

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 می‌تواند 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 بین‌الدول 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.

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

مقدمه

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 تأثیرات 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 ساپیدا در مراکش نشان می‌دهد که تغییر اقلیم همراه با تغییرات تراز سطح آب مقدار منابع آب تجدیدپذیر در این آبخوان ساحلی را به شکل قابل توجهی

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 تأثیر خواهد گذاشت (Oude Essink et al., 2010) و تغییرات اقلیمی باعث تشدید اهمیت استراتژیک آب‌های زیرزمینی به منظور تأمین آب و غذا خواهد شد (Taylor et al., 2013). سازگاری با تغییرات اقلیمی مستلزم شناخت کافی از تأثیرات 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

- 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)

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 می باشد 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 باران ترین و خرداد تا شهریور کم باران ترین ماههای سال می باشند. در تمام ایستگاهها کمترین میزان بارندگی ماهانه مربوط به ماههای خرداد و تیر و بیشترین میزان بارندگی مربوط به آبان، اسفند و فروردین می باشد. متوسط دراز مدت بارندگی سالانه در این منطقه بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلیمتر می باشد. با توجه به آمار موجود، بهره برداری از آبهای زیرزمینی در این منطقه به منظور کشاورزی، شرب و صنعت در مجموع به وسیله ۹۷۱ حلقه چاه عمیق و کم عمق با حجم تخلیه سالانه ۲۸/۱۸ میلیون مترمکعب انجام می گیرد. همچنین تراز سطح آب زیرزمینی در سطح آبخوان به خصوص در ناحیه شمالی آن در عمق کمی از سطح زمین قرارداد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور را نشان می دهد.

شبیه سازی آب زیرزمینی

شبیه سازی تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS در دشت مورد مطالعه انجام گرفت. بدین منظور ابتدا اطلاعات مورد نیاز فرآیند مدل سازی 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 مشاهده-ای و اطلاعات هیدرودینامیکی می باشد. 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 مدل سازی یعنی انواع شیپ فایلها و لایه های 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.

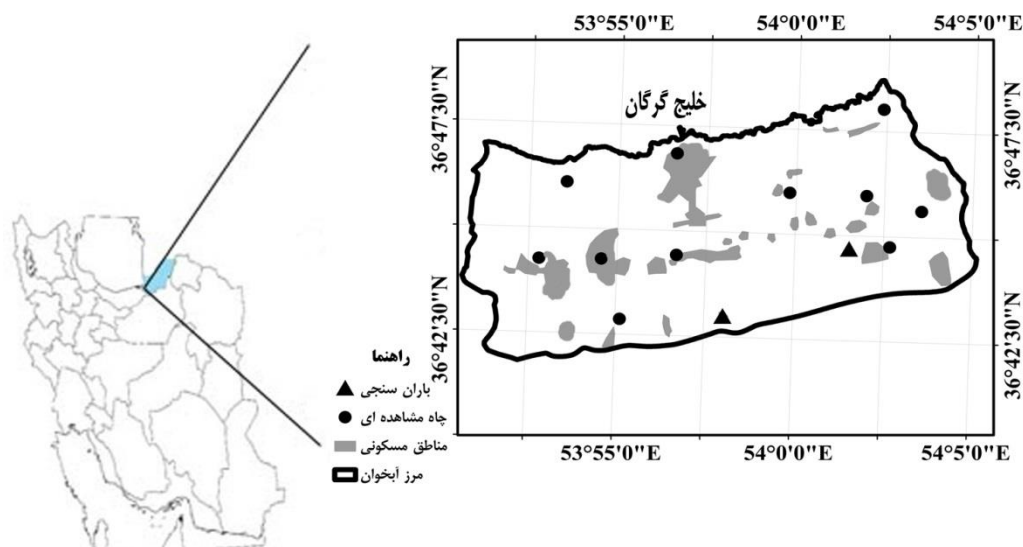
دچار کاهش خواهد کرد و همچنین کیفیت آب این آبخوان کاهش خواهد یافت (Carneiro et al., 2010). علی و همکاران (۲۰۱۲) در جنوب غربی استرالیا با در نظر گرفتن دوره های مختلف آب و هوایی گذشته و با استفاده از مدل های جهانی تغییرات آب و هوایی تحت سناریوهای مختلف اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی ساحلی در جنوب غربی استرالیا بررسی کردند که نتیجه نشان داد در هر منطقه با توجه به اقلیم مورد نظر اثرات متفاوتی از تغییر پارامترهای اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی حاصل می شود. بررسی های استیگنر و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد تغییر اقلیم می تواند تأثیر کاملاً قابل ملاحظه ای بر تغییرات تراز سطح آب در آبخوان های ساحلی مورد مطالعه (سه آبخوان ساحلی در کشورهای اسپانیا، مراکش و پرتغال) داشته باشد، بنابراین اثرات تغییر اقلیم باید در برنامه ریزی برای آبخوان های 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 AIB 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 فعالیت های انسانی بر آب زیرزمینی پرداختند که نتایج نشان داد فعالیت های انسانی بیشتر از تغییرات آب و هوایی بر تغییرات آب زیرزمینی در منطقه مورد بررسی موثر بوده است. مطالعه ی قضاوی و ابراهیمی (۲۰۱۸) در ایلام با هدف بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب های زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW نشان داد میزان تغذیه به آب های زیرزمینی با توجه به کاهش میانگین بلند مدت بارش کاهش خواهد یافت. منابع آب در مناطق ساحلی می توانند به طور گسترده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت های انسانی قرار گیرند (Feng et al., 2018). در حالی که تغییرات اقلیمی به طور مستقیم

بر آب های سطحی از طریق تغییرات بارش، دما و تبخیر اثر می گذارند اما بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی پیچیده تر است (Kumar., 2016).

آبخوان های ساحلی به علت ارتباط با دریا از پیچیدگی بیشتری نسبت به سایر آبخوان ها برخوردار هستند و از طرف دیگر به علت تغییرات تراز سطح دریا به شکل موثرتری تحت تأثیر تغییرات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی قرار می گیرند و بنابراین

برآورد تأثیر 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 تأثیرات 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



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

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 معیار MSE صفر و برای معیار RE یک می‌باشد (Maiti and Tiwari., 2014 and Ali-Askari et al., 2017). در روابط ارائه شده y_i مقادیر شبیه‌سازی شده و x_i مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

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

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \quad (3)$$

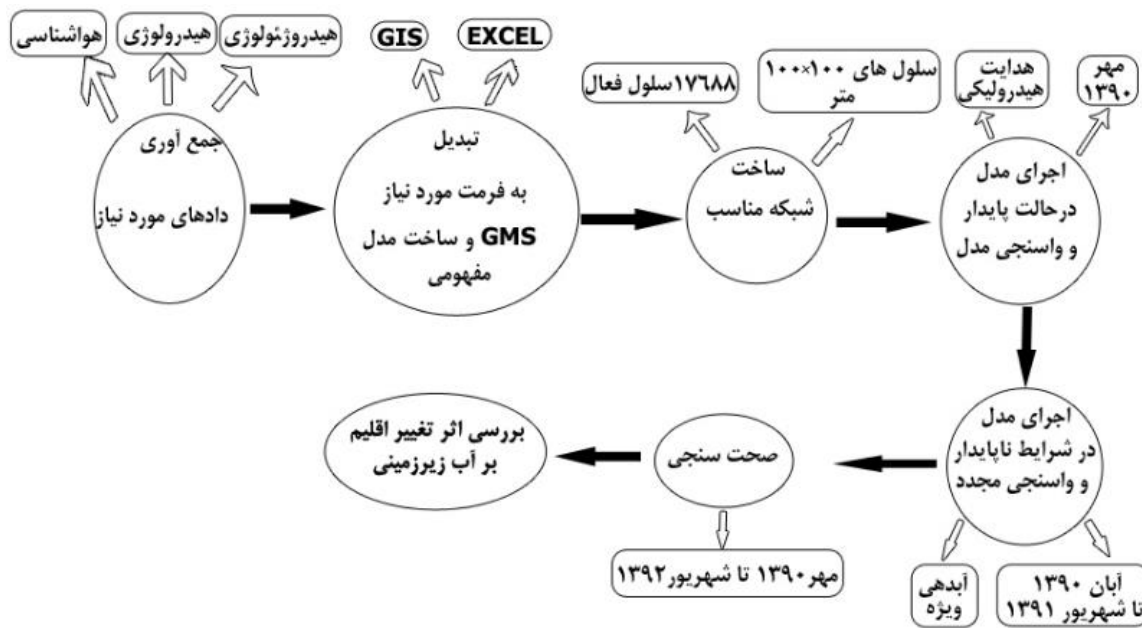
تغییر اقلیم

مجموع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی در گزارش پنجم خود از سناریوهای انتشار جدیدی با نام‌های RCP4.5, RCP2.6, RCP8.5, RCP6.0 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 ۳ وات بر مترمربع و غلظت دی اکسید کربن به ۴۹۰ ppm خواهد 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.

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 ۱۳۹۰ مقدار 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 شهریور ۱۳۹۲ مورد صحت سنجی قرار گرفت و با توجه به معیارهای ارزیابی دقت مدل در هر دو مرحله واسنجی و صحت سنجی تایید شد. شکل ۲ فلوجارت 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.

$$\frac{\partial}{\partial x} (k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - w = s_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

که در این معادله k_{zz} , k_{yy} , k_{xx} 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.



شکل ۲- فلوجارت روند شبیه سازی

نشان دهنده دقت بالاتر شبیه‌سازی در این بازه زمانی نسبت به سایر ماه‌ها می‌باشد که این الگو تقریباً در دوره صحت سنجی نیز مشاهده می‌شود.

در شکل ۲ نمودار تراز سطح آب شبیه‌سازی شده در مقایسه با مقادیر مشاهده شده ارائه شده است. این نمودار نشان می‌دهد دقت تراز سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی 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.

در سناریو انتشار RCP4.5 واداشت تابشی حداکثر ۴/۵ وات بر متر مربع بوده و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت مانده و غلظت دی اکسید کربن به ۶۵۰ ppm رسیده و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند. در سناریو انتشار RCP6 تا سال ۲۱۰۰ میزان واداشت تابشی به ۶ وات بر مترمربع و غلظت دی اکسید کربن به ۸۵۰ ppm 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 ۱۳۷۰ ppm در 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 نتیجه‌گیری 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

جدول ۱- 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

۵ متر افت خواهد کرد. بررسی نمودارهای ارایه شده در شکل ۵ نشان می دهد که مقدار افت تراز سطح آب زیرزمینی در آینده از تغییرات مکانی و زمانی قابل توجه برخوردار است.

در آینده نزدیک (سال ۲۰۴۰) بخش های 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 گسترده ای از آبخوان افت تراز سطح آب در محدوده مورد اشاره را تجربه خواهد کرد. بر اساس نتایج در آینده دور (سال ۲۱۰۰) انتظار می رود سطحی که افت قابل توجه تراز سطح آب را تجربه می کند 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 بخش های مختلف دشت را نشان می دهد.

نتیجه گیری

آب زیرزمینی در آبخوان های ساحلی یکی از منابع آب با کیفیت و در دسترس می باشد لذا حفظ این منبع در شرایط مختلف از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تغییرات در اقلیم و متغیرهای هیدرولوژیکی می تواند در مناطق ساحلی آب های 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.

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

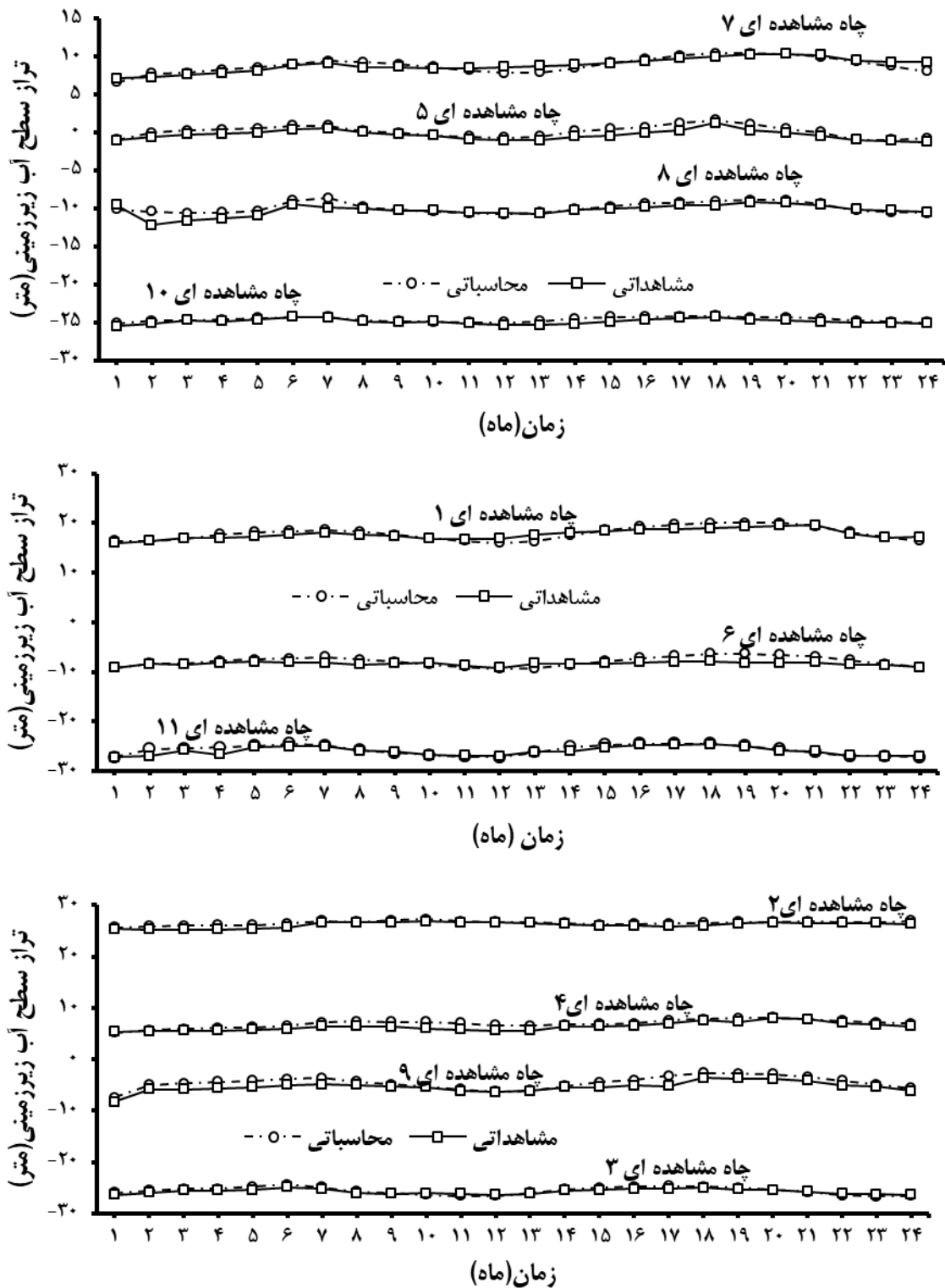
تأثیرات تغییر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر آب زیرزمینی تحت دو سناریو خوش بینانه و بدبینانه مورد بررسی قرار گرفت. این دوسناریو شامل:

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

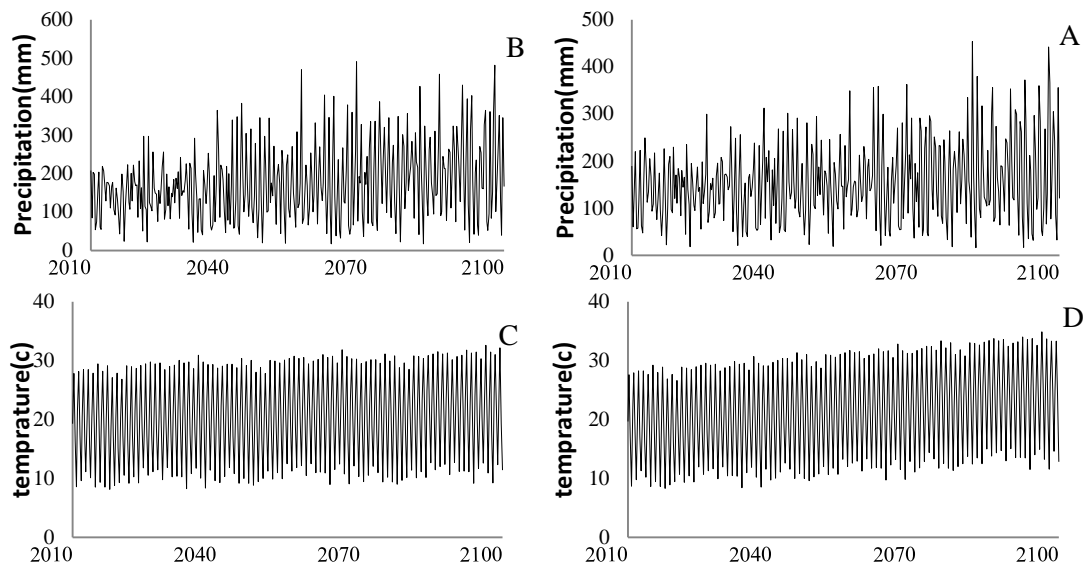
۲- سناریو بد بینانه آب وهوایی (RCP8.5) + برداشت از آب زیرزمینی با نرخ افزایش ۲ درصد به ازای هر سال تا سال ۲۱۰۰ + کاهش ۵ متری تراز سطح دریای خزر در انتهای دوره ۲۱۰۰

نتایج بررسی اثر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی تحت دو سناریو فوق بررسی شد و نتیجه ی تغییرات مقدار متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در شکل ۴ ارائه شده است. بررسی این نمودار نشان می دهد در حالت خوش بینانه (سناریو ۱) افت محسوسی تا سال ۲۱۰۰ در دشت بندرگز اتفاق نخواهد افتاد.

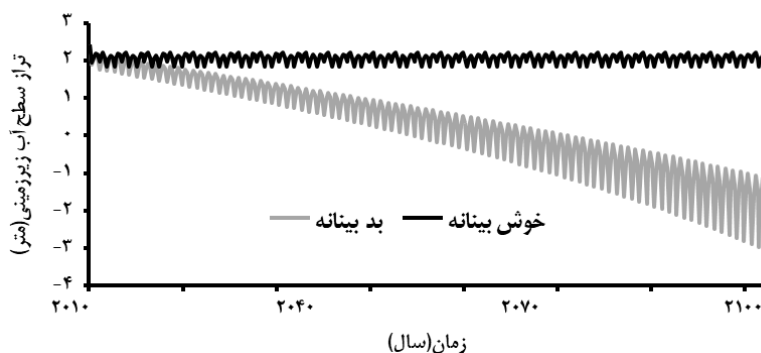
اما نتایج شرایط بدبینانه (سناریو ۲) نشان داد تا سال ۲۱۰۰ تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده آبخوان ساحلی بندرگز به طور متوسط



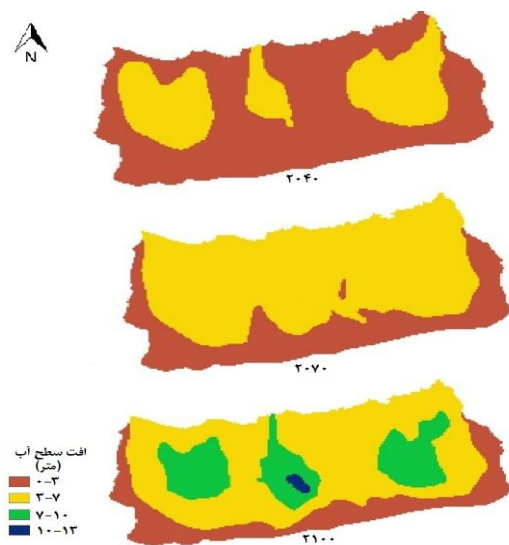
شکل ۳- نمودار تراز سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده در دو مرحله واسنجی و صحت سنجی در تمامی چاه‌های مشاهده ای



شکل ۴- A و B به ترتیب میزان بارش تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5 و C و D به ترتیب میزان دما تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5



شکل ۵- نمودار تغییرات متوسط تراز سطح آب زیرزمینی آبخوار تحت سناریوهای مختلف تا سال ۲۱۰۰



شکل ۶- نقشه افت سطح آب زیرزمینی در آینده در حالت بدبینانه (۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰)

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., & Ghorbanzadeh-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
- 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 پیش‌بینی 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 resources 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*

- 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.
- 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.

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

M. Mehdi Ansarifar¹, M. Salarijazi^{2*}, Kh. Ghorbani³, A. R. Kaboli⁴

Received: 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)