نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۳۹۷-۱۳۸۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1388-1397

برآورد تأثیر تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی بر تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی

محمد مهدی انصاری فر[۱]، میثم سالاری جزی[۲*]، خلیل قربانی[۳]، عبدالرضا کابلی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

چکیده

در اغلب موارد آب زیرزمینی در آبخوان‌های ساحلی مهم‌ترین منبع تأمین آب با کیفیت مناسب است. تغییر در متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می تواند تأثیر قابل توجهی بر آبخوان ساحلی داشته باشد. در این مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر آبخوان ساحلی بندرگز در شمال ایران با استفاده از سناریوهای گزارش پنجم هیات بین الدول تغییر اقلیم (IPCC) بررسی گردید. همچنین تغییرات متغیرهای هیدرولوژیکی به صورت تغییر در تراز سطح آب دریا، مقادیر تغذیه و همچنین تخلیه آبخوان با استفاده از مدل عددی بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل مورد استفاده از اعتمادپذیری مناسب برای انجام این تحقیق برخوردار بوده است. بررسی سناریو خوش بینانه مؤید آن است که در آینده تغییرات قابل توجهی در ذخیره منابع آب آبخوان ساحلی بندرگز روی نخواهد داد. نتایج سناریو بد بینانه مؤید آن است که در آینده نزدیک (سال ۲۰۴۰) بخش نسبتاً محدود از آبخوان دچار کاهش تراز سطح آب زیرزمینی می‌شود اما در آینده میانی (سال ۲۰۷۰) بخش گسترده‌ای از آبخوان با این مشکل مواجه خواهد بود و افت ۳ تا ۷ متر را تجربه خواهد کرد. همچنین در آینده دور (۲۱۰۰) کاهش تراز سطح آب در بخش‌های میانی آبخوان در محدوده ۱۰ تا ۱۳ متر خواهد بود.

واژه های کلیدی: آبخوان ساحلی، تغییر اقلیم، تغییرات برداشت و تغذیه، تراز سطح آب دریا

مقدمه

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی آبیاری و تولید مواد غذایی در بسیاری از کشورهای جهان است (Salem et al., 2018). تغییرات اقلیمی و افزایش فعالیت‌های انسانی بر سیستم‌های آب زیرزمینی ساحلی در سراسر جهان تاثیر خواهد گذاشت (Oude Essink et al., 2010) و تغییرات اقلیمی باعث تشدید اهمیت استراتژیک آب‌های زیرزمینی به منظور تامین آب و غذا خواهد شد (Taylor et al., 2013). سازگاری با تغییرات اقلیمی مستلزم شناخت کافی از تاثیرات این تغییرات بر منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Benabdallah et al., 2018). بنابراین بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است و به همین جهت مطالعات متعددی در سراسر جهان به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی صورت گرفته است (Earman and Dettinger., 2011).

یوسف و همکاران (۲۰۰۲) در نورفک انگلستان اثرات تغییرات اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW و تحت دوسناریو انتشار در آینده نزدیک و میانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تحت هر دو سناریو در پاییز میزان تغذیه کاهش پیدا خواهد کرد که دلیل آن می‌تواند کاهش بارش در تابستان و افزایش تبخیر و تعرق در پاییز باشد. پژوهشی در آبخوانی در بلژیک با هدف بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی در قالب سه سناریو اقلیمی مرطوب، سرد، خشک صورت گرفت و نتایج سناریوها بر آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW بررسی شد که نشان داد در سناریو مرطوب سطح آب زیرزمینی تا ۰/۷۹ متر افزایش خواهد داشت (Woldeamlak et al., 2007).

نتایج مطالعه یک آبخوان ساحلی چائویا در مراکش که با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی عددی انجام شد نشان داد این آبخوان ساحلی نسبت به تغییرات بارش از حساسیت کمی در مقایسه با فعالیت‌های انسانی برخوردار است و کاهش شدید منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد بررسی به پمپاژ فشرده در طول دوره خشکسالی مربوط می‌شود (Moustadraf et al., 2008). مطالعه دیگری در آبخوان ساحلی سایدیا در مراکش نشان می دهد که تغییر اقلیم همراه با تغییرات تراز سطح آب مقدار منابع آب تجدیدپذیر در این آبخوان ساحلی را به شکل قابل توجهی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- کارشناس ارشد هیدروژئولوژی شرکت آب منطقه‌ای گلستان
(* - نویسنده مسئول: Email: meysam.salarijazi@gmail.com)

دچار کاهش خواهد کرد و همچنین کیفیت آب این آبخوان کاهش خواهد یافت (Carneiro et al., 2010). علی و همکاران (۲۰۱۲) در جنوب غربی استرالیا با در نظر گرفتن دوره‌های مختلف آب و هوایی گذشته و با استفاده از مدل‌های جهانی تغییرات آب و هوایی تحت سناریوهای مختلف اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی ساحلی در جنوب غربی استرالیا بررسی کردندکه نتیجه نشان داد در هر منطقه با توجه به اقلیم مورد نظر اثرات متفاوتی از تغییر پارامترهای اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی حاصل می‌شود. بررسی‌های استیگتر و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد تغییر اقلیم می‌تواند تأثیر کاملاً قابل ملاحظه‌ای بر تغییرات تراز سطح آب در آبخوان‌های ساحلی مورد مطالعه (سه آبخوان ساحلی در کشورهای اسپانیا، مراکش و پرتغال) داشته باشد، بنابراین اثرات تغییر اقلیم باید در برنامه‌ریزی برای آبخوان‌های ساحلی در افق بلند مدت مورد توجه قرار گیرد.

الازوئی و همکاران (۲۰۱۵) اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی را بر آبخوان برشید مراکش مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تحت سناریوی B1 بارش ۹ درصد و تحت سناریوی A1B این پارامتر ۱۹ درصد کاهش خواهد داشت و سطح آبخوان نیز دچار افت خواهد شد. گرمازی و همکاران (۲۰۱۸) در مصر به بررسی اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر آب زیرزمینی پرداختند که نتایج نشان داد فعالیت‌های انسانی بیشتر از تغییرات آب و هوایی بر تغییرات آب زیرزمینی در منطقه مورد بررسی موثر بوده است. مطالعه‌ی قضاوی و ابراهیمی (۲۰۱۸) در ایلام با هدف بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW نشان داد میزان تغذیه به آب‌های زیرزمینی با توجه به کاهش میانگین بلند مدت بارش کاهش خواهد یافت. منابع آب در مناطق ساحلی می‌توانند به طور گسترده تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار گیرند (Feng et al., 2018). در حالی که تغییرات اقلیمی به طور مستقیم

بر آب‌های سطحی از طریق تغییرات بارش، دما و تبخیر اثر می‌گذارند اما بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی پیچیده‌تر است (Kumar., 2016).

آبخوان‌های ساحلی به علت ارتباط با دریا از پیچیدگی بیشتری نسبت به سایر آبخوان‌ها برخوردار هستند و از طرف دیگر به علت تغییرات تراز سطح دریا به شکل موثرتری تحت تاثیر تغییرات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی قرار می‌گیرند و بنابراین

برآورد تاثیر تغییرات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی از اهمیت خاصی برخوردار است (Ansarifar et al., 2019). هدف از این مطالعه بررسی تاثیرات تغییر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر منابع آب زیرزمینی آبخوان ساحلی بندرگز در شمال ایران است. این آبخوان ساحلی در ارتباط با خلیج گرگان است و با توجه به افزایش برداشت از آن، پیش بینی پاسخ آبخوان به تغییرات بلند مدت متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی ضروری است.

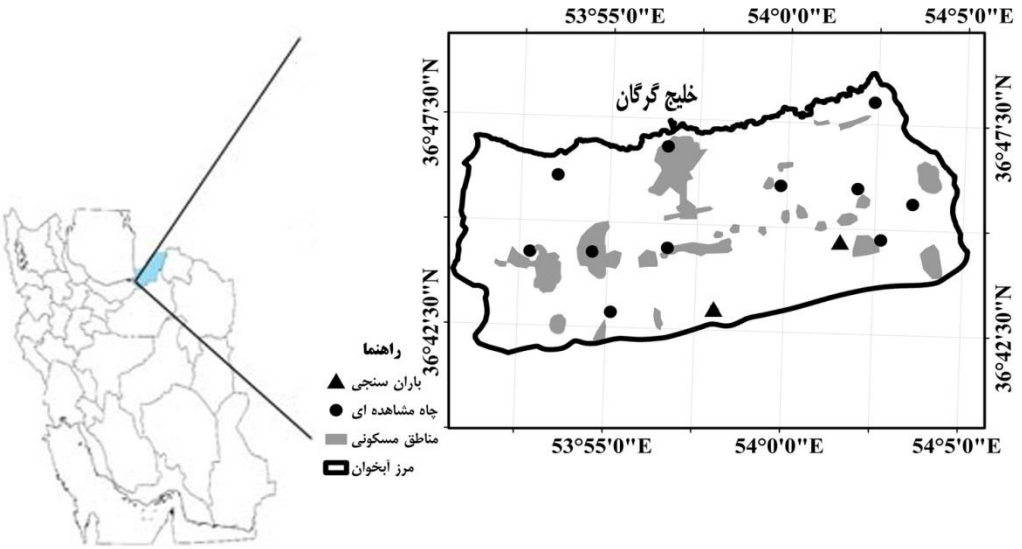
مواد و روش ها

معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه آبخوانی ساحلی در شمال ایران و در غرب استان گلستان است. این منطقه از شمال به دریای خزر و از جنوب توسط ارتفاعات البرز محدود شده است. دامنه نوسانات حرارتی (فاصله حداقل مطلق تا حداکثر مطلق) در فصل پاییز و بهار بیشتر از سایر فصول می‌باشد و همچنین تغییرات سالانه درجه حرارت با ارتفاع به ازای افزایش هر صد متر ارتفاع ۰/۴۸- درجه سانتیگراد است. ماه‌های آذر و دی ماه (اواخر پاییز و اوایل زمستان) پر باران‌ترین و خرداد تا شهریور کم باران‌ترین ماه‌های سال می‌باشند. در تمام ایستگاه‌ها کمترین میزان بارندگی ماهانه مربوط به ماه‌های خرداد و تیر و بیشترین میزان بارندگی مربوط به آبان، اسفند و فروردین می‌باشد. متوسط دراز مدت بارندگی سالانه در این منطقه بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلیمتر می‌باشد. با توجه به آمار موجود، بهره برداری از آب‌های زیرزمینی در این منطقه به منظور کشاورزی، شرب و صنعت در مجموع به وسیله‌ی ۹۷۱ حلقه چاه عمیق و کم عمق با حجم تخلیه سالانه ۲۸/۱۸ میلیون مترمکعب انجام می‌گیرد. همچنین تراز سطح آب زیرزمینی در سطح آبخوان به خصوص در ناحیه شمالی آن در عمق کمی از سطح زمین قراردارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور را نشان می‌دهد.

شبیه سازی آب زیرزمینی

شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در دشت مورد مطالعه انجام گرفت. بدین منظور ابتدا اطلاعات مورد نیاز فرآیند مدل‌سازی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به فرمت مورد نیاز مدل GMS تبدیل شد. این اطلاعات شامل توپوگرافی سطح زمین و تراز سنگ کف، مقدار تخلیه و تغذیه، چاه‌های مشاهده‌ای و اطلاعات هیدرودینامیکی می‌باشد. به نحوی که اطلاعات اولیه اخذ شده با توجه به زمان و مکان مورد مطالعه در نرم افزار اکسل دسته بندی گردید و اطلاعاتی که مورد نیاز بود در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به فرمت مورد نیاز مدل‌سازی یعنی انواع شیپ فایل‌ها و لایه‌های رستری تبدیل شد. شرایط مرزی مطابق با شرایط منطقه در نظر گرفته شد یعنی مرز شمالی آبخوان به دلیل ارتباط مستقیم با دریا از نوع مرز با هد ثابت و مقدار هد آب در هر ماه متناسب با هد دریا در ماه مورد نظر به مدل معرفی گردید همچنین سه مرز شرقی، غربی و جنوبی آبخوان نیز از نوع مرز جنرال هد در نظر گرفته شد سپس با استفاده از اطلاعات اولیه مدل ساخته شده اجرا گردید.



شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

با توجه به خطای محاسبه شده تراز سطح آب زیرزمینی با مقادیر مشاهداتی، لازم شد در شرایط پایدار و ناپایدار اطلاعات اولیه مورد واسنجی قرار گیرند. ابتدا در شرایط پایدار یعنی مهرماه ۱۳۹۰مقدار هدایت هیدرولیکی مورد واسنجی قرار گرفت و مقادیر بهینه‌ی این پارامتر با توجه به تراز سطح آب شبیه‌سازی شده بدست آمد. سپس مدل در شرایط ناپایدار از آبان ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱ مورد واسنجی مجدد قرار گرفت تا مقادیر بهینه‌ی ضریب آبدهی ویژه نیز بدست آید. بعد از اینکه مدل در شرایط پایدار و ناپایدار با دقت مناسب واسنجی شد مدل موجود در طول یک سال یعنی از مهرماه ۱۳۹۱ تا شهریور۱۳۹۲ مورد صحت سنجی قرار گفت و با توجه به معیارهای ارزیابی دقت مدل در هر دو مرحله واسنجی و صحت سنجی تایید شد. شکل۲ فلوچارت روند شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی که با استفاده از آن تراز سطح آب زیرزمینی محاسبه می‌شود به شکل رابطه ۱ می‌باشد.

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_{xx}\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(k_{yy}\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(k_{zz}\frac{\partial h}{\partial z})-w=s_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱)$$

که در این معادله k_{xx}، k_{yy}، k_{zz} ضرایب هدایت هیدرولیکی در راستای x، y و z همچنین h بار هیدرولیکی، w شار حجمی یا میزان تخلیه و تغذیه برحسب حجم، S_S مقدار ضریب ذخیره و t زمان می‌باشد (Shukla and Singh., 2018) معادله‌ی فوق با شرایط مرزی مناسب در MODFLOW مقدار سطح آب را در بازه‌های زمانی متفاوت و نقاط مختلف محاسبه می‌کند.

ارزیابی مدل

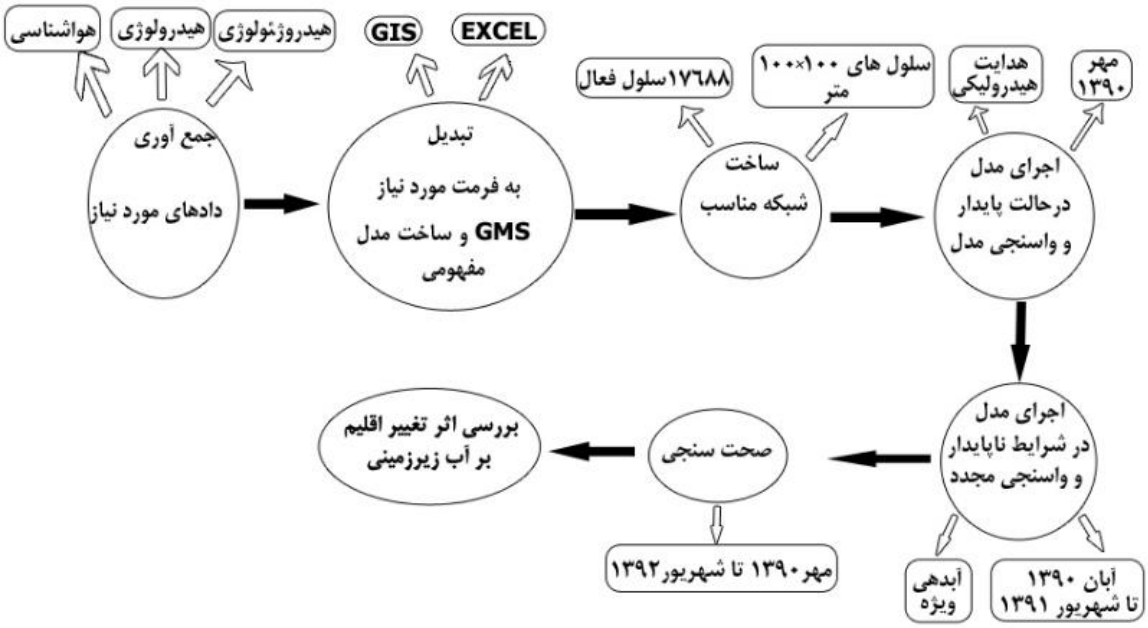
مدل واسنجی شده با استفاده از معیارهای RE-MSE مورد ارزیابی قرار گرفت. این معیارها با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شوند. بهترین مقدار برای معیارMSE صفر و برای معیار RE یک می‌باشد (Maiti and Tiwari., 2014 and Ali-Askari et all., 2017). در روابط ارائه شده y_i مقادیر شبیه‌سازی شده و x_i مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

$$RE=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}x_i^2} \quad (۲)$$

$$MSE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i-x_i)^2 \quad (۳)$$

تغییر اقلیم

مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی در گزارش پنجم خود از سناریوهای انتشار جدیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0، RCP8.5 استفاده می‌کند. در گزارش پنجم از خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شود. در سناریو انتشار RCP2.6 حداکثر واداشت تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ به ۳وات بر مترمربع و غلظت دی اکسید کربن به ۴۹۰ppmخواهد رسید و پس از آن روند کاهشی خواهد گرفت به نحوی که در سال ۲۱۰۰ واداشت تابشی به ۲/۶ وات بر متر مربع خواهد رسید.



شکل۲- فلوچارت روند شبیه سازی

در سناریو انتشار RCP4.5 واداشت تابشی حداکثر ۴/۵ وات برمتر مربع بوده و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت مانده و غلظت دی اکسید کربن به ppm ۶۵۰ رسیده و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند. در سناریو انتشار RCP6 تا سال ۲۱۰۰ میزان واداشت تابشی به ۶ وات برمترمربع و غلظت دی اکسید کربن به ppm۸۵۰ خواهد رسید و پس از آن ثابت خواهد شد. در سناریو انتشار RCP8.5 واداشت تابشی به بیش از ۸/۵ وات بر مترمربع و همچنین غلظت دی اکسید کربن به ppm ۱۳۷۰در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید (Van Vuuren et al., 2011 and Hori et al., 2018). به دلیل اینکه هدف این پژوهش بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در دو حالت بدبینانه و خوش بینانه بود در این پژوهش از نتایج سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 استفاده می‌شود.

نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی آب زیرزمینی

بررسی معیارهای ارزیابی مدل می‌تواند به نتیجه گیری مشخص و کمی در مورد دقت مدل منجر شود. در جدول شماره ۱ دقت مدل به ازای ماه‌های مختلف ارائه شده است که نشان می‌دهد مدل واسنجی شده با استفاده از معیارهای معرفی شده دقت کاملاً قابل قبولی دارد. در دوره واسنجی با توجه به معیارها در ماه اول و ماه‌های نیمه دوم دوره، مقدار معیار RE از ماه‌های میانی بیشتر است و مقدار معیار MSE نیز تقریباً در این ماه‌ها مقدار کمتری را نشان می‌دهد که نشان دهنده دقت بالاتر شبیه‌سازی در این بازه زمانی نسبت به سایر ماه‌ها می‌باشدکه این الگو تقریباً در دوره صحت سنجی نیز مشاهده می‌شود.

در شکل ۲ نمودار تراز سطح آب شبیه سازی شده در مقایسه با مقادیر مشاهده شده ارائه شده است. این نمودار نشان می‌دهد دقت تراز سطح آب زیرزمینی شبیه سازی شده در مقایسه با مقادیر مشاهده شده بسیار مناسب است و می‌توان با اعتمادپذیری مناسب از مدل شبیه‌سازی به منظور اعمال سناریوهای مدیریتی مانند تأثیر تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی بر تراز سطح آب زیرزمینی در این آبخوان ساحلی استفاده نمود.

نتایج بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی

تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌تواند بر تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان نقش داشته باشد. با توجه به اینکه برای در نظر گرفتن تغییرات پارامترهای اقلیمی نیاز به استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم است و همچنین برآورد تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی نیازمند برآورد است تغییرات این دو دسته متغیر در دو بخش جداگانه ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی در دو حالت خوش بینانه و بد بینانه در نظر گرفته شده است. بنابراین می‌توان تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی بندرگز را در دو حالت خوش بینانه و بد بینانه در آینده برآورد نمود.

جدول۱- نتایج معیار های ارزیابی مدل شبیه سازی در دوره های واسنجی و صحت سنجی

دوره	زمان	RE	MSE	دوره	RE	MSE
	مهر	۰/۹۹۹	۰/۱۷		۰/۹۹۸	۰/۴۳
	آبان	۰/۹۹۷	۰/۶۸		۰/۹۹۹	۰/۲۴
	آذر	۰/۹۹۸	۰/۳۱		۰/۹۹۹	۰/۲۸
	دی	۰/۹۹۸	۰/۵۸		۰/۹۹۸	۰/۳۳
	بهمن	۰/۹۹۸	۰/۴۳		۰/۹۹۷	۰/۷۷
واسنجی	اسفند	۰/۹۹۸	۰/۴۱	صحت سنجی	۰/۹۹۸	۰/۵۱
	فروردین	۰/۹۹۸	۰/۵۵		۰/۹۹۷	۰/۶۲
	اردیبهشت	۰/۹۹۹	۰/۳۱		۰/۹۹۸	۰/۴۳
	خرداد	۰/۹۹۹	۰/۱۵		۰/۹۹۹	۰/۲۴
	تیر	۰/۹۹۹	۰/۱۸		۰/۹۹۹	۰/۲۲
	مرداد	۰/۹۹۹	۰/۲۱		۰/۹۹۹	۰/۱
	شهریور	۰/۹۹۸	۰/۲۷		۰/۹۹۸	۰/۳۱

سناریو RCP2.6 می‌تواند به عنوان سناریو خوش بینانه تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده درنظر گرفته شود. نتیجه سناریو RCP2.6 نشان می‌دهد مقدار بارش در محدوده مورد مطالعه در انتهای هر سه دوره(نزدیک، میانی و دور) افزایش خواهد یافت. همچنین دیگر نتیجه این سناریو نشان می‌دهد که مقدار درجه حرارت نیز در سال‌های آینده افزایش خواهد یافت. سناریو RCP8.5 به عنوان سناریو بدبینانه تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده درنظر گرفته می‌شود. نتایج سناریو RCP8.5 نیز نشان می‌دهد مقدار بارش و درجه حرارت در آینده افزایش خواهد یافت.

تأثیرات تغییر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر آب زیرزمینی تحت دو سناریو خوش بینانه و بدبینانه مورد بررسی قرار گرفت. این دوسناریو شامل:

۱- سناریو خوش بینانه آب وهوایی (RCP2.6) + برداشت از آب زیرزمینی با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰+عدم تغییر تراز سطح دریای خزر تا سال ۲۱۰۰

۲- سناریو بد بینانه آب وهوایی (RCP8.5) + برداشت از آب زیرزمینی با نرخ افزایش ۲ درصد به ازای هر سال تا سال ۲۱۰۰ + کاهش ۵ متری تراز سطح دریای خزر در انتهای دوره ۲۱۰۰

نتایج بررسی اثر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی تحت دو سناریو فوق بررسی شد و نتیجه‌ی تغییرات مقدار متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در شکل ۴ ارائه شده است. بررسی این نمودار نشان می‌دهد در حالت خوش بینانه (سناریو۱) افت محسوسی تا سال ۲۱۰۰ در دشت بندرگز اتفاق نخواهد افتاد.

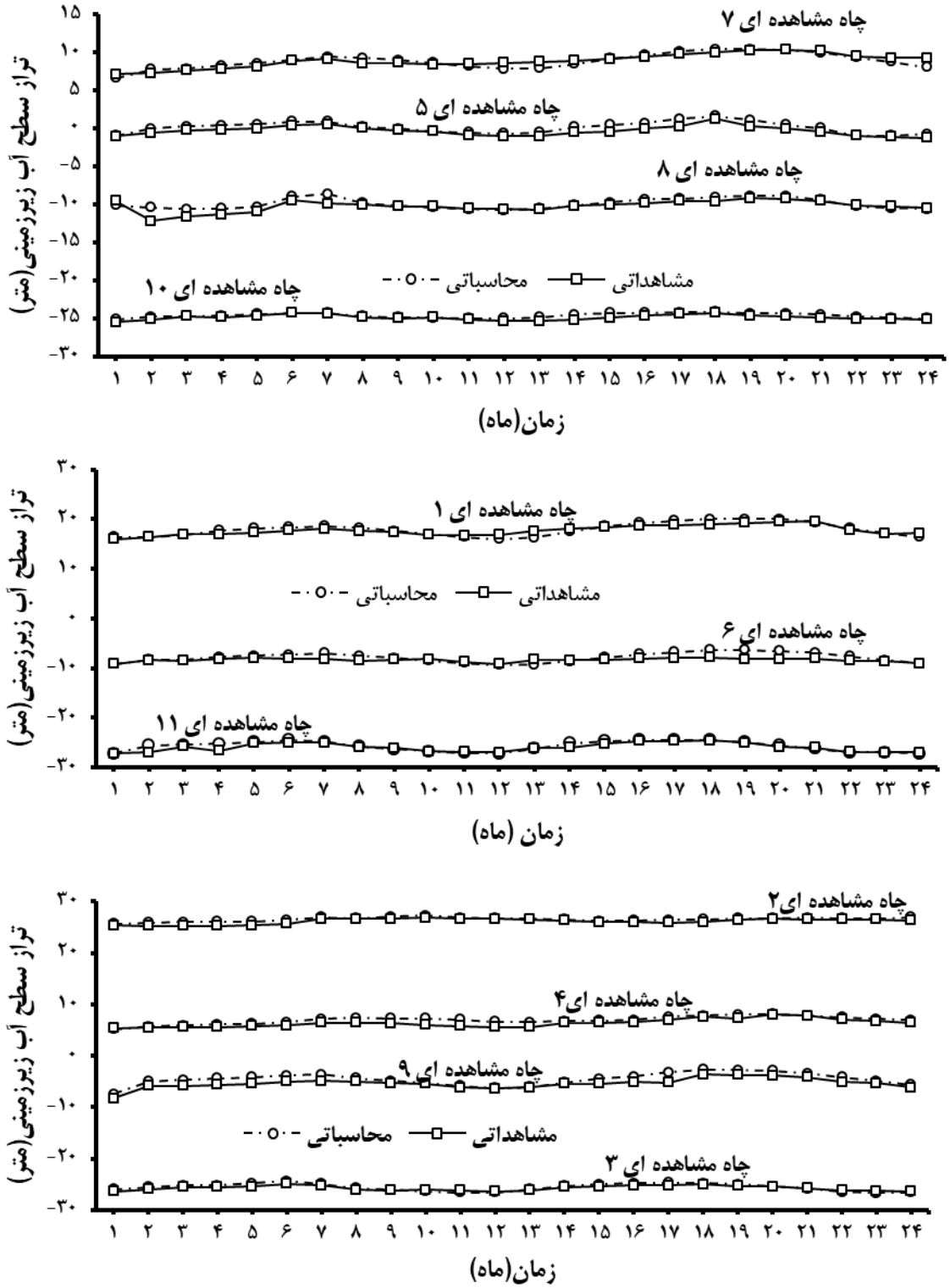
اما نتایج شرایط بدبینانه (سناریو ۲) نشان داد تا سال ۲۱۰۰ تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده آبخوان ساحلی بندرگز به طور متوسط ۵ متر افت خواهد کرد. بررسی نمودارهای ارایه شده در شکل ۵ نشان می‌دهد که مقدار افت تراز سطح آب زیرزمینی در آینده از تغییرات مکانی و زمانی قابل توجه برخوردار است.

در آینده نزدیک (سال ۲۰۴۰) بخش‌های نسبتاً محدودی از آبخوان ساحلی افت تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده ۳ تا ۷ متر خواهد داشت در حالیکه در آینده میانی (سال ۲۰۷۰) سطح گسترده‌ای از آبخوان افت تراز سطح آب در محدوده مورد اشاره را تجربه خواهد کرد. بر اساس نتایج در آینده دور (سال ۲۱۰۰) انتظار می‌رود سطحی که افت قابل توجه تراز سطح آب را تجربه می‌کند گسترش قابل توجه نسبت به آینده میانه نداشته باشد لیکن شدت افت به مراتب در این دوره افزایش خواهد داشت.

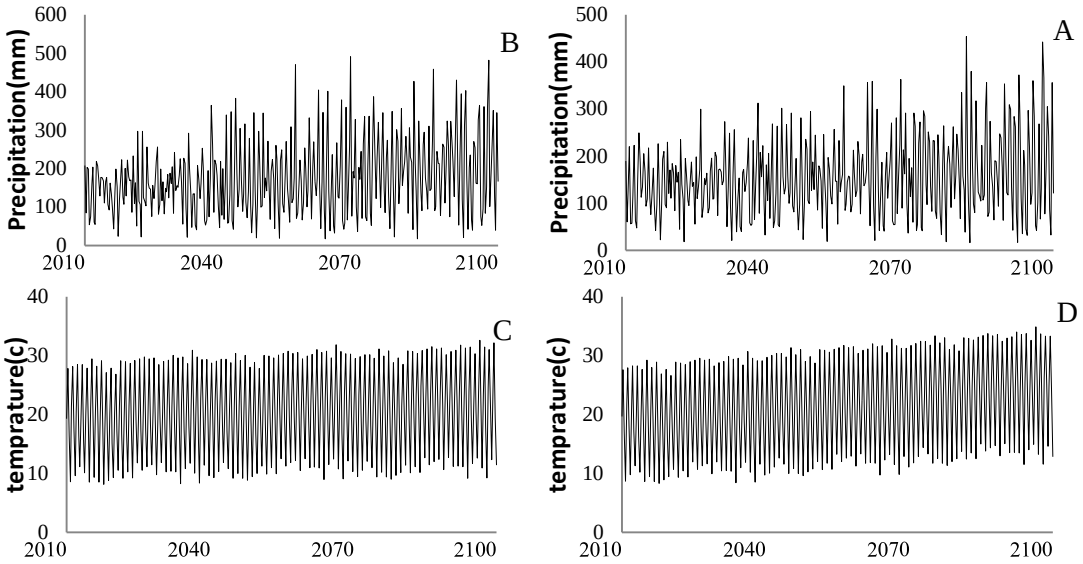
شکل ۵ مقدار افت آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف دشت را نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

آب زیرزمینی در آبخوان‌های ساحلی یکی از منابع آب با کیفیت و در دسترس می‌باشد لذا حفظ این منبع در شرایط مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغییرات در اقلیم و متغیرهای هیدرولوژیکی می‌تواند در مناطق ساحلی آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد. در این مطالعه اثرات تغییرات اقلیم و همچنین متغیرهای هیدرولوژیکی تغییرات تراز سطح آب دریا و نیز مقادیر برداشت و تغذیه بر آبخوان ساحلی بندرگز در غرب استان گلستان با استفاده از نرم افزار GMS مورد بررسی قرار گرفت.

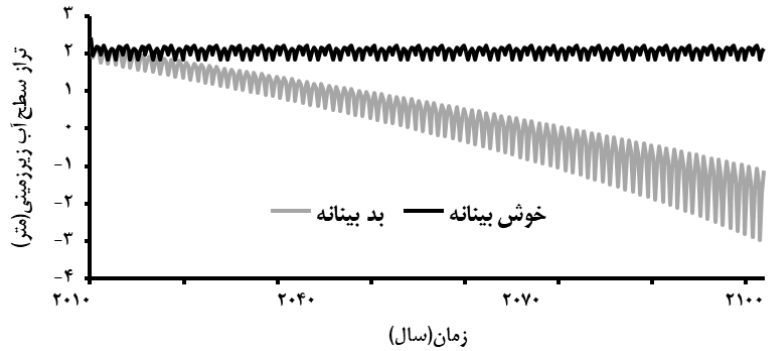


شکل۳- نمودار تراز سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده در دو مرحله واسنجی و صحت سنجی در تمامی چاه‌های مشاهده ای

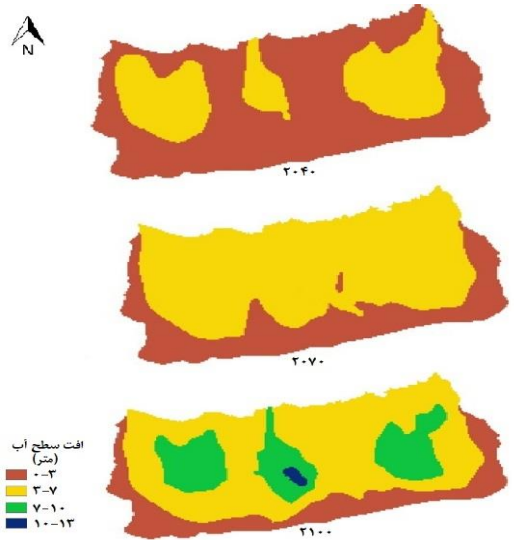


شکل٤- A و B به ترتیب میزان بارش تحت سناریو های تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5

C و D به ترتیب میزان دما تحت سناریو های تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5



شکل٥- نمودار تغییرات متوسط تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوهای مختلف تا سال ۲۱۰۰



شکل٦- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در آینده در حالت بدبینانه (۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰)

نتایج این مطالعه نشان داد در شرایط خوش بینانه تغییرات خاصی در تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان اتفاق نمی‌افتد اما در شرایط بد بینانه بخش‌های بزرگی از آبخوان بندرگز کاهش قابل توجه تراز سطح آب زیرزمینی را تجربه خواهد کرد که این کاهش در بخش‌های مرکزی آبخوان از وسعت بیشتری برخوردار است که دلیل آن تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری در این مناطق می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پیش بینی اجرای سناریوهای مدیریتی برای رفع این محدودیت قابل انتظار در آبخوان ساحلی بندرگز لازم و ضروری است.

منابع

Ali, R., McFarlane, D., Varma, S., Dawes, W., Emelyanova, I., Hodgson, G., Charles, S. 2012. Potential climate change impacts on groundwater resources of south-western Australia. Journal of hydrology. 475: 456-472.

Ansarifar, Mohammad Mahdi., Salarijazi, Meysam., Ghorbani, Khalil., Kaboli, Abdol-Reza. 2019. Estimation of Monthly Oscillations of the Groundwater Exchange in Coastal Aquifer. Journal of Ecohydrology. 5.4: 1233-1240

Benabdallah, S., Mairech, H., & Hummel, F. M. .2018. Assessing the Impacts of Climate Change on Groundwater Recharge for the Chiba Basin in Tunisia. In Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean Area (pp. 27-33). Springer, Cham.

Carneiro, J. F., Boughriba, M., Correia, A., Zarhloule, Y., Rimi, A., & El Houadi, B. 2010. Evaluation of climate change effects in a coastal aquifer in Morocco using a density-dependent numerical model. *Environmental Earth Sciences*, *61*.2: 241-252.

Elassaoui,n.,Amraoui,f.,Elmansouri,b. 2015. modeling of climate changes impact on groundwater resourses of berrechid aquifer. ijirset,7:5681-5695.

Earman, S., & Dettinger, M. 2011. Potential impacts of climate change on groundwater resources-a global review. Journal of water and climate change, 2.4: 213.

Feng, D., Zheng, Y., Mao, Y., Zhang, A., Wu, B., Li, J., ... & Wu, X. 2018. An integrated hydrological modeling approach for detection and attribution of climatic and human impacts on coastal water resources. Journal of Hydrology. 557: 305-320.

Guermazi, E., Milano, M., Reynard, E., & Zairi, M. 2018. Impact of climate change and anthropogenic pressure on the groundwater resources in arid environment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 1-20.

Ghazavi, R., & Ebrahimi, H. 2018. Predicting the impacts of climate change on groundwater recharge in an arid environment using modeling approach. International Journal of Climate Change Strategies and Management.

Hori, Y., Cheng, V. Y., Gough, W. A., Jien, J. Y., & Tsuji, L. J. 2018. Implications of projected climate change on winter road systems in Ontario's Far North, Canada. Climatic Change.148.1-2: 109-122.

Kumar, C. P. 2016. Impact of climate change on groundwater resources. In Handbook of research on climate change impact on health and environmental sustainability (pp. 196-221). IGI Global.

Maiti, S., & Tiwari, R. K. (2014). A comparative study of artificial neural networks, Bayesian neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system in groundwater level prediction. Environmental earth sciences, 71.7: 3147-3160.

Moustadraf, J., Razack, M., Sinan, M. 2008. Evaluation of the impacts of climate changes on the coastal Chaouia aquifer, Morocco, using numerical modeling. Hydrogeology Journal. 16.7: 1411-1426.

Oude Essink, G. H. P., Van Baaren, E. S., & De Louw, P. G. 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. Water Resources Research, 46.10.

Ostad-Ali-Askari, K., Shayannejad, M., & Ghorbanizadeh-Kharazi, H. 2017. Artificial neural network for modeling nitrate pollution of groundwater in marginal area of Zayandeh-rood River, Isfahan, Iran. KSCE Journal of Civil Engineering. 21.1: 134-140.

Salem, G. S. A., Kazama, S., Shahid, S., & Dey, N. C. 2018. Impacts of climate change on groundwater level and irrigation cost in a groundwater dependent irrigated region. Agricultural Water Management. 208: 33-42.

Stigter, T. Y., Nunes, J. P., Pisani, B., Fakir, Y., Hugman, R., Li, Y., Monteiro, J. P. 2014. Comparative assessment of climate change and its impacts on three coastal aquifers in the Mediterranean. Regional environmental change.14.1: 41-56.

Shukla, P., & Singh, R. M. 2018. Groundwater System Modelling and Sensitivity of Groundwater Level Prediction in Indo-Gangetic Alluvial Plains. In Groundwater (pp. 55-66). Springer, Singapore.

Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van

Beek, R., Wada, Y., ... & Konikow, L. 2013. Ground water and climate change. Nature Climate Change. 3.4: 322.

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Masui, T. 2011. The representative concentration pathways: an overview. Climatic change, 109.1-2: 5.

Woldeamlak, S. T., Batelaan, O., & De Smedt, F. 2007. Effects of climate change on the groundwater system in the Grote-Nete catchment, Belgium. Hydrogeology Journal. 15.5: 891-901.

Yusoff, I., Hiscock, K. M., & Conway, D. 2002. Simulation of the impacts of climate change on groundwater resources in eastern England. Geological Society, London, Special Publications. 193.1: 325-344.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1388-1397

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۳۹۷-۱۳۸۸

Estimation of the Impact of Climate and Hydrological Changes on Groundwater Level in Coastal Aquifer

M. Mehdi Ansarifar[1], M. Salarijazi[2]*, Kh. Ghorbani[3], A. R. Kaboli[4]
Recived: Nov.21, 2018 Accepted: Feb.03, 2019

Abstract

In most cases, groundwater in coastal aquifers is the most important source of fresh water. Changes in climate and hydrological variables can have a significant impact on coastal aquifers. In this study, the effect of climate change on the Bandar-e-Gaz coastal aquifer in northern Iran was studied using the scenarios of the fifth report of the IPCC. Also, changes in hydrological variables such as future changes of the sea level, recharge and discharge of the aquifer were also studied using a numerical model. The results indicate that the used numerical model is reliable. An examination of the optimistic scenario review confirms that significant changes will not be made in the future for studied coastal aquifer's water resources. The results of the pessimistic scenario reveal that in the near future (2040) a relatively limited part of the aquifer will be affected by groundwater decrease, but in the mid future (2070) a large part of the aquifer will face this problem, and a drop of 3 to 7 meters will be experienced. In addition, in the far future (2100) the decrease of groundwater level in the middle parts of the aquifer will be in the range of 10 to 13 meters.

Keywords: Coastal Aquifer, climate Change, Changes in Recharge and Discharge, Groundwater Level.

1-MSc student, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
2-Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3-Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
4-Expert of Hydrogeology, Golestan Regional Water Company.
(*- Corresponding Author Email: meysam.salarijazi@gmail.com)