

# بررسی اثرات بارش بر بیلان آبی سرشاخه‌های رودخانه‌های مرزی غرب ایران و نقش الگوهای پیوند ازدور در این تغییرات<sup>۱</sup>

نادر فلاح

دانشجوی دکتری آب و هوا شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

امیر گندمکار<sup>۲</sup>

مرکز تحقیقات گردشگری، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، ایران

علیرضا عباسی

مرکز تحقیقات گردشگری، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۸

## چکیده

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه‌های غربی ایران بررسی شد. بدین منظور جهت بررسی تغییرات اقلیمی دوره‌های آبی برون‌داد مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 توسط مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شد. سپس داده‌های شبیه‌سازی شده دما و بارش با دوره پایه انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که در دوره آبی متوسط بارش سالانه افزایش ۱۴/۲۰ تا ۵۷/۶۹ میلیمتری در ایستگاه سنندج و افزایش ۹/۴۱ تا ۳۱/۳۱ میلیمتری در ایستگاه مریوان خواهد داشت. به منظور بررسی تاثیر سناریوهای مختلف اقلیمی بر سطح آب زیر زمینی از سناریوهای A2 و B1 استفاده شد. نتایج نشان داد که در سناریوی A2 در دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۲۹ میزان افت آبخوان به میزان ۱/۰۲ متر می‌باشد. در دوره ۲۰۳۰-۲۰۳۹ این مقدار برابر ۱/۴۰ و در نهایت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۴۶ سطح آب زیرزمینی برابر با ۳۰۶/۴۶ است که دارای افت به میزان ۱/۶۱ متر می‌باشد. سناریوی B1 نیز افت سطح آب زیر زمینی برای دوره آبی را به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۸۸ و ۱/۲۸ متر پیش بینی نموده است. نتایج کلی تحقیق نشان داد که سطح تراز آب زیرزمینی با توجه به سناریوهای اقلیمی دارای روند کاهشی خواهد بود و با گذشت زمان کاهش سطح آب بیشتر خواهد بود. همچنین سناریوی A2 تغییرات کاهشی بیشتری را نسبت به سناریوی خوش بینانه B1 خواهد داشت. نتایج حاصل از الگوهای پیوند از دور نشان داد شاخص‌های ENSO، NAO در ایستگاه مریوان و سنندج در سطح ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی دار داشته و حاکی از آن است که الگوهای پیوند از دور بر بارش و دمای منطقه مورد مطالعه تأثیر داشته است.

**کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، دما، بارش، پیوند ازدور، غرب ایران**

۱- این مقاله از رساله دکتری تخصصی رشته جغرافیا و آب و هواشناسی استخراج شده است.

۲- (نویسنده مسئول: aagandomkar@gmail.com)

## مقدمه

تغییر اقلیم، یکی از مسایل مهم زیست محیطی و مهمترین چالش قرن حاضر می‌باشد که در سالهای اخیر افکار بسیاری از محققان علوم مختلف را مشغول و مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است (Roth, 1997). بررسی تغییرات دما و نقش آن در گرمایش جهانی به سبب آزاد سازی گازهای گلخانه‌ای در جو زمینه غالب مطالعات اقلیمی در دهه‌های اخیر بوده است (پیرایش، ۲۰۱۵). امروزه با توجه به افزایش جمعیت کره زمین و پیشرفت تکنولوژی و نیاز روز افزون بشر به مناطق مسکونی و منابع اولیه، دست درازی بشر به محیط طبیعی، بیش از پیش نمایان شده است. همه سناریوهای بین المللی تغییر اقلیم و مدل‌های گردش عمومی پیش بینی می‌کنند که افزایش در غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند دمای سطح کره زمین را بالا برد و این تغییرات بر چرخه هیدرولوژی مناطق مختلف نیز اثرگذار خواهد بود (Miopluso, 2010).

مدلهای گردش عمومی جو توسعه یافته مدل‌های ریاضی هستند و جهت شبیه سازی اقلیم حاضر و آینده تحت اثر گازهای گلخانه‌ای و آتروسلها به کار می‌روند. این مدلها اولین ابزار برای دریافت رفتار سیستم اقلیمی می باشند (Calogero, 1997). بازخوردهای ناشی از تغییر اقلیم متغیر می‌باشد و ممکن است سبب افزایش یا کاهش عوامل درونی شوند. بسیاری از تغییرات درونی در سیستم‌های اقلیمی با تأخیر رخ می‌دهند. زیرا سیستم اقلیمی کره زمین بسیار بزرگ است و به کندی حرکت می‌کند و به ورودی‌ها با تأخیر پاسخ می‌دهد (بلانکو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). اکثر پژوهشگران بر این باورند که با افزایش گازهای گلخانه‌ای از جمله دی اکسیدکربن در ابتدای دهه 2030، دمای کره خاکی به میزان ۲ تا ۹ درجه سلسیوس گرمتر شود (Barkhordari, 2013).

اگر چه تحقیقات، وجود یک روند مثبت قابل توجه برای کره زمین را نشان می‌دهد، ولی رخداد رفتارهای متفاوت از نظر جمع بارش و مقادیر فرین در مقیاس ناحیه‌ای مشاهده شده است. نتایج تعدادی از پژوهشها گویای افزایش معنادار روند بارش در مقیاس منطقه‌ای و تعداد کمی روند منفی یا عدم وجود روند بوده که این نتایج، کم و بیش در راستای خروجی‌های مستخرج از اجرای مدل‌های اقلیمی با در نظرگرفتن تغییرات افزایشی گازهای گلخانه‌ای بالاخص دی اکسیدکربن می‌باشد (Miopluso, 2010).

سیرانو و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۹)، روند بارش ماهانه و سالانه شبه جزیره‌ایبری را از طریق آزمون من کندال تجزیه و تحلیل نمود. نتیجه تحقیق هیچ روند معنی داری برای بارش سالانه نشان نداد. کارل و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۹۹)، تغییرات شرایط حدی اقلیم را با استفاده از شاخص‌ها و نمایه‌های حدی دما و بارندگی، در طی قرن گذشته در بیشتر نقاط جهان با روش‌های آماری در جنوب برزیل برآورد نمود.

داسیلوا<sup>۴</sup> (۲۰۰۴)، تغییر پذیری هشت عنصر اقلیمی را با روش من کندال در سه مقیاس زمانی سالانه، فصل خشک و فصل تر در شمالغرب برزیل مورد بررسی قرارداد و نشان داد که دما روند افزایشی و رطوبت نسبی و بارندگی روند

1. blanco

2- Cirano et al

3- Karl et al

4 Da Silva

کاهش معنی دار داشته‌اند. ناندیتسیتیگ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷)، روند هشت نمایه بارندگیهای فرین و شش نمایه دماهای فرین را در اطراف دریاچه مونگولیا به روش رگرسیون خطی مورد تجزیه و تحلیل قرارداد. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی تغییرات بارش و دبی زیرحوضه‌های رودخانه‌های کرخه اشاره و تغییرات دبی ناشی از بارش را شدیدتر و دربرخی سرشاخه‌ها وارد مراحل بحرانی نموده است. دارند (۱۳۹۳)، درشناسایی و تحلیل زمانی، مکانی امواج گرمایی ایران با استفاده از شش نمایه و آزمون ناپارامتری من-کندال نشان داد که بسامد رخداد امواج گرمایی در ایران روبه افزایش است. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۶)، بررسی بیلان آبهای سطحی و زیرزمینی تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم در مقیاس حوضه آبخیز را در تویسرکان همدان به سرانجام رساندند.

حوضه آبریز مرزی غرب ایران یکی از سرشاخه‌های پرآب ایران به لحاظ آبدهی است. اما این منطقه هم همچون سایر نقاط کشور با بحران بی آبی مواجه شده است. لذا میزان آبدهی سرشاخه‌های آبی در این منطقه و هرگونه نوسان در دما و میزان بارش در طول سالهای اخیر در این حوضه و نبود مدیریت صحیح منابع آبی که امروزه یکی از چالشهای آب در ایران است باعث شده که این حوضه آبریز همچون سایر حوضه‌های آبی بحران آبی را تجربه نماید. لذا بررسی تغییرات دما و بارش در این حوضه و تأثیر الگوهای پیوند از دور بر آن کمک شایانی به برنامه‌ریزیهای مختلف در این حوضه می‌کند.

از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی روند تغییرات بارش در سرشاخه‌های رودخانه‌های مرزی غرب ایران و اثرات آنها بر آبهای سطحی و زیرزمینی و همچنین تأثیر الگوهای پیوند از دور در شکل‌گیری این تغییرات صورت گرفته است.

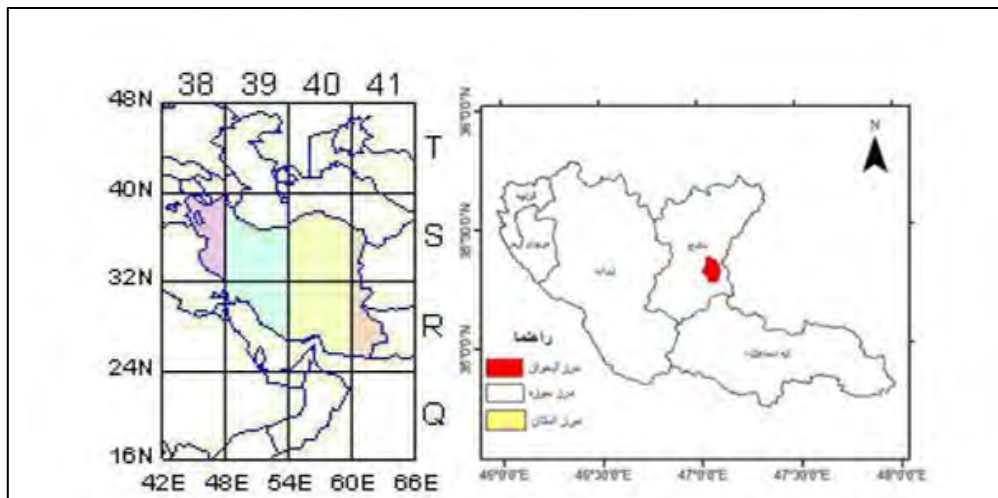
#### مواد و روش

##### معرفی خصوصیات منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه‌های مرزی غرب، یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز خلیج فارس دریای عمان است که ۳۹۶۰۸۲۲ هکتار مساحت دارد. این حوضه در استان‌های آذربایجان غربی، کردستان و کرمانشاه واقع شده است. رودهای این حوضه، از دامنه‌های غربی زاگرس سرچشمه می‌گیرند و پس از گذر از مرز ایران و عراق، وارد دجله می‌شوند. شمالی‌ترین رود این حوضه زاب کوچک است و رود سیروان دیگر رود مهم حوضه است که از نزدیکی سنندج سرچشمه می‌گیرد (افشین، ۱۳۷۳).

منطقه مورد مطالعه شامل سرشاخه‌های رودخانه‌های مرزی غرب ایران می‌شود که در شمال حوضه مرزی غرب ایران واقع شده است (شکل ۱).

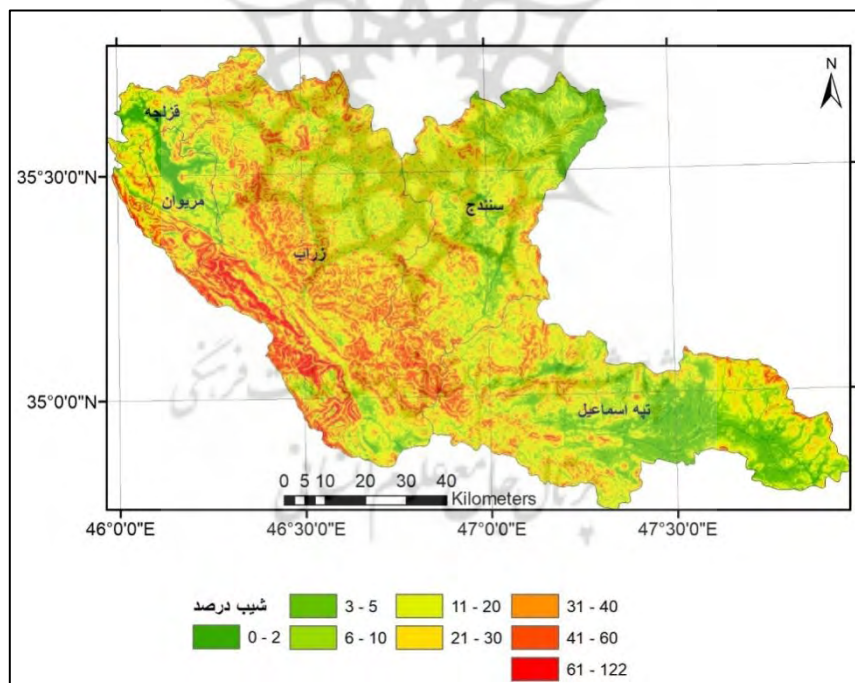
<sup>۱</sup> Nandinetsityg et al



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز رودخانه‌های مرزی غرب

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

شیب‌های تند بیشتر در ارتفاعات و نواحی غربی حوضه واقع شده‌اند. دشت‌ها و نواحی پست حوضه دارای شیب ملایم و کمتر از ۶ درجه می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲- وضعیت شیب در منطقه مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

### داده‌ها و روش‌شناسی

در این مطالعه، اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک سنندج و مریوان که دارای آمار طولانی مدت و ارتفاعی نزدیک با متوسط وزنی حوضه آبریز رودخانه‌های مرزی غرب می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته و با در نظر گرفتن دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) به عنوان دوره پایه، پارامترهای اقلیمی مورد نیاز برای اجرای مدل اقلیمی جمع‌آوری و مورد پردازش

قرار گرفت. مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG برای دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی مدل صورت گرفت. با توجه به اینکه نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی صرفاً در مناطق آزمون از اعتبار لازم برخوردار است، مرحله آزمون و اعتبار سنجی مدل متناسب با داده‌های منطقه مطالعاتی صورت گرفت. به منظور اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی پایه که هیچ گونه تغییر اقلیم را برای منطقه مطالعاتی اعمال نمی‌کند، برای دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۷ تدوین و با اجرای دوباره مدل قدرت آن در بازتولید داده‌های دوره آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس خروجی مدل شامل دمای حداکثر و بارش و هم چنین انحراف معیار آنها با داده‌های ۳۰ ساله مشاهداتی منطقه مطالعاتی مقایسه گردید. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی  $RMSE^1$ ،  $MAE^2$ ،  $BIAS$ ،  $NSE^3$  صورت گرفت. مقدار پارامتر  $NSE$  بین منهای بی‌نهایت و یک متغیر می‌باشد و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده بیش‌تر بودن دقت مدل است. پارامترهای  $MAE$  و  $RMSE$  خطای مدل را نشان می‌دهند و پایین‌تر بودن مقادیر مربوط به این دو معیار نشان‌گر کارایی بهتر مدل می‌باشد. نزدیک به صفر بودن پارامتر  $BIAS$  نیز نشان‌دهنده دقت بیش‌تر مدل در شبیه‌سازی است. آمارهای مذکور با استفاده از روابط ۱ تا ۴ محاسبه شده‌اند.

$$NSE = \left[ 1 - \frac{\sum (X_o - X_s)^2}{\sum (X_o - \bar{X}_o)^2} \right] \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum |X_o - X_s|}{N} \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (X_s - X_o) \quad (4)$$

در روابط بالا  $X_o$ : داده‌های مشاهده شده،  $X_s$ : داده‌های شبیه‌سازی شده،  $\bar{X}_o$ : میانگین داده‌های مشاهده شده و  $N$ : تعداد داده‌ها می‌باشد.

هم‌چنین از آزمون‌های آماری  $K-S^4$  جهت مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون  $T$ -test برای مقایسه مقادیر میانگین‌ها و آزمون  $F$ -test جهت مقایسه انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده استفاده گردید.

پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل گردش عمومی جو HADCM3 و تولید داده‌های مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ (که پس از این شاخص ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ نامیده می‌شود) اجرا شد. در این پژوهش سعی شده است تا عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو با در نظر گرفتن دو سناریو A2 و B1 تعدیل گردد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش و دمای حد اکثر برای دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده پیش‌بینی شد.

<sup>1</sup>Root Mean Square Error

<sup>2</sup>Mean Absolute Error

<sup>3</sup>Nash sutcliffe

<sup>4</sup> Chi-Squared

رگرسیون یکی از قویترین ابزار در تبیین روابط بین متغیرها به شمار می‌رود (بار احمدی و عزیزی، ۱۳۸۶). رگرسیون ساده، فقط با یک متغیر پیش بینی  $X$  بررسی می‌شود. در رگرسیون چندگانه، باید علاوه بر فرض‌های نرمال بودن متغیر وابسته، عدم وجود داده‌های پرت، نباید بین متغیرهای مستقل همخطی چندگانه وجود داشته باشد. برای محاسبه‌ی ضرایب متغیرهای رگرسیون چندگانه در نرم‌افزار SPSS از روش گام به گام استفاده شد. متداولترین ضریب همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون است (محمد کسلخه، ۱۳۹۴). آزمون اینکه آیا ضریب همبستگی جامعه برابر صفر است یا نه به طریق زیر انجام میشود.

$$\begin{cases} H_0 = \rho = 0 \\ H_1 = \rho \neq 0 \end{cases}$$

آماره آزمون دارای توزیع  $t$  استیودنت با درجه آزادی  $n-2$  را محاسبه می‌کنیم:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}}$$

با ارائه یک آزمون دوطرفه می‌توان بیان کرد که آیا ضریب همبستگی بطور معنی داری با صفر تفاوت دارد یا خیر؟ اگر در سطح اطمینان درصد، قدر مطلق  $t$  محاسباتی بزرگتر از  $t$  جدول باشد  $H_0$  رد میشود و هرگاه قدر مطلق  $t$  محاسباتی کوچکتر از  $t$  جدول باشد فرضیه در سطح اطمینان مورد نظر پذیرفته میشود (محمد کسلخه، ۱۳۹۴).

### معرفی مدل GSM

در این تحقیق جهت شبیه سازی منطقه مطالعاتی از مدل Modflow در محیط GMS استفاده گردیده است. به منظور شبیه سازی هر چه دقیقتر سیستم آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی با توجه به اطلاعات آمار موجود، منطقه تحت پوشش شبکه یکنواختی با ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر قرار گرفت.

### معرفی روش ناپارامتری من-کندال

روش من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) بسط و توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال 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. در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه شده و پارامتر  $S$  مطابق رابطه زیر به دست می‌آید (Caragyanes, 2008):

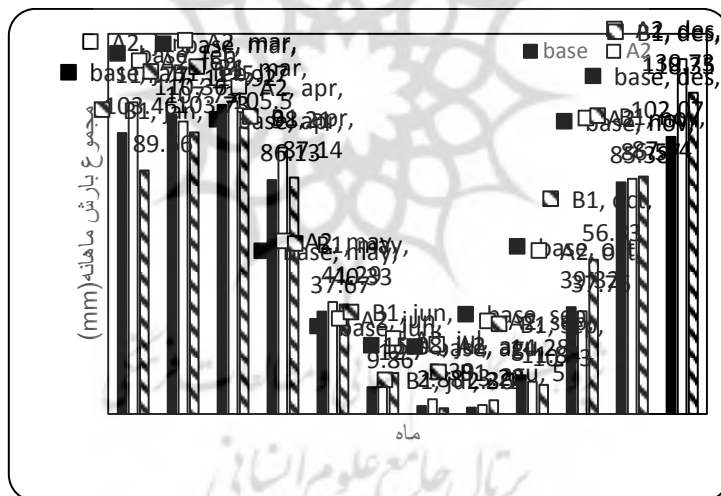
$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5)$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری، و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های  $j$  ام و  $k$  ام سری می‌باشند. تابع علامت  $\text{sgn}$  نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

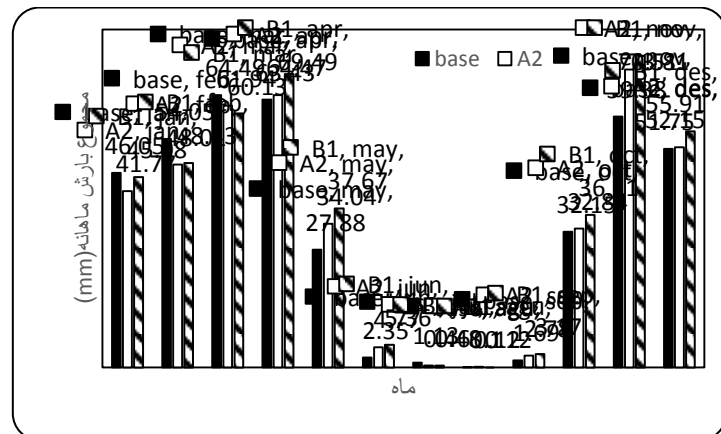
$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= +1 && \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0 && \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1 && \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{aligned} \quad (6)$$

### نتایج و بحث

تغییرات بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۶ برای نمایش بهتر نتایج، مقدار میانگین بارش ماهانه مشاهداتی و پیش‌بینی شده در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. باتوجه به شکل ملاحظه می‌شود که میزان تغییرات بارش دوره ۲۰۴۶-۲۰۲۰ نسبت به دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۷ روند یکنواختی را در ایستگاه‌ها نشان نمی‌دهد. مدل HadCM3 در برخی از ماه‌ها، میزان بارش دوره آینده را نسبت به دوره پایه کم‌تر و در برخی ماه‌ها بیش‌تر نشان می‌دهد. در ایستگاه مریوان هر دو سناریو بصورت مشترک افزایش بارندگی را برای ماه‌های ژانویه، آوریل، می، جون، آگوس، نوامبر و دسامبر و کاهش بارندگی را برای ماه‌های فوریه و سپتامبر پیش‌بینی نموده‌اند. سناریو A2 و B1 بیش‌ترین افزایش بارندگی را برای ماه‌های دسامبر و اکتبر و به ترتیب به میزان ۲۸/۶۶ میلی‌متر و ۱۷/۵۱ میلی‌متر پیش‌بینی نموده است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که مجموع بارش متوسط سالانه در دوره آینده در منطقه مورد مطالعه روند افزایشی خواهد داشت. میزان بارش متوسط سالانه پیش‌بینی شده برای این دهه تحت سناریو A2 و B1 به ترتیب برابر با ۷۶۵/۳۸ و ۷۲۱/۸۹ میلی‌متر خواهد بود، در صورتی که میزان بارندگی سالانه دوره پایه ۷۰۷/۶۹ میلی‌متر بوده، بدین صورت حوضه مورد مطالعه شاهد افزایش بارش ۸/۸۵ تا ۸/۱۵ درصد خواهد بود.



شکل ۳- میانگین بارش ماهانه ۲۰۱۶-۱۹۸۷ و ۲۰۲۰-۲۰۴۶ تحت تاثیر سناریوهای A2 و B1 در ایستگاه مریوان منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۴- میانگین بارش ماهانه ۲۰۱۶-۱۹۸۷ و ۲۰۲۰-۲۰۴۶ تحت تاثیر سناریوهای A2 و B1 در ایستگاه سندج منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

### رابطه الگوهای پیوند از دور بر نوسانات بارش

در این قسمت ارتباط بین نوسانات بزرگ اقلیمی با بارش در دوره‌ی آماری هریک از ایستگاه‌ها بررسی شد. بدین منظور از آزمون همبستگی پیرسون و رگرسیون گام به گام استفاده شد. در جدول ضرایب همبستگی بین هر یک از ایستگاه‌ها با هر یک از الگوهای پیوند از دور در طی دوره آماری ارائه شده است.

جدول ۱- ضریب همبستگی بین الگوهای پیوند از دور و بارش در دو ایستگاه مریوان و سنندج

الگوهای پیوند از دور										
SOI	NINO4	NINO3.4	NINO3	NINO1	PNA	PDO	NCP	NAO	AO	
-۰/۱۷۳ <sup>***</sup>	-۰/۰۰۲	۰/۰۹۷	۰/۲۴۹ <sup>**</sup>	۰/۴۸۱ <sup>**</sup>	-۰/۰۱	۰/۱۷ <sup>**</sup>	۰/۰۹	۰/۰۱۳۴ <sup>°</sup>	۰/۰۰۳	مریوان همبستگی پیرسون
۰/۰۰۳	۰/۹۷	۰/۰۹۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۰	۰/۰۰۳	۰/۶۵۲	۰/۰۲۰	۰/۹۵۵	سطح معنی داری
-۰/۱۳۱ <sup>°</sup>	۰/۰۱۵	۰/۱۳۲	۰/۲۷ <sup>**</sup>	۰/۴۲۴ <sup>**</sup>	-۰/۰۰۱	۰/۱۱۷ <sup>°</sup>	۰/۲۴	۰/۰۸۰	۰/۰۰۶	سنندج همبستگی پیرسون
۰/۰۱۳	۰/۷۷۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۸	۰/۰۲۷	۰/۳۶۳	۰/۱۲۸	۰/۹۱۴	سطح معنی داری

\* ضریب معنی داری در سطح ۵ درصد \*\* ضریب معنی داری در سطح یک درصد

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود سیگنال NAO در ایستگاه مریوان در سطح ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی دار دارد و همچنین سیگنال ENSO در هر دو ایستگاه همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد دارد. سیگنال ENSO در منطقه NINO3.4 فقط در ایستگاه سنندج دارای همبستگی مثبت و معنی دار است. سیگنال PDO نیز در ایستگاه‌های سنندج و مریوان دارای همبستگی مثبت و معنی دار است. سیگنال NAO در ایستگاه مریوان همبستگی معنی دار و مثبت دارد.

### مدل سازی آب سطحی در منطقه

#### نتایج اعتبارسنجی مدل SWAT

در جدول ۳ نتایج ارزیابی کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی آورده شده است. برای شبیه‌سازی جریان، مقدار معیارهای نش-ساتکلیف و ضریب تعیین برآورد شده در مرحله واسنجی به ترتیب معادل ۰/۶۸ و ۰/۶۹ در مرحله اعتبارسنجی معادل ۰/۵۷ و ۰/۶۷ می‌باشد. عموماً اگر شاخص نش-ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد، مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، رضایتبخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد، غیر قابل قبول فرض می‌شود (نش و ساتکلیف، ۱۹۷۰). بر اساس این مطلب، می‌توان نتیجه گرفت که مدل SWAT قابلیت شبیه‌سازی جریان حوضه‌آبریز رودخانه‌های مرزینغرب با دقت مناسب را دارد. به‌طور کلی مقادیر همه شاخص‌های ارزیابی بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی جریان می‌باشد.

جدول ۳- نتایج حاصل اعتبارسنجی مدل برای حوضه آبریز رودخانه‌های مرزی غرب

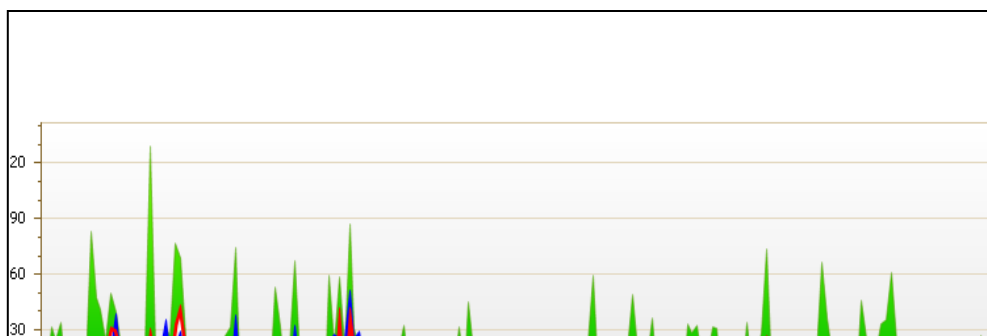
MSE	PBIAS	R-factor	P-factor	NS	R2
۲/۵	۱۰/۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۵۷	۰/۶۷

دوره اعتبارسنجی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

<sup>1</sup>Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe





شکل ۷- نمودار حاصل از اعتبار سنجی مدل SWAT برای دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۷-۲۰۱۶) منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

مدل و سنجی شده SWAT برای شرایط تغییر اقلیم به اجرا درآمد. بر این اساس تغییرات دبی ورودی به دریاچه در مقیاس ماهیانه نیز در جدول ۴ و برای ایستگاه شاخص حوضه (تونل رمشت) در سناریو پایه و آینده تحت هر دو سناریو انتشار A2 و B1 مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، جون، جولای، آگوست، سپتامبر، اکتبر و دسامبر نشان از کاهش قابل ملاحظه دبی در ایستگاه مورد مطالعه دارد، که تحت سناریو A2 این کاهش شدیدتر می‌باشد. در ماه‌های آوریل و نوامبر مقدار میانگین ماهانه دبی اندکی افزایش یافته است. اما بطور کلی و در مقیاس سالانه هر دو سناریو کاهش دبی را پیش‌بینی نموده‌اند. مقادیر دبی سالانه در دوره آینده و تحت سناریوهای A2 و B1 به ترتیب برابر با ۴/۶۶، و ۴/۵۷ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد درحالی‌که این مقدار برای دوره پایه برابر با ۵/۹۷ مترمکعب بر ثانیه مشاهده شده است.

جدول ۴- میانگین ماهانه دبی خروجی ایستگاه تونل رمشت تحت سناریوهای A2، B1 و دوره پایه

ماه	اندازه گیری شده	B1	A2
ژانویه	۶/۴۶	۳/۵۸	۳/۹۰
فوریه	۱۰/۹۸	۷/۸۶	۹/۶۶
مارس	۱۲/۲۲	۷/۲۶	۷/۹۵
آوریل	۱۲/۱۴	۱۳/۴۰	۱۲/۱۶
می	۶/۶۶	۴/۴۵	۳/۴۲
جون	۴/۱۴	۰/۰۳	۰/۱۴
جولای	۲/۴۱	۰/۰۲	۰/۰۲
آگوست	۱/۸۲	۰/۰۲	۰/۰۱
سپتامبر	۱/۴۸	۰/۰۳	۰/۰۲
اکتبر	۲/۱۹	۲/۶۵	۲/۱۳
نوامبر	۵/۲۵	۸/۵۹	۸/۲۶
دسامبر	۵/۹۰	۶/۷۷	۵/۸۴
سالانه	۵/۹۷	۴/۵۷	۴/۶۶

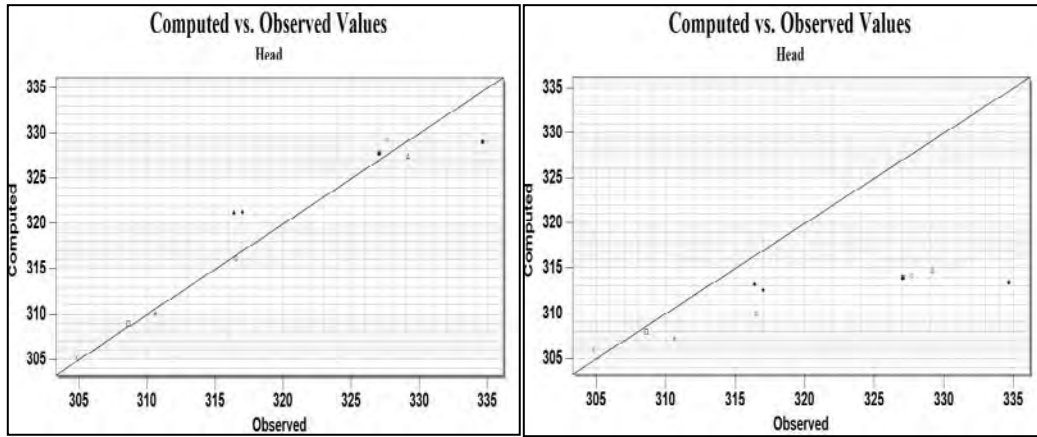
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

### مدل سازی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

#### اعتبارسنجی مدل MODFLOW

برای داشتن مدل مناسب برای شبیه سازی معمولاً دوره اعتبار سنجی ۵ سال مناسب است (باقریور، ۱۳۹۵). دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ که اطلاعات کاملتری داشت به عنوان دوره اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. شکل‌های ۸ و ۹ همبستگی بین سطح آب مشاهده شده و سطح آب شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش

سال‌های بعد از صحت‌سنجی همبستگی بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده افزایش یافته و نتایج قابل قبول‌تری را ارائه می‌دهد.

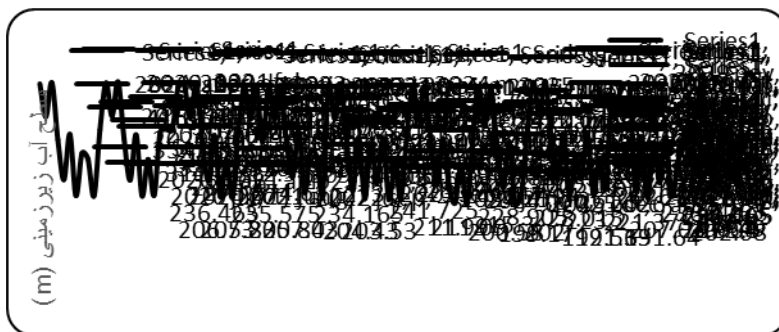


شکل ۸- صحت‌سنجی بعد از یک سال (سمت راست) و صحت‌سنجی بعد از پنج سال (سمت چپ)

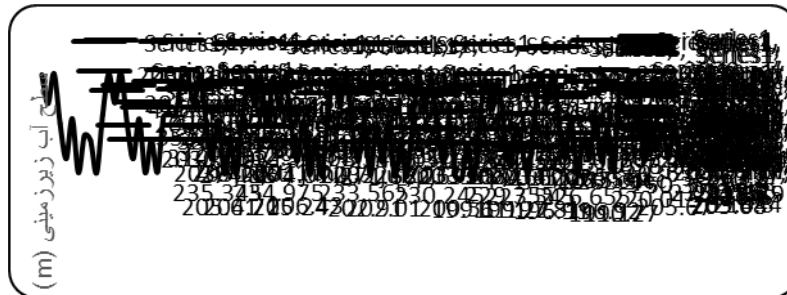
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

#### اثر سناریوهای اقلیمی بر سطح آب زیر زمینی

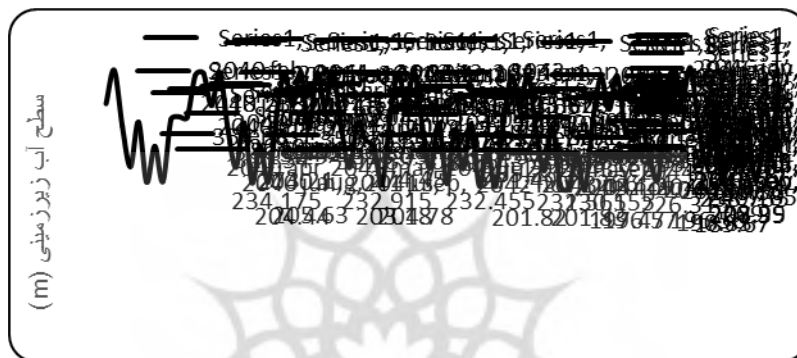
به منظور بررسی تاثیر سناریوهای مختلف اقلیمی بر سطح آب زیر زمینی از سناریوهای A2 و B1 استفاده شد. با توجه به اینکه مدل برای دوره بیشتر از ۱۰ سال نتایج قابل قبولی ارائه نداد دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۶) به ۳ دوره تقسیم شد ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۹ و ۲۰۳۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۴۶ تا کل دوره را در بر گیرد (شکل‌های ۹ تا ۱۴). با توجه به وضعیت بارندگی، تبخیر و همچنین نیاز آب برای مصرف کشاورزی می‌توان بیان کرد که در دوره آتی، سطح آب زیر زمینی در ماه‌های اکتبر و نوامبر (دو ماه اول پاییز) و از ماه ژوئن تا سپتامبر (بهار و تابستان) دارای روند کاهشی است و سپس از اواخر پاییز تا اوسط بهار سطح آب زیرزمینی اندکی افزایش می‌یابد اما در مجموع در دوره آینده با کاهش سطح آب زیرزمینی روبه‌رو هستیم. در سناریوی A2 در دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۲۹ میزان افت آبخوان به میزان ۱/۰۲ متر می‌باشد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۳۹ این مقدار برابر ۱/۴۰ و در نهایت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۴۶ سطح آب زیرزمینی برابر با ۳۰۶/۴۶ است که دارای افت به میزان ۱/۶۱ متر می‌باشد. سناریوی B1 نیز افت سطح آب زیر زمینی برای دوره آتی را به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۸۸ و ۱/۲۸ متر پیش بینی نموده است.



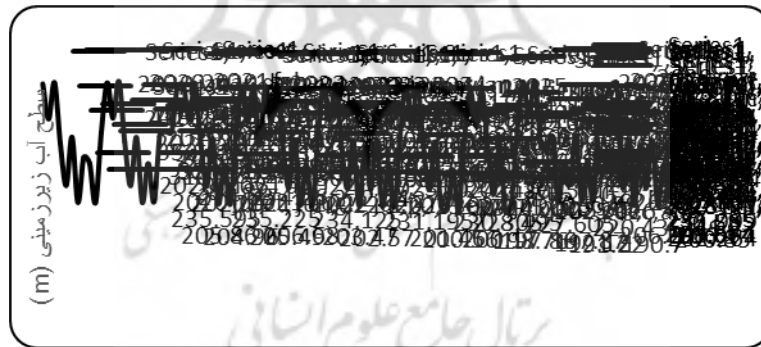
شکل ۹- هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۹ منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



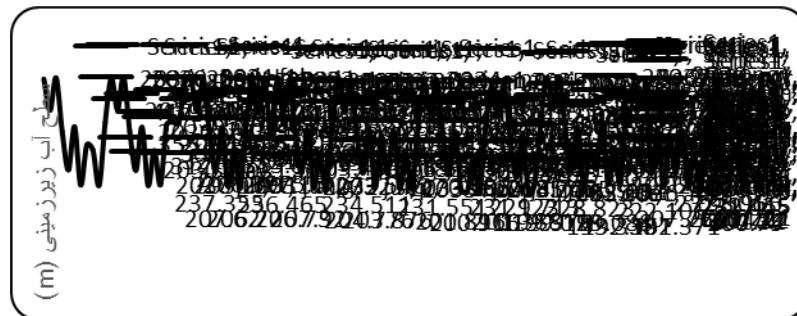
شکل ۱۰- هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۲۹  
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



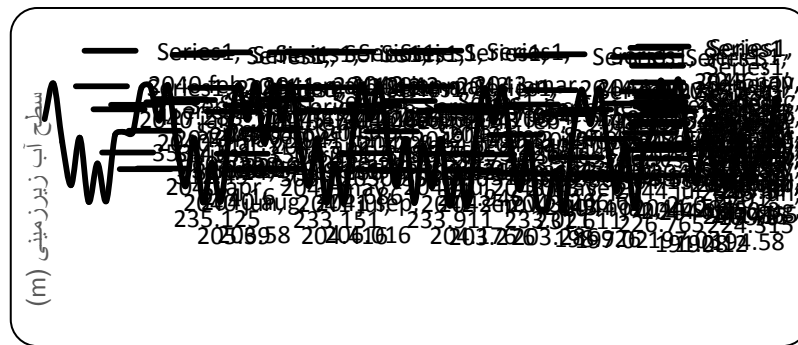
شکل ۱۱- هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۴۶  
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۱۲- هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوی B1 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۹  
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



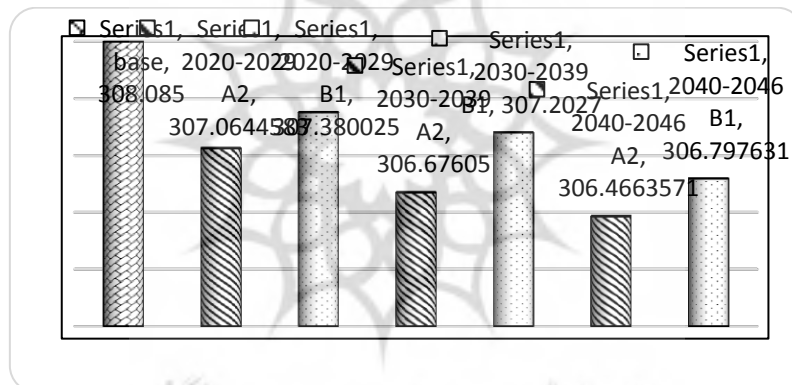
شکل ۱۳- هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوی B1 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۲۹  
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۱۴- هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان تحت سناریوی B1 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۴۶

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

شکل ۱۵ میانگین تراز آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه تحت سناریوهای A2 و B1 را نشان می‌دهد. با مقایسه میانگین بلند مدت داده‌های مشاهده شده و سطح آب پیش بینی شده برای دوره آینده، می‌توان گفت سطح تراز آب زیرزمینی با توجه به سناریوهای اقلیمی دارای روند کاهشی خواهد بود و با گذشت زمان کاهش سطح آب بیشتر خواهد بود همچنین سناریوی A2 تغییرات کاهشی بیشتری را نسبت به سناریوی خوش بینانه B1 خواهد داشت.



شکل ۱۵- میانگین تراز آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه تحت سناریوهای A2 و B1

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

### نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

در این پژوهش اثر تغییر اقلیم آب سطحی و همچنین سطح آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه‌های غربی بررسی شد. بدین منظور جهت بررسی تغییرات اقلیمی دوره‌های آتی برون داد مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 توسط مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شد، در ادامه مقایسه بین داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده و دوره پایه انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که در دوره آتی متوسط بارش سالانه افزایش ۱۴/۲۰ تا ۵۷/۶۹ میلیمتری در ایستگاه سنندج و افزایش ۹/۴۱ تا ۳۱/۳۱ میلیمتری در ایستگاه مریوان خواهد داشت. افزایش دمای حداکثر منطقه مطالعاتی در تمامی ماه‌ها موجب افزایش ۰/۵۷ تا ۰/۶۴ درجه سانتی‌گرادی دمای متوسط سالانه را برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۲۰ خواهد شد. در این بین افزایش دمای بهار و تابستان از سایر فصول بیشتر خواهد بود. به این ترتیب به دلیل این‌که افزایش دما، موجب افزایش تبخیر و تعرق و از دسترس خارج شدن منابع آب خواهد شد.

به منظور بررسی تاثیر سناریوهای مختلف اقلیمی بر سطح آب زیر زمینی از سناریوهای A2 و B1 استفاده شد که بر اساس این دو سناریو مدل اجرا و نتایج حاصل از آن تحلیل شد. در سناریوی A2 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۹ میزان افت آبخوان به میزان ۱/۰۲ متر می باشد در دوره ۲۰۳۰-۲۰۳۹ این مقدار برابر ۱/۴۰ و در نهایت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۴۶ سطح آب زیر زمینی برابر با ۳۰۶/۴۶ است که دارای افت به میزان ۱/۶۱ متر می باشد. سناریوی B1 نیز افت سطح آب زیر زمینی در دوره آتی را به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۸۸ و ۱/۲۸ متر پیش بینی نموده است. با توجه به وضعیت بارندگی، تبخیر و همچنین نیاز آب برای مصرف کشاورزی می توان بیان کرد که در دوره آتی، سطح آب زیر زمینی در ماه های اکتبر و نوامبر (دو ماه اول پاییز) و از ماه ژوئن تا سپتامبر (بهار و تابستان) دارای روند کاهشی است و از اواخر پاییز تا اوسط بهار سطح آب زیر زمینی افزایش می یابد اما در مجموع در دوره آینده با کاهش سطح آب زیر زمینی روبه رو هستیم.

در نهایت اینگونه می توان بیان نمود که سطح تراز آب زیر زمینی با توجه به سناریوهای اقلیمی دارای روند کاهشی خواهد بود و با گذشت زمان کاهش سطح آب بیشتر خواهد بود همچنین سناریوی A2 تغییرات کاهشی بیشتری را نسبت به سناریوی خوش بینانه B1 خواهد داشت.

## منابع

- افشین، یدالله. رودهای ایران (۱۳۷۳) ج. ۱. وزارت نیرو - مهندسین مشاور جاماب، صص ۱۱۳-۱۱۴.
- انصاری مهابادی، ثمین؛ ابوالفضل شمسایی و علیرضا مساح بوانی، (۱۳۹۰)، شبیه سازی سطح و بیلان آبی آبهای زیر زمینی تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره های آتی (مطالعه موردی؛ دشت سفید دشت چهارمحال و بختیاری)، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور، کرمان، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران
- باقر پور، زهرا، (۱۳۹۵)، ارزیابی ریسک اثرات تغییر اقلیم بر میزان سطح آب زیر زمینی (مطالعه موردی: استان خوزستان- آبخیز گتوند عقلی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ملایر همدان
- برخورداری، نجمه و هومن راضی، (۱۳۹۳) ارزیابی برخی شاخصهای فیزیولوژیک و عملکرد دانه در ژنوتیپ های جوارهای و جو وحشی در شرایط تنش کمبود آب، سیزدهمین همایش علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر ایران، انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران،
- پورمحمدی، سعید، دستورانی، محمد، (۱۳۹۵). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق واقعی در دوره های آتی به کمک الگوریتم توازن انرژی سبیل و مدل های گردش عمومی جو، موسسه تحقیقات آب ایران/ مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها.
- خورشید دوست، علی محمد؛ فویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶) ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییر پذیری بارش های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چند متغیره انسو، پژوهش های جغرافیایی، ۲۶-۱۵:۵۷.
- خورشید دوست، علی محمد، رضایی، مجید (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات بارش دبی زیر حوضه های رودخانه کرخه با استفاده از روش های ناپارامتریک مطالعه موردی: حوضه آبریز کشکان، علوم مهندسی آبیاری، (مجله علمی کشاورزی)، زمستان ۱۳۹۴، دوره ۳۸، شماره ۴؛ از صفحه ۱۷۷ تا صفحه ۱۸۸.
- غلامی، ش. و نصیری، م. (۱۳۹۴) شبیه سازی جریان ماهانه رودخانه ترک با استفاده از مدل SWAT، مطالعه موردی: حوضه آبخیز مراوه تپه استان گلستان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۷:۲، صص ۱۳۵-۱۲۶.
- سبزی پرور، علی، سیف، ز. (۱۳۹۲). تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه های مناطق خشک و نیمه خشک کشور، جغرافیا و توسعه: بهار ۱۳۹۲، دوره ۱۱، شماره پیاپی ۳۰؛ از صفحه ۱۱۷ تا صفحه ۱۳۷.

محمد کسلخه، آراز. (۱۳۹۴). بررسی ارتباط الگوهای پیوند از دور با نوسانات دما و بارش فصل سرد شمال شرق ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و علوم طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری، ۶۵صص.

محمدی، م، عبدالمهی، ز. روند تغییرات مؤلفه‌های بیلان آب تحت تاثیر تغییرات اقلیمی (مورد مطالعه: حوضه آبخیز رودخانه اترک). ۱۳۹۰، مجله آذریان.

مدرس پور، آ. (۱۳۷۳) ناهنجاری‌های اقلیمی ایران ENSO، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال تهران. مسماریان، ز، مساح، ع. (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب زیرزمینی دشت شهرکرد در دوره‌های آتی، اکوهیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۲۳۳-۲۴۲.

مهسافر، ح. مکنون، ر. (۱۳۹۰) اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه، تحقیقات منابع آب ایران: زمستان ۱۳۸۹-بهار ۱۳۹۰، دوره ۷، شماره ۱ (مسلسل ۱۹)؛ از صفحه ۴۷ تا صفحه ۵۸.

یار احمدی، داریوش و عزیز، قاسم (۱۳۸۶)، تحلیل چند متغیره ارتباط میزان بارش فصلی ایران و شاخص‌های اقلیمی، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، صص ۱۷۴-۱۶۱

Blanco, M, (2009). Potential Influence of Climate Change on Vector-Borne and Zoonotic Diseases: A Review and Proposed Research Plan". Environmental Health.

Calogiro, T. (1997). A Milankovitch scale for Cenomanian time". Terra Nova. 1 (5): 420-25. Bibcode:1989TeNov.1.420G.

Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Journal of Hydrology, 10: 282-290.

Xu, Y.P., Zhang, X., Ran, Q., Tian, Y., (2013). Impact of climate change on hydrology of upper reaches of Qiantang River Basin, East China. Journal of Hydrology, 483, 51-60.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., (1998). Large area hydrologic modeling and assessment - Part 1: Model development. J. Am. Water Resour. Assoc. 34 (1), 73-89.