

ارزیابی داده‌های بازتحلیل ERA5 در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و پتانسیل استحصال آب از رطوبت هوا (مطالعه موردی: استان قزوین)

سکینه کوهی، بهاره بهمن‌آبادی، فاطمه صفری، زهرا پرتوی، محمد خواجه‌وند ساس،

هادی رمضان‌اعتدالی^{۱*} و بهزاد قیاسی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۲۹)

چکیده

یکی از مسائل و مشکلات اصلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تأمین آب است. ازجمله گزینه‌های تأمین آب در این مناطق می‌توان به منابع آب نامتعارف اشاره کرد. امروزه استحصال آب از رطوبت هوا که از جمله منابع آب نامتعارف محسوب می‌شود، بیش‌ازپیش گسترش یافته است. روش‌های مختلفی نیز با این هدف توسعه یافته است؛ اما کاربرد شبکه توری بسیار رایج است. ازاین‌رو در پژوهش حاضر ضمن ارزیابی عملکرد منبع در شبیه‌سازی متغیرهای جوی مؤثر بر قابلیت استحصال آب از رطوبت هوا (دما، سرعت باد و فشار بخار آب)، امکان استحصال آب از رطوبت هوا در استان قزوین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت اعمال ضرایب اصلاحی در تخمین دما و سرعت باد توسط منبع ERA5 در ایستگاه‌های مطالعاتی بود. بر اساس نتایج، بخش‌های شمال غربی و جنوبی استان (شهرستان کوهین و تاکستان) در فصول بهار و تابستان از ظرفیت بالایی در استحصال آب از هوا با استفاده از روش سیمی - توری برخوردار هستند. حداکثر مقدار آب قابل استحصال در دو منطقه ذکر شده در فصل تابستان، به ترتیب ۱۰/۲ و ۹/۷ لیتر بر مترمربع در روز تخمین زده شده است. با استفاده از پایگاه بازتحلیل ERA5، متوسط سالانه پتانسیل استحصال آب در ایستگاه‌های یادشده به ترتیب ۷/۹ و ۴/۶ لیتر بر مترمربع در روز برآورد شد. لازم به ذکر است، مقدار استحصال آب در شهر قزوین در فصل تابستان حداقل مقدار بوده است (۳/۴ لیتر بر مترمربع در روز) که می‌توان برای استفاده از آن در آبیاری فضای سبز، مزارع و یا باغات برنامه‌ریزی کرد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، شبکه توری - سیمی، بحران آب، سنجش‌ازدور

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir

مقدمه

افزایش بحران آب، به دلیل بیابان زایی مداوم، شور شدن منابع آب شیرین و افزایش جمعیت جهانی، چالش بزرگی برای جامعه بشری به شمار می‌رود. آب شیرین یکی از ارزشمندترین منابع کره زمین است. از آنجایی که زیستگاه در مناطقی ایجاد می‌شود که از بارندگی کافی برخوردار هستند، جمعیت و کشاورزی که اغلب وابسته به آب زیرزمینی هستند، در صورت بهره‌برداری بیش از حد از منابع زیرزمینی با بحران روبرو خواهند شد. در برخی مناطق، این سفره‌های زیرزمینی که طی ده‌ها هزار سال پر شده‌اند، به طور فزاینده‌ای در حال کاهش هستند و برخی دیگر نیز به دلیل نفوذ آب اقیانوس‌ها دچار شور شدن هستند (۴). از سوی دیگر، بشریت نمی‌تواند فقط بر بارش به عنوان منبع آب شیرین تکیه کند، چرا که آب‌های سطحی به راحتی می‌توانند آلوده شوند؛ بنابراین اغلب برای مصرف انسان ایمن نیستند. امروزه بشر از آخرین فناوری‌های عملی موجود برای حل مشکل کم آبی در مناطق خشک و نیمه خشک بهره می‌برد. استحصال آب از رطوبت هوا با استفاده از متراکم کردن بخار آب موجود در جو و جمع‌آوری آن انجام می‌شود. این روش شامل استحصال آب از هوا، مه و شبنم است (۶). باتوجه به کمبود و ناهماهنگی توزیع‌های زمانی و مکانی بارش و از آنجایی که کشور ایران جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود، موضوع استحصال آب از مه می‌تواند به عنوان یک فناوری نوین در عرصه منابع آبی در کشور مورد توجه قرار بگیرد. برخی از عوامل جغرافیایی در دوام و پایداری یک طرح استحصال آب از رطوبت و مه مؤثرند که از جمله می‌توان الگوهای جامع باد، محدوده کوه‌ها، ارتفاع و جهت ابر، فاصله از خط ساحلی، فضای بین دستگاه جمع‌کننده آب، پستی و بلندی در نواحی مجاور و توپوگرافی منطقه را نام برد (۱۶). باتوجه به اهمیت اقلیم منطقه و ویژگی‌های توپوگرافیکی در استحصال آب از رطوبت هوا، تکنیک‌های مدرن مانند سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با فراهم‌آوری امکان تولید لایه‌های رستری و تلفیق نقشه‌ها، امکان

پتانسیل‌یابی مؤثرتر استحصال آب از رطوبت هوا در مناطق مختلف را برای محققین فراهم می‌آورد که در نتیجه می‌تواند منجر به بررسی و مدیریت بهتر مشکلات ناشی از منابع آب شود (۵ و ۱۷). پژوهش‌هایی نیز در زمینه پتانسیل‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا در ایران و جهان به انجام رسیده است. برای نمونه، کریم‌پورریحان و همکاران (۱۰) از GIS به منظور تعیین مکان مناسب برای انجام پروژه‌های استحصال آب از رطوبت هوا در استان بوشهر استفاده کردند. در این پژوهش پس از استخراج متغیرهای سنجش‌ازدور، هر یک از لایه‌های رستری تولید شده با استفاده از روش بولین وزن‌دهی شد و پس از تلفیق لایه‌های رستری، مکان‌های مناسب برای استحصال آب در منطقه مشخص شد. در بررسی سلیمانی و شکران (۱۷)، مکان‌یابی استحصال آب از مه در بالادست حوضه وازرود استان مازندران با استفاده از سنجش‌ازدور صورت گرفت. در این پژوهش، متغیرهای سنجش‌ازدور بر اساس تصاویر ماهواره لندست شامل کاربری اراضی، دمای سطح زمین و نقشه ابرناکی بودند. متغیرهای اقلیمی شامل اثر پشت به باد، اثر رو به باد، گرمایش ناهمسانگرد روزانه، گرمایش جریان هوای مؤثر، عامل نمای آسمان و اثر باد بودند. متغیرهای هیدرولوژیک شامل شاخص قدرت جریان و شاخص رطوبت توپوگرافی بودند که با استفاده از ۱۲ الگوریتم واکاوی و ۱۹۰ نقطه کمکی، نقشه‌های اولیه توزیع مکانی استحصال آب از مه تولید شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه توزیع مکانی بر اساس مدل ترکیبی نشان داد، مناطق شرق، جنوب شرقی و جنوب حوضه بیشترین تناسب را در استحصال آب از مه دارا هستند. همچنین مناطق با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر، از بیشترین تناسب برای استحصال آب از مه برخوردار است که این اراضی در بخش‌های جنوبی حوضه واقع شده‌اند. باتوجه به اهمیت استفاده از روش‌های مناسب برای مکان‌یابی و ارزیابی تناسب اراضی برای بهینه‌سازی فعالیت‌های انسانی، در مطالعه محمدی و سبحانی (۱۳) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی در مکان‌یابی استحصال آب از رطوبت هوا به روش سیستم

در مقیاس جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی با هزینه و زمان کمتر به انجام رساند (۱). ولی پتانسیل‌یابی استحصال آب با استفاده از مدل‌های سنجش‌ازدور به‌ویژه در ایران چندان مورد توجه قرار نگرفته است. باتوجه‌به توضیحات یادشده، در این پژوهش امکان‌سنجی و تعیین نقاط مناسب به‌منظور تأسیس سیستم‌های استحصال آب از رطوبت هوا در استان قزوین با کاربرد سنجش‌ازدور مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، از منبع بازتحلیل ERA5، به‌منظور تهیه داده‌های هواشناسی موردنیاز برای محاسبه میزان آب قابل استحصال از رطوبت هوا استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان قزوین است. این استان در محدوده جغرافیایی بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه قرار گرفته است. دشت قزوین از منظر شرایط آبی یکی از دشت‌های ممنوعه کشور محسوب می‌شود. بخش اعظمی از آب موردنیاز بخش کشاورزی، شرب و صنعت از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. بررسی‌های انجام شده توسط اتاق بازرگانی استان قزوین، بیانگر این مسئله بوده است که در تابستان سال ۱۴۰۱، تأمین آب شرب بیش از ۷۰ روستا در سطح استان با مشکلات متعدد از قبیل شور شدن آب چاه‌های موجود و خشک شدن چاه‌ها مواجه بوده است؛ بنابراین، تأمین آب شرب و کشاورزی از یک منبع جایگزین در این استان اهمیت بالایی خواهد داشت. از این‌رو امکان‌سنجی و تعیین نقاط مناسب به‌منظور تأسیس سیستم‌های استحصال آب از رطوبت هوا باتوجه‌به پارامترهای هواشناسی یادشده، دارای اهمیت بالایی است. در این پژوهش به‌منظور بررسی امکان استحصال آب از رطوبت هوا از داده‌های روزانه ۱۴ ایستگاه هواشناسی واقع در داخل و خارج از مرز استان طی دوره

چگالشی در استان هرمزگان با هدف ارزش‌گذاری معیارها و تعیین مکان‌های بهینه استفاده شد. تناسب نهایی استان هرمزگان برای استحصال آب با استفاده از سیستم چگالشی به پنج طبقه دسته‌بندی و نقشه پهنه‌بندی آن تهیه شد. نتایج ارزیابی تناسب اراضی نشان داد، ۹/۷۴ درصد منطقه مورد مطالعه که معادل ۶۶۱۳/۶۱ کیلومتر مربع است، در کلاس تناسب بسیار مناسب، حدود ۱۸/۵۷ درصد که معادل ۱۲۶۰۶/۸۵ کیلومتر مربع است در کلاس با تناسب مناسب، حدود ۲۷/۳۹ درصد منطقه (معادل ۱۸۵۹۷/۹۵ کیلومتر مربع) در کلاس متوسط، حدود ۲۵/۹۰ درصد (۱۷۵۸۹/۵۵ کیلومتر مربع) در طبقه نامناسب و در نهایت ۱۸/۴۱ درصد (معادل ۱۲۴۹۸/۲۹ کیلومتر مربع) در کلاس بسیار نامناسب قرار می‌گیرند. موریچی و همکاران (۱۴) روش‌های نوین کاربرد آب از مه را بیان کردند. در این پژوهش، کاربردهای مختلف استحصال آب از مه به‌منظور احیای جنگل و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین کریمی‌دستنایی و همکاران (۹)، نقشه‌های شاخص قابلیت برداشت مه (FCI) را برای حوضه نیمه شرقی و از رود مازندران با استفاده از الگوریتم هوش مصنوعی تولید کردند. در این پژوهش، نقشه‌های مه بر اساس چهار الگوریتم هوش مصنوعی (مدل خطی تعمیم یافته، مدل افزایشی تعمیم یافته، مدل تقویت شده تعمیم یافته و مدل عدم تشابه تعمیم یافته) تولید شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج، قسمت‌های جنوب شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه برای برداشت آب از مه مناسب‌ترین هستند. نقشه‌های توزیع مکانی مه می‌تواند راندمان برداشت آب مه را افزایش دهد. همچنین در این پژوهش، مناطقی که مه جزء مهمی در چرخه آب است، نشان داده شد. از آنجایی که مجموعه داده‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور، اطلاعات ارزشمند و مفیدی از متغیرهای هواشناسی و اقلیمی در سراسر جهان ارائه می‌دهند، در صورت عدم وجود داده‌های زمینی مناسب حتی می‌توانند به‌عنوان مکمل و یا جایگزین داده‌های زمینی مدنظر قرار گیرند (۱۱)؛ بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور، می‌توان طیف وسیعی از پروژه‌ها را

آماري ۱۵ ساله از ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ استفاده شده است. در شکل ۱ موقعیت این استان و ایستگاه‌های هواشناسی موردمطالعه نشان داده شده است.

پایگاه بازتحلیل ERA5

باتوجه به گسترش تکنولوژی‌های ماهواره‌ای و افزایش قدرت محاسبات رایانه‌ای در سال‌های اخیر، منابع اطلاعاتی متعدد و ارزشمندی در زمینه‌های مختلف توسعه داده شده است که به طور عمده بر تکنیک‌های سنجش‌ازدور، داده‌گواهی (Data Assimilation) و فرایند بازتحلیل (Reanalysis) توسط مدل‌های بزرگ‌مقیاس استوار هستند. در این پژوهش از منبع بازتحلیل ERA5 برای دریافت داده‌های هواشناسی استفاده شده است. ERA5 نسل پنجم از داده‌های بازتحلیل است که مرکز پیش‌بینی وضعیت آب و هوا اروپا (ECMWF) تولید کرده است. این مجموعه داده شامل همه متغیرهای ضروری هواشناسی همچون دمای هوا، بارش، فشار، باد، میزان رطوبت خاک، دمای سطح دریا، ارتفاع موج و سایر پارامترهای جوی است (۱۸). در این پایگاه مجموعه داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های در دسترس از ایستگاه‌های دیدبانی زمینی با استفاده از فرایند داده‌گواهی ترکیب شده است تا بهترین تخمین از وضعیت جو در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف از سال ۱۹۴۰ تاکنون در دسترس قرار بگیرد (۸). قدرت مکانی و زمانی ERA5 از همتای قدیمی خود ERA-Interim بالاتر است. قدرت تفکیک مکانی و زمانی داده‌های ERA5 به ترتیب از ۲۵/۰ تا ۵/۰ درجه و ساعتی و روزانه است. در مطالعه حاضر از داده‌های دما و سرعت باد این مجموعه در قدرت تفکیک مکانی ۵/۰ درجه و مقیاس زمانی روزانه استفاده شده است. داده‌های یادشده از سایت <https://cds.climate.copernicus.eu/> دریافت شده است. باتوجه به اینکه داده‌های ERA5 به صورت شبکه‌ای با ابعاد سلولی ۵/۰ درجه هستند، در این پژوهش، با استفاده کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB اقدام به استخراج سری زمانی داده‌ها برای موقعیت هر ایستگاه شده است.

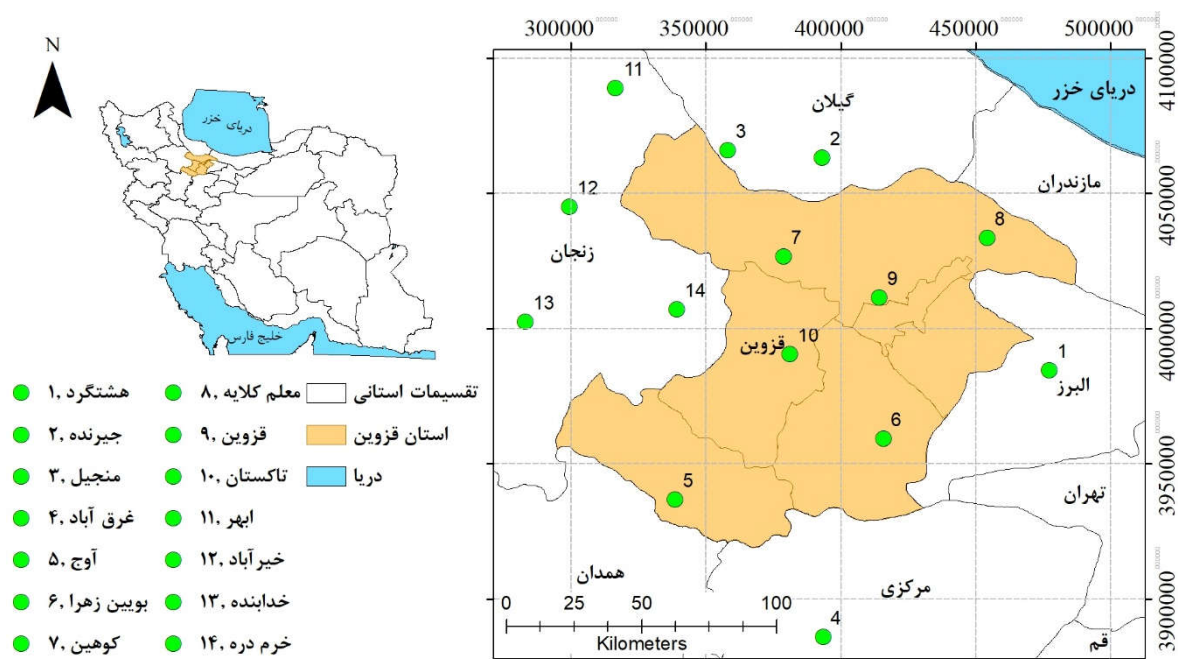
لازم به ذکر است که در این پژوهش برای کاهش خطای

داده‌های دما و سرعت باد نسبت به مقادیر مشاهداتی، از ضریب اصلاحی استفاده شده است. به این صورت که مقدار ضریب اصلاحی با مقایسه مقادیر سنجش‌ازدور نسبت به مقادیر مشاهداتی مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است. فرایند بهینه‌سازی ضریب اصلاحی با استفاده از تابع Solver موجود در نرم‌افزار Excel به انجام رسیده است. این تابع قابلیت حل مسائل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی را در اکسل فراهم آورده است. در پژوهش پیش‌رو از الگوریتم تکاملی (Evolutionary) برای بهینه‌سازی استفاده شده است. الگوریتم Evolutionary یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراشناختی مبتنی بر ازدحام جمعیت است. این الگوریتم در شاخه‌ای از هوش مصنوعی قرار می‌گیرد و شامل الگوریتم‌هایی است که در آنها جستجو از چندین نقطه در فضای جواب آغاز می‌شود (۱۹). یکی از تفاوت‌های این الگوریتم با سایر روش‌های بهینه‌سازی این است که در این الگوریتم تنها یک نقطه مورد جستجو قرار نمی‌گیرد، بلکه جمعیتی از نقاط به طور هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است، مبنای الگوریتم Evolutionary در تابع بهینه‌سازی Solver، حل مسئله بر اساس الگوریتم ژنتیک است.

باتوجه به عدم وجود پایگاه و یا منبع سنجش‌ازدوری که به ارائه مقادیر فشار بخار آب پردازد در این پژوهش به صورت غیرمستقیم و با استفاده از معادله Magnus-Tetens (رابطه ۱)، اقدام به محاسبه فشار بخار آب با استفاده از داده‌های ERA5 شده است. در نهایت مقادیر فشار بخار آب محاسباتی با استفاده از این رابطه با مقادیر فشار بخار آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. معادله Magnus-Tetens، تقریب خوبی از فشار بخار آب در یک محدوده دمایی گسترده ارائه می‌دهد. این معادله بین ۴۰- تا ۵۰+ درجه سانتی‌گراد معتبر است که اکثر شرایط جوی را پوشش می‌دهد (۱۵).

$$P = 6.1078 \times 10^{((75 \times T) / (T + 237.3))} \quad (1)$$

که در آن P فشار بخار آب بر حسب میلی‌بار یا هکتوپاسکال، T دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان قزوین و ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

محاسبه مقدار آب قابل استحصال

منابع آب یکی از فراوان‌ترین منابع طبیعی در سطح جهان به شمار می‌رود، ولی با وجود حجم زیاد آب‌های کره زمین، تنها سه درصد از آن‌ها شیرین است. در حالی که مناطقی در دنیا وجود دارد که در بسیاری از روزهای سال دارای مه بوده یا از رطوبت مناسبی برخوردار هستند. همچنین در برخی مناطق به دلیل وجود شرایط مطلوب و توپوگرافی زمین، ابرها نزدیک سطح زمین شکل می‌گیرند؛ بنابراین رطوبت اتمسفر یکی از منابعی است که می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از نیاز آب شیرین در این مناطق به شمار رود. به خصوص در مناطقی که دورافتاده بوده و جریان آب سطحی ندارند، ولی مقدار آب موجود در هوای آن‌ها قابل توجه است. در پژوهش حاضر، مقدار آب قابل استحصال از هوا با استفاده از روابط ۲ و ۳ (۲) محاسبه شده است.

$$Q_{w-air} = AH \times U \times A \times t \times E \quad (2)$$

$$AH = P \left(\frac{216.98}{T} \right) \quad (3)$$

که در آن Q_{w-air} مقدار آب قابل استحصال بر حسب لیتر در روز بر مترمربع، AH رطوبت مطلق بر حسب گرم بر مترمکعب،

U سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، A واحد سطح بر حسب مترمربع، t زمان بر حسب ثانیه، E کارایی سیستم استحصال آب و مقدار درصد تبدیل آب موجود در هوا به آب، T دمای هوا بر حسب درجه کلون و P فشار بخار در ایستگاه بر اساس میلی‌بار است.

لازم به ذکر است که مقدار کارایی سیستم استحصال برای استحصال رطوبت هوا به عوامل مختلفی از جمله جنس دستگاه مورد استفاده، طراحی دستگاه، شرایط محیطی و استفاده صحیح از دستگاه بستگی دارد. در این پژوهش بر اساس مطالعات گذشته، مقادیر ۲۰ و ۳۰ درصد برای محاسبه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در نظر گرفته شده است (۱۲ و ۷).

شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش به منظور ارزیابی مقادیر دما، سرعت باد و فشار بخار آب به دست آمده از منبع ERA5 از شاخص‌های مهمی همچون ضریب همبستگی (CC)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) استفاده شد. محاسبه هر یک از شاخص‌های یادشده با استفاده از روابط ۴ تا ۶

بهینه‌سازی ضریب اصلاحی منجر به افزایش متوسط شاخص همبستگی به ۰/۹۹ شده است. نکته بااهمیت، بهبود چشمگیر میزان همبستگی بین مقادیر ERA5 و مشاهداتی در برخی از ایستگاه‌هایی است که داده‌های خام از عملکرد ضعیفی در شبیه‌سازی دما برخوردار بوده‌اند. برای نمونه، مقدار شاخص CC در تخمین دما در ایستگاه‌های خرمدره، منجیل و قزوین به ازای داده‌های خام ERA5 به ترتیب برابر ۰/۲۱، ۰/۱۸ و ۰/۲۱ است، درحالی که مقدار شاخص همبستگی پس از اعمال ضریب اصلاحی در ایستگاه‌های یادشده به ۰/۹۹ افزایش یافته است. بر اساس شاخص‌های آماری RMSE و MAE نیز متوسط خطای منبع در تخمین دما با کاهش چشمگیری همراه بوده است. میانگین شاخص‌های یادشده در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی قبل از استفاده از ضریب اصلاحی، به ترتیب برابر ۱۲/۸۷ و ۴/۲۵ درجه سانتی‌گراد و پس از کاربرد ضریب اصلاحی، معادل ۱/۵۰ و ۱/۱۶ درجه سانتی‌گراد است. ارزیابی تغییرات شاخص همبستگی در تخمین سرعت باد، حاکی از آن است که استفاده از ضریب اصلاحی برای مقادیر سرعت باد این منبع سنجش‌ازدور با افزایش میزان همبستگی داده‌ها نسبت به مقادیر مشاهداتی همراه نبوده است، به‌طوریکه متوسط شاخص CC پیش و پس از استفاده از ضریب اصلاحی به ترتیب معادل با ۰/۴۴ و ۰/۱۰ است، درحالی که بر اساس شاخص‌های خطای RMSE و MAE، با وجود عدم افزایش همبستگی بین داده‌ها، میزان خطای منبع ERA5 نسبت به داده‌های مشاهداتی کاهش داشته است. برای نمونه، مقدار متوسط شاخص‌های RMSE و MAE در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی قبل از کاربرد ضریب اصلاحی به ترتیب برابر ۱/۷۸ و ۱/۵۳ متر بر ثانیه است و پس از استفاده از ضریب اصلاحی به ترتیب به ۱/۳۳ و ۱/۰۷ متر بر ثانیه کاهش یافته است.

در شکل ۲ نمودار ماتریسی درصد کاهش خطای منبع ERA5 (بر اساس شاخص‌های RMSE و MAE) پس از اعمال ضریب اصلاحی بر داده‌های دما و سرعت باد ارائه شده است.

امکان‌پذیر است. از میان این شاخص‌ها، نزدیک بودن شاخص CC به ۱، بیانگر بالاترین همبستگی بین مقادیر سنجش‌ازدور و مشاهده‌ای است، درحالی که برای شاخص‌های RMSE و MAE عدد صفر حاکی از دقت زیاد و خطای کمتر داده‌های ERA5 است.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})(R_i - \bar{R})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2}} \quad (۴)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - R_i)^2} \quad (۵)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |R_i - S_i|}{N} \quad (۶)$$

که در آنها، S_i : مقادیر مبتنی بر پایگاه بازتحلیل، R_i : مقادیر مشاهداتی، N : تعداد داده‌ها، \bar{S} : متوسط داده‌های مبتنی بر پایگاه بازتحلیل، \bar{R} : متوسط مقادیر مشاهداتی است.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد منبع ERA5 در تخمین مؤلفه‌های دما و سرعت باد

در این بخش از پژوهش، به ارزیابی کارایی منبع ERA5 در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی شامل دما و سرعت باد پرداخته شده است. شاخص‌های آماری منبع ERA5 در تخمین دما و سرعت باد قبل و بعد از کاربرد ضریب اصلاحی در جدول ۱ ارائه شده است. باتوجه به نتایج می‌توان اظهار داشت، پس از اعمال ضریب اصلاحی، تمامی مقادیر شاخص‌های آماری و در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی هم در مورد دما و هم در مورد سرعت باد بهبود یافته است. بهبود شاخص CC، بیانگر همبستگی بیشتر بین داده‌های مشاهده‌ای و سنجش‌ازدور است. نتایج نشان داد، در صورت کاربرد داده‌های خام ERA5 برای شبیه‌سازی تغییرات دما، مقدار متوسط ضریب همبستگی در سطح ایستگاه‌های مطالعاتی ۰/۸۲ است، درحالی که

جدول ۱. شاخص‌های آماری منبع ERA5 در تخمین مؤلفه‌های هواشناسی شامل دما و سرعت باد قبل و بعد از کاربرد ضریب اصلاحی

نام ایستگاه	سرعت باد پس از کاربرد ضریب اصلاحی			سرعت باد پیش از کاربرد ضریب اصلاحی			دما پس از کاربرد ضریب اصلاحی			دما پیش از کاربرد ضریب اصلاحی		
	MAE (m/s)	RMSE (m/s)	CC	MAE (m/s)	RMSE (m/s)	CC	MAE (°C)	RMSE (°C)	CC	MAE (°C)	RMSE (°C)	CC
ابهر	۱/۲۳	۱/۴۸	-۰/۶۳	۱/۳۰	۱/۶۵	-۰/۶۳	۲/۳۱	۳/۱۴	۰/۹۹	۶/۸۷	۹/۸۶	۰/۹۹
آوج	۰/۶۹	۰/۸۵	۰/۴۸	۱/۶۶	۱/۸۷	۰/۴۸	۱/۲۲	۱/۵۶	۰/۹۹	۴۲/۱	۶۵/۱	۰/۹۹
بویین زهرا	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۶۱	۱/۰۲	۱/۲۵	۰/۹۹	۸۴/۱	۱۰/۲	۰/۹۹
غرق‌آباد	۱/۰۸	۱/۳۰	۰/۳۷	۴/۵۰	۴/۵۸	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۸۲	۱/۰۰	۴۶/۱	۶۳/۱	۱/۰۰
هشتگرد	۰/۵۱	۰/۶۵	۰/۱۰	۰/۹۳	۱/۰۹	۰/۱۰	۱/۷۱	۲/۰۸	۱/۰۰	۱۶/۲	۴۰/۲	۱/۰۰
جیرنده	۲/۶۹	۳/۳۷	-۰/۶۳	۳/۸۲	۴/۶۴	-۰/۶۳	۰/۵۶	۰/۷۱	۱/۰۰	۶۲/۰	۷۷/۰	۱/۰۰
خیرآباد	۱/۱۸	۱/۴۸	۰/۰۷	۱/۸۴	۲/۱۶	۰/۰۷	۱/۲۱	۱/۴۹	۰/۹۹	۰/۸۲	۵۴/۲	۰/۹۹
خدابنده	۰/۸۳	۱/۰۳	۰/۰۱	۱/۶۵	۱/۹۰	۰/۰۱	۰/۶۸	۰/۸۶	۱/۰۰	۷۵/۰	۹۶/۰	۱/۰۰
خرمدره	۰/۵۳	۰/۷۳	۰/۴۹	۰/۸۲	۰/۹۷	۰/۵۸	۱/۳۲	۱/۸۱	۰/۹۹	۹۷/۱۰	۴۸/۳۱	۰/۲۱
کوهین	۱/۳۱	۱/۵۵	-۰/۲۸	۳/۰۷	۳/۳۰	-۰/۲۷	۱/۰۴	۱/۲۴	۰/۹۹	۳۵/۱	۷۲/۱	۰/۹۹
منجیل	۳/۱۷	۳/۸۶	-۰/۵۵	۴/۲۲	۵/۰۴	-۰/۷۱	۲/۳۱	۳/۱۴	۰/۹۹	۴۶/۱۳	۸۷/۳۲	۰/۱۸
معلم کلايه	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۱۹	۱/۰۰	۱/۱۴	۰/۱۹	۱/۲۲	۱/۵۶	۰/۹۹	۳۹/۳	۵۵/۳	۰/۹۹
قزوین	۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۴۱	۱/۰۲	۱/۲۵	۰/۹۹	۵۸/۹	۷۷/۳۱	۰/۲۱
تاکستان	۰/۵۰	۰/۶۳	۰/۸۴	۱/۷۵	۱/۹۱	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۸۲	۱/۰۰	۵۶/۳	۷۵/۳	۰/۹۹
حداقل	۰/۳۵	۰/۴۸	-۰/۶۳	۰/۴۴	۰/۵۸	-۰/۲۰	۰/۵۱	۰/۷۱	۰/۹۹	۰/۶۲	۰/۷۷	۰/۱۸
میانگین	۱/۰۷	۱/۳۳	۰/۱۰	۱/۵۳	۱/۷۸	۰/۴۴	۱/۱۶	۱/۵۰	۰/۹۹	۴/۲۵	۱۲/۸۷	۰/۸۲
حداکثر	۳/۱۷	۳/۸۶	۰/۸۴	۳/۸۴	۴/۵۹	۰/۹۰	۲/۳۱	۳/۱۴	۱/۰۰	۱۳/۴۶	۵۲/۸۸	۱/۰۰

باتوجه به شکل ۲ مشخص است، بیشترین میزان کاهش شاخص RMSE در شبیه‌سازی دما در ایستگاه‌های قزوین، خرمدره، منجیل، تاکستان و ابهر و در شبیه‌سازی تغییرات سرعت باد در ایستگاه‌های غرق‌آباد، تاکستان، آوج و کوهین بوده است، به‌طوری‌که میزان کاهش شاخص RMSE نسبت به داده‌های خام بیش از ۵۰ درصد است. همچنین میزان درصد کاهش خطای RMSE برای دما در ایستگاه‌های آوج، بویین‌زهرا، هشتگرد، جیرنده، خیرآباد، خدابنده و کوهین و برای سرعت باد ایستگاه‌های ابهر، بویین‌زهرا، جیرنده، خیرآباد، خرمدره، منجیل و قزوین کمتر از مقدار متوسط

درصد کاهش این شاخص هستند. به‌طورکلی، تغییرات مقدار شاخص RMSE، بیانگر آن است که بیشترین و کمترین میزان درصد کاهش خطای RMSE به‌ترتیب در شبیه‌سازی دما و سرعت باد است، به‌طوری‌که متوسط میزان کاهش RMSE در سطح ایستگاه‌های مورد مطالعه برای این دو متغیر جوی به‌ترتیب برابر ۴۷/۶۰ و ۳۶/۸۵- است. میزان میانگین درصد کاهش خطا (MAE) در تخمین دما و سرعت باد به‌ترتیب ۵۰/۳۳- و ۴۱/۲۸- است. میزان کاهش قدرمطلق خطا برای دما در ایستگاه‌های آوج، بویین‌زهرا، هشتگرد، جیرنده، خیرآباد، خدابنده، کوهین و برای سرعت باد در ایستگاه‌های ابهر، بویین‌زهرا،

نام ایستگاه	سرعت باد	دما	سرعت باد	دما
	RMSE		MAE	
ایهر				
آوج				
بویین زهرا				
غرق آباد				
هشتگرد				
جیرنده				
خیرآباد				
خداآباد				
خرمدره				
کوهین				
منجیل				
معلم کلايه				
قزوین				
تاکستان				
راهنما				
	-۱۰۰	-۷۵	-۵۰	-۲۵

شکل ۲. نمودار ماتریسی درصد کاهش خطای منبع ERA5 پس از کاربرد ضریب اصلاحی

تخمینی از همبستگی خوبی با داده‌های مشاهداتی برخوردار هستند. بر اساس ارزیابی شاخص‌های RMSE و MAE، عملکرد منبع ERA5 و معادله Magnus-Tetens در تخمین فشار بخار آب نسبت به داده‌های مشاهداتی را می‌توان قابل قبول ارزیابی کرد (متوسط RMSE برابر ۱۰/۱۳ میلی‌بار، متوسط MAE برابر ۸/۱۰ میلی‌بار) که با نتایج سایر پژوهش‌ها مطابقت دارد (۱۵). بطور کلی، باتوجه به نتایج، در شرایط عدم دسترسی به داده‌های مشاهداتی می‌توان از معادله Magnus-Tetens برای ارائه تخمینی از تغییرات فشار بخار آب استفاده کرد.

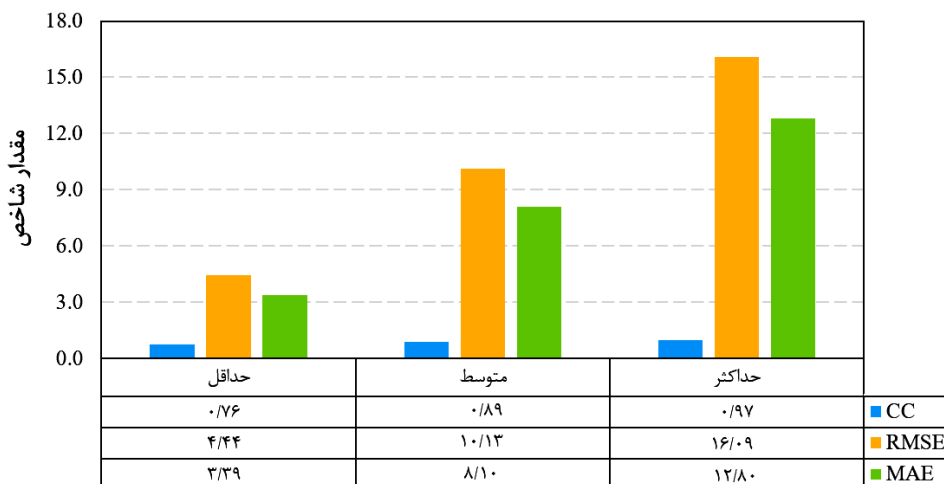
ارزیابی عملکرد منبع ERA5 در تخمین مقدار آب قابل استحصال

در شکل ۴ سری زمانی مقدار سالانه آب قابل استحصال از رطوبت هوا در محدوده مطالعاتی در مقابل سری زمانی آب قابل استحصال از منبع ERA5 برای دوره زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۷ ترسیم شده است. باتوجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های مطالعاتی به

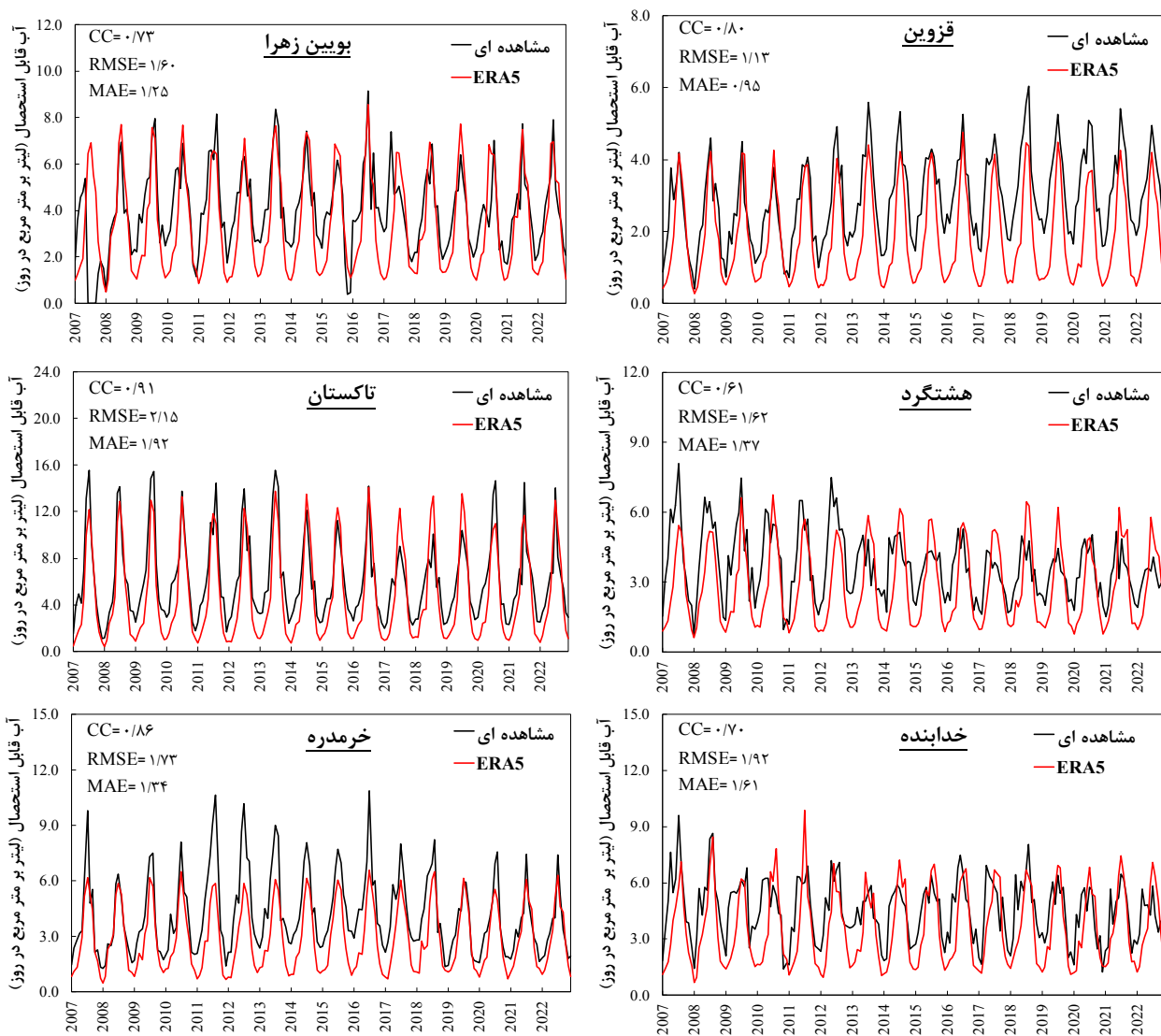
جیرنده، خیرآباد، خرمدره، منجیل، قزوین کمتر از میزان متوسط برآورد شده است. به‌طور کلی توصیه می‌شود، پیش از کاربرد داده‌های خام نسبت به اصلاح آن‌ها با بهینه‌سازی ضریب اصلاحی اقدام شود. کاربرد داده‌های خام سنجش‌ازدور می‌تواند منجر به تحمیل خطا (گاهی به صورت چشمگیر) بر نتایج حاصل شود.

ارزیابی عملکرد معادله Magnus-Tetens در تخمین فشار بخار آب

در این بخش به بررسی عملکرد معادله Magnus-Tetens در تخمین فشار بخار آب با استفاده از داده‌های منبع ERA5 نسبت به مقادیر مشاهداتی پرداخته شده است. در شکل ۳ نتایج شاخص‌های آماری بین مقادیر محاسباتی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور نسبت به داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های مشاهداتی ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، مقدار متوسط شاخص CC برای تخمین فشار بخار آب از این معادله برابر ۰/۸۹ بوده است که نشان می‌دهد، مقادیر



شکل ۳. شاخص‌های آماری معادله Magnus-Tetens در تخمین فشار بخار آب



شکل ۴. سری زمانی مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا برای ارزیابی عملکرد منبع ERA5

تابستان حدود ۱۰/۲ لیتر بر مترمربع بر روز و در ایستگاه تاکستان برای بهار حدود ۵/۴ لیتر بر مترمربع بر روز و برای تابستان حدود ۹/۷ لیتر بر مترمربع بر روز قابلیت استحصال آب وجود دارد. ماه‌های برخوردار از بیشترین پتانسیل استحصال رطوبت هوا برای فصل تابستان و بهار به ترتیب تیر و خرداد است. مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در ماه‌های خرداد و تیر در ایستگاه کوهین به ترتیب حدود ۹/۴ و ۱۰/۹ لیتر بر مترمربع بر روز و برای ایستگاه تاکستان به ترتیب ۸/۹ و ۱۲/۱ لیتر بر مترمربع بر روز است.

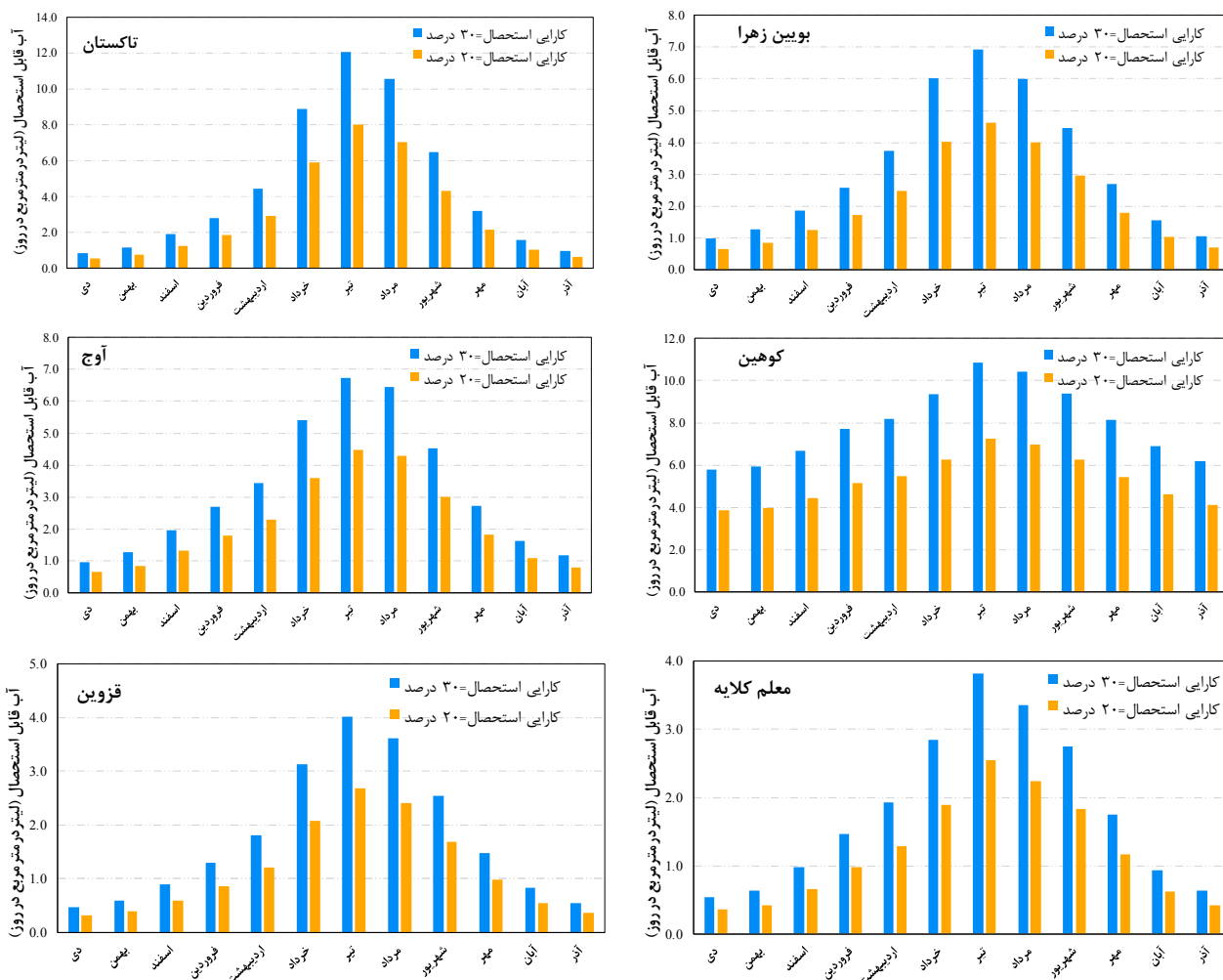
بررسی نتایج در فصل پاییز حاکی از آن است، ایستگاه کوهین با متوسط تولید حدود ۷/۱ لیتر بر مترمربع بر روز بالاترین میزان استحصال آب را دارا است که بیشترین مقدار آن در مهرماه برابر ۸/۱ لیتر بر مترمربع بر روز است. همچنین باتوجه به افت دما، افزایش سرعت باد، کاهش رطوبت هوا و کاهش فشار بخار در زمستان، این فصل از کمترین پتانسیل برای استحصال آب از رطوبت هوا برخوردار است. همچنین در دی‌ماه، میزان پتانسیل استحصال آب به کمترین مقدار خود در تمامی ایستگاه‌ها می‌رسد. باین وجود، در ایستگاه کوهین پتانسیل استحصال آب برای دی‌ماه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر است (حدود ۵/۸ لیتر بر مترمربع بر روز). پس از ایستگاه‌های کوهین و تاکستان، به ترتیب ایستگاه‌های آوج، بوبین زهرا، قزوین و معلم کلايه در رتبه‌های بعدی از نظر میزان آب قابل استحصال از رطوبت هوا قرار می‌گیرند. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه معلم کلايه ضعیف‌ترین عملکرد را از لحاظ میزان آب قابل استحصال داشته است که در بهترین حالت و در ماه اوج تیر، بیشترین مقدار استحصال در حدود ۳/۸ لیتر بر مترمربع بر روز برآورد شده است. در بررسی میزان آب قابل استحصال بر اساس شاخص کارایی ۲۰ درصد، نتایج مشابهی از لحاظ رده‌بندی پتانسیل استحصال آب در ایستگاه و ماه‌های بیشینه و کمینه استحصال دیده شده است. در پژوهشی که برقی و همکاران (۳) به‌منظور امکان‌سنجی استحصال آب از رطوبت هوا در شرایط اقلیمی شش

ارائه خروجی‌های چند ایستگاه به‌عنوان نمونه اکتفا شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، منبع ERA5 روند تغییرات آب قابل استحصال را به خوبی برآورد کرده است، به‌طوری که در بخش‌های زیادی از نمودار، سری زمانی منبع ERA5 منطبق بر سری زمانی داده مشاهداتی است. مقدار شاخص CC در ایستگاه‌های مورد بررسی نزدیک به مقدار ایده‌آل یک بوده است و همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهده‌ای و منبع ERA5 را نشان می‌دهد. از طرفی میزان خطای موجود بین داده‌ها بر اساس شاخص‌های RMSE و MAE کم و به مقدار بهینه صفر نزدیک است که بیانگر دقت زیاد در داده‌هاست. باتوجه به نتایج، استفاده از منبع ERA5 (با وجود عملکرد به نسبت ضعیف در شبیه‌سازی تغییرات سرعت باد) توانسته است، دید خوبی از روند تغییرات میزان آب قابل استحصال از رطوبت هوا فراهم آورد؛ بنابراین می‌توان گفت، داده‌های بازتحلیل به‌ویژه منبع ERA5، در زمینه امکان‌سنجی اجرای طرح‌های استحصال آب از رطوبت هوا به‌ویژه در مناطقی که با کمبود و حتی گاهی فقدان داده‌های مشاهداتی در کفایت مناسب روبرو هستند، می‌تواند مفید واقع شود.

پتانسیل یابی استحصال آب از رطوبت هوا در قزوین

در این پژوهش، میزان متوسط آب قابل استحصال در سطوح ۲۰ و ۳۰ درصد شاخص کارایی، برای ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌دست آمد. نتایج این برآورد در ایستگاه‌های واقع در استان قزوین در شکل ۵ به‌صورت ماهانه ارائه شده است. باتوجه به نتایج، بیشترین پتانسیل مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در تمام ایستگاه‌ها در تیرماه و مرداد ماه اتفاق می‌افتد.

در بررسی میزان آب قابل استحصال بر اساس شاخص کارایی ۳۰ درصد، دو ایستگاه کوهین و تاکستان در بین سایر ایستگاه‌های مورد بررسی از پتانسیل بیشتری برای استحصال آب از هوا برخوردار هستند. در فصول بهار و تابستان که تقاضای آب نیز بیشتر می‌شود، میانگین آب تولیدی در ایستگاه کوهین برای بهار حدود ۸/۴۲ لیتر بر مترمربع بر روز و برای



شکل ۵. تغییرات ماهانه مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا در ایستگاه‌های استان قزوین بر اساس منبع ERA5

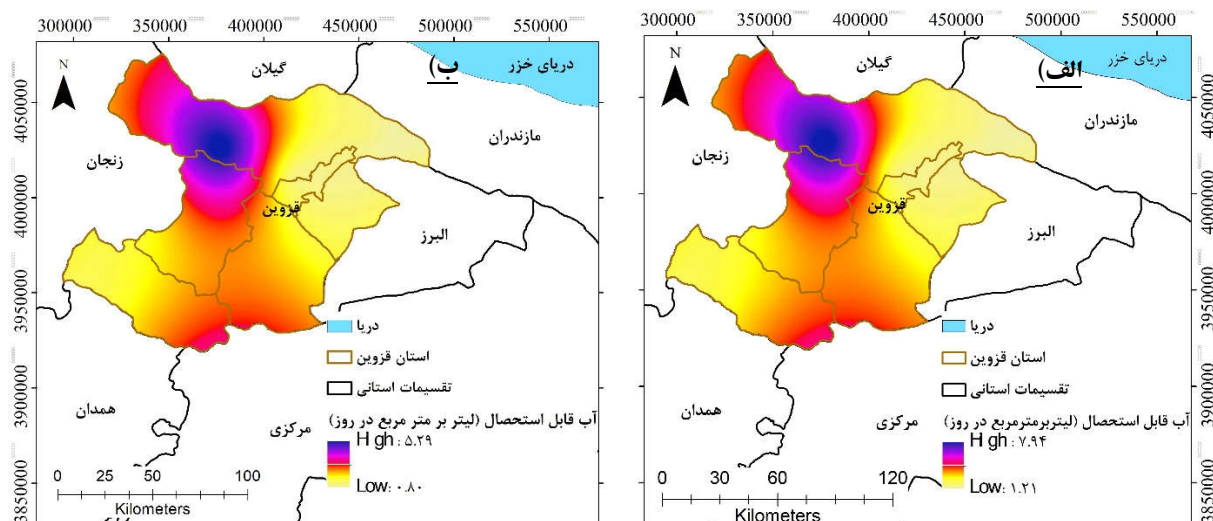
است. میزان آب استحصالی در این ایستگاه‌ها برای شاخص ۳۰ و ۲۰ درصد، به ترتیب می‌تواند به بیشینه ۷/۹ و ۴/۶ لیتر بر روز بر مترمربع برسد. درحالی که محدوده‌های شمال شرق و جنوب غرب استان قزوین دارای کمترین پتانسیل برای کاربرد طرح‌های استحصال آب از رطوبت هوا هستند. نتایج به دست آمده با بررسی‌های قبلی درباره مناطق با بیشینه پتانسیل تولید آب در سطح استان، (بخش‌های شمال غرب استان) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

فرایند استحصال آب از رطوبت هوا می‌تواند به عنوان یک

استان انجام دادند، استان قزوین جزء استان‌های مستعد برای اجرای این طرح شناخته شد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

در شکل ۶ تغییرات مکانی متوسط سالانه آب قابل استحصال در سطح استان قزوین با استفاده از ERA5 در شاخص‌های کارایی ۳۰ و ۲۰ درصد نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، میزان متوسط آب قابل استحصال به صورت سالانه برای هر دو شاخص ۳۰ و ۲۰ درصد در شمال غرب و بخش‌هایی از جنوب استان بیشتر است. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، بیشترین آب استحصالی در ایستگاه‌های تاکستان و کوهین به دست آمده



شکل ۶. تغییرات مکانی مقدار متوسط سالانه آب قابل استحصال از رطوبت هوا در سطح استان قزوین بر اساس منبع ERA5 با شاخص کارایی (الف) ۳۰ درصد و (ب) ۲۰ درصد

وجود عملکرد به نسبت ضعیف منبع ERA5 در شبیه‌سازی سرعت باد، این منبع سنجش‌ازدور توانسته است به خوبی تغییرات مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا را شبیه‌سازی کند. بررسی‌ها بیانگر این مسئله است که اگرچه در فصول بهار و تابستان نیاز آبی به دلیل افزایش دما در منطقه افزایش می‌یابد؛ اما از سوی دیگر، سیستم استحصال آب از هوا مبتنی بر شبکه توری از ظرفیت بالایی در این دو فصل برخوردار است که می‌توان از این پتانسیل برای رفع بخشی از نیاز آبی در مناطق دارای پتانسیل زیاد استحصال آب از رطوبت هوا بهره گرفت. با در نظر گرفتن ضریب کارایی ۳۰ درصد در دو ایستگاه کوهین و تاکستان، امکان استحصال آب از رطوبت هوا به ترتیب ۸/۴ و ۵/۴ لیتر بر مترمربع در روز در فصل بهار و ۱۰/۲ و ۹/۷ لیتر بر مترمربع در روز در فصل تابستان وجود داشت. بر اساس ارزیابی اطلاعات حاصل از پایگاه بازتحلیل ERA5، بخش‌های شمال‌غربی و جنوبی استان قزوین دارای پتانسیل خوبی است و با اعمال ضریب کارایی ۳۰ و ۲۰ درصد، امکان استحصال ۷/۹ و ۴/۶ لیتر بر مترمربع در روز به طور متوسط در سال وجود دارد. در آخر پیشنهاد می‌شود، با توجه به اهمیت مسئله تأمین

مکمل بسیار مناسب برای جبران کمبود آب در بخش‌های مختلف همچون مصارف خانگی، فضای سبز شهری، صنعت و حتی کشاورزی استفاده شود. در پژوهش حاضر که با هدف ارزیابی پتانسیل پایگاه بازتحلیل ERA5 در تخمین مقدار آب قابل استحصال از رطوبت هوا و همچنین شناسایی نقاط مناسب در سطح استان قزوین برای کاربرد سیستم‌های استحصال آب از هوا انجام شده است، ابتدا پارامترهای مؤثر در استحصال آب با استفاده از منابع و نظرات کارشناسان شناسایی و داده‌های مورد نیاز از ایستگاه‌های هواشناسی و منبع ERA5 به صورت روزانه دریافت شد. سپس با استفاده از الگوریتم Evolutionary، مقادیر سنجش‌ازدور نسبت به داده مشاهداتی بهینه‌سازی و میزان آب قابل استحصال با شاخص‌های کارایی ۳۰ و ۲۰ درصد محاسبه شد. طبق بررسی‌های انجام شده، منبع ERA5 پس از کاربرد ضریب اصلاحی، دارای عملکرد خوبی در تخمین مؤلفه‌های دما، سرعت باد و آب قابل استحصال است. همچنین معادله Magnus-Tetens در برآورد دقیق فشار بخار از دقت قابل قبولی برخوردار است. نتایج نشان داد، با

سپاسگزاری

پژوهش حاضر استخراج‌شده از نتایج طرح شهید احمدی روشن بنیاد ملی نخبگان با شماره قرارداد ۱۵/۲۹۶۸۲ است. برای این منظور، از حمایت مالی بنیاد ملی نخبگان، سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین و کمیته منطقه‌ای آبیاری و زهکشی استان قزوین تشکر و قدردانی می‌شود.

آب از منابع نامتعارف و کیفیت قابل قبول آب موجود در رطوبت هوا، ساخت شبکه توری و نصب آن در مناطق پیشنهاد شده به منظور بررسی دقت پیش‌بینی‌های صورت گرفته، بررسی سایر روش‌های موجود از نظر مقدار آب قابل استحصال و مقایسه بین روش‌های مختلف به عنوان موضوعات مناسب برای پژوهش‌های آتی مدنظر قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, M., H. Ramezani Etedali, A. Kaviani and A. R. Tavakkoli. 2023. Evaluation of TRMM and ECMWF data for drought time monitoring (case study: Kurdistan province). *Journal of Water and Soil Science*. 27(1):231-244. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4288-fa.html>.
- Alizadeh, A. 2010. *Principle of Applied Hydrology*. Emam Reza University Press. (In Farsi).
- Barghi, A., H. Nazif and S. A. ZarAbadi. 2018. Feasibility of extraction of water from air humidity in the climatic conditions of 6 provinces of Iran. In *The 6 th Scientific Congress on the Development and Promotion of Agricultural Sciences and Natural Resources*. Available: <https://civilica.com/doc/911160>. (In Farsi).
- Custodio, E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean?. *Hydrogeology Journal* 10(2): 254-277.
- Fessehay, M., S. A. Abdul-Wahab, M. J. Savage, T. Kohler, T. Gherezghiher and H. Hurni. 2014. Fog-water collection for community use. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 29: 52-62. doi: 10.1016/j.rser.2013.08.063.
- Ghiyasi, B., H. Kazeroni, H. Hasanloo and R. AliRamaee. 2021. Extraction of water from fog in Iran, passive defense for water supply in remote areas. *Amad and Defense Technology Quarterly*. 4(2):11-28. [Online]. Available: <https://dorl.net/dor/20.1001.1.28212606.1400.4.10.1.6>. (In Farsi).
- Ghiyasi, B., H. Kazeroni and H. Hasanloo. 2022. *Conventional Technologies of Harvesting From Surface Water Resources*. National Defense Research Institute and Strategic Research University Press, Tehran. (In Farsi).
- Jiao, D., N. Xu, F. Yang and K. Xu. 2021. Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. *Scientific Reports*. 11. doi: 10.1038/s41598-021-97432-y.
- Karimidastenaee, Z., A. Torabi Haghighi, O. Rahmati, K. Rasouli, S. Rozbeh, A. Pirnia, B. Pradhan and B. Kløve. 2020. Fog-water harvesting capability index (FCI) mapping for a semi-humid catchment based on socio-environmental variables and using artificial intelligence algorithms. *Science of The Total Environment*. 708:115-135. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135115. (In Farsi).
- Karimpour Reihan, M., M. Alizadeh and S. Kamalian. 2017. Selection of suitable sites for water harvesting from air humidity in Bushehr province using GIS. *Geography (Regional Planning)*. 6(25):43-51. doi: 20.1001.1.22286462.1395.7.1.22.8. (In Farsi).
- Kim, H., R. Parinussa, A. G. Konings, W. Wagner, M. H. Cosh, V. Lakshmi, M. Zohaib and M. Choi. 2018. Global-scale assessment and combination of SMAP with ASCAT (active) and AMSR2 (passive) soil moisture products. *Remote Sensing of Environment*. 204:260-275. doi: 10.1016/j.rse.2017.10.026.
- Mahmoudi, P., C. KhajehAmiriKhaledi and M. R. SalariFanodi. 2016. Examining the feasibility of water harvesting from air humidity in the southern province of Sistan and Baluchestan. *Journal of Water and Soil Conservation*. 23(2). (In Farsi).
- Mohammadi, M and B. Sobhani. 2021. Application of Fuzzy-AHP and remote sensing in localizing Water extraction from Air Humidity using Condensing System. *Water and Irrigation Management*. 11(2):113-130. doi: 10.22059/jwim.2021.313383.840. (In Farsi).
- Morichi, G., L. B. Calixto and A. Zanelli. 2018. Novel applications for fog water harvesting. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 6(3):26-36. doi: 10.4236/gep.2018.63004.
- Murray, F. W. 1967. On the computation of saturation vapour pressure. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 6:203-204. doi: 10.1175/1520-0450(1967)006<0203:OTCOSV>2.0.CO;2.
- Rahimi, M. 1992. Water extraction from fog. [Online]. In *National Meteorological Organization*. Available: <https://irimo.ir/>. (In Farsi).
- Solaimani, K. and F. Shokrian. 2020. Suitable site selection of fog water harvesting based-on RS data in upstream of vazrud watershed in Iran. *Journal of Watershed Management Research*. 11(21): 249-258. doi:

- 10.52547/jwmr.11.21.249. (In Farsi).
18. Vitolo, C., F. Di Giuseppe, C. Barnard, R. Coughlan, J. San-Miguel-Ayanz, G. Libertá and B. Krzeminski. 2020. ERA5-based global meteorological wildfire danger maps. *Scientific Data*. 7., doi: 10.1038/s41597-020-0554-z.
19. Xia, H., J. Zhuang and D. Yu. 2013. Combining crowding estimation in objective and decision space with multiple selection and search strategies for multi-objective evolutionary optimization. *IEEE Transactions on Cybernetics*. 44(3). doi: 10.1109/TCYB.2013.2256418.

Evaluation of ERA5 Reanalysis Dataset for Simulation of Climatic Variables and Water Harvesting from Humidity (Case Study: Qazvin Province)

S. Koohi, B. Bahman Abadi, F. Safari, Z. Partovi, M. Khajehvand Sas, H. Ramezani Etedali^{1*} and B. Ghiasi

(Received: August 18-2023 ; Accepted: September 20-2023)

Abstract

Water supply remains a significant challenge in arid and semi-arid regions, and in addressing this concern, unconventional water sources have gained prominence. Notably, the extraction of water from air humidity, classified as an unconventional water source has seen increased adoption. Diverse techniques have been developed to achieve this goal, with the utilization of mesh networks being particularly prevalent. Consequently, this study assesses the evaluation of the performance of the ERA5 dataset in the simulation of atmospheric variables that influence the ability to assess water harvesting from air humidity (including temperature, wind speed, and water vapor pressure). Also, the possibility of water harvesting from air humidity was investigated in Qazvin Province. The outcomes demonstrated the benefit of incorporating adjustment coefficients in estimating temperature and wind speed using the ERA5 dataset. Based on these findings, the northwestern and southern regions of the province (Kuhin and Takestan) exhibit notable potential during spring and summer for water harvesting from the atmosphere. The peak water harvesting for these stations in the summer is estimated at 10.2 and 9.7 l/day.m², respectively. Using the ERA5 reanalysis dataset, the annual average potential for water harvesting in the stations was evaluated at 7.9 and 4.6 l/day.m², respectively. Notably, the minimum water harvesting capacity during the summer season recorded in Qazvin is equal to 3.39 l/day.m², which can be planned for use in irrigation requirements of green spaces, fields, or gardens.

Keywords: Unconventional water, Mesh networks, Water crisis, Remote sensing

1. Department of Water engineering, Faculty of Agriculture, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2. Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

*: Corresponding author, Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir