



Investigate of Climate Change Impacts on in Tasuj Basin by Groundwater Level Statistical Downscaling Method

M. Razaie Banafsheh^{1*}, T. Jalali Ansaroodi²,
M. Zarghami³ and A. Asghari Moghaddam⁴

Abstract

Climate change causes the change in temperature, rate of evapotranspiration, soil moisture, wind speed, and temporal and spatial variation in precipitation. These factors will lead to changes in hydrological parameters, such as groundwater level. According to the important role of climate parameters in water resources management, in this study HADCM3 model and A2, A1B and B1 scenarios are used to predict the climate parameters. For the statistical downscaling of atmospheric general circulation model data, LARS-WG model is used as one of the most famous random weather generator models. Also prediction of groundwater levels changes in Tasuj basin was done by time series models in R software for the period of 2013-2022. The results revealed a decrease in rainfall as well as higher temperatures in the A2 scenario compared to the other scenarios. Changes in temperature and precipitation are similar in A1B and B1 scenarios. In all three scenarios, maximum rising temperatures and the highest percentage of precipitation decrease will occur in the months of June, July, August and September which coincides with the peak of groundwater use for drinking, agricultural and environmental purposes. Also the cross-correlation showed that the impact of rainfall on groundwater levels has a 2 months lag. Due to the climate change and assuming the persistence of the existing conditions of exploitation from groundwater in Tasuj basin, the cumulative decline of groundwater level in a 10-year period is predicted as 7.85 meter below the baseline in 2002. These forecasts should be taken as a serious warning for water management in this region so that to prevent human and environmental disasters.

Keywords: Climate change, Downscaling, Forecast, Cross correlation, Tasuj basin.

Received: September 16, 2014

Accepted: December 8, 2014

بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به روش ریز مقیاس نمایی آماری

مجید رضایی بنفشه^{۱*}، طاهره جلالی عنصرودی^۲،
مهدی زرغامی^۳ و اصغر اصغری مقدم^۴

چکیده

تغییر اقلیم باعث تغییر دما، میزان تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، سرعت باد و نیز تغییرات زمانی و مکانی بارش می‌گردد. خود این عوامل منجر به تغییر سایر پارامترهای هیدرولوژیکی از جمله تراز آب زیرزمینی خواهند شد. در این مطالعه با توجه به نقش مهم پارامترهای اقلیمی در مدیریت منابع آب، به منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی از مدل HADCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1 استفاده شد. جهت ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو، از مدل LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد استفاده شد. همچنین پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج برای دهه ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با الگوی سری‌های زمانی در نرم افزار R انجام شد. نتایج نشان‌دهنده کاهش بارش و افزایش دمای بالاتر در سناریوی A2 نسبت به دو سناریوی دیگر می‌باشد. تغییرات دمایی و بارشی در سناریوهای A1B و B1 مشابه هم می‌باشند. در هر سه سناریو بیشترین افزایش دما و بالاترین درصد کاهش بارش در ماههای ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر اتفاق خواهد افتاد که همزمان با اوج مصرف آبهای زیرزمینی به منظور شرب، کشاورزی و نیازهای زیست محیطی می‌باشد. همچنین بررسی همبستگی متقاطع نشان دهنده تاثیر بارش بر تراز آب زیرزمینی با تاخیر زمانی ۲ ماهه می‌باشد. با توجه به تغییر اقلیم و با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری از آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج، میانگین افت جمعی سطح آب زیرزمینی در سال دهم پیش‌بینی (۱۴۰۱) نسبت به سال پایه (۱۳۸۱) ۷/۸۵ متر خواهد بود. این پیش‌بینی هشدار جدی برای مدیریت آب در این منطقه بوده تا از بروز فاجعه انسانی و زیست محیطی جلوگیری شود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریز مقیاس نمایی، پیش‌بینی، همبستگی

متقاطع، حوضه آبریز تسوج.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۶/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۱۷

1- Associate Professor of Climatology, University of Tabriz, Iran, Email: mrbanafsheh@yahoo.com

2- Ph.D Student in Climatology, University of Tabriz, Iran

3- Assistant Professor at Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran

4- Professor at Faculty of Geology, University of Tabriz, Iran

*- Corresponding Author

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، گرایش اقلیم شناسی دانشگاه تبریز.

۲- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، گرایش آب دانشگاه تبریز.

۴- استاد دانشکده زمین شناسی، گرایش هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز.

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

تخلیه بیلان آب زیرزمینی (بارش و تبخیر) و نیز سری‌های ذخیره آب زیرزمینی را تحلیل نموده و در بررسی آمار بلندمدت تغییرات گردشی (فصلی) در هر سال را مشاهده نموده‌اند. سالاس و همکاران (۱۹۸۰)^۲ مناسب‌ترین الگو برای تحلیل مطالعات هیدرولوژی و اقلیمی را الگوی ARIMA معرفی نموده‌اند. کوهن (۱۹۸۶)^۳ اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر بارش و دما و در نتیجه تغییرات تراز آب دریاچه‌های بزرگ آمریکای شمالی را بررسی نمود. نتایج مطالعه وی نشان می‌دهد که ذخیره آب خالص دریاچه‌های مذکور در واکنش به تغییرات اقلیمی کاهش می‌یابد. پادایلا (۱۹۹۶)^۴ برای پیش‌بینی آبدی چشمه کارستی پس از تبدیل لگاریتمی و تفاضل‌گیری از سری داده‌ها، از الگوی ARMA استفاده و کاربرد آن را توصیه نموده‌اند. سامانی (۲۰۰۱) از توابع خودهمبستگی و چگالی طیفی فن سری‌های زمانی برای بررسی وضعیت سفره‌های کارستی و بازتاب این سفره‌ها به مولفه‌های تغذیه و تخلیه مانند بارش و تبخیر در حوضه مهارلو پرداخته‌اند.

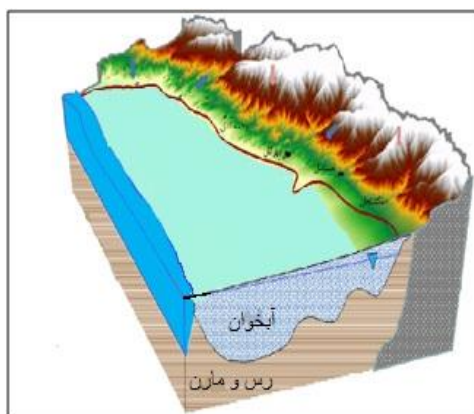
رحمانی و سدهی (۲۰۰۴) برای الگوبندی و پیش‌بینی وضعیت سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار از الگوهای سری‌های زمانی بهره گرفته‌اند. آنها نشان دادند که در صورت ثابت ماندن الگوی مصرف و همچنین عدم تغییرات در روند تغذیه سفره در طی بیست سال آینده با کاهش ۱۷/۵ متر نسبت به وضعیت فعلی سطح سفره مواجه خواهیم شد. کارآموز و همکاران (۲۰۰۵) مدل تلفیقی برداشت از منابع آب زیرزمینی و سطحی تهران را با تاکید بر کیفیت آب توسعه دادند. در این تحقیق برای شبیه سازی آبخوان از مدل آب زیرزمینی PMWIN استفاده شده و جهت لینک آن با مدل بهینه‌سازی، از مدل شبکه عصبی (ANN) برای شبیه‌سازی تغییرات تراز آبخوان تهران استفاده کرده‌اند. فرزین و همکاران (۲۰۰۹) به منظور پیش‌بینی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استان فارس از رهیافت باکس-جنکیز استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که بهترین مدل در پیش‌بینی مقادیر آینده سطح آب‌چاه‌های منطقه، مدل (4,1,4) ARMA می‌باشد. شکبیا و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر خشکسالی را بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده بررسی نمودند نتایج پژوهش نشان داد که خشکسالی‌های رخ داده بر افت سطح آب‌های زیرزمینی تأثیر به‌سزایی داشته‌اند. همچنین ایشان با توجه به وجود همبستگی بین مقدار SPI و عمق آب زیرزمینی گزارش کردند که شاخص SPI شاخص تقریباً مناسبی برای بررسی اثرات خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی می‌باشد. ضرغامی و همکاران (۲۰۱۰) به مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی پرداختند نتایج مطالعات نشان‌دهنده افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد

پدیده تغییر اقلیم در سال‌های اخیر منجر به تغییرات قابل توجه در عناصر هواشناسی و در نتیجه وضعیت منابع سطحی و زیرزمینی آب در نقاط مختلف شده است. با توجه به اینکه منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع مطمئن تامین آب خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک عمل می‌کند، این مسأله باعث وارد شدن فشار و افت قابل توجه منابع آب‌های زیرزمینی شده است. امروزه با بهره‌برداری فراوان و بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، مسأله کمبود آب جنبه بحرانی پیدا کرده است به طوری که سده آینده را می‌توان سده مبارزه با مالکیت منابع آب نامگذاری کرد (فریدپور، ۱۳۹۲). این مسأله بویژه در مناطقی با اقلیم خشک مثل ایران بیشتر نمود دارد. استفاده بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین چالشها در مسئله بهره‌برداری از منابع آب می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷). میزان وابستگی تولیدات زراعی و باغی به این منبع طبیعی تا حدی است که برداشت بیش از حد مجاز و در برخی مواقع بی‌رویه موجب کاهش سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط کشور گردیده است (Siadat, 1998). منابع آب زیرزمینی در استان آذربایجان شرقی شامل ۳۴۸۰۹ حلقه چاه با تخلیه ۹۰۲ میلیون مترمکعب، ۱۸۹۹ رشته قنات با تخلیه ۲۷۳ میلیون مترمکعب و ۱۹۸۰ دهنه چشمه با تخلیه ۱۳۹ میلیون مترمکعب و در مجموع تخلیه کل سالانه از منابع آب زیرزمینی استان در سال آبی ۸۹-۱۳۸۸ برابر ۱۳۱۴ میلیون مترمکعب بوده است (طرح آمایش استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۸). آمار نشان می‌دهد میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی سطح کشور از سال آبی ۵۲-۱۳۵۱ لغایت ۸۹-۱۳۸۸ از ۱۸۶۹۹ میلیون مترمکعب به ۷۵۷۱۴ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. در حوضه آبریز تسوج به دلیل سهم زیاد آب زیرزمینی در تأمین نیاز آبی جهت شرب و آبیاری محصولات مختلف زراعی و باغی مدیریت ویژه منابع آب زیرزمینی ضروری است. بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در این حوضه که با الگوبندی کمی مصرف و پیش‌بینی روند استفاده از این منابع امکان‌پذیر است، از اولویت‌ها و ضروریات مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب زیرزمینی به شمار می‌رود. با توجه به اینکه تأثیر تغییرات اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی غیرمستقیم و آهسته‌تر می‌باشد، پایش وضعیت این منابع و حفظ پایداری آنها تحت تأثیر این تغییرات از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات گوناگونی با استفاده از مدل‌های ریاضی و فیزیکی جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است.

کاو و کارلیوتیس (۱۹۷۰)^۱ سری‌های زمانی مولفه‌های تغذیه و

درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده تسوج یکی از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه به شمار می‌رود که منطقه‌ای کوهپایه‌ای بوده از طرف شمال در ادامه کوه‌های میشو به کوه‌های قاطر اوچان متصل بوده و از طرف جنوب هم به دریاچه ارومیه می‌رسد (کوهپایه‌ای - ساحلی). مساحت حوضه آبریز تسوج حدود ۵۵۹ کیلومتر مربع و وسعت آبخوان آن حدود ۲۶۲ کیلومتر مربع می‌باشد. مدل تفهیمی ایجاد شده برای آبخوان دشت تسوج گویای مطالب زیر است:

- سیستم جریان آب زیرزمینی دشت تسوج حاوی یک آبخوان آزاد و غیر همگن است.
- نقشه ضخامت آبرفت دشت تسوج نشان می‌دهد که ضخامت آبرفت در دامنه‌ها و کنار بیرون‌زدگی‌ها کم است که به تدریج به سمت بخش میانی افزایش می‌یابد. در مقطع خروجی که بسمت دریاچه ارومیه افزایش می‌یابد به علت ته نشست رسوبات ریزدانه از ضخامت آبخوان موثر کاسته می‌شود.
- لایه رسی و ماری بعنوان بخش زیرین آبرفت و محدود کننده جریان زیرزمینی قلمداد می‌گردد.
- موثرترین عامل تغذیه آبخوان تسوج جریان‌های ورودی زیرزمینی از حاشیه دشت است پس از این عامل، نفوذ از بستر رودخانه‌ها و مسیل‌های ورودی به دشت و نفوذ مستقیم حاصل بارش در اولویت‌های بعدی قرار دارند.
- مهم‌ترین عامل تخلیه کننده آبخوان، بهره‌برداری از سفره زیرزمینی توسط چاه‌های بهره‌برداری بوده که در فصول بهره‌برداری باعث کاهش ذخیره آبخوان می‌گردد، جریان خروجی از مقاطع زیرزمینی دارای اهمیت کمتری در این میان است (سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۹).



شکل ۱- مقطع آبرفت در حوضه آبریز تسوج

در حوضه آبریز تسوج ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری بلند مدت وجود ندارد لذا برای بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در این

و کاهش بارش سالانه تا ۶۰ میلی‌متر در سناریوی A2 و مدل HADCM3 در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ میلادی خواهد بود. این تغییرات باعث تغییر اقلیم استان از حالت نیمه خشک به حالت خشک خواهد شد. دودانگه و همکاران (۲۰۱۱) به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب از مدل ARIMA استفاده کردند نتایج مطالعه مذکور بیانگر سودمندی مدل سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند آنها در آینده است. قهرمان و قره‌خانی (۲۰۱۱) در ایستگاه سینوپتیک شیراز، برای الگوبندی سری تخیر که یکی از مولفه‌های تخلیه سطح آب زیرزمینی به شمار می‌رود از الگوی $ARIMA(1,1,1)$ استفاده نموده و عملکرد آن را بسیار رضایت‌بخش اعلام نموده‌اند. پور محمدی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی به مقایسه کارایی روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در زیرحوضه بختگان استان فارس پرداختند نتایج نشان داد که هر دو تکنیک شبکه عصبی و سری زمانی کارایی و دقت بالایی در پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌های منطقه دارند.

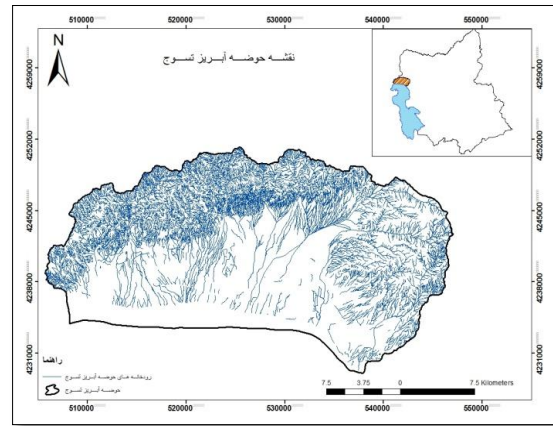
علیرغم اهمیت موضوع تغییر اقلیم، تاکنون مطالعه جامعی در زمینه میزان تاثیرپذیری سطح آب‌های زیرزمینی در برابر تغییر اقلیم انجام نگرفته و مطالعات انجام یافته بیشتر در ارتباط با آب‌های سطحی و رودخانه‌ها می‌باشد. از این رو در تحقیق حاضر در نظر است تا اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بررسی گردد چرا که عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع خسارت جبران ناپذیری مانند افت شدید و غیر قابل برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوت، تغییر الگوی جریان آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور و تداخل آب‌های شور و شیرین را به دنبال خواهد داشت. بدین منظور برای جلوگیری از ایجاد بحران آب در حوضه تسوج لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود. با پیش‌بینی دقیق نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌توان از آن در تعیین میزان حساسیت و آسیب‌پذیری آبخوان در برابر تغییر اقلیم، برنامه‌ریزی تامین آب قابل اعتماد و نیز در مدیریت منابع آب استفاده نمود.

روش تحقیق

حوضه آبریز تسوج در استان آذربایجان شرقی و در شمال دریاچه ارومیه قرار دارد. این محدوده مطالعاتی از شمال به محدوده مرند و از غرب به محدوده سلماس و از شرق به محدوده شبستر - صوفیان محدود می‌گردد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه الی ۳۸

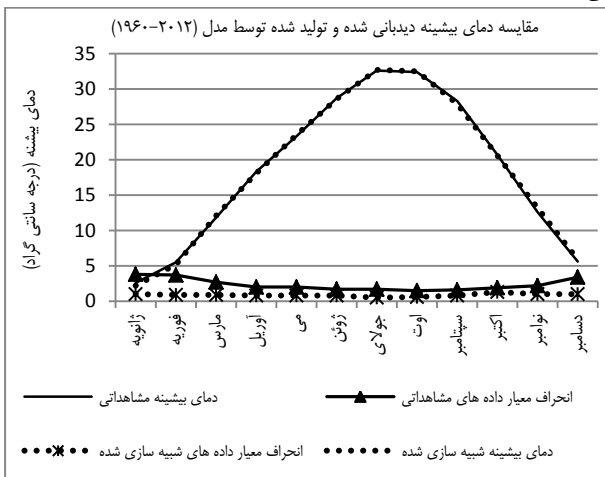
قبول می‌باشند. نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی نشانگر انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه و توانمندی LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره پایه حوضه آبریز تسوج بر اساس سناریوی حالت پایه می‌باشد (نمودارهای شماره ۱، ۲، ۳ و ۴). لذا با توجه به این موارد، قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تایید قرار گرفته و پس آن شبیه‌سازی داده‌ها برای دوره آینده صورت گرفت. به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، آمار ماهانه تراز آب از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۱ اخذ گردید. در ادامه کار آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی حوضه با استفاده از فن سری‌های زمانی انجام خواهد شد. نمودار ۵ تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج را بین سالهای ۱۳۹۱-۱۳۸۱ نشان می‌دهد.

حوضه از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک خوی (۲۰۱۲-۱۹۶۰) بدلیل نزدیک بودن به منطقه مورد مطالعه و طولانی بودن طول دوره آماری استفاده شد.

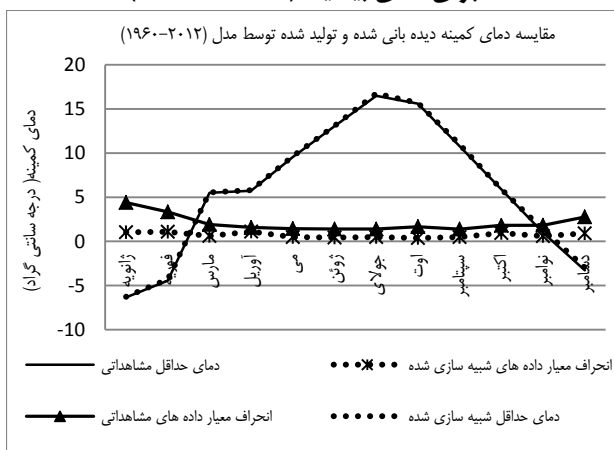


نقشه ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

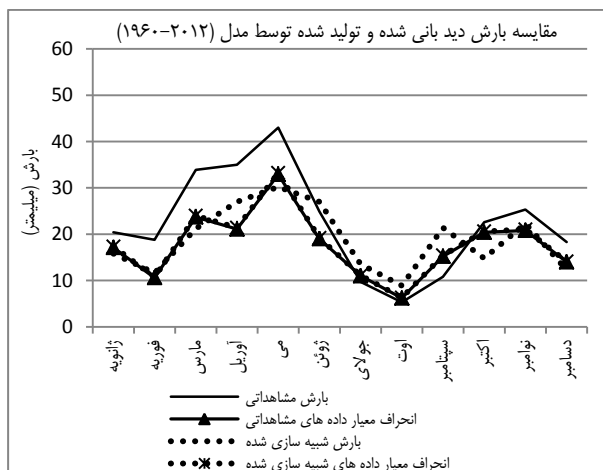
از بقیه ایستگاه‌ها به دلیل کوتاه بودن طول دوره آماری صرف نظر شد. قبل از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای همگنی داده‌ها از آزمون RUN-TEST استفاده شده که تصادفی بودن آنها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش به صورت روزانه و داده‌های سناریوی A2 مدل گردش عمومی جو HADCM3 می‌باشند. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز تسوج از روش ریزمقیاس نمایی آماری و مدل تولید داده LARS-WG که یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا می‌باشد استفاده گردید. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. لازم به ذکر است که مدل HADCM3 از مدل‌های معتبر برای مدل‌سازی تغییرات جوی و سناریوی A2 از سناریوهای محتمل برای انتشار گازهای گلخانه‌ای است. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۱۹۶۰-۲۰۱۲ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل با داده‌های دیدبانی شده مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و تولید شده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. با تحلیل نتایج بدست آمده از آزمون‌های آماری (نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) برای حوضه آبریز تسوج ملاحظه گردید که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آنها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در سطح معناداری ۰/۰۱ قابل



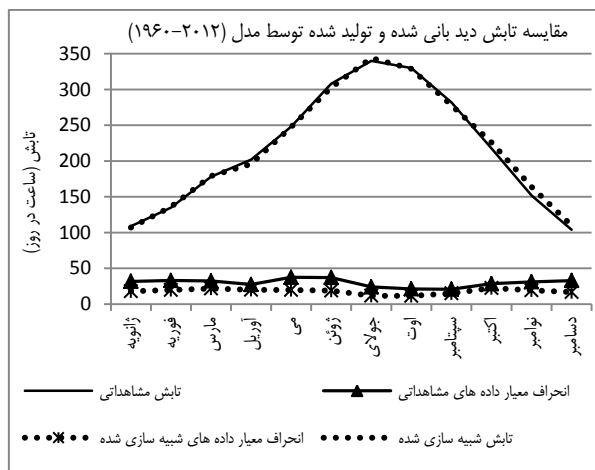
نمودار ۱- مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده بانی شده برای دمای بیشینه (۲۰۱۲-۱۹۶۰)



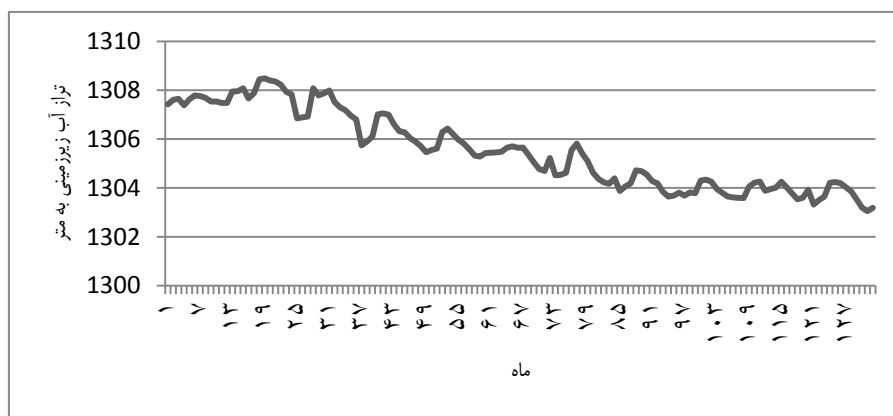
نمودار ۲- مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده‌بانی شده برای دمای کمینه (۲۰۱۲-۱۹۶۰)



نمودار ۴- مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده بانی شده برای بارش (۱۹۶۰-۲۰۱۲)



نمودار ۳- مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده بانی شده برای تابش (۱۹۶۰-۲۰۱۲)



نمودار شماره ۵- تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سالهای ۱۳۸۱-۱۳۹۱

در $t+1$ و... و $t+k-1$ حذف شده باشد، تابع خودهمبستگی جزء نمونه از رابطه زیر محاسبه می شود (Niroomand, 1997):

$$\hat{\phi}_{k+1,k+1} = \frac{\hat{\rho}_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_{kj} \hat{\rho}_j} \quad (2)$$

پس از شناسایی آزمایشی الگوی سری زمانی لازم است پارامترهای آن با یکی از روش‌ها مانند حداکثر درست نمایی^۶ برآورد شود. در تحلیل سری‌های زمانی ممکن است چندین الگو برای توصیف مجموعه‌ای از داده‌های معلوم تشخیص داده شوند. برای انتخاب بهترین الگو از بین الگوهای مختلف، عموماً از معیار آگاهی آکائیک^۷ (AICC) استفاده می‌شود. این معیار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$AICC = -2(\log L(\phi, \theta, \sigma^2) + M) \quad (3)$$

که در آن M تعداد پارامترهای الگو است. بروکویل و

در تشخیص الگوی اولیه برای یک سری ایستا از تابع خودهمبستگی نمونه (ACF) و تابع خودهمبستگی جزء^۵ (PACF) استفاده شد. تابع خودهمبستگی نمونه در سری‌های مورد بررسی عبارت از همبستگی بین سری سطح آب زیرزمینی با همان سری در تاخیر k مین ماه است. مقدار ACF نمونه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Chatfield, 1996):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2} \quad (1)$$

که در آن r_k ضریب خودهمبستگی سری سطح آب زیرزمینی در تاخیر k ، \bar{Z} میانگین سری سطح آب زیرزمینی و Z_t مقدار سری در زمان t و n تعداد مشاهدات سری می‌باشد. تابع خودهمبستگی جزء (PACF) عبارت است از همبستگی بین سری سطح آب زیرزمینی در t و $t+k$ وقتی که وابستگی خطی سری سطح آب زیرزمینی

$$r_{xy}(K) = \frac{C_{xy}(K)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (11)$$

$$\sigma_x = \sqrt{C_{xx}(0)} \quad (12)$$

$$\sigma_y = \sqrt{C_{yy}(0)} \quad K \leq N-1 \quad (13)$$

نتایج و تحلیل نتایج

نتیجه بررسی نمودار تغییرات ضرایب خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزء (PACF) داده‌های سطح آب زیرزمینی نشان از نامانای بودن داده‌ها داشت. علاوه بر استفاده از نمودار خودهمبستگی برای بررسی مانای بودن داده‌ها از آزمون ریشه واحد دیکی فولر (ADF) و رسم نمودار خطا استفاده شد. مقدار P value بدست آمده از آزمون دیکی فولر (۰/۲۵) نیز دلالت بر نامانای بودن داده‌ها داشته و نمودار خطا نیز همین نتیجه را دربرداشت. لذا برای تفکیک روند و ایستاسازی سری داده‌ها از عمل تفاضلی کردن استفاده شد. از نمودار جعبه‌ای برای تعیین درجه تفاضلی‌گیری استفاده شد. که نتایج نشان‌دهنده این است که برای داده‌های تفاضلی با درجه یک (d=1)، ۵۰٪ داده‌ها در فاصله بین ۰/۱- و ۰/۱۱۹ قرار گرفته‌اند ولی برای داده‌های تفاضلی با درجه ۲، ۵۰ درصد داده‌ها در فاصله بین ۰/۴۲- و ۰/۱۴۳ قرار گرفته است عبارت دیگر داده‌های تفاضلی درجه یک نسبت به داده‌های تفاضلی درجه دو فشرده‌تر (دارای واریانس کوچکتر) است لذا مرتبه تفاضل‌گیری d=1 مناسب تشخیص داده شد.

بر اساس معیار آگاهی آکائیک که حداقل مقدار برای آن، مدل بهینه را نتیجه می‌دهد، از بین الگوهای مورد بررسی الگوی ARIMA(1,0,1) مناسب تشخیص داده شد. معیار آگاهی آکائیک این الگو برابر ۷۶/۶۲ می‌باشد که کمترین مقدار آگاهی آکائیک را نسبت به مقدار سایر الگوهای بررسی شده دارد.

P-value بدست آمده از آزمون دیکی فولر برای داده‌های تفاضلی با درجه یک برابر ۰/۰۱ به‌دست آمد که بیانگر ایستایی داده‌های تفاضلی درجه یک در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. بنابراین الگوی انتخاب شده برای بیان سری زمانی سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به صورت زیر تنظیم شد:

$$Z_t = \text{GWL}_t - \text{GWL}_{t-1} \quad (14)$$

$$\hat{z}_t = 0.031 + 0.118z_{t-1} - 0.037\varepsilon_{t-1} \quad (15)$$

برای رابطه (۱۴) GWL_t سطح آب زیرزمینی در زمان t و GWL_{t-1} سطح آب زیرزمینی در زمان $(t-1)$ است. Z_t مقدار تفاضلی درجه یک در زمان t که از تفاضل‌گیری مقادیر سطح آب زیرزمینی در

دلويس (۱۹۹۶) برای محاسبه آن رابطه زیر را پیشنهاد نموده‌اند (Brockwell and Davis, 1996).

$$M = \frac{2(p+q+1)n}{(n-p-q-2)} \quad (4)$$

که در آن p و q مراتب الگوی ARMA و n تعداد مشاهدات است. حداقل بودن مقدار این معیار بر مناسب بودن الگوی انتخاب شده دلالت دارد. پس از برازش الگوی سری زمانی، برای آزمون واقعی بودن توصیف داده‌ها با الگوی حاصل، باقیمانده‌های سری، تحلیل می‌شوند. مقدار باقیمانده‌ها از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$(5) \quad \text{مقدار پیش‌بینی شده} - \text{مقدار واقعی} = \text{مقدار باقیمانده‌ها}$$

صحت‌سنجی مدل‌های پیش‌بینی به منظور سنجش دقت مدل‌ها در انجام پیش‌بینی‌ها انجام می‌شود. که میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE) و ضریب تعیین (R^2) از کاربردی‌ترین آنها می‌باشد که از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right| \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (7)$$

در روابط بالا z_i مقادیر مشاهداتی و \hat{z}_i مقادیر برآورد شده و \bar{z} میانگین مقادیر مشاهده شده است. در ادامه کار جهت بررسی ارتباط بین متغیرهای اقلیمی با تراز آب از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (8)$$

با برقراری همبستگی متقاطع بین تغییرات مقدار بارندگی ماهانه با متوسط تراز آب زیرزمینی می‌توان تاخیر زمانی اثرگذاری بارندگی بر تراز آب زیرزمینی را محاسبه و در نهایت با دانستن زمان اثر بارندگی بر سطح آب زیرزمینی می‌توان تمهیدات مدیریتی مناسبی به منظور استفاده از منابع آب زیرزمینی را اتخاذ نمود. همبستگی متقاطع از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}) \left(y_{t+k} - \bar{y} \right) \quad (9)$$

$$K = 0, 1, 2, \dots \text{ for}$$

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N+K} (y_t - \bar{y}) \left(X_{t+k} - \bar{X} \right) \quad (10)$$

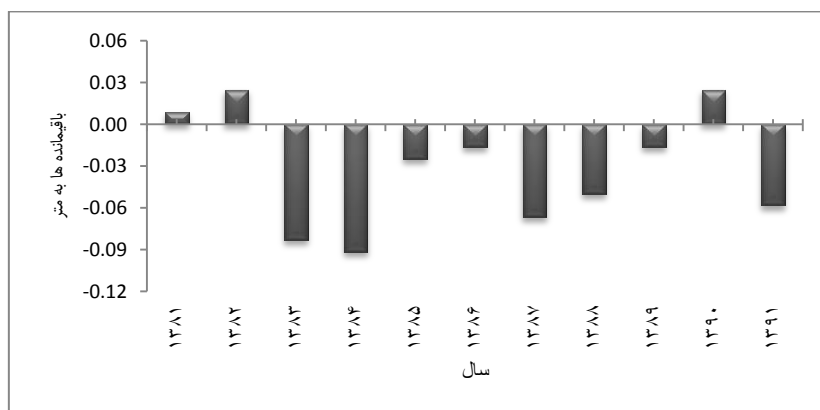
$$\text{for } K=0, -1, -2$$

برای بررسی تصادفی بودن باقیمانده‌ها، مقادیر ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها برآورد شد. مقادیر ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌ها نشان می‌دهد که مقادیر خودهمبستگی در محدوده ۹۵ درصدی قرار گرفته و با افزایش تأخیر همبستگی صفر و مقادیر از یکدیگر مستقل می‌باشند. بنابراین می‌توان گفت تغییرات باقیمانده‌ها تصادفی بوده و الگوی انتخاب شده مناسب است. در نتیجه با پذیرش الگوی یادشده، در ادامه کار تغییرات سطح ایستابی در مقیاس ماهانه و سالانه (۲۰۱۳-۲۰۲۲) پیش بینی و ارتباط آن را با متغیرهای اقلیمی بررسی گردید.

مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از الگوی ARIMA نشان داد با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت، میانگین افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در سال اول پیش‌بینی (۱۳۹۲) نسبت به سال پایه ۴/۳۷ متر و نسبت به سال دهم پیش‌بینی (۱۴۰۱) ۷/۸۵ متر افت خواهد داشت.

زمان مشخص t با مقادیر سطح آب زیرزمینی در زمان $(t-1)$ به دست می‌آید. \hat{h}_t مقدار پیش‌بینی شده برای زمان t بر اساس مقادیر تفاضلی درجه یک و مقادیر خطا با توجه به رابطه (۱۵) است.

پس از شناسایی الگوها و برآورد پارامترها لازم است درستی تشخیص الگوها بررسی شود. با توجه به این که سری باقیمانده‌ها نتیجه برآورد پارامترهای الگو است بنابراین بررسی درستی تشخیص الگو با تحلیل سری باقیمانده‌ها صورت می‌گیرد. مقادیر باقیمانده‌های الگوی سری افت سطح آب زیرزمینی در یازده سال مورد بررسی، در شکل ۲ بر اساس میانگین سالانه رسم شده است. مشاهده می‌شود که تغییرات باقیمانده‌ها روند خاصی ندارد. مقادیر باقیمانده الگوی سری افت سطح آب زیرزمینی تفاضلی درجه یک باید دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت باشد. P-value به دست آمده از آزمون شاپیرو-ویلک برای باقیمانده‌های داده تفاضلی درجه یک افت سطح آب زیرزمینی برابر ۰/۵۴ است که نشان از نرمال بودن مقادیر باقیمانده است.



شکل ۲- باقیمانده‌های الگوی سری زمانی افت سطح آب زیرزمینی

به منظور بررسی صحت داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل، مقادیر R^2 و MARE بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده محاسبه شد.

حداکثر شدن شاخص اول و حداقل بودن شاخص دوم نشان دهنده صحت بالای مدل برازش داده شده است. مقدار بالای ضریب تعیین (۰/۹۹) و مقدار پایین میانگین قدر مطلق خطای نسبی (۰/۰۰۱) در این مطالعه نمایان‌گر پیش‌بینی نسبتاً دقیق می‌باشد. نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی برای حوضه آبریز تسوج بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با استفاده از مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 نشان‌دهنده این است که بیشترین افزایش دما و بالاترین درصد کاهش بارش در سناریوی A2 اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۱- مقادیر پیش‌بینی شده برای تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج با الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک

سال	تراز پیش‌بینی شده	حد پایین سطح اطمینان ۹۵٪	حد بالا سطح اطمینان ۹۵٪
۱۳۹۲	۱۳۰۲/۰۵	۱۲۹۸/۹۹	۱۳۰۷/۰۱
۱۳۹۳	۱۳۰۲/۶۲	۱۲۹۱/۲۰	۱۳۰۱۴/۰۴
۱۳۹۴	۱۳۰۲/۲۴	۱۲۸۳/۴۰	۱۳۲۱/۰۷
۱۳۹۵	۱۳۰۱/۸۶	۱۲۷۵/۶۱	۱۳۲۸/۱
۱۳۹۶	۱۳۰۱/۴۷	۱۲۶۷/۸۲	۱۳۳۵/۱۳
۱۳۹۷	۱۳۰۱/۰۹	۱۲۶۰/۰۳	۱۳۴۲/۱۶
۱۳۹۸	۱۳۰۰/۷۱	۱۲۵۲/۲۴	۱۳۴۹/۱۸
۱۳۹۹	۱۳۰۰/۳۳	۱۲۴۴/۴۴	۱۳۵۶/۲۱
۱۴۰۰	۱۲۹۹/۹۵	۱۲۳۶/۶۵	۱۳۶۳/۲۴
۱۴۰۱	۱۲۹۹/۵۷	۱۲۲۸/۸۶	۱۳۷۰/۲۷

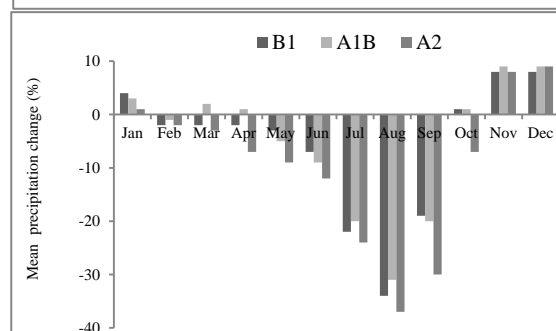
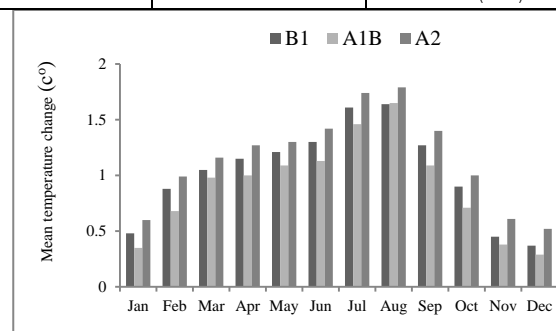
تخلیه از چاههای عمیق و نیمه عمیق در حوضه آبریز تسوج جهت استفاده در شرب ۱۰۲۳/۳۶ هزار متر مکعب، صنعت ۵۱/۲۸ هزار متر مکعب و کشاورزی ۱۴۹۴۰ هزار متر مکعب بوده است که بر اساس این آمار ماکزیم برداشت از آبهای زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به کاربری کشاورزی اختصاص دارد.

مطابق شکل ۵ در آینده بیشترین افزایش دما در ماههای ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر در منطقه مورد مطالعه اتفاق خواهد افتاد که همزمانی با اوج فعالیت‌های کشاورزی و در نتیجه افزایش نیاز آبی محصولات در کنار افزایش مصرف در زمینه‌های شرب و صنعت خواهد بود. نتیجه این افزایش دما و افزایش مصرف در فصل پاییز نمایان گردیده است و در این فصل تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج به کمترین حد خود رسیده است. بارش ماهانه مطابق مدل HADCM3 و سناریوی A2 بین سالهای ۲۰۱۳-۲۰۲۲ در ماه ژانویه ۱ درصد و در ماههای نوامبر و دسامبر ۹ درصد افزایشی ولی در سایر ماهها کاهش می‌باشد که بالاترین درصد کاهش بارش به ماههای ژوئیه و اوت تعلق دارد. از ماه اکتبر با ورود جریانات مدیترانه‌ای بارش‌ها در استان شروع می‌شود و تا اواخر فصل بهار به طول می‌انجامد. با توجه به مدت زمان لازم جهت نفوذ بارش، تراز آب با تاخیری ۲ ماهه در واکنش به بارش‌های پاییزه از ماه دسامبر روند صعودی به خود می‌گیرد. در فصل تابستان به علت استقرا پرفشار جنب حاره بر روی منطقه میزان بارش کاهش و به تبع آن تغذیه آبهای زیرزمینی در کنار افزایش مصرف افت قابل ملاحظه‌ای می‌کند (شکل ۴). از ماه اکتبر تا ماه می ارتباط بین دما، ساعات آفتابی و تبخیر با تراز آب زیرزمینی مثبت می‌باشد دلیل این امر عدم افزایش چشمگیر دما همراه با تاثیر مثبت بارش بر تراز آب زیرزمینی می‌باشد. از ماه ژوئن با کاهش چشمگیر بارش و افزایش ساعت آفتابی و در نهایت افزایش دما و تبخیر منحنی تراز آب زیرزمینی روند نزولی به خود می‌گیرد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷). با توجه به اینکه پاسخ آب زیرزمینی به تغییر آب و هوا همراه با تاخیر زمانی می‌باشد در ادامه کار اقدام به برقراری همبستگی متقاطع جهت محاسبه تاخیر زمانی بین تغییرات دما و بارندگی ماهانه با تراز ماهانه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج در طی سالهای ۲۰۱۳-۲۰۲۲ گردید. نتایج نشان داد که تاخیر زمانی بین بارندگی و تراز آب حدود ۲ ماه از شروع بارش با ضریب همبستگی ۰/۸ می‌باشد. این بدان معناست که بارندگی ماهانه در حوضه تسوج حدود ۲ ماه بعد روی متوسط تراز ماهانه آب زیرزمینی اثر می‌گذارد. نمودار تراز آب نیز این تاخیر زمانی دو ماهه را تایید می‌کند چرا که از ماه اکتبر و با ورود توده هوای مدیترانه به استان که بارشها شروع می‌شود نمودار تراز از ماه دسامبر روند صعودی به خود می‌گیرد و در ماه می به حداکثر تراز خود

(شکل ۳ و جدول ۲). دو سناریوی A1B و B1 تغییرات دمایی و بارشی مشابهی را نشان می‌دهند اما نتایج این دو سناریو نیز اختلاف چندانی زیادی با سناریوی A2 نشان نمی‌دهند لذا در ادامه کار به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تراز آب تحت سناریوی A2 پرداخته می‌شود.

جدول ۲- تغییرات میانگین سالانه اقلیم در حوضه آبریز تسوج با مدل HADCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1

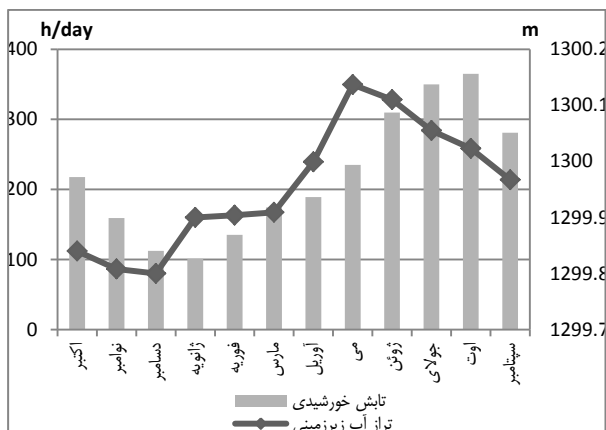
سناریو	تغییرات دمایی حوضه بر حسب درجه سانتی گراد	تغییرات در بارش حوضه mm(%)
A2	۱	-۶/۷۲ (۲/۳)
A1B	۰/۹۹	-۴/۱۲ (۱/۴۱)
B1	۰/۹۷	-۴/۳۱ (۱/۴۷)



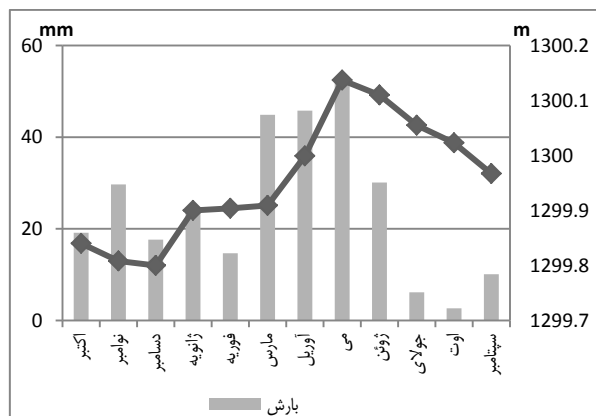
شکل ۳- تغییرات پیش بینی شده برای دما و بارش در حوضه آبریز تسوج نسبت به وضع فعلی با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1

بررسی رابطه بین تغییر اقلیم با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

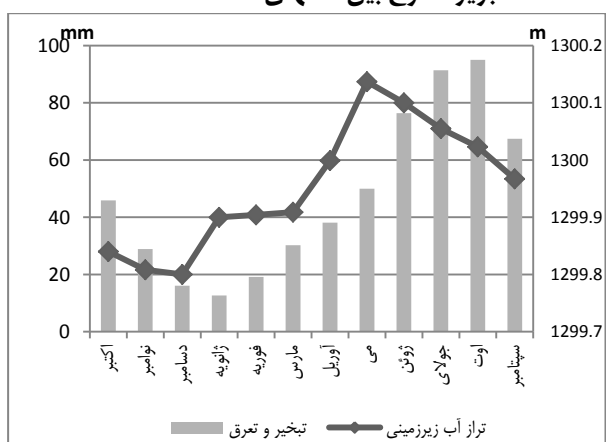
در این مطالعه، در نتیجه نقش مهم پارامترهای اقلیمی از جمله تابش، دما، بارش و در نهایت تبخیر بر منابع آب زیرزمینی، به بررسی تاثیر پارامترهای اقلیمی بر تغییرات تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سالهای (۲۰۱۳-۲۰۲۲) پرداخته شد. افزایش دما علاوه بر تاثیرات مستقیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت خاک، تجمع برف و رواناب، تاثیرات انکارناپذیری نیز بر میزان مصرف آب جهت کاربریهای کشاورزی، صنعت و شرب دارد در سال آبی ۹۰-۹۱ میزان



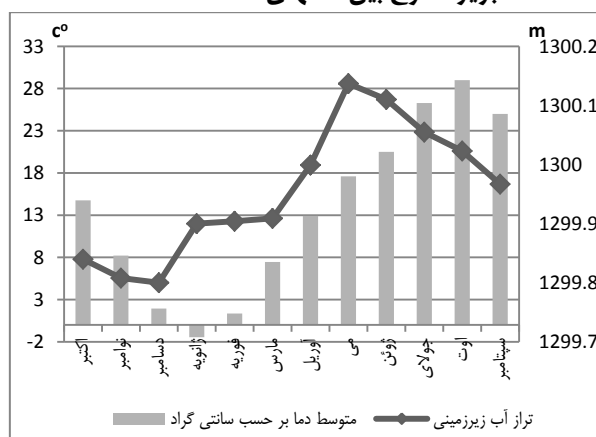
شکل ۶- ارتباط بین ساعات آفتابی با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سالهای ۲۰۱۳-۲۰۲۲



شکل ۴- ارتباط بین بارش ماهانه با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سالهای ۲۰۱۳-۲۰۲۲



شکل ۷- ارتباط بین تبخیر با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سالهای ۲۰۱۳-۲۰۲۲



شکل ۵- ارتباط بین متوسط دما با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سالهای ۲۰۱۳-۲۰۲۲

می‌رسد که این حداکثر نیز در پاسخ به بارش ماه‌های مارس و آوریل اتفاق می‌افتد. تاخیر زمانی بین دما با تراز آب ۱ ماه با ضریب همبستگی ۰/۹۳ می‌باشد.

تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین رابطه بین افزایش ساعات آفتابی، دما و در نهایت تبخیر را با تراز آب به خوبی می‌توان بررسی نمود. مطابق جدول ۳ در بازه زمانی دوم رابطه تراز آب با دما و ساعت آفتابی و تبخیر منفی می‌باشد.

خلاصه و جمع‌بندی

اگر چه مهمترین تاثیر تغییر اقلیم می‌تواند نوسانات در میزان آبهای سطحی و کیفیت آنها باشد، مهمترین نگرانی برای مدیران و دولت، کاهش بالقوه کمیت منابع آب زیرزمینی می‌باشد. آبهای زیرزمینی منبع اصلی آب آشامیدنی برای مصرف انسان و آبیاری تولیدات

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسن بین متغیرهای اقلیمی با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج (۲۰۱۳-۲۰۲۲)

بازه زمانی	تبخیر با تراز آب زیرزمینی	ساعات آفتابی با تراز آب زیرزمینی	دما با تراز آب زیرزمینی	بارش با تراز آب زیرزمینی
اکتبر تا می	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۷۶
ژوئن تا سپتامبر	-۰/۴۵	-۰/۵۹	-۰/۵۱	۰/۱

دما و تبخیر همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی با تراز آب مثبت می‌باشد. بالاترین ضریب همبستگی نیز به بارش با تراز آب زیرزمینی بررسی همبستگی بین دما، بارش، ساعات آفتابی و تبخیر با تراز آب در دو بازه زمانی انجام شده است. بازه زمانی اول از ماه اکتبر تا می و بازه زمانی دوم از ماه ژوئن تا سپتامبر. در بازه زمانی اول به دلیل تداوم بارش و تاثیر ذوب برف‌ها بر تراز آب و عدم افزایش چشمگیر تعلق دارد. در محدوده زمانی دوم یعنی از اواخر بهار تا اواخر تابستان نقش عنصر بارش بدلیل حاکمیت پرفشار جنب حاره و پایداری هوا

نشریه پژوهش‌های آب و خاک، جلد بیستم، شماره چهارم: ۲۵۱.

دودانگه ا، عابدی کوپائی ج، گوهری ع (۱۳۹۱) کاربرد مدل سری‌های زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال شانزدهم، شماره ۵۹: ۶۱.

رحمانی ع، سدهی م (۱۳۸۳) پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار با مدل سری زمانی، فصلنامه علمی و پژوهشی آب و فاضلاب، دوره ۱۵، شماره ۵۱: ۱۲.

سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۹) مطالعات نیمه تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های تحت پوشش شرکت سهامی آب منطقه ای آذربایجان شرقی در محیط GIS: ۱۶.

شکبیا ع، میر باقری ب، خیری ا (۱۳۸۹) خشکسالی و تاثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، فصلنامه علمی و پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۵: ۱۰۶.

فریدپور م (۱۳۹۲) تحلیل و بررسی تاثیر خشکسالی بر خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم جغرافیا: ۲۵.

فرزین م، جباری م، اکبری م (۱۳۸۸) نقش خشکسالی‌های اخیر در افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استان فارس، مطالعه موردی: شهرستان زرین دشت. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، ۱۶ اسفند.

محمدی م، مرادی ح، وفاخواه م (۱۳۸۷)، تعیین خشکسالی آب‌های زیرزمینی دشت اراک با استفاده از شاخص SWI و رویکرد GIS. مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز، ۲۳ - ۲۵ مهر.

مطالعات طرح آمایش استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۸) دفتر برنامه ریزی و بودجه استانداری آذربایجان شرقی.

قهرمان ن، قره خانی ا (۱۳۹۰) ارزیابی مدل‌های تصادفی سری زمانی در برآورد تبخیر از تشت، مطالعه موردی: ایستگاه شیراز. مجله پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲۵، شماره ۶۰: ۷۸.

Cohen S J (1986) Impacts of CO2-induced Climatic change on water resources in the Great Lakes Basin. *Journal of Climatic Change* 8(2): 135-153.

کشاورزی در اکثر نقاط جهان می‌باشد. از آنجایی که لایه‌های آبدار زیرزمینی عمدتاً با بارش یا از طریق اندرکنش با آب‌های سطحی تغذیه می‌شوند. تاثیر تغییر اقلیم بر بارش و آب سطحی نهایتاً بر سیستم آب زیرزمینی اثر خواهد گذاشت. درحالی که تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی مستقیماً از طریق تغییر در متغیرهای اصلی بلند مدت اقلیم مانند بارش، دما، تبخیر و تعرق تاثیر می‌گذارد. تعیین رابطه بین متغیرهای تغییر اقلیم و آب زیرزمینی پیچیده و مشکلتر می‌باشد. در این مطالعه برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بین سالهای ۲۰۲۲-۲۰۱۳ از مدل HADCM3 و سناریو A2 و برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی از مدل باکس جنکیس (ARIMA) استفاده شد. نتایج حاصل از ریز مقیاس نمایی برای حوضه آبریز تسوج نشاندهنده افزایش دما به میزان ۱ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش به میزان ۶/۲۲ میلی‌متر (۲/۳٪) می‌باشد. افزایش دما موجب کاهش بارش برف می‌گردد. این موضوع موجب عدم تغذیه مناسب منابع آب زیرزمینی که عمدتاً ناشی از ذوب تدریجی برف‌ها می‌باشد، می‌گردد. کاهش بارش باعث خشکسالی‌های پی‌درپی و بدنبال آن عریان شدن مراتع باعث کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌گردد. بنابراین بارش باران بجای تغذیه منابع آب‌های زیرزمینی موجب شسته و شوی خاک‌های زراعی مرغوب از طریق زهکشی شده و وقوع سیل را موجب می‌گردد. بررسی همبستگی متقاطع نشاندهنده اثر گذاری بارش بر تراز آب با تاخیر زمانی ۲ ماهه بعد از شروع اولین بارش‌ها در ماه اکتبر و اثرگذاری دما بر تراز آب با تاخیر زمانی ۱ ماهه می‌باشد. از نتایج پیش‌بینی الگوی حاصل می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مدیریت بهینه و پایدار منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز تسوج استفاده نمود. با توجه به وسعت آبخوان تسوج و روند شدید افت حجم آب زیرزمینی در سال‌های پیش‌بینی، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و اصلاح الگوی مصرف آب زیرزمینی ضرورت دارد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Chow and Kareliotis
- 2-Salas
- 3-Cohen
- 4-Padilla
- 5-Partial Autocorrelation Function (PACF)
- 6-Maximum Likelihood
- 7-Akaike Information Criterion

۵- مراجع

پور محمدی س، ملکی نژاد ح، پور شرعیانی ر (۱۳۹۲) مقایسه کارایی روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی: زیر حوضه بختگان استان فارس.

- Siadat H (1998) Iranian agriculture and salinity. In: Proc. Of the conference on new technologies to combat desertification, 12-15 Oct, Tehran, Iran, 10-14.
- Salas J D, Delleur J W, Yevjevich V, Lane W L (1980) Applied modeling of hydrologic time series. Water resources publications, Littleton, Colorado, 484p.
- Samani N (2001) Response of karst aquifer to rainfall and evaporation in Maharlu basin, Journal of Cave and Karst Studies 63(12): 23-40.
- Zarghami M, Abdi A, Babaeian I, Hassanzadeh Y, Kanani R (2011) Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Journal of Global and Planetary Change 78(3-4): 137-146.
- Chow V T, Kareliotis S J (1970) Analysis of stochastic hydrologic systems. Journal of Water Resources Research 6(6): 1569-1582.
- Chatfield C (1996) The Analysis of Time Series, 5th ed., Chapman & Hall, New York, NY.
- Karamouz M, Rezapour Tabari M, Kerachian R, and Zahraie B (2005) Conjunctive use of surface and groundwater resources with emphasis on water quality. Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress, ASCE, Alaska.
- Niroomand H A (1997) Time series analysis. Ferdowsi University of Mashhad, Iran, p200.
- Padilla A, Puldo-Bosch A, Cavache M, Vallejos A (1996) The ARMA model applied to the flow of karstic springs. Journal of the American Water Resources Association 32(5):917-928.