حوضه ششم مشخص‌شده‌است. این حوضه یکی‌از حوضه‌های بسته ایران است و در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه اصلی به‌شمار می‌رود و به‌خاطر پهنه زیاد آن، از تنوع هیدرولوژیک برخوردار بوده و به هفت زیرحوضه تقسیم می‌شود (گل مرادی و کاویانی راد، ۱۳۹۴).

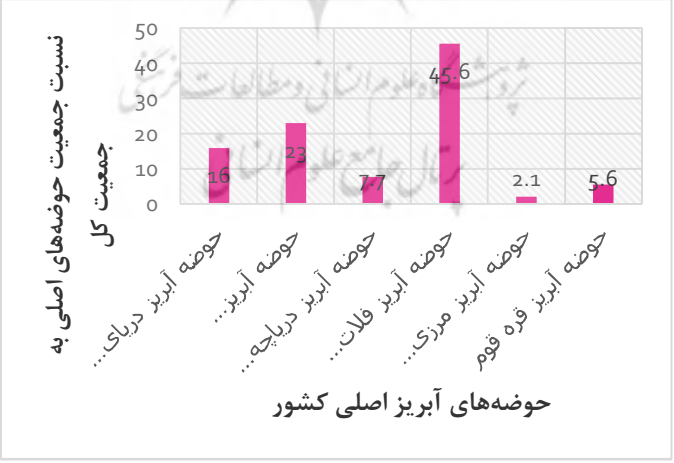


نقشه ۱. حوضه‌های آبریز اصلی کشور

۴۴/۵ درصد از سطح فلات مرکزی ایران را مناطق کوهستانی، ۴۱/۹ درصد را مناطق کوهپایه‌ای و دشت‌ها و حدود ۱۳/۶ درصد از آن را مناطق کم‌ارتفاع، کویر و شوره‌زار تشکیل می‌دهند. حوضه آبریز فلات مرکزی بیش‌از نیمی‌از مساحت ایران را دربرمی‌گیرد. این حوضه دارای ۹ زیر حوضه درجه ۲ و ۲۳۳ محدوده مطالعاتی است و درمیان حوضه‌های آبریز درجه یک کشور نیز بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌است (نعمتی و دیگران، ۱۳۹۸: ۳۱۴).

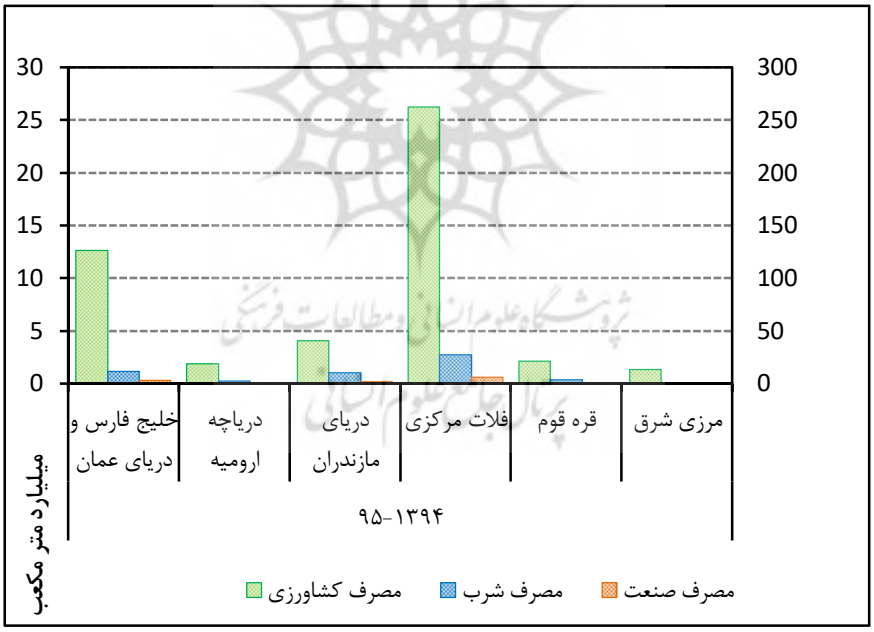


شکل ۲. نسبت جمعیت حوضه‌های آبریز درجه‌یک



شکل ۳. نسبت مساحت‌های حوضه‌های آبریز درجه‌یک

براساس آمارهای رسمی وزارت نیرو، میزان منابع آب تجدیدپذیر کل ایران، ۱۳۰ میلیاردمترمکعب است که از این مقدار، حدود ۸۳ میلیاردمترمکعب آن (۹۳ درصد) به بخش کشاورزی، ۵,۵ میلیاردمترمکعب (۶ درصد) به بخش خانگی و بقیه به بخش صنعت و نیازهای متفرقه دیگر اختصاص دارد (کشاورز و دیگران، ۱۴۰۰: ۱۳). در حوضه آبریز فلات مرکزی، ۴۵۶ شهر با جمعیتی بالغ بر ۳۰ میلیون‌نفر معادل ۵۰ درصد جمعیت شهری کشور و بیش‌از ۶ میلیون‌نفر جمعیت روستایی قرار دارد. ۲۳۳ دشت از ۶۰۹ دشت مطالعاتی کشور نیز در این حوضه واقع شده است که از این تعداد، ۱۸۹ دشت در وضعیت بحرانی قراردارند. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و سطحی، باعث تشدید فرونشست و افزایش مساحت کانون‌های تولید گردوغبار در این منطقه‌ها می‌شود و جمعیتی حدود ۳۶ میلیون‌نفر را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (ابراهیمی خوسفی، ۱۴۰۲: ۴۵).



شکل ۵. میزان مصرف آب در حوضه‌های آبریز اصلی در بخش‌های مختلف

روش‌شناسی

پژوهش حاضر با رویکرد آینده پژوهی دارای ماهیتی توصیفی ــ تحلیلی است که بر پایه تبیین‌های جغرافیایی و بااستفاده‌از روش‌های فضایی در چند مرحله انجام شده‌است. جهت شناسایی وضعیت منابع آب در حوضه آبریز فلات مرکزی، ابتدا نقشه پهنه‌بندی خشکسالی منطقه براساس شاخص‌های بارش (SPI)[1]، آب زیرزمینی (GRI)[2] و آب‌های سطحی (SDI) تهیه و سپس شاخص‌های خشکسالی منطقه بااستفاده‌از منطق فازی در نرم‌افزار GIS تلفیق شد و پس‌ازآن، سناریوهای آینده بحران آب در حوضه براساس الگوهای تغییر اقلیم تدوین و وضعیت بحران در چهار سطح در منطقه دسته‌بندی و سپس استعداد تنش آبی آینده استان‌های واقع در حوضه آبریز مرکزی تعیین شد.

جدول ۳. سناریوهای تغییر اقلیم مدنظر IPCC برای آینده

سناریو	مشخصات
A1	رشد جمعیت کم، رشد اقتصادی زیاد، نوآوری‌ها در فن‌آوری زیاد، هم‌گرایی بین نواحی مختلف دنیا زیاد، کاهش اختلاف بین درآمد سرانه در سطح دنیا، تعاملات فرهنگی و اجتماعی زیاد
A ۲	ناهم‌گونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به‌صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن‌آوری به‌صورت منطقه‌ای (و نه جهانی)، افزایش سطح زیر کشت
B ۱	تأکید بر دستیابی‌به راه‌حل‌های جهانی درمورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی (این سناریو مزایای سناریوی A_1 را در کنار توسعه پایدار درنظر می‌گیرد)
B2	رشد جمعیت و رشد اقتصادی متوسط، رشد فن‌آوری از سناریوی A_1 و B_1 کمتر است. تأکید به دستیابی به راه‌حل‌های محلی در مورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی

انتخاب سناریوی A_2

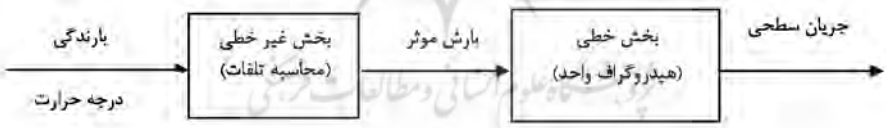
یکی‌از دلایل انتخاب سناریوی A_2، بالابودن دامنه تغییرات دما در منطقه است. میانگین ضریب تغییرات دمای کل دوره ۴۴ ساله (۱۴۰۱-۱۳۵۷) براساس داده‌های شرکت مدیریت منابع آب کشور، ۱۱,۴۹ درصد است که نشان از تغییرات شدید دما (افزایش) در سطح حوضه دارد. این ویژگی به سناریوی A_2 نزدیک‌تر است؛ که دارای بالاترین مقدار افزایش دما است. یکی دیگر از دلایل انتخاب سناریوی A_2 مدنظر قرارگرفتن شاخص سطح زیر کشت

1. Standardized precipitation index
2. Groundwater resource index

و تغییرات جمعیت براساس مشخصات منطقه‌ای است که در سایر سناریوها این مشخصه وجود ندارد. با درنظرگرفتن این سناریو در این نرم‌افزار، داده‌های پیش‌بینی‌شده بارش و دما در سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۲ برای ایستگاه‌های موجود محاسبه می‌شود؛ که از داده‌های پیش‌بینی بارش برای محاسبه شاخص خشکسالی بارندگی و از هر شاخص به‌صورت هم‌زمان برای تکمیل محاسبه شاخص خشکسالی آب زیرزمینی استفاده می‌شود.

ساختار الگوسازی

برای محاسبه رواناب حوضه در آینده ۱۰ ساله هم از الگوی IHACRES استفاده می‌کنیم. IHACRES یک الگوی یکپارچه مفهومی و متریک برای شبیه‌سازی بارش ـ رواناب است. این الگو به پنج تا هفت متغیر برای واسنجی نیاز دارد و برای اجرا در حوضه‌های بزرگ مناسب است. این روش از الگوی غیرخطی کاهش که طی آن بارندگی به بارندگی مؤثر تبدیل می‌شود و الگوی خطی هیدروگراف که بارندگی مؤثر را به رواناب تبدیل می‌کند، تشکیل شده‌است. در این روش، ابتدا بارش Rk و دما Tk در هر گام زمانی k توسط الگوی غیرخطی، به بارندگی مؤثر Uk تبدیل شده و سپس به‌وسیله الگوی خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در هر گام زمانی k تبدیل می‌شود.



شکل ۶. ساختار کلی الگوی IHACRES برای الگوسازی

داده‌های موردنیاز پژوهش باتوجه‌به گستردگی حجم آن، شامل داده‌های بارش ماهیانه ایستگاه‌های هواشناسی و وزارت نیرو (۱۳۵۱ ایستگاه)، داده‌های ماهیانه نوسانات سطح آب زیرزمینی چاه‌های پیزومتری (۱۳۳۰ چاه) و داده‌های ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری (مجموع ۴۵۱ ایستگاه) در دوره آماری سال‌های (۲۰۰۱ - ۲۰۲۲) است.

نقشه‌های مورداستفاده در پژوهش، شامل نقشه آبخوان‌ها، دشت‌ها و حوضه‌های آبریز اصلی و فرعی موجود در منطقه فلات مرکزی، نقشه تقسیم‌بندی‌های سیاسی و نقشه‌های اولیه زمین‌شناسی و خاک حوضه آبریز فلات مرکزی است و برای انجام تحلیل‌های فضایی از نرم‌افزارهای Drin C، GIS و SDSM استفاده شده‌است.

یافته‌ها

الف. وضعیت منابع آب در حوضه فلات مرکزی (وضع موجود)

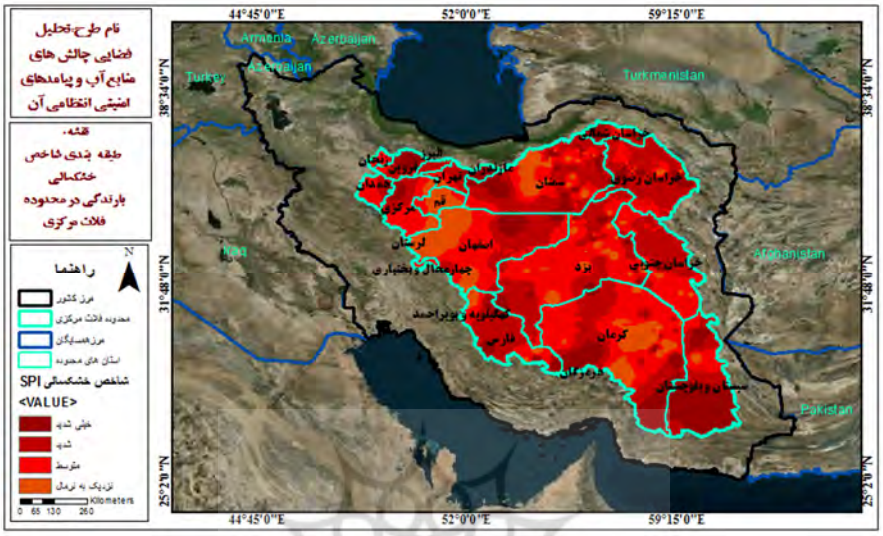
این حوضه به دلیل اقلیم خشک و بارندگی بسیار کمتر از میانگین کشور، در برابر کاهش منابع آب در دسترس، آسیب‌پذیرتر از دیگر حوضه‌های کشور است. برخی‌از پژوهشگران با تبیین پیامدهای امنیتی تغییر اقلیم در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران به این نتیجه رسیده‌اند که درصورت تداوم وضعیت فعلی، پیامدهای تغییر اقلیم در این حوضه ثبات و امنیت ملی را دچار مشکلات خواهدکرد (ابراهیمی خوسفی، ۱۴۰۲: ۴۵). برای شناسایی وضعیت تنش آب در حوضه آبریز مرکزی، سه شاخص بارش، آب زیرزمینی و آب سطحی موردبررسی قرار گرفت.

وضعیت حوضه براساس شاخص بارندگی (SPI)

جهت ترسیم نقشه شاخص SPI، از داده‌های ماهانه ایستگاه‌های موجود در حوضه آبریز فلات مرکزی به تعداد ۱۳۵۱ ایستگاه استفاده‌شد. بعد از رفع نواقص داده‌های خام (داده‌های وزارت نیرو)، یک‌پایه آماری مشترک بین تمام ایستگاه‌ها انتخاب (۲۰۲۲-۲۰۰۱) شد[1]. سپس داده‌ها در الگوی DrinC وارد و مقادیر عددی این بارش‌ها استخراج شد (اعدادی بین ۲- تا ۲+) سپس این اعداد باتوجه‌به مختصات ایستگاه مدنظر به نقشه تبدیل شدند. ازآنجاکه مقادیر بارش در محدوده فلات مرکزی بین ۱۷/. تا ۵۳/. و کمتر از ۱ است، تمام محدوده فلات مرکزی ازنظر بارش پایین‌تر از معمول و در سطح بحران قرار

۱. در انتخاب پایه آماری مشترک به دو اصل دقت شد: ۱. سال آماری انتخاب‌شده در بین تمامی ایستگاه‌ها دارای داده باشد؛ ۲. پایه آماری انتخاب‌شده با سال آماری سایر شاخص‌ها هم‌پوشانی داده داشته باشد.

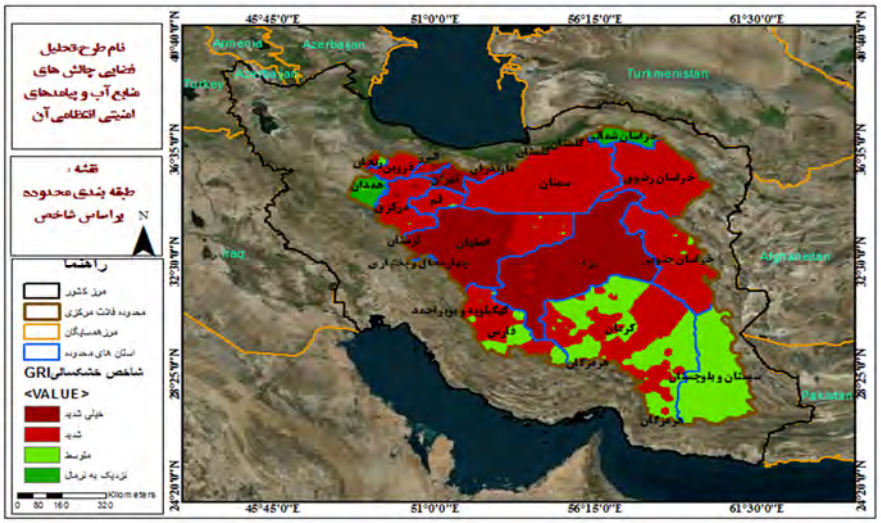
دارد. نقشه ۲ پراکندگی میزان بارش در سطح حوضه را در چهار طبقه نشان می‌دهد.



نقشه ۲. طبقه‌بندی خشک‌سالی فلات مرکزی ایران براساس شاخص بارندگی (SPI)

وضعیت حوضه براساس شاخص آب زیرزمینی (GRI)

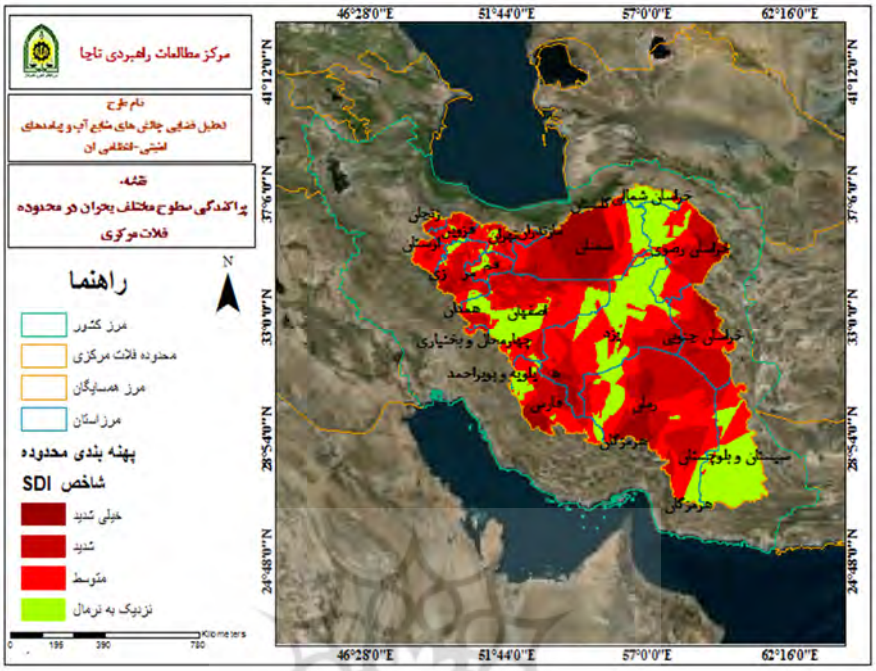
برای محاسبه شاخص GRI از داده‌های ماهانه سطح آب چاه‌های پیزومتری استفاده می‌شود. ابتدا داده‌های چاه‌های منطقه که به‌صورت ماهانه توسط وزارت نیرو برداشت می‌شود، بعد از رفع نواقص و خطاهای موجود، طبق سال آماری درنظرگرفته‌شده همانند شاخص (SPI) که سال ۲۰۲۲- ۲۰۰۱، مرتب کرده و سپس این داده‌های آماری به نرم‌افزار DrinC وارد و خروجی نرم‌افزار که به‌صورت یک عدد بین ۲- تا ۲ برای هر چاه است، باتوجه‌به مختصات چاه‌های پیزومتری در نرم‌افزار GIS وارد شده و به‌این‌ترتیب، نقشه پهنه‌بندی شاخص آب زیرزمینی ترسیم می‌شود. دامنه عددی شاخص آب زیرزمینی بیان می‌کند که وضعیت سطح آب زیرزمینی به‌مراتب حادتر و خطرناک‌تر از وضعیت بارش در حوضه است. به‌این‌خاطر که در این شاخص، اعداد منفی بیشتر و بزرگ‌تری وجود دارد اما درمورد شاخص بارش، اعداد منفی مشاهده نشد.



نقشه ۳. طبقه‌بندی خشکسالی حوضه آبریز فلات مرکزی براساس شاخص آب زیرزمینی (GRI)

بررسی وضعیت منطقه براساس شاخص آب سطحی (SDI)

جهت محاسبه شاخص SDI از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری وزارت نیرو استفاده شده‌است. داده‌ها بعد از رفع نواقص و خلأهای آماری به‌صورت ایستگاه به ایستگاه مرتب تا یک‌پایه آماری مشترک بین همه ایستگاه‌های موجود در حوضه استخراج شود. سال آماری همانند شاخص قبل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ انتخاب شد. سپس داده‌ها به الگوی DrinC وارد شد. باتوجه‌به مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها، داده‌های استخراج‌شده از الگو به نرم‌افزار GIS وارد و نقشه پهنه‌بندی محدوده به‌صورت رستری طبق نقشه ۸ ترسیم شد. دامنه عددی شاخص بین ۰٫۶۹- تا ۰٫۹۱ است که حکایت از وضعیت نامطلوب آبی در حوضه دارد.

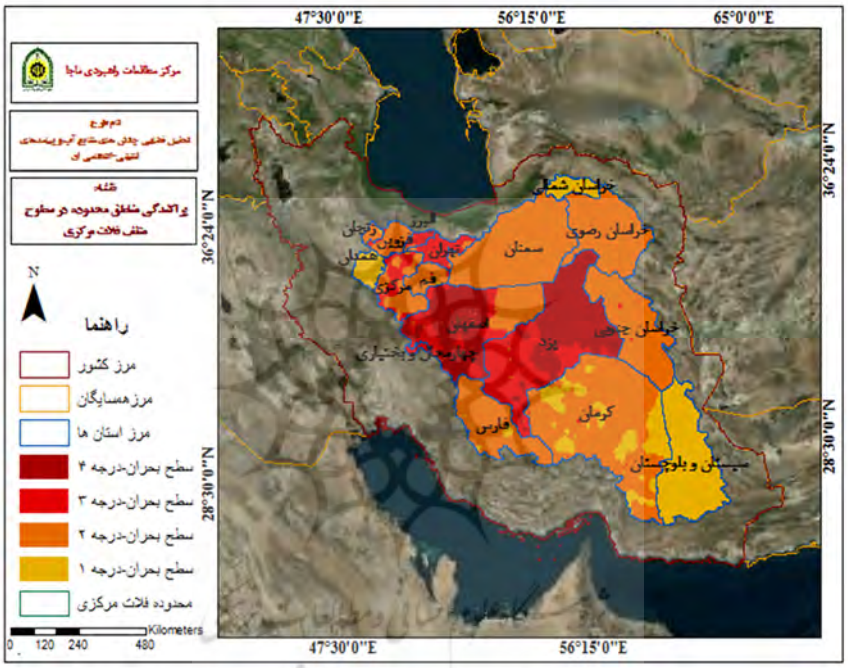


نقشه ۴. طبقه‌بندی خشک‌سالی حوضه آبریز فلات مرکزی براساس شاخص آب سطحی (SDI)

وضعیت منطقه براساس تلفیق شاخص‌های سه‌گانه (SDI,SPI,GRI)

برای شناخت دقیق وضعیت منطقه، شاخص‌های خشک‌سالی محاسبه‌شده در مراحل قبلی پژوهش به روش منطق فازی تلفیق شد. برای انجام کار در این پژوهش، عملگر اشتراک فازی باتوجه‌به دقت بالای آن انتخاب شد. با اعمال عملگرهای فازی واحدهای مکانی نقشه خروجی حاوی درجه عضویت تهیه شد. نقشه تلفیق شاخص‌ها به این جهت که تمامی شاخص‌های تأثیرگذار در آن دخیل است، یک معیار واقعی و دقیق جهت تحلیل وضعیت حوضه است. دامنه نقشه تلفیقی بین ۰,۷۲- تا ۰,۳۳ است که نشان از وضعیت بحرانی محدوده موردمطالعه دارد. شکل ۷ بیان می‌کند که وضعیت کلی منطقه ازنظر شاخص تلفیق وضعیت بحرانی است؛ چراکه نزدیک ۳۰ درصد از کل محدوده موردمطالعه دارای سطح تنش ۳ و ۴ هستند که یک حالت بسیار نامناسب است و سایر سطوح حوضه فلات مرکزی هم وضعیت خوبی نداشته و می توانند

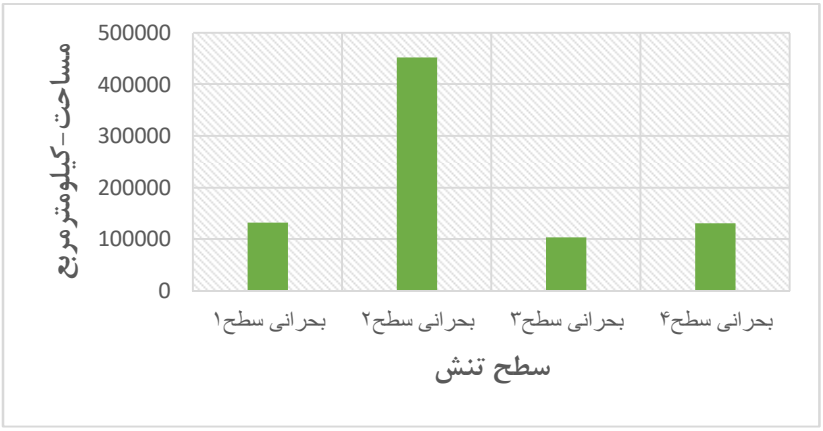
به راحتی به سطوح تنش بالاتر منتقل شوند. این وضعیت حوضه فلات مرکزی علاوه‌بر اینکه تولید مواد غذایی در کشور را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، حتی در زمینه شرب هم مشکلاتی جدی را ایجاد می‌کند که می‌تواند به‌صورت ناآرامی‌های اجتماعی و سیاسی بروز یافته و وضعیت از فرآیند هیدرولوژیکی خارج و به موضوعی امنیتی ــ انتظامی تبدیل شود که به‌طورقطع، حل آن مشکل‌تر بوده و با هزینه‌های بیشتری انجام خواهد گرفت.



نقشه ۵. طبقه‌بندی خشک‌سالی حوضه آبریز فلات مرکزی براساس شاخص تلفیقی

جدول ۴. مساحت سطوح مختلف بحران براساس تلفیق سه شاخص

درجه بحران	بحرانی سطح ۱	بحرانی سطح ۲	بحرانی سطح ۳	بحرانی سطح ۴
مساحت (کیلومترمربع)	۱۳۲۲۵۸,۳۲	۴۵۲۶۴۶,۰۰۶	۱۰۳۶۷۲,۲۳	۱۳۱۲۶۲,۷۹
درصد از کل محدوده (درصد)	۱۶,۱۳	۵۵,۲۲	۱۲,۶۵	۱۶



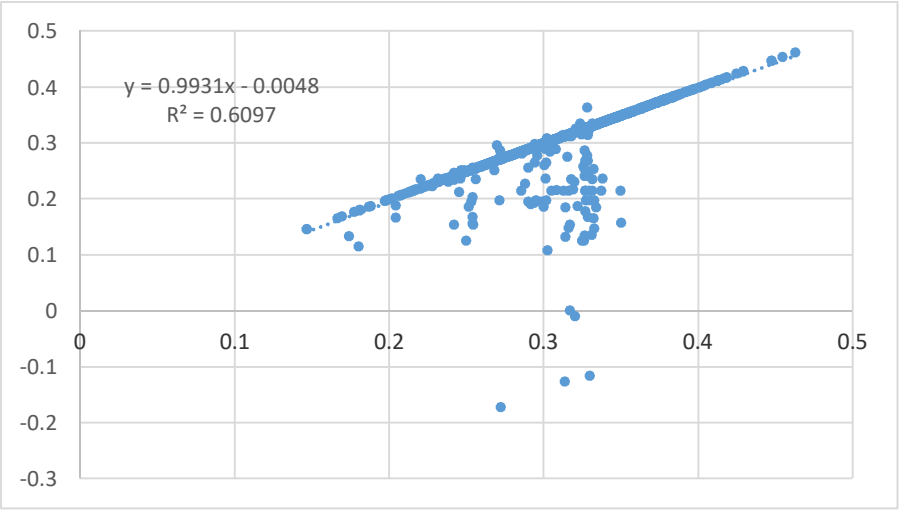
شکل ۷. نمودار مقایسه سطوح مختلف تنش تحت شاخص تلفیقی

ب. تدوین سناریو A2 تغییر اقلیم وضعیت تنش آب در حوضه فلات مرکزی (سناریوهای آینده‌پژوهی)

سناریو مورد استفاده در این الگوی تغییر اقلیم (A2) ناهم‌گونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی به‌صورت منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن‌آوری به‌صورت منطقه‌ای (و نه جهانی)، افزایش سطح زیر کشت است.

وضعیت بارش در حوضه آبریز فلات مرکزی (سناریو آینده)

برای تعیین وضعیت بارش حوضه در آینده از الگوی SDSM استفاده می‌شود. در این الگو، داده‌های بارش ایستگاه‌های موجود در منطقه (سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲) به‌عنوان داده‌های ورودی به الگو داده می‌شود. داده‌های سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ به‌عنوان داده‌های صحت‌سنجی انتخاب می‌شوند و براساس مختصات هرکدام از ایستگاه‌ها داده‌های موردنظر دانلود و بعد از ریزمقیاس نمایی آنها، بهترین داده پیش‌بینی انتخاب می‌شود. پیش‌بینی این داده‌ها تا سال ۲۰۳۲ است.



شکل ۸. مقایسه رابطه مقادیر پیش‌بینی‌شده در آینده ۱۰ ساله با مقادیر وضع موجود

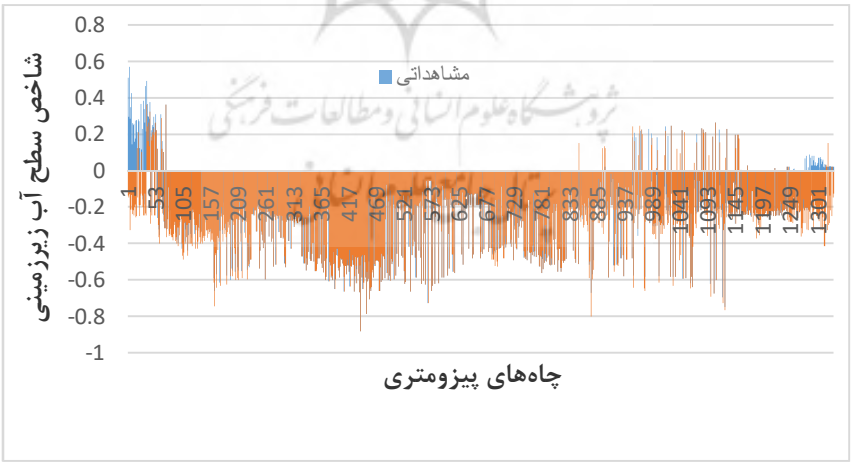
همان‌طور که از شکل ۸ مشخص است، همبستگی تقریباً مناسبی بین مقادیر مشاهداتی ثبت‌شده در سطح حوضه و مقادیر شبیه‌سازی‌شده به‌وسیله الگوی SDSM وجود دارد. این مقادیر شبیه‌سازی‌شده هرکدام مربوط به یک ایستگاه باران‌سنجی است. به‌علت تعداد بالای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه نمودار به صورت متراکم درآمده‌است. طریقه رسم نقشه پهنه‌بندی شاخص بارش در آینده تحت سناریوی تغییر اقلیم به این صورت است: نتایج پیش بینی بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی سطح حوضه (۱۳۴۷ مورد ایستگاه) که به‌وسیله الگوی تغییر اقلیم SDSM به‌دست آمده‌است، به الگوی DrinC (محاسبه شاخص بارش) وارد تا نتایج پیش‌بینی به شاخص موردنظر تبدیل شود.

جدول ۵. مساحت سطوح مختلف بحران خشکسالی (بر اساس شاخص SPI) تحت سناریو تغییر اقلیم

درجه بحران	بحرانی سطح ۱	بحرانی سطح ۲	بحرانی سطح ۳	بحرانی سطح ۴
مساحت (کیلومترمربع)	۲۳/۱۶۴	۵۴/۳۹۰	۲۹/۲۰۳	۹/۶۳۶
درصد از کل محدوده (درصد)	۲۰/۲	47/3	۲۴/۷	۷/۸

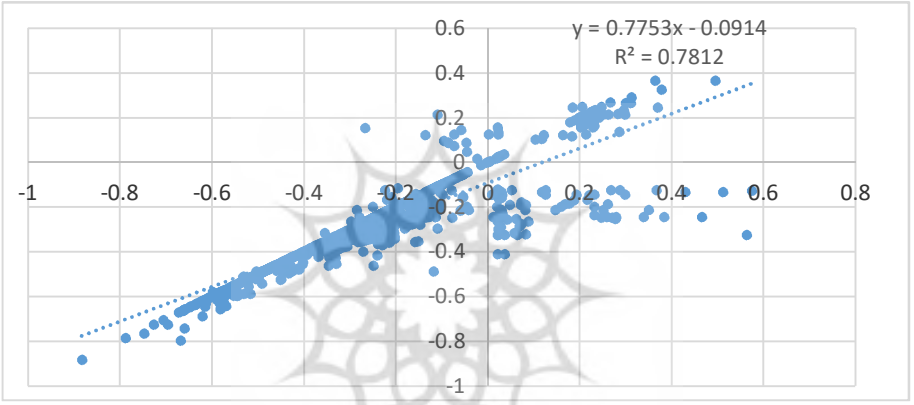
وضعیت آب زیرزمینی در حوضه آبریز فلات مرکزی (سناریوی آینده)

برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز فلات مرکزی، اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای شامل تراز سطح آب به‌صورت ماهیانه و برداشت ماهیانه از چاه‌های بهره‌برداری موجود در منطقه جمع‌آوری و سپس شاخص‌های اقلیمی بارش و دما به کمک GIS از نقشه‌های پیش‌بینی اقلیمی استخراج شد. باتوجه‌به دراختیارداشتن تراز سطح آب پیزومتریک در محدوده با به‌دست‌آوردن شاخص‌های اقلیمی به کمک GIS و با درنظرگرفتن مقدار برداشت ماهیانه، میزان تأثیر هر شاخص بر سطح آب به‌دست آمده و الگوسازی شد. در مرحله پایانی، شاخص‌های اقلیمی پیش‌بینی آینده در الگوی استخراج‌شده قرار گرفته و نقشه پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی تهیه شد. براین‌اساس، متغیرهای بارش، دما و تراز سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ موردبررسی قرار گرفت. باتوجه‌به اینکه داده‌ها از نوع سری زمانی هستند، بین شاخص‌ها، الگوی سری زمانی برقرار و الگوی ARIMA(۱۰و۰) برای تحلیل انتخاب شد. با دراختیارداشتن الگوی نتایج الگوی ARIMAو قراردادن مقادیر پیش‌بینی‌شده دما و بارش برای سال ۲۰۳۲ (نقشه‌های پیش‌بینی اقلیمی) سطح آب زیرزمینی در آینده پیش‌بینی شد.



شکل ۹. نمودار ستونی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده در آینده ۱۰ ساله

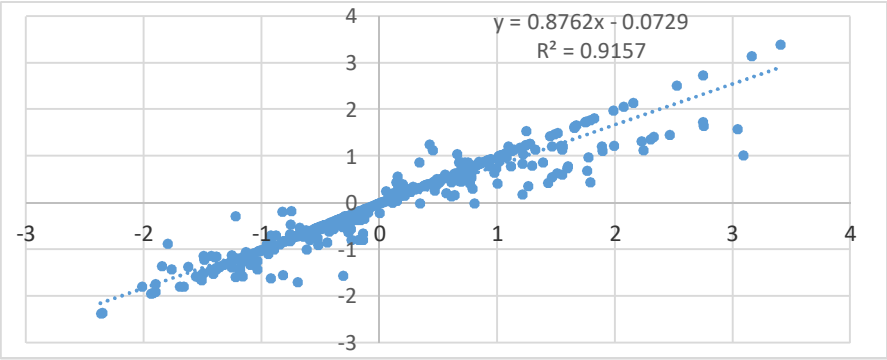
دامنه عددی شاخص آب زیرزمینی به‌دست‌آمده در پیش‌بینی‌های آتی بین ۰,۳۴ تا ۰,۸۷- است. این محدوده عددی درمورد شرایط فعلی بین ۰,۶۷ تا ۰,۹۳- محاسبه شد که در حالت کلی، نشان از بدترشدن اوضاع دارد (به‌لحاظ عددی)؛ زیرا در شرایط آتی، بزرگی قسمت منفی شاخص بیشتر شده و بزرگی قسمت مثبت شاخص کوچک‌تر شده‌است؛ اما به‌لحاظ سطوح درگیرشده توسط شاخص موردنظر، وضعیت تاحدودی بهتر شده‌است؛ به‌این‌علت که مساحت مناطق با سطوح تنش شدید و خیلی‌شدید در آینده کاهش پیدا کرده‌است و درعوض مساحت مناطق با سطوح تنش با بحران کمتر افزایش یافته‌است.



شکل ۱۰. نمودار رابطه و ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده ده سال آینده

وضعیت آب سطحی در حوضه آبریز فلات مرکزی (سناریوی آینده)

در پیش‌بینی دبی ایستگاه‌های هیدرومتری از نرم‌افزار IHACRES استفاده می‌شود. داده‌های ماهانه دما، بارش و دبی به الگوی وارد شده و داده‌های سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ به‌عنوان صحت‌سنجی انتخاب می‌شوند. البته در پمورد پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی، به‌جای داده‌های هیدرومتری، از داده‌های ماهانه نوسانات سطح آب زیرزمینی که به‌وسیله چاه‌های پیزومتری ثبت می‌شوند، استفاده می‌شود. بعد از پیش‌بینی دبی و سطح آب زیرزمینی توسط الگو، این مقادیر به ایستگاه‌های هیدرومتری و چاه‌های پیزومتری اختصاص پیدا خواهندکرد.



شکل ۱۱. وضعیت همبستگی مقادیر پیش‌بینی و مشاهداتی

محدوده شاخص خشک‌سالی آب سطحی در آینده ۲۰۲۲-۲۰۳۲، بین ۰٫۸۶- تا ۰٫۹۰ است که وضعیت نامناسبی را نشان می‌دهد. مقایسه سطوح مختلف بحران بر طبق داده‌ها و پیش‌بینی‌های انجام‌شده، نشان داد که در دو سطح اول تنش (متوسط و شدید) وضعیت در آینده افزایشی است و در سطح ۱ و ۴ روند کاهشی است. این وضعیت نشان از بدترشدن وضعیت منطقه به‌لحاظ شاخص آب‌های سطحی است. افزایش ۷ درصدی مناطق با سطح تنش ۳ و ۸ درصدی مناطق با سطح تنش ۲ به‌طورقطع، جمعیت بیشتری را تحت‌تأثیر بحران آب قرار می‌دهد که این وضعیت با همبستگی مناسبی که بین مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی وجود دارد، به‌طورحتم قابل‌انجام خواهدبود؛ پس باید در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی بیشتر دقت شود و این شرایط جمعیتی مدنظر قرار گیرد. کاهش نزدیک به ۱۴ درصدی مناطق با سطح تنش ۱ هم یک نشانه از بدترشدن وضعیت منطقه به‌جهت رواناب‌های موجود در سطح حوضه است. این کاهش مساحت به مناطق با سطوح تنش ۲ و ۳ اضافه شده‌اند که به‌معنی ورود این محدوده‌ها به مناطق بحرانی‌تر است.

جدول ۶. مساحت سطوح مختلف بحران (براساس شاخص SDI) تحت سناریوی تغییر اقلیم

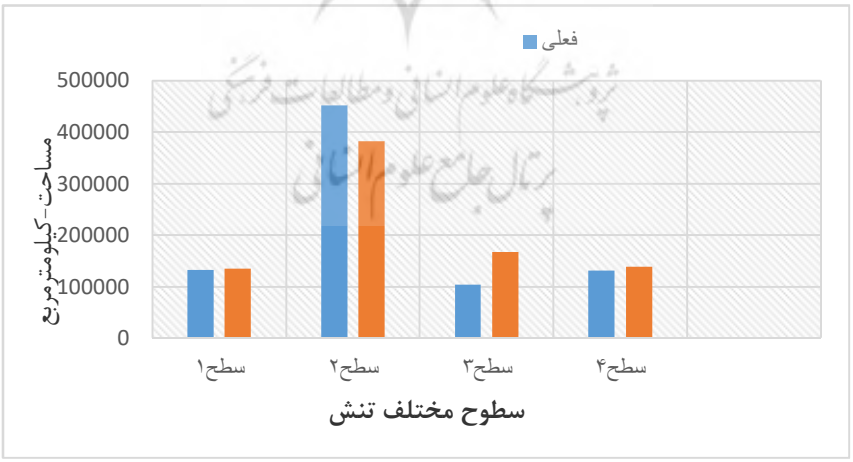
درجه بحران	بحرانی سطح ۱	بحرانی سطح ۲	بحرانی سطح ۳	بحرانی سطح ۴
مساحت (کیلومترمربع)	۹۶۹۹۵٫۳۹۶	۳۴۹۷۴۲٫۶۳	۲۸۲۹۸۰٫۴۷۳	۹۵۱۳۱٫۳۹
درصد از کل محدوده (درصد)	۱۱٫۷۵	۴۲٫۴	۳۴٫۳	۱۱٫۵۵

سناریوی آینده حوضه آبریز فلات مرکزی براساس تلفیق شاخص های SDI,SPI,GRI

بعد از ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل‌از شاخص‌ها تحت سناریوی تغییر اقلیم، نوبت به تلفیق این شاخص ها برای بررسی دقیق تر و مقایسه آن با شرایط فعلی می‌رسد. پنج عملگر فازی به نام اشتراک فازی، اجتماع فازی، ضرب فازی، جمع فازی و فازی گاما برای تلفیق مجموعه شاخص‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند که درنهایت، با اعمال عملگرهای فازی، واحدهای مکانی نقشه خروجی حاوی درجه عضویت خواهندبود. برای دقت بیشتر از عملگر اشتراک فازی Fuzzy AND استفاده و نتایج این الگو با حالت فعلی مقایسه می‌شود. دامنه عددی تلفیق شاخص‌ها بین ۰,۲۱ تا ۰,۸۶- به‌دست آمده‌است. این محدوده عددی درمقایسه‌با شاخص تلفیقی در شرایط فعلی (۰,۳۳ تا ۰,۷۲-) شرایط نامناسب‌تری را نشان می‌دهد؛ به‌این‌جهت که اندازه کران منفی بزرگ‌تر شده و اندازه کران مثبت کوچک‌تر شده‌است.

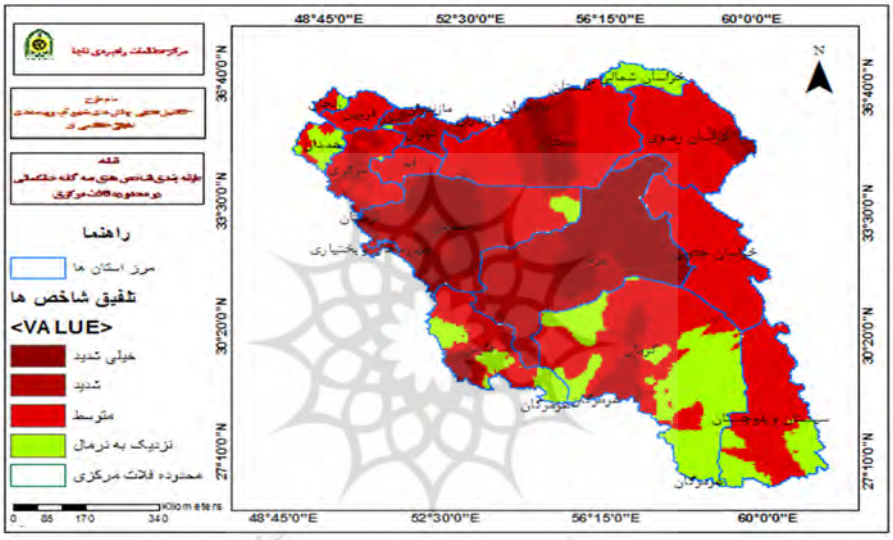
جدول ۷. مساحت سطوح مختلف بحران براساس تلفیق سه شاخص سناریوی آینده تغییر اقلیم

درجه بحران	بحرانی سطح ۱	بحرانی سطح ۲	بحرانی سطح ۳	بحرانی سطح ۴
مساحت (کیلومترمربع)	۱۳۴۹۵۷,۹۵	۳۸۲۰۳۰,۲۵	۱۶۶۹۰۹,۷۱	۱۳۸۴۱۳,۳۰
درصد از کل محدوده (درصد)	۱۶,۴۱	۴۶,۴۵	۲۰,۲۹	۱۶,۸۵



شکل ۱۲. مقایسه سطوح مختلف بحران براساس شاخص تلفیقی در دو حالت فعلی و سناریوی آینده

براساس جدول بالا، وضعیت کلی حوضه آبریز در آینده نامساعدتر است. مساحت مناطق با سطوح تنش شدید و خیلی‌شدید افزایش و مساحت مناطق با سطح تنش ۲ کاهش پیدا کرده‌است و این یعنی در ۱۰ سال آینده (پایه آماری سناریو شبیه‌سازی) مدیریت منابع آب به‌درستی انجام نشده و باعث افزایش تنش از سطوح پایین‌تر به بالاتر شده‌است و به‌طورقطع، این محدوده‌های اضافه‌شده هم به‌لحاظ شرب و هم به‌لحاظ کشاورزی و صنعت دچار مشکل می‌شوند.



نقشه ۶. طبقه‌بندی خشکسالی حوضه آبریز فلات مرکزی براساس شاخص تلفیقی سناریوی تغییر اقلیم

بحث و نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت، تغییر اقلیم، کاهش بارش، مصرف‌گرایی و استفاده بی‌رویه از فناوری‌ها، سبب شده‌است که منابع آبی موجود بدون درنظرگرفتن پیامدهای آن، با سرعت و قدرت بیشتری استخراج شوند. درحال‌حاضر، تهی‌شدن سفره‌های آب زیرزمینی، چالشی جدی را در کشور ایجاد نموده‌است. با رشد جمعیت، ارتقای سطح زندگی و بهداشت، گسترش شهرنشینی، صنایع و کشاورزی، تنازع بر سر آب تشدید می‌شود. به‌طورکلی، همانند دیگر کشورها، تغییر در شیوه زندگی و

حرکت به‌سمت مصرف‌گرایی و رفاه بیشتر، باعث استفاده بیش‌ازحد از منابع و درنتیجه، وقوع بحران‌های زیست‌محیطی در ایران شده‌است.

الگوی فضایی میانگین سالانه بارش و خشکی و تغییرات آن و همچنین، روند میانگین خشکی ایران بااستفاده‌از داده‌های مشاهداتی (۲۰۲۰-۲۰۰۱) و سناریوی A2 برای آینده نشان می‌دهد که در دوره مشاهداتی به‌جز نواحی شمالی حوضه آبریز فلات مرکزی که نزدیک به البرز و بخش‌های کوچکی از شمال‌غرب ایران که شامل مناطق نیمه‌مرطوب و دارای وضعیت نزدیک به معمول است، سایر مناطق حوضه آبریز در طبقات خشک و نیمه‌خشک قرارگرفته‌اند.

شاخص‌های تحلیل آب در حوضه آبریز فلات مرکزی، پایین‌تر از حد طبیعی و در سطوح بحرانی دسته‌بندی می‌شوند. نشانه‌های بحران با تنش و ناآرامی های چند سال اخیر در استان‌های یزد و اصفهان آغاز شده و پیش بینی روند بلندمدت ده‌سال آینده در نرم‌افزار Drinc نیز نشان‌دهنده کاهش سطح تنش ۲ از ۵۵ درصد به ۴۶ درصد در ۱۰ سال آینده و مساحت سطح تنش شدید ۳ از ۱۲ درصد به ۲۰ درصد در ده‌سال آینده است و اینکه دامنه ناآرامی و تنش از استان‌های اصفهان و یزد به استان‌های تهران و البرز نیز کشیده خواهدشد. نتایج نشانگر افزایش و گسترش محدوده تنش آب به سطوح بحرانی ۳ و ۴ و بدترشدن وضعیت منابع آب در ۱۰ سال آینده است.

نتایج حاصل‌از تحلیل منابع آب در حوضه آبریز فلات مرکزی نشان داد که وضعیت منابع آب در استان‌های حوضه آبریز فلات مرکزی بحرانی است. بیشترین میزان (تنش خیلی‌شدید) به‌ترتیب در استان‌های یزد، اصفهان، سمنان و کرمان است و اگر وضعیت به‌همین‌منوال ادامه پیداکند، درگیری‌ها و تنش‌های فعلی تشدید و مشکلات امنیتی بین این استان‌ها بیشتر خواهدشد. وضعیت این چهار استان ازاین‌جهت بحرانی‌تر می‌شود که این استان‌ها به‌لحاظ داشتن مناطق با سطح تنش ۳ (تنش شدید) نیز در صدر قرار دارند و این حالت، وضعیت این استان‌ها را ناپایدارتر می‌کند. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، وضعیت آینده استان‌های محدوده حوضه آبریز فلات مرکزی و میزان مساحت مناطق درگیر با بحران آب در این استان‌ها به‌صورت تصاعدی از سطوح

کم‌تنش به‌سمت سطوح با تنش بالا است. نتایج پژوهش ازنظر وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی با پژوهش ابراهیمی خوسفی و آفتابی و همکاران، ازنظر وضعیت خشکسالی با پژوهش تیموری و همکاران، پژوهش سلطانی و همکاران، پژوهش نعمتی و همکاران و ازنظر تبیین کلی وضعیت حوضه با پژوهش‌های میرشکاران و نوری امام‌زاده مطابقت دارد.

پیشنهادها

درحال‌حاضر، کشور با چالش‌های عمیق و گسترده‌ای ازجمله پایین‌افتادن سطح آب زیرزمینی، نشست زمین، خشک‌شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها و بروز تعارضات و منازعات آبی روبه‌روست. مهم‌ترین عوامل مؤثر در این شرایط را می‌توان در افزایش جمعیت و توزیع نامناسب آب، حکمرانی نامناسب آب، بهره‌وری پایین آب در کلیه بخش‌های مصرف و تغییر اقلیم و مانند آن دانست. به‌منظور بهبود شرایط موجود، لازم است تا با هماهنگی بین سازمان‌ها، دستگاه‌ها و به‌کارگیری ابزارها و تجهیزات مناسب، مجموعه‌ای از راهکارها در مقیاس‌های کلان و ملی، منطقه‌ای و محلی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت درنظرگرفته شود. در زیر، مواردی به‌صورت خلاصه اشاره شده‌است.

۱. راه اندازی کارگروه‌های رصد بحران منابع آب در استان‌های حوضه آبریز فلات مرکزی؛
۲. حمایت از برنامه‌های کاهش مصرف آب در حوزه کشاورزی توسط نهادهای مربوط؛
۳. تغییر در شیوه‌های استحصال و استفاده‌از فناوری‌های جدید در انتقال و بهره‌برداری از منابع آب؛
۴. صرفه‌جویی در دو بخش دیگر مصرف (صنعت و شرب) و آموزش راه‌های صرفه‌جویی به مردم؛
۵. سازگاری و آموزش شرایط اقلیمی جدید به مردم و مسئولان؛
۶. نظارت و مشارکت در جلوگیری‌از حفر چاه‌های غیرمجاز؛
۷. تغییر در الگوهای کشت کشاورزی و یکپارچه‌سازی اراضی و منابع آب؛
۸. اصلاح حکمرانی و مدیریت منابع آبی کشور؛

۹. تکیه‌بر ارتقای شاخص بهره‌وری آب در کلیه بخش‌های کشاورزی، صنعت و شهری؛
۱۰. بازچرخانی آب در صنعت، شرب و خدمات و جداسازی آب شرب و بهداشتی در شهرها؛
۱۱. آگاه‌سازی عمومی و تشکیل کمپین‌های صرفه‌جویی منابع آب؛
۱۲. شیرین‌سازی آب دریا با لحاظ‌کردن ملاحظات زیست‌محیطی.

تشکر و قدردانی

نویسنده از حمایت‌های مادی و معنوی مرکز مطالعات راهبردی فراجا برای همکاری در دستیابی‌به آمار منابع آب محدوده موردمطالعه در طول اجرای پژوهش تشکر و قدردانی می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فهرست منابع

- ابراهیمی خوسفی، محسن؛ ابراهیمی خوسفی، زهره (۱۴۰۲). تحلیل روند تغییرات منابع آب و عوامل مؤثر در آن در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران بااستفاده‌از محصولات ماهواره‌ای، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ۱۵(۴): ۶-۴۱

https://gisj.sbu.ac.ir/article۱۰۲۸۸۹.html

- احمدی، سعیده (۱۴۰۰)، آثار و پیامدهای اقتصادی و امنیتی بحران آب در کشور، فصلنامه امنیت اقتصادی، ۹(۸): ۲۵ ـ ۳۶

https://es.tesrc.ac.ir/article_۲۴۷۳۱۵.html

- آفتابی، زکیه؛ کاویانی، مراد؛ کاردان مقدم، حمید (۱۴۰۲). تدوین راهبرد مؤثر بر مناسبات فراروی هیدروپلیتیک ایران در حوضه آبریز اروندرود با رویکرد آینده‌نگاری، فصلنامه مطالعات راهبردی، ۲۶(۱۰۰): ۵ ـ ۳۵

https://quarterly.risstudies.org/article_۱۷۲۲۴۲.html

- توحیدی، مهرداد؛ آزاد ارمکی، تقی؛ توکل کوثری، سید محمدعلی؛ جلایی پور، حمیدرضا؛ باقری، علی. (۱۴۰۲). مساله آب و شکل‌گیری تعادل سیاسی ـــ اجتماعی در توسعه جامعه ایرانی (مورد مطالعه: نظام مدیریت آب در حوضه زاینده‌رود(علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۸(۲): ۵۶ ـ ۶۵

10.22112/jwwse.2022.360412.1327https://www.jwwse.ir/articl۱۶۰۶۱۷.html

- تیموری، مهدی؛ اسدی نلیوان، امید؛ الهی، سارا (۱۴۰۲). تحلیل احتمالاتی شدت و مدت خشکسالی استان خراسان شمالی بااستفاده‌از تابع‌های کاپولا. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶(۲): ۳۶ ـ ۵۲

https://wmrj.areeo.ac.ir/article_۱۲۷۶۶۴.html

- سلطانی، کبری؛ معصوم پور سماکوش، جعفر؛ مجرد، فیروز؛ هادی پورسحر (۱۴۰۲.) تحلیل روند و تنوع فضایی خشکی در اقلیم آینده ایران. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵(۲):۵۰-۲۵،

https://jphgr.ut.ac.ir/article_۹۳۴۳۰.html

- کریمی پور، یدالله؛ کاویانی راد، مراد؛ فهمی، هدایت؛ کرمی، صادق (۱۳۹۶)، تبیین پیامدهای امنیتی تغییر اقلیم در حوضه آبریز مرکزی ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۶): ۳۴ ـ ۵۸

https://jgs.khu.ac.ir/article۲۷۸۴-۱-fa.html&sw

- گل کرمی، عابد؛ کاویانی راد، مراد (۱۳۹۶). تأثیر محدودیت منابع آب بر تنش های هیدروپلیتیک (نمونه موردی: حوضه آبریز مرکزی ایران با تأکید بر حوضه آبریز زاینده‌رود)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۸(۱): ۱۱۳ ـ ۱۳۴

https://gep.ui.ac.ir/article_۲۲۱۸۲.html

- مختاری هشی حسین، مرادی امین (۱۴۰۰). تبعات زیست محیطی بحران آب در ایران، آمایش سیاسی فضا، ۳ (۲) :۱۱۷-۱۳۱،

http://psp.modares.ac.ir/article-۵۵۵۶۰-۴۲-fa.html

- منصورمقدم، محمد؛ روستا، ایمان (۱۴۰۲). ارزیابی تغییرات دمای سطح زمین (LST) روستاها در روزهای تعطیل (مطالعه موردی: روستاهای شهرستان تفت یزد)، پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، ۴(۱۶): ۲۱ ـ ۴۴

https://ccr.gu.ac.ir/article_۱۸۳۷۲۷.html

- میرشکاران، یحیی (۱۳۹۹). اثر تغییرات آب‌وهوایی بر پیامدهای امنیتی ــ انتظامی بحران منابع آب با تأکید بر هیدروپولیتیک مناطق مرزی، پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، ۱(۲): ۹۸-۷۹

https://ccr.gu.ac.ir/article_۱۱۱۱۲۷.html

- میرفخرایی، سیدحسن؛ خدایی، مصطفی (۱۴۰۰). بحران آب و چارچوب‌های حقوقی نوین منطقه‌ای و بین‌المللی، پژوهش‌نامه ایرانی سیاست بین‌الملل، ۳(۹): ۳۰۷ ـ ۳۳۲

https://irlip.um.ac.ir/article_۴۰۶۹۳.html

- نعمتی، احمد؛ قریشی نجف‌آبادی، سیدحسین؛ جودکی، غلامرضا؛ موسوی ندوشنی، سیدسعید (۱۳۹۸). ارزیابی شاخصه‌های خشکسالی کشاورزی در حوزه آبریز فلات مرکزی ایران بااستفاده‌از ماهواره گرانش سنجی. تحقیقات آب‌وخاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۰ (۲): ۳۱۳-۳۲۷.

https://www.sid.ir/paper/۲۲۵۶۹۱/fa#downloadbottom

- نوری امام زاده، حسن؛ میرشکاران، یحیی (۱۳۹۹). اثر دگرگونی‌های آب‌وهوایی بر ناآرامی‌های حاصل از تنش منابع آب (موردمطالعه: شرق اصفهان)، پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۱(۳): ۵۱-۳۵،

https://ccr.gu.ac.ir/article_۱۱۳۷۰۳.html

- Gebremedhin, M. A., Kahsay, G. H., & Fanta, H. G. (2019). Assessment of spatial distribution of aridity indices in Raya valley, northern Ethiopia. Applied Water Science, 8 (8), 217
- Giordano, M, Drieschova, A, Duncan, J. A, Sayama, Y, De Stefano, L, & Wolf, A. T (2014), A Review of the Evolution and State of Transboundary Freshwater Treaties. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics 14 (3), 245-264.
- HadiPour, S., Abd Wahab, A. K., & Shahid, S. (2020). Spatiotemporal changes in aridity and the shift of drylands in Iran. Atmospheric Research, 233, 104704
- Kao, Sh., Govindaraju, R.S., and Niyogi, D, (2016), A spatio-temporal drought analysis for the Midwestern US, World Environmental and Water Resources Congress, American Society of Civil Engineers, ASCE.12 (8),465-475
- Lickley, M., & Solomon, S. (2019). Drivers, timing and some impacts of global aridity change. Environmental Research Letters, 13 (10), 104010
- Madani, K., Aghakouchak, A. & Mirchi, A. (2016) "Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation", Iranian Studies, 49 (6), 977-1016
- Miri, M., Masoompour, S. J., Raziei, T., Jalilian, A., & Mahmodi, M. (2021). Spatial and temporal variability of temperature in Iran for the twenty-first century foreseen by the CMIP5 GCM models. Pure and Applied Geophysics, 178 (1), 169-184.
- Moradi, H., A. Sepahvand and M. Khazayi. (2017). Assessment of meteorological and hydrological drought by using the modified SPI index and SDI (Case study: watershed Khorramabad). Fifth National Conference on Science and Engineering Iranian Watershed.13 (7),117 -130
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'neill, B. C., Fujimori, S., & Lutz, W. (2019). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. Global Environmental Change, 42, 153-168
- Sivakumar, M.V.k. (2021). Natural disaster and extreme events in agriculture. Vol. 367. Berlin, Germany: Springer.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaee, P. H. (2015). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). Water resources management, 27 (1), 137-151
- Yang D, Lic, Hu Lei Z., Yang S., Kusuda T., Koik T., Musiake K. (2014) Analysis of water resources variability in the Yellow River of china. during the last half century using historical data; Water Resource Research39 (21), 43-57
- Zhao, Y., Zou, X., Cao, L., Yao, Y., & Fu, G. (2021). Spatiotemporal variations of potential evapotranspiration and aridity index in relation to influencing factors over Southwest China during 1960–2013. Theoretical and applied climatology, 133 (3-4), 711-726

– Otkur A, Wu D, Zheng Y, Kim JS, Lee JH. 2021.Copula-based drought monitoring and as-sessment according to zonal and meridional temperature gradients.Atmosphere. 12 (8)
https://doi.org/10.3390/atmos12081066

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی