

پیش بینی سطح آب زیرزمینی دشت قروه با استفاده از مدل MODFLOW در سناریوهای

مختلف تغییر اقلیم LARS-WG

اسفندیار عباس نوین پور^{۱*}، فاطمه کریمی^۲، حسین رضایی^۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰

۱- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: e.abbasnovinpour@urmis.ac.ir

چکیده

امروزه تغییر اقلیم منتج از افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثرات ناشی از آن در مناطق مختلف دنیا بویژه مناطق خشک و نیمه خشک مشهود است. از آنجایی که آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب می‌باشد تحلیل تاثیر تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی و تخمین میزان تغذیه آن در دوره آتی ضروری می‌باشد. در این تحقیق به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت قروه در حوزه آبریز رودخانه تلوار پرداخته شده است. در این راستا از مدل ریزمقیاس LARS-WG جهت پیش بینی تغییرات بارش و دما در آینده استفاده و در ادامه برای مدلسازی سطح آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از مدل MODFLOW برای ۲۱۶ ماه واسنجی صورت گرفته و سپس با استفاده از داده‌های ۱۶۳ ماه صحت سنجی شد. نهایتاً بارش پیش‌بینی شده تحت عنوان پارامتر تغذیه به مدل MODFLOW وارد شده و اثرات تغییر اقلیم طی سه سناریو A1B، B1 و A2 در سطح ایستابی با شبیه‌سازی آبخوان توسط مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با همین روند برداشت از آبخوان و اعمال بارش پیش‌بینی شده از مدل لارس تحت سناریو A1B در تغذیه منطقه سطح آب زیرزمینی سالانه در حدود ۶۰ سانتیمتر افت می‌کند. همچنین با افزایش ده درصدی حجم برداشتی از چاه‌ها و اعمال بارش پیش‌بینی شده از سناریو A2 میزان افت سطح ایستابی بطور چشم‌گیری افزایش یافته و سالانه در حدود ۱۱۷ سانتیمتر کاهش در سطح ایستابی دشت خواهیم داشت. با کاهش ۱۰ درصدی حجم برداشت شده از چاه‌ها در سالهای آتی و اعمال بارش پیش‌بینی شده از سناریو B1، مقدار افت سطح ایستابی نسبت به سال‌های گذشته کاهش یافته و سالانه در حدود ۳۳ سانتیمتر کاهش سطح ایستابی محاسبه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، شبیه‌سازی آبخوان، LARS-WG، MODFLOW

The Prediction of Groundwater Level in Ghorveh Plain Using MODFLOW Model in Different Scenarios of LARS-WG Climate Change

Esfandiar Abbas Novinpour^{1*}, Fatemeh Karimi², Hossein Rezaei³

Received: January 10, 2019 Accepted: June 10, 2021

1-Assist., Prof., Dept. of Geology, Faculty of Science, Urmia University

2-Graduated from the Dept. of Geology, Faculty of Science, Urmia University

3- Prof., Water Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Urmia University

* Correspondence Author, Email: e.abbasnovinpour@urmis.ac.ir

Abstract

Today climate change is evident as a result of increasing greenhouse gases and its effects in different parts of the world, especially in arid and semi-arid regions. Since groundwater is the most important source to provide water, it is essential to analysis of the impact of climate change on these resources and to estimate the measure of their nutritional in the future. In this research, the effects of climate change on the groundwater resources of Qorveh plain in the watershed of the Tolawar River have been investigated. For modeling the groundwater level of the study area, the MODFLOW model was used for 216 months of calibration and then validated using 163 months' data. Finally, the predicted precipitation was entered into the MODFLOW model as the feeding parameter and the effects of climate change in the three scenarios A1B, B1 and A2 at the static-water level with aquifer simulation were investigated. Also, with a 10% increase in harvest volume from wells and expected rainfall prediction from scenario A2, the drop in static-water level has increased dramatically and every year we will have about 117 centimeters decrease in the static-water level. With a 10% reduction in the volume of wells in the coming years and projected rainfall from scenario B1, drop of static-water level has decreased from previous years and the measure of reduction in the static-water level was estimated to be about 33 centimeters annually.

Keywords: Aquifer simulation, Climate change, MODFLOW, LARS-WG.

مقدمه

خشک دنیا محسوب می‌شود، آب زیرزمینی حدود ۴ درصد از مجموعه آب‌هایی را که فعالانه در چرخه آب شناختی دخالت دارند، تشکیل می‌دهد. لذا استفاده پایدار از این منابع به معنای برداشت منطقی و محدود از آنها است که به دلیل عدم شناخت صحیح و یا عدم درک میزان آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی سهل انگاری‌های زیادی صورت گرفته است، بنابراین لزوم توجه به منابع آب زیرزمینی امری حیاتی می‌باشد (گودرزی و همکاران ۲۰۱۶). بهره برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در

گرم شدن کره‌ی زمین بر اثر صنعتی شدن جوامع بشری موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز Co2 شده است که تغییر اقلیم را به دنبال دارد. طوریکه پیامدهای این تغییر بر منابع آب غیر قابل انکار است. این تغییرات بر گردش عمومی اتمسفر، دما و بارش اثر می‌گذارد (انصاری و همکاران ۲۰۱۴). کشور ایران با میانگین سالانه ۲۵۰ میلیمتر بارش یکی از کشورهای

بیان داشتند که سطح آب زیرزمینی در سال ۲۰۵۰ به ترتیب در مدل‌های MRI-CGCM3، MPI-ESM-LR و CCSM4 به میزان ۲۳/۲، ۲۴/۴ و ۲۳/۹ متر کاهش یافته است. جمالی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) به پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان با استفاده از مدل‌های سری زمانی و GMS پرداختند. آنها ابتدا با استفاده از مدل GMS آب زیرزمینی را برای دوره پایه (۱۳۹۵-۱۳۸۲) شبیه‌سازی کردند و با مدل ARIMA برای دوره آتی شبیه‌سازی شد، نتایج نشان داد که سطح آب زیرزمینی افت یافته است و تمامی منطقه افت سطح آب زیرزمینی در دوره آتی نسبت به دوره پایه رخ داده و بیشترین افت آب زیرزمینی در بخش‌های جنوب غربی دشت صورت گرفته است و سالیانه حدود ۱۳۰ میلیون مترمکعب اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. در حالت کلی، آب زیرزمینی در ابتدای دوره بیشترین مقدار (سطح بالا) و در اواخر دوره آماری، کمترین مقدار (پایین‌ترین سطح) را داشته است. پس از مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی برای دوره پایه، پیش‌بینی بارندگی حاصل از مدل ARIMA با فرض ثابت بودن میزان بهره‌برداری از آبخوان، بر مدل آب زیرزمینی اعمال کردند. نتایج نشان داد کسری حجم آبخوان به میزان ۱۰۲۱/۰۹ میلیون مترمکعب در سال پایانی مدل‌سازی (سال ۱۴۰۲) صورت گرفته است. همچنین، تغییرات سطح آبخوان دشت رفسنجان از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۴۰۲ بیان‌کننده آن بود که با توجه به برآورد بارش حاصل از مدل ARIMA می‌توان گفت که سالانه به طور متوسط یک متر افت آبخوان در این دشت رخ خواهد داد. پاتیلا و همکاران (۲۰۲۰) آنها با استفاده از مدل MODFLOW سطح آب زیرزمینی آبخوان هوکری واقع در حوضه آبخیز هیرانیاکشی در ایالت اسکارناتاکا شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی توسط مدل مشاهده شد که سطح ایستابی آب زیرزمینی منطقه در طول ۵ سال ۱/۵ متر افزایش یافته است. همچنین آنها با سه مدل سناریوی تغییر اقلیم شبیه‌سازی کردند و سپس

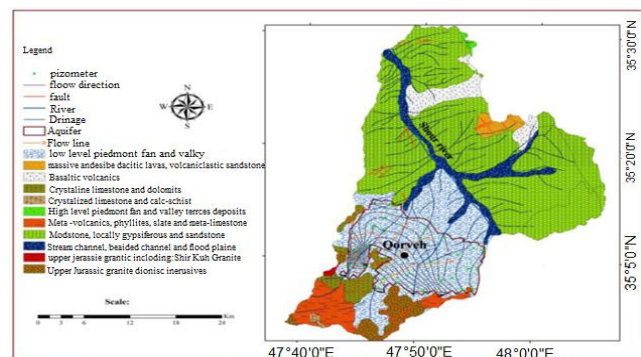
سالهای اخیر باعث به هم خوردن تعادل طبیعی آن شده و تراز آب زیرزمینی در آبخوانهای بسیاری از نقاط کشور منفی شده است. همچنین عدم اعمال مدیریت و یا اعمال مدیریت‌های غیرصحيح در این دشتها باعث بروز مشکلات ناشی از افت آب و یا اثرات ناشی از استفاده‌های غیر بهینه از این منابع گردیده است. با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب در استفاده از منابع آب موجود علاوه بر اینکه می‌توان مخارج سنگین توسعه و بهره‌برداری از این منابع را کاست، میزان استفاده از این منابع را نیز می‌توان بهینه کرد. حوضه آبریز قروه واقع بین حوضه های آبریز دهگلان و چهاردولی در استان کردستان در ۹۵ کیلومتری شرق سنندج و شمال غرب همدان واقع شده است. این محدوده جزئی از حوضه آبریز رودخانه تلوار است. محققان زیادی از MODFLOW برای شبیه‌سازی سطح آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف استفاده کردند (دانگ و همکاران ۲۰۱۲؛ لچال و همکاران ۲۰۱۲؛ کولو و همکاران ۲۰۱۷). مالک‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیقی در کبودرآهنگ در استان همدان سطح آب-زیرزمینی با استفاده از سه مدل MODFLOW، شبکه عصبی و شبکه عصبی موجک را پیش‌بینی کردند. آنها با استفاده از ورودی‌ها مختلف و با ده مدل تأخیرات مختلف دریافتند که برای پیش‌بینی سطح ایستابی آبخوان کبودآهنگ مدل شبکه عصبی موجک نسبت به دو مدل دیگر بهترین عملکرد را دارد. یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل MODFLOW2005-NWT در برنامه متلب سطح آب زیرزمینی دشت کرج را برای ده سال پیش‌بینی کردند. بنابراین آنها سه سناریوی خوش بینانه، بدبینانه و وضعیت فعلی برای پیش‌بینی تا سال آبی ۲۰۲۳-۲۰۲۰ تعریف کردند. نتایج نشان داد که برای سه سناریوی بیان شده سطح آب زیرزمینی آبخوان کرج به ترتیب ۴/۹، ۰/۰۹ و ۱۲/۸ متر کاهش یافته است. شفیعی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی تغییرات اقلیمی بر سطح سفره‌های آب زیرزمینی با مدل‌های ARIMA و GCM، پس از پیش‌بینی بارش و قراردادن آن در مدل ARIMA

حوضه آبریز قروه با وسعت برابر ۱۰۶۵/۴ کیلومتر مربع واقع بین حوضه های آبریز دهگلان و چهاردولی در استان کردستان و ۹۵ کیلومتر شرق سنندج و شمال غربی همدان واقع شده است. این محدوده بخشی از حوضه آبریز رودخانه تلوار بوده و در جنوب حوضه آبریز فوق واقع شده است. از نظر مختصات جغرافیایی بین طولهای ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقه و ۳ ثانیه شرقی و ۳۵ درجه و ۲ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۴ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. حداکثر ارتفاع این منطقه در ارتفاعات جنوبی حوضه واقع است که در برابر با ۳۱۴۵ متر از سطح دریا (کوه بگر) است و حداقل ارتفاع محدوده در (محل خروجی دشت در حوالی ایستگاه شادی آباد بر روی رودخانه شور) ۱۶۸۴ متر از سطح دریا است. این محدوده از غرب کوه بیخیر، کوه شان و ره، کوه ابراهیم عطار و تپه ماهورهای حد واسط با دشت دهگلان، از جنوب به کوه های سنگ سیاه، تفتق، بگر و دروازه و از شرق به تپه ماهورهای حاجی آباد، حدواسط با دشت چهاردولی، کوه قیلاندازی و چیچک تپه و از شمال به محل تلاقی دو رودخانه چم شور و تلوار و کوه پیروسیف منتهی می شود. شکل ۱ نقشه زمین شناسی دشت قروه را نشان می دهد (نخعی و صابری نصر ۲۰۱۲).

تراز سطح آب زیرزمینی را با استفاده از مدل MODFLOW انجام دادند. نتایج تحقیق حاکی از افزایش میانگین دمای سالانه به اندازه ۲/۵۹ درجه سانتی گراد و بارش و تغذیه آب زیرزمینی به ترتیب به اندازه ۱۹/۵ درصد و ۲۴/۹۱ درصد کاهش یافته است. بطوریکه ضریب همبستگی و نش ساتکلیف در این مدل با مقدار به ترتیب ۰/۹۱۵ و ۰/۹۵۹ بدست آمدند. با توجه به تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی، تحقیق در این زمینه اهمیت ویژه ای دارد. دشت قروه در سال های اخیر به علت برداشت بی رویه از آب های زیرزمینی و همچنین کاهش میزان نزولات جوی با افت شدید سطح آب زیرزمینی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۶ (بطور متوسط ۱۱/۲۱ متر در کل آبخوان) مواجه شده است بنابراین نیازمند مدیریت صحیح در استفاده از منابع آب زیرزمینی است. در این پژوهش سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت قروه با استفاده از مدل لارس (LARS-WG) و مدل مادفلو (MODFLOW) شبیه سازی شد و با استفاده از سناریوهای مدیریتی با تغییر میزان برداشت موجود، سطح ایستابی برای سال های (۲۰۱۶-۲۰۲۵) پیش بینی گردید.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- نقشه زمین شناسی دشت قروه.

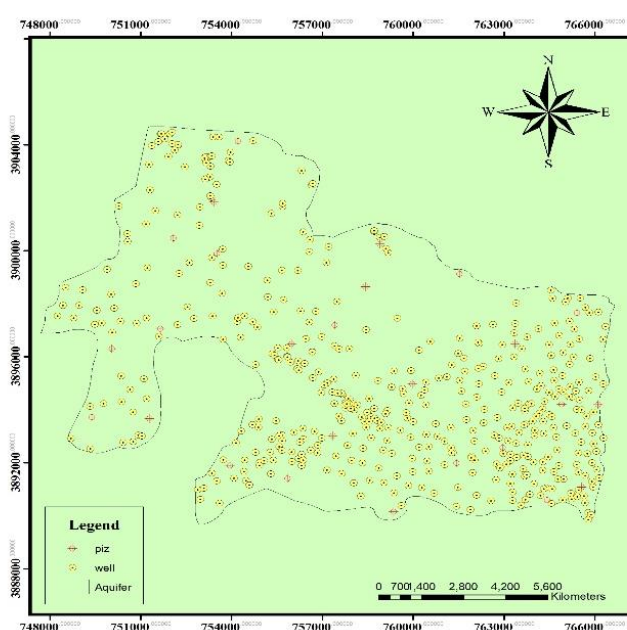
مطالعات پایه

منابع آب

مطالعات هیدروکلیماتولوژی

داده‌های هواشناسی که شامل بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه و اقلیم شناسی (رطوبت نسبی، ساعت-های آفتابی، تبخیر و تعرق) است، از سازمان هواشناسی استان کردستان تهیه گردیده است. دمای متوسط سالانه (۱۳۹۵) در دشت قروه در ایستگاه قروه حدود ۱۱/۷ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی حدود ۳۴۶/۵ میلیمتر برآورد شده است.

منابع آب مورد استفاده در این دشت شامل منابع آب زیرزمینی و منابع آب سطحی است. داده‌های آب زیرزمینی شامل موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، سطح آب زیرزمینی، موقعیت آبخوان و ضرایب هیدرودینامیکی و داده‌های آب سطحی شامل مقاطع خروجی و مقاطع ورودی آبخوان و تخلیه چاه‌های کشاورزی، شرب و صنعت از شرکت آب منطقه ای استان کردستان تهیه گردیده است. شکل ۲ موقعیت مکانی چاه‌های بهره-برداری و توزیع مکانی پیزومترها را در دشت قروه نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت مکانی پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری دشت قروه.

بیان آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه

برای محاسبه بیان نیاز به پارامترهایی می‌باشد که بعضی از این پارامترها به طور مستقیم قابل محاسبه می‌باشند و برخی دیگر را می‌توان از اختلاف حجم و یا نسبت‌های بین آب زیرزمینی و عوامل دیگر مثل تبخیر

بدست آورد. معادله بیان آب زیرزمینی به صورت رابطه زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$\pm \Delta V = (Q_{in} + Q_p + Q_r + Q_i + Q_{sw}) - (Q_{out} + Q_w + Q_d + Q_{et}) \quad [1]$$

Q_{in} = حجم جریان ورودی آب زیرزمینی به محدوده بیان از سمت ارتفاعات

تفاضل محدود و بر اساس معادله پیوستگی زیر حل می-شود (بهرامی و قبادیان ۲۰۱۶).

$$\frac{\partial}{\partial x}[K_x h \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[K_y h \frac{\partial h}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z}[K_z h \frac{\partial h}{\partial z}] = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad [2]$$

که در آن K هدایت هیدرولیکی، h بار پتانسیل، S_y ضریب ذخیره می‌باشد.

مدل مفهومی و عددی آبخوان دشت قروه

ساختار مدل مفهومی آبخوان قروه شامل محدوده

مدلسازی و توزیع اولیه پارامترهای هیدروژئولوژیکی (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه و قابلیت انتقال) میزان تخلیه چاه‌های بهره‌برداری و میزان آب برگشتی از آن‌ها، چاه‌های مشاهداتی، میزان تغذیه از سطح به آبخوان و شرایط مرزی آبخوان است. محدوده مدلسازی بر محدوده بیلان آب زیرزمینی منطبق است. مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی به صورت زون‌بندی و بر اساس قابلیت انتقال آبخوان در نظر گرفته شده است. پارامتر تغذیه بصورت یک زون کلی که هم مرز با آبخوان بود وارد مدل گردید. همچنین مرز آبخوان براساس خطوط جریان و جهت جریان آب زیرزمینی تعیین شد.

در این مرحله واسنجی به دو صورت حالت

ماندگار و غیرماندگار انجام می‌شود. در حالت ماندگار متوسط تراز سطح آب زیرزمینی و متوسط روزانه پارامترهای تغذیه و تخلیه به مدل وارد گردیده و تا تطابق قابل قبول بین سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای در پیزومترها و سطح آب زیرزمینی محاسبه شده به وسیله مدل تنظیم می‌شوند. در حالت غیرماندگار تغییرات ماهانه آبخوان از مرداد ماه سال ۱۳۷۷ برای ۲۱۶ ماه برای ۲۶ پیزومتر واسنجی شده است و مقدار خطای نهایی شبیه سازی را بدست آوردیم. شبیه‌سازی مدل آب‌های زیرزمینی در مرحله صحت سنجی از مرداد ماه سال

Q_p = حجم آب نفوذ یافته از ریزش‌های جوی بر سطح دشت (بارندگی محدوده)

Q_r = حجم آب نفوذ یافته از جریانهای سطحی یا رودخانه ها و تغذیه مصنوعی

Q_i = حجم آب نفوذ یافته از برگشت مصارف کشاورزی در زمین‌هایی که در آن آبیاری صورت می‌گیرد.

Q_{sw} = حجم آب نفوذ یافته از پساب‌های شهری و روستایی به محدوده بیلان

Q_{out} = حجم آب خروجی آب زیرزمینی از محدوده بیلان به آبخوان دشت پایین دست یا کویر یا دریا

Q_w = حجم آب تخلیه شده از آبخوان توسط چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات از محدوده بیلان

Q_d = حجم آب زهکشی شده از آبخوان توسط زهکش‌های طبیعی یا مصنوعی

Q_{et} = حجم آب تبخیر شده از سفره آب زیرزمینی در مناطقی که سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک است.

$\Delta V = \pm$ تغییرات حجم ذخیره آبخوان در محدوده بیلان

بیلان آب زیرزمینی در محدوده دشت قروه در سال ۹۴-۹۳ در حدود ۲/۴۵- میلیون متر مکعب محاسبه شده است (بی‌نام ۲۰۱۵).

مدل آب زیرزمینی MODFLOW

از برنامه رابط GMS که MODFLOW به منظور ساخت مدل مفهومی و عددی آبخوان دشت قروه استفاده می‌شود. مدل عددی GMS بر پایه حل معادله حرکت آب-های زیرزمینی می‌باشد به گونه‌ای که حرکت سه بعدی آب زیرزمینی به وسیله معادله دیفرانسیل جزئی با روش

آفتابی دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۰ به عنوان دوره پایه آماری می‌باشد. پس از مرتب کردن (بر اساس سال میلادی) و ارائه آن به مدل لارس، از داده‌های خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سه سناریوی A1B (جهانی با رشد سریع اقتصادی و جمعیتی است؛ بطوریکه بیشینه رشد جمعیت در نیمه قرن رخ داده و پس از آن روند افزایش جمعیت کاهش خواهد بود)، A2 (الگوی باروری در سراسر مناطق به کندی همگون می‌شوند که نتیجه آن افزایش مداوم جمعیت است. توسعه اقتصادی اصولاً منطقه ای است و سرانه رشد اقتصادی و تغییرات فناوریانه به زیر بخش‌های تفکیک شده و در مقایسه با سایر سناریوها کندتر می‌باشد) و B1 (جهانی همگون با همان افزایش جمعیت که در نیمه قرن حداکثر می‌شود و پس از آن کاهش می‌یابد اما با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی به سمت اقتصاد و خدمات، کاهش حجم کالا و معرفی فناوری‌های منابع کارآمد و پاک توصیف می‌کند. در این سناریو بر راه‌حل‌های جهانی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیطی، به انضمام اصلاح سرمایه‌ها اما بدون تغییرات اضافی اقلیم تاکید شده است) (گودرزی و همکاران ۲۰۱۶)؛ برای تولید داده‌های اقلیمی آتی (۲۰۲۶-۲۰۱۶) استفاده شد.

تعیین میزان تغذیه آب زیرزمینی دشت مورد بررسی در دوره آتی

در نهایت با استفاده از سری‌های زمانی دما و بارش بدست آمده از محاسبات اقلیمی مدل LARS-WG محاسبه میزان تغذیه آب زیرزمینی از منابع سطحی در دوره آتی صورت گرفته است. با توجه به ضریب نفوذ مستقیم از بارش در دشت قروه میزان تغذیه آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برای سالهای ۲۰۲۶-۲۰۱۶ تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 محاسبه شده است. در

۱۳۷۷ طی دوره‌ی ۱۶۳ ماهه انجام شد و نتایج آن با داده‌های مشاهداتی آبخوان مقایسه می‌گردد.

استخراج داده‌های اقلیمی و تولید سناریوهای تغییر اقلیم

تولید سناریوهای تغییر اقلیم

LARS-WG یکی از الگوهای مولد داده‌های آب و هوایی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده بکار می‌رود، در این مدل فرآیند تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی در سه مرحله کالیبره کردن مدل، صحت سنجی مدل و تولید داده‌های هواشناسی انجام می‌گیرد. برای واسنجی مدل ابتدا مشخصات ایستگاه سینوپتیک قروه (نام، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) و داده‌های مشاهداتی ۲۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۹۰) شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش را به مدل وارد کردیم. مدل با استفاده از فایل‌های ورودی و تحلیل داده‌های ایستگاه، مشخصه‌های آماری را تعیین نموده و در مرحله صحت سنجی و تولید سری‌های زمانی استفاده می‌کند. در صحت سنجی مدل مرحله خصوصیات آماری داده‌های آماری و مصنوعی تولید شده توسط مدل جهت تعیین اینکه تفاوت‌های آماری قابل توجهی بین این دو گروه داده وجود دارد مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

تولید داده‌های هواشناسی: در این مرحله داده‌های آب و هوایی با استفاده از فایل‌های بدست آمده از داده‌های آب و هوایی دوره پایه تولید می‌شوند که دارای خصوصیات آماری مشابه با دوره پایه می‌باشد.

در این مطالعه داده‌های هواشناسی شامل داده های روزانه دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش و ساعت

مرحله بعد جهت بررسی تراز سطح آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW به صورت ماهانه به مدل وارد شده است.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل LARS-WG

جهت مقایسه میانگین‌های ماهانه متغیرهای بارندگی، دمای حداقل و دمای بیشینه دوره‌ی پایه

جدول ۱- آماره‌های واسنجی مدل LARS-WG.

مرحله بعد جهت بررسی تراز سطح آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW به صورت ماهانه به مدل وارد شده است.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل LARS-WG

جهت مقایسه میانگین‌های ماهانه متغیرهای بارندگی، دمای حداقل و دمای بیشینه دوره‌ی پایه

جدول ۱- آماره‌های واسنجی مدل LARS-WG.

سناریو انتشار	پارامتر	MAD	MSE	MAPE	RMSE	R ²	MAE
A1B	بارش	۲/۶۸	۱۹/۳۰	-۲۲/۰۵	۴/۳۹	-۰/۹۵۶	۲/۶۸
	دمای کمینه	۰/۲۲	۰/۰۸	۱۹/۱۴	۰/۲۸	-۰/۹۹۹	۰/۲۲
	دمای بیشینه	۰/۳۱	۰/۱۵	۴/۵۵	۰/۳۸	-۰/۹۹۹	۰/۳۱
A2	بارش	۳/۷۳	۲۵/۵۴	-۰/۳۷	۵/۰۵	-۰/۹۴۱	۳/۷۳
	دمای کمینه	۰/۲۰	۰/۰۶	۲۵/۵۳	۰/۲۵	-۰/۹۹۹	۰/۲۰
	دمای بیشینه	۰/۳۴	۰/۱۸	۴/۰۵	۰/۴۲	-۰/۹۹۸	۰/۳۴
B1	بارش	۳/۶۱	۲۳/۰۴	-۰/۷۳	۴/۸۰	-۰/۹۴۷	۳/۶۱
	دمای کمینه	۰/۲۷	۰/۱۱	۱۰/۵۴	۰/۳۴	-۰/۹۹۸	۰/۲۷
	دمای بیشینه	۰/۳۵	۰/۱۶	۶/۵۷	۰/۴۰	-۰/۹۹۹	۰/۳۵

واسنجی مدل ماندگار

مقادیر خطای نهایی شبیه‌سازی بدست می‌آید. مقدار هدایت هیدرولیکی یا KH با توجه به نبود اطلاعات برداشتی از ضرایب قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان با استفاده از محاسبات روابط قابلیت انتقال به منطقه اطلاق گردید. در نهایت در دوره واسنجی بلند مدت ۲۱۶ ماهه، برای پارامتر مذکور با میانبایی وزن فاصله معکوس (IDW) نقاط با داده‌های مشخص، مقادیر هدایت

جهت واسنجی، شبیه‌سازی نقشه تراز سطح آب زیرزمینی، نقشه هم ارتفاع سنگ کف و شبیه‌سازی تراز سطح زمین توسط مدل به ترتیب بر اساس داده‌های سطح آب در پیزومترها، نقاط هم ارتفاع سنگ کف و نقشه توپوگرافی انجام می‌گیرد. در حالت ماندگار پارامتر هدایت هیدرولیکی و در حالت غیرماندگار پارامتر آبدی ویژه واسنجی می‌گردند و در محل هر یک از پیزومترها

⁴ Mean absolute percentage error

⁵ Mean Absolute Error

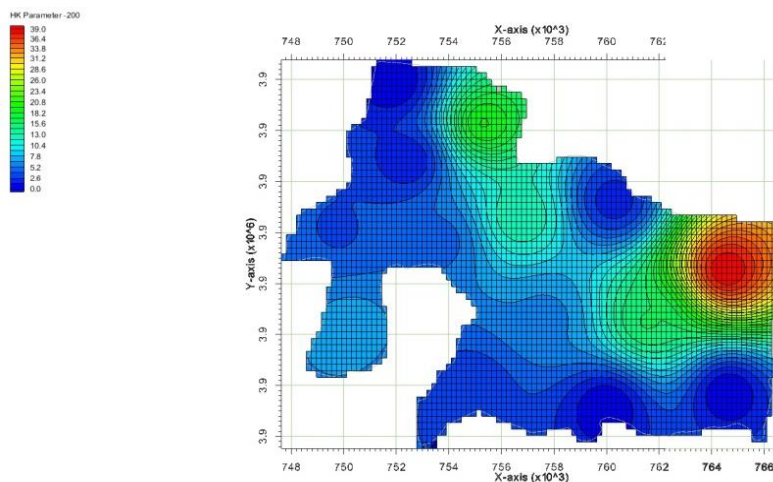
⁶ Coefficient of Determination

¹ Mean Absolut Deviation

² Mean Square Error

³ Root Mean Square Error

هیدرولیکی در آن بین دو عدد ۰ و ۳۸/۹۰۳ متغیر شده است.

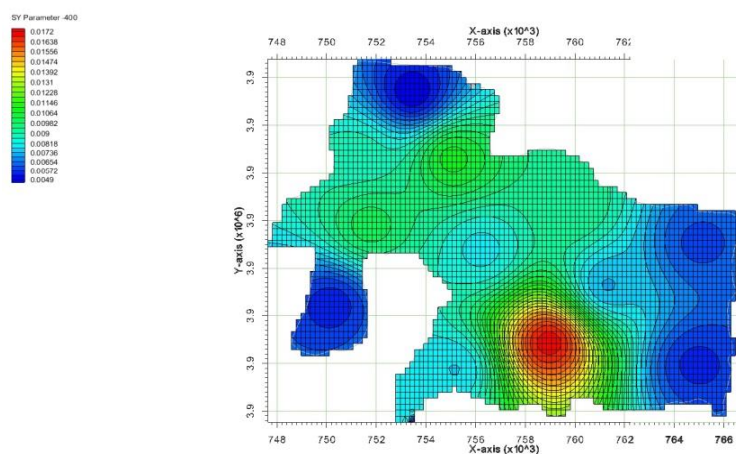


شکل ۳- مقدار هدایت هیدرولیکی یا KH.

سوم مدل سازی با توجه به نبود محاسبات صحرایی و آزمایشگاهی به مقدار ۰/۰۰۶۵ به تمام سلولها معرفی گردید. در دوره واسنجی بلند مدت ۲۱۶ ماهه، برای پارامتر مذکور با میانمایی IDW نقاط با دادههای مشخص، مقادیر در آن بین دو عدد ۰/۰۰۴ و ۰/۰۱۷ متغیر است.

واسنجی مدل غیرماندگار

در حالت غیرماندگار پارامتر آبدهی ویژه واسنجی شد و در محل هر یک از پیزومترها مقادیر خطای نهایی شبیه سازی بدست می آید. مقدار آبدهی ویژه یا S_Y در گام

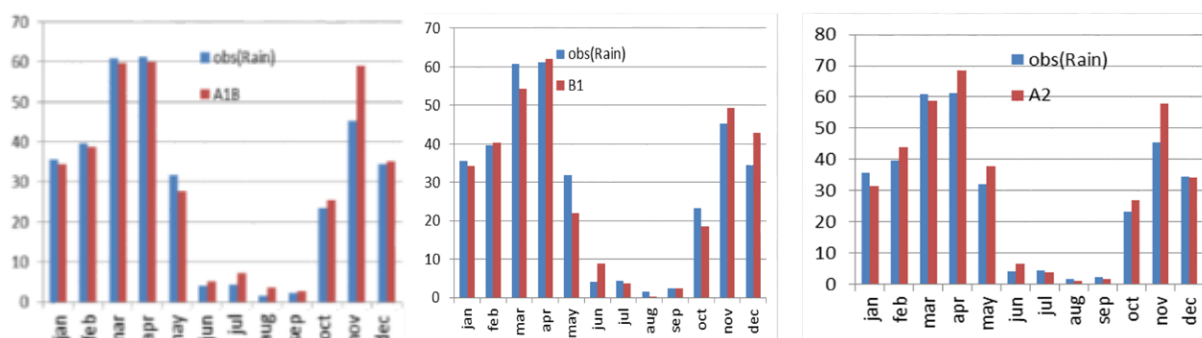


شکل ۴- مقدار آبدهی ویژه یا SY.

نشان می دهد. نمودارهای زیر مقایسه بین دادههای بارش پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۰) و دادههای پیش بینی شده (۲۰۲۰-۲۰۳۰) در سه سناریو A1B، A2 و B1 است.

شبیه سازی متغیرهای اقلیمی و سطح آب زیرزمینی

بارندگی ماهانه در دوره آتی نسبت به بارندگی در دوره پایه نوسانات کمتری را برای هر سه سناریو

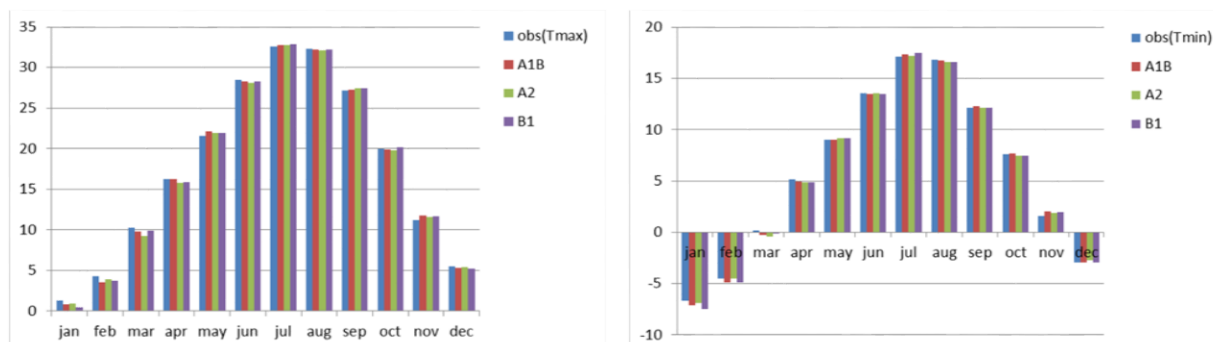


شکل ۵- نمودار مقایسه داده‌های بارش پایه و پیش‌بینی.

دما

کمینه ماهانه در دوره پایه (۱۹۹۰-۲۰۱۰) در هر سه سناریو روند افزایشی داشته است. نمودارهای زیر مقایسه بین داده‌های دمای کمینه و بیشینه پایه و داده‌های پیش‌بینی شده در سه سناریو A1B، A2 و B1 است.

طبق شکل ۶ میانگین دمای کمینه و بیشینه ماهانه در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۰) نسبت به میانگین دمای



شکل ۶- نمودار مقایسه داده‌های دمای پایه و پیش‌بینی.

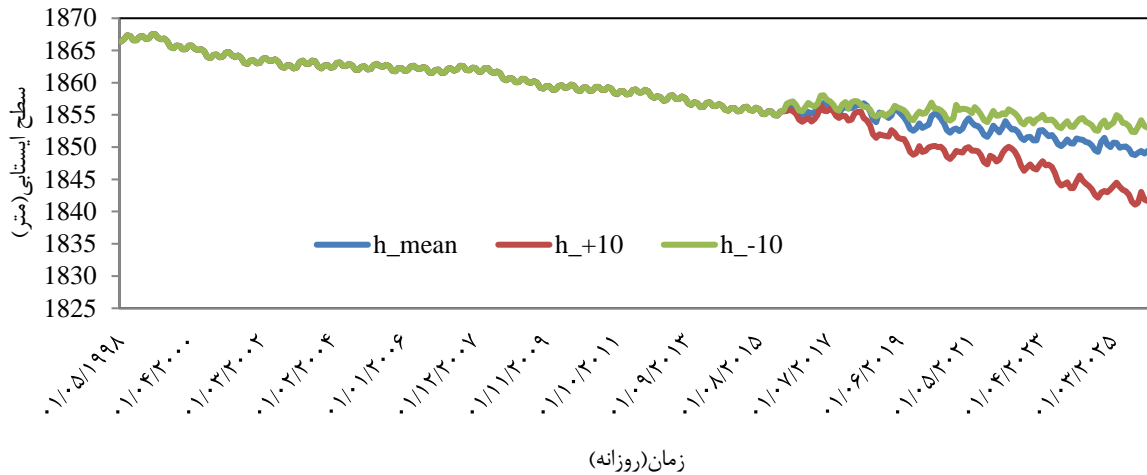
سطح آب زیرزمینی

سناریوی دوم با اعمال بارش پیش‌بینی شده از سناریو A2 و افزایش ده درصد برداشت از چاه‌ها در دوره آتی مشاهده می‌شود که سطح آب در دشت قروه بطور چشم‌گیری افت می‌کند (h_{+10}). همچنین در سناریوی سوم با اعمال بارش پیش‌بینی شده از سناریو B1 و کاهش ده درصد دبی برداشتی از چاه‌ها مشاهده شد که از روند کاهشی سطح آب کاسته می‌شود و سطح آب در آبخوان بالاتر می‌رود (h_{-10}). آموهیلان و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی که به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی

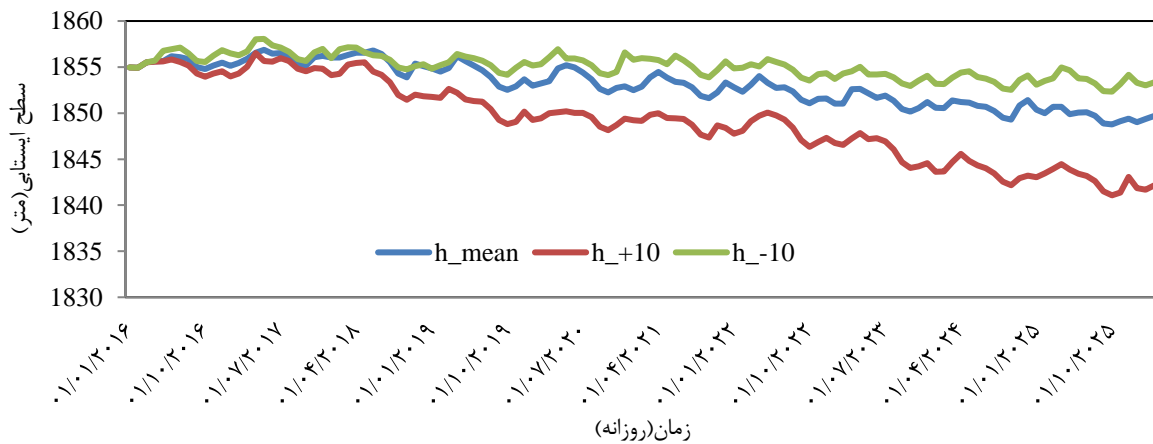
پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی برای سناریوهای مختلف برداشت از آبخوان در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. در سناریوی اول با فرض یکسان بودن روند برداشت از چاه‌ها در دوره آتی با دوره پایه و پیش‌بینی بارش از سناریو حد متوسط A1B حتی با وجود افزایش تغذیه در دوره آتی افت سطح آب در آبخوان به علت بهره‌برداری بیش از حد قابل مشاهده است (h_{mean}).

۵۰ سال آینده حدود ۱۰۵ متر کاهش می یابد اما با کاهش ۱٪، ۲٪ و ۳٪ میزان آب برداشتی از آبخوان سطح آب زیرزمینی افزایش می یابد.

آبخوان آل-قاسم در عربستان با شبکه مصنوعی و منطق فازی در فضای سه بعدی MODFLOW پرداختند دریافتند که با نرخ پمپاژ موجود سطح آب زیرزمینی در



شکل ۷- هیدروگراف سطح ایستابی دشت قروه ۱۹۹۸-۲۰۲۶.



شکل ۸- هیدروگراف پیش بینی سطح ایستابی دشت قروه ۲۰۱۶-۲۰۲۶.

ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا با استفاده از مدل LARS-WG و ادغام سناریوهای پیش بینی آن با مدل MODFLOW، تاثیر تغییر اقلیم بر تغذیه و سطح آبخوان دشت قروه در دوره آتی بررسی شده و مشخص می‌شود که با همین روند برداشت از آبخوان و اعمال بارش پیش بینی شده از مدل لارس تحت سناریو A1B در تغذیه منطقه سطح آب زیرزمینی سالانه در حدود ۶۰ سانتیمتر

نتیجه‌گیری کلی

همانطور که گفته شد بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرزمینی به دلیل اینکه کشور ایران جزء کشورهای خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود و همچنین به دلیل بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت زیاد تراز آب زیرزمینی از اهمیت

جهت کنترل و همچنین کاهش برداشت از آبخوان نیاز است تا افت سطح آبخوان و اثرات جبران ناپذیر آن بر منابع آب جلوگیری شود.

تشکر و قدردانی

از سازمان هواشناسی استان کردستان و شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان به دلیل همکاری در دادن اطلاعات مورد نیاز پژوهش تشکر می‌نمایم.

افت می‌کند. همچنین با افزایش ده درصدی حجم برداشتی از چاه‌ها و اعمال بارش پیش بینی شده از سناریو A2 میزان افت سطح ایستابی بطور چشم‌گیری افزایش یافته و سالانه در حدود ۱۱۷ سانتیمتر کاهش در سطح ایستابی دشت خواهیم داشت. با کاهش ده درصدی حجم برداشت شده از چاه‌ها در سالهای آتی و اعمال بارش پیش‌بینی شده از سناریو B1، مشاهده شد که مقدار افت سطح ایستابی نسبت به سالهای گذشته کاهش یافته و در سطح ایستابی سالانه حدود ۳۳ سانتیمتر کاهش را خواهیم داشت. لذا به مدیریت و برنامه ریزی اصولی

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2015. Report on the extension of the ban on the Qorve- Dehgolan plain of the Kurdistan Regional Water Company. Water Resources Studies.
- Ansari S, Messah Bavani AR and Rozbahani A, 2014. Effect of climate change on groundwater recharge (Case study: Sefid Dasht Plain). Journal Water and Soil 30(2): 416-431. (In Persian with English abstract)
- Nakhaei M and Saberinasr A, 2012. Prediction of groundwater level fluctuations in Qorveh plain using wavelet neural network and comparison with MODFLOW numerical model. Journal of Advanced Applied Geology 2(2): 47-58. (In Persian with English abstract)
- Ghobadian R and Bahrami Z, 2017. Numerical analysis of applying quantitative and qualitative scenarios on Khezel Aquifer in Hamedan Province with MODFLOW & MT3DMS models. Journal of Range and Watershed Management 69(4): 1043-1062. (In Persian with English abstract)
- Goodarzi M, Hosseini A and Mesgari I, 2015. Meteorological Models, Zanjan: Azarkalak Publications.
- Eckhardt K and Ulbrich U, 2002. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. Journal of Hydrology 284: 244-252.
- Malekzadeh M, Kardar S and Shabanlou S, 2019. Simulation of groundwater level using MODFLOW, extreme learning machine and Wavelet-Extreme Learning Machine models. Groundwater for Sustainable Development 9(100279): 1-36.
- Dong Y, Li G and Xu H, 2012. An aerial recharge and discharge simulating method for MODFLOW. Computers and Geosciences 42: 203-205.
- Lachaal F, Mlayah A, Bédir M, Tarhouni J and Leduc Ch, 2012. Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zéramdine-Béni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia). Computers and Geosciences 48: 187-198.
- Coelho C, Caroline A, Faria S, Antonio E and Marques G, 2017. Comparative analysis of different boundary conditions and their influence on numerical hydrogeological modeling of Palmital watershed, southeast Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies 12: 210-219.
- Patila NS, Chetan NL, Nataraja M and Sutharb S, 2020. Climate change scenarios and its effect on groundwater level in the Hiranyakeshi watershed. Groundwater for Sustainable Development, 10 (100323).
- Yousefi H, Zahedi S, Niksokhan MH and Momeni M, 2019. Ten-year prediction of groundwater level in Karaj plain (Iran) using MODFLOW2005-NWT in MATLAB. Environmental Earth Sciences 78(343): 1-14.
- Shafie M, Musae Sanjari M and Almodaresi A, 2019. Investigating the impact of climate change on groundwater level using ARIMA and GCM models and GIS modeling in Abarkoh Plain, Yazd. Pp.1-11.

Proceedings of the 2th International Application of Advanced Spatial Models (Remote Sensing and GIS) to Land Preparation Conference. 28 February, Yazd, Iran.

Jamalizadeh MA, Bazrafshan O, Mahdavi Najafabadi R, Azareh A and Rafiee Sardoei E, 2020. Forecasting of groundwater fluctuations using time series and GMS models (Case Study: Rafsanjan Plain). Iranian Journal of Ecohydrology 7(1): 97-109. (In Persian with English abstract)