

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی مناطق خشک مطالعه موردی: دشت صحرای باغ

عبدالحسین یوسفی

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

بهروز نصیری*

دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

مصطفی کریمپور

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

آرش ملکیان

دانشیار گروه مهندسی احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۱

چکیده

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب، بخصوص آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا سطح آب زیرزمینی در این مناطق تحت تأثیر شرایط اقلیمی و دخالت‌های انسانی، بشدت در حال نوسان بوده است. در این پژوهش، ابتدا روند تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت صحرای باغ با استفاده از داده‌های ۱۷ حلقه چاه پیژومتری در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ مورد بررسی قرار گرفت. به‌کارگیری آزمون نا پارامتری من-کندال، وجود روند در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد را نشان داد. محاسبه شیب‌خط روند به روش تخمین‌گر سن نیز نشان داد که شیب روند سالانه چاه‌های پیژومتری دشت بین $+۰/۰۷۴$ تا $-۲/۴۱۴$ متر در نوسان است که بیشترین روند کاهشی شیب در چاه واقع در جنوب غربی روستای دشتی روی داده است. به‌طور کلی سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت در طول دوره به‌طور متوسط $۱۰/۲$ متر افت داشته است. سپس از آنجایی که بخش کشاورزی اصلی‌ترین مصرف‌کننده منابع آب زیرزمینی دشت است؛ از وضعیت تعادل آب کشاورزی به روش ER جهت ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات سطح آب زیرزمینی استفاده شد. به این منظور، تغییرات شاخص ER توسط خروجی‌های مدل HadCM3 ارزیابی گردید. بررسی‌های نشان داد که شاخص ER در سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به ترتیب $۲۹/۲$ ، $۲۱/۴$ و $۱۱/۳$ درصد افزایش خواهد یافت. این وضعیت باعث خواهد شد کمبود کنونی آب در دشت صحرای باغ طی دوره زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تشدید شود و روند افزایشی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی که پیامد آن افت سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت است کماکان ادامه یابد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، سطح ایستابی، آزمون من-کندال، مدل HadCM3، دشت صحرای باغ

مقدمه

تغییر اقلیم که در مقیاس زمانی و مکانی وسیعی رخ می‌دهد، تحت تأثیر عوامل متعددی همچون علل زمینی، کیهانی و انسانی شکل می‌گیرد (اکبری، ۱۳۸۹:۱). بر اثر تغییرات اقلیمی ناهنجاری‌ها و یا نوساناتی در روند شاخص‌های هواشناسی از جمله بارندگی و دما حاصل می‌شود که این ناهنجاری‌ها در بسیاری از نقاط دنیا شدید است و موجب اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود (محمدی، ۱۳۹۰:۱۸). از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات اقلیمی، گسترش نواحی خشک و تشدید شرایط بحرانی در نواحی خشک و نیمه‌خشک بر اساس سناریوهای مختلف است. محدودیت در آب قابل‌دسترس همراه با روند روزافزون افزایش جمعیت در مناطق خشک دنیا از دیگر چالش‌های مهم پیشروست. به‌طور کلی با پدیده گرمایش جهانی، چرخه هیدرولوژیکی تندتر خواهد شد و شرایط ناحیه‌ای را دگرگون خواهد کرد. تقاضای بیشتر و مصرف زیادتر آب اثرات منفی تغییرات اقلیمی بر منابع آب را مضاعف می‌کند. نتایج حاصل از اجرای اغلب مدل‌های اقلیمی، بیانگر تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میزان آب دسترس در مقیاس‌های بزرگ است. تغییرات اندک در متغیرهای دما و بارش و رابطه غیر خطی آن‌ها با شرایط تبخیر و رطوبت خاک منجر به تفاوت‌های فاحشی در رواناب سطحی و آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. همراه با گرمایش جهانی کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، با خطر کم‌آبی بیشتری مواجه خواهند شد (شائمی‌برزکی و نوخندان، ۱۳۸۸:۱۲). نامناسب شدن شرایط آب و هوایی، مانند کم بودن بارندگی و بالا بودن درجه حرارت و شدت تبخیر باعث افزایش درجه غلظت املاح آب‌های زیرزمینی نیز می‌گردد (کردوانی، ۱۳۹۳:۱۷). تهی شدن مخازن آب‌های زیرزمینی، خشک شدن قنوات و چشمه‌ها و حتی چاه‌های نیمه عمیق و کاهش دبی چاه‌های عمیق، تغییر جهت جریان آب‌های زیرزمینی، شور شدن آبخوان‌ها، شور شدن خاک به‌واسطه آبیاری با آب‌های شور، بایر شدن کشتزارها، فرسایش خاک و... بیشتر دشت‌های کشور را در زمره «مناطق مبتلا به» بیابان‌زایی قرار داده است (طاووسی، ۱۳۸۸:۱۴).

بررسی آثار افزایش دما بر منابع آب در منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد که افزایش دمای منطقه تا دو درجه سانتی‌گراد موجب کاهش ۱۲ درصدی منابع آب خواهد شد که چالش‌ها و مناقشات منطقه را در آینده افزایش خواهد داد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹:۶). به غیر از دما و بارندگی، تبخیر و تعرق یکی دیگر از پارامترهایی است که در اثر تغییر اقلیم دچار نوسان شده است. این در حالی است که تبخیر و تعرق، اصلی‌ترین عامل تعیین کننده نیاز آبی گیاهان همواره مطرح می‌باشد و هرگونه تغییر در میزان تبخیر و تعرق باعث تغییر نیاز آبی گیاهان خواهد شد (اسلامیان و همکاران، ۲۰۱۱:۲۲). طی سه دهه اخیر تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی، به‌صورت کمی درآید. حاصل این تلاش‌ها تشکیل هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC^۱) بوده است. این بنیاد، مدل‌های گردش عمومی

1. Intergovernmental Panel on Climate Change

جو (GCM) را ارائه داده است. جهت تبدیل خروجی مدل های GCM به داده های روزانه از روش ریزمقیاس نمایی استفاده می شود (راندال و همکاران^۱، ۲۰۰۷:۲۸).

رزاق منش و همکاران (۸:۱۳۸۵) با بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت تبریز نشان داد که در شانزده سال آینده سطح آب زیرزمینی دشت ۲/۶ متر افت خواهد کرد. اکرامی و همکاران (۲:۱۳۹۰) در پژوهشی تحت عنوان تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان دریافتند که دشت دارای روند نزولی تغییرات سطح آب زیرزمینی بوده و در هر سال متوسط افت حدود ۰/۵ متر است. از دلایل این افت شدید، افزایش تکرار خشک سالی و برداشت بی رویه آب زیرزمینی بر شمرده اند. عباس نژاد و شهیدشت (۱۵:۱۳۹۲) در بررسی وضعیت آبخوان دشت سیرجان به این نتیجه رسیدند که روند نزولی تغییرات سطح آب زیرزمینی و متوسط افت سالانه ۰/۸ متر در سال در این دشت به دلیل برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی است. چشمی (۳:۱۳۹۳) در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص های اقلیمی و شبکه عصبی، مطالعه موردی دشت رامهرمز استان خوزستان دریافت که تأثیر تغییرات اقلیمی بر آب زیرزمینی این ناحیه در تمامی بخش های آبخوان یکنواخت نیست و با توجه به عمق کم و ساحلی بودن آبخوان، توپوگرافی دشت و جهت جریان آب زیرزمینی بیشترین افت تراز مربوط به جنوب شرقی دشت مورد مطالعه است. رضایی بنفشه و همکاران (۹:۱۳۹۴) در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریزمقیاس آماری دریافتند که میانگین افت تجمعی سطح آب زیرزمینی حوضه در سال دهم پیش بینی نسبت به سال پایه ۷/۸۵ متر خواهد بود. زارعیان و همکاران (۱۰:۱۳۹۵) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از مدل های GCM دریافتند که شاخص تعادل در آب موجود حوضه زاینده رود در الگوهای تغییر اقلیم، بین ۱۳ تا ۵۲ درصد افزایش خواهد یافت. کاپوچینو همکاران^۳ (۲۵:۲۰۱۰) در مطالعه اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی منطقه پینگ تنگ تایوان؛ با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی که اساس آن اطلاعات زمین شناسی، هیدرولوژیکی و ژئوشیمی بود و همچنین با بستن یک رگرسیون خطی مدل بارش برای ۲۰ سال آینده دریافتند که سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر تغییر اقلیم به تدریج کاهش خواهد یافت. شر ستا و همکاران^۴ (۳۰:۲۰۱۶) تأثیرات تغییر اقلیم را بر روی منابع آب زیرزمینی در دلتای مکنونگ در کشور ویتنام مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد تا پایان قرن ۲۱ میزان تغذیه آب های زیرزمینی و در نتیجه سطح آب زیرزمینی منطقه کاهش می یابد.

در بین منابع آب، آب های زیرزمینی از اهمیت خاصی در دشت صحرای باغ برخوردار است که روز به روز بر اهمیت آن افزوده می شود. در حال حاضر آب مصرفی منطقه جهت کشاورزی از چاه های عمیق و نیمه عمیق حفر شده در دشت تأمین می گردد (عقیفی و همکاران، ۱۶:۱۳۹۴)؛ بنابراین در پژوهش حاضر سعی شده تأثیر تغییر اقلیم بر سطح ایستابی آب زیرزمینی از طریق تأثیر بر تعادل آب کشاورزی دشت صحرای باغ مورد مطالعه قرار گیرد. در این پژوهش، متغیرهای

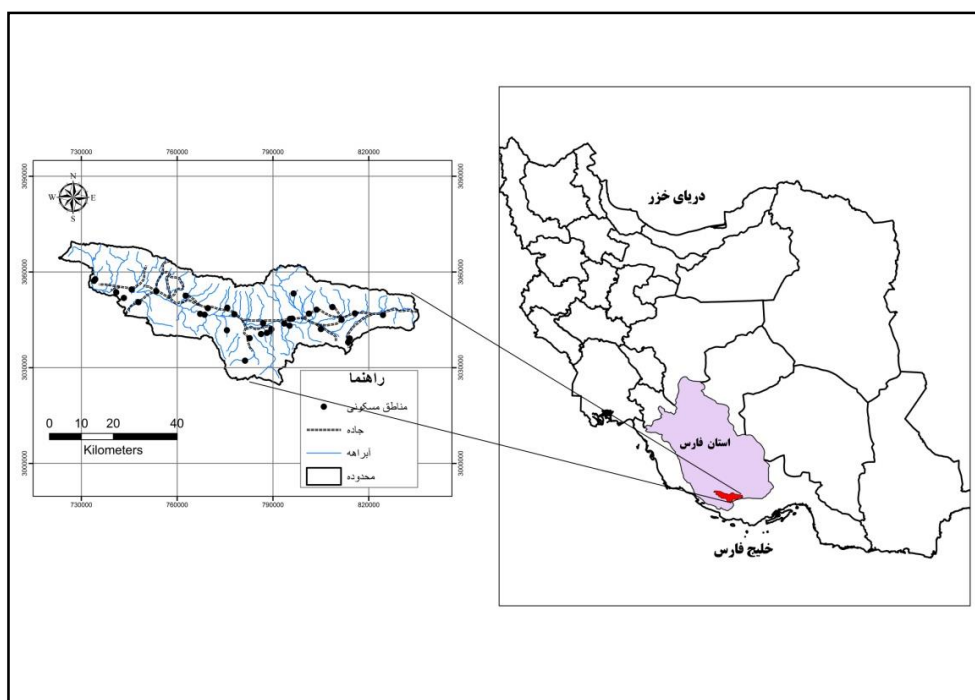
1. General Circulation Model
2. Randall et al.
3. Kuo-Chinet al.
4. Shrestha

اقلیمی دما، بارش و تبخیر - تعرق پتانسیل تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 با استفاده از مدل HadCM3 و با به کارگیری مولد اقلیمی LARS-WG² برای دوره زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی تولید می گردند.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت صحرای باغ در جنوب استان فارس و در فاصله ۱۵ کیلومتری شهر لار و در حدفاصل ۵۳ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). وسعت دشت صحرای باغ ۲۱۹۵/۸۸ کیلومتر مربع بوده که از دو قسمت شرقی و غربی تشکیل یافته است. قسمت شرقی بین دو طاقدیس بنشکتو در شمال و بورغ در جنوب و قسمت غربی آن بین دو طاقدیس بواش در شمال و گاوبست در جنوب قرار دارد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت صحرای باغ لارستان

محدوده دشت صحرای باغ فاقد جریان سطحی دائمی بوده و شیب عمومی منطقه از شرق به غرب می باشد. روان آب حاصل از بارندگی از طریقه آبراه‌های کوچک و بزرگ انتهای دشت وارد مسیل اصلی شده و به رودخانه فداغ می پیوندد. آب مصرفی منطقه جهت شرب و کشاورزی از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق حفر شده در دشت تأمین می گردد؛

1. Hadly Coupled Atmosphere-Ocean GeneralCirculation Model
2. Long Ashton Research StationWeather Model

اما به دلیل واقع شدن دشت در منطقه خشک و بروز خشک‌سالی‌های اخیر، میزان آبی که سالانه وارد سفره‌های زیرزمینی شده و باعث تغذیه آن‌ها می‌گردد؛ کم شده لذا غلظت املاح در آب‌های زیرزمینی این دشت در حال افزایش است (عقیقی و همکاران، ۱۳۹۴:۱۶). بر اساس اطلاعات موجود تعداد ۳۶۸ حلقه چاه در دشت صحرای باغ موجود بوده که میزان تخلیه و برداشت فعلی از آبخوان دشت ۵۲/۴۷۶ میلیون مترمکعب در سال است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۹۳:۱۳).

داده‌های پژوهش

جهت مطالعه روند تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت صحرای باغ، از داده سطح ایستابی ۱۷ چاه پیزومتری که توسط سازمان آب منطقه‌ای فارس در نقاط مختلف دشت حفر شده است؛ در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ استفاده شد. متغیرهای اقلیمی مورد نیاز پژوهش نیز از اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک لار که در نزدیکی دشت مورد مطالعه قرار دارد؛ در طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۱ استخراج گردید.

روش پژوهش

آزمون نا پارامتری من - کندال

این آزمون ابتدا توسط من^۱ (۲۶:۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۲ (۲۴:۱۹۷۵) تکامل یافت این روش به‌طور گسترده در مباحث هواشناسی و اقلیم‌شناسی کاربرد دارد (بارن و النور^۳، ۲۰۰۲:۲۰). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون آماره T من - کندال به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$T = \frac{4p}{n(n-1)}$$

$$P = \sum_{i=1}^n (n_i)$$

در معادلات فوق، T آماره کندال، n تعداد کل سال‌های آماری و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف n_i است که بعد از آن قرار می‌گیرد. در این معادلات n شماره ردیفی است که برای هر سال تعریف شده است (چوبین و همکاران، ۱۳۹۱:۴).

معنی‌داری آماره T نیز توسط رابطه زیر آزمون می‌شود:

$$T_t = \pm t_g \sqrt{\frac{4n+10}{9n(n-1)}}$$

-
1. Mann
 2. Kendall
 3. Burn& Elnur

در این پژوهش، t_g مقدار بحرانی توزیع نرمال است (چوبین و همکاران، ۱۳۹۱:۴). این مقدار در سطح ۰/۰۰۱ برای آزمون دو دامنه برابر با ۳/۲۹ است (مهدوی و طاهر خانی، ۱۳۹۱:۱۹). در صورت اعمال این مقدار، T_t معادل $\pm 0/76$ به دست می‌آید. با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده برای T_t ، حالات مختلفی مشاهده خواهد شد: اگر $-T_t < T < +T_t$ هیچ‌گونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند. همچنین اگر $+T_t < T$ نشان‌دهنده روند مثبت در سری‌ها و در صورتی که $-T_t > T$ باشد، روند منفی در سری‌ها غالب خواهد بود. در این مطالعه آماره T من-کندال با استفاده از نرم‌افزار Excel برای سری زمانی سالانه محاسبه شده است.

شیب خط روند (تخمین گر سن)

یک شاخص بسیار مفید در آزمون من-کندال، شیب خط روند در سری داده‌هاست که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (سن، ۱۹۶۶:۳۹):

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), \forall j > i$$

در رابطه بالا β برآوردگر شیب خط روند و x_i و x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی در سال i ام و j ام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی) β نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۳:۱۱). در این روش، مقادیر پرت موجود در سری داده‌ها، اثر کمی در تعیین شیب روند دارند که مزیت اصلی آن نسبت به روش رگرسیون خطی است (چوبین و همکاران، ۱۳۹۱:۴).

بررسی وضعیت تعادل آب بخش کشاورزی

تبخیر و تعرق اصلی‌ترین عامل مؤثر در تعیین نیاز آبی گیاهان مطرح می‌باشد (خالقی، ۱۳۹۴:۵). بیشتر منابع آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در بخش کشاورزی مصرف می‌شود؛ بنابراین تغییر در میزان تبخیر و تعرق، سهم بسزایی در برهم خوردن تعادل آبی دشت خواهد داشت. یکی از شاخص‌های تعیین وضعیت تعادل آب کشاورزی، شاخص باران مؤثر (ER^2) است (خالقی، ۱۳۹۴:۵). این شاخص به روش‌های مختلفی برآورد می‌گردد که یکی از این روش‌ها، روش نسبت است. با استفاده از روش نسبت، علاوه بر باران مؤثر در طول کل فصل رشد، می‌توان مقدار آن را برای تعدادی از روزها نیز تخمین زد (خالقی، ۱۳۹۴:۵). این نسبت برای هر دوره زمانی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$ER = \frac{ET_p}{P}$$

در رابطه فوق، ER باران مؤثر، ET_p تبخیر و تعرق پتانسیل، P بارش است (رحمان و همکاران، ۲۰۰۸:۲۷).

1. Sen
2. Effective Rainfall
3. Potential Evapotranspiration
4. Rahman et al.

بررسی آثار تغییر اقلیم

به منظور انجام مطالعات اثر تغییر اقلیم، ابتدا می‌بایست متغیرهای اقلیمی، تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. معتبرترین روش شبیه‌سازی، استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM است. در این پژوهش متغیرهای اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک لار با استفاده از مدل HadCM3 تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی شبیه‌سازی می‌گردند. با توجه به اینکه از ضعف‌های GCM بزرگ‌مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها به لحاظ مکانی و زمانی نسبت به منطقه مورد مطالعه است؛ لذا این متغیرها برای مطالعات از دقت کافی برخوردار نیستند؛ بنابراین جهت انطباق مقیاس خروجی این مدل، با مقیاس مورد نیاز مطالعه محلی تغییر اقلیم، به ریزمقیاس کردن متغیرهای دما و بارش توسط مدل LARS-WG پرداخته می‌شود. با استفاده از داده‌های اقلیمی دما و بارش در دوره پایه و در دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی که توسط مدل گردش عمومی جو تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 شبیه‌سازی شده است؛ تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تورنت وایت برآورد می‌گردد. سپس به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات آب زیرزمینی دشت صحرای باغ، با محاسبه بارش مؤثر به روش نسبت (نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش)، وضعیت تعادل آب کشاورزی دشت صحرای باغ در دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی تحت سناریوهای تغییر اقلیم مورد کنکاش قرار داده و در نهایت با دوره زمانی پایه مقایسه می‌گردد.

یافته‌ها

روند تغییرات سطح ایستابی

تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیم در آینده و ارزیابی میزان تأثیرگذاری آن بر منابع آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت است. به این منظور ابتدا روند تغییرات سالانه سطح ایستابی دشت صحرای باغ در دوره پایه‌ها استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج به دست آمده از اعمال آماره T و آماره بحرانی T_t من-کندال نشان‌دهنده روند معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد است. طبق این آزمون سطح ایستابی سالانه چاه‌های مورد مطالعه در بازه آماری ۲۰۱۶-۲۰۰۶ در دشت صحرای باغ دارای روند بوده است. این روند برای تمامی چاه‌ها در طی دوره آماری منفی یا کاهشی است. حداقل مقدار منفی ($T = -0.929$) را چاه واقع در روستای کندر و حداکثر مقدار منفی ($T = -0.999$) را چاه واقع در جنوب روستای دشتی نشان می‌دهد.

مقادیر شیب روند سالانه با استفاده از روش سن محاسبه گردید که در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد روند شیب‌خط تحلیل‌گر سن (β) در سری سالانه برای تمامی چاه‌ها منفی است. این مقادیر بین ($\beta = -0.074$) و ($\beta = -2/414$) قرار دارد که کمترین آن مربوط به چاه واقع در روستای عماد ده و بیشترین آن مربوط به چاه واقع در جنوب غربی روستای دشتی می‌باشد.

جدول ۱: مقدار آماره (T) و (B) آزمون من-کنندال در سری سالانه متغیر تراز آب زیرزمینی دشت صحرای باغ (۲۰۱۶-۲۰۰۶)

| موقعیت چاه | آماره (T) | آماره (B) | موقعیت چاه | آماره (T) | آماره (B) |
|-----------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|---------------------|-----------|
| شرق روستای زروان | ^d -۰/۹۹۳ | -۱/۶۱ | روستای به نو | ^d -۰/۹۸۸ | -۱/۲۳۳ |
| روستای دشتی | ^d -۰/۹۹۸ | -۱/۷۹ | روستای دولت‌آباد | ^d -۰/۹۹۵ | -۱/۰۲۶ |
| جنوب روستای دشتی | ^d -۰/۹۹۹ | -۱/۹۸۵ | شمال عماد ده | ^d -۰/۹۸۵ | -۰/۵۹۲ |
| روستای خلور | ^d -۰/۹۹۴ | -۱/۵۱ | روستای عماد ده | ^d -۰/۹۷۲ | -۰/۰۷۴ |
| روستای ده میان | ^d -۰/۹۴۴ | -۰/۲۸۵ | غرب روستای چاه‌ریگی | ^d -۰/۹۸۱ | -۰/۰۹۱ |
| روستای کندر | ^d -۰/۹۲۹ | -۰/۴۰۳ | روستای کرد شیر | ^d -۰/۹۹۶ | -۰/۴۲۲ |
| روستای باغ | ^d -۰/۹۹۷ | -۱/۶۸۷ | روستای دیده‌بان | ^d -۰/۹۹۳ | -۰/۱۷۶ |
| جنوب غربی روستای دشتی | ^d -۰/۹۹۷ | -۲/۴۱۴ | دامنه جنوبی روستای دیده‌بان | ^d -۰/۹۹۵ | -۰/۷۳۵ |
| جنوب روستای ده میان | ^d -۰/۹۹۳ | -۱/۴۴۹ | | | |

D معنی‌داری روند منفی با سطح اطمینان ۹۹ درصد ماخذ: نگارندگان

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط کنونی، سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ ۰/۷ متر تا ۲۴/۱۴ متر در هر دهه کاهش می‌یابد. این روند کاهش در تمام نقاط دشت یکسان نبوده بطوریکه روند افت سطح ایستابی در شرق دشت نسبت به غرب آن بیشتر است. به‌طور کلی از آنجایی که بیشتر منابع آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در بخش کشاورزی استفاده می‌شود؛ بر هم خوردن وضعیت تعادل آب بخش کشاورزی باعث افت سطح ایستابی دشت در بازه آماری ۲۰۱۶-۲۰۰۶ شده است؛ بنابراین با بررسی وضعیت تعادل آب بخش کشاورزی در شرایط تغییر اقلیم می‌توان روند تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت را دوره آینده ارزیابی کرد.

اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل

با استفاده از مدل HadCM3 بر اساس سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1، داده‌های سه متغیر اقلیمی دما، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک لار در بازه زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ شبیه‌سازی شد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد متوسط ماهانه دما در هر سه سناریوی انتشار در ماه ژوئیه بیشترین و در ماه ژانویه کمترین مقدار را خواهد داشت. بیشترین میزان بارندگی در ماه دسامبر و کمترین میزان در ماه می رخ خواهد داد. همچنین متوسط ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه ژوئیه دارای بالاترین مقدار و در ماه ژانویه دارای کمترین مقدار خواهد بود. این نتایج با داده‌های دوره پایه انطباق مناسبی دارد که این امر نشان‌دهنده برآورد دقیق مدل در شرایط منطقه است.

جدول ۲: داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای انتشار در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵

| Dec | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | Jan | متغیر اقلیمی |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|---------------------------|
| ۱۶ | ۲۱ | ۲۷/۳ | ۳۳/۲ | ۳۶/۹ | ۳۷/۷ | ۳۴/۸ | ۳۱/۱ | ۲۵/۹ | ۲۱ | ۱۶/۸ | ۱۴ | دما(°C) |
| ۵۸ | ۱۸/۴ | ۱/۵ | ۳/۶ | ۵ | ۶/۲ | ۸/۶ | ۰/۴ | ۱۱/۷ | ۴۱/۹ | ۴۲/۱ | ۲۹/۶ | بارندگی (mm) |
| ۱۶/۸ | ۴۸/۲ | ۱۴۵/۵ | ۳۳۴/۲ | ۵۳۲/۹ | ۶۱۵/۵ | ۴۴۱/۳ | ۲۸۹ | ۱۳۱ | ۵۵/۸ | ۲۰ | ۱۰/۳ | تبخیر و تعرق پتانسیل (mm) |
| ۱۶/۲ | ۲۰/۹ | ۲۷ | ۳۲/۴ | ۳۵/۸ | ۳۶/۸ | ۳۴/۴ | ۳۰/۹ | ۲۵/۵ | ۲۰/۶ | ۱۶/۵ | ۱۴ | دما(°C) |
| ۵۶ | ۱۸/۳ | ۱/۵ | ۳/۶ | ۵/۴ | ۷ | ۹/۶ | ۰/۴ | ۱۱/۲ | ۳۸/۹ | ۳۸/۵ | ۲۷/۷ | بارندگی (mm) |
| ۱۹ | ۴۹/۲ | ۱۳۹/۱ | ۲۸۶ | ۴۵۷/۲ | ۵۳۲/۶ | ۴۰۵/۱ | ۲۷۵/۲ | ۱۲۴/۲ | ۵۴ | ۲۰/۱ | ۱۱/۴ | تبخیر و تعرق پتانسیل (mm) |
| ۱۵/۱ | ۱۹/۹ | ۲۶/۲ | ۳۱/۹ | ۳۵/۴ | ۳۶/۵ | ۳۳/۸ | ۳۰/۳ | ۲۵/۴ | ۲۰/۶ | ۱۶/۲ | ۱۳/۲ | دما(°C) |
| ۵۷/۵ | ۱۸/۶ | ۱/۶ | ۳/۹ | ۵/۷ | ۶/۹ | ۹/۳ | ۰/۴ | ۱۱/۷ | ۴۱/۸ | ۴۱/۹ | ۲۹/۳ | بارندگی (mm) |
| ۱۶/۳ | ۴۳/۷ | ۱۲۶/۷ | ۲۶۶/۴ | ۴۲۵/۵ | ۴۹۸/۹ | ۳۷۱/۱ | ۲۵۴/۶ | ۱۲۵/۲ | ۵۷/۱ | ۲۰/۷ | ۱۰/۴ | تبخیر و تعرق پتانسیل (mm) |
| ۱۳/۵ | ۱۸/۲ | ۲۴/۹ | ۳۰/۳ | ۳۴ | ۳۵ | ۳۲/۹ | ۲۹/۳ | ۲۳/۶ | ۱۷/۹ | ۱۴/۳ | ۱۱/۷ | دما(°C) |
| ۴۲/۲ | ۱۲/۷ | ۳ | ۳/۲ | ۸/۲ | ۸ | ۳/۴ | ۰/۶ | ۸/۱ | ۳۳/۸ | ۳۳/۲ | ۴۱/۹ | بارندگی (mm) |
| ۱۴/۹ | ۳۷/۹ | ۱۰۹/۲ | ۲۰۹/۷ | ۳۳۰/۷ | ۳۸۰/۶ | ۳۰۶/۸ | ۲۱۶/۸ | ۱۰۲/۱ | ۴۱/۶ | ۱۷/۶ | ۹/۸ | تبخیر و تعرق پتانسیل (mm) |

مأخذ: نگارندگان

بررسی متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در سناریوهای انتشار تغییر اقلیم نشان می‌دهد، دما در سناریوی A1B، ۳/۳ درجه سانتی‌گراد، در سناریوی A2، ۲/۱ درجه سانتی‌گراد و در سناریوی B1، ۱/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. میزان افزایش دما در سناریوی A1B نسبت به دو سناریوی دیگر بیشتر است. میزان بارندگی در سناریوی A1B، ۲۲۷ میلی‌متر، در سناریوی A2، ۲۱۸/۱ میلی‌متر و در سناریوی B1، ۲۲۸/۶ میلی‌متر بوده که نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲۸/۷، ۱۹/۸ و ۳۰/۳ میلی‌متر افزایش دارد. افزایش در میزان بارندگی در سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی دیگر بیشتر است. تبخیر و تعرق پتانسیل در سناریوی A1B، ۲۶۳۰/۵ میلی‌متر، در سناریوی A2، ۲۳۷۳/۱ میلی‌متر و در سناریوی B1، ۲۲۱۶/۶ میلی‌متر پیش‌بینی شد که نسبت به دوره پایه به ترتیب ۸۵۲/۸، ۵۹۵/۴ و ۴۳۸/۹ میلی‌متر افزایش خواهد داشت. افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در سناریوی A1B نسبت به دو سناریوی دیگر بیشتر است (جدول ۳). این افزایش در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به دلیل افزایش دما تحت سناریوهای انتشار نسبت به دوره پایه است.

جدول ۳: تغییرات سالانه دما، بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه (۲۰۱۶-۲۰۰۶)

| سناریو | | | دوره پایه | |
|--------|--------|--------|-----------|---------------------------------|
| B1 | A2 | A1B | | |
| ۲۵/۴ | ۲۵/۹ | ۲۶/۳ | ۲۳/۸ | دما (درجه سانتی‌گراد) |
| ۱/۶ | ۲/۱ | ۳/۳ | | تغییرات (درجه سانتی‌گراد) |
| ۲۲۸/۶ | ۲۱۸/۱ | ۲۲۷ | ۱۹۸/۳ | بارندگی (میلی‌متر) |
| ۳۰/۳ | ۱۹/۸ | ۲۸/۷ | | تغییرات (میلی‌متر) |
| ۲۲۱۶/۶ | ۲۳۷۳/۱ | ۲۶۳۰/۵ | ۱۷۷۷/۷ | تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر) |
| ۴۳۸/۹ | ۵۹۵/۴ | ۸۵۲/۸ | | تغییرات (میلی‌متر) |

مأخذ: نگارندگان

تغییرات شاخص تعادل آب کشاورزی

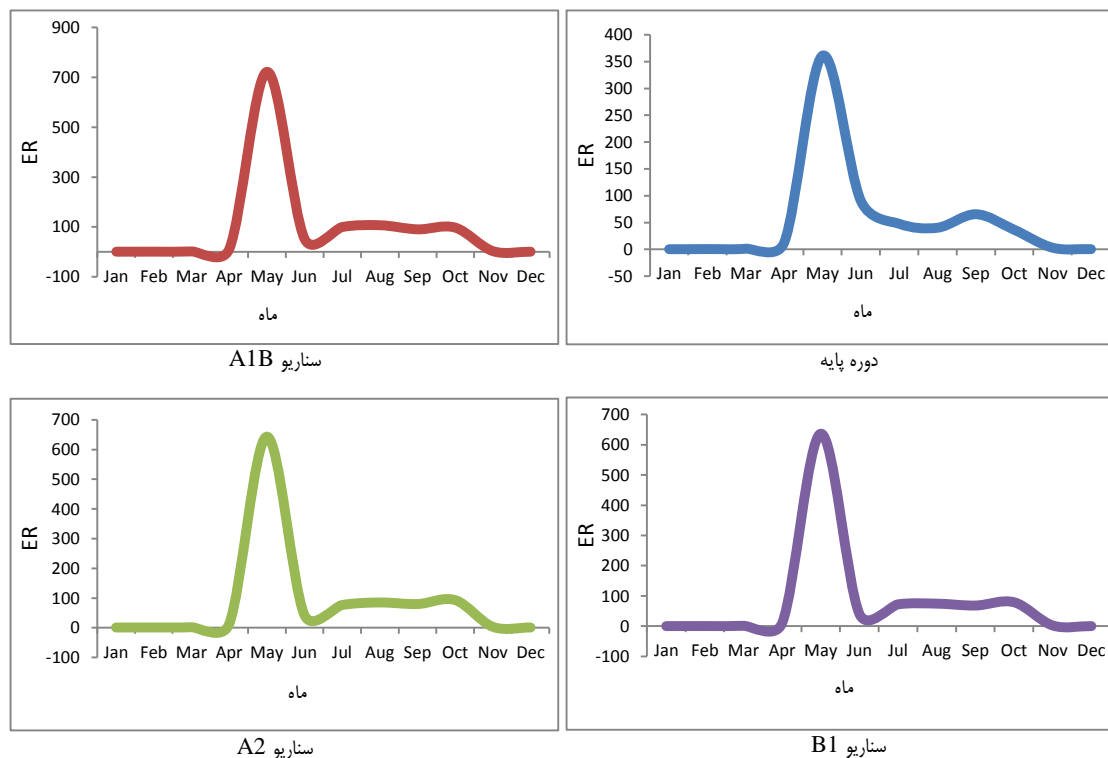
وضعیت تعادل آب بخش کشاورزی دشت صحرای باغ در دوره پایه و تحت تأثیر تغییر اقلیم در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با استفاده از شاخص ER محاسبه شد. بررسی مقادیر ماهانه شاخص ER در دوره پایه و در دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم، نشان می‌دهد که در تمامی دوره‌ها و سناریوها، شاخص ER در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر دارای کمترین مقدار و در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن، ژولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر بر میزان آن افزوده می‌شود بطوریکه در ماه می بیشترین میزان را پیدا می‌کند (جدول ۴). این روند به دلیل اختلاف زیاد تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی در ماه مذکور است.

جدول ۴: مقادیر ماهانه شاخص ER در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵

| Des | Nov | Oct | Sep | Aug | Jul | Jun | May | Apr | Mar | Feb | Jan | دوره پایه |
|------|-----|------|------|-------|------|------|-------|------|-----|-----|------|------------|
| ۰/۳۵ | ۳ | ۳۶/۴ | ۶۵/۵ | ۴۰/۳ | ۴۷/۶ | ۹۰/۲ | ۳۶۱/۳ | ۱۲/۶ | ۱/۲ | ۰/۵ | ۰/۲۳ | دوره پایه |
| ۰/۳ | ۲/۶ | ۹۷ | ۹۰/۱ | ۱۰۶/۶ | ۹۹/۳ | ۵۱/۳ | ۷۲۲/۵ | ۱۱/۲ | ۱/۴ | ۰/۵ | ۰/۳۴ | سناریو A1B |
| ۰/۳۴ | ۲/۷ | ۹۲/۷ | ۷۹/۴ | ۸۴/۷ | ۷۶/۱ | ۴۲/۲ | ۶۴۳ | ۱۱/۱ | ۱/۴ | ۰/۵ | ۰/۴ | سناریو A2 |
| ۰/۳ | ۲/۳ | ۷۹/۲ | ۶۸/۳ | ۷۴/۶ | ۷۲/۳ | ۳۹/۹ | ۶۳۶/۵ | ۱۰/۷ | ۱/۴ | ۰/۵ | ۰/۳۵ | سناریو B1 |

مأخذ: نگارندگان

مقایسه روند تغییرات ماهانه شاخص ER تحت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم در طی بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد؛ باوجود اینکه روند تغییرات شاخص ER در دوره آینده با دوره پایه تفاوت چندانی نخواهد داشت؛ اما در برخی از ماه‌ها شاخص ER نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (شکل ۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: روند تغییرات ماهانه شاخص ER در دوره پایه (۲۰۱۶-۲۰۰۶) و تحت سناریوهای انتشار در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵

بررسی شاخص ER تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ نشان می‌دهد که این شاخص نسبت به دوره پایه به ترتیب ۲۹/۲، ۲۱/۴ و ۱۱/۳ درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۵). این وضعیت که با وجود افزایش بارندگی تحت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم در بازه زمانی مورد مطالعه رخ می‌دهد به دلیل افزایش دما در سناریوهای انتشار است. بر اثر افزایش دما، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل دشت صحرای باغ در طی بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ بشدت افزایش می‌یابد که این فرآیند باعث افزایش شاخص ER می‌گردد؛ بنابراین در چنین شرایطی نیاز آبی محصولات کشاورزی در دشت صحرای باغ افزایش خواهد یافت. مقایسه تغییرات شاخص ER در سناریوهای انتشار تغییر اقلیم نیز نشان داد که در سناریوی انتشار A1B به دلیل افزایش بیشتر دما نسبت به سناریوهای A2 و B1 وضعیت تعادل آب کشاورزی دشت صحرای باغ شرایط حادتری خواهد داشت.

جدول ۵: مقادیر شاخص ER در دوره پایه و تحت سناریوهای انتشار در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵

| سناریو | | | دوره پایه | شاخص ER |
|--------|-------|-------|-----------|----------------|
| B1 | A2 | A1B | | |
| ۹/۹۷ | ۱۰/۸۸ | ۱۱/۵۸ | ۸/۹۶ | ER |
| ۱۱/۳ | ۲۱/۴ | ۲۹/۲ | | تغییرات (درصد) |

مأخذ: نگارندگان

بررسی روند تغییرات سطح ایستابی دشت صحرای باغ در شرایط تغییر اقلیم

با توجه به اینکه در دشت صحرای باغ بخش کشاورزی اصلی‌ترین مصرف‌کننده منابع آب زیرزمینی است؛ بنابراین در این پژوهش از وضعیت تعادل آب کشاورزی به روش ER جهت ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات سطح آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که باوجود افزایش بارندگی تحت سناریوهای انتشار تغییر اقلیم در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵، به دلیل افزایش دما، تبخیر و تعرق پتانسیل دشت صحرای باغ افزایش می‌یابد. در این وضعیت روند تغییرات شاخص ER در سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 مشابه دوره پایه خواهد بود؛ بنابراین روند افزایشی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی دشت صحرای باغ که نتیجه آن افت سطح ایستابی آب زیرزمینی است؛ همچنان ادامه خواهد یافت. به‌طور کلی بر اساس نتایج آزمون من-کندال و شیب‌خط تحلیل‌گر سن (β) در سری سالانه متغیر تراز آب زیرزمینی (جدول ۱)، وضعیت سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ مطابق جدول (۶) خواهد بود.

جدول ۶: وضعیت سطح ایستابی دشت صحرای باغ در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵

| موقعیت چاه | میانگین سطح ایستابی (متر) | میزان افت (متر) | موقعیت چاه | میانگین سطح ایستابی (متر) | میزان افت (متر) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| شرق روستای زروان | ۵۵۸/۵ | ۶۲/۹ | روستای به نو | ۵۶۴/۹ | ۴۸/۱ |
| روستای دشتی | ۵۴۹/۱ | ۶۹/۸ | روستای دولت‌آباد | ۵۷۳/۱ | ۴۰ |
| جنوب روستای دشتی | ۵۴۰/۸ | ۷۷/۴ | شمال عماد ده | ۵۸۸/۹ | ۲۳/۱ |
| روستای خلور | ۵۶۴/۵ | ۵۸/۹ | روستای عماد ده | ۶۰۴/۷ | ۲/۹ |
| روستای ده میان | ۶۰۸/۶ | ۱۱/۱ | غرب روستای چاه‌ریگی | ۶۰۳/۸ | ۳/۵ |
| روستای کندر | ۵۹۹/۹ | ۱۵/۷ | روستای کرد شیر | ۵۹۵/۳ | ۱۶/۴ |
| روستای باغ | ۵۶۴ | ۶۵/۸ | روستای دیده‌بان | ۵۹۷/۳ | ۶/۸ |
| جنوب غربی روستای دشتی | ۵۲۴/۴ | ۹۴/۱ | دامنه جنوبی روستای دیده‌بان | ۵۸۴/۸ | ۲۸/۷ |
| جنوب روستای ده میان | ۵۶۴/۹ | ۵۶/۵ | | | |

مأخذ: نگارندگان

بحث و نتیجه‌گیری

در اکوسیستم‌های شکننده مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران که دشت صحرای باغ نیز از آن جمله است؛ نامناسب شدن شرایط آب و هوایی، مانند کاهش بارندگی، افزایش درجه حرارت و شدت تبخیر، سطح ایستابی آب زیرزمینی را بشدت تحت تأثیر قرار داده است. از این‌رو بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در دوره‌های آتی در توسعه پایدار و مدیریت بهینه آبخوان‌ها حائز اهمیت است. در این پژوهش، ابتدا روند تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ در مقیاس سالانه با استفاده از آزمون نا پارامتری من-کندال و روش تخمین گر سن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تراز آب زیرزمینی همه چاه‌های پیژومتری دشت صحرای باغ دارای روند منفی معنی‌داری بوده که در این بین بیشترین روند منفی، مربوط به چاه واقع در جنوب روستای دشتی است. روش تخمین گر سن نیز نشان داد

که شیب روند سالانه چاه‌های پیژومتري دشت مابين ۰/۰۷۴- تا ۲/۴۱۴- متر در نوسان است که بیشترین روند کاهش شیب، در چاه واقع در جنوب غربی روستای دشتی روی داده است. در چنین وضعیتی، سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ در طول دوره ۰/۷۴ متر تا ۲۴/۱۴ متر افت کرده است. این نتایج با نتایج پژوهش دانشور وثوقی و همکاران (۲۰۱۲:۲۱) در دشت اردبیل و چوبین و همکاران (۴:۱۳۹۱) در آبخوان دشت آسپاس که با استفاده از آزمون نا پارامتری من-کندال، روند منفی سطح ایستابی را در تمامی ایستگاه‌های مورد پژوهش خود گزارش کرده‌اند؛ مشابه است. به‌طور کلی، بررسی‌ها نشان داد که چاه‌های پیژومتري واقع در غرب دشت صحرای باغ، کمترین میزان افت تراز آب زیرزمینی را داشته‌اند.

از آنجایی که بخش کشاورزی در دشت صحرای باغ اصلی‌ترین مصرف‌کننده منابع آب زیرزمینی است؛ بنابراین در این پژوهش از وضعیت تعادل آب کشاورزی جهت بررسی روند تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی استفاده شد. به این منظور، وضعیت تعادل آب کشاورزی با استفاده از شاخص بارش مؤثر (ER) به روش نسبت ارزیابی گردید. نتایج نشان داد در دوره زمانی پایه، متوسط ماهانه شاخص ER در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن، ژولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر بیشتر از یک است. این وضعیت به دلیل افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل نسبت به بارش بوده که بر نیاز آبی گیاهان تأثیر مستقیم می‌گذارد. در چنین شرایطی نیاز آبی بخش کشاورزی افزایش یافته، در نتیجه جهت جبران آن، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت در طی دوره (۲۰۱۶-۲۰۰۶) افزایش یافته است. این افزایش برداشت، موجب شده که سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت صحرای باغ به تدریج روندی کاهش پیدا کند.

به‌منظور بررسی تغییرات متغیرهای اقلیمی دما و بارش در شرایط تغییر اقلیم، از خروجی مدل HadCM3 استفاده شد. برای انطباق مقیاس خروجی این مدل با مقیاس مورد نیاز مطالعات محلی تغییر اقلیم، داده‌های دما و بارش ایستگاه سینوپتیک لار که در نزدیکی دشت صحرای باغ واقع شده به‌عنوان ایستگاه معرف توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شد. خروجی حاصل از سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در بازه زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ نشان داد که دما به ترتیب ۳/۳، ۲/۱ و ۱/۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. این میزان افزایش دما، در سناریوی A1B در مقایسه با دو سناریوی دیگر بیشتر است. بارندگی منطقه نیز تحت سناریوهای مذکور به ترتیب ۲۸/۷، ۱۹/۸ و ۳۰/۳ میلی‌متر افزایش نشان می‌دهد؛ که در سناریوی B1 بارندگی نسبت به سایر سناریوها از افزایش بیشتری برخوردار است. بررسی تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 بیانگر افزایش ۸/۸۵۲، ۴/۵۹۵ و ۹/۴۳۸ میلی‌متری نسبت به دوره پایه است. در سناریوی A1B تبخیر و تعرق پتانسیل بیشترین افزایش را نشان می‌دهد که دلیل آن، افزایش دما در سناریوی A1B نسبت به دو سناریوی دیگر است. زارعیان و همکاران (۱۰:۱۳۹۵) در حوضه آبریز زاینده‌رود، افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در سناریوهای A2، B1 و رحمانی و همکاران (۷:۱۳۹۴) در دشت بیرجند، افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل تا سال ۲۰۳۹ به میزان ۵/۲ تا ۵/۵ درصد را گزارش نموده‌اند که با نتایج این پژوهش مشابه است.

در آینده اقلیمی منطقه مطابق سناریوهای مورد بررسی در این پژوهش، متغیرهای دما و بارش با افزایش روبرو است که با گزارش IPCC (۲۰۰۷:۲۳) مبنی بر افزایش دما تطابق دارد. با افزایش دما، تبخیر و تعرق پتانسیل دشت افزایش یافته که این امر بر افزایش نیاز آبی گیاهان تأثیر مستقیم دارد. بررسی روند تغییرات ماهانه شاخص ER در دوره آینده نشان داد در ماه‌های گرم سال این شاخص افزایش یافته که با توجه به وابستگی شدید بخش کشاورزی دشت صحرای باغ به منابع آب زیرزمینی، چنین وضعیتی همچنان باعث برهم خوردن تعادل آبی و در نتیجه افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی خواهد شد. تغییرات سالانه شاخص ER در سناریوهای انتشار A2، A1B و B1 نیز نشان می‌دهد که این شاخص به ترتیب ۲۹/۲، ۲۱/۴ و ۱۱/۳ درصد نسبت به دوره پایه افزایش دارد. این نتایج مشابه پژوهش زارعیان و همکاران (۱۳۹۵:۱۰) می‌باشد که در آن بر کمبود کنونی آب در حوضه زاینده‌رود تأکید گردیده است. به‌طور کلی افزایش بارندگی پیش‌بینی شده در سناریوهای انتشار تغییر اقلیم، به بهبود وضعیت تعادل آب کشاورزی دشت صحرای باغ کمک چندانی نخواهد کرد. این وضعیت باعث خواهد شد کمبود کنونی آب در دشت صحرای باغ در طی سالیان آینده تشدید شود و با توجه به افزایش مصرف آب کشاورزی، روند افزایشی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی که پیامد آن، افت تدریجی سطح ایستابی آب زیرزمینی منطقه است، کماکان ادامه یابد. با ادامه یافتن این روند در مناطقی مانند دشت صحرای باغ که آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی آن‌ها قابل توجه است می‌تواند خسارات چشمگیری در پی داشته و زمینه بیابانی شدن این مناطق را فراهم نماید؛ بنابراین برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های جدی در بخش کشاورزی که بتواند به کاهش وابستگی این بخش به منابع آب زیرزمینی کمک کند بسیار حائز اهمیت است.

منابع

- ۱- اکبری، مصطفی. (۱۳۸۹): بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشک‌سالی و بیابان‌زایی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). مجموعه مقالات همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی، خرم‌آباد.
- ۲- اکرامی، محمد. ذبیح‌الله شریفی و حسین ملکی نژاد و محمدرضا اختصاصی. (۱۳۹۰): بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان در دهه ۸۸-۱۳۷۹. دوماهنامه علمی پژوهشی طلوع بهداشت یزد، دوره ۱۰، شماره ۳، یزد.
- ۳- چشمی، آتنا. (۱۳۹۳): ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های اقلیمی و شبکه عصبی (مطالعه موردی دشت رامهرمز استان خوزستان). نشریه منابع آب و توسعه، شماره ۴، تهران.
- ۴- چوبین، بهرام. آرشد ملکیان و حمیدرضا قره‌چایی. (۱۳۹۱): بررسی روند تغییرات زمانی سطح ایستابی آب زیرزمینی در یک زیست‌بوم خشک (مطالعه موردی: آبخوان دشت آسپاس). نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان، سال اول، کاشان.
- ۵- خالقی، نوشین. (۱۳۹۴): مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. نشریه آب و توسعه پایدار، سال دوم، شماره ۳، مشهد.
- ۶- خسروی، محمود. مرتضی اسماعیلی نژاد و حمید نظری پور. (۱۳۸۹): تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان.

- ۷- رحمانی، میترا. مجید جامی‌الاحمدی و علی شهیدی و مصطفی هادی‌زاده ازغندی. (۱۳۹۴): تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو (مطالعه موردی: دشت بیرجند). مجله بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۴، مشهد.
- ۸- رزاق منش، مصطفی. تلما سالمی و مانی سراج. (۱۳۸۵): بررسی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت تبریز. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز.
- ۹- رضایی بنفشه، محمد. طاهره جلالی عنبرودی و مهدی ضرغامی و اصغر اصغری‌مقدم. (۱۳۹۴): بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریزمقیاس آماری. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال یازدهم، شماره ۲، تهران.
- ۱۰- زارعیان، محمدجواد. سید سعید اسلامیان و حمیدرضا صفوی. (۱۳۹۵): بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود. نشریه علوم آب و خاک، سال بیستم، شماره هفتاد و پنج، اصفهان.
- ۱۱- زمانی، رضا. سجاد عبدالهی اسدآبادی و رسول میرعباسی‌نجف‌آبادی. (۱۳۹۳): تحلیل روند پارامترهای هیدرومتئورولوژیک چهار سد مهم جنوب غرب ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال پنجم، شماره ۱۸، سبزوار.
- ۱۲- شائمی‌برزکی، اکبر. مجید حبیبی‌نوخندان. (۱۳۸۸): گرمایش جهانی پیامدهای زیستی-اکولوژیکی. چاپ اول، تهران، ترجمان خرد.
- ۱۳- شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس. (۱۳۹۳): مطالعات دشت صحرای باغ لارستان
- ۱۴- طاووسی، تقی. (۱۳۸۸): فرآیندها و پیامدهای بیابان‌زایی. فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی. سال چهارم. شماره ۹.
- ۱۵- عباس نژاد، احمد. علیرضا شاهی دشت. (۱۳۹۲): بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه. مجله جغرافیا و آمایش شهری، شماره ۷، زاهدان.
- ۱۶- عقیقی، محمدابراهیم. عبدالرسول قنبری و داریوش اغنایی. (۱۳۹۴): کویرزدایی در صحرای باغ. چاپ اول، تهران، پیروزی.
- ۱۷- کردوانی، پرویز. (۱۳۹۳): منابع و مسائل آب در ایران. جلد دوم، چاپ سوم، تهران، دانشگاه تهران.
- ۱۸- محمدی، حسین. (۱۳۹۰): آب و هواشناسی مناطق خشک. چاپ اول، تهران، دانشگاه تهران.
- ۱۹- مهدوی، مسعود. مهدی طاهرخانی. (۱۳۹۱): کاربرد آمار در جغرافیا. چاپ چهارم، تهران، قومس.
- 20- Burn, Donald H. Mohamed A. Hag Elnur, (2002): Detection of Hydrologic Trends and Variability. *Journal of Hydrology*. 255: 107-122.
- 21- Daneshvar Vosoughi, Farnaz. Yagob Dinpashoh and Mohammad Taghi Aalami and Deepak Jhajharia, (2012): Trend Analysis of Groundwater Using Non-parametric Methods. *Stoch Environ Res Risk Assess*. DOI 10.1007/s00477-012-0599-4.
- 22- Eslamian. Saeid, Mohammad Javad Khordadi and Jahangir Abedi-Koupai. (2011): Effects of Variations in Climatic Parameters on Evapotranspiration in the Arid and Semi-arid Regions. *Global Planet. Change*. 78:188-194.
- 23- IPCC. (2007): The Physical Science Basis/ Contribution of Working Group 1 to the 4th Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate change. Cambridge. UK. New York. USA. 24-57p.
- 24- Kendall, M.G. (1975): Rank Correlation Methods, 4th ed. Charles Griffin: London.
- 25- Kuo-Chin, Hsu. Chung Ho Wang and Kuan Chin Chen and Chin Tai Chen, 2010. Climate-induced Hydrological Impacts on the Groundwater System of the Pingtung Plain, Taiwan. *Hydrogeology Journal*. 15: 903-912.
- 26- Mann, H.B. (1945): Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*. 13: 245-259.
- 27- Rahman M.M. Islam M.O. and Hasanuzzaman M. (2008): Study of effective rainfall for Irrigated Agriculture in South-Eastern Part of Bangladesh. *World Journal of Agricultural Science*, 4(4): 453-457.
- 28- Randall, D.A. R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichfet. J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi and K. E. Taylor. (2007): Climate Models and Their Evaluation. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of IPCC. UK: Cambridge University Press.
- 29- Sen, Pranab Kumar. (1966): Estimate of The Regression Coefficients Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.

- 30- Shrestha, Sangam. Tran Vin Bach and avaishnu Prasad Pandey, (2016): Climate Change Impacts on Groundwater Resources in Mekong Delta. Environmental Science & Policy. 61:1-13.