

## پیش‌نمایی تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل تحت تاثیر تنش‌های اقلیمی مبتنی بر بارش و روان‌آب

کوروش آزاد جلودارلو<sup>۱\*</sup>، امین صادقی<sup>۲</sup>

\*۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران  
نویسنده مسئول مکاتبات: kuroshazad95@ms.tabrizu.ac.ir و babak.azar1992@gmail.com  
۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، آذربایجان شرقی، ایران  
ایمیل: aminn19@gmail.com و aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۷

### چکیده:

در این پژوهش تغییرات کمی منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل با استفاده از برون‌داد اقلیمی HadGEM2-ES و ابزارهای هوش مصنوعی Etureqa برای سه دوره آتی (۱۴۱۸-۱۴۰۰، ۱۴۲۸-۱۴۲۰ و ۱۴۴۰-۱۴۵۸) تحت سه سناریوی اقلیمی (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) پیش‌نمایی شد. نتایج نشان داد بیشترین کاهش دبی در فصل تابستان به میزان ۲۷٪ خواهد بود، این در حالی است که افزایش رواناب سطحی در فصل زمستان تا ۱۲٪ نیز پیش‌بینی می‌شود. علت این امر ادامه روند گرمایش جهانی است که منجر به ذوب سریع‌تر برف‌های زمستانی خواهد شد. نتایج مدل‌ها حاکی از کاهش تراز آب زیرزمینی در تمام ماه‌های سال در دوره‌های آتی است که این کاهش در همه دوره- سناریوها معنی‌دار بوده است. به طور متوسط تراز آب زیرزمینی بین ۱/۲٪- تا ۳/۲٪- کاهش خواهد یافت. کاهش بارش و دبی در فصل تابستان - که مصادف با دوره رشد گیاه است - افزایش برداشت از منابع زیرزمینی را نیز شدت خواهد بخشید. این امر منجر به تشدید بحران آب در منطقه خواهد شد.

**کلید واژه‌ها:** پیش‌نمایی؛ تغییر اقلیم؛ دشت اردبیل؛ منابع آب

### مقدمه

تهدیدی مهم برای حیات بشر تبدیل شده است. با به دست آوردن اطلاعات کافی درباره تغییر اقلیم بهتر می‌توان درباره سیاست‌گذاری‌ها و مدیریت کلان هر منطقه تصمیم‌گیری نمود. روند دمای هوا در چند دهه اخیر رو به رشد بوده است، به‌ویژه در ایران که در کمربند خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است (یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰). غلظت CO<sub>2</sub> نسبت به قبل از انقلاب

افزایش گازهای گلخانه‌ای پس از انقلاب صنعتی و در اثر آن گرمایش جهانی موجب برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین گردیده است. این پدیده می‌تواند بر بخش‌های مختلف همچون منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت و ... اثر منفی داشته باشد. بنابر گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، تغییر اقلیم به

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

صنعتی ۴۰٪ افزایش یافته که همین امر باعث تغییر در مولفه‌های اقلیمی شده است (IPCC, ۲۰۱۳).

دانشمندان در اقصی نقاط جهان مطالعات مفصلی درباره آثار تغییر اقلیم بر منابع آب انجام دادند. در مطالعه‌ای Zarghami و همکاران (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب سه حوضه صوفی‌چای، شهرچای و تاجیا در استان آذربایجان شرقی را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها برای منطقه مذکور نشان داد که در آینده اقلیم منطقه از حالت نیمه خشک به حالت خشک تغییر فاز خواهند داد و رودخانه‌های دائمی به رودخانه‌های فصلی تبدیل می‌شوند. Green و همکاران (۲۰۱۱) در منطقه وادس به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در بسیاری از مناطق، ذخیره سازی آب‌های زیرزمینی از بین رفته است. همچنین آنها پیش‌بینی کردند در آینده بسامد و شدت دوره‌های خشک بیشتر خواهد بود و با ادامه روند گرمایش جهانی باید در زمینه حفظ منابع آب زیرزمینی توجهات لازم اعمال گردد. Charlton و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که تغییرات در جریان‌های بیشینه، به طور عمده تحت تاثیر تغییرات در بارش زمستانی است در حالی که تغییرات در جریان کمینه، تحت تاثیر بارش و درجه حرارت تابستانی می‌باشد. Kopytkovskiy و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب در حوضه رودخانه کلرادو واقع در ایالات متحده امریکا پرداختند. یافته‌های آن‌ها حاکی از آن بود که افزایش بارش در ارتفاعات در کنار افزایش دمای هوا در طی دوره زمستان موجب افزایش جریان در این فصل شده است. در مطالعه‌ای که Taniguchi (۲۰۱۶) در منطقه کانتو ژاپن به این نتیجه رسید که مدیریت منابع آب به دلیل گرمایش جهانی به طور فزاینده‌ای دشوار خواهد شد، به‌طوری‌که میانگین بارش سالانه در سال‌های خشک ۷۵٪ کمتر از دوره پایه خواهد بود. این امر به علت خشک تر شدن تابستان‌ها و برهم خوردن توزیع زمانی و مکانی بارش روی خواهد

داد به طوری که بارش‌های سنگین<sup>۱</sup> بیشتر و بارش‌های ضعیف<sup>۲</sup> کمتر خواهد شد. Acharjee و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج Boro را در فصل خشک را با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در چهار ناحیه از شمال بنگلادش مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این مطالعه از سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که با وجود افزایش نیاز آبی به مقدار ۱/۶ درصد در سال ۲۰۵۰ و ۷/۴ درصد در سال ۲۰۸۰، در اثر افزایش بارش در سال‌های آتی نیاز به آبیاری کاهش خواهد یافت. یافته‌های Kahsay و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد جریان پایه در اتیوپی طبق سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 به ترتیب به میزان ۱/۵٪ و ۰/۵۵٪ کاهش خواهد یافت. همچنین تغذیه آب‌های زیرزمینی نیز بین ۱/۳٪ تا ۳/۴٪ کاهش را نشان می‌دهد. Al-Safi و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی آینده بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه هاروی رود استرالیا پرداختند. براساس نتایج حاصله، در اواخر قرن تمامی سناریوها کاهش متوسط سالیانه را نسبت به متوسط بلند مدت به ویژه برای RCP4.5 نشان دادند. کاهش در جریان آبی در اواسط قرن بیست و یک ۱۷ تا ۲۷ درصد و در پایان قرن ۲۳ تا ۵۲ درصد پیش‌بینی کردند. Boughariou و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که در جنوب شرق تونس سطح تراز آب زیرزمینی تا سال ۲۰۲۰ حدوداً ۰/۵ متر و تا سال ۲۰۵۰ حدوداً یک متر افت خواهد کرد. آن‌ها همچنین پیش‌بینی نمودند هجوم آب شور دریا به آبخوان در سال ۲۰۵۰ به وقوع خواهد پیوست.

در سال‌های اخیر با تدوین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ایی توسط IPCC، مدل‌های جهانی اقلیم با فرضیات مختلف انتشار اجرا شده‌اند تا شرایط اقلیمی را در آینده پیش‌بینی کنند. داده‌های روزانه به دست آمده از شبیه‌سازی مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) را می‌توان به عنوان ورودی مدل‌های هیدروژیکی وارد نمود و نتایج آن

<sup>۱</sup> Weak precipitation

<sup>۲</sup> Heavy precipitation

۱۰/۳۰۹ میلیون مترمکعب می‌باشد.

### داده‌های مورد استفاده

به منظور انجام این تحقیق داده‌های بارش، حداقل و حداکثر دمای هوای ایستگاه سینوپتیک اردبیل طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ از اداره هواشناسی این استان دریافت گردید. همچنین داده‌های تراز چاه‌های پیرومتری دشت اردبیل و ایستگاه‌های هیدرومتری که شامل دوره ۱۳۹۳-۱۳۷۲ بود از شرکت آب منطقه استان اردبیل دریافت شد. از بین تمام پیرومترها، داده‌های ۲۵ حلقه چاه و ۹ ایستگاه هیدرومتری که داده‌های کاملی داشتند برای محاسبات این تحقیق انتخاب شدند. ایستگاه‌هایی که بیش از ۱۰ درصد داده ثبت نشده داشتند از روند مقاله کنار گذاشته شدند. نقشه موقعیت چاه‌های پیرومتری دشت مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

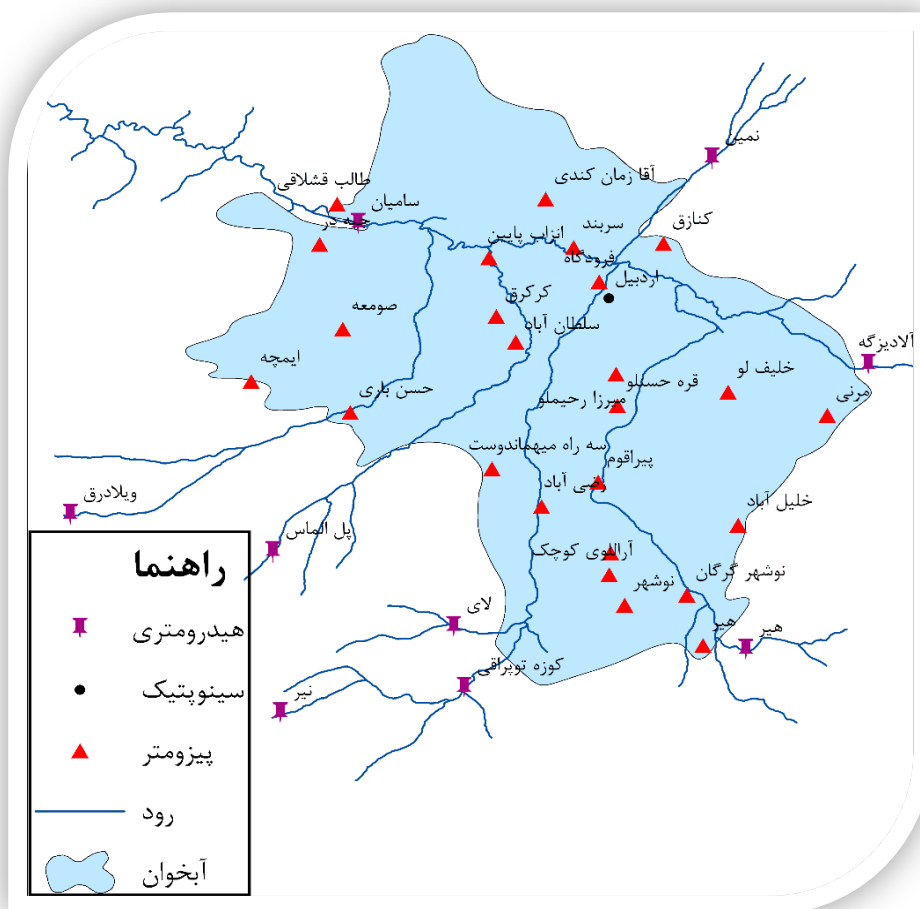
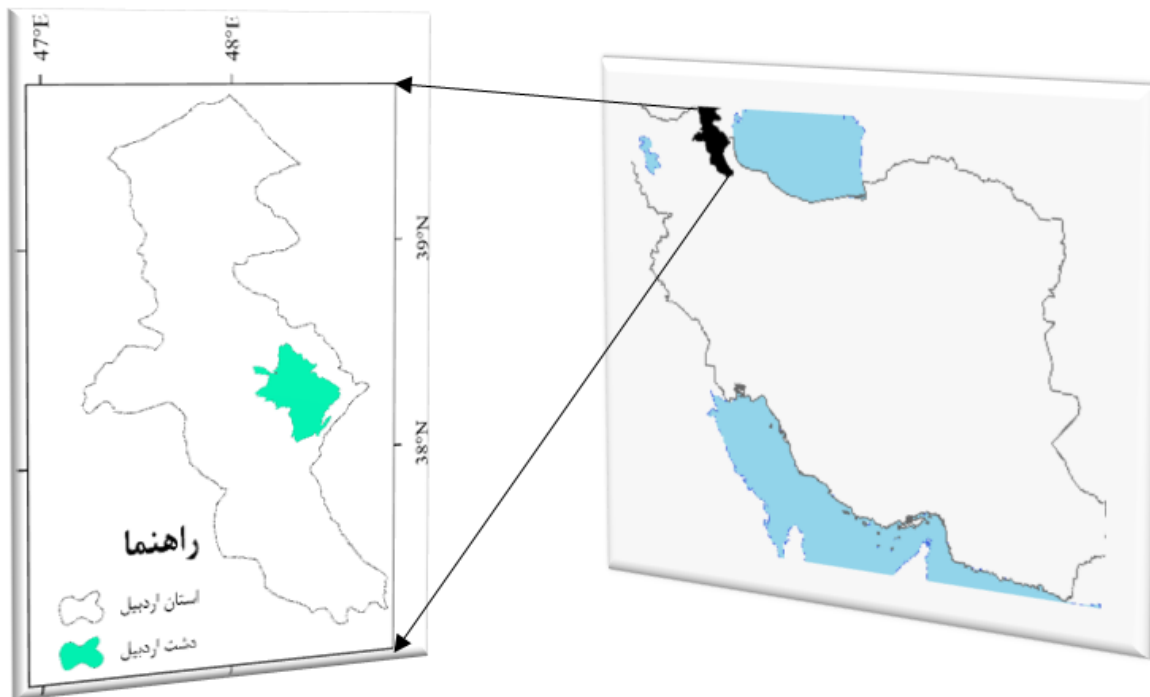
### پیش‌نمایی آثار تغییرات اقلیمی برای دوره‌های آتی

جهت پیش‌نمایی آثار تغییرات اقلیمی در دوره آتی از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES متعلق به مرکز هادلی انگلستان استفاده شد. مدل‌های جهانی اقلیم بزرگ مقیاس هستند و نمی‌توان از خروجی آن‌ها برای یک نقطه مشخص استفاده کرد. به عنوان مثال قدرت تفکیک مکانی مدل HadGEM2-ES به میزان  $(1/25^{\circ} \times 1/87^{\circ})$  است که هر شبکه آن تقریباً ۲۸ هزار کیلومتر مربع را شامل می‌شود. برای غلبه بر این مشکل از ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی عموماً به دو روش عمده آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند. روش‌های مبتنی بر ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی نیازمند پردازنده‌های قدرتمند و ورودی‌های متعدد برای مدل هستند که صرف هزینه و زمان قابل توجه قابل استفاده هستند. بنابراین عموم محققین نمی‌توانند از آن‌ها استفاده کنند. نوع دیگر ریزمقیاس‌نمایی که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد ریزمقیاس‌نمایی‌های آماری است.

را در برنامه‌های بلندمدت توسعه منابع آب لحاظ نمود. این تحقیق شامل سه بخش اقلیمی، هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی است. از آنجایی که تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی غیرمستقیم و کندتر می‌باشد بررسی شرایط این منابع و حفظ پایداری آنها تحت این شرایط از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق به بررسی اثرات تغییر اقلیم در دشت اردبیل پرداخته شده است که در چند سال گذشته بر اثر کمبود منابع آب با چالش‌های جدی مواجه بوده است.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت اردبیل با مساحتی بالغ بر ۹۵۰ کیلومترمربع می‌باشد که از مساحت کل دشت ۸۲۲ کیلومترمربع مساحت آبخوان را تشکیل می‌دهد. منطقه مورد مطالعه در پست‌ترین قسمت خود در حوالی پل سامیان ۱۲۹۴ متر از سطح دریای آزاد اختلاف ارتفاع دارد که از شمال به ارتفاعات مرزی بین ایران و آذربایجان، از شرق به ارتفاعات تالش، از جنوب به آراچای و از غرب به دامنه کوه سیلان ختم می‌شود. براساس آمار ماخوذه از اداره هواشناسی اردبیل متوسط دمای ایستگاه اردبیل ۹/۴ درجه سانتی‌گراد، حداقل دمای ثبت شده ۳۳/۸- سانتیگراد و در سال حدود ۱۴۰ روز دوره یخبندان دارد. البته بسته به سال این مقدار حتی می‌تواند تا ۲۱۰ روز نیز افزایش پیدا کند. دشت اردبیل از نواحی سردسیر کشور به حساب می‌آید که در این دشت بیشترین بارش‌ها در ماه‌های آبان و اردیبهشت رخ می‌دهد. براساس آمار سال ۱۳۹۵ شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل، در دشت اردبیل ۳۶۴۴ حلقه چاه وجود دارد که سالانه از آنها ۱۳۲/۱۶۷ میلیون مترمکعب برداشت می‌شود. همچنین برداشت سالانه از مجموع ۷۱ رشته قنات دشت اردبیل ۶/۳۶۲ میلیون مترمکعب و از مجموع ۶۲۵ دهانه چشمه آن



شکل ۱. نقشه آبخوان اردبیل و موقعیت ایستگاه‌های پیزومتری، هیدرومتری و سینوپتیک

Schmidt (۲۰۰۹) توسعه داده شده است. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک لیستی از بهترین روابط رگرسیونی بین پارامترهای مستقل و وابسته را ارائه می‌دهد (Gharun et al., 2015). در سال‌های اخیر از این نرم‌افزار در موضوعات مربوط به هیدرولوژی به عنوان ابزاری مطمئن و دقیق توسط دانشمندان مختلف استفاده شده است. Sfyraakis (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای مفصل با به‌کارگیری نرم‌افزار Eureka رواناب رودخانه اوراوا در اسلواکی را مدل‌سازی کرد. Demirhan و Atilgan (۲۰۱۵) نیز به تخمین تابش خورشیدی ترکیه با استفاده از این ابزار پرداختند. Xu و همکاران (۲۰۱۶) تبخیر- تعرق روزانه مناطق خشک چین را مدل‌سازی کردند. Azmi و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای که به بررسی خشکسالی استرالیا پرداخته بودند از این نرم‌افزار بهره جستند.

در پژوهش پیش‌رو، مدل‌سازی فرآیند بارش- رواناب سالانه در دوره پایه با ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد جهت صحت‌سنجی آن انجام شد. به منظور ارزیابی دقت مدل از معیارهای ارزیابی خطا شامل ضریب همبستگی<sup>۱</sup> (R)، خطای جذر میانگین مربعات<sup>۲</sup> (RMSE) و نش- ساتکلیف<sup>۳</sup> (NSE) استفاده شد و مدلی که کمترین خطا را داشت انتخاب گردید. سپس با در دست داشتن مقادیر بارش دوره آتی (که از خروجی مدل‌های GCM) به دست آمده بود و با به‌کارگیری مدل منتخب هر ایستگاه (با استفاده از ابزار Eureka) مقادیر دبی دوره آتی نیز به دست آمد. در نهایت مقادیر بارش و رواناب دوره آتی با دوره پایه مقایسه و تجزیه و تحلیل گردید. جدول ۱ روابط و مشخصات معیارهای ارزیابی خطای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. در این جدول،  $A_t$  مقادیر مشاهداتی و  $F_t$  مقادیر محاسباتی می‌باشد.

دقت این روش‌ها مورد تایید بسیار از دانشمندان قرار گرفته (Mehan et al., 2017; Hashmi et al., 2011; Lopes, 2008؛ جعفرزاده و همکاران ۱۳۹۵) و در سرتاسر جهان محققین بسیاری از این ریزمقیاس‌نمایی‌ها برای پیش‌نمایی آثار تغییرات اقلیمی استفاده می‌کنند (Coleman et al., 2021; Nerantzaki et al., 2020; Hashempour Bakhtiari et al., 2020; Stevens and Madani, 2016). رایگان بودن، استفاده راحت و عدم نیاز به ورودی‌های متعدد در کنار زمان‌بر نبودن آن از ویژگی‌های این نوع ریزمقیاس‌نمایی است. در این مطالعه از نسخه ششم مولد آب و هوایی LARS-WG برای ریزمقیاس کردن خروجی برون‌داد اقلیمی HadGEM2-ES استفاده شد. گفتنی است LARS-WG میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده را بسیار نزدیک به مقادیر مشاهداتی به‌دست می‌آورد اما یکی از معایب آن ضعف در شبیه‌سازی انحراف معیار داده‌ها است (صادقی و دین‌پژوه، ۱۳۹۸). در این مطالعه از سه سناریوی اقلیمی استفاده گردید. سناریوی RCP2.6 نماینده سطح پایین انتشار گازهای گلخانه‌ای است و به‌عنوان یک سناریوی خوشبینانه انتخاب شد. سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب، به عنوان سناریوی متوسط و سناریوی بدبینانه انتخاب شدند. پیش‌نمایی برای سه دوره آتی ۱۴۱۸-۱۴۰۰، ۱۴۳۸-۱۴۲۰ و ۱۴۵۸-۱۴۴۰ انجام شد. لازم به ذکر است داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و پیزومتری اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای بر اساس تقویم شمسی بودند. با توجه به این که تجزیه و تحلیل نتایج تحقیق در قالب سال شمسی برای بسیاری از خوانندگان راحت‌تر بود، داده‌های روزانه دوره پایه ایستگاه سینوپتیک و خروجی روزانه مدل اقلیمی برای دوره‌های آتی از قالب میلادی به قالب شمسی تبدیل شدند.

پس از تولید داده‌های بارش برای دوره آتی، با استفاده از ابزار هوش مصنوعی Eureka دبی و تراز آب زیرزمینی نیز برآورد شد. ابزار Eureka توسط Lipson and

<sup>1</sup> Correlation Coefficient  
<sup>2</sup> Root Mean Square Error  
<sup>3</sup> Nash-Sutcliffe

جدول ۱. روابط و مشخصات معیارهای ارزیابی خطا در مطالعه حاضر

معیار ارزیابی خطا	مرجع	واحد	بازه	بهترین عملکرد
$R = \sqrt{\frac{((F_t - \bar{F}_t) \times (A_t - \bar{A}_t))^2}{\sum_{t=1}^n (F_t - \bar{F}_t)^2 \times \sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2}}$	Fan et al., (2019)	بی بعد	۰ تا ۱	یک
$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2}$	Zabihi et al., (2016)	هم واحد با $F_t$ و $A_t$	۰ تا $+\infty$	صفر
$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2}$	Ku et al., (2019)	بی بعد	$-\infty$ تا ۱	یک

سناریو مقادیر بارش ماهانه در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان کاهش خواهد یافت که اوج این کاهش‌ها در ماه‌های مرداد و شهریور خواهد بود. با توجه به این که این دو ماه در فصل رشد گیاه قرار دارند به نظر می‌رسد از هم اینک برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب آینده در این منطقه ضروری باشد تا گیاه در مرحله رشد دچار تنش آبی نشود. در سایر ماه‌ها افزایش بارش محتمل است که این افزایش‌ها در فصل زمستان بیشتر از سایر ماه‌ها خواهد بود. نتایج این تحقیق با نتایج Asakereh and Akbarzadeh (۲۰۱۷) که پیش‌بینی نمودند مقادیر بارش تبریز در فصل زمستان در آینده افزایش خواهد یافت، کاملاً مطابقت دارد.

با استفاده از ابزار هوش مصنوعی Eureka دبی و تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل پیش‌بینی شد. به‌منظور پیش‌بینی دبی و تراز آب زیرزمینی، ترکیب‌های مختلفی از داده‌های ورودی به مدل معرفی گردید و بهترین چینش پارامترها با در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی خطا انتخاب شد.

جدول ۲ عملکرد مدل Eureka در تخمین دبی و جدول ۳ عملکرد مدل در تخمین تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جداول، مدل از دقت قابل قبولی در تخمین پارامترهای مذکور برخوردار بوده است.

### آزمون معنی‌دار اختلاف میانگین‌های تی استیودنت

آزمون تی استیودنت یک آزمون کارا برای تعیین معنی‌داری اختلاف میانگین دو سری مستقل است. در این پژوهش از این آزمون برای بررسی معنی‌داری اختلاف میانگین‌های مقادیر بارش، دبی و تراز آب زیرزمینی دوره‌های آبی (طبق سه سناریوی انتشار) و دوره مشاهداتی استفاده به عمل آمد. برای مقایسه دو میانگین از رابطه زیر استفاده شد (رضایی، ۱۳۹۲).

$$t_c = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (1)$$

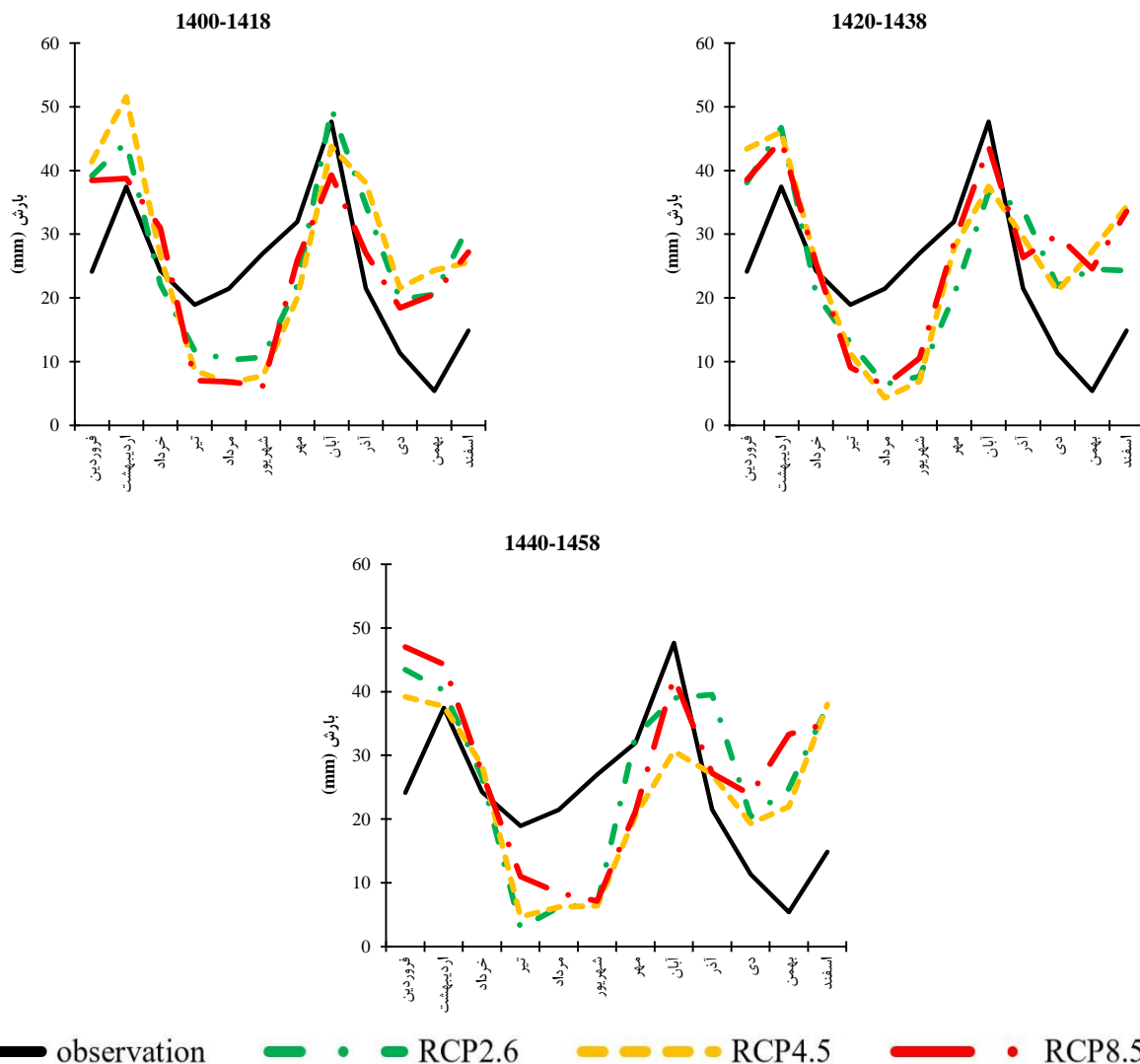
که در آن  $S_p$  از رابطه زیر به دست آمد.

$$S_p = \sqrt{\frac{\left[ \sum x_{1j}^2 - \frac{(\sum x_{1j})^2}{n_1} \right] + \left[ \sum x_{2j}^2 - \frac{(\sum x_{2j})^2}{n_2} \right]}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2)$$

که در آن  $n_1$  و  $n_2$  به ترتیب، تعداد سال‌های دوره اول و دوم می‌باشد و  $x_{1j}$  و  $x_{2j}$  به ترتیب مقدار  $Z$  ام در سری اول و دوم است. پس از محاسبه مقادیر فوق،  $t_c$  با  $t$  جدول تی-استیودنت با درجه آزادی  $n_1 + n_2 - 2$  و سطح اطمینان  $(\alpha)$  ۵ درصد مقایسه شد. اگر  $|t_c| \geq t$  بود، در این صورت، اختلاف بین دو میانگین معنی‌دار تلقی گردید.

### نتایج و بحث

در شکل ۲ مقادیر بارش ماهانه هر دوره قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد در هر سه دوره طبق هر سه



شکل ۲. مقادیر متوسط بارش ماهانه سه دوره آبی در ایستگاه سینوپتیک اردبیل

جدول ۲. عملکرد مدل Eureka در تخمین دبی

NSE		RMSE		R		ترکیب پارامترها
دوره صحت‌سنجی	دوره آموزش	دوره صحت‌سنجی	دوره آموزش	دوره صحت‌سنجی	دوره آموزش	
0.6	0.54	0.84	1.02	0.64	0.46	Q = P
0.8	0.77	0.74	0.89	0.87	0.77	Q = P . m
0.74	0.75	0.77	0.91	0.80	0.75	Q = P . 1lagQ
0.76	0.82	0.76	0.86	0.83	0.83	Q = P . m . 3lagQ
0.56	0.55	0.86	1.02	0.56	0.49	Q = P . 2lagQ
0.53	0.61	0.87	0.99	0.59	0.95	Q = P . 3lagQ
0.72	0.88	0.78	0.83	0.82	0.87	Q = P . m . 2lagQ
0.53	0.61	0.87	0.99	0.59	0.95	Q = P . ave3lagQ
<b>0.75</b>	<b>0.97</b>	<b>0.77</b>	<b>0.76</b>	<b>0.90</b>	<b>0.95</b>	<b>Q = P . m . 1lagQ</b>

ردیف آخر (مقادیر برجسته) بهترین چینش پارامترها که دارای کمترین خطا بوده‌اند را نشان می‌دهد که برای تخمین دبی استفاده شده است. lag نشان‌گر تاخیر آن پارامتر در مقیاس ماهانه و ave نیز میانگین را نشان می‌دهد. P بارش و Q دبی است. m نیز شماره ماه است.

جدول ۲. عملکرد مدل Eureqa در تخمین تراز آب زیرزمینی

NSE		RMSE		R		ترکیب پارامترها
دوره صحت‌سنجی	دوره آموزش	دوره صحت‌سنجی	دوره آموزش	دوره صحت‌سنجی	دوره آموزش	
-82.00	0.08	4.85	3.10	0.24	0.28	T = P . Q
-80.65	0.08	4.81	3.09	0.23	0.29	T = P . Q . m
0.68	0.97	0.30	0.52	0.86	0.99	T = P . Q . 1lagT . m
-0.20	0.92	0.58	0.92	0.59	0.96	T = P . Q . m . 3lagT
0.20	0.94	0.48	0.78	0.65	0.97	T = P . Q . 2lagT
-0.14	0.90	0.57	1.00	0.48	0.95	T = P . Q . 3lagT
0.24	0.95	0.47	0.71	0.69	0.98	T = P . Q . m . 2lagT
0.39	0.95	0.41	0.70	0.73	0.98	T = P . Q . ave3lagT
<b>0.69</b>	<b>0.97</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	<b>0.86</b>	<b>0.99</b>	<b>T = P . Q . 1lagT</b>

ردیف آخر (مقادیر برجسته) بهترین چینش پارامترها که دارای کمترین خطا بوده‌اند را نشان می‌دهد که برای تخمین تراز آب زیرزمینی استفاده شده است. lag نشان‌گر تاخیر آن پارامتر در مقیاس ماهانه و ave نیز میانگین را نشان می‌دهد. P بارش، Q دبی و T تراز آب زیرزمینی است. m نیز شماره ماه است.

ماه‌ها کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش در ماه فروردین و سپس در شهریور ماه خواهد بود. در دوره اول و دوم بیشترین کاهش به ترتیب متعلق به سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 می‌باشد. در دوره سوم سناریوی RCP8.5 نسبت به دو سناریوی دیگر کاهش کمتری را نشان می‌دهد. دلیل این امر کاهش کمتر دبی در این سناریو نسبت به سایر سناریوهاست که در شکل ۳ قابل مشاهده است.

آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها با روش تی استیودنت را برای مقادیر بارش نشان می‌دهد. در جدول ۴ و جدول ۶ نیز نتایج این آزمون برای مقادیر دبی و تراز آب زیرزمینی آمده است. آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در سطح اطمینان ۵ درصد صورت گرفت و مقادیری که مقدار قدرمطلق آنها از مقدار حدی جدول در این سطح اطمینان (۲/۱۳) بزرگتر بودند معنی‌دار فرض شدند. اختلاف میانگین دبی، بارش و تراز در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور (فصل تابستان) در هر سه دوره کاهش معنی‌داری داشته است. با توجه به این که این ماه‌های فصل رشد گیاه است و نیاز آبی گیاه در این ماه‌ها به اوج خود می‌رسد، کاهش بارش در این ماه‌ها می‌تواند بر

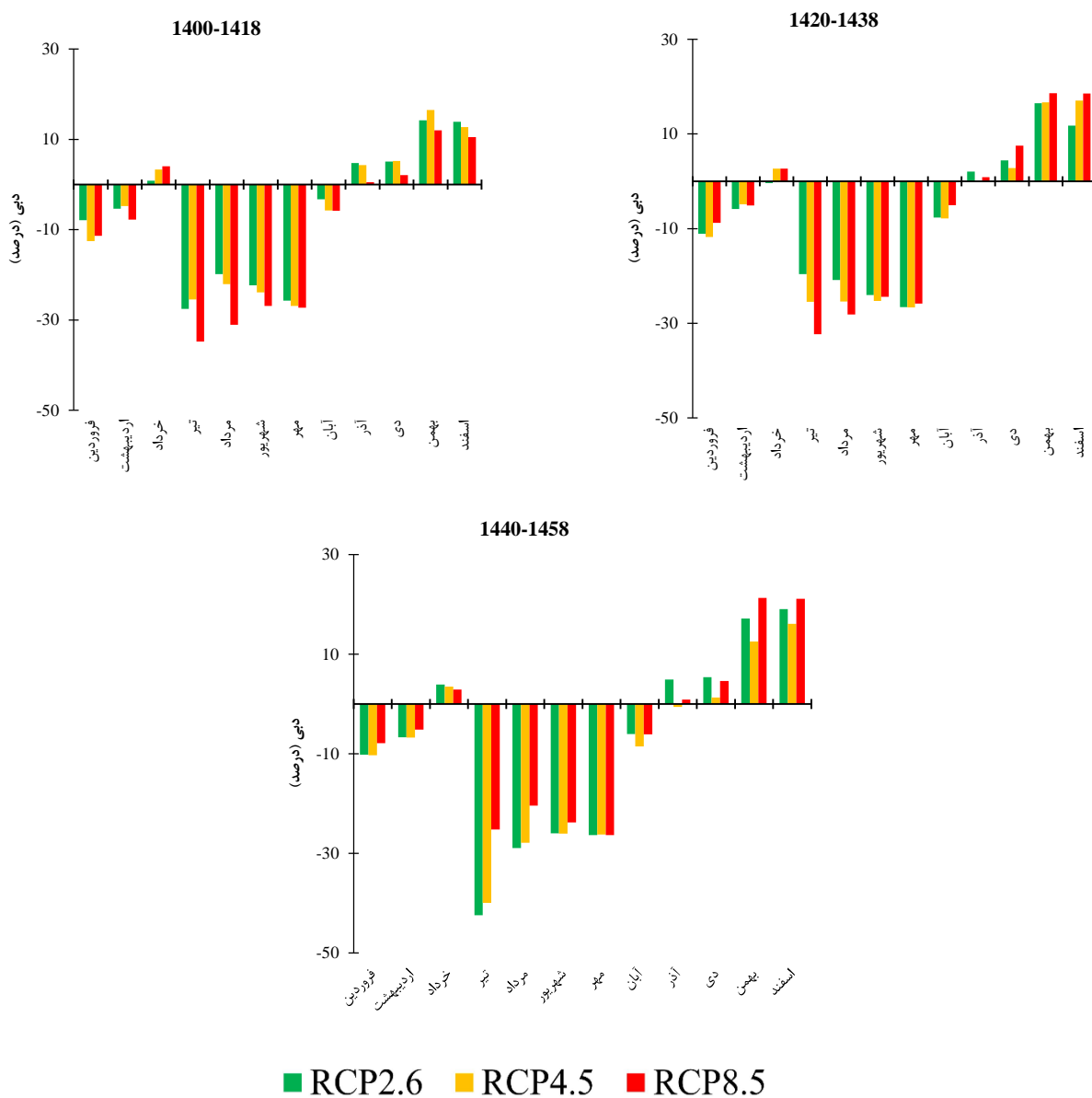
در شکل ۳ درصد تغییرات دبی ماهانه نسبت به دوره قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد رواناب سالانه کاهشی بین ۳/۴ تا ۷/۵ درصدی را شاهد خواهد بود. دبی در هر سه دوره آبی طبق هر سه سناریو در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان دبی کاهش خواهد یافت که این کاهش در ماه‌های فصل تابستان (تیر، مرداد و شهریور) و مهر ماه بیشتر از سایر ماه‌ها است. با توجه به اینکه در فصل رشد در کشور ما استفاده از آب‌های سطحی در کشاورزی در بسیاری از مناطق مرسوم است، به نظر می‌رسد کاهش دبی در آینده در فصل رشد می‌تواند به عنوان یک هشدار جدی برای برنامه‌ریزان بخش آب و کشاورزی تلقی شود و برای حل این مشکل از حالا چاره‌سازی شود. در سایر ماه‌ها افزایش دبی مشاهده می‌شود که این افزایش در ماه‌های بهمن و اسفند بیشتر از سایر ماه‌ها است که دلیل اصلی آن افزایش بارش در این ماه‌ها است که در شکل ۲ این موضوع کاملاً مشهود است.

شکل ۴ مقدار تغییرات تراز آب زیرزمینی را برحسب متر نشان می‌دهد. براساس یافته‌های این پژوهش، در هر دوره طبق سه سناریوی RCP تراز آب زیرزمینی در تمام

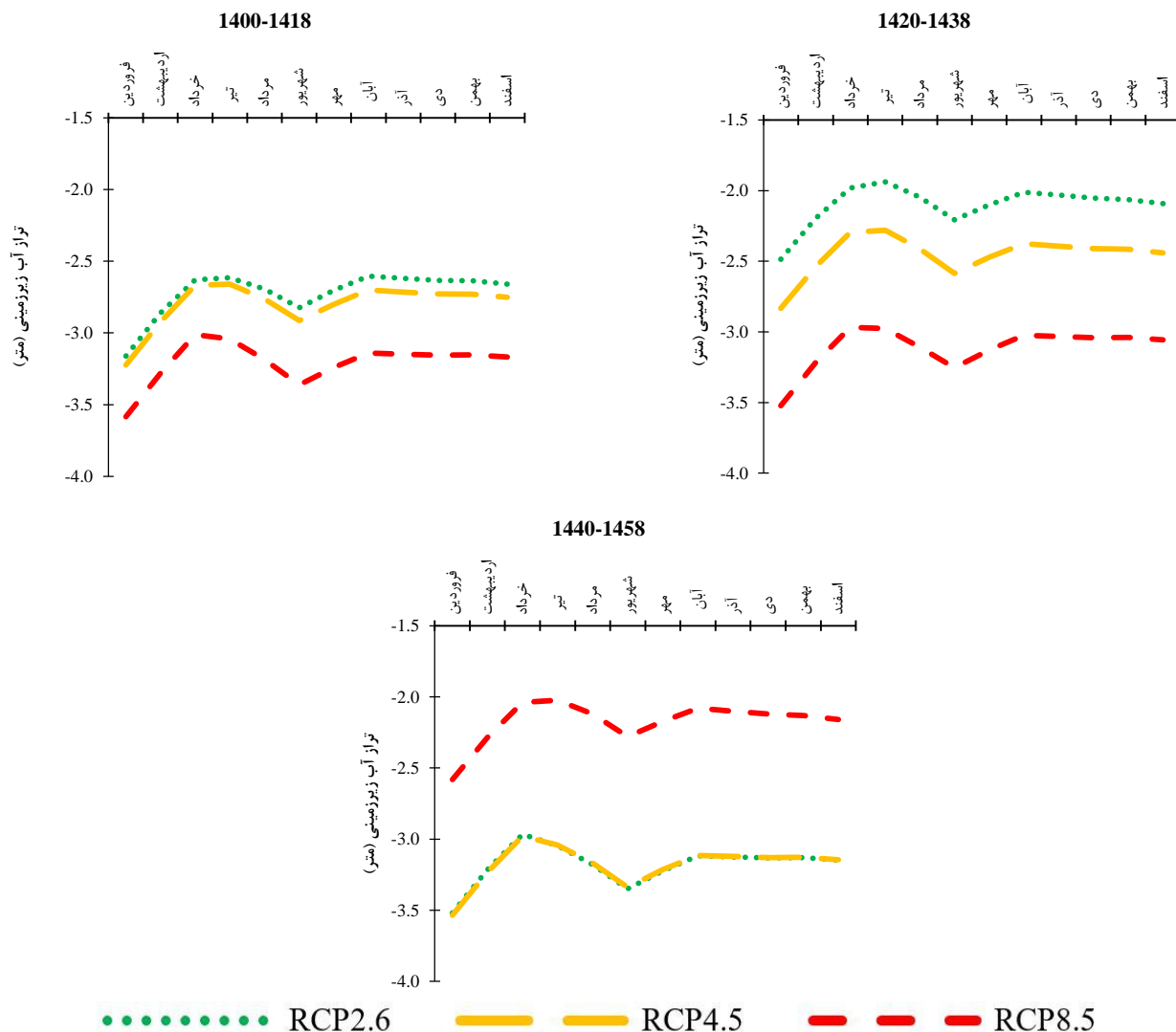


نمود. در ماه فروردین نیز در تمام دوره-سناریوها افزایش بارش معنی‌دار است. در رواناب نیز در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور و مهر کاهش معنی‌داری نشان می‌دهد. معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها در تراز در همه ماه‌ها در هر سه دوره و طبق هر سه سناریو کاهش معنی‌داری را نشان می‌دهد. میانگین مقادیر بارش در بهمن و اسفند در هر سناریو افزایش معنی‌داری دارد.

معضلات بخش کشاورزی بیافزاید. این در حالی است که در ماه‌های دی، بهمن و اسفند (به جز دوره سوم در RCP4.5 در دی ماه) افزایش بارش معنی‌دار خواهد بود. این موضوع می‌تواند کمبود بارش در تابستان را تا حدودی جبران کند، اگر این بارش‌ها در مخازن سدها ذخیره گردد می‌توان از این آب در ماه‌های تابستان که بارش نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت، استفاده



شکل ۳. درصد تغییرات دبی ماهانه طبق هر سه سناریوی RCP در سه دوره آبی نسبت به دوره پایه



شکل ۴. میزان تغییرات ماهانه تراز آب زیرزمینی (متر) طبق هر سه سناریوی RCP در سه دوره آبی نسبت به دوره پایه

جدول ۳. آزمون معنی داری اختلاف میانگین‌ها با روش تی استیوننت برای بارش

سالانه	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	دوره	
1.6	3.9	5.5	2.6	2.6	0.2	-1.8	-4.4	-3.4	-2.4	0.5	-1.1	-2.1	اول	RCP2.6
0.5	2.3	7.6	2.8	1.8	-1.7	-2.3	-5.7	-5.3	-2.2	-0.8	1.4	2.2	دوم	
1.9	4.1	6.4	2.8	2.8	-1.1	0.2	-5.9	-5.8	-8.5	0.4	0.4	2.2	سوم	
1.7	2.6	6.2	2.3	2.4	-0.5	-2.3	-5.7	-5.5	-4.5	0.5	1.9	2.8	اول	RCP4.5
1.9	4.2	6.5	2.6	1.7	-1.6	-0.8	-5.5	-6.5	-2.3	0.2	1.3	3.1	دوم	
-0.4	4.7	5.8	2.0	0.9	-2.5	-2.1	-6.2	-6.0	-7.0	0.8	0.0	2.4	سوم	
0.0	3.3	5.4	2.3	1.2	-0.9	-1.2	-6.2	-4.0	-5.0	1.4	0.2	2.1	اول	RCP8.5
2.2	4.1	5.9	4.7	0.9	-0.5	-0.5	-4.3	-5.2	-3.3	0.2	1.2	2.3	دوم	
2.3	4.7	6.9	2.8	1.1	-0.7	-1.9	-6.0	-4.4	-3.2	0.7	1.1	3.2	سوم	

اعداد برجسته در سطح ۵ درصد معنی دارند.

سال دهم / شماره ۴ تابستان ۱۴۰۰

جدول ۴. آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها با روش تی استیوننت برای رواناب

دوره	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
RCP2.6	اول	-0.8	-0.7	0.1	-2.3	-2.8	-2.4	-0.3	0.8	0.8	2.0	1.8	-1.0
	دوم	-1.1	-0.8	-0.1	-1.7	-3.1	-2.6	-0.8	0.3	0.7	2.3	1.6	-1.3
	سوم	-1.0	-0.9	0.5	-3.7	-4.4	-2.8	-2.4	0.8	0.9	2.4	2.5	-1.3
RCP4.5	اول	-1.3	-0.6	0.4	-2.2	-3.1	-2.6	-0.6	0.7	0.9	2.3	1.7	-1.2
	دوم	-1.2	-0.6	0.4	-2.1	-3.4	-2.7	-0.8	0.0	0.5	2.3	2.2	-1.3
	سوم	-1.0	-0.9	0.4	-3.5	-4.2	-2.9	-0.8	-0.1	0.2	1.8	2.1	-1.7
RCP8.5	اول	-1.2	-1.0	0.5	-3.0	-4.3	-2.9	-0.6	0.1	0.4	1.7	1.4	-1.8
	دوم	-0.9	-0.7	0.3	-2.6	-4.3	-2.7	-0.5	0.2	1.2	2.6	2.4	-1.1
	سوم	-0.8	-0.7	0.4	-2.2	-2.9	-2.6	-0.6	0.2	0.8	2.9	2.7	-0.8

اعداد برجسته در سطح ۵ درصد معنی‌دارند.

جدول ۵. آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها با روش تی استیوننت برای تراز آب زیرزمینی

دوره	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
RCP2.6	اول	-3.7	-3.2	-2.9	-3.0	-3.2	-3.4	-3.2	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3
	دوم	-2.9	-2.5	-2.2	-2.2	-2.4	-2.7	-2.6	-2.6	-2.6	-2.6	-2.7	-2.6
	سوم	-4.1	-3.7	-3.4	-3.5	-3.8	-4.1	-4.0	-3.9	-4.0	-4.0	-4.0	-3.9
RCP4.5	اول	-3.8	-3.3	-3.0	-3.1	-3.3	-3.5	-3.4	-3.4	-3.4	-3.5	-3.5	-3.4
	دوم	-3.3	-2.9	-2.6	-2.6	-2.9	-3.1	-3.1	-3.0	-3.0	-3.0	-3.1	-3.0
	سوم	-4.1	-3.7	-3.4	-3.5	-3.8	-4.0	-4.0	-3.9	-4.0	-4.0	-4.0	-3.9
RCP8.5	اول	-4.3	-3.7	-3.4	-3.5	-3.8	-4.1	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0	-3.9
	دوم	-4.2	-3.8	-3.4	-3.5	-3.7	-3.9	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-3.9	-3.8
	سوم	-3.0	-2.6	-2.3	-2.4	-2.5	-2.8	-2.7	-2.6	-2.7	-2.7	-2.8	-2.6

اعداد برجسته در سطح ۵ درصد معنی‌دارند.

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه، اثرات تغییر اقلیم بر حوضه دشت اردبیل واقع در شمال غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور با استفاده از مدل LARS-WG داده‌های مدل گردش عمومی HadGEM2-ES برای ایستگاه اردبیل تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای سه دوره آتی (۱۴۱۸-۱۴۰۰، ۱۴۳۸-۱۴۲۰ و ۱۴۵۸-۱۴۴۰) ریزمقیاس شد و میزان بارش با توجه به پارامترهای اقلیمی منطقه برای دوره‌های آتی استخراج گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار Eureqa مقدار دبی و تراز سطح ایستابی تخمین زده شد. نتایج نشان داد بارش

در فصل تابستان به شدت کاهش خواهد یافت. بیشترین مقدار کاهش در تیرماه دوره سوم به مقدار ۱۶ میلی‌متر پیش‌بینی شد. با این حال افزایش بارش در ماه‌های زمستان و دو ماهه اول سال مشاهده خواهد شد که بیشترین مقدار افزایش در بهمن ماه دوره سوم به مقدار ۲۷/۹ میلی‌متر پیش‌بینی شد. دبی در همه ماه‌های فصل تابستان و مهرماه کاهش قابل توجهی را نشان داد. بیشترین کاهش دبی در تیرماه دوره سوم به میزان ۴۰ درصد و بیشترین افزایش در اسفندماه دوره سوم به میزان ۲۰ درصد خواهد بود. بر اساس یافته‌های این پژوهش، تراز آب زیرزمینی در تمام ماه‌های سال در سه دوره آتی

### سپاس‌گزاری

از سازمان هواشناسی کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران به دلیل در اختیار گذاردن آمار و اطلاعات لازم برای انجام این پژوهش سپاس‌گزاری می‌شود. همچنین از داوران محترم و سردبیر نشریه که با نظرات کارشناسانه و راهنمودهای ارزشمندشان باعث ارتقای محتوای علمی مقاله شدند کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

طبق هر سه سناریوی RCP نسبت به متوسط دوره پایه کاهش خواهد یافت. کاهش بارش، دبی و تراز آب زیرزمینی در فصل تابستان که مصادف با دوره رشد گیاه است منجر به تشدید بحران کم آبی در منطقه خواهد شد. این امر نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و یافتن راه‌حل برای سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم است.

### منابع مورد استفاده

- جعفرزاده، ا.، خاشعی سیوکی، ع. و شهیدی، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی دو روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و SDSM در برآورد تغییرات مولفه‌های اقلیمی (مطالعه موردی دشت بیرجند). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۴)، ۳۲۲-۳۰۹.
- رضایی، ع. ۱۳۹۲. آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی.
- صادقی، ا. و دین پژوه، ی. ۱۳۹۸. پیش‌نمایی بارش و روند تغییرات آن تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی (مطالعه موردی: تبریز). محیط‌زیست و مهندسی آب، ۵(۴)، ۲۵۰-۲۳۹.
- یزدان‌پناه، ح. و علیزاده، ت. ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع اموج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکوف. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۲، ۷۲-۵۲.
- Acharjee, T.K., Ludwig, F., van Halsema, G., Hellegers, P. and Supit, I. 2017. Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 194, pp.172-183.
- Al-Safi, H.I.J. and Sarukkalige, P.R., 2020. The application of conceptual modelling to assess the impacts of future climate change on the hydrological response of the Harvey River catchment. *Journal of Hydro-environment Research*, 28, pp.22-33.
- Asakereh, H. and Akbarzadeh, Y. 2017. Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station using statistical Downscaling and Canesm2 climate change model output. *Geography and Environmental Hazards*, 23, 153-174.
- Azmi, M., Rüdiger, C. and Walker, J.P., 2016. A data fusion- based drought index. *Water Resources Research*, 52(3), pp.2222-2239.
- Bakhtiari, P.H., Nikoo, M.R., Izady, A. and Talebbeydokhti, N., 2020. A coupled agent-based risk-based optimization model for integrated urban water management. *Sustainable Cities and Society*, 53, p.101922.
- Boughariou, E., Allouche, N., Jmal, I., Mokadem, N., Ayed, B., Hajji, S., Khanfir, H. and Bouri, S. 2018. Modeling aquifer behaviour under climate change and high consumption: Case study of the Sfax region, southeast Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 141, pp.118-129.
- Charlton, M.B. and Arnell, N.W. 2014. Assessing the impacts of climate change on river flows in England using the UKCP09 climate change projections. *Journal of Hydrology*, 519, pp.1723-1738.
- Coleman, K., Whitmore, A.P., Hassall, K.L., Shield, I., Semenov, M.A., Dobermann, A., Bourhis, Y., Eskandary, A. and Milne, A.E., 2021. The potential for soybean to diversify the production of plant-based protein in the UK. *Science of the Total Environment*, 767, p.144903.
- Demirhan, H. and Atilgan, Y.K., 2015. New horizontal global solar radiation estimation models for Turkey based on robust coplot supported genetic programming technique. *Energy Conversion and Management*, 106, pp.1013-1023.
- Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Cai, H., Zeng, W., Wang, X. and Zou, H., 2019. Empirical and machine learning models for predicting daily global solar radiation from sunshine duration: A review and case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100: 186-212.
- Gharun, M., Turnbull, T.L., Henry, J. and Adams, M.A., 2015. Mapping spatial and temporal variation in tree water use with an elevation model and gridded temperature data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, pp.249-257.

- Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H. and Aureli, A. 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3), pp.532-560.
- Hashmi, M.Z., Shamseldin, A.Y. and Melville, B.W., 2011. Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), pp.475-484.
- IPCC (2013). *Climate Change: The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Kahsay, K.D., Pingale, S.M. and Hatiye, S.D. 2018. Impact of climate change on groundwater recharge and base flow in the sub-catchment of Tekeze basin, Ethiopia. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, pp.121-133.
- Kopytkovskiy, M., Geza, M. and McCray, J.E. 2015. Climate-change impacts on water resources and hydropower potential in the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, pp.473-493.
- Ku, H.H., Ryu, J.H., Bae, H.S., Jeong, C. and Lee, S.E., 2019. Modeling a long-term effect of rice straw incorporation on SOC content and grain yield in rice field. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-14.
- Lopes, P.M.D.A.G.G., 2008. Assessment of climate change statistical downscaling methods: Application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon (Doctoral dissertation, FCT-UNL).
- Mehan, S., Guo, T., Gitau, M.W. and Flanagan, D.C., 2017. Comparative study of different stochastic weather generators for long-term climate data simulation. *Climate*, 5(2), p.26.
- Nerantzaki, S.D., Hristopulos, D.T. and Nikolaidis, N.P., 2020. Estimation of the uncertainty of hydrologic predictions in a karstic Mediterranean watershed. *Science of The Total Environment*, 717, p.137131.
- Schmidt, M. and Lipson, H., 2009. Distilling free-form natural laws from experimental data. *science*, 324(5923), pp.81-85.
- Sfyarakis, C. 2010. Runoff prediction from a hydrological spatio-temporal database. M.Sc. Thesis, Artificial Intelligence, School of Informatics, University of Edinburgh, (1-90).
- Stevens, T. and Madani, K., 2016. Future climate impacts on maize farming and food security in Malawi. *Scientific reports*, 6(1), pp.1-14.
- Taniguchi, K. 2016. Future changes in precipitation and water resources for Kanto Region in Japan after application of pseudo global warming method and dynamical downscaling. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, pp.287-303.
- Xu, J., Wang, J., Wei, Q. and Wang, Y., 2016. Symbolic regression equations for calculating daily reference evapotranspiration with the same input to Hargreaves-Samani in arid China. *Water resources management*, 30(6), pp.2055-2073.
- Zabihi, H., Vogeler, I., Amin, Z.M. and Gourabi, B.R., 2016. Mapping the sensitivity of citrus crops to freeze stress using a geographical information system in Ramsar, Iran. *Weather and climate extremes*, 14: 17-23.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R., 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3-4), pp.137-146.



## Projection of Quantitative Changes in Groundwater of Ardabil Plain under the Climatic Stresses Based on Precipitation and Runoff

Korush Azad Jelodarlu<sup>1\*</sup> and Amin Sadeqi<sup>2</sup>

1\*) M.Sc. Graduate in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

\* Corresponding author email: kuroshazad95@ms.tabrizu.ac.ir , babak.azar1992@gmail.com

2) M.Sc. Graduate in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Email: aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir , aminn19@gmail.com

Received: 27-12-2020

Accepted: 16-05-2021

### Abstract

In this study, quantitative changes of groundwater resources were projected in Ardabil plain using HadGEM2-ES climatic output and Eureka artificial intelligence tools for the three future periods (1418-1400, 1438-1420 and 1440-1458) under three emission scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5). The results showed that the largest decrease in discharge in summer will be 27%, while the increase in surface runoff in winter is expected to be 12%. The reason for this is the continuation of global warming, which will lead to faster melting of winter snow. The results of the models indicated a decrease in groundwater level in all months of the year in future periods, which has been significant in all periods-scenarios. The groundwater level will decrease between, on average, -1.2% to -3.2%. Reduction rainfall and discharge in the summer - which coincides with the growing season - will also intensify the increase in groundwater harvesting. This will exacerbate the water crisis in the region.

**Keywords:** Ardabil Plain; Climate Change; Projection; Water Resources.