اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص ۲۴۲-۲۳۳

تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب زیرزمینی دشت شهرکرد در دوره‌های آتی

زهرا مسماریان[۱]، علی‌رضا مساح بوانی[۲*]، سامان جوادی پیربازاری[۳]

۱. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳. استادیار، گروه منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۶/۰۲؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۸/۱۰)

چکیده

انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای، موجب گرم‌ترشدن کرهٔ زمین می‌شود. پدیدهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به‌دست‌آمده از آن، تأثیرات شایان توجهی بر سامانه‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد. در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر بیلان و نوسانات آبخوان تحت دو سناریوی مختلف بهره‌برداری از چاه‌ها بررسی شد. بدین‌منظور از نرم‌افزار GMS برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت شهرکرد تحت تأثیر تغییر اقلیم در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ استفاده شده است. مدل تهیه‌شده، در دو حالت ماندگار و غیرماندگار واسنجی و صحت‌سنجی شد. سپس از خروجی مدل HadCM3-A2 برای تولید دما و بارش منطقه در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ استفاده و این داده‌ها به‌وسیلهٔ نرم‌افزار LARS-WG برای منطقهٔ مطالعاتی ریزمقیاس شدند. به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر برای آبخوان مطالعه‌شده، دو سناریوی ادامهٔ بهره‌برداری با ۱۰ و ۲۰ درصد افزایش در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ در نظر گرفته شد. مطابق نتایج به‌دست‌آمده بارندگی سالانه در منطقهٔ مطالعه‌شده در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ به‌طور متوسط ۱۲ درصد افزایش و دمای سالانه به‌طور متوسط ۰/٤ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌یابد. همچنین بر اثر افزایش بهره‌برداری از چاه‌ها در دورهٔ آتی به‌میزان ۱۰ و ۲۰ درصد تحت تأثیر تغییر اقلیم، ذخیرهٔ آبخوان به‌ترتیب به مقدار ٦/۳ و ۱۰/۹٤ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد.

کلیدواژگان: آبخوان دشت شهرکرد، تغییر اقلیم، AOGCM,GMSWGLARS .

* نویسندهٔ مسئول

Email: armassah@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی به‌دلیل افزایش جمعیت جهان، استفادهٔ بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص CO_2 شده است. انتشار روزافزون گازهای گلخانه‌ای، توازن انرژی زمین را برهم می‌زند و موجب گرم‌شدن کرهٔ زمین می‌شود. پدیدهٔ گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به‌دست‌آمده از آن، تأثیرات شایان توجهی بر سامانه‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد [۴].

در کشور ما در زمینهٔ تغییر اقلیم و تأثیر آن بر آب‌های زیرزمینی تحقیقات محدودی صورت گرفته است. از این‌رو، شبیه‌سازی تغییرات تراز سطح آبخوان به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در دوره‌های آتی ارزش زیادی دارد. مطالعات متعددی در زمینهٔ تأثیر تغییر اقلیم بر کمیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است. تور و همکارانش [۱۲] در تحقیقی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی حوضهٔ کلا پرداختند. بدین‌منظور از مدل MODFLOW برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی و از سناریوی RCP4.5 برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبخوان مطالعه‌شده استفاده شد. به‌منظور شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی، داده‌های اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدرولیکی جمع‌آوری و از آنها به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل استفاده شد. همچنین تغذیهٔ آبخوان مطالعه‌شده با استفاده از مدل EARTH، ۱۶۵/۳ میلی‌متر در سال برآورد و از آن به‌عنوان عامل ورودی به مدل آب زیرزمینی استفاده شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل آب زیرزمینی تهیه شده، سناریوی RCP4.5 بر مدل اعمال شد. نتایج نشان داد تراز آب زیرزمینی در طول زمان افت می‌کند.

تام و همکارانش [۱۰] تأثیر تغییر اقلیم بر آبخوان دشت ساحلی در ویتنام را بررسی کردند. در این تحقیق از سناریوی انتشار A1B پس از ریزمقیاس نمایی توسط مدل آماری LARSE-WG، برای پیش‌بینی بارندگی در منطقهٔ مطالعه‌شده استفاده شد. براساس پیش‌بینی انجام‌شده توسط این مدل، بارندگی تا سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی این دشت، از مدل شبیه‌سازی بارش رواناب WetSpa و مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی SEAWAT استفاده شد. نتایج نشان داد برخلاف انتظار، افزایش بارندگی تا سال ۲۰۵۰ در ماه‌های پربارش اکتبر و دسامبر، موجب کاهش شدید در تغذیه و تراز آب‌های زیرزمینی و به تبع آن کاهش در منابع آب زیرزمینی منطقهٔ مطالعاتی می‌شود. در نتیجه، در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در مناطق ساحلی، علاوه بر بارندگی، ویژگی‌های زمین‌شناسی در نواحی تغذیه‌کنندهٔ آبخوان نیز اهمیت زیادی دارد.

پولمیو وکاسارانو [۹] از تکنیک‌های GIS و تحلیلی و آماری برای مطالعهٔ تأثیرات تغییر اقلیم و خشکسالی بر سطح آب‌های زیرزمینی در جنوب ایتالیا (که حدود ۹۷ درصد از این منطقه تا کنون روند کاهش باران سالانه داشته است) استفاده کردند.

نتایج مطالعهٔ آنها نشان می‌دهد تغییر اقلیم، میزان آب‌های زیرزمینی موجود را کاهش می‌دهد که این کاهش از طرفی به‌علت کاهش در تغذیهٔ آبخوان و از طرف دیگر بهره‌برداری زیاد از آب‌های زیرزمینی به‌علت نبود منابع آب سطحی است.

طوفان تبریزی [۱۱] در تحقیقی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی شیرین در مناطق ساحلی دیر کنگان در استان بوشهر را مطالعه کرد. در این تحقیق از مدل‌های MODFLOW و MT3DMS برای شبیه‌سازی سیستم آبخوان دیر کنگان در استان بوشهر استفاده شد. همچنین از مدل جفت‌شدهٔ اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جوّ HadCM3 تحت سناریوهای انتشار (A2، A1B و B1)، برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی ماهانه (بارش و دما) در سال‌های ۲۰۱۰ـ ۲۰۳۹ استفاده شده است. نتایج نشان داد بیشترین تهاجم آب شور تحت سناریوی A2 و حدود ۳۹۰ متر اتفاق می‌افتد و کمترین تهاجم حدود ۲۳۰ متر تحت سناریوهای A1B و B2 است.

لمیوکس و همکارانش [۶] در تحقیقی تأثیر تغییر اقلیم و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر نفوذ آب دریا در سفره‌های ساحلی در کانادا را بررسی کردند. بدین‌منظور از یک مدل عددی سه‌بعدی از جریان آب‌های زیرزمینی وابسته به چگالی، برای شبیه‌سازی دورهٔ ۲۰۱۱ـ ۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج نشان داد افزایش سطح دریا، کمترین تأثیر را بر نفوذ آب دریا در آبخوان‌های کم‌عمق و متوسط دارد. تأثیرات کاهش تغذیه در اعماق کم تا متوسط محسوس‌تر است و تأثیرات افزایش نرخ پمپاژ به مناطق نزدیک به چاه‌های بهره‌برداری و در همان عمق محدود است.

Archive of SID

www.SID.ir

محمودزاده و همکارانش [۸] در مطالعه‌ای تأثیر افزایش سطح آب دریاها و تغییرات در نرخ تغذیهٔ آب زیرزمینی شیرین جزیرهٔ کیش را با استفاده از مدل عددی SUTRA بررسی کردند. بدین‌منظور ۱۲ سناریو برای افزایش سطح آب دریا (۱ـ ۴ متر) و تغییرات نرخ تغذیه (۱۷ـ ۲۴ میلی‌متر در روز) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد افزایش سطح آب دریاها بر اثر تغییر اقلیم تأثیر معناداری بر منبع آب زیرزمینی شیرین جزیرهٔ کیش به‌خصوص در نواحی پست دارد. به‌علاوه تغییرات نرخ تغذیهٔ منبع آب زیرزمینی عامل مؤثرتری در مقایسه با افزایش سطح آب دریاهاست.

عمدهٔ مطالعات انجام‌شدهٔ داخلی و خارجی در سال‌های اخیر در زمینهٔ تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نواحی ساحلی از طریق افزایش سطح آب دریا و تغییرات نرخ تغذیهٔ آبخوان ناشی از بارندگی بوده است.

در ایران، در زمینهٔ تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی، تغییرات برداشت از چاه‌های بهره‌برداری همراه با تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی در نظر گرفته نشده است. از طرف دیگر به‌دلیل خشکسالی در سال‌های اخیر و کم‌آب شدن و یا حتی خشک‌شدن تعدادی از رودخانه‌ها، میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی از طریق چاه‌های بهره‌برداری رو به افزایش است و درنظرگرفتن تغییر اقلیم به‌تنهایی بیانگر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره‌های آتی نیست. از این‌رو، در تحقیق حاضر سناریوهای افزایش بهره‌برداری از چاه‌ها در بررسی‌ها اعمال شده که در این صورت شرایط شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در دورهٔ آتی به شرایط واقعی نزدیک‌تر شده است. از طرفی به‌دلیل اینکه مقادیر اولیهٔ ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (قابلیت انتقال و آبدهی ویژه)، دقیق نیست و عدم قطعیت‌های بزرگی را در شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی ایجاد می‌کنند، استفاده از یک مدل عددی برای واسنجی این ضرایب ضروری به‌نظر می‌رسد [۷]. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر از مدل عددی GMS که رابطی گرافیکی برای کد MODFLOW است، استفاده شده است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر بیلان آبخوان، تحت سناریوهای مختلف بهره‌برداری از چاه‌ها در دشت شهرکرد است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ مطالعه‌شده در استان چهارمحال و بختیاری قرار گرفته و شامل دشت شهرکرد است. دشت شهرکرد با امتداد شمال غرب‌ـ جنوب شرق و در حد فاصل عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ده دقیقهٔ شرقی واقع شده است. شکل ۱ موقعیت آبخوان دشت شهرکرد را در سطح استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد. متوسط دمای سالانهٔ این دشت ۱۰ درجهٔ سلسیوس است.

همچنین با درنظرگرفتن ایستگاه سینوپتیک شهرکرد به‌عنوان ایستگاه شاخص، میانگین بارش سالانه در دشت‌های این محدوده ۴۱۴/۸ میلی‌متر و میانگین بارندگی ارتفاعات آن ۴۴۷/۲ میلی‌متر محاسبه شده است. اقلیم منطقه با توجه به شاخص‌های آمبرژه و دومارتن، خشک و نیمه‌خشک است.

مدل مفهومی آبخوان دشت شهرکرد

ساختار مدل مفهومی آبخوان دشت شهرکرد شامل محدودهٔ مدل‌سازی و توزیع اولیهٔ پارامترهای هیدرودینامیکی، تخلیهٔ چاه‌های بهره‌برداری و میزان آب برگشتی آنها، ۱۹چاه مشاهداتی، قنوات و شرایط مرزی آبخوان است. مدل مفهومی در شبکه‌ای با سلول‌هایی در ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر و در یک لایه طراحی شد.

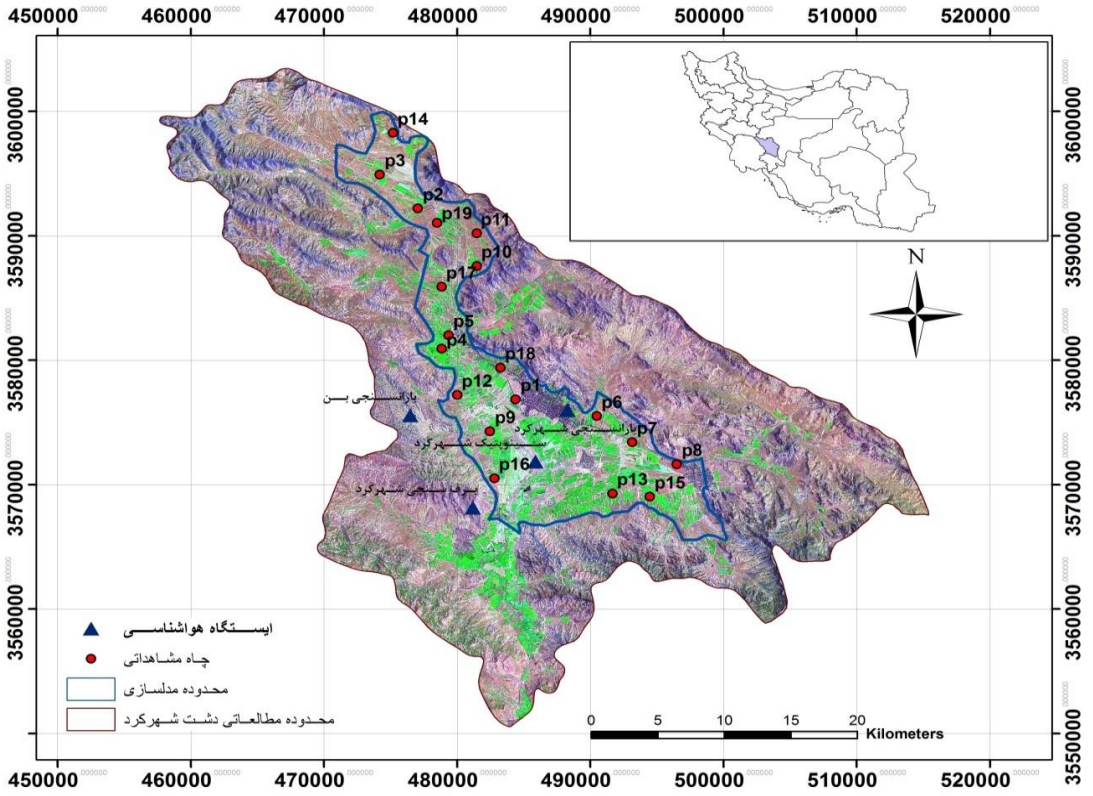
مدل ریاضی آبخوان دشت شهرکرد در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار

در مدل‌سازی آب زیرزمینی پس از ساخت مدل مفهومی، مدل برای یک بازهٔ زمانی در حالت ماندگار واسنجی و از نتایج آن به‌عنوان شرایط اولیه برای شبیه‌سازی در حالت غیرماندگار استفاده می‌شود. در حالت ماندگار تراز سطح آب در یک بازهٔ زمانی در کل محدودهٔ آبخوان ثابت می‌ماند و در حالت غیرماندگار تراز سطح آب در بازه‌های زمانی مختلف تغییر می‌کند. شبیه‌سازی در حالت غیرماندگار به آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، نزدیک‌تر است.

بدین‌منظور در حالت ماندگار، متوسط تراز سطح آب در سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۲ با استفاده از آمار روزانهٔ ۱۹ چاه مشاهداتی در محدودهٔ مد نظر به‌دست آمد و از آن برای واردکردن شرایط اولیه و مقادیر تراز مرزهای ورودی و خروجی به مدل استفاده شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. نقشهٔ پایهٔ محدودهٔ مطالعاتی دشت شهرکرد

همچنین کلیهٔ مقادیر تغذیه به آبخوان، شامل بارندگی و مقادیر تخلیه از آبخوان شامل چاه‌های بهره‌برداری در سال یادشده برای اجرا در حالت ماندگار وارد مدل شد. بعد از اجرای مدل در حالت ماندگار، با تغییر مقادیر هدایت هیدرولیکی به‌وسیلهٔ ترکیبی از دو روش خودکار PEST و سعی و خطا، اختلاف مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز سطح آب به حداقل مقدار ممکن رسید و واسنجی مدل در سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۲ انجام شد. به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر نتایج واسنجی مدل، از سه معیار ضریب همبستگی (ρ)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE) استفاده شد که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\rho = \frac{\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n}(X_s - \mu_s)(X_o - \mu_o)}{\sigma_s \times \sigma_o} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{n}(X_s - X_o)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{m=1}^{n}|X_s - X_o|}{n} \quad (3)$$

در این روابط X_s داده‌های شبیه‌سازی‌شده، X_o داده‌های مشاهداتی، μ_0 میانگین داده‌های مشاهداتی، σ_0 انحراف معیار داده‌های مشاهداتی، σ_s انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی‌شده و n برابر تعداد داده‌هاست. مقدار ρ بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی است که مقدار آن بین صفر و یک است.

در حالت غیرماندگار تمام پارامترهای یادشده در حالت ماندگار، در ۱۲ دوره به‌صورت فصلی از سال آبی ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۴ وارد مدل شد. با این تفاوت که در حالت غیرماندگار به‌جای هدایت هیدرولیکی، مقادیر اولیهٔ آبدهی ویژه وارد مدل می‌شود و با تغییر مقادیر اولیهٔ تغذیه و آبدهی ویژه، واسنجی انجام می‌شود. شایان یادآوری است که برای واسنجی در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار، بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز سطح آب (۲±متر) و به‌بیانی بیشترین خطای مجاز ۶/۶ درصد در نظر گرفته شد. بعد از واسنجی مدل، برای تعیین کارایی مدل غیرماندگار آب زیرزمینی، این مدل با استفاده از داده‌های فصل‌های سال‌های آبی ۱۳۸۴ـ ۱۳۸۶ آزمایش شد.

Archive of SID

www.SID.ir

مدل اقلیمی و سناریوی انتشار

معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه‌بعدی جفت‌شدهٔ گردش عمومی جوّ- اقیانوس هستند که به‌اختصار AOGCM[1] نامیده می‌شوند [۲ و ۳].

در این تحقیق از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 استفاده شد. موضوع دربرگیرندهٔ سناریوی انتشار A2، تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی است [۱].

مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG

بزرگ‌ترین محدودیت مدل‌های AOGCM بزرگ‌مقیاس بودن سلول محاسباتی آنهاست، به همین دلیل استفادهٔ مستقیم از خروجی این مدل‌ها در اتصال به مدل‌های شبیه‌سازی سامانه‌های مختلف ازجمله منابع آب و کشاورزی مناسب نیست. در این تحقیق به‌منظور ریزمقیاس نمایی خروجی مدل HadCM3، از مدل LARS-WG، استفاده می‌شود. در این مدل سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می‌شوند. بدین‌صورت که برای دما از تفاوت بین دو متغیر و برای بارندگی از نسبت بین آنها استفاده می‌شود (رابطه‌های ۴ و ۵).شایان یادآوری است برای این منظور، از آمار بارش و دما ایستگاه سینوپتیک شهرکرد که آمار طولانی‌مدت و قابل اطمینان دارد، استفاده شده است.

$$\Delta T_i = \left(\overline{T}_{GCM,fut,i} - \overline{T}_{GCM,base,i}\right) \quad (۴)$$

$$\Delta P_i = \left(\overline{P}_{GCM,fut,i} - \overline{P}_{GCM,base,i}\right) \quad (۵)$$

در رابطه‌های یادشده ΔT_i و ΔP_i به‌ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مختص به دما و بارندگی برای میانگین بلندمدت ۱۵ ساله برای هر ماه ($1 \le i \le 12$)، $\overline{T}_{GCM,fut,i}$ میانگین ۱۵ سالهٔ دمای شبیه‌سازی‌شده توسط AOGCM در دورهٔ آتی (۲۰۱۵-۲۰۲۹) برای هر ماه، $\overline{T}_{GCM,base,i}$ میانگین ۱۵ ساله دمای شبیه‌سازی‌شده توسط AOGCM در دورهٔ مشابه با دورهٔ مشاهداتی (۱۹۹۵ـ ۲۰۰۹) برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد یادشده برقرار است [۵]. سپس با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم به‌دست‌آمده، سری‌های زمانی تصادفی دما و بارش در دورهٔ آتی (۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹) به‌دست می‌آید.

بررسی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل آب زیرزمینی GMS

شکل ۲ مقایسهٔ بین تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده را در حالت ماندگار و در محل چاه‌های مشاهده‌ای به‌صورت میله‌ای نشان می‌دهد. همچنین شکل ۳ این مقایسه را به همراه محاسبهٔ ضریب تبیین نشان می‌دهد.

مقادیر (R^2)، (RMSE) و (MAE) بعد از واسنجی در حالت ماندگار به‌ترتیب برابر با ۹۹/ و ۰/۴۸ متر و ۰/۷ متر است که نشان‌دهندهٔ دقت قابل قبول مدل‌سازی در حالت ماندگار است.

در حالت غیرماندگار نیز مانند حالت ماندگار باید مقادیر سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده انطباق مناسبی داشته باشد. در شکل‌های ۴ و ۵ به‌عنوان نمونه مقادیر تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در دورهٔ واسنجی در دو چاه مشاهده‌ای انتخابی نشان داده شده است. در این شکل‌ها محور عمودی تراز سطح آب زیرزمینی برحسب متر و محور افقی دورهٔ زمانی مدل‌سازی برحسب روز است.

علاوه بر نمودارهای یادشده، برای نشان‌دادن تطابق بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی پس از واسنجی، از معیارهای آماری نیز برای محاسبهٔ خطای شبیه‌سازی در حالت غیرماندگار طی سال‌های آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۴ استفاده شده است.

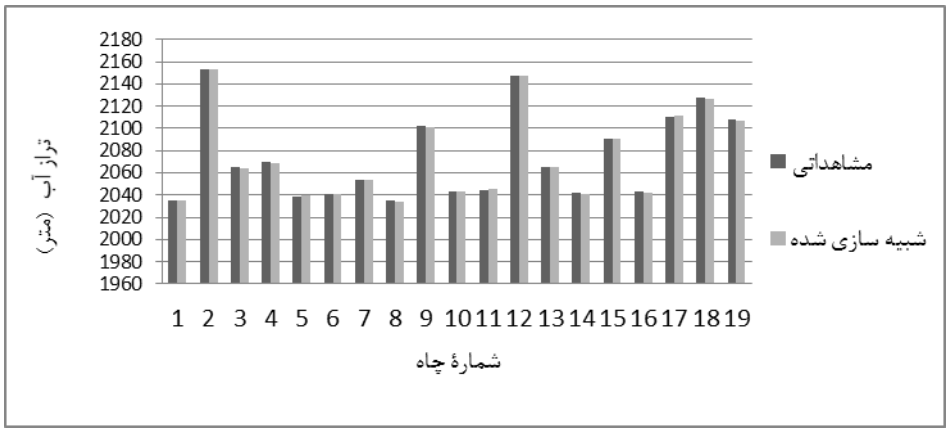
مقادیر (RMSE) و (MAE) بعد از واسنجی در شرایط غیرماندگار به‌ترتیب برابر با ۱/۲۵ و ۱/۰ متر به‌دست آمده است که نشان‌دهندهٔ تطابق مناسب بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده است.

شکل ۶ مقادیر سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده را در مقابل مقادیر مشاهداتی برای کلیهٔ پیزومترها طی دورهٔ صحت‌سنجی (سال‌های ۱۳۸۴ـ ۱۳۸۶) نشان می‌دهد. با توجه به انطباق خوب بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی، مدل توانایی لازم را برای شبیه‌سازی آبخوان داراست. همچنین مقادیر (RMSE) و (MAE) در دورهٔ صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۱/۱۴ و ۱/۲۷ متر به‌دست آمده است.

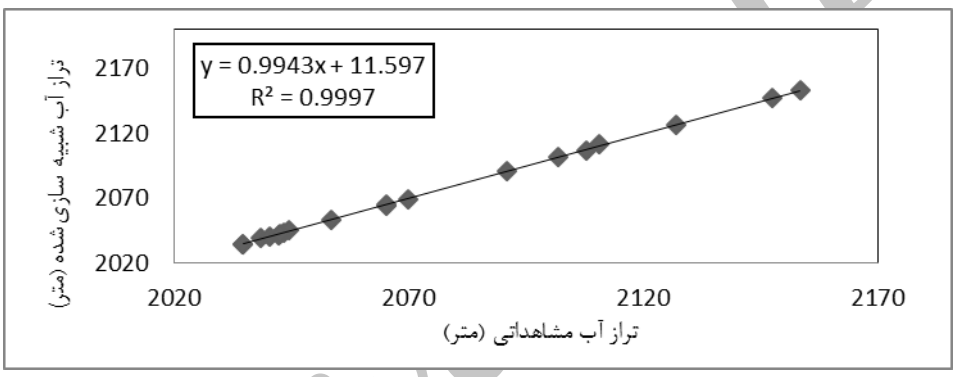
1. Atmosphere-Ocean General Circulation Model

Archive of SID

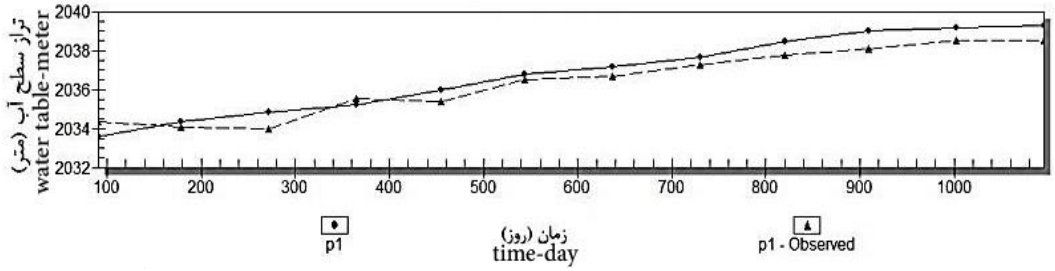
www.SID.ir



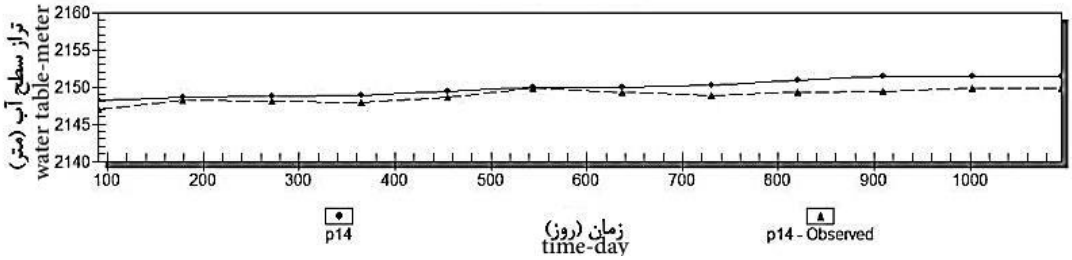
شکل ۲. مقایسهٔ تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده بعد از واسنجی در حالت ماندگار (سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۲)



شکل ۳. پراکنش داده‌های تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده بعد از واسنجی در حالت ماندگار (سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۲)

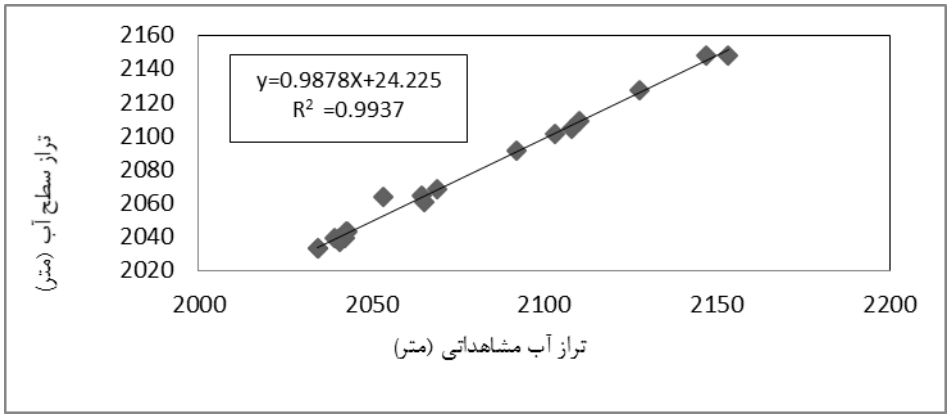


شکل ۴. مقایسهٔ تراز آب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده (سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۴)؛ پیزومتر ۱



شکل ۵. مقایسهٔ تراز آب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده (سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۴)؛ پیزومتر ۱۴

www.SID.ir



شکل ۶. پراکنش داده‌های تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده در دورهٔ صحت‌سنجی (سال آبی ۱۳۸۴ـ ۱۳۸۶)

وضعیت دما و بارش منطقهٔ مطالعاتی تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی

نتایج مدل LARS-WG طی دورهٔ آماری (۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹) بیانگر افزایش دما و بارندگی منطقه در همهٔ فصول سال است. جدول ۱ درصد تغییرات بلندمدت دما و بارش را به‌صورت فصلی و سالانه نشان می‌دهد. برای به دست آوردن آمار دما و بارش در محدودهٔ مطالعه‌شده، از ایستگاه سینوپتیک شهرکرد استفاده شده است که آمار بلندمدت و قابل اطمینان دارد.

به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آبخوان دشت شهرکرد در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ تراز سطح آب زیرزمینی در مدل واسنجی‌شده و صحت‌سنجی شده در دورهٔ پایه، تا سال آبی ۱۳۹۱ـ ۱۳۹۲ شبیه‌سازی شد و دو سناریوی مختلف به شرح زیر در نظر گرفته شد:

سناریوی ۱: تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

سناریوی ۲: تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.

تأثیر پدیدهٔ تغییر اقلیم بر سطح و بیلان آبخوان تحت سناریوهای مختلف

سناریوی ۱: افزایش نرخ بهره‌برداری از چاه‌ها به‌میزان ۱۰ درصد

براساس شکل ۷ با اعمال این سناریو تحت تأثیر پدیدهٔ تغییر اقلیم، سطح تراز آب در کل محدودهٔ آبخوان به‌میزان ۰/۸۴متر کاهش می‌یابد. کاهش تراز سطح آب در آبخوان نشان می‌دهد تأثیر افزایش نرخ بهره‌برداری بیشتر از تأثیر افزایش بارندگی بر اثر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی است.

از آنجا که بیشترین تجمع چاه‌های بهره‌برداری در قسمت‌های مرکزی و جنوبی آبخوان است، بیشترین مقدار افت سطح آب در همین ناحیه بوده است و در محل پیزومتر ۱۳ به یک متر هم می‌رسد.

سناریوی ۲: افزایش نرخ بهره‌برداری از چاه‌ها به‌میزان ۲۰ درصد

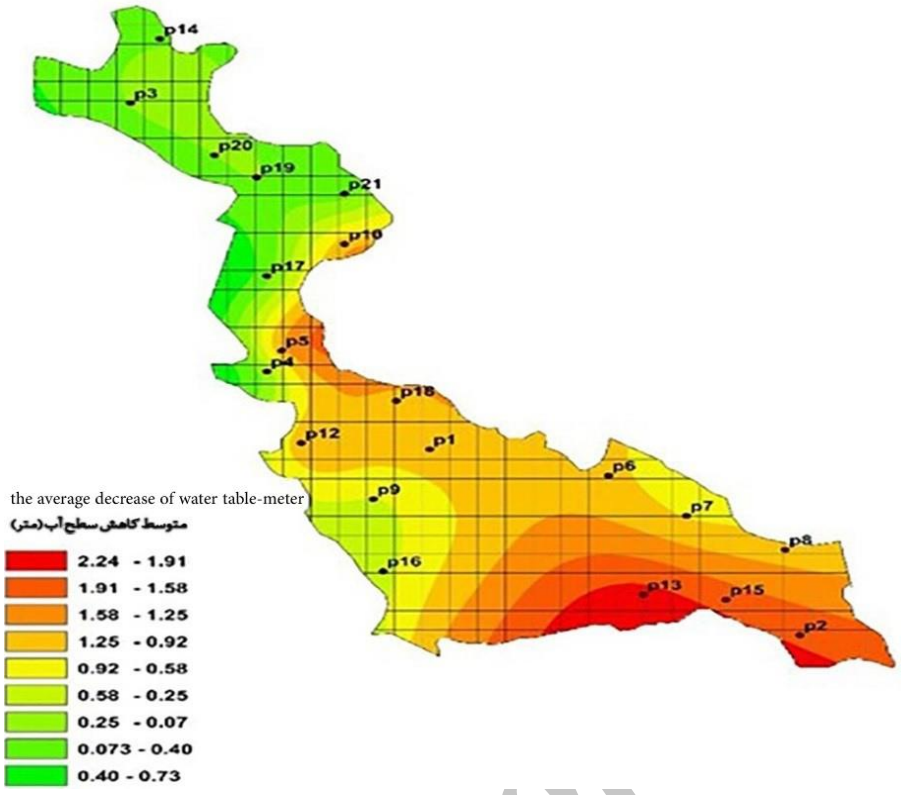
در این سناریو نیز، سطح آب در کل محدودهٔ آبخوان به‌میزان ۱/۴۴ متر کاهش می‌یابد. همچنین براساس شکل ۸، بیشترین میزان افت سطح آب در محل پیزومترهای ۲ و ۱۳ و به‌میزان ۲ متر است.

جدول ۱. درصد افزایش میانگین بلندمدت بارش و دمای شبیه‌سازی‌شده نسبت به مقادیر پایه

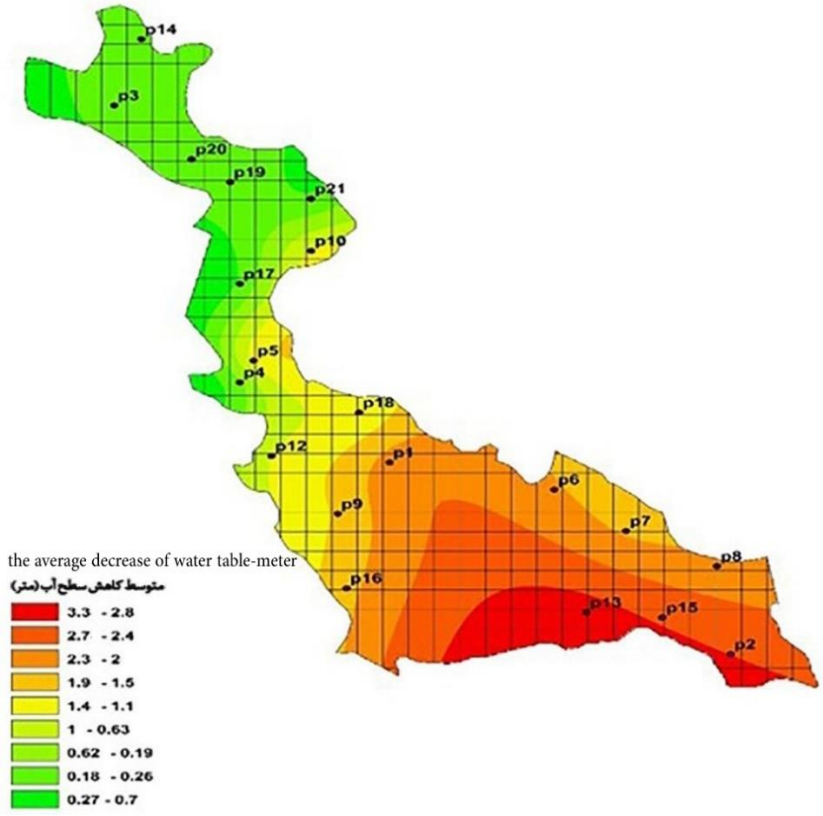
پارامتر / فصل	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	تغییرات سالانه
دما	۵/۵۸	۲/۴	۴/۹۳	۰/۵	۳/۷۶
بارش	۴/۲۸	۶۸/۹۵	۴/۵۳	۲۰/۶۱	۱۲/۱۳

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۷. متوسط کاهش تراز سطح آب زیرزمینی در دورهٔ آتی (۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹) نسبت به حالت پایه تحت سناریو ۱



شکل ۸. متوسط کاهش تراز سطح آب زیرزمینی در دورهٔ آتی (۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹) نسبت به حالت پایه در سناریو ۲

www.SID.ir

جدول ۲. بیلان آبخوان منطقهٔ مطالعاتی تحت دو سناریوی مختلف (میلیون مترمکعب)

شرایط دورهٔ آتی	سناریو ۱	سناریو ۲
تغییرات حجم ذخیرهٔ آبخوان در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه	-۶/۳	-۱۸/۸۴
بیلان آبخوان در دورهٔ آتی	-۱۰/۹۴	-۲۳/۴۸

جدول ۲ تغییرات بیلان آبخوان مطالعه‌شده تحت دو سناریوی مختلف را نشان می‌دهد. بیلان آبخوان در دورهٔ پایه ۱۲/۵۳-میلیون مترمکعب است. مطابق با این جدول، بر اثر افت سطح آب زیرزمینی به‌میزان۰/۸۴ و ۱/۴۴متر در دورهٔ آتی (۲۰۱۵ـ ۲۲۹)، تحت سناریوهای اول و دوم به‌ترتیب ۶/۳ میلیون مترمکعب و ۱۰/۹۴ میلیون مترمکعب از ذخیرهٔ آبخوان کم خواهد شد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی پدیدهٔ تغییر اقلیم و تأثیرات آن بر بیلان و نوسانات سطح آب زیرزمینی در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ با به‌کارگیری مدل عددی آب زیرزمینی GMS و مدل اقلیمی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 انجام گرفت. مدل عددی تهیه‌شده در سال آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۲ برای حالت پایدار و در سال‌های آبی ۱۳۸۱ـ ۱۳۸۴ در ۱۲ دورهٔ فصلی برای حالت ناپایدار واسنجی شد. طی فرایند واسنجی مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی(K) و آبدهی ویژه(Sy)بهینه شد. همچنین صحت‌سنجی مدل در فصل‌های سال‌های آبی ۱۳۸۴ـ ۱۳۸۶ انجام گرفت. در ادامه از خروجی مدل HadCM3-A2 برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه در دورهٔ ۲۰۱۵ـ ۲۰۲۹ استفاده شد. این داده‌ها به‌وسیلهٔ نرم‌افزار LARS-WG برای منطقه ریزمقیاس شدند. بارندگی سالانهٔ منطقه در دورهٔ آتی به‌طور متوسط ۱۲ درصد افزایش و دمای سالانه به‌طور متوسط ۰/۴ درجهٔ سلسیوس افزایش را نشان داد.

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده با وجود افزایش بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم در دورهٔ آتی، با افزایش بهره‌برداری از چاه‌ها به‌میزان ۱۰ و ۲۰ درصد تحت سناریوهای اول و دوم، متوسط سطح آب زیرزمینی در دورهٔ آتی نسبت به حالت پایه ۰/۸۴ و ۱/۴۴ متر افت پیدا می‌کند. بر اثر افت سطح آب به‌میزان ۰/۸۴ و ۱/۴۴ متر تحت سناریوهای اول و دوم به‌ترتیب۶/۳ میلیون مترمکعب و ۱۰/۹۴ میلیون مترمکعب از ذخیرهٔ آبخوان کم می‌شود. مطابق با این نتایج، تأثیر برداشت از چاه‌ها در افت تراز آب زیرزمینی در دوره‌های آتی بسیار بیشتر از تغییر اقلیم است.

در نهایت، از آنجا که در این مطالعه برای بررسی پدیدهٔ تغییر اقلیم، از یک مدل AOGCM و یک سناریوی انتشار A2 استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود عدم قطعیت کلیهٔ مدل‌های AOGCM در مدل‌سازی وارد شده و از مدل‌های بیشتر و سناریوهای بیشتری استفاده شود، در این صورت ممکن است به‌جای افزایش بارندگی در دورهٔ آتی با کاهش میزان بارندگی مواجه شویم.

منابع

[1]. Gohari A. System-Dynamics approach to evaluate climate change adaptation strategies foriran'szayandeh-rud water system.Ph.D thesis Isfahan university of technology.2014.(persian)

[2].Hlavcova K, Szolgay J, Kohnova S,Balint G. Hydrological scenarios of future seasonal runoff distribution in central slovakia, earth and environmental science.2008;4(1):30-73.

[3]. HoracekS, KasparekL, NovickyO. Estimation of climate change impact on water resources by using bilan water balance model.earth and environmental science.2008;4(1):73.

[4].IPCC. Summary for policymakers in climate change.The physical science basis contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change cambridge university press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY, USA.2013:1-33.

[5].Jones P.D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. International journal of climatology.1996;16(4):361-377.

[6].LemieuxJ, HassaouiJ, Molson J, TherrienR, TherrienP, ChouteauM, Quellet M. Simulating the impact of climate change on the groundwater resources of the Magdalen Islands, Québec, Canada. Journal of Hydrology: Regional Studies.2015;3:400-423.

Archive of SID

www.SID.ir

[7]. Mahdavi M, FarokhzadehB, Salajagheh A, Malekian A,Souri M. Simulation of hamedan-bahar aquifer and investigation of manegment scenarios by using PMWIN.2013; 98:108-116.(persian)

[8]. Mahmoodzadeh D,Ketabchi H,Ataie-Ashtiani B, Simmons C. Conceptualization of a fresh groundwater lens influenced by climate change: A modeling study of an arid-region island in the Persian Gulf, Iran. Journal of Hydrology.2014; 519:399–413.

[9]. Polemio M,CasaranoD. Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy. In: DragoniW,Sukhija B.S.climate change and groundwater. London, Special publication, geological society.2008;288:39–51.

[10]. Tam V,BatelaanO,Beyen I,. Impact assessment of climate change on a coastal groundwater system, Centeral Vietnam. Enviromental Earth Sciences.2016;75(908).

[11]. Toofan Tabrizi N. Effects of climate change on fresh groundwater resources in coastal areas. Master's thesis. Tarbiatmodarres university, Tehran, iran.2009;(persian).

[12]. Tour A, Diekkruger B, Mariko A. Impact of climate change on groundwater resources in the Klela basin, southern Mali. Journal of Hydrology.2016;3(17).

Archive of SID

www.SID.ir