

ریز مقیاس سازی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی مدل هیدرولوژیکی WGHM با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه بر روی دشت قزوین

سروش ضرغامی دستجردی^۱، بهرام تقفیان^۱، احسان شریفی^۲

^۱گروه عمران آب، دانشکده عمران معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲گروه هیدرولوژی مرکز تحقیقات علوم زمین آلمان، GFZ پوتسدام، آلمان

چکیده:

خشکسالی‌های اخیر کشور ایران و محدودیت‌های موجود در زمینه پایش منطقه‌ای و عدم دسترسی به اطلاعات کافی و با دقت بالا، یکی از روش‌های مورد تایید برای پایش تغییرات ذخیره آب زیرزمینی (آنومالی)، بکارگرفتن روش‌های سنجش از دور است. دشت قزوین یکی از حاصل‌خیزترین دشت‌های کشور و زیرمجموعه حوضه دریاچه نمک بوده که دارای تنش آبی شدید است. در این پژوهش بررسی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی این دشت با بکارگیری تکنیک‌های مختلف ریزمقیاس سازی داده‌های آب زیرزمینی مدل WGHM از قبیل رگرسیون خطی و چندگانه محاسبه گردید. اطلاعات مدل هیدرولوژیکی WGHM (وضوح مکانی ۰/۵ درجه) در کنار داده‌های مدل Land5ERA- و ماهواره IMERG-GPM (وضوح مکانی ۰/۱ درجه) مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از آزمون کای-دو متغیرهایی که بهترین همخوانی را داشتند انتخاب و سپس از میان مدل‌های رگرسیونی مختلف، بهترین مدل انتخاب و سپس در مقیاس ۰/۱ درجه مقدار تغییرات ذخیره آب زیرزمینی را به صورت قابل قبولی تخمین زد. در نهایت، داده‌های ریزمقیاس شده در این مطالعه (۰/۱ درجه) در مقایسه با تغییرات ذخیره آب زیرزمینی اصلی مدل (۰/۵ درجه) WGHM از نظر الگوهای مکانی مطابقت کاملی داشته و جزئیات بیشتری را از توزیع مکانی آب‌های زیرزمینی در دشت قزوین در اختیار قرار دادند. لازم به ذکر است، از این روش می‌توان در حوضه‌های دیگر و حتی در مقیاس جهانی نیز استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس سازی، آب زیرزمینی، مدل WGHM، سنجش از دور

۱ مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به فراوانی وقوع خشکسالی در ایران پیامدهای آن به شکل آرام و خزشی، موجب بحران آبی، کاهش تراز ریزش‌های جوی، کاهش چشمگیر تراز جریان‌های سطحی به نسبت میانگین بلندمدت، آسیب‌های اقتصادی-اجتماعی و غیره در ایران بوده است (دوستان، ۲۰۲۰). با افزایش جمعیت و نیاز فراوان به غذا، کمبود منابع آب سطحی، حفر تعداد زیاد چاه عمیق و برداشت بی رویه از سفره‌های آب زیرزمینی در طول سال‌های گذشته باعث کاهش چشمگیر سفره‌های آب زیرزمینی در کشور ایران شده است. به طوریکه مطالعات اخیر بیانگر کمبودی جمعاً حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در مخازن کشور است (سامانی، ۲۰۲۱). اندازه‌گیری‌ها و پایش‌های زمینی، نتایجی را نزدیک به واقعیت ارائه می‌دهند و معتبر هستند. با این حال، اندازه‌گیری‌های زمینی دارای هزینه‌های نگهداری بالا و پوشش مکانی محدود هستند. همچنین، اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای فقط اطلاعات را در یک مکان منعکس می‌کنند و لزوماً ویژگی‌های کل منطقه را نشان نمی‌دهند. از سوی دیگر، داده‌های ماهواره‌ای یک اندازه‌گیری خودکار با سطح پوشش منطقه‌ای تا جهانی ارائه می‌دهند. برای افزایش دقت در زمینه ارزیابی تراز آب‌های زیرزمینی و به‌طور جامع برای تجزیه و تحلیل بهتر آب‌های کره زمین دانشمندان رو به استفاده از ماهواره‌ها و تکنولوژی‌های سنجنش از راه دور مانند ماهواره‌های GRACE و GRACE-FO آورده و از آن‌ها به‌عنوان معیارهایی برای مقایسه بهتر و آشنایی بیشتر با عوامل موثر بر رفتار خشکسالی‌ها و تغییرات آب‌های زیرزمینی استفاده کرده‌اند (شریفی و همکاران، ۲۰۱۹). در کنار داده‌های ماهواره‌ای، مدل‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده محققین برای تخمین اطلاعات مربوط به متغیرهای آبی مانند جریان‌های سطحی و زیرزمینی آب و مقدار آب ذخیره شده، توسعه یافته و به‌طور مداوم بهبود یافته‌اند که یکی از محدودیت‌های این مدل‌ها، مانند داده‌های ماهواره‌ای وضوح مکانی پایین آنها است. مدل هیدرولوژیکی WGHM نیز یک مدل هیدرولوژیکی جهان‌شمول است که در سال ۱۹۹۶ به منظور اندازه‌گیری و سنجنش میزان برداشت و تاثیر رفتارهای انسانی بر روی منابع آب سطحی و ذخائر آب زیرزمینی طراحی شد. اجزای ذخیره آب کل و آب‌های زیرزمینی از مجموعه اطلاعاتی هستند که امکان استخراج از مدل WGHM را دارند. این مدل، روابط مختلف فیزیکی سطح زمین را در توالی‌های عددی پیچیده ترکیب می‌کند تا امکان شبیه سازی اجزای ذخیره آب کل (TWS) و اجزای آن نظیر آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک و غیره در هر مکان دلخواه و مقیاس مکانی-زمانی فراهم باشد. (آلکامو و همکاران، ۲۰۰۳).

این مدل توانایی آن را دارد که مجموعه کاملی از اجزای TWS را ارائه دهد درحالی‌که اندازه‌گیری‌های زمینی یا ماهواره‌ای فقط می‌توانند یک جزء TWS را اندازه‌گیری کنند. با این حال، به دلیل محدودیت داده‌های ورودی، وضوح مکانی داده‌های مدل WGHM درشت و پایین بوده، که در نتیجه کاربرد آنها را در یک منطقه کوچک محدود می‌کند. این مدل با کیفیت رزولوشن 0.5×0.5 درجه (۵۵ کیلومتر \times ۵۵ کیلومتر) است، داده‌های این مدل برای تصویرسازی تغییرات تاریخی و آینده کاربرد دارد و آخرین نسخه این مدل (v-۲.۲) که در این تحقیق استفاده شده، از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۶ داده دارد. (مولر و همکاران، ۲۰۲۱). در این تحقیق هدف ریزمقیاس سازی داده‌های آب زیرزمینی WGHM با کمک داده‌های مکمل به مش‌بندی‌های کوچکتر توسط روش‌های فراگیری ماشینی است. ریزمقیاس سازی به روش آماری با هدف پیدا کردن ارتباط آماری بین داده‌های کمکی (رطوبت خاک، بارش، دما و برف‌آب) با وضوح مکانی بالا و محصول آب-های زیرزمینی با وضوح مکانی پایین‌تر استفاده می‌شود و در نهایت محصول آب زیرزمینی از نظر وضوح مکانی ارتقا پیدا می‌کند بدون اینکه دقت آن محصول کم شده و یا سطح معناداری آن کاسته شود.

۲ مواد و روش‌ها

در این تحقیق اقدام به پایش تغییرات ذخیره آب زیرزمینی منطقه دشت قزوین برای بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌ها شده است. به همین منظور برای ایجاد مدلی که بتوان داده‌های تغییرات ذخیره آب زیرزمینی را با وضوح بالاتر تخمین بزند، از داده‌های کمکی استفاده شد، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بارش روزانه، IMERG-GPM، داده‌های تغییرات برف، اطلاعات دریاچه‌ها، تبخیر، دمای خاک، رواناب سطحی و زیرسطحی از مدل Land5ERA-Coupernicus (برنامه اتحادیه اروپا جهت رصد زمین)، و داده نوسانات آب زیرزمینی از مجموعه داده‌های WGHM هستند که برای این محدوده مورد استفاده قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه برای این تحقیق دشت قزوین بوده که محدود به طول‌های شرقی ۲۰° تا ۳۴° ۵۰ و عرض‌های شمالی ۳۸° ۳۵ تا ۲۱° ۳۶ است که از سمت شمال به رشته کوه البرز و از سایر جهات به مرز جغرافیایی استان قزوین محدود می‌شود. این محدوده شامل قسمت‌هایی از زیرحوضه آبریز دریاچه نمک واقع در حوضه آبریز مرکزی است (براهیمی و شاهوردی، ۲۰۱۸). برای تعیین تراز متوسط آب زیرزمینی دشت قزوین، داده‌های تراز پیزومترهای موجود در طول سال‌های مختلف ارزیابی و مشخص شده‌است از سال ۱۳۴۵ تا سال ۹۵ بطور میانگین حدود ۳۴ متر سطح آب زیرزمینی در آبخوان دشت قزوین افت نموده است (سنگین آبادی، ۱۳۹۷).

۱.۲ دریافت و پردازش داده‌ها

برای بدست آوردن داده‌های آب زیرزمینی از مدل WGHM d2.2v استفاده شد، این داده دارای کیفیت پیکسل 0.5×0.5 است، داده‌های این مدل متشکل از اطلاعات آب زیرزمینی، میزان ذخایر اجزای آب، داده‌های رودخانه‌ها، برف‌آب، برگ‌آب، رطوبت خاک، تالاب‌ها و تراز دریاچه‌ها بصورت ماهانه است. به دلیل وجود داده‌های فاقد اطلاعات (NaN) وجود چرخه‌های فصلی و ترندهای ثابت و به همین دلیل با تبدیل کردن داده‌های دقیق به داده‌های نوسان می‌توان تا حد قابل قبولی نتایج با دقت بالاتری را بدست آورد. داده‌های بارش روزانه از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۱ (0.1×0.1 درجه) تهیه شد. بقیه داده‌ها از مدل Land5ERA-Coupernicus کوپرنیکوس نظیر تغییرات برف، اطلاعات دریاچه‌ها، تبخیر، دمای خاک، رواناب سطحی و زیرسطحی بدست آمد. این داده‌ها در ابعاد 0.1×0.1 (۱۰ کیلومتر) جهان‌شمول و بصورت میانگین ماهانه هستند. برای استخراج داده باتوجه به تفاوت میان بخشی از پیکسل‌های مختصاتی هر داده این دو سری اطلاعات بر روی یکدیگر تطابق داده شدند، این داده‌ها سپس بر پایه میانگین زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ تبدیل به نوسان شدند. باتوجه به اینکه داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی تحت تاثیر تغییرات کره زمین هستند و در فصول مختلف میزانی از رفتار خود را به‌طور چرخشی تکرار می‌کنند، حذف کردن این تغییرات فصلی و روند خطی دقت محاسبات را افزایش می‌دهد (ویشواکاراما، ۲۰۲۱). قابل ذکر است که در پایان محاسبات این مولفه‌های حذف شده، به داده‌های نهایی اضافه می‌شوند. برای حذف کردن تاثیرات فصلی، میانگین یک‌ماه (به عنوان مثال میانگین همه ژانویه‌ها) در کل بازه مطالعاتی، از داده‌های ماهانه متناظر کسر شد. باتوجه به اینکه داده‌های تهیه شده گام‌های زمانی و وضوح مکانی متفاوتی را دارا هستند، به منظور پیدا کردن رابطه معنادار مابین این داده‌ها در گام اول آنها را همگن می‌کنیم. باتوجه به اینکه داده اصلی (پیش‌بینی شونده) مدنظر ما تغییرات ذخیره آب زیرزمینی بوده و همچنین وضوح مکانی این داده از همه کمتر است و گام‌های زمانی آن ماهانه است، ابتدا برای محدوده مورد تحقیق بقیه داده‌های گردآوری شده را مانند داده WGHM انتخاب و برش داده تا همه داده‌ها از نظر جغرافیایی یک محدوده را پوشش دهند. در گام بعد با مبدا قرار دادن بازه زمانی داده پیش‌بینی شونده، بقیه داده‌ها را نیز برای بازه زمانی مورد نظر استخراج کرده و وضوح مکانی داده‌های موجود به کمترین وضوح موجود (WGHM) تبدیل شد.

۲.۲ آماده سازی مدل رگرسیونی

از آنجایی که ممکن است تغییر در نوسانات ذخیره آب زیرزمینی نسبت به مولفه های آبی استفاده شده در این مطالعه تاخیر زمانی داشته باشند، داده های کمکی را با در نظر گرفتن "t" زمان منتقل شده هر مولفه، نسبت به آب زیرزمینی انطباق می دهیم، در این صورت مدل رگرسیونی ما کارآمدتر و دقت بالاتری خواهد داشت. زمان منتقل شده بر اساس بالاترین میزان همبستگی بین هر مولفه آبی و آب زیرزمینی تعیین شد. انتخاب کردن داده ها با بیشترین میزان تطابق (از لحاظ آماری معنادار) شرایط بدست آوردن نتایج با دقت بالاتر را فراهم می کند. برای بدست آوردن بیشترین تطابق میان داده ها، از آزمون کای-دو با ضریب احتمال ۹۵ درصد استفاده شد. بر اساس آزمون انجام شده داده های رواناب زیرسطحی و میانگین دمای خاک محدوده (به ترتیب ۰/۶۹۶ و ۰/۶۹۵) در آزمون رد شده و از محاسبات خارج شدند، همچنین مدل رگرسیون چندمتغیره با درجه دو بالاترین امتیاز را (۰/۴۹) از میان دیگر مدل ها نظیر رگرسیون خطی، مدل نزدیکترین همسایگی و مدل ستیغی بدست آورد.

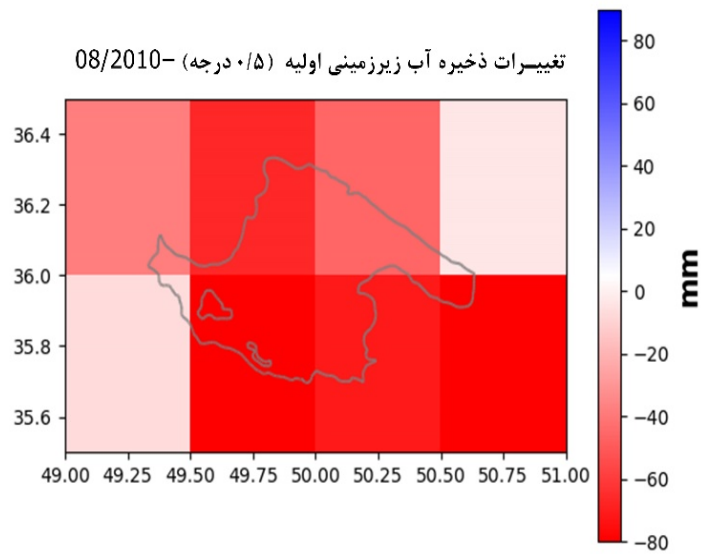
۳.۲ تولید داده ریزمقیاس شده

به دلیل آن که ممکن است مدل رگرسیونی ارائه شده نتوانسته باشد به خوبی مقدار واقعی تغییرات ذخیره آب زیرزمینی را پیش بینی کند، ممکن است آب زیر زمینی پیش بینی شده توسط این مدل از میزان واقعی آن بیش تر و یا کم تر باشد. برای حل این مسئله ما از روش باقیمانده که در این تحقیق از اصطلاح "تفاوت" استفاده می کنیم (تفاضل داده ی آب زیرزمینی مدل WGHM نسبت به نتایج آب زیرزمینی پیش بینی شده توسط داده های مکمل بزرگ مقیاس شده) (شریفی و همکاران، ۲۰۱۹). به دلیل اینکه در قسمت دیگری از تحقیق از اصطلاح باقیمانده به منظور دیگری استفاده شده، به منظور جلوگیری از اشتباه از واژه "تفاوت" برای این قسمت استفاده شده است. مدل تمرین داده شده بار دیگر مورد استفاده قرار گرفت و این مرتبه از داده های باقیمانده (داده های اصلی بعد از حذف داده های فصلی و روند) اصلی مکمل دارای وضوح مکانی بالاتر استفاده شد. در مرحله پایانی اطلاعات کسر شده تغییرات فصلی و روند کسر شده، در کنار "تفاوت" محاسبه شده به داده پیش بینی شده اضافه شده تا داده نهایی بدست آید. خروجی حاصل، تخمین تغییرات ذخیره آب زیرزمینی ریزمقیاس شده با دقت $0/1 \times 0/1$ درجه است.

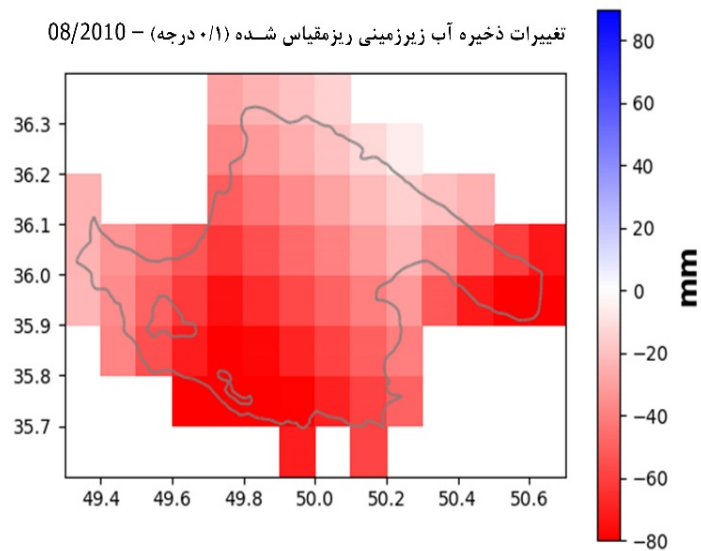
۳ بحث و نتایج

هدف این تحقیق کاهش مقیاس مکانی با حفظ دقت، محصول نهایی آب زیرزمینی مدل (۰/۵ درجه) WGHM، به وضوح مکانی معنی دار (۰/۱ درجه) برای کاربردهای مرتبط با مطالعات منابع آب، کشاورزی و تغییرات آب و هوایی بود. روش مورد استفاده در این مطالعه بر این فرض استوار است که رابطه آماری بین متغیرهای پیش بینی کننده و متغیر وابسته یا پیش بینی شونده در مقیاس درشت، در مقیاس کوچکتر هم وجود دارد و این رابطه برای بدست آوردن جزئیات بیشتر در آب زیرزمینی ریزمقیاس شده، حفظ می شود. مدل رگرسیون استفاده شده در این مطالعه رابطه معنی داری بین آبهای زیرزمینی مبتنی بر WGHM و سایر متغیرها نشان داد.

بعلاوه نتایج ریزمقیاس سازی پس از اضافه کردن "تفاوت" به داده های تخمین زده شده توسط مدل، از نظر توزیع مکانی و مقدار تغییرات ذخیره آب زیرزمینی با داده های اولیه شباهت زیادی نشان داد. به گونه ای که محصول ریزمقیاس شده می تواند الگوی پراکندگی آب زیرزمینی را در دشت قزوین به تصویر بکشد. مزیت روش پیشنهادی در استفاده از داده های کمکی (پیش بینی کننده)، رایگان بودن و پوشش جهانی آنهاست. بنابراین، این روش را به راحتی می توان در سایر مناطق جغرافیایی اعمال کرد. علاوه بر این، روش پیشنهادی به دلیل وجود ماهواره ها و مدل های جدید در آینده، قابلیت به روزرسانی های بعدی نقشه های آب های زیرزمینی ریزمقیاس شده را فراهم می کند. لازم به ذکر است، جهت ارزیابی و



شکل ۱: تصویر تغییرات ذخیره آب



شکل ۲: تصویر تغییرات ذخیره آب زیرزمینی ریزمقیاس شده نهایی با دقت ۰/۱ درجه

بررسی دقت داده‌های اولیه مدل WGHM و نتایج ریزمقیاس شده برای دشت قزوین، این داده‌ها باید با داده‌های چاه‌های مشاهداتی مقایسه شوند، که به دلیل محدودیت زمانی این ارزیابی را در تحقیقی دیگر در دست بررسی داریم.

مراجع

- سنگین آبادی، ح. (۱۳۹۷). تحلیل ریسک منطقه ای آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و تعیین آستانه های هشدار دوستان (۲۰۲۰). تحلیلی بر تحقیقات خشکسالی در ایران تحلیل فضایی مخاطرات محیطی ۶(۴)، ۵۳-۹۴.
- Alcamo, J., et al. (2003). Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal* 48(3), 317-337.
- Barahimi, M. and K. Shahverdi (2018). Updating and Reviewing of the Document of National Water in Ghazvin and Fomanat Plains. *JWSS-Isfahan University of Technology* 22(2), 199-209.
- Guntner, A., et al. (2020). Towards an Operational Copernicus Service, a Global Gravity-based Groundwater Product (G3P). *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Müller Schmied, H., et al. (2021). The global water resources and use model WaterGAP v2.2d, model description and evaluation. *Geosci. Model Dev* 14(2), 1037-1079.
- Samani, S. (2021). Analyzing the Groundwater Resources Sustainability Management plan in Iran through Comparative Studies. *Groundwater for Sustainable Development* 12, 100521.
- Sharifi, E., et al. (2019). Downscaling satellite precipitation estimates with multiple linear regression, artificial neural networks, and spline interpolation techniques. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres* 124(2), 789-805.
- Vishwakarma, B. D., et al. (2021). Downscaling GRACE total water storage change using partial least squares regression. *Scientific data* 8(1), 95.