



The Impact of Climate Change on the Content and Spatial Distribution of the Total Dissolved Solids in Bandar-e-Gaz Coastal Aquifer

Mohammad-Mahdi Ansarifar¹, Meysam Salarijazi^{1*}, Khalil Ghorbani¹, Abdol-Reza Kaboli²

¹ Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

² Expert of Hydrogeology, Golestan Regional Water Company, Gorgan, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 10 March 2019

Accepted 17 June 2019

Available online 18 September 2019

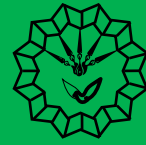
Keywords:

Climate Change, Coastal Aquifer, Groundwater, Total Dissolved Solids, Numerical Simulation.

Citation: Ansarifar, M. M., Salarijazi M., Ghorbani, Kh., Kaboli, A. R. (2019). The Impact of Climate Change on the Content and Spatial Distribution of the Total Dissolved Solids in Bandar-e-Gaz Coastal Aquifer. *Geography and Sustainability of Environment*, 9 (2), 83-95. doi: [10.22126/GES.1970.1159](https://doi.org/10.22126/GES.1970.1159)

ABSTRACT

Coastal aquifers are exposed to the salt-water intrusion, entry of drinking water's wastewater by absorbing wells and leakage from the sewage collection network, and climate change, which can increase groundwater pollution. The current study aims to assess the impact of climate change on the content and spatial distribution of total dissolved solids, in Bandar-e-Gaz coastal aquifer located in the northern part of Iran using numerical simulation. The MODFLOW and MT3DMS groundwater models were used to simulate the groundwater level and content and spatial distribution. Besides, TDS and MAPE were applied to determine the precision of the models. The 5th report of IPCC and new emission scenarios were used to investigate climate change impacts on the future changes in content and spatial distribution of TDS. The impacts of climate change on groundwater quality were studied under two optimistic and pessimistic scenarios. The MAPE indicates that this criterion in the calibration and verification period is in the range of (0.0008-0.029) and (0.032-0.055) which indicates the precision and also the perfect reliability of the model to estimate the content and spatial distribution of the TDS in the coastal aquifer. The results of the emission scenarios show that both scenarios indicate an increase in future precipitation and temperatures. Optimistic and pessimistic scenarios represent a periodic and increase in the mean value of the TDS in future. Moreover, the prediction of the spatial distribution of TDS indicates that the pollution in the northern part of the aquifer will be significantly increased, and the increase in pollution at the aquifer level will not be uniform in the spatial pattern, which can be due to the spatial distribution of residential areas, as well as water extraction wells.



تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آبخوان ساحلی بندر گز

محمد مهدی انصاری فر^۱، میثم سالاری جزی^{۱*}، خلیل قربانی^۱، عبدالرضا کابلی^۲

^۱ گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۲ شرکت آب منطقه‌ای گلستان، گرگان، ایران

چکیده

آبخوان‌های ساحلی در معرض تهاجم آب شور دریا و ورود پساب آب شرب به وسیله چاه‌های جذبی و همچنین نشت از شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تغییر در شرایط اقلیمی هستند که می‌تواند در افزایش آلودگی آب زیرزمینی بسیار مؤثر باشد. هدف از نوشتار پیش رو ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول، در سطح آبخوان ساحلی بندر گز در شمال ایران با استفاده از شبیه‌سازی عددی است. به منظور شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی توزیع مکانی و همچنین تغییرات مقدار مجموع مواد جامد محلول از مدل‌های مادفلو و ام‌تی‌تری‌دی‌ام‌اس. استفاده شد و برای تعیین دقت مدل از معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا استفاده شد. برای بررسی تغییرات آتی مؤلفه‌های اقلیمی بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول از گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوهای جدید انتشار استفاده شده است. تأثیرات تغییر اقلیم بر کیفیت آب زیرزمینی با دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه بررسی شد. معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب در بازه‌های (۰/۰۰۸-۰/۰۲۹) و (۰/۰۳۲-۰/۰۵۵) قرار دارد که بیانگر دقت و همچنین اعتمادپذیری کاملاً مناسب مدل برای برآورد مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در سطح آبخوان ساحلی است. بررسی نتایج سناریوهای انتشار بیانگر آن است که هر دو سناریو نشان‌دهنده افزایش در بارش و دما در آینده هستند. سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به ترتیب بیانگر یک رفتار تناوبی و افزایشی در مقدار متوسط مجموع مواد جامد محلول در آینده هستند؛ همچنین پیش‌بینی توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول بیانگر آن است که در شمال آبخوان مقدار آلودگی به شکل قابل توجهی افزایش خواهد یافت و افزایش آلودگی در سطح آبخوان الگوی مکانی یکنواخت نخواهد داشت که این موضوع می‌تواند ناشی از توزیع مکانی غیر یکنواخت نواحی مسکونی و همچنین چاه‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی باشد.

مشخصات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۹ اسفند ۱۳۹۷

پذیرش ۲۷ خرداد ۱۳۹۸

دسترسی آنلاین ۲۷ شهریور ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

تغییر اقلیم، آبخوان ساحلی، آب زیرزمینی، مجموع مواد جامد محلول، شبیه‌سازی عددی.

استناد: انصاری فر، محمد مهدی؛ سالاری جزی، میثم؛ قربانی، خلیل؛ کابلی، عبدالرضا (۱۳۹۸). تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آبخوان ساحلی بندر گز. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۹ (۲)، ۸۳-۹۵.

doi: [10.22126/GES.1970.1159](https://doi.org/10.22126/GES.1970.1159)

مقدمه

متغیرهای مختلف اقلیمی تغییرات مشخصی را در سال‌های اخیر تجربه کرده‌اند. مطالعات مختلفی در زمینه بررسی تغییرات متغیرهای هیدرولوژیکی مانند تبخیر، جریان رودخانه، آب زیرزمینی و تراز جزر و مدی صورت گرفته است (هوشمند^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ مسلم‌زاده^۲ و همکاران، ۲۰۱۱؛ صادقیان^۳ و همکاران، ۲۰۱۶؛ بهرامی^۴ و همکاران، ۲۰۱۹) که نتایج این مطالعات نشان‌دهنده وجود تغییرات و اهمیت این بررسی است (قربانی^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). تغییرات اقلیمی می‌تواند اثرات عمیقی بر چرخه هیدرولوژیکی از طریق بارش، تبخیر و تعرق و افزایش درجه حرارت داشته باشد (رانجان^۶ و همکاران، ۲۰۰۶؛ معاضد^۷ و همکاران، ۲۰۱۲). تغییر اقلیم می‌تواند بر منابع آب شیرین و آبخوان‌های ساحلی در دهه‌های آینده تأثیرگذار باشد (کارنیرو^۸ و همکاران، ۲۰۱۰؛ کونزوویچ^۹ و همکاران، ۲۰۰۸). درک تأثیرات تغییرات اقلیمی بر چرخه هیدرولوژیکی به‌ویژه تأثیرات بر کیفیت آب برای کسب اطمینان از پایداری منابع آب در آینده ضروری است (استوارت^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۱؛ سالاری جزی^{۱۱} و قربانی، ۲۰۱۹). افزون بر تأثیرات تأثیرات کمی، تغییر اقلیم بر کیفیت منابع آب نیز اثرگذار خواهد بود (دلپلا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹).

تغییرات اقلیمی به‌طور مستقیم بر منابع آب سطحی و به‌طور غیر مستقیم بر منابع آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت (هولمن^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۲؛ گرین^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۱). تأثیرات نفوذ آب دریا به آب‌های زیرزمینی شیرین در نواحی ساحلی نیازمند بررسی دقیق است (باربیری^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۹). با استفاده از مدل‌های ریاضی توسعه‌یافته امکان بررسی میزان نفوذ آب شور دریا به آبخوان‌های ساحلی امکان‌پذیر است و برای منطقه، ارزیابی منطقه‌ای لازم دارد (گالول^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۲؛ گوپیناس^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۹). تغییر اقلیم می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر مؤلفه‌های مختلف هیدرولوژیکی از جمله کمیّت و کیفیت آب زیرزمینی داشته باشد؛ به این دلیل، در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی پژوهش‌های مختلفی مانند روزل و وانگ^{۱۸} (۲۰۱۰) در نیویورک ایالت متحده، گرین و مک‌گواری^{۱۹} (۲۰۱۴) در نیوبرانسویک کانادا، ژانگ^{۲۰} و همکاران (۲۰۱۵) در تیانجین چین، عبدالحمید^{۲۱} (۲۰۱۷) در شمال مصر و المکتومی^{۲۲} و همکاران (۲۰۱۸) در عمان انجام شده که در این پژوهش‌ها از مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی و نیز سناریوهای متفاوت تغییر اقلیم بهره گرفته

- 1- Hooshmand
- 2- Moslemzadeh
- 3- Sadeghian
- 4- Bahrami
- 5- Ghorbani
- 6- Ranjan
- 7- Moazed
- 8- Carneiro
- 9- Kundzewicz
- 10- Stuart
- 11- Salarijazi & Ghorbani
- 12- Delpla
- 13- Holman
- 14- Green
- 15- Barbieri
- 16- Gaaloul
- 17- Gopinath
- 18- Rozell & Wong
- 19- Green & MacQuarrie
- 20- Zhang
- 21- Abd-Elhamid
- 22- Al-Maktoumi

شده است و نتایج این مطالعات نشان‌دهنده امکان افزایش آلودگی در منابع آب زیرزمینی ساحلی بوده است. پژوهش‌های مختلفی بر تأثیر برداشت از منابع آب زیرزمینی ساحلی بر تغییرات کیفیت آب این منابع تمرکز کرده‌اند که می‌توان در این زمینه به مطالعات زاموری^۱ و همکاران (۲۰۱۴) در دشتی در تونس، سورینایدو^۲ و همکاران (۲۰۱۵) در جنوب هند، گوپینات و همکاران (۲۰۱۶) در تامیل-نادو هند و چانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در سواحل خلیج لیاژو در چین اشاره کرد که تغییرات افزایشی در برداشت از این منابع را رفتاری ناپایدار و در راستای تشدید پدیده تهاجم آب شور به آب شیرین نتیجه‌گیری کرده‌اند. افزون بر این، برخی مطالعات مانند ریاد^۴ و همکاران (۲۰۱۶) در دشت جفارا در شمال لیبی نیز بر مبنای بررسی تغییرات تراز سطح دریا بر کیفیت منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های ساحلی استوار بوده‌اند. نتیجه این پژوهش‌ها بر این موضوع تأکید می‌کند که با توجه به ویژگی‌های متفاوت هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و نیز زمین‌شناسی در مناطق مختلف، بررسی تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی در نواحی ساحلی با توجه به شرایط خاص هر منطقه ضروری است.

اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی به‌مثابه مشکلی اساسی برای مدیران بخش آب زیرزمینی معرفی شده است (داسی و ترانفaglia^۵، ۲۰۰۸). پدیده تغییر اقلیم و ازسوی دیگر توسعه جمعیت، کشاورزی و صنعت موجب افزایش برداشت منابع آب زیرزمینی شده و تنش بیشتری بر این سامانه وارد می‌کند؛ ازسوی دیگر، برخی آبخوان‌ها مانند آبخوان‌های ساحلی تحت تأثیر تبادل جریان با دریا قرار دارند و هرگونه تغییر در شرایط تعادلی موجب کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی در این مناطق می‌شود؛ بنابراین به علت اهمیت مدیریت منابع آب آبخوان ساحلی و برنامه‌ریزی آن باید برآوردی از شرایط احتمالی آینده در دسترس باشد. بررسی پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که بررسی کیفیت آب در آبخوان ساحلی می‌تواند تحت تأثیر تغییرات در تراز سطح آب دریا، متغیرهای اقلیمی و نیز فعالیت‌های بشری باشد. در بیشتر موارد مطالعات صورت‌گرفته به بررسی تأثیر یک یا دو عامل بیان‌شده پرداخته و تأثیر هم‌زمان هر سه عامل به‌طور معمول مورد توجه قرار نگرفته است. در این مطالعه سعی شده است تأثیر هر سه عامل تغییرات در تراز سطح آب دریا، متغیرهای اقلیمی و نیز فعالیت‌های بشری با تأکید بر تأثیر تغییر اقلیم بررسی شود. تأکید بر تأثیر تغییر اقلیم به این علت است که دو عامل دیگر، یعنی تغییرات در تراز سطح آب دریا و نیز تغییرات ناشی از فعالیت‌های بشری به‌طور مستقیم تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارند.

آبخوان ساحلی بندر گز در استان گلستان در شمال ایران از سمت شمال با دریا ارتباط مستقیم دارد و در سطح آن شهرها و روستاهای متعددی قرار دارند که بار آلودگی آن‌ها با چاه جذبی به آب زیرزمینی تخلیه می‌شود. از طرفی آبخوان ساحلی بندر گز مهم‌ترین منبع آب شیرین شرب و کشاورزی در منطقه است و بنابراین نوشتار پیش رو برای دسترسی به برآوردی از تأثیرات تغییرات اقلیم و متغیرهای هیدرولوژیکی بر تغییرات مجموع مواد جامد محلول، به‌مثابه متغیر مهم کیفیت آب و نیز نشانه‌ای از افزایش شوری منابع آب زیرزمینی، هدف‌گذاری شده است. انتخاب متغیر مجموع مواد جامد محلول به این دلیل بوده است که می‌تواند به‌منزله متغیر مهمی نشان‌دهنده ارتباط هیدرولیکی آبخوان ساحلی و دریا باشد.

معرفی منطقه مورد بررسی

پژوهش حاضر در آبخوان ساحلی بندر گز در غرب استان گلستان انجام شده است. جمعیت این منطقه شامل

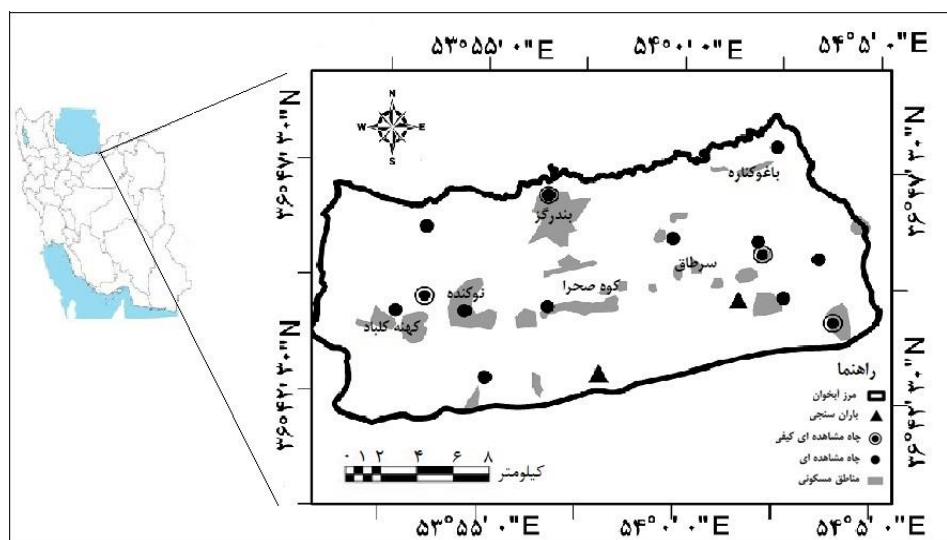
- 1- Zammouri
- 2- Surinaidu
- 3- Chang
- 4- Riad
- 5- Ducci & Tranfaglia

شهرها و روستاها در مجموع براساس سرشماری سال ۱۳۹۵ تقریباً ۱۶۰ هزار نفر است. حجم تخلیه سالانه از آب زیرزمینی در این منطقه در مجموع طبق گزارش‌ها ۲۸/۱۸ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است که ۹/۶ میلیون متر مکعب مورد مصرف شرب و بقیه صرف کشاورزی شده و بخش ناچیزی نیز صرف صنعت می‌شود. منابع آب زیرزمینی عمده‌ترین منبع تأمین برای نیازهای مختلف در این منطقه است و به‌علت افزایش برداشت از این منابع، امکان تهاجم آب شور دریا به آب شیرین زیرزمینی در این منطقه وجود دارد. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷/۳ سانتی‌گراد است که تغییرات سالانه درجه حرارت با ارتفاع به‌ازای افزایش هر صد متر ارتفاع ۰/۴۸- درجه سانتی‌گراد است؛ همچنین متوسط رطوبت نسبی ۸۱/۱٪ و مقدار بارش سالیانه نیز بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر است. تراز سطح دریا در ناحیه ساحلی در این منطقه در حدود ۲۶- متر است.

مواد و روش‌ها

هدف از نوشتار پیش رو برآورد اثر تغییر اقلیم بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آبخوان ساحلی بندر گز در شمال ایران است. برای دستیابی به این هدف، مدل‌های مادفلو^۱ و ام.تی.تری.دی.ام.اس.^۲ مورد استفاده قرار گرفت که این مدل‌ها و جزئیات لازم در کاربردهای عملی در ادامه این بخش توضیح داده می‌شود؛ همچنین اطلاعات مورد نیاز در مورد سناریوهای تغییر اقلیم که در این مطالعه استفاده شد در ادامه این بخش ارائه شده است.

به‌منظور شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی از مدل آب زیرزمینی مادفلو و برای شبیه‌سازی توزیع مکانی و همچنین تغییرات مقدار مجموع مواد جامد محلول از مدل ام.تی.تری.دی.ام.اس. در قالب مدلی یکپارچه استفاده شد. مدل ام.تی.تری.دی.ام.اس. مدل عددی سه‌بعدی برای شبیه‌سازی کیفیت آب‌های زیرزمینی است و فرایندهای پخش، انتشار و واکنش‌های شیمیایی آلاینده‌های محلول در آب زیرزمینی را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل را ژنگ و وانگ در سال ۱۹۹۹ توسعه دادند و می‌تواند رفتار آلاینده را در آبخوان‌های محصور، نیمه‌محصور و آزاد شبیه‌سازی کند. مدل‌های مادفلو و ام.تی.تری.دی.ام.اس. شناخته‌شده‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی و کیفیت آب‌های زیرزمینی هستند و از دیگر سو به‌صورت رایگان در دسترس هستند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

1- MODFLOW

2- MT3DMS

برای شبیه‌سازی با مدل مادفلو و ام.تی.تری.دی.ام.اس. باید متناسب با شرایط منطقه یک مجموعه شبکه یا سلول مناسب ایجاد شود (لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). معادله حاکم بر جریان در محیط متخلخل با استفاده از رابطه ۱ (بدکر^۲ و همکاران، ۲۰۱۲) و معادله انتقال آلودگی در آب زیرزمینی در شرایط ناپایدار با استفاده از رابطه ۲ (جها و داتا^۳، ۲۰۱۱) محاسبه می‌شود:

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

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} (CV_i) + \frac{q_s}{\theta} C_s + \sum_{k=1}^N R_k \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه ۱ و ۲ به ترتیب k_{xx} ، k_{yy} ، k_{zz} ، ضرایب هدایت هیدرولیکی در راستای x ، y و z ؛ h : بار هیدرولیکی یا سطح آب؛ w : شار حجمی یا میزان تخلیه بر حسب حجم؛ s_s : مقدار ضریب ذخیره؛ t : زمان؛ C : غلظت آلودگی در آب زیرزمینی؛ x : مختصات دکارتی؛ D_{ij} : ضریب انتشار هیدرودینامیکی؛ θ : تخلخل؛ C_s : غلظت آلاینده است (انصاری فر^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). برای شبیه‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از مدل لازم است بسته‌های متنوعی آماده شود که نام بسته‌ها و فرایند ایجاد آن‌ها به شرح زیر است:

شرایط مرزی یکی از مؤثرترین مؤلفه‌ها در زمینه شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی است. در هر دو مدل کمی و کیفی به صورت مجزا دو بسته شرایط مرزی تعریف می‌شود که نوع مرز با توجه به شرایط منطقه تعیین می‌شود. در مدل کمی در مرزهای جنوبی، غربی و شرقی از شرایط مرز بار عمومی و در مرز شمالی که در خلیج گرگان قرار دارد، از شرایط مرز بار ثابت استفاده شد. انتخاب شرایط مرزی در مدل با توجه به اطلاعات فیزیکی وضعیت آبخوان مورد مطالعه بوده است. در مدل کیفی نیز مرز شمالی که به‌طور مستقیم با دریا ارتباط دارد، از غلظت اندازه‌گیری شده مجموع مواد جامد محلول دریای خزر با عنوان مرز با غلظت مشخص استفاده شد.

برای واسنجی و ارزیابی دقت مدل، استفاده از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای ضروری است. اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای شامل موقعیت (مختصات) قرارگیری چاه مورد نظر در منطقه و مقدار اندازه‌گیری شده تراز سطح آب زیرزمینی در مدل کمی و مقدار مجموع مواد جامد محلول اندازه‌گیری شده در مدل کیفی در قالب دو بسته جدا از هم به مدل معرفی شد. در پژوهش حاضر از مشخصات یازده چاه مشاهده‌ای کمی و چهار چاه مشاهده‌ای کیفی با پراکندگی مکانی مناسب در محدوده آبخوان استفاده شد.

ضرایب هیدرودینامیکی در برآورد رفتار مکانی آبخوان از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم مقدار قابلیت انتقال اندازه‌گیری شده بر ضخامت آبخوان در منطقه تعیین شد. این بسته در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی^۵ در قالب پلیگون ایجاد و به محیط مدل وارد شد. مقدار ضریب آبدی و ویژه نیز با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده برآورد شد.

برآورد مناسب مقدار تغذیه می‌تواند نقش بسیار مهمی در برآورد تراز سطح آب زیرزمینی داشته باشد. مقدار تغذیه به آب زیرزمینی با توجه به مقدار بارندگی، پساب ناشی از مصارف کشاورزی، صنعت و شرب به‌ازای ماه‌های مختلف تعیین و به مدل اضافه شد؛ همچنین مقدار تغذیه مجموع مواد جامد محلول به آب زیرزمینی نیز با توجه به مقدار مجموع مواد جامد محلول فاضلاب به مدل اعمال شد.

1- Lyu

2- Bedekar

3- Jha & Datta

4- Ansarifar

5- Geographic Information System (GIS)

هر دو پارامتر تخلخل و ضریب انتشار طولی برای مدل کیفی استفاده می‌شود. پارامتر تخلخل با توجه به مقدار ضریب آبدی ویژه و ضریب انتشار طولی با استفاده از روابط تجربی تعیین شد. پس از آماده‌سازی بسته‌های مورد نیاز و تبدیل به مدل عددی، شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی در دو شرایط پایدار و ناپایدار انجام شد. به نحوی که در بازه زمانی مهرماه ۱۳۹۰ در شرایط پایدار و از آبان ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱ در شرایط ناپایدار پارامترهای مدل ایجاد شده واسنجی شد؛ سپس از مهرماه ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۲ مدل واسنجی شده مورد صحت‌سنجی کمی قرار گرفت. پس از تأیید اعتبار مدل کمی، مدل کیفی آب زیرزمینی از مهرماه ۱۳۹۰ تا شهریور ۱۳۹۱ مورد واسنجی و سپس از مهرماه ۱۳۹۱ تا شهریور ۱۳۹۲ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت.

برای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مقدار مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی از معیار میانگین قدر مطلق درصد خطا استفاده شد. این معیار با رابطه ۳ محاسبه می‌شود (آزاد^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در این رابطه، x : مقدار مشاهداتی؛ y : مقدار برآورد شده و n : تعداد مشاهدات است. این معیار می‌تواند برآورد مناسبی از متوسط خطای نتایج شبیه‌سازی ارائه کند.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{x_i} \quad \text{رابطه ۳}$$

برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم در زمینه ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو از روش عامل تغییر استفاده شده است. در این روش، با استفاده از رابطه‌های ۴ تا ۷ اختلاف و نسبت خروجی‌های مدل گردش عمومی جو در دوره پایه و آینده به تفکیک ماه‌های سال محاسبه می‌شود و عدد حاصل در مقدار مشاهده شده در بارش ضرب و با دما جمع می‌شود.

$$\Delta T_i = \bar{T}GCM_F - \bar{T}GCM_B \quad \text{رابطه ۴}$$

$$T = T_{OBS} + \Delta T_i \quad \text{رابطه ۵}$$

$$P_i = \frac{\bar{P}GCM_F}{\bar{P}GCM_B} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$P = P_{OBS} \times \Delta P_i \quad \text{رابطه ۷}$$

برای بررسی سناریوهای تأثیر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی ابتدا تأثیرات تغییر اقلیم بر تراز سطح آب زیرزمینی اعمال خواهد شد و در ادامه اثر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی بر مقدار مجموع مواد جامد محلول بر آب زیرزمینی بررسی خواهد شد؛ بدین‌منظور تأثیرات تغییر اقلیم بر کیفیت آب زیرزمینی تحت دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه بررسی شد. این دو سناریو شامل:

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

۲- سناریو بدبینانه آب‌وهوایی (RCP8.5) + برداشت از آب زیرزمینی با نرخ افزایش ۲٪ به‌ازای هر سال تا سال ۲۱۰۰ + کاهش ۵ متری تراز سطح دریای خزر در انتهای دوره ۲۱۰۰.

لازم به ذکر است که برای سناریوی بدبینانه، نرخ افزایش برداشت از آب زیرزمینی براساس اطلاعات به‌دست آمده از تحلیل تغییرات برداشت در سال‌های اخیر استخراج شده است؛ همچنین مقدار استفاده‌شده برای

کاهش مورد انتظار در تراز سطح آب دریای خزر براساس مطالعات معتبر انجام شده در این زمینه انتخاب شده است.

نتایج

هدف از نوشتار پیش رو برآورد تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آبخوان ساحلی بندر گز در شمال ایران بوده است. برای دستیابی به این هدف، فرایندهای متفاوتی مانند شبیه‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی، بررسی نتایج سناریوهای تغییر اقلیم و البته پیش بینی مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه انجام شده و در ادامه نتایج هر بخش به تفکیک ارائه شده است.

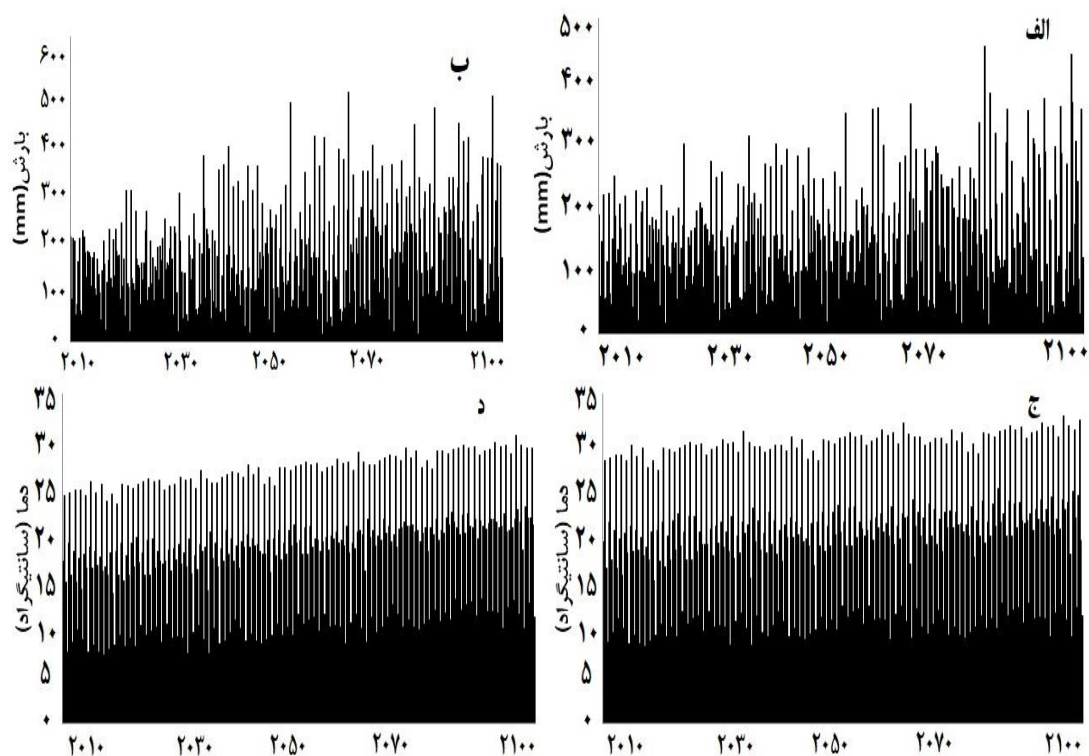
کاربرد مدل شبیه‌سازی برای پیش بینی تغییرات آینده نیازمند آن است که مدل بتواند در دوره‌ی حال از دقت و کارایی مناسبی برخوردار باشد؛ به عبارت دیگر، مدل اعتمادپذیری مناسبی داشته باشد. براساس این، با استفاده از معیار ارزیابی مدل، نسبت به بررسی رفتار مدل اقدام شد که نتایج این معیار ارزیابی در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی در ماه‌های مختلف برآورد شده است. لازم به ذکر است که مقدار پارامتر پراکنده‌پذیری طولی به طور متوسط در سطح آبخوان برابر با ۲۳/۷ متر بر روز بوده است. بررسی معیار ارزیابی مدل در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد که مدل از دقت کاملاً مناسبی برخوردار بوده است و مقدار دقت مدل در دوره‌ی واسنجی از دوره‌ی صحت‌سنجی به طور نسبی بهتر بوده است (جدول ۱).

بررسی نتایج تغییر اقلیم در محدوده آبخوان بندر گز با دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 نشان داد در هر دو سناریو درجه حرارت و مقدار بارش افزایش خواهد داشت که هر دو متغیر دما و بارش در سناریو RCP8.5 با شیب بیشتری تا سال ۲۱۰۰ افزایش خواهد داشت. نتایج تغییر اقلیم برای دو پارامتر دما و بارش در دو سناریو مختلف در شکل ۲ در قالب چهار نمودار ارائه شده است.

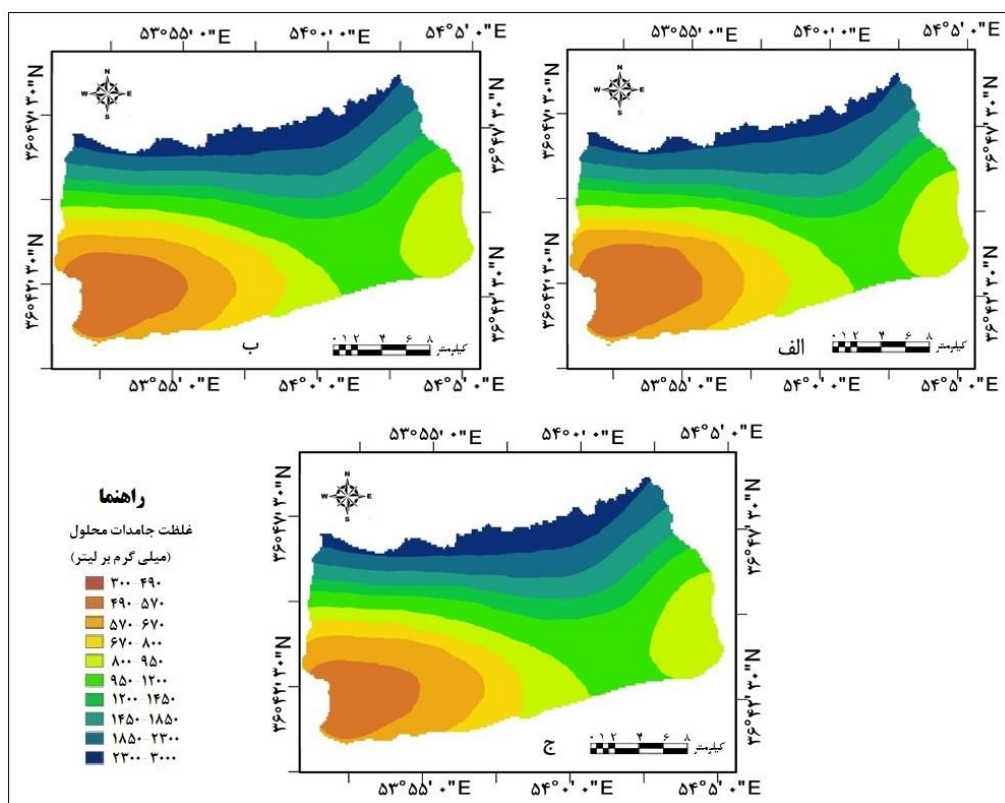
نتیجه تغییرات متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر مجموع مواد جامد محلول در آبخوان ساحلی بندر گز در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه بررسی شده است که نتایج به تفکیک در ادامه آورده شده است. با در نظر گرفتن حالت خوش‌بینانه، تأثیر تغییر پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر تغییرات مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در آینده نیز بررسی شد که نتایج (شکل ۳ و ۴) بیانگر این است که در انتهای دوره مورد بررسی، مجموع مواد جامد محلول در آبخوان دچار تغییرات خاصی نخواهد شد.

جدول ۱. نتایج ارزیابی مدل کیفی آب زیرزمینی با معیار میانگین قدر مطلق درصد خلأ

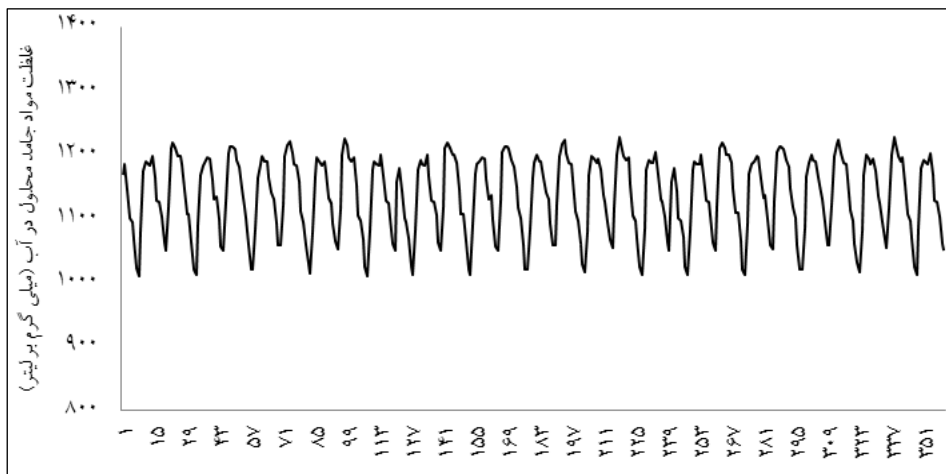
| زمان | صحت‌سنجی | واسنجی |
|----------|----------|--------|
| مهر | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۰۰۸ |
| آبان | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۰۳ |
| آذر | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۰۵ |
| دی | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۸ |
| بهمن | ۰/۰۵۲ | ۰/۰۱ |
| اسفند | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۱۲ |
| فروردین | ۰/۰۵۵ | ۰/۰۱۸ |
| اردیبهشت | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۱۵ |
| خرداد | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۱۴ |
| تیر | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۲۶ |
| مرداد | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۲۶ |
| شهریور | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۲۹ |



شکل ۲. الف و ب: به ترتیب میزان بارش تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5؛ ج و د: به ترتیب میزان دما تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP2.6 و RCP8.5

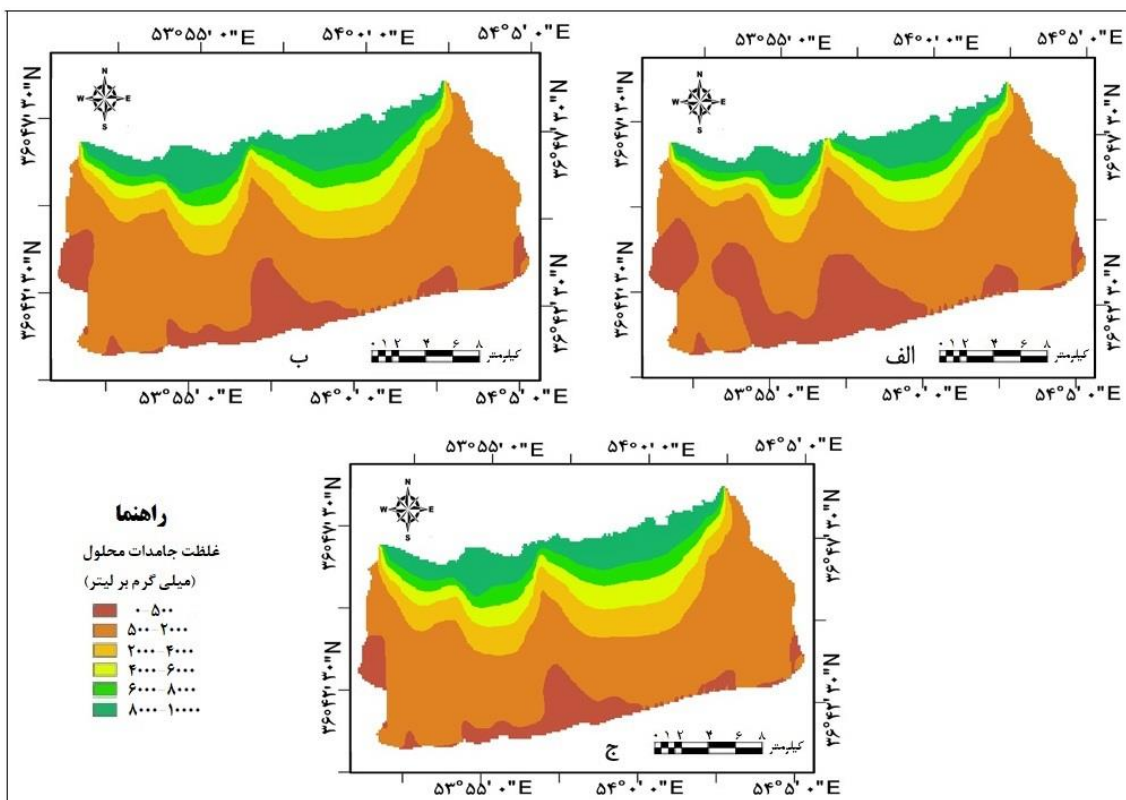


شکل ۳. الف: توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در انتهای دوره نزدیک (۲۰۴۰): ب: توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در انتهای دوره میانی (۲۰۷۰): ج: توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در انتهای دوره دور (۲۱۰۰).

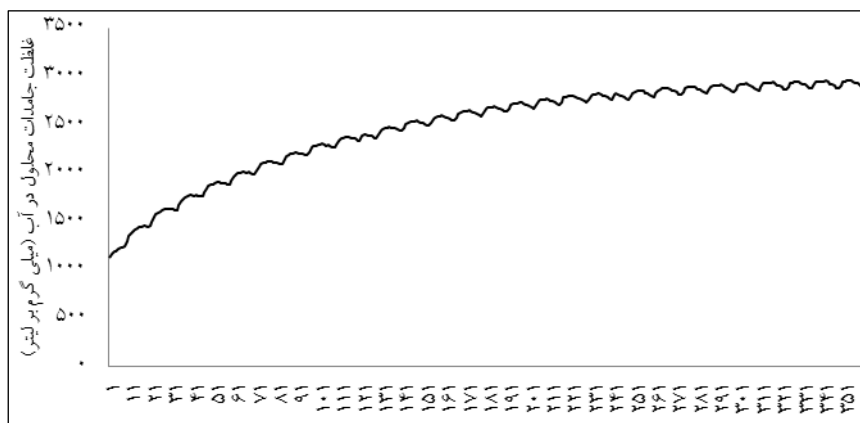


شکل ۴. نمودار متوسط مجموع جامدات محلول در آینده در حالت خوش‌بینانه (گام زمانی فصلی از ۲۰۱۰ تا ۲۱۰۰)

با در نظر گرفتن حالت بدبینانه تأثیر تغییر پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بر تغییرات مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در آینده نیز بررسی شد که نتایج (شکل ۵ و ۶) به صورت نقشه و نمودار ارائه شده است. بررسی نمودارها و نقشه‌های ارائه‌شده در حالت بدبینانه نشان می‌دهد که متوسط مقادیر مجموع مواد جامد محلول در سطح آبخوان روند رو به رشد خواهد داشت؛ همچنین به طور مشخص ناحیه توسعه آلودگی در مرزهای شمالی آبخوان ساحلی بندر گز در آینده به سمت مرزهای جنوبی توسعه خواهد یافت و کیفیت آب آبخوان به شکل قابل توجهی کاهش خواهد یافت.



شکل ۵. الف: توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در انتهای دوره میانی (۲۰۷۰): ب: توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در انتهای دوره نزدیک (۲۰۴۰): ج: توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در انتهای دوره دور (۲۱۰۰).



شکل ۶. نمودار متوسط مجموع جامدات محلول در آینده در حالت بدبینانه (گام زمانی فصلی از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰)

بحث

بررسی نتایج معیار ارزیابی مدل نشان می‌دهد که دقت مدل در اولین گام شبیه‌سازی در مرحله واسنجی، یعنی مهرماه بیشترین مقدار و در شهریورماه کمترین مقدار است؛ همچنین در مرحله صحت‌سنجی نیز گام‌های اولیه زمانی بیشترین دقت را در طول دوره صحت‌سنجی نشان می‌دهد. در نظر گرفتن مقادیر معیار ارزیابی دقت مدل (مقادیر میانگین قدر مطلق درصد خطا جدول ۱) مؤید آن است که مدل در هر دوره واسنجی و صحت‌سنجی به شکل کاملاً مناسبی توانسته است مقدار ماده جامد محلول را در سطح آبخوان ساحلی بندر گز شبیه‌سازی کند. پایداری مدل (مقایسه مقدار میانگین قدر مطلق درصد خطا در ستون‌های دوم و سوم جدول ۱) در دوره صحت‌سنجی نشانگر آن است که مدل از اعتمادپذیری کاملاً مناسبی برخوردار است و می‌تواند برای برآورد تغییرات مقدار و توزیع مکانی ماده جامد محلول در سطح آبخوان در آینده به کار گرفته شود. برای بررسی اثر تغییر اقلیم می‌توان سناریوهای متفاوتی را مد نظر قرار داد. در این مطالعه با توجه به بررسی نتایج سناریوهای مختلف دو سناریو که نشان‌دهنده حالت خوش‌بینانه و بدبینانه برای آینده است در نظر گرفته شد که این رویکرد با توجه به مفهوم لزوم بررسی دامنه شرایط متفاوت اتخاذ شده است. لازم به ذکر است که هر دو سناریو نشان‌دهنده افزایش در بارش و نیز دما در آینده هستند و تغییرات این دو متغیر در سناریوهای و البته در دوره‌های مختلف به صورت متفاوت از یکدیگر است (نمودارهای ارائه شده در شکل ۲). بررسی نتایج ناشی از اعمال سناریو خوش‌بینانه نشان می‌دهد که مقدار متوسط مجموع ماده جامد محلول در فصل‌ها و سال‌های مختلف در آینده رفتاری تناوبی فصلی در سطح آبخوان خواهد داشت (شکل ۴) و افزایش قابل توجهی در مقدار متوسط ماده جامد محلول در سطح آبخوان رخ نخواهد داد (شکل ۳) که البته با توجه به شرایط منطقه یک سناریو کاملاً خوش‌بینانه و با در نظر گرفتن فرض سازگاری منطقه با تغییرات قابل توجه محیطی است.

بررسی اعمال سناریوی بدبینانه منجر به نتایج کاملاً متفاوت نسبت به اعمال سناریوی خوش‌بینانه شده است که البته اعمال این سناریو برای مدیریت شرایط احتمالاً نامناسب در آینده ضروری است. براساس این سناریو، مقدار متوسط مجموع ماده جامد محلول در سطح آبخوان با تناوب فصلی روندی افزایشی خواهد داشت که شدت این تغییرات در دوره‌های مختلف متفاوت است (شکل ۶). علت این تغییرات فصلی، وجود الگوی مشخص فصلی در تغییرات متغیرهای هیدرولوژیکی مورد بررسی در سطح آبخوان ساحلی بندر گز است؛ همچنین بررسی توزیع مکانی مقدار مجموع ماده جامد محلول نشان می‌دهد که با گذشت زمان مقدار آلودگی در نواحی شمال آبخوان افزایش می‌یابد که این نتیجه، با توجه به اینکه شمال آبخوان در ناحیه ساحلی قرار دارد و با در نظر گرفتن جزئیات

فیزیکی سناریو بدبینانه و توسعه تهاجم آب شور دریا به آب شیرین آبخوان ساحلی، منطقی است و این نتایج در سایر پژوهش‌های مشابه نیز گزارش شده است (ریاد و همکاران، ۲۰۱۶؛ المکتومی و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی‌ها در نقاط مختلف نشان می‌دهد که پدیده تهاجم آب شور دریا به آب شیرین آبخوان ساحلی در موارد متعددی روی داده است و موجب کاهش کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان ساحلی شده است. نکته دیگری که باید در نظر داشت این است که افزایش مقدار مواد جامد محلول در سطح آبخوان الگوی یکنواختی ندارد (شکل ۵) و این مسئله ناشی از توزیع مکانی چاه‌های برداشت از منابع آب زیرزمینی است که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر مقدار انتقال آلودگی در سطح آبخوان داشته باشد (عبدالحمید، ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری

آبخوان‌های ساحلی به‌علت اندرکنش با دریا از پیچیدگی و حساسیت خاصی برخوردار هستند و در معرض خطر نفوذ آب شور از دریا به سمت آبخوان قرار دارند؛ همچنین قرارگیری نواحی مسکونی در آبخوان‌های ساحلی با توجه به پساب ناشی از مصارف آب شرب و نیز کاربرد چاه جذبی در دفع پساب، می‌تواند موجب افزایش پتانسیل کاهش کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان‌های ساحلی شود؛ از طرفی تغییر اقلیم می‌تواند این خطرات را تشدید کند؛ بنابراین لازم است وضعیت این آبخوان‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم بررسی شود. این مطالعه در آبخوان ساحلی بندر گز در شمال کشور و در غرب استان گلستان انجام شد. اثرات تغییر اقلیم بر مقدار مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی در این آبخوان ساحلی در قالب دو سناریو خوش‌بینانه و بدبینانه بررسی شد که نتایج نشان داد در حالت خوش‌بینانه تغییر خاصی در مقدار مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی به‌وجود نخواهد آمد و کیفیت آب زیرزمینی تغییر خاصی نخواهد کرد؛ اما در حالت بدبینانه، متوسط مجموع مواد جامد محلول در آب زیرزمینی روند رو به رشد خواهد داشت؛ همچنین آلودگی ناشی از نفوذ آب شور که در نواحی شمالی قرار دارد، به سمت جنوب و مرکز دشت نیز توسعه خواهد یافت و وسعت زیادی از آبخوان را تحت تأثیر قرار خواهد داد و موجب کاهش کیفیت آب زیرزمینی خواهد شد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که برای پیش‌بینی تغییرات کیفیت منابع آب زیرزمینی هر سه عامل تغییرات در تراز سطح آب دریا، متغیرهای اقلیمی و نیز فعالیت‌های بشری باید به‌طور هم‌زمان شبیه‌سازی و تحلیل شوند.

References

- Abd-Elhamid, H. F. (2017). Investigation and control of seawater intrusion in the Eastern Nile Delta aquifer considering climate change. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17 (2), 311-323. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.129>.
- Al-Maktoumi, A., Zekri, S., El-Rawy, M., Abdalla, O., Al-Wardy, M., Al-Rawas, G., Charabi, Y. (2018). Assessment of the impact of climate change on coastal aquifers in Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 11 (17), 501. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3858-y>.
- Ansarifar, M. M., Salarijazi, M., Ghorbani, K., Kaboli, A. R. (2019). Simulation of groundwater level in a coastal aquifer. *Marine Georesources & Geotechnology*, 1-9. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2019.1639226>.
- Azad, A., Karami, H., Farzin, S., Saeedian, A., Kashi, H., Sayyahi, F. (2018). Prediction of water quality parameters using ANFIS optimized by intelligence algorithms (case study: Gorganrood River). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22 (7), 2206-2213. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1703-6>.
- Bahrami, E., Mohammadrezapour, O., Salarijazi, M., Jou, P. H. (2019). Effect of base flow and rainfall excess separation on runoff hydrograph estimation using gamma model (case study: Jong catchment). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23 (3), 1420-1426. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-0591-3>.

- Barbieri, M., Ricolfi, L., Vitale, S., Muteto, P. V., Nigro, A., Sappa, G. (2019). Assessment of groundwater quality in the buffer zone of Limpopo National Park, Gaza Province, Southern Mozambique. *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (1), 62-77. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3474-0>.
- Bedekar, V., Niswonger, R. G., Kipp, K., Panday, S., Tonkin, M. (2012). Approaches to the simulation of unconfined flow and perched groundwater flow in MODFLOW. *Groundwater*, 50 (2), 187-198. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2011.00829.x>.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0339-3>.
- Chang, Y., Hu, B. X., Xu, Z., Li, X., Tong, J., Chen, L., Zhang, H., Miao, J. Liu, H., Ma, Z. (2018). Numerical simulation of seawater intrusion to coastal aquifers and brine water/freshwater interaction in south coast of Laizhou Bay, China. *Contaminant Hydrology*, (215), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2018.06.002>.
- Delpla, I., Jung, A. V., Baures, E., Clement, M., Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35 (8), 1225-1233. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>.
- Ducci, D., Tranfaglia, G. (2008). Effects of climate change on groundwater resources in Campania (southern Italy). *Geological Society, London, Special Publications*, 288 (1), 25-38. <https://doi.org/10.1144/SP288.3>.
- Gaaloul, N., Pliakas, F., Kallioras, A., Schuth, C., Marinos, P. (2012). Simulation of seawater intrusion in coastal aquifers: Forty five-years exploitation in an eastern coast aquifer in NE Tunisia. *The Open Hydrology Journal*. J, 6, 31-44. <https://doi.org/10.2174/1874378101206010031>.
- Ghorbani, K., Salarijazi, M., Abdolhosseini, M., Eslamian, S., Ahmadianfar, I. (2019). Evaluation of Clark IUH in rainfall-runoff modelling (case study: Amameh Basin). *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 9 (2), 137-153. [10.1504/IJHST.2019.10018517](https://doi.org/10.1504/IJHST.2019.10018517).
- Gopinath, S., Srinivasamoorthy, K., Saravanan, K., Prakash, R., Karunanidhi, D. (2019). Characterizing groundwater quality and seawater intrusion in coastal aquifers of Nagapattinam and Karaikal, South India using hydrogeochemistry and modeling techniques. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25 (1-2), 314-334. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1578947>.
- Gopinath, S., Srinivasamoorthy, K., Saravanan, K., Suma, C. S., Prakash, R., Senthilnathan, D., Chandrasekaran, N., Srinivas, Y., Sarma, V. S. (2016). Modeling saline water intrusion in Nagapattinam coastal aquifers, Tamilnadu, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2 (1), 2. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0058-6>.
- Green, N. R., MacQuarrie, K. T. B. (2014). An evaluation of the relative importance of the effects of climate change and groundwater extraction on seawater intrusion in coastal aquifers in Atlantic Canada. *Hydrogeology Journal*, 22 (3), 609-623. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1092-y>.
- Green, T. R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Hiscock, K. M., Treidel, H., Aureli, A. (2011). Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405 (3-4), 532-560. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.002>.
- Holman, I. P., Allen, D. M., Cuthbert, M. O., Goderniaux, P. (2012). Towards best practice for assessing the impacts of climate change on groundwater. *Hydrogeology Journal*, 20 (1), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0805-3>.
- Hooshm, A., Salarijazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., Soleimani, S. (2013). Assessment of pan evaporation changes in South Western Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (16), 1449-1456. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.371>.
- Jha, M. K., Datta, B. (2011). Simulated annealing based simulation-optimization approach for identification of unknown contaminant sources in groundwater aquifers. *Desalination and*

- Water Treatment*, 32 (1-3), 79-85. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2681>.
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Döll, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Sen, Z., Shiklomanov, I. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological sciences journal*, 53 (1), 3-10. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>.
- Lyu, S., Chen, W., Wen, X., Chang, A. C. (2019). Integration of HYDRUS-1D and MODFLOW for evaluating the dynamics of salts and nitrogen in groundwater under long-term reclaimed water irrigation. *Irrigation science*, 37 (1), 35-47. <https://doi.org/10.1007/s00271-018-0600-1>.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M., Soleymani, S. (2012). Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 7 (18), 2835-2843. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.182>.
- Moslemzadeh, M., Salarizazi, M., Soleymani, S. (2011). Application and assessment of kriging and cokriging methods on groundwater level estimation. *Journal of American Sciences*, 7 (7), 34-39.
- Ranjan, P., Kazama, S., Sawamoto, M. (2006). Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources. *Global Environmental Change*, 16 (4), 388-399. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.006>.
- Riad, A. G. P., Gad, M. A., Rashed, K. A., Hasan, N. A. (2016). Climate Change and Sea Level Rise Impacts on Seawater Intrusion at Jefara Plain, Libya. *Nature and Science*, 14 (3), 75-81. <https://doi.org/10.7537/marsnsj14031611>.
- Rozell, D. J., Wong, T. F. (2010). Effects of climate change on groundwater resources at Shelter Island, New York State, USA. *Hydrogeology Journal*, 18 (7), 1657-1665. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0615-z>.
- Sadeghian, M. S., Salarijazi, M., Ahmadianfar, I., Heydari, M. (2016). *Stage-Discharge relationship in tidal rivers for tidal flood condition*. Feb-Fresenius Environmental Bulletin, 4111.
- Salarijazi, M., Ghorbani, K. (2019). Improvement of the simple regression model for river'EC estimation. *Arabian Journal of Geosciences*, 12 (7), 235. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4392-2>.
- Stuart, M. E., Goddy, D. C., Bloomfield, J. P., Williams, A. T. (2011). A review of the impact of climate change on future nitrate concentrations in groundwater of the UK. *Science of the Total Environment*, 409 (15), 2859-2873. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.016>.
- Surinaidu, L., Rao, V. V. G., Mahesh, J., Prasad, P. R., Rao, G. T., Sarma, V. S. (2015). Assessment of possibility of saltwater intrusion in the central Godavari delta region, Southern India. *Regional Environmental Change*, 15 (5), 907-918. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0678-9>.
- Zammouri, M., Jarraya-Horriche, F., Odo, B. O., Benabdallah, S. (2014). Assessment of the effect of a planned marina on groundwater quality in Enfida plain (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 7 (3), 1187-1203. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0814-0>.
- Zhang, C., Lai, S., Gao, X., Xu, L. (2015). Potential impacts of climate change on water quality in a shallow reservoir in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (19), 14971-14982. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4706>.

