

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

## Analysis of the Effect of Climatic Factors and Drought on Inflow and Outflow from the Khuzestan Plain in the Karun Basin

Z. Saeedifar<sup>1</sup>, M. Khosroshahi<sup>2\*</sup>, A. Jalili<sup>3</sup>, S. Razavizadeh<sup>4</sup>, F. Dargahian<sup>4</sup>, S. Zandifar<sup>4</sup>, S. Lotfinasabasi<sup>4</sup>, A. Gohardust<sup>5</sup>, S. Teimuri<sup>6</sup>, M. Fayaz<sup>7</sup>

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7- PhD in Department of Desert Research, Associate Professor in Department of Desert Research, Professor in Department of Botanical Research, Assistant Professor in Department of Desert Research, Researcher in Department of Desert Research, Assistant Professor in Department of poplar Research and Assistant Professor in Department of Rangeland Research, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: khosro@rifr.ac.ir)

Received: 23-02-2021

Revised: 10-07-2021

Accepted: 11-07-2021

Available Online: 06-12-2021

## تحلیل اثر عوامل اقلیمی و خشکسالی بر روی رواناب ورودی و خروجی به دشت خوزستان در حوضه کارون

زهرا سعیدی‌فر<sup>۱</sup>، محمد خسروشاهی<sup>۲\*</sup>، عادل جلیلی<sup>۳</sup>، سمانه رضوی‌زاده<sup>۴</sup>، فاطمه درگاهیان<sup>۴</sup>، سمیرا زندی‌فر<sup>۴</sup>، سکینه لطفی نسب اصل<sup>۴</sup>، آزاده گوهردوست<sup>۵</sup>، سارا تیموری<sup>۶</sup>، محمد فیاض<sup>۷</sup>

۱ تا ۷- به ترتیب دکتری بیابان‌زدایی بخش تحقیقات بیابان، دانشیار بخش تحقیقات بیابان، استاد بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، استادیار بخش تحقیقات بیابان، محقق بخش تحقیقات بیابان، استادیار بخش تحقیقات صنوبر و استادیار بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: khosro@rifr.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

### Abstract

In recent years, the outflows from the Karun Basin, especially in the interior of Khuzestan province, have decreased significantly. This study aimed to investigate the effect of climatic factors and drought on the inflow and outflow of the Karun basin in two parts (basin area inside Khuzestan plain and basin area outside Khuzestan plain). The results indicate the onset of adverse climate change during the last two decades. During this period, especially in the last ten years, the study has witnessed a large decrease in rainfall compared to the previous decade in the Karun Basin. Changes in average, minimum, and maximum temperatures, evaporation and drought have also increased during the last two decades. Also, the results related to the effect of climatic parameters on the output discharge of the Karun basin showed that in Khuzestan province 83% of the output discharge changes were affected by climatic parameters (including rainfall, drought, and maximum temperature, respectively) and outside Khuzestan, 82% of discharge changes are due to climatic parameters (including rainfall, maximum temperature, and drought, respectively). Meanwhile, the surface currents of the basin during the last decade have been more critical than other decades and the output discharge outside Khuzestan (input to the province) has decreased by about 27%, and inside the province and the output of the basin has decreased by 44%, which due to the almost identical effect of climate on both areas, these changes can be attributed to the existence of other factors, including land management and human factors.

**Keywords:** Discharge, Khuzestan, Temperature, Palmer Drought Index, Basin Output.

### چکیده

طی سال‌های اخیر جریانات خروجی از حوضه کارون بزرگ به‌خصوص در محدوده درون استان خوزستان با افت شدیدی روبه‌رو شده است. هدف از این مطالعه بررسی اثر عوامل اقلیمی و خشکسالی بر روی رواناب ورودی و خروجی حوضه کارون در دو بخش درون استان خوزستان و محدوده حوضه در خارج استان بود. نتایج نشان دهنده شروع تغییرات نامطلوب عوامل اقلیمی طی دو دهه آخر این مطالعه می‌باشد به‌طوری‌که طی این دوره به‌خصوص ده سال اخیر مطالعه شاهد کاهش زیادی در میزان بارش نسبت به دهه قبل آن در حوضه کارون رخ داده است. تغییرات دماهای میانگین، حداقل و حداکثر، تبخیر و خشکسالی نیز طی دو دهه اخیر افزایشی بوده است. همچنین نتایج مربوط به میزان اثر پارامترهای اقلیمی بر دبی حوضه کارون بزرگ نشان داد در محدوده داخل استان خوزستان ۸۳ درصد تغییرات دبی خروجی توسط پارامترهای اقلیمی (به‌ترتیب شامل بارش، خشکسالی و دمای حداکثر) تحت تأثیر قرار گرفته است و در محدوده حوضه در خارج استان خوزستان ۸۲ درصد تغییرات دبی ناشی از پارامترهای اقلیمی (به‌ترتیب شامل بارش، دمای حداکثر و خشکسالی) می‌باشد. این درحالی است که جریانات سطحی حوضه طی دهه اخیر نسبت به سایر دهه‌ها شرایط بحرانی‌تر داشته است و در خارج استان خوزستان (ورودی به استان) کاهش حدود ۲۷ درصدی و در داخل استان و خروجی حوضه کاهش ۴۴ درصدی داشته است. باتوجه‌به اثر کم و بیش یکسان اقلیم بر هر دو محدوده می‌توان این تغییرات و کاهش شدید را به وجود عامل دیگری از جمله مدیریت سرزمین و عوامل انسانی نسبت داد. **واژه‌های کلیدی:** دبی، خوزستان، دما، شاخص خشکسالی پالمِر، خروجی حوضه.

گرفت. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد تغییرات اقلیمی در این حوضه به صورت تغییر الگوی بارش یعنی تغییر نوع بارش از برف به باران و همچنین جابجایی فصلی می‌باشد.

Dibik and Coulibaly (۲۰۰۵) تأثیر تغییرات آب و هوایی در رودخانه سگینای در کانادای شمالی را بررسی کردند و نشان دادند میانگین سالانه جریان رودخانه افزایش یافته است.

Fowler و همکاران (۲۰۰۷) اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب در شمال غرب انگلستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد ۱۸ درصد از حجم منابع آب در منطقه کاهش یافته است.

Sellinger و همکاران (۲۰۰۸) افت سطح آب دریاچه میشیگان و هیورون را بررسی کردند. آنان بیان کردند کاهش ناگهانی آب این دریاچه‌ها با بعضی از عناصر اقلیمی مرتبط است.

Chen و همکاران (۲۰۰۹) و Ling و همکاران (۲۰۱۳) روند تغییرات رواناب چندین انشعاب رودخانه Tarim را مورد مطالعه قرار دادند و ارتباط بین آن‌ها و تغییرات دما و بارش را بررسی کردند. نتایج آن‌ها هیچ تأثیری از نوسانات جنوبی ال-نینو (ENSO) بر دما، بارش و رواناب در حوضه رودخانه Tarim نشان نداد (Chen و همکاران ۲۰۰۹).

Kundzewicz و همکاران (۲۰۱۴) تغییرات در پارامترهای اقلیمی بارش و دما و دبی رودخانه در حوضه رودخانه آکسو را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج آن‌ها نشان داد برخی زیر حوضه‌ها به شدت متأثر از تغییرات دما و برخی دیگر متأثر از بارش بوده‌اند؛ و به طور کلی دما رابطه معنی‌داری با تغییرات دبی در زیر حوضه‌های مورد بررسی داشت.

بر اساس نتایج حاصل از سایر مطالعات، تغییر اقلیم با تأثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک حوضه از جمله رواناب سایر عوامل حیاتی در حوضه از جمله میزان تولید محصولات، کیفیت آب و دسترسی به آب سالم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۷)، لذا تجزیه و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر رواناب گامی حیاتی در جهت بهبود مدیریت منابع آب و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب می‌باشد. حوضه آبخیز کارون بزرگ در ۶ استان کشور واقع شده است و به دلیل وضعیت خاص توپوگرافیکی و موقعیت جغرافیایی این حوضه و قرارگیری خروجی آن در استان خوزستان، در این مطالعه آب ورودی و خروجی از این حوضه به دشت خوزستان بررسی شد و اثر عوامل اقلیمی بر تغییرات نسبت بین رواناب ورودی و خروجی به این حوضه تعیین شد.

## مواد و روش

### • منطقه مورد مطالعه

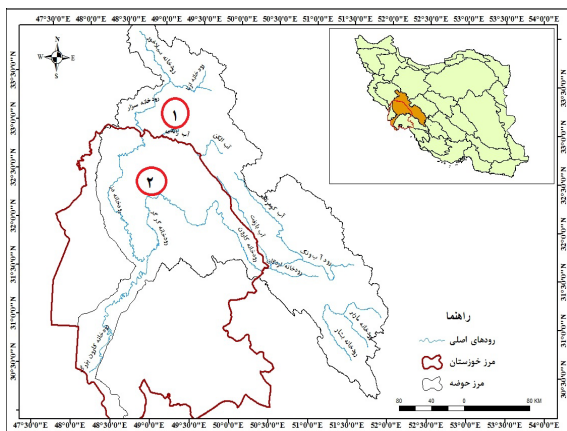
حوضه آبریز کارون بزرگ وسعتی بالغ بر ۶۶۶۶۱ کیلومتر مربع دارد که حدود ۷۵ درصد آن را نواحی کوهستانی و ارتفاعات و ۲۵ درصد آن

یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر حیات یک منطقه، نوع اقلیم آن است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۳). اقلیم، وضعیتی کلی از شرایط هوای غالب یک مکان مشخص براساس آمار بلندمدت است. (منتظری و بای، ۱۳۹۱). از آنجایی که دما و بارش از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم می‌باشند، تغییرات آن‌ها می‌تواند ساختار آب‌وهوایی هر محل را دگرگون سازد. این امر سبب شده است بخش گسترده‌ای از پژوهش‌های اقلیم‌شناسی به مطالعات تغییرات زمانی این پارامترها در مقیاس‌های متفاوت زمانی و مکانی بپردازد. این تغییرات هم در بعد مکان و هم در بعد زمان در قالب اقلیم منطقه رخ می‌دهد (عساکره و دوستکامیان، ۱۳۹۶). این عناصر از مهمترین داده‌های ورودی به سیستم‌های هیدرولوژیکی به لحاظ ایجاد جریان‌ات سطحی، تأثیر بر سفره‌های آب زیرزمینی و به‌عنوان منبع مهم در تغذیه رودها و چشمه‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد (خورشید دوست و شیرزاد، ۱۳۹۳). همچنین این پارامترها از مهمترین عناصر اقلیمی می‌باشند که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی می‌توانند مؤثر باشند. بنابراین بررسی و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر فرآیندهای هیدرولوژیک از جمله تغییرات رواناب سطحی ورودی و خروجی به محدوده‌های مطالعاتی متأثر از اقلیم‌ها مختلف به منظور شناسایی تغییرات پتانسیل منابع آبی در آینده و ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد. اثرات مستقیم تغییر اقلیم بر رواناب با استفاده از سری‌های زمانی اقلیم و رواناب برآورد می‌شود (Sankarasubramanian و همکاران، ۲۰۰۱).

خلیلی و همکاران (۱۳۹۱) ارتباط میان روند تغییرات داده‌های ماهانه اقلیمی و جریان رودخانه شهرچای در غرب دریاچه ارومیه را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد روند نزولی جریان در این رودخانه تحت تأثیر افزایش متغیر دما و وابستگی رژیم این رودخانه به ذوب برف می‌باشد.

انصاری و همکاران (۱۳۹۵) روند تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش و همچنین پارامتر هیدرولوژیکی دبی را با استفاده از آزمون من-کندال در حوضه آبخیز رودخانه کاجو در استان سیستان و بلوچستان بررسی کردند. نتایج حاصل نشان دهنده روند نزولی بارش، روند صعودی دما و در نتیجه روند کاهش دبی در حوضه این رودخانه بود.

عزتی و همکاران (۱۳۹۷) اثر تغییرات حرارت و بارش بر دبی سالانه و ماهانه حوضه آبخیز طالقان در محل ورود به سد مخزنی طالقان را بررسی کردند. در این تحقیق اثر تغییرات اقلیمی بر منابع آب حوضه طالقان، با در نظر گرفتن همه عوامل مانند وجود روند مثبت معنی‌دار در درجه حرارت، کاهش سطح پوشش برف، کاهش جریان‌های بهاری و افزایش جریان زمستانه ورودی به سد، با وجود ثابت ماندن حجم بارش و عمق رواناب سالانه مورد تأیید قرار



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### • داده‌های هیدرواقليمی

به‌منظور بررسی وضعیت هیدرولوژیکی حوضه کارون پس از شناسایی و تعیین ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در خروجی محدوده مطالعاتی بیرون استان خوزستان که به‌عنوان ورودی به استان در نظر گرفته می‌شود (محدوده شماره ۱ در شکل ۱) و خروجی حوضه در محدوده استان خوزستان (محدوده شماره ۲ در شکل ۱)، آمار منتشره ایستگاه‌ها تا زمان حاضر (سال آبی ۹۵-۱۳۹۴) جمع‌آوری شد. ایستگاه‌های منتخب شامل آمار مناسب ۵۰ ساله و دوره پایه از سال‌های ۱۳۴۵ تا ۹۵-۱۳۹۴ می‌باشند. در مطالعه حاضر، برای بررسی داده‌های سالانه دبی علاوه بر کنترل بصری داده‌ها، از آزمون داده‌های پرت<sup>۱</sup> نیز استفاده شد. همچنین برای بررسی یکنواختی و همگنی آمار سالانه دبی، آزمون‌های جرم مضاعف<sup>۲</sup> و تست ران<sup>۳</sup> به‌کار گرفته شده است. با در نظر گرفتن طول دوره مجاز تطویل آمار با استفاده از روش رگرسیون نسبت به تکمیل و بازسازی آمار ایستگاه ناقص اقدام شد. با کامل شدن آمار برای هر يك از ایستگاه‌ها در دوره مشترک، دبی متوسط سالانه و ماهانه و پارامترهای آماری شامل میانگین، ماکزیمم، انحراف از معیار و ضریب تغییرات برای کلیه ماه‌های سال در دوره ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۴ محاسبه شد.

در این مطالعه به‌منظور پوشش کامل داده حوضه آبخیز از داده‌های بارش شبکه‌ای با قدرت تفکیک مکانی ۴۴ در ۴۴ کیلومتر استفاده شده است. این داده‌ها براساس میانبایی داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سنجش بارش هواشناسی دفتر مطالعات پایه آب ایران استخراج شدند. به دلیل اینکه این عناصر مهم‌ترین عناصر اقلیمی به‌حساب می‌آیند و تغییرات سایر عناصر در این سه عنصر بیشتر نمایان می‌شود، برای بررسی تغییرات نواحی اقلیمی حوزه آبخیز کارون از این عناصر استفاده شده است. پس از پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی بارش، دما و تبخیر در حوضه، میانگین وزنی این پارامترها به‌صورت سالانه، به تفکیک در دو بخش داخل و خارج استان محاسبه شد.

را دشت‌ها و مناطق پست و کم ارتفاع تشکیل می‌دهد. مرتفع‌ترین نقطه حوضه، قله دنا واقع در شمال شرقی حوضه با ارتفاع ۴۴۰۹ متر از سطح دریا و کمترین ارتفاع حوضه کمتر از ۲ متر از سطح دریا مربوط به نقطه خروجی حوضه در انتهای بهمنشیر (محل اتصال به خلیج فارس) است.

این حوضه در استان‌های خوزستان، چهارمحال بختیاری، اصفهان، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد، مرکزی، همدان و فارس واقع شده است. در این حوضه سه مرکز استان شامل اهواز، یاسوج و شهرکرد قرار گرفته است. این حوضه از غرب با حوضه کرخه، از شمال و شرق با حوضه‌های دریاچه نمک، گاوخونی و بختگان-مهارلو و در جنوب و شرق با حوضه زهره-جراحی مرز مشترک دارد و در قسمت خروجی به رودخانه اروند و سپس به خلیج فارس می‌پیوندد.

قسمت اعظم این حوضه از لحاظ تقسیم بندی سیاسی در استان خوزستان (شکل ۱) و براساس تقسیم‌بندی مناطق اکولوژیک در محدوده منطقه اکولوژیک استپ‌های جنگلی زاگرس قرار گرفته است و مناطق اکولوژیک بیابان‌ها و نیمه‌بیابان‌های نوبو-سندی جنوب تیران، باتلاق‌های آب‌رقتی و شور دجله و فرات و بوته‌زارهای خشک شرقی صحارا-عربی و بیابانی عربی سایر بخش‌های این حوضه را دربرگرفته است. بخش‌های کوچکی در شمال و شرق حوضه در محدوده اکوسیستم بیابان‌های مرکزی ایران قرار گرفته است. اغلب پوشش گیاهی این منطقه را پوشش ویژه زاگرس تشکیل می‌دهند. در حوضه کارون سه عامل عرض جغرافیایی، موقعیت خلیج فارس و ارتفاع، مهم‌ترین عوامل سازنده اقلیم منطقه می‌باشند. قرار گرفتن این حوضه در مسیر جریان‌های باران‌زای مدیترانه‌ای، مجاورت با خلیج فارس، قرارگیری بخش‌های جنوبی منطقه در حوضه عمل‌پرفشار حرارتی جنب‌حاره و همچنین مجاورت منطقه با چین‌خوردگی‌های عظیم زاگرس همگی موجب گشته است، مکانیزم‌های عمل‌کننده در این بخش از ایران حاکم بر سرنوشت اقلیمی محل باشد.

باتوجه به گستره وسیع این حوضه آبریز، بیشترین تنوع اقلیمی در این حوضه آبریز وجود دارد. به‌طوری‌که از ۳۲ اقلیم موجود در روش طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده، ۲۵ پهنه اقلیمی آن در این حوضه موجود می‌باشد. به‌طورکلی در این حوضه آبریز اقلیم‌های خشک ضعیف تا نیمه‌خشک فرا سرد تا گرم مجموع ۳۴ درصد مساحت این حوضه را پوشش می‌دهند که بیشتر شامل دشت‌های جنوبی و غربی منطقه و همچنین منطقه بادپناهی شهرکرد و بروجرد می‌شوند. کمتر از ۵۰ درصد این حوضه مربوط به اقلیم‌های نیمه‌مربوط تا بسیار مرطوب بوده که بخش اعظم ارتفاعات و کوهستان‌های منطقه را شامل می‌شوند. نزدیک به ۲۳ درصد باقیمانده مساحت این حوضه آبریز از وضعیت اقلیمی مدیترانه‌ای برخوردار است. در این مطالعه این حوضه به دو محدوده مطالعاتی خارج استان خوزستان (شماره ۱) و درون خوزستان (شماره ۲) تقسیم شد؛ و تغییرات رواناب خروجی در این دو بخش مقایسه شد.

تصادفی بودن) به صورت رابطه ذیل (رابطه ۱) نوشته می‌شود (Ostertagova, ۲۰۱۲):

$$y_i = B_0 + \sum_{j=1}^p B_{j=1} x_{ij} + e_i \quad (1)$$

که در آن  $y_i$  مقدار مشاهده شده برای متغیر وابسته برای مشاهده  $i$  است،  $x_{ij}$  مقداری است که متغیر  $j$  برای مشاهده  $i$  گرفته است و  $e_i$  خطای مدل است.

برآورد ضرایب  $\beta$  و ماتریس کوواریانس آن‌ها توسط روابط ذیل (رابطه ۲ و ۳) صورت می‌پذیرد (Amemiya, ۱۹۸۰):

$$\hat{\beta} = (X^t X)^{-1} X^t Y \quad (2)$$

$$VAR(\hat{\beta}) = \sigma^2 (X^t X)^{-1} \quad (3)$$

به منظور تأیید صحت مدل و انتخاب مدل بهینه پارامترهای ذیل بررسی شد:

DF: درجه آزادی مدل (وابسته به خطای مدل)

$R^2$ : ضریب تعیین مدل بین ۰ تا ۱ می‌باشد و به صورت رابطه ذیل (رابطه ۴) تعریف می‌شود (Ostertagova, ۲۰۱۲):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{with } \bar{y} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n w_i y_i \quad (4)$$

$R^2$  به عنوان سهم تغییرپذیری متغیر وابسته که به وسیله مدل توضیح داده می‌شود تعریف می‌شود. هرچه  $R^2$  به یک نزدیکتر باشد کارایی مدل بیشتر است.

Adjusted  $R^2$ : ضریب تعیین تعدیل شده برای مدل می‌باشد. اگر  $R^2$  نزدیک به صفر باشد  $R^2$  تنظیم شده می‌تواند منفی باشد.  $R^2$  تنظیم شده تصحیح  $R^2$  است که تعداد متغیرهای استفاده شده در مدل را در نظر می‌گیرد و مقدار آن توسط رابطه (۵) تعریف شده است (Ostertagova, ۲۰۱۲):

$$\hat{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{w - 1}{w - p - 1} \quad (5)$$

MSE: میانگین مربع خطا (MSE) توسط رابطه (۶) تعریف می‌شود (Makridakis و همکاران, ۱۹۹۸):

$$MSE = \frac{1}{W - P} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i \quad (6)$$

RMSE: مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) ریشه مربع MSE است.

MAPE: درصد میانگین خطای مطلق به صورت زیر محاسبه می‌شود (Makridakis و همکاران, ۱۹۹۸) (رابطه ۷):

$$MAPE = \frac{100}{W} \sum_{i=1}^n w_i \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (7)$$

DW: آماره دوربین-واتسن (Durbin-Watson) به منظور بررسی مستقل بودن مشاهدات توسط رابطه ذیل تعریف می‌شود (رابطه ۸):

$$DW = \frac{\sum_{i=2}^n [(y_i - \hat{y}_i) - (y_{i-1} - \hat{y}_{i-1})]}{\sum_{i=1}^n w_i (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (8)$$

پس از بررسی کلیه داده‌های هیدرواقليمی ذکر شده، به منظور بررسی تغییرات دهه‌ای و سالانه این پارامترها طی پنج دوره (۱۳۴۶-۱۳۵۵، ۱۳۵۶-۱۳۶۵، ۱۳۶۶-۱۳۷۵، ۱۳۷۶-۱۳۸۵، ۱۳۸۶-۱۳۹۵) (۱۳۸۶) بررسی، تجزیه و تحلیل شد.

#### • شاخص خشکسالی پالم (PDSI)

خشکسالی به عنوان یک پدیده فیزیکی، تابع قوانین عمومی تکامل سامانه‌های جوی و هیدرولوژیکی می‌باشد، اما به دلیل پیچیدگی زیاد فرآیندهای موثر در آن، هنوز یک رهیافت دقیق فیزیکی برای آن ارائه نشده است. از پیشگامان مطالعه پدیده خشکسالی Palmer (۱۹۶۵) می‌باشد. پالم با استفاده از متغیرهای بارش، دما و رطوبت قابل دسترس خاک و براساس یک مدل ترازمندی آب ساده، برای برآورد عرضه و تقاضای رطوبت یک مدل خاک دو لایه، یک شاخص فیزیکی-آماری به نام شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) را فرمول‌بندی کرد. به منظور محاسبه این شاخص از پایگاه TerraClimate دانشگاه Idaho که مجموعه‌ای از بیلان اقلیم و آب برای سطوح زمینی جهانی است تحت سامانه earthengine استفاده شد. داده‌های حاصل از این پایگاه (<https://code.earthengine.google.com>) و وضوح زمانی ماهانه و وضوح مکانی ۴ کیلومتر (درجه ۱/۲۴) دارد (Abatzoglou و همکاران, ۲۰۱۴ و ۲۰۱۸). جدول (۱) طبقه‌بندی شاخص خشکسالی پالم PDSI را نشان می‌دهد.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی پالم

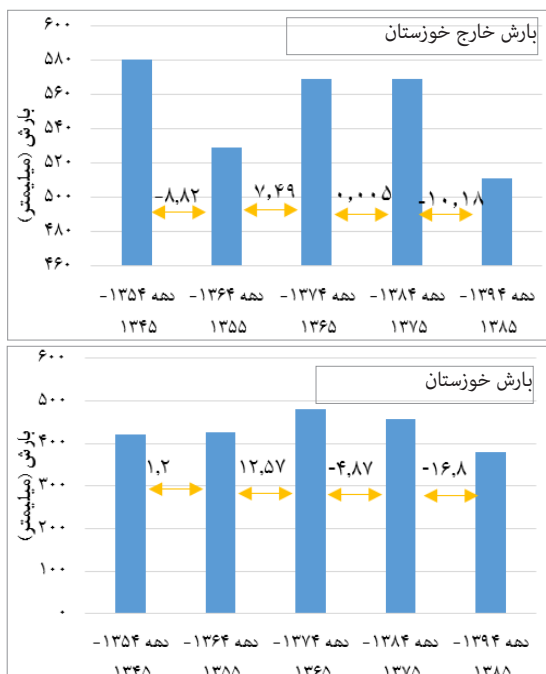
طبقه خشکسالی	مقادیر شاخص
ترسالی بسیار شدید	$PDSI < -4$
ترسالی شدید	$-3 < PDSI \leq -4$
ترسالی میانه	$-2 < PDSI \leq -3$
ترسالی ملایم	$-1 < PDSI \leq -2$
ترسالی خفیف	$-0.5 < PDSI \leq -1$
نزدیک نرمال	$-0.5 \leq PDSI \leq 0.5$
خشکسالی خفیف	$0.5 < PDSI \leq 1$
خشکسالی ملایم	$1 < PDSI \leq 2$
خشکسالی متوسط	$2 < PDSI \leq 3$
خشکسالی شدید	$3 < PDSI \leq 4$
خشکسالی بسیار شدید	$PDSI > 4$

#### • مدل رگرسیون خطی چند متغیره

روش رگرسیون خطی به خانواده بزرگتری از مدل‌ها به نام GLM (مدل‌های خطی تعمیم‌یافته) تعلق دارد. مفهوم رگرسیون خطی مدل‌سازی متغیر وابسته کمی از طریق ترکیب خطی متغیرهای مستقل کمی است. مدل قطعی (بدون در نظر گرفتن

## نتایج و بحث

- روند تغییرات پارامترهای اقلیمی حوضه آبخیز کارون بزرگ در محدوده حوضه کارون بزرگ، در دو بخش داخل و خارج استان خوزستان روند کاهش بارندگی از دو دهه قبل (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵) آغاز شده است، اما این کاهش در بخش درون استان به خصوص طی دهه اخیر شدت بیشتری داشته است و دهه ما قبل از دهه اخیر (۱۳۸۵-۱۳۷۶) این تغییرات محسوس نبوده و آثار کاهش بارندگی به خوبی نمایان نشده است. محدوده کارون بزرگ در خوزستان و خارج آن در دهه اخیر با کاهش بارش به ترتیب حدود ۱۶ و ۱۰ درصد بوده که وضعیت بحرانی تر کمبود بارشها را در درون استان خوزستان نسبت به سایر مناطق نمایان می‌سازد. باتوجه به اهمیت نقش جریان‌ات رودخانه‌ای در این حوضه این کاهش می‌تواند خسارات زیادی به بار آورد (شکل ۲). میانگین بلندمدت بارش حوضه نزدیک به ۴۹۲ میلی‌متر است که میانگین درون استانی آن نزدیک به ۴۳۳ میلی‌متر و میانگین برون استانی آن نزدیک به ۵۵۱ میلی‌متر می‌باشد. باتوجه به شدت بیشتر کاهش بارشها در درون استان می‌توان انتظار داشت جریان‌ات سطحی در این منطقه بیشتر با کمبود روبه‌رو شود.



شکل ۲- نمودار تغییرات بارش دهه‌ای و درصد کاهش بارش دهه‌ها نسبت به یکدیگر در طول پنج دهه (سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۹۵)

در شکل (۳) بررسی نحوه تغییرات زمانی و مکانی میانگین دما به تفکیک درون و خارج استان به صورت دهه‌ای نشان داد به جز دهه سوم که کاهش دما نسبت به دهه قبل آن در هر دو بخش

این آزمون برای تشخیص خودهمبستگی مرتبه اول باقیمانده‌ها یا جملات خطا در یک مدل رگرسیون به کار می‌رود. در این آزمون فرض صفر عدم وجود خود همبستگی بین جملات خطا و فرض ۱ وجود خود همبستگی بین جملات خطا بین زمان‌های  $t$  و  $t-1$  می‌باشد. عدم خود همبستگی، یعنی خطاهای زمان  $t$  و  $t-1$  از یکدیگر مستقل باشند. مقدار این آماره در بازه بین ۰ تا ۴ در نوسان است و مقدار بهینه آن برابر ۲ می‌باشد. مقادیر کمتر از عدد ۱/۵ یا بیشتر از ۲/۵ نشان دهنده وجود مسئله در مدل است.

این آماره برای ارزیابی تناسب یک مدل رگرسیون استفاده شده است که با استفاده از حداقل مربعات معمولی تخمین زده می‌شود و در زمینه انتخاب مدل درجایی که تعدادی از متغیرهای پیش‌بینی کننده برای پیش‌بینی نتیجه وجود دارد و هدف یافتن بهترین مدل شامل زیرمجموعه‌ای از این پیش‌بینی‌ها است اعمال می‌شود. مقدار کم CP به معنای دقیق بودن مدل است. ضریب Mallows Cp توسط رابطه ذیل تعریف می‌شود (Darnius and Tarigan, ۲۰۱۸) (رابطه ۹):

$$C_p = \frac{SSE}{SSE_r / (N - P_r)} - (N - 2P) \quad (9)$$

در این رابطه  $p$  تعداد پارامترهای مدل مرجع،  $SSE$  مجموع مربعات خطای مدل مرجع،  $N$  تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است.

AIC: معیار ارزیابی بیانگر برآوردگر کیفیت نسبی مدل آماری باتوجه به داده‌های جمع‌آوری شده در نمونه تصادفی می‌باشد (Sembiring and Manurung, ۲۰۱۹) (رابطه ۱۰).

$$AIC = W \ln \left( \frac{SSE}{W} \right) + 2P^* \quad (10)$$

SBC: معیار اطلاع بیزی- شوارتز (Schwarz's Bayesian) توسط رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$SBC = W \ln \left( \frac{SSE}{W} \right) + \ln(W)P^* \quad (11)$$

همانند معیار اطلاعاتی آکائیکه معیار اطلاع بیزی- شوارتز هم از طریق یک رابطه بر طبق تابع درست‌نمایی و حجم نمونه قابل محاسبه است.

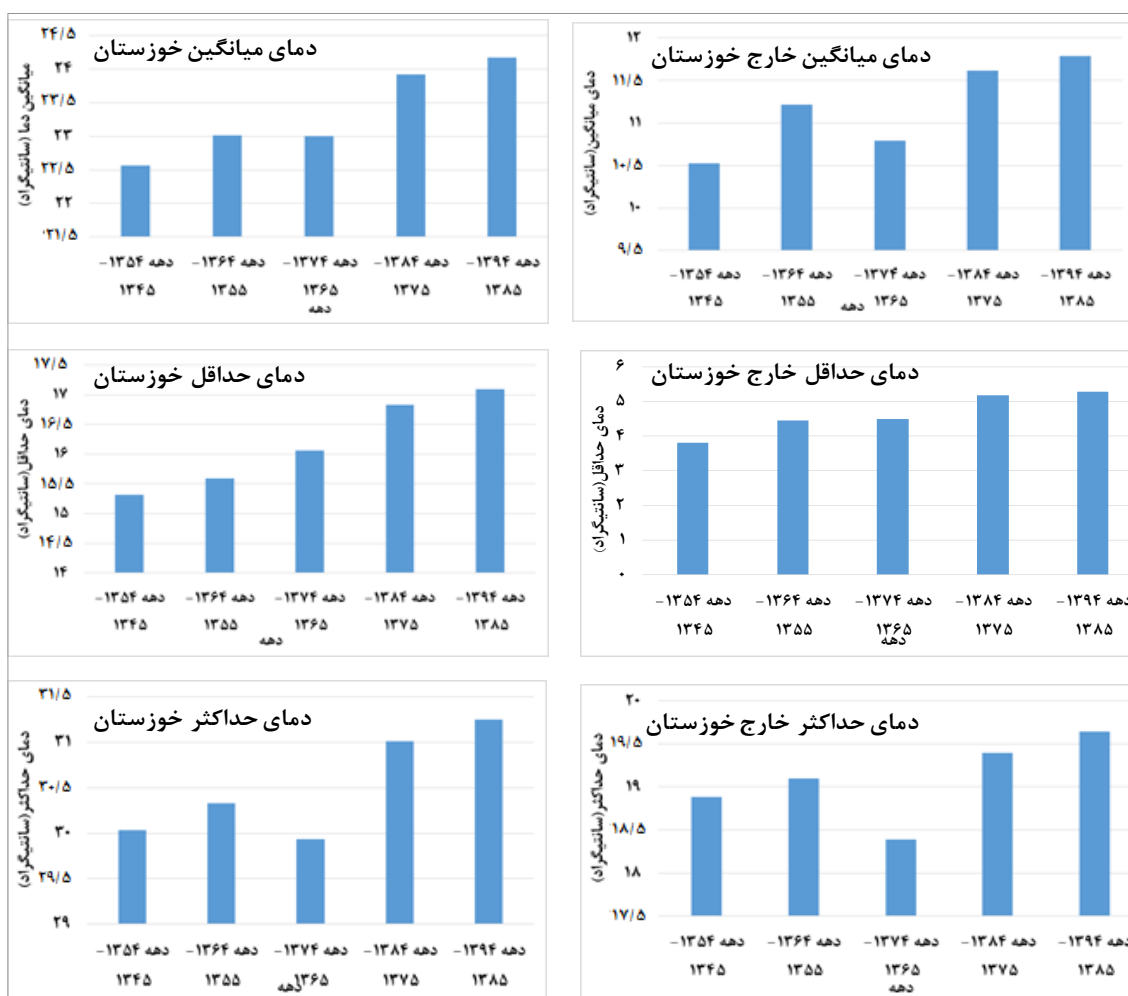
در این پژوهش از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای دو بخش حوضه کارون بزرگ در خارج استان خوزستان و داخل آن استفاده شد تا نقش عوامل اقلیمی در خروجی‌های جریان سطحی در این دو بخش مشخص شود و مهمترین پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار بر جریان‌ات خروجی از حوضه رتبه بندی شوند. به این منظور ابتدا جدول توصیفی ویژگی‌های حوضه ارائه شد و سپس مدل بهینه انتخاب و عوامل تأثیرگذار رتبه بندی شدند و درصد اهمیت این عوامل بررسی شد.

درون و خارج استان رخ داده است در سایر دهه‌ها دما افزایش داشته است؛ این افزایش در مناطق بالادست حوضه و بیرون استان از مناطق پایین دست و درون استان بیشتر بوده است. همچنین بیشترین افزایش دما در دهه سوم در مناطق بالادست حوضه رخ داده است.

شکل (۳) بررسی نحوه تغییرات زمانی و مکانی میانگین حداقل دما به تفکیک درون و خارج استان خوزستان به صورت دهه‌ای نشان داد، در دهه اول کمترین متوسط دمای حداقل در بالادست حوضه در خارج استان با توجه به وضعیت کوهستانی این مناطق با میانگین ۳/۸ درجه سانتی‌گراد و بیشترین دمای متوسط حداقل در پایین دست حوضه کارون در درون استان در دهه اخیر (۱۳۸۵-۱۳۹۴) با میانگین ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. در دهه دوم دمای متوسط حداقل در بالادست حوضه با افزایش حدود ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد به میانگین ۴/۴۵ درجه سانتی‌گراد رسید. این افزایش در پایین دست حوضه در متوسط دمای حداقل چندان محسوس نبود. به طوری که دمای درون استان خوزستان

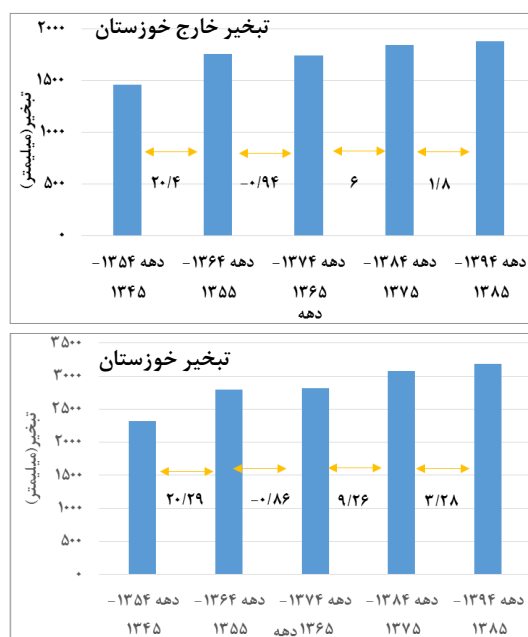
(پایین دست حوضه) با افزایش نزدیک به ۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به دهه قبل به ۱۵/۵۹ درجه سانتی‌گراد رسیده است. در دهه سوم در مناطق بالادست حوضه، دمای حداقل کم‌وبیش ثابت و به مقدار ناچیزی افزایش یافته است اما در پایین دست حوضه کارون در استان خوزستان دمای متوسط حداقل افزایش داشته است. در دهه چهارم کل حوضه‌ها هم در بالادست و هم در پایین دست با افزایش دمای متوسط حداقل مواجه بوده‌اند که این افزایش در مناطق بالادست حوضه بسیار شدیدتر بوده است. در دهه پنجم همچنان روند افزایش متوسط دمای حداقل در هر دو بخش ادامه دارد؛ که بازهم این افزایش در بالادست بسیار بیشتر بوده است.

بررسی دمای حداکثر (شکل ۳) نیز در هر دو قسمت مورد مطالعه نشان داد به جز دهه سوم که کاهش دما در هر دو بخش درون و بیرون استان مشاهده شد در سایر دهه‌های مورد بررسی دما روند افزایشی داشته است و شدت این افزایش در بالادست و خارج استان نسبت به مناطق پایین دست داخل استان بیشتر بوده است.



شکل ۳- نمودار تغییرات دمای میانگین، حداقل و حداکثر دهه‌ای و درصد کاهش دمای دهه‌ها نسبت به یکدیگر در طول پنج دهه (سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۴۵)

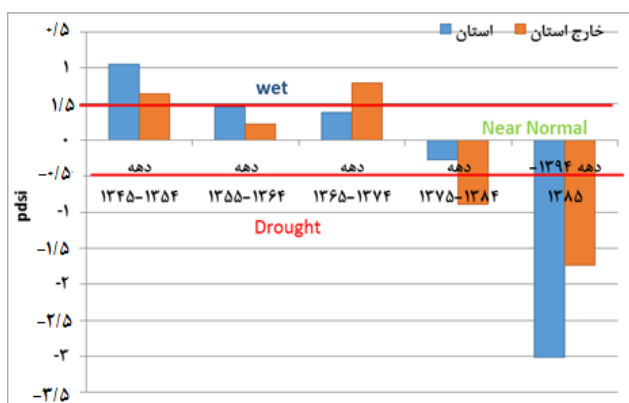
در شکل (۴) بررسی نحوه تغییرات مکانی تبخیر سالانه به تفکیک درون و بیرون استان به صورت دهه‌ای افزایش تبخیر را در هر دو بخش درون و بیرون استان در همه دهه‌ها به جز دهه سوم نشان داد. میانگین تبخیر سالانه در درون استان در کل دوره مورد مطالعه ۳۱۸۳ میلی‌متر و در بیرون استان ۱۷۳۴ میلی‌متر بوده است. همچنین تغییرات دهه‌ای نیز نشان‌دهنده شدت بیشتر افزایش تبخیر در درون استان نسبت به نواحی خارج استانی حوضه می‌باشد.



شکل ۴- نمودار تغییرات تبخیر دهه‌ای و درصد کاهش تبخیر دهه‌ها نسبت به یکدیگر در طول پنج دهه (سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۹۴)

#### - شاخص خشکسالی پالم

بررسی این شاخص در دو بخش درون و بیرون استانی حوضه انجام گرفت (شکل ۵). نتایج بررسی‌ها نشان داد در سه دهه اول سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۴ وضعیت حوضه به سمت ترسالی متمایل بوده است و دهه اول سال‌های ۱۳۵۴-۱۳۴۵ بهترین شرایط را در کل دوره دارد. در این شرایط ترسالی در بخش درون استانی با شدت بیشتری روبه‌رو بوده است. در دو دهه اخیر (۱۳۷۵-۱۳۸۴ و ۱۳۸۵-۱۳۹۴) شرایط حوضه به سمت خشکسالی پیش رفته و شدت این خشکسالی‌ها در دهه اخیر بسیار افزایش داشته و حوضه به‌خصوص در بخش درون استانی به سمت خشکسالی شدید پیشرفت کرده است.



شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص خشکسالی پالم دهه‌ای و درصد کاهش خشکسالی دهه‌ها نسبت به یکدیگر در طول پنج دهه (سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۹۴)

#### - دبی ورودی و خروجی استان خوزستان و استان‌های مجاور در حوضه کارون

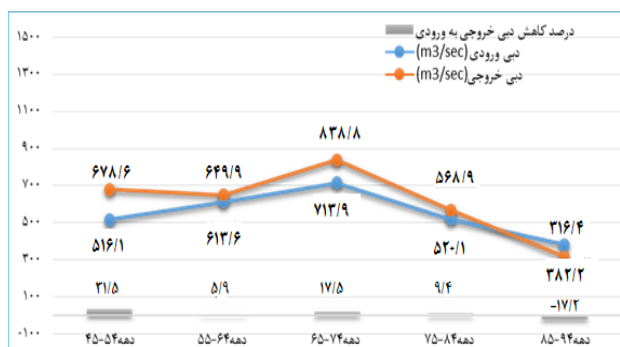
به‌منظور بررسی دبی ورودی و خروجی به استان خوزستان در حوضه کارون دو ایستگاه پل شالو (رودخانه کارون) و تله زنگ (رودخانه دز) به‌عنوان دو ایستگاه اصلی ورودی به استان خوزستان و خروجی بالادست حوضه در نظر گرفته شدند. همچنین ایستگاه اهواز در خروجی حوضه (رودخانه کارون بزرگ) به‌عنوان خروجی حوضه در استان خوزستان در نظر گرفته شد (شکل ۶). در این مطالعه تغییرات دهه‌ای این ایستگاه‌ها بررسی شد (شکل ۷). نتایج نشان داد دبی در تمام ایستگاه‌ها در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۹۵-۱۳۹۴ کاهش شدیدی را نسبت به دوره‌های قبل داشته است اما این شدت کاهش در ایستگاه اهواز در خروجی حوضه در استان خوزستان شدت کاهش بسیار بیشتری نسبت به دهه قبل (در حدود ۶۶ درصد) نسبت به ایستگاه‌های ثبت‌کننده دبی ورودی به استان و خروجی بالادست از جمله تله زنگ (۳۱ درصد کاهش) و پل شالو (۲۲/۹ درصد کاهش) دارد.



شکل ۶- نقشه موقعیت ایستگاه‌های سنجش دبی ورودی و خروجی به استان خوزستان از محدوده حوضه کارون

جدول ۲- نتایج بررسی مقایسه ای دبی‌های ورودی (خروجی محدوده‌های بالادست) و خروجی استان خوزستان در حوضه کارون

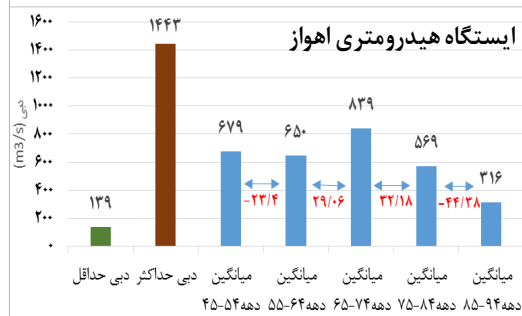
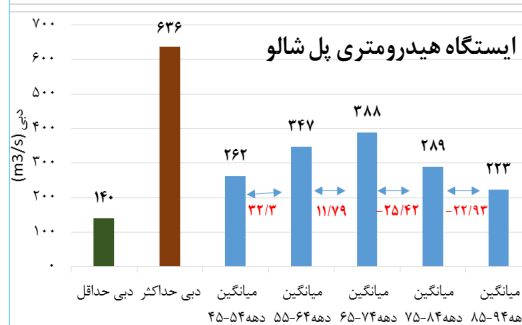
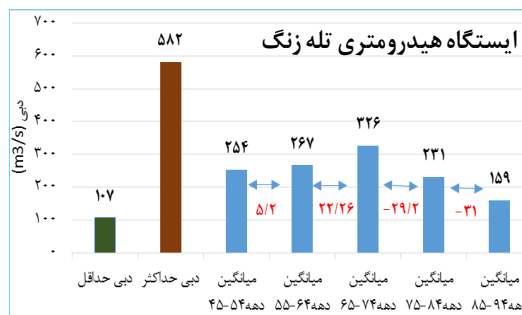
دهه‌ها	دبی ورودی		دبی خروجی		افزایش/ کاهش (%)
	(MCM/year)	(m <sup>3</sup> /sec)	(MCM/year)	(m <sup>3</sup> /sec)	
۴۵-۵۴	۱/۵۱۶	۱۶۲۷۶/۳۲	۶/۶۷۸	۲۱۴۰۰/۴۰	۳۱/۵
۵۵-۶۴	۶/۶۱۳	۱۹۳۵۰/۰۲	۹/۶۴۹	۲۰۴۹۴/۸۱	۶
۶۵-۷۴	۹/۷۱۳	۲۲۵۱۲/۲۲	۸/۸۳۸	۲۶۴۵۱/۴۸	۱۷/۵
۷۵-۸۴	۱/۵۲۰	۱۶۴۰۰/۸۳	۹/۵۶۸	۱۷۹۴۰/۶۵	۹/۴
۸۵-۹۴	۲/۳۸۲	۱۲۰۵۲/۰۴	۴/۳۱۶	۹۹۷۷/۸۱	-۱۷/۲



شکل ۸- نمودار دبی‌های ورودی و خروجی به حوضه کارون و درصد کاهش آن‌ها نسبت به یکدیگر در طول پنج دهه (سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۹۴)

#### نتایج بررسی مدل رگرسیون خطی چندمتغیره

به‌منظور مدل‌سازی اثرات پارامترهای اقلیمی و خشکسالی بر دبی خروجی، ویژگی‌های آماری پارامترهای مورد بررسی در حوضه شامل تعداد سال‌های آماری، حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات هرکدام از پارامترها در دو بخش داخل و خارج استان خوزستان محاسبه شد (جدول ۳). همانگونه که مشاهده می‌شود ضریب تغییرات دبی خروجی از حوضه در استان بسیار بیشتر از مناطق خارج استان می‌باشد به‌طوری‌که این مقدار در خروجی حوضه در استان خوزستان حدود ۴۶ درصد و در ورودی به استان (خروجی مناطق خارجی استان) ۳۸ درصد می‌باشد. دلیل این امر غالباً ناشی از مسائل مدیریتی و کنترلی بر آب در بالادست و پایین دست حوضه می‌باشد. دمای حداقل و حداکثر و میانگین دمای داخل و خارج استان نیز تفاوت بالایی داشت. علت این تفاوت غالباً ناشی از وضعیت توپوگرافی منطقه می‌باشد. در خارج از استان خوزستان منطقه بیشتر کوهستانی و معتدل هستند اما استان خوزستان به‌صورت دشت گرمسیری می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد مناطق بالادست که گاه‌سرخ‌شده تأمین آب استان هستند بیشتر تحت تأثیر تغییرات دمایی بوده‌اند به‌طوری‌که ضریب تغییرات دما در آنها با وجود دمای کمتر بیشتر بوده است.



شکل ۷- نمودار ایستگاه‌های سنجش دبی ورودی و خروجی به استان خوزستان در محدوده حوضه کارون

نتایج بررسی مقایسه‌ای دبی‌های ورودی (خروجی محدوده‌های بالادست) و خروجی استان در جدول (۲) و شکل (۸) ارائه شده است نشان داد در دهه اول (دهه ۵۴-۱۳۴۵) میزان دبی خروجی نسبت به دبی ورودی به استان ۳۱/۴۸ درصد افزایش داشته و در بالاترین اندازه قرار دارد و نشان‌دهنده تعادل مصارف در درون استان می‌باشد. در دهه دوم (دهه ۶۴-۱۳۵۵) این نسبت به ۵/۹۲ درصد کاهش یافته ولی همچنان میزان دبی خروجی نسبت به ورودی بیشتر است. در دهه سوم (۷۴-۱۳۶۵) میزان خروجی‌ها نسبت به دهه قبلی شرایط بهتری پیدا کرده و ۱۷/۵۰ درصد نسبت به ورودی‌ها افزایش داشته است. در دهه چهارم (۸۴-۱۳۷۵) اندازه دبی ورودی به دبی خروجی نزدیک شده اما همچنان خروجی‌ها نسبت به ورودی‌ها وضعیت مناسب‌تری داشته و میزان خروجی‌ها ۹/۳۹ درصد از ورودی‌ها بالاتر بوده است. این تعادل در دهه آخر مورد مطالعه از بین رفته و شرایط معکوس در سطح استان وجود دارد، به‌طوری‌که میزان خروجی ۱۷/۲۱ درصد نسبت به ورودی کاهش داشته است.



جدول ۳- ویژگی‌های کلی پارامترهای مورد بررسی حوضه در داخل و خارج استان خوزستان

محل	متغیر	تعداد سال	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
خوزستان	دبی خروجی	۵۰	۱۳۹/۱۶۵	۱۴۴۳/۲۴۴	۶۱۰/۵۱	۲۸۲/۸۸	۴۶/۳۳
	بارش	۵۰	۲۴۹/۰۵۲	۷۶۴/۸۱۷	۴۳۳/۳۷	۱۱۹/۹۳	۲۷/۶۷
	دمای میانگین	۵۰	۲۱/۵۸۴	۲۵/۰۳۳	۲۳/۳۳۴	۰/۷۸	۳/۳۵۵
	دمای حداقل	۵۰	۱۴/۴۶۵	۱۸/۱۴۷	۱۶/۱۷۸	-۰/۸۳۲	۱۴/۵
	دمای حداکثر	۵۰	۲۸/۲۸۹	۳۲/۰۵۶	۳۰/۵۱۳	-۰/۸۲۱	۲/۶۸
	تبخیر	۵۰	۲۱۶/۴۶۵	۳۳۲۷/۲۱۳	۲۸۴۱/۸۱۶	۴۸۶/۵۶۲	۱۷/۱
	خشکسالی pdsi	۵۰	-۵/۰۹۴	۴/۶۵۱	-۰/۲۸۱	۲/۳۶۸	۸۴۲/۵
خارج خوزستان	دبی خروجی	۵۰	۲۲۹/۶۱۸	۱۲۱۸/۳۷۶	۵۴۵/۰۸۳	۲۰۹/۰۹۹	۳۸/۳۶
	بارش	۵۰	۳۳۰/۴۲۶	۸۸۱/۹۴	۵۵۱/۹۶۴	۱۲۹/۹۲۵	۲۳/۵
	دمای میانگین	۵۰	۹/۱۱۲	۱۲/۴۸۱	۱۱/۱۸۷	-۰/۷۱۸	۶/۴۲
	دمای حداقل	۵۰	۲/۸۱۱	۶/۱۵۲	۴/۶۴۲	-۰/۷۸۵	۱۶/۹
	دمای حداکثر	۵۰	۱۶/۲۴	۲۰/۴۷۱	۱۹/۰۸۳	-۰/۸۳۶	۴/۳۷۸
	تبخیر	۵۰	۱۳۵/۸۲۹	۱۹۶۲/۰۴۶	۱۷۳۴/۷۴۵	۲۸۲/۴۲۴	۱۶/۲۸
	خشکسالی pdsi	۵۰	-۴/۲۳	۳/۷۵۴	-۰/۱۹۷	۲/۰۵۳	-۱۰۴۲/۴۴

در جدول (۴) ضرایب تناسب مدل نشان داده شده است.  $R^2$  (ضریب تعیین) درصد تغییر متغیر وابسته را نشان می‌دهد و با متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شود. هرچه  $R^2$  به ۱ نزدیکتر باشد، مدل گویاتر و مناسب‌تر است. در این مطالعه بررسی  $R^2$  در نواحی خارج خوزستان ۸۲ درصد از تغییر دبی خروجی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی بوده است و در داخل استان خوزستان ۸۳ درصد تغییرات دبی خروجی متأثر از پارامترهای اقلیمی می‌باشد. سایر پارامترهای تأثیرگذار بر جریان خروجی (به غیر از اقلیم و خشکسالی) که در این تجزیه و تحلیل گنجانده نشده است مابقی درصد تأثیر بر جریان خروجی (۱۸ درصد در خارج خوزستان و ۱۷ درصد درون استان خوزستان) را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۴- ضرایب تناسب مدل حوضه در داخل و خارج استان خوزستان

مقادیر به‌دست‌آمده برای سایر پارامترهای ذکر شده در جدول (۴) نشان دهنده بهینه بودن و کارایی مدل به‌کار گرفته شده در این بررسی می‌باشد. به‌عنوان مثال عدد به‌دست‌آمده برای آماره دوربین واتسون (DW) در جدول برای مدل حاصل در خارج خوزستان ۱/۵۸ و در داخل استان ۲/۳ می‌باشد (اگر این آماره بین ۱/۵ تا ۲/۵ باشد مدل حاصل مناسب است (Azami و همکاران، ۲۰۲۰)) بنابراین این آماره نیز کارایی مدل رگرسیون به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس مدل رگرسیونی برازش داده شده در این پژوهش در جدول (۵) ارائه شده است. بررسی نتایج جدول (۵) در مورد تجزیه و تحلیل واریانس مشخص می‌سازد در صورت قبول فرضیه صفر ( $H_0$ ) متغیرهای مستقل اطلاعات معنی‌داری را به مدل وارد می‌کنند. در واقع این جدول نشان دهنده معنی‌داری یا عدم معنی‌داری مدل رگرسیونی برازش داده شده می‌باشد. یکی از آماره‌های مورد استفاده در آنالیز واریانس مدل، آزمون فیشر می‌باشد. با استفاده از این آزمون در مطالعات تحلیل واریانس، مقدار پراکندگی بین میانگین‌های گروه‌ها بررسی می‌شود. در این آزمون پراکندگی درون گروهی برای تعیین وجود تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌های گروه‌ها به‌کار می‌رود. باتوجه‌به این واقعیت که احتمال مربوط به مقدار F کمتر از ۰/۰۰۰۱ است، بنابراین، با اطمینان می‌توان نتیجه گرفت متغیرهای مستقل مقدار قابل توجهی از اطلاعات را به همراه دارند. در این مطالعه باتوجه‌به بزرگ بودن F و مقدار  $Sig=0.000<0.05$  نتیجه گرفته می‌شود مدل رگرسیونی مناسب خواهد بود. بنابراین مدل رگرسیون حاصل می‌تواند به‌طور معناداری (و مناسبی) تغییرات متغیر وابسته را پیش‌بینی کند.

متغیر	خارج خوزستان	داخل خوزستان
Observations	۵۰	۵۰
DF	۴۳	۴۳
R <sup>2</sup>	۰/۸۲۲	۰/۸۳۴
Adjusted R <sup>2</sup>	۰/۷۹۷	۰/۸۱
MSE	۸۸۶۷/۱	۱۵۱۸۲/۸۶۳
RMSE	۹۴/۱۶۵	۱۲۳/۲۱۹
MAPE	۱۴/۵۵۲	۱۷/۸۴
DW	۱/۵۸۶	۲/۳۷۸
Cp	۷	۷
AIC	۴۶۰/۹۶۴	۴۸۷/۸۵۵
SBC	۴۷۴/۳۴۸	۵۰۱/۲۳۹

جدول ۵- نتایج تجزیه و تحلیل واریانس مدل رگرسیون

منطقه	Source	DF	Sum of squares	Mean squares	F	Pr > F
خارج خوزستان	Model	۶	۱۷۶۱۱۱۳	۲۹۳۵۱۸/۸	۳۳/۱۰۲	0/0001>
	Error	۴۳	۳۸۱۲۸۵/۳	۸۸۶۷/۱		
	Corrected Total	۴۹	۲۱۴۲۳۹۸			
داخل خوزستان	Model	۶	۳۲۶۸۴۳۱	۵۴۴۷۳۸/۵	۳۵/۸۷۹	0/0001>
	Error	۴۳	۶۵۲۸۶۳/۱	۱۵۱۸۲/۸۶		
	Corrected Total	۴۹	۳۹۲۱۲۹۴			

تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد فرضیه صفر که دلالت بر وجود ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته دارد، آماره T به دست آمده با t جدول که با درجه آزادی N-K در سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده مقایسه می‌شود، چنانچه قدرمطلق T محاسبه شده از t جدول بزرگتر باشد فرض صفر رد می‌شود. در این حالت با ضریب اطمینان ۹۵٪ ضریب مورد نظر معنی دار خواهد بود. این معنی‌داری تنها در مورد شاخص‌های بارش و خشکسالی در مناطق داخلی استان در حوضه و در مورد پارامترهای بارش، دمای حداکثر و خشکسالی در مورد محدوده‌های خارج استان در حوضه درست است.

در شکل (۹) ضریب اثرگذاری متغیرهای مستقل و دامنه تغییرات حداکثر و حداقل این ضرایب در سطح ۹۵ درصد نشان داده شده است. بیشترین دامنه تغییرات مربوط به پارامتر دمای میانگین در درون استان خوزستان و پس از آن بارش درون استان بوده است.

جدول (۶) ضرایب رگرسیون استاندارد شده مدل (ضرایب بتا) را نشان می‌دهد. این ضرایب به‌طور مستقیم می‌توانند تأثیر نسبی متغیرهای مستقل را بر روی متغیر وابسته و اهمیت آن‌ها مقایسه کنند و سهم نسبی هر متغیر را در پیش‌بینی متغیر وابسته بیان می‌کنند. به عبارتی جدول (۶) متغیرهایی که بیش‌ترین تأثیر را بر متغیر وابسته دارند، نشان داده شده است. همانطور که در جدول (۶) نشان داده شده است هم در مناطق داخل و هم خارج استان پارامتر بارش بیشترین رابطه مستقیم را با دبی خروجی داشته است که سهم این اثر در داخل استان بیشتر بوده است. دومین عامل اثرگذار بر جریان‌ات خروجی در خارج استان و سرشاخه‌های تامین کننده آب دشت خوزستان دمای حداکثر و در داخل استان و پایین دست حوضه خشکسالی بوده است. شاخص خشکسالی پالم و دمای حداکثر سومین عامل اثرگذار بر جریان‌ات خروجی به‌ترتیب در بالادست و پایین دست حوضه می‌باشد. برای

جدول ۶- ضرایب رگرسیون استاندارد شده مدل

منطقه	Source	Value	Standard error	T	Pr >  T	Lower (%۹۵) bound	Upper (%۹۵) bound
خارج خوزستان	بارش	۰/۴۷۴	۰/۰۷۹	۵/۹۶۲	۰/۰۰۰۱ >	۰/۳۱۴	۰/۶۳۴
	دمای میانگین	۰/۰۲۳	۰/۲۴۹	۰/۰۹۴	۰/۹۲۵	-۰/۴۷۸	۰/۵۲۵
	دمای حداقل	۰/۱۲۶	۰/۱۲۹	۰/۹۸۱	۰/۳۳۲	-۰/۱۳۳	۰/۳۸۶
داخل خوزستان	دمای حداکثر	-۰/۴۲۵	۰/۱۸۱	-۲/۳۴۳	۰/۰۲۴	-۰/۷۹	-۰/۰۵۹
	تبخیر	-۰/۰۱۹	۰/۰۸۳	-۰/۲۳۱	۰/۸۱۹	-۰/۱۸۶	۰/۱۴۸
	خشکسالی pdsi	۰/۳۷۲	۰/۰۸۲	۴/۵۱۲	۰/۰۰۰۱ >	۰/۲۰۶	۰/۵۳۸
داخل خوزستان	بارش	۰/۵۳۱	۰/۰۸۸	۶/۰۰۲	۰/۰۰۰۱ >	۰/۳۵۳	۰/۷۰۹
	دمای میانگین	-۰/۰۶۲	۰/۳۹۴	-۰/۱۵۸	۰/۸۷۵	-۰/۸۵۷	۰/۷۳۳
	دمای حداقل	۰/۰۶۱	۰/۱۸۶	۰/۳۳۱	۰/۷۴۲	-۰/۳۱۳	۰/۴۳۶
داخل خوزستان	دمای حداکثر	-۰/۲۹۳	۰/۲۷۶	-۱/۰۶	۰/۲۹۵	-۰/۸۵	۰/۲۶۴
	تبخیر	۰/۰۰۱	۰/۰۸۷	۰/۰۰۶	۰/۹۹۵	-۰/۱۷۴	۰/۱۷۵
	خشکسالی pdsi	۰/۳۲۳	۰/۰۸۴	۳/۸۵۹	۰	۰/۱۵۴	۰/۴۹۲

اخیر مورد بررسی نسبت به سایر دهه‌ها شرایط بحرانی‌تر داشته، کاهش نزدیک به ۲۷ درصدی و در داخل استان و خروجی حوضه کاهش ۴۴ درصدی دبی‌های خروجی رخ داده است که باتوجه به اثر کم‌وبیش یکسان اقلیم بر هردو بخش می‌توان این تغییرات و شیب کاهشی را به وجود عامل دیگری از جمله مدیریت سرزمین و عوامل انسانی مانند افزایش سدهای احداثی و سطح زیر کشت نسبت داد. نتایج این مطالعه با یافته‌های واعظی هیر و همکاران (۲۰۱۶) در مورد تأثیر عوامل انسانی و مدیریتی بر روی تشدید اثرات تغییر اقلیم در نواحی پایین‌دست حوضه و در نتیجه کاهش جریان‌ات رودخانه‌ای در پایین دست تطابق داشت. نتایج این تحقیق همچنین با نتایج Sane و همکاران (۲۰۱۷) تطابق داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که باوجود تأثیر خشکسالی بر کاهش آورد آبی، نقش عوامل انسانی بسیار تأثیرگذار بوده است.

### سپاس‌گزاری

نتایج این تحقیق برگرفته از طرح جامع مطالعات ریزگرد استان خوزستان در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشوری باشد. از کلیه افرادی که در انجام این طرح همکاری داشته‌اند به‌خصوص بخش تحقیقات بیابان موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور کمال تشکر را دارم.

### پی‌نوشت‌ها

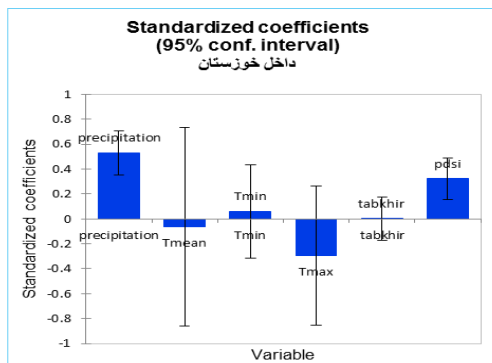
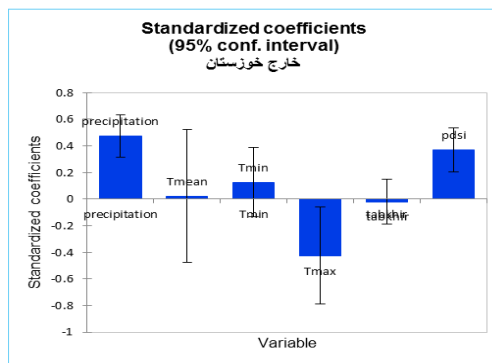
- 1-Outlier
- 2-Double Mass Curve
- 3-Run-Test

### منابع

انصاری، م.، نوری، ج.، و فتوحی، س. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان). مجله تحقیقات آبخیزداری، ۱۴(۳): ۱۵۲-۱۵۸.

خسروی، م.، دوستکامیان، م.، میرموسوی، ح.، بیات، ع.، و بیگزایی، ا. ۱۳۹۳. طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای: فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۴(۱۳): ۱۲۱-۱۳۲.

خلیلی، ک.، احمدی، ف.، بهمنش، ج. و وردی‌نژاد، و. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی دمای هوا و جریان رودخانه شهرچای واقع در غرب دریاچه ارومیه با استفاده از تحلیل روند و ایستایی. مجله علمی کشاورزی علوم مهندسی آبیاری،



شکل ۹- نمودار عوامل اقلیمی تأثیرگذار بردبی‌های ورودی و خروجی به حوضه کارون و دامنه تأثیر این عوامل

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش بررسی رواناب خروجی و عوامل اقلیمی تأثیرگذار بر آن در دو بخش حوضه کارون بزرگ در درون استان خوزستان و بخش بیرونی استان و بالادست حوضه انجام شد. نتایج نشان داد در طول کل دوره مورد بررسی (سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۴۵) پارامتر بارش طی دهه ۱۳۸۵-۱۳۹۴ بیشترین شیب کاهش را در حوضه بخصوص در نواحی درون استان خوزستان و پایین‌دست حوضه داشته است و پارامتر دما طی دهه ۱۳۷۵-۱۳۸۴ بیشترین شیب افزایش را در حوضه و به‌خصوص مناطق بالادست حوضه و خارج استان داشته است. همچنین افزایش تبخیر در دو دهه آخر مورد بررسی در این مطالعه در کل حوضه اتفاق افتاده است که این افزایش در نواحی درون استان و پایین دست حوضه نسبت به نواحی خارجی طی دهه ۱۳۷۵-۱۳۸۴ بیشترین شیب را داشته است. بررسی خشکسالی‌ها نشان داد در دوهه آخر مورد بررسی منطقه به سمت خشکسالی پیش رفته و بیشترین شدت خشکسالی حوضه در درون استان خوزستان طی دهه آخر مورد بررسی رخ داده است. نتایج مربوط به میزان اثر پارامترهای اقلیمی بر دبی خروجی در حوضه کارون بزرگ نشان داد، که در داخل استان خوزستان ۸۳ درصد دبی خروجی توسط پارامترهای اقلیمی و در خارج استان ۸۲ درصد تغییرات ناشی از پارامترهای اقلیمی می‌باشد. درحالی‌که دبی خروجی در خارج استان خوزستان (ورودی به استان) که طی دهه

- Darnius O. and Tarigan G. 2018. Simulation method of model selection based on Mallows' Cp Criteria in linier regression. *Journal of Physics: Conference Series*, 1116(2): 022008.
- Dibike Y.B. and Coulibaly P. 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 307: 145-163.
- Fowler H.J., Kilsb C.G. and Stunell J. 2007. Modeling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(3): 1115-1126.
- Kundzewicz Z., Merz B., Vorogushyn S., Hartmann, Heike & Duethmann, Doris & Wortmann, M. & Huang, Shaochun & Buda, Su & Jiang, Tianqi & Krysanova, Valentina. 2014. Analysis of changes in climate and river discharge with focus on seasonal runoff predictability in the Aksu River.
- Ling H., Xu H. and Fu J. 2013. High- and low-flow variation in annual runoff and their response to climate change in the headstreams of the Tarim River, Xinjiang, China. *Hydrological Process*, 27: 975-988.
- Makridakis S., Wheelwright S.C. and Hyndman R.J. 1998. Forecasting methods and applications, New York, Wiley. *Journal of the American Statistical Association*, 94(445): 345-346.
- Ostertagova E. 2012. Modelling using Polynomial Regression. *Procedia Engineering*, 48(2012): 500-506.
- Palmer W.C. 1957. Drought a normal part of climatic. In. *Weekly Weather and Crop Bulletin*, 44: 6-8.
- Sankarasubramanian A., Vogel R.M. and Limburner J.F. 2001. Climate elasticity of stream flow in the United States. *Water Resour. Res.*, 37(6): 1771-1781.
- Sellinger E.C., Stow C.A., Lamon E.C. and Qian S. S. 2008. Recent Water Level declines in the Lake Michigan-Huron System. *Environmental Science & Technology*, 42: 367-373.
- Sembiring O. and Manurung A. 2019. Model selection in regression linear: a simulation based on akaike's information criterion. *Journal of Physics Conference Series*, 1321:022085. 10.1088/1742-6596/1321/2/022085.
- خورشیددوست، ع.م. و شیرزاد، ع.ا. ۱۳۹۳. بررسی و تحلیل بارش‌های ناحیه شمال ایران با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و تجزیه تابع تشخیص. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۴۹): ۱۰۱-۱۱۸.
- صمدی، ز. و مساح بوانی، ع. ۱۳۸۷. معرفی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM به منظور کوچک مقیاس کردن آماری داده‌های دما و بارندگی. *سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*. دانشگاه تبریز، تبریز.
- عزتی، م. شکوهی، ع.، لنگرودی، و.، سینگ، ج. پ.، و نوری، م. ۱۳۹۷. بررسی روند تغییرات دما و بارش و اثر آن بر پتانسیل منابع آب ورودی به سد طالقان. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۹(۴): ۷۰۵-۷۱۶.
- عساکره، ح. و دوستکامیان، م. ۱۳۹۶. ناحیه‌بندی اقلیمی آب قابل بارش جو ایران زمین. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰(۵۸): ۱۸۱-۲۰۲.
- منتظری، م. و بای، ن. ۱۳۹۱. پهنه بندی اقلیم ناحیه خزری با استفاده از روش های آماری چند متغیره. *مجله تحقیقات جغرافیایی*، ۲۷(۲): ۷۷-۹۰.
- واعظی هیر، ا.، ساری صراف، ب. و والائی، ا. ۱۳۹۵. بررسی علل کاهش جریان در رودخانه‌های شاخص جنوب شرق دریاچه ارومیه. *فضای جغرافیایی*، ۱۶(۵۳): ۱۲۳-۱۵۰.
- Abatzoglou J.T., Barbero R., Wolf J.W. and Holden Z. 2014. Tracking interannual streamflow variability with drought indices in the Pacific Northwest, US. *Journal of Hydrometeorology*, 15:1900-1912.
- Abatzoglou J.T., Dobrowski S.Z., Parks S.A. and Hege- wisch K.C. 2018. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Journal of Scientific Data*, 5: 170191.
- Amemiya T. 1980. Selection of regressors. *International Economic Review*, 21: 331-354.
- Azami M., Sharifi H. and Alvandpur S. 2020. Evaluating the relationship between information literacy and evidence-based nursing and their impact on knowledge and attitude of nurses working in hospitals affiliated to Kerman University of Medical Sciences on medication errors. *Journal of family medicine and primary care*, 9(8): 4097-4106.
- Chen Y., Xu C., Hao X., Li W., Chen Y., Zhu C. and Ye Z. 2009. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin. *China. Quaternary International*, 208(2): 53-61.