



## مدل سازی جریان های کم با استفاده از شاخص های اقلیمی دما و بارش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز اسکندری، استان اصفهان)

مهسا پورهاشم<sup>۱</sup>، بهرام بختیاری<sup>۲</sup> و کوروش قادری<sup>۲</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان، (نویسنده مسوول: M65.Poorhashem@gmail.com)

۲- استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۲

### چکیده

با توسعه مدل های عددی جهت پیش بینی شاخص های اقلیمی، زمینه بررسی تأثیر پدیده های تغییر اقلیم بر منابع آب بیش از پیش فراهم شده است. مدل های گردش عمومی جو از جمله مهم ترین مدل های عددی جهت پیش بینی اقلیم آینده شناخته شده اند. این مدل ها با در نظر گرفتن سناریوهای تولید و انتشار گازهای گلخانه ای، متغیرهای اقلیم درجه حرارت و بارندگی را پیش بینی می نمایند. در این مطالعه با توجه به مدل رگرسیونی جریان های کم، با استفاده از پارامترهای دما و بارش در مقیاس های زمانی ماهانه و فصلی، مدل دبی های با تداوم هفت روز برای دوره های بازگشت مختلف (Q<sub>7,T</sub>) ساخته شدند. در نهایت خطای نسبی مدل برای دوره های بازگشت ۵، ۱۰ و ۲۰ سال به ترتیب برابر ۱/۶، ۲/۲ و ۰/۱۳ درصد به دست آمد که در مقایسه با دیگر مدل های امتحانی از خطای کمتری برخوردار بود. شاخص های دما و بارش برای سه دوره (۱۴۱۸-۱۳۸۹)، (۱۴۴۸-۱۴۱۹) و (۱۴۷۷-۱۴۴۹) با استفاده از مدل HadCM3 پیش بینی شد. مدل Q<sub>7,T</sub> ساخته شده برای هر دوره سی ساله اجرا شده و مقادیر حداقل جریان برای این دوره ها برآورد شد.

واژه های کلیدی: مدل گردش عمومی جو، سناریوهای انتشار، جریان کم، HadCM3

### مقدمه

است. از جمله تبعات خشکسالی هیدرولوژیک، به حداقل رسیدن آب رودخانه ها است. از نظر زیست محیطی، به حداقل رسیدن آب رودخانه ها باعث افزایش نسبی غلظت آلودگی و در نتیجه کاهش اکسیژن محلول می شود که پیامد آن مرگ و میر آبزیان و نیز وارد شدن

بررسی وقایع حدی (سیلاب و خشکسالی) از نقطه نظر شاخص های اقلیم بسیار حائز اهمیت می باشد. وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه های معرف به خصوص در سال های اخیر، متخصصان و بهره برداران را دچار مشکل کرده

(۱۳) برای ارزیابی جریان‌های کم از داده‌های مربوط به ۱۲۸ ایستگاه هیدرومتری در حوزه کرخه و کارون استفاده نمودند. برای انتخاب پارامترهای مدل رگرسیونی، جریان‌های  $Q_{75\%}$ ،  $Q_{90\%}$ ،  $Q_{92\%}$ ،  $Q_{95\%}$  و  $Q_{99\%}$  را محاسبه و ارزیابی نمودند. نکته قابل توجه در تحقیقات آنها انتخاب دو پارامتر شاخص جریان پایه و ضریب کاهش دبی پایه می‌باشد. اسلامیان و همکاران (۴) پس از تحلیل فراوانی نقطه‌ای جریان‌های کم با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال در رودخانه‌های استان مازندران، توزیع لوگ پیرسون نوع سوم را برای برآورد جریان کم به کار بردند.

علاوه بر خصوصیات فیزیوگرافی حوزه، تأثیر متغیرهایی چون دما و بارش در تغییر جریان‌های کم قابل اهمیت می‌باشند، چرا که ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد (۱۱). دما و بارش از متغیرهای مهم در هیدرولوژی و منابع آب می‌باشند. برای شبیه‌سازی این دو متغیر برای دوره‌های آینده، معتبرترین ابزار موجود خروجی مدل‌های دینامیکی گردش عمومی جو می‌باشد. در این مدل‌ها، رابطه فرآیندهای اتمسفر، یخ کره و سطح زمین را روی یک شبکه گسترده سه بعدی در سیستم مختصات کروی به صورت معادلات تفاضل محدود درآورده و آنها را حل می‌نماید (۳). خروجی این معادلات، پیش‌بینی مقادیر متغیرهای اقلیمی در دوره‌های سی ساله آینده می‌باشد. این مدل‌ها به دلیل دارا بودن قدرت تفکیک پایین قابل استفاده در مطالعات

خسارات شدید به محیط زیست رودخانه‌ها است. جریان کم سالانه را می‌توان به عنوان کمترین جریان متوسط روزانه در یک سال تعریف کرد. به عبارتی کمترین جریان متوسط در چند روز پیاپی از قبیل هفت روز در طول یک سال است (۱۰). علت محاسبه جریان کم برای روزهای پیاپی به حداقل رساندن اثر تغییرها و نوسان‌های جریان است. دلایل وجود این جریان می‌تواند کاهش عمق بارش، میزان تبخیر، کاهش ذخیره آب یا یخ زدن آب و خاک در کوهستان‌ها و متوقف شدن جریان‌های منتهی به رودخانه باشد (۱۱).

کرول و همکاران (۷) برای بهبود و توسعه مدل‌های رگرسیونی جریان‌های کم، در حوزه‌های آبخیز ایالات متحده پارامترهای متعددی چون خصوصیات توپوگرافی، هیدرولوژیک، زمین‌شناسی و هواشناسی را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها توزیع لوگ پیرسون نوع سوم را در محاسبه  $Q_{7,10}$ ، برای حوزه‌های ایالات متحده مناسب‌ترین توزیع دانستند. ثقفیان (۹) طی مطالعاتی در زمینه جریان‌های کم بر روی رودخانه‌های استان گیلان، برای مدل‌سازی جریان‌های کم از دبی‌های ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۰۰ روزه با دوره بازگشت دو سال استفاده نمود و با آزمون من کندال توزیع‌های متفاوتی را مقایسه نموده است. در نهایت محاسبات او نشان داد که توزیع لوگ نرمال برای دبی‌های کمتر از ۶۰ روز و توزیع لوگ پیرسون نوع سوم برای دبی‌های بیشتر از ۶۰ روز بهتر می‌باشد. زرین و همکاران

محلّی نمی‌باشند. لذا یکی از روش‌های افزایش قدرت تفکیک مکانی این مدل‌ها، ریز مقیاس نمودن خروجی آنها می‌باشد (۱۲). به طور کلی چهار روش ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد. این روش‌ها عبارتند از: ۱- روش آماری، ۲- روش الگوهای آب و هوا، ۳- روش احتمالی، ۴- روش دینامیکی. از بین این روش‌ها، روش آماری به متغیرهای کمتری نسبت به سایر روش‌ها احتیاج داشته و به همین دلیل در کاربردهای علوم آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۱). از جمله مدل‌های آماری ریزمقیاس‌SDSM<sup>۱</sup>، LARS-WG<sup>۲</sup> و ASD<sup>۳</sup> می‌باشد (۳). در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان‌های کم، آرئل (۲) دستاوردهایی در زمینه تغییر اقلیم روی جریان‌های کم در منطقه‌ای در ایالات متحده کسب نمود. وی نتیجه گرفته که تغییرات اقلیمی تمایل زیادی بر کاهش جریان‌های کم از خود نشان می‌دهند. همچنین او یک روند کاهشی بسیار آشکار روی جریان‌های کم در سال ۲۰۲۰ را پیش‌بینی نموده است. شوئن و همکاران (۱۱) بهترین مدل رگرسیونی Q<sub>7,10</sub> را برای جریان‌های کم در منطقه‌ای در ایالت متحده مربوط به حوزه اقیانوس اطلس، با استفاده از پارامترهای دما و بارش بدست آورده‌اند و برای پیش‌بینی دما و بارش از ۴ مدل GCM استفاده نموده‌اند. مساح و مرید (۸) تأثیر تغییرات اقلیمی روی دما، بارندگی و رواناب در حوزه آبخیز زاینده‌رود را تحت دو سناریوی اقلیمی برای دو دوره

محلی نمی‌باشند. لذا یکی از روش‌های افزایش قدرت تفکیک مکانی این مدل‌ها، ریز مقیاس نمودن خروجی آنها می‌باشد (۱۲). به طور کلی چهار روش ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد. این روش‌ها عبارتند از: ۱- روش آماری، ۲- روش الگوهای آب و هوا، ۳- روش احتمالی، ۴- روش دینامیکی. از بین این روش‌ها، روش آماری به متغیرهای کمتری نسبت به سایر روش‌ها احتیاج داشته و به همین دلیل در کاربردهای علوم آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است (۱). از جمله مدل‌های آماری ریزمقیاس‌SDSM<sup>۱</sup>، LARS-WG<sup>۲</sup> و ASD<sup>۳</sup> می‌باشد (۳). در زمینه تأثیر تغییرات اقلیمی بر جریان‌های کم، آرئل (۲) دستاوردهایی در زمینه تغییر اقلیم روی جریان‌های کم در ایالات متحده کسب نمود. وی نتیجه گرفته که تغییرات اقلیمی تمایل زیادی بر کاهش جریان‌های کم از خود نشان می‌دهند. همچنین او یک روند کاهشی بسیار آشکار روی جریان‌های کم در سال ۲۰۲۰ را پیش‌بینی نموده است. شوئن و همکاران (۱۱) بهترین مدل رگرسیونی Q<sub>7,10</sub> را برای جریان‌های کم در منطقه‌ای در ایالت متحده مربوط به حوزه اقیانوس اطلس، با استفاده از پارامترهای دما و بارش بدست آورده‌اند و برای پیش‌بینی دما و بارش از ۴ مدل GCM استفاده نموده‌اند. مساح و مرید (۸) تأثیر تغییرات اقلیمی روی دما، بارندگی و رواناب در حوزه آبخیز زاینده‌رود را تحت دو سناریوی اقلیمی برای دو دوره

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

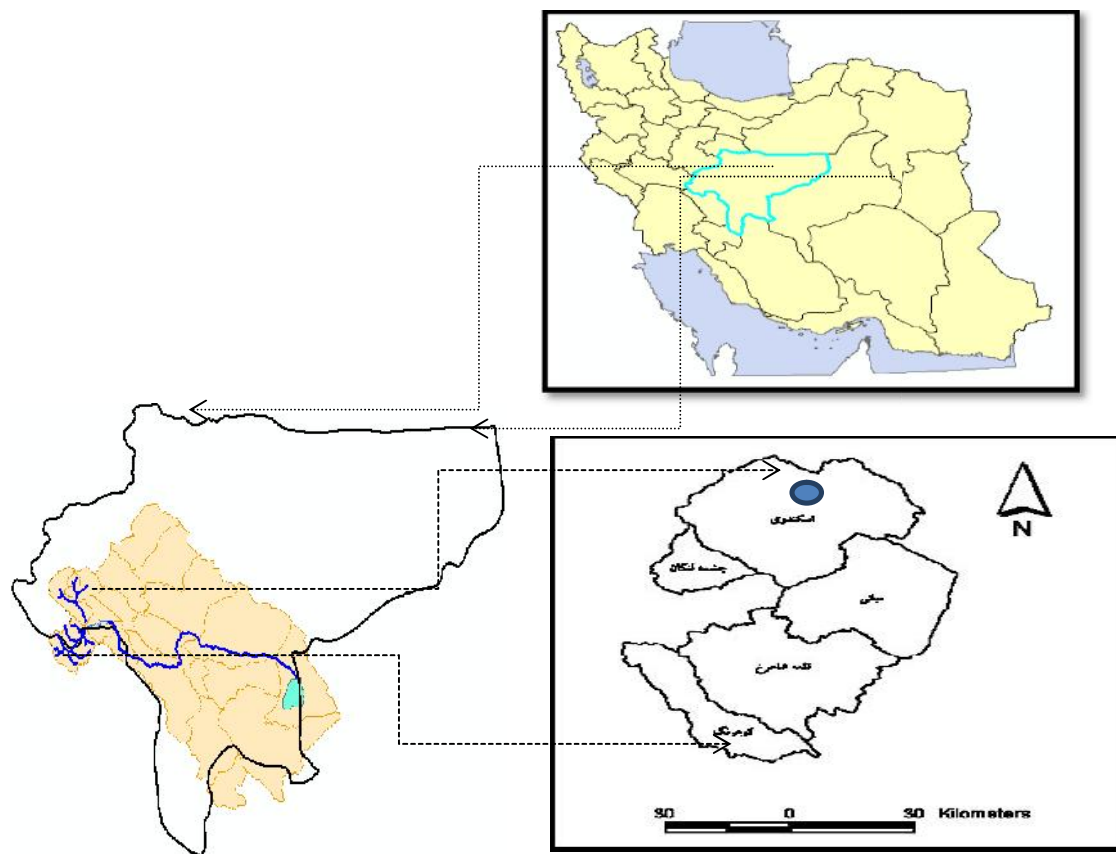
منطقه مورد نظر حوزه آبخیز زاینده‌رود در قسمت بالادست سد می‌باشد. در قسمت شمالی حوزه آبخیز سد زاینده‌رود، رودخانه اسکندری با طول ۵۲/۲۵ کیلومتر و مساحت ۱۸۳۶/۹۵ کیلومترمربع واقع شده است. داده‌های ۳۰ ساله آماری (۱۳۷۸-۱۳۴۹) برای پارامتر بارندگی از ایستگاه اسکندری واقع در این زیرحوزه دریافت شد. ایستگاه اسکندری واقع در این حوزه در موقعیت جغرافیایی ۳۲° ۴۹' ۲۰" شمالی و ۵۲° ۲۵' ۵۰" شرقی و در ارتفاع ۲۱۳۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. موقعیت زیرحوزه

1- Statistical Downscaling Model

3- Automated Statistical Downscaling

2- Stochastic Weather Generator

اسکندری در شکل (۱) نمایش داده شده است.

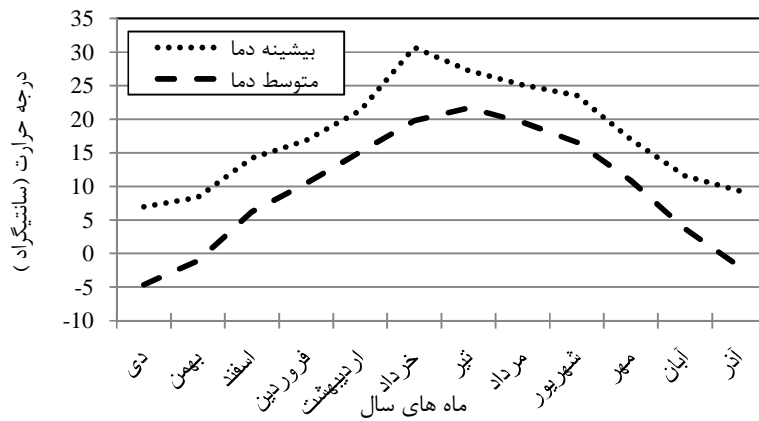


شکل ۱- موقعیت زیرحوزه اسکندری

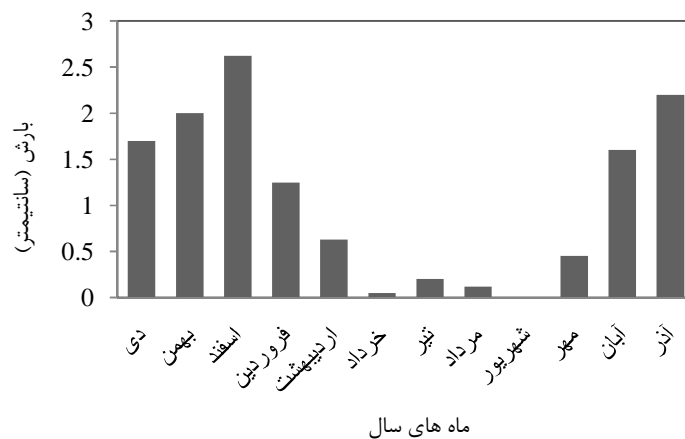
ایستگاه کليماٲولوژی سينگرد واقع در زیرحوزه اسکندری جهت دریافت داده‌های مشاهداتی دما برای سال‌های (۱۳۷۸-۱۳۴۹) انتخاب شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه سينگرد واقع در محدوده زیرحوزه اسکندری،  $32^{\circ} 47'$  شمالی و  $50^{\circ} 26'$  شرقی می‌باشد. مقادیر متوسط و بیشینه ماهانه دما و متوسط بارندگی در طول دوره‌های آماری

(۱۹۷۱-۲۰۰۰) در زیرحوزه اسکندری در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. به عنوان نمونه، منحنی تداوم جریان برای چهار سال در طی ۳۰ سال مشاهداتی مورد مطالعه و در طی چهار دهه رسم شده است. شکل‌های ۴ (الف تا د) منحنی‌های تداوم جریان برای حوزه مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۴۹، ۱۳۵۹، ۱۳۶۹ و ۱۳۷۸ را نشان می‌دهد. همچنین منحنی

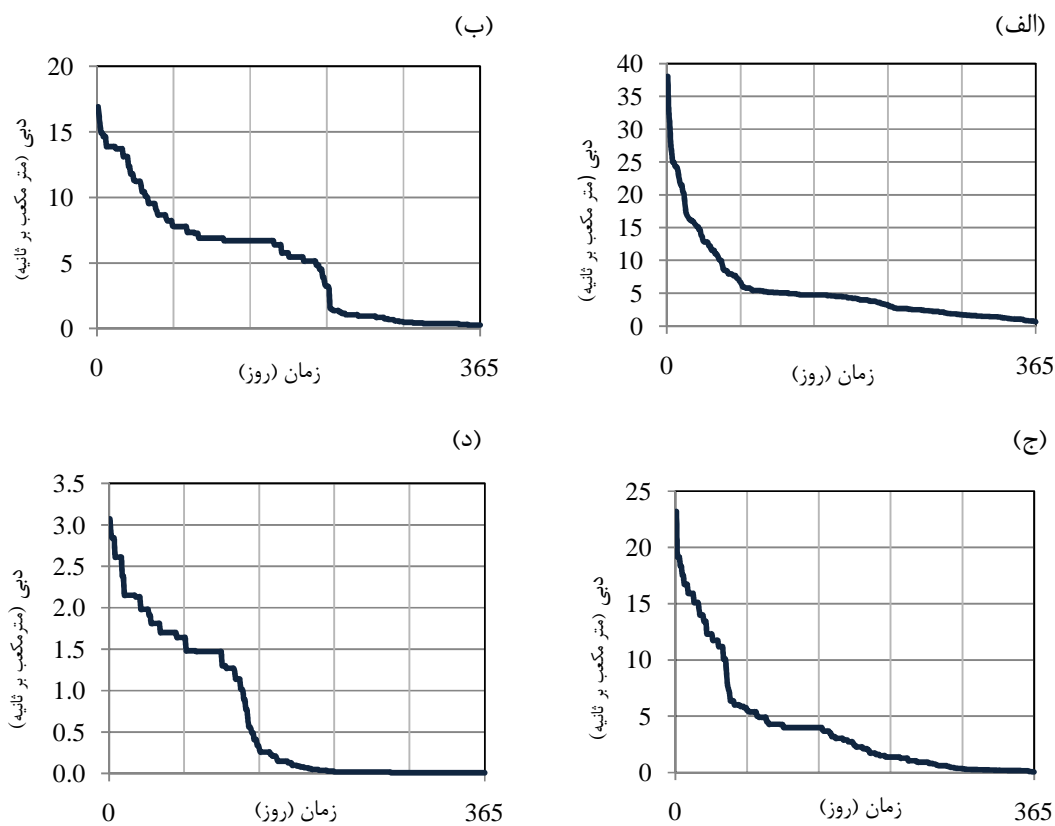
تغییرات دبی در طول دوره ۳۰ سال آماری است.  
 در شکل ۵ نشان داده شده (۱۳۴۹-۱۳۷۸)



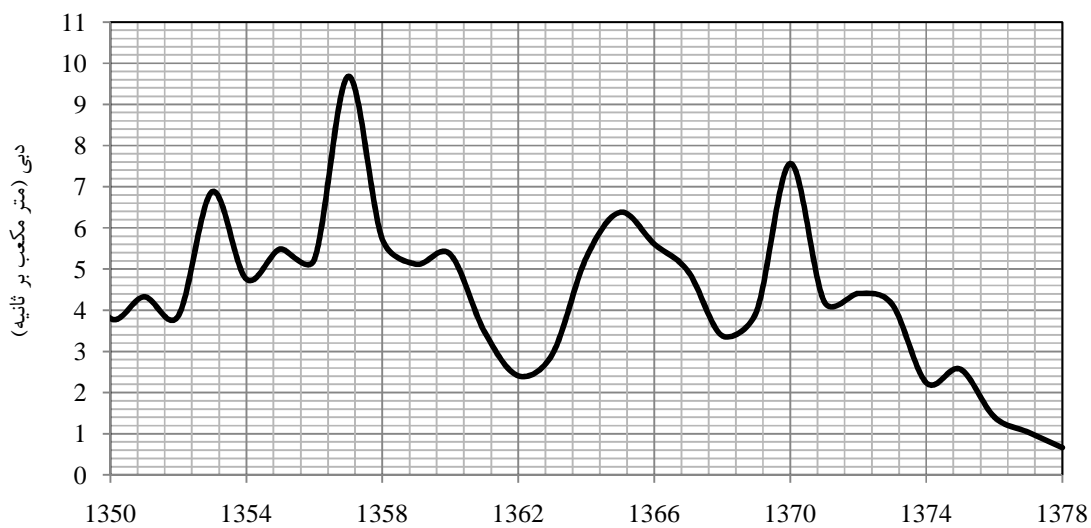
شکل ۲- الگوی تغییرات درجه حرارت متوسط و بیشینه در دوره (۱۳۴۹-۱۳۷۸) در ایستگاه کلیماتولوژی سینگرد.



شکل ۳- توزیع ماهانه بارش طی دوره (۱۳۴۹-۱۳۷۸) در ایستگاه اسکندری.



شکل ۴- منحنی تداوم جریان برای سال‌های ۱۳۴۹ (الف)، ۱۳۵۹ (ب)، ۱۳۶۹ (ج) و ۱۳۷۹ (د).



شکل ۵- منحنی تغییرات حجم آبدهی رودخانه اسکندری در دوره (۱۳۷۸-۱۳۵۰)

## ریز مقیاس نمایی خروجی‌های مدل HadCM3 و مدل ASD

جهت استفاده از متغیرهای دما و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل گردش عمومی (HadCM3)، از مدل ریز مقیاس آماری ASD استفاده شد. مدل ASD، توسط حسامی کرمانی و همکاران در سال ۲۰۰۸ ارائه شد (۵). این مدل از روش ریز مقیاس آماری SDSM الگو گرفته که تحت محیط MATLAB اجرا می‌شود. اصول ریز مقیاس نمایی در مدل ASD بر اساس ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی شونده‌ها<sup>۱</sup> و پیش‌بینی کننده‌ها<sup>۲</sup> با استفاده از دو روش رگرسیون گام به گام و همبستگی جزئی می‌باشد (۵). از ۳۰ سال آمار مشاهداتی، مدل به طور خودکار از داده‌های متعلق به ۱۵ سال اول برای واسنجی و ۱۵ سال بعد برای ارزیابی مدل استفاده می‌نماید. در ریز مقیاس نمایی آماری متغیرهای مورد پیش‌بینی به عنوان متغیرهای وابسته استفاده می‌شوند. برای انجام عمل ریز مقیاس در ASD، ابتدا بین داده‌های NCEP<sup>۳</sup> و دما (بارندگی) در طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۶۳، با ایجاد روابط رگرسیونی، مدل واسنجی می‌شود. سپس با استفاده از اطلاعات موجود دما (بارندگی)، مقادیر پیش‌بینی برای سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۹ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نتیجه با بررسی دقت مدل در هر کدام از دوره‌های واسنجی<sup>۴</sup> و ارزیابی<sup>۵</sup>، با توجه

به RMSE<sup>۶</sup> مربوط به هر مرحله، دما (بارندگی) در طی دوره‌های (۱۴۱۸-۱۳۸۹)، (۱۴۴۸-۱۴۱۹) و (۱۴۷۷-۱۴۴۹) پیش‌بینی می‌شود. نتایج مدل ASD برای درجه حرارت بیشینه پس از واسنجی و ارزیابی مدل، درجه حرارت بیشینه با استفاده از خروجی‌های مدل اقلیم HadCM3 تحت سناریو A2، برای دوره‌های ۳۰ ساله (۱۴۱۸-۱۳۸۹)، (۱۴۴۸-۱۴۱۹) و (۱۴۷۷-۱۴۴۹) پیش‌بینی شدند. سناریو A2 بحرانی‌ترین حالت با توجه به افزایش جمعیت را در نظر می‌گیرد. خلاصه‌ای از مشخصات دو سناریو، که شرایط بحرانی‌تری نسبت به دیگر سناریوها دارند، در جدول ۱ آورده شده است. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده، بیشترین افزایش دما برای درجه حرارت بیشینه مربوط به دوره سوم پیش‌بینی یعنی طی سال‌های (۱۴۷۷-۱۴۴۹) و مربوط به ماه مهر بوده است. بر اساس این پیش‌بینی درجه حرارت بیشینه در این دوره ۴/۷ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. افزایش درجه حرارت در دوره‌های دوم و اول پیش‌بینی بر اساس این سناریو به ترتیب ۳/۶۷ و ۳/۱ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه خواهد بود. در این خصوص تغییرات درجه حرارت برای سه دوره پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه (۱۴۴۷-۱۴۴۹)، نیز در جدول ۲ آورده شده است.

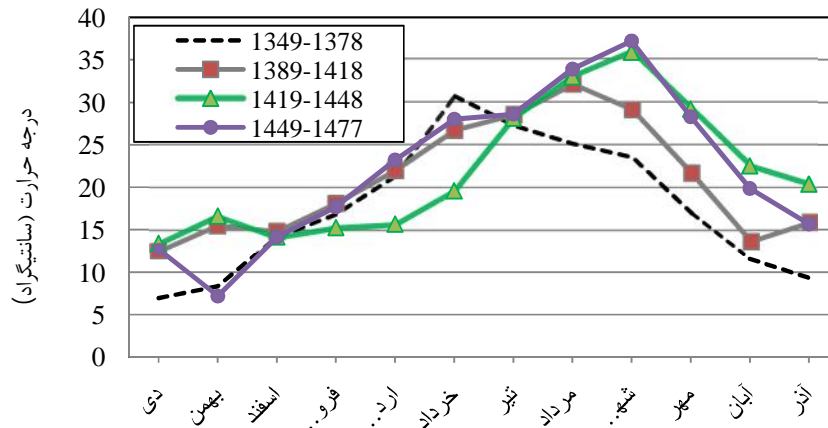
1- Predictands  
4- Calibration

2- Predictors  
5- Validation

3- National Centers for Environmental Prediction  
6- Root Mean Square Error

جدول ۱- خلاصه‌ای از مشخصات سناریوهای اقلیمی SRES در سال ۱۴۷۸ (تغییرات نسبت به سال ۱۳۶۸-۱۳۳۹ می باشد) (۶)

B2	A2	خصوصیت سناریو
۱۰/۴	۱۵/۱	جمعیت (بیلیون نفر)
۶۰۱	۸۳۴	غلظت CO2 (ppmv)
(۱/۵-۳/۱)	۲/۱	تغییر دمای میانگین کره زمین (C <sup>0</sup> )



شکل ۶- الگوی تغییرات درجه حرارت بیشینه طی دوره های پیش بینی شده

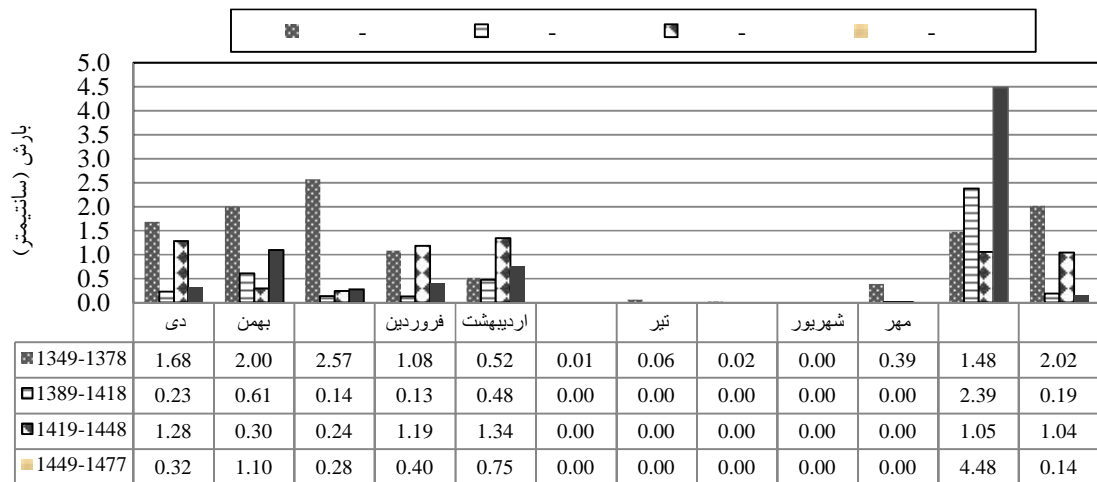
### نتایج مدل ASD برای بارش

پس از واسنجی و ارزیابی مدل، متوسط بارندگی در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از خروجی‌های مدل اقلیم HadCM3 تحت سناریو A2، برای دوره‌های ۳۰ ساله (۱۴۱۸-۱۳۸۹)، (۱۴۴۸-۱۴۱۹) و (۱۴۷۷-۱۴۴۹) پیش بینی شده‌اند. بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده (شکل ۷) کاهش بارندگی در هر سه دوره در بیشتر ماه‌ها بسیار واضح است. همان‌طور

که نشان داده شده، بر اساس این پیش‌بینی بیشترین کاهش بارندگی نسبت به دوره پایه مربوط به ماه اسفند برای دوره اول پیش‌بینی و بیشترین افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه مربوط به ماه آبان برای دوره سوم پیش‌بینی می‌باشد. به طور کلی کمترین کاهش نسبت به دوره آماری در دوره سوم پیش‌بینی با ۱۰/۳۸ درصد اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۲- نتایج تغییرات و درصد افزایش درجه حرارت در دوره‌های پیش‌بینی تحت سناریو A2

A2		دوره زمانی
درصد	تغییر	
۱۸	۳/۲	(۱۳۸۹-۱۴۱۸)
۲۴	۴/۳۱	(۱۴۴۸-۱۴۱۹)
۲۵	۴/۵۳	(۱۴۷۷-۱۴۴۹)



شکل ۷- توزیع متوسط بارش ماهانه درازمدت طی دوره مشاهداتی و دوره‌های پیش بینی شده توسط تحت سناریوی A2

Q<sub>7,T</sub> جریان کم هفت روزه با دوره بازگشت T سال.

برای انتخاب پارامترهای مؤثر در مدل از سه روش: ۱- آنالیز عاملی بین تمام پارامترها، ۲- ارتباط بین سری زمانی دبی Q<sub>7</sub> و سری زمانی پارامترها در دوره ۱۰ ساله، ۳- بررسی همبستگی بین سری زمانی Q<sub>7</sub> و سری زمانی پارامترها استفاده شد. متغیرهای اقلیمی بیشینه دما و متوسط بارش در بازه‌های ماهانه و فصلی در طول دوره ۱۰ ساله توسط سه روش ذکر شده، مورد بررسی قرار گرفتند و مؤثرترین متغیرها برای دوره اول آمار مشاهداتی انتخاب شدند. به طور مثال (P<sub>Aver Spr-Sum</sub>)، متوسط بارش در طول فصل‌های بهار و تابستان می‌باشد. پارامترهای مؤثر در جدول ۳ نشان داده شده است. در تحلیل فراوانی جهت حفظ دقت نتایج، کمترین دوره آماری مورد نیاز ۱۰ سال می‌باشد (۴). لذا بازه‌های محاسبه Q<sub>7,T</sub> در

به دست آوردن سری‌های زمانی جریان کم هفت روزه، انتخاب پارامترهای مؤثر و

#### مدل‌سازی Q<sub>7</sub>

میانگین متحرک هفت روز پیاپی دبی رودخانه به عنوان Q<sub>7</sub> و کمترین مقدار آن در ۳۶۵ روز در هر سال، به عنوان کمترین جریان هفت روزه در نظر گرفته می‌شود. بدین صورت در طول ۳۰ سال آمار دبی روزانه، با سری زمانی ۱۰ ساله (۱۳۵۹-۱۳۴۹)، مدل رگرسیونی Q<sub>7</sub> برای این حوزه ساخته شد. محققان در اکثر موارد روابطی به شکل زیر را به عنوان روابط برگزیده برای جریان‌های کم انتخاب کرده‌اند:

$$Q_{7,T} = 10^{(b_0 + b_1 \log X_1 + b_2 \log X_2 + \dots)} \quad (1)$$

b<sub>i</sub>ها ضرایبی هستند که با استفاده از رگرسیون چند متغیره برآورد می‌شوند. X<sub>i</sub> پارامترهای مدل شامل دما و بارش (ماهانه، فصلی) که با استفاده از روش‌های متفاوتی انتخاب می‌شوند.

مرحله دوم مدل‌سازی نیز ۱۰ ساله در نظر گرفته شدند.

**محاسبه  $Q_7$  برای دوره‌ها، انتخاب مناسب‌ترین توزیع و محاسبه  $Q_{7,T}$**

برای دو دوره ۱۰ ساله (۱۳۴۹-۱۳۵۹) و (۱۳۶۹-۱۳۷۸) مدل‌های ساخته شده  $Q_7$  در مرحله اول، اجرا شد. بدین ترتیب در بازه‌های دوم و سوم، سه دسته دبی با ترکیب مختلفی از پارامترهای مؤثر ایجاد می‌شود. پس از محاسبه توزیع‌های تئوری برای دبی‌های دو دوره ۱۰ ساله با استفاده از نرم افزار SMADA 6.0 و با اعمال آزمون  $k-s$  روی خروجی‌های این مدل بهترین توزیع، توزیع نرمال و لوگ نرمال سه متغیره انتخاب شد. برای کاربرد توزیع مورد نظر در تحلیل فراوانی رابطه (۲) پیشنهاد شده است:

$$X_T = M + KS \quad (2)$$

$X_T$  میانگین دبی،  $S$  انحراف معیار،  $K$  عامل فراوانی (رابطه بین  $K$  و  $T$  در مراجع هیدرولوژی برای توزیع‌های مختلف ارائه شده)،  $X_T$  اندازه دبی با دوره بازگشت  $T$  سال (۴). در برآورد جریان‌های کم از رابطه (۲) به شکل رابطه (۳) استفاده می‌شود، چرا که مقدار عامل فراوانی به ازای احتمال  $P$  برابر با مقدار آن به ازای احتمال  $(1-P)$  ولی با علامت قرینه می‌باشد (۴).

$$X_T = M - KS \quad (3)$$

رگرسیون گام به گام برای مدل‌سازی  $Q_{7,T}$  با استفاده از رابطه (۳) هر یک از مقادیر  $Q_{7.5}$

$Q_{7,10}$  و  $Q_{7,20}$ ها برای هر دوره در هر حالت محاسبه شد. در نهایت جهت مدل‌سازی روابط  $Q_{7,T}$  برای دوره‌های آینده از روش رگرسیون‌گیری چندمتغیره گام به گام در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در روش گام به گام اولین متغیر پیش‌بینی بر اساس بالاترین ضریب همبستگی صفر مرتبه وارد تحلیل می‌شود. از آن پس سایر متغیرهای پیش‌بینی برحسب ضریب همبستگی جزئی و نیمه جزئی در تحلیل وارد می‌شوند. در این روش پس از ورود هر متغیر جدید ضریب همبستگی نیمه تفکیکی یا تفکیکی، تمام متغیرهایی که قبلاً در رابطه وارد شده‌اند را به عنوان آخرین متغیر ورودی مورد بازبینی قرار می‌گیرد و چنانچه با ورود متغیر جدید معنی داری خود را از دست داده باشد، از رابطه خارج می‌شود (۱۱). رابطه  $Q_{7,T}$  (به شکل رابطه ۱) به دست آمده برای این زیرحوزه توسط مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل HadCM3، اجرا شده و بر اساس خطای نسبی برای انتخاب مدل مورد نظر تصمیم‌گیری شده است. رابطه خطای نسبی به صورت رابطه (۴) می‌باشد:

$$\text{خطای نسبی} = \frac{|\hat{Q}_{7,T} - Q_{7,T}|}{Q_{7,T}} \quad (4)$$

که در آن اختلاف بین مقادیر برآورد شده و مشاهداتی دبی‌های ۷ روزه با دوره بازگشت معین نسبت به دبی  $Q_{7,T}$  مشاهداتی محاسبه می‌شود.

## نتایج و بحث

ترتیب روابط ایجاد شده برای این پارامترها به فرم روابط ۵، ۶ و ۷ بدست آمده‌اند. بیشترین ضریب همبستگی در این سه رابطه مربوط به رابطه (۵) می‌باشد که پارامترهای آن از طریق آنالیز عاملی انتخاب شدند. آنالیز عاملی انجام شده از طریق دستور آنالیز فاکتورها در نرم‌افزار SPSS صورت پذیرفت.

مهم‌ترین مرحله در بدست آوردن مدلی مناسب برای دبی‌های کم با دوره بازگشت معین ایجاد رابطه‌ای است که بتواند به بهترین نحو و با ترکیب مؤثرترین پارامترها در این زیرحوزه معرف جریان‌های هفت روز متوالی باشد. مؤثرترین پارامترها در ایجاد جریان در جدول ۳ نشان داده شده و بدین

جدول ۳- پارامترهای مؤثر برای مدل‌سازی Q<sub>7</sub>

پارامترهای مؤثر حاصل از روش‌ها	روش انتخاب پارامتر
T <sub>Max Apr</sub> , T <sub>Max Aug</sub> , P <sub>Aver Win</sub> , P <sub>Aver Spr</sub> , P <sub>Aver Nov</sub> , P <sub>Aver Fal-Win</sub>	آنالیز عاملی
T <sub>Max Jul</sub> , P <sub>Aver Jan</sub> , P <sub>Aver Oct</sub> , P <sub>Aver Nov</sub> , T <sub>Max Sum</sub> , P <sub>Aver Mar</sub>	ارتباط سری‌های زمانی
P <sub>Aver Sum</sub> , P <sub>Aver Fal</sub> , P <sub>Aver Feb</sub> , P <sub>Aver Spr-Sum</sub>	بررسی همبستگی
$Q_7 = 10^{(0.124 + 2.26 \log T_{Max Apr} - 2.05 \log T_{Max Aug} - 0.47 \log P_{Ave Win} + 0.5 \log P_{Ave Spr} + 0.3 \log P_{Ave Nov} + 0.5 \log P_{Ave Fal-Win})}$	(۵)
$Q_7 = 10^{(8.08 - 10.11 \log P_{Ave Jan} - 0.56 \log P_{Ave Oct} + 0.342 \log P_{Ave Nov} + 4.66 \log T_{Max Sum} - 0.58 \log P_{Ave Mar})}$	(۶)
$Q_7 = 10^{(-0.003 + 0.147 \log P_{Ave Sum} + 0.34 \log P_{Ave Fal} - 0.18 \log P_{Ave Feb} + 0.47 \log P_{Ave Spr-Sum})}$	(۷)

همبستگی و خطای محاسبه شده در هر مدل بهترین روابط ارائه شدند. در نهایت بهترین روابط به صورت معادلات ۸ الی ۱۰ در جدول ۴ آورده شدند. مقادیر دبی‌های برآورد شده برای سه دوره اقلیمی (۱۳۸۹-۱۴۱۸)، (۱۴۴۸-۱۴۱۹) و (۱۴۴۹-۱۴۷۷) با استفاده از روابط ۸ الی ۱۰ برآورد شده است. در ادامه مقادیر خطای نسبی محاسبه شده برای هر یک از روابط حاصل شده برای دبی‌های هفت روزه با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ سال در جدول ۵

با وجود روابط جریان کم با تداوم هفت روز برای زیرحوزه مورد نظر، می‌توان میزان Q<sub>7</sub> را برای دوره‌های دیگر محاسبه نمود. مقادیر دبی بدست آمده با دوره‌های بازگشت در جدول ۴ آورده شده است. پس از محاسبه مقادیر دبی با دوره‌های بازگشت متفاوت مدل رگرسیونی Q<sub>7,T</sub> ساخته شد. بدین ترتیب با استفاده از روش رگرسیون گام به گام مدل‌های متفاوتی برای هر دوره بازگشت با ترکیب متفاوت از پارامترها ساخته شد که با توجه به معیارهای ضریب

جریان پیش‌بینی شده برای هر دوره در این مقاله، به تنهایی به تغییرات بارندگی طی دوره‌های ۳۰ ساله برنمی‌گردد. بلکه ترکیب دما و بارندگی به طور همزمان در ر و ضرایب مدل برای هر یک از پارامترها دلیل نوسانات جریان‌های هفت روزه در این حوزه می‌باشد.

نشان داده شده است. هم‌چنین مقادیر برآورد شده برای هر دوره در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج کمترین مقدار جریان برای  $Q_{7,20}$  و  $Q_{7,5}$  مربوط به دوره اول پیش‌بینی و کمترین مقدار جریان برای  $Q_{7,10}$ ، مربوط به دوره دوم پیش‌بینی می‌باشد. علت افزایش یا کاهش

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده برای دبی‌ها با دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰ و ۲۰ سال مربوط به دو دوره آماری (۱۳۶۰-۱۳۷۰) و (۱۳۷۰-۱۳۷۹)

با استفاده از پارامترهای روش اول (رابطه ۵)		با استفاده از پارامترهای روش دوم (رابطه ۶)		با استفاده از پارامترهای روش سوم (رابطه ۷)	
نرمال	لوگ نرمال	نرمال	لوگ نرمال	نرمال	لوگ نرمال
$Q_{7,5}$	$Q_{7,5}$	$Q_{7,5}$	$Q_{7,5}$	$Q_{7,5}$	$Q_{7,5}$
$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$	$Q_{7,10}$
$Q_{7,20}$	$Q_{7,20}$	$Q_{7,20}$	$Q_{7,20}$	$Q_{7,20}$	$Q_{7,20}$
۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۲۳
۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۹
۰/۲۳	با این توزیع مطابقت ندارند	۰/۳	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۳۴
۰/۱۷		۰/۲	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۲۳
۰/۱۲		۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۱۶

$$Q_{7,5} = 10^{(-7.84 + 0.55 \log T_{Max Jan} - 0.97 \log P_{Ave Fal} - 0.35 \log T_{Max Dec} + 5.6 \log T_{Max Oct})}$$

(R=۰/۹۹, SD=۰/۰۲, n=۶) (۸)

$$Q_{7,10} = 10^{(-1.41 + 0.014 \log T_{Max Jan} - 3.38 \log P_{Ave Spr} - 0.65 \log P_{Ave Mar} + 2.27 \log P_{Ave Apr})}$$

(R=۰/۹۸, SD=۰/۸۶, n=۶) (۹)

$$Q_{7,20} = 10^{(-5.68 + 2.42 \log P_{Ave Oct} + 3.88 \log T_{Max Jan} + 12.3 \log T_{Max Dec} - 8.94 \log T_{Max Feb})}$$

(R=۰/۹۸, SD=۰/۱۵, n=۶) (۱۰)

جدول ۵- میانگین، حداقل و حداکثر درصد خطاهای نسبی

دوره بازگشت	میانگین	حداقل	حداکثر
۵	۱/۶	۰/۰۸۳	۳/۴
۱۰	۲/۲	۰/۲	۳/۷
۲۰	۰/۱۳	۱/۵	۲/۸

جدول ۶- مقادیر برآورد شده برای سه دوره اقلیمی آینده بر اساس روابط ۸ تا ۱۰

رابطه دبی	دوره زمانی- سناریو	$Q_{7,5} (m^3 s^{-1})$	$Q_{7,10} (m^3 s^{-1})$	$Q_{7,20} (m^3 s^{-1})$
۸	A2-(۲۰۱۱-۲۰۴۰)	۰/۷۶۹	۰/۳۰۳	۰/۰۰۰۰۳۰۴
۹	A2-(۲۰۴۱-۲۰۷۰)	۴/۷۳	۰/۲۶۲	۰/۰۰۱۵
۱۰	A2-(۲۰۷۱-۲۰۹۹)	۱/۹۷	۰/۲۹۲	۰/۱۳۱۶

شده است. از طرفی کاهش ۲۱/۳۶ درصدی بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه از عواقب تغییرات اقلیمی و خطرات وقوع خشکسالی خواهد بود. از طرفی برآورد حداقل جریان رودخانه‌ها مستلزم دسترسی کامل به اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیک منطقه می‌باشد. هم‌چنین مدل‌سازی جریان در جهت ایجاد روابط خاص برای هر منطقه نیز نیازمند کشف عوامل مؤثر در کاهش جریان حوزه آبریز می‌باشد. براساس آزمون سعی و خطا در انتخاب پارامترها، ترکیب چهار تایی از پارامترهای دما و بارش بیشترین تأثیر را روی ایجاد حداقل جریان در هفت روز متوالی در این حوزه از خود نشان داده‌اند. در هر سه دوره بازگشت شاخص‌های فصول زمستان و پاییز وارد مدل شده‌اند. وجود نوسانات شدید درجه حرارت در ارتفاعات و ذوب برف، شدت تبخیر در ماه‌های سرد، کم و زیاد شدن بارش‌های فصلی و غیره می‌تواند دلیل وجود این متغیرها در مدل باشد. با توجه به تعداد پارامترها، مقادیر ضرایب همبستگی روابط ایجاد شده، نشان از خوب مدل شدن متغیرهای اقلیم برای جریان دارد. چرا که پس از دو مرحله مدل‌سازی مؤثرترین عوامل برای ایجاد حداقل جریان در سال‌های متممادی انتخاب شده‌اند. هر چند که وجود خطای کم در این نوع مدل‌سازی (روابط نهایی ۸ تا ۱۰) که تنها برای یک ایستگاه صورت می‌گیرد لازمه دقت کار می‌باشد. زیرا وجود یک ایستگاه برای مدل‌سازی به مراتب حساس‌تر از ایجاد رابطه در چندین ایستگاه و آنالیز

افزایش گازهای گلخانه‌ای به سبب پیشرفت جوامع بشری، تغییرات شدید اقلیم را در دوره‌های آینده به معضلی بسیار جدی در سطح جهان تبدیل نموده است. تأثیر مستقیم و غیرقابل انکار شاخص‌های اقلیمی، چون درجه حرارت و بارش روی منابع آبی ضرورت مطالعات در این زمینه را محرز نموده است. در سال‌های اخیر، مدل‌های GCM به عنوان کاربردی‌ترین روش در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی معرفی شده‌اند. با استفاده از ریز مقیاس نمایی خروجی این مدل‌ها امکان تجزیه و تحلیل تغییرات منطقه‌ای فراهم خواهد شد. در این مطالعه با توجه به کاربردی بودن روش‌های آماری در مطالعات اقلیمی، از مدل ASD جهت ریز مقیاس نمودن خروجی‌های مدل HadCM3 استفاده شد. نتایج حاکی از افزایش ۲۶/۵ درصدی بیشترین درجه حرارت دوره‌های آینده نسبت به دوره (۱۳۷۸-۱۳۴۹) خواهد بود. این افزایش براساس پیش فرض سناریوی A2، با بیشترین افزایش جمعیت، بیشترین افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ولی کمترین نرخ رشد اقتصادی نسبت به دیگر سناریوها در دوره‌های آینده صورت گرفته است. جابه‌جایی نقاط بیشینه درجه حرارت از ماه‌های گرم سال به ماه‌های بعدی از دیگر اثرات و تغییرات اقلیمی در این منطقه خواهد بود. چرا که طبق دوره‌های پیشین انتظار می‌رود بیشترین افزایش دما مربوط به ماه‌های خرداد و تیر باشد ولی در این پیش‌بینی‌ها نقاط بیشینه از این ماه‌ها به ماه‌های مرداد و شهریور سوق داده

هیدرولوژیک این حوزه در سال‌های اخیر، ارزیابی تغییرات پارامترهای دما و بارش در این حوزه تحت تأثیر نوسانات جهانی پیش‌بینی شده برای اقلیم، در هر شرایط مورد نیاز می‌باشد. سرآغاز این تحقیق با هدف بررسی عوامل آب و هوایی در ایجاد خشکسالی هیدرولوژیک ایجاد شد و با کسب نتایج و پیشنهاد در زمینه مطالعات هر چه بیشتر در خصوص آنالیز زمانی سرانجام یافت. در نظرگرفتن فاکتور زمان در ایجاد جریان‌ها می‌تواند زمینه بسیاری از مطالعات کاربردی در خصوص وقایع حدی را افزایش دهد. هم‌چنین انجام این تحقیق و کسب نتیجه از آن حمایتی از روش‌های ساخت داده با استفاده از متغیرهای تأثیرگذار در خود منطقه می‌باشد. در نهایت می‌توان ادعا کرد به کارگیری تکنیک‌های آماری و روش‌های داده محور جهت خلأ بانک اطلاعاتی خالی از نتایج ارزشمند نخواهد بود.

منطقه‌ای خواهد بود. به عبارتی همان طور که در ایجاد رابطه بین عوامل مؤثر با محدودیت روبرو هستیم برای قابل قبول بودن مدل ایجاد شده نیز نسبت به روش‌های آنالیز منطقه‌ای نیازمند ضریب همبستگی بالاتری می‌باشد. به طوری که در مطالعات پیشین نیز این مسئله مشهود است. در مطالعه اسلامیان و همکاران (۴) که در زمینه آنالیز منطقه‌ای در جریان‌های کم در استان مازندران صورت گرفته، محدوده خطاهای نسبی به دست آمده بین ۴۱ تا ۴۷ درصد بدست آمده و این محدوده خطا در آن روش، بسیار قابل قبول بوده است. در حالی که در این مطالعه مقادیر خطای نسبی بین ۰/۱۳ تا ۲/۲ درصد بدست آمده است. در یک جمع‌بندی کلی و مروری بر تحقیقات گذشته در جهت بررسی جریان‌های کم با توجه به پدیده جهانی تغییر اقلیم در دوره‌های آینده، هرگونه تحقیق در این زمینه خالی از اهمیت نبوده است. لذا با توجه به اهمیت حوزه معرف زاینده‌رود و وجود خشکسالی‌های اقلیمی و

## منابع

1. Ahmadi, A. 2008. Analysis of decreasing statistics scaling in north of Iran. MSc Thesis, Isfahan university of Technology. 70 pp. (In Persian)
2. Arnell, N.W. 2003. Relative effects of multi-decadal climatic variability and change in the mean and variability of climate due to global warming: future stream flows in Britain. *Journal of Hydrology*, 270: 195-213.
3. Babaeian, A., Z. Najafi Nik, F. Zabol Abasi, M. Habibi Nokhandan, H. Adab and Sh. Malboosi. 2010. Assessment of climate change in duration 2010-2039 by using downscaling of ECHO-G GCM data. *Journal of Geography and Development*, (16): 135-152. (In Persian)
4. Eslamian, S., A. Zareie and A. Abrishamchi. 2005. Regional estimation of low flows for Mazandaran river basin. *Journal of Technology and Agriculture Resource*, 8(1): 27-37. (In Persian)

5. Hessami, M., P. Gachon, T.B.M.J. Quarda and A. St-Hilaire. 2008. Automated regression based statistical downscaling tool. *Environmental Modeling and Software*, 23(6): 813-834.
6. IPCC-TGCI. 1999. "Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaption assessment. In: Carter, T.R., M. Hulme and M. Lal, (eds.) Intergovernmental panel on climate change". Task Group on scenarios for climate impact assessment. Version 1, 69 pp.
7. Kroll, Ch., J. Luz, B. Allen and R.M. Vogel. 2004. Developing a watershed characteristics database to improve low streamflow prediction. *Journal of Hydrology Engineering*, 9(2): 116-125.
8. Masah, A.R. and S. Morid. 2006. Effect of climate change on zayanderood river flow of Esfahan. *Journal of Technology and Agriculture Resource*, 9(4): 17-27. (In Persian)
9. Saghafian, B. 2009. Regional hydrologic mapping of flows in streams networks. *International Journal of Applied Earthe Observation and Geoinformation*, 11: 317-323.
10. Sarhadi, A., S. Soltani and R. Modares. 2009. Using of threshold discharge modeling for considering seasonal changes of low flows (case study: Halil rood river). *Journal of Technology and Agriculture Resource*, 46: 337-347. (In Persian)
11. Schoen, M.E., M. Small, M.L. Dekay, E. Casman and K. Chuck. 2007. potential effect of climate change on design-period low flows in the mid-atlantic US. Conference proceeding paper, world environmental and water resource congress, in Canada, 43 pp.
12. Sayari, N., A. Alizadeh, M. Bannayan Aval, M.R. Hessami and A. Farid Hasani. 2011. Climate change prediction of kashf rood watershed during 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099 by using statistical downscaling of HadCM3 output. First International conference on plant, water, soil and weather modeling. International center for science high technology environmental sciences, 19 pp. (In Persian)
13. Zarrin, H., F. Sharifi, M. Vafakhah and M.H. Mahdian. 2009. Regional analysis of low flow in karkhe and karoon watersheds. *Journal of Applied Sciences*, 9(6): 1141-1146.

## **Low Flows Modeling Using Temperature and Rainfall Climatic Variables (Case Study: Eskandari Basin, Esfahan Province)**

**Mahsa Pourhashem<sup>1</sup>, Bahram Bakhtiari<sup>2</sup> and Kouros Qaderi<sup>2</sup>**

---

1- MSc Student, University of Shahid Bahonar, Kerman

(Corresponding author: M65.Poorhashem@gmail.com)

2- Assistant Professor, University of Shahid Bahonar, Kerman

Received: December 25, 2011      Accepted: January 1, 2013

---

### **Abstract**

By development numerical models for prediction of climate variables, analyzing the effects of climate changing phenomena on water resources has been provided more. General circulation models of atmosphere are known as the best numerical models for predicting future climate. These models, considering production and emission of greenhouse gases scenarios, predict temperature and rainfall variables. In this study, regarding low stream regression, using temperature and rainfall parameters in monthly and seasonal scales, are produced in a seven-day manner in different return periods. As a result, relative error for 5, 10 and 20-years-lasting return periods, are 1.6, 2.2 and 0.13 percent, which have less error than other training models. Using outputs of GCM (HadCM3) models, temperature and rainfall variables for three periods of (2011-2040), (2041-2070) and (2071-2099) are predicted.  $Q_{7,T}$  model is performed for each 30-year period and minimum streams are estimated for these periods.

**Keywords:** General Circulation Model (GCM), Emission Scenarios, Low Flow, HadCM3