

## Simulation of Climate Change Effect on the Runoff of Shazand Basin Applying WetSpa Distributional Model

M. Younesifard<sup>1</sup>, Sh. Paimozd<sup>2\*</sup>, and M. Rahimi<sup>3</sup>

### Abstract

The appearance of climate change and its effect on different parts of water cycle make it essential to be aware of the status of water resources to correctly manage water resources. In this study, at first, the WetSpa model was implemented and calibrated for the basin, and then the output of the CanESM model was entered in to the downscaling model of SDSM under three scenarios and the meteorological data of coming years was received and finally the change of the runoff of the studied basin was determined by the use of hydrologic model for the coming years. The results of CanESM2 confirmed that at the most stations the temperature values would increase and the amount of precipitation would decrease, RCP 8.5 scenario shows more changes. The results of runoff simulation under climate change scenarios indicate a decrease in runoff amount and this amount was 5.53%, 13.89% and 25.1% for RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The high compatibility of the computational and the observational hydrographs, especially for the high inflows which were 92% and 86% for calibration and validation period based on the Nash-Sutcliffe index, emphasizes the efficiency of WetSpa model in the simulation of Shazand catchment.

**Keywords:** Climate Change, WetSpa Model, SDSM Model, CanESM2 Model, Shazand Catchment.

Received: May 22, 2020  
Accepted: August 10, 2020

## شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه شازند با استفاده از مدل توزیعی WetSpa

مروارید یونسی‌فرد<sup>۱</sup>، شهلا پایمزد<sup>۲\*</sup> و مهدی رحیمی<sup>۳</sup>

### چکیده

آشکار شدن تغییرات اقلیمی و اثر آن بر بخش‌های مختلف چرخه آب، ضرورت آگاهی از وضعیت منابع آب به منظور مدیریت صحیح منابع را تأکید می‌کند. در مطالعه حاضر با استفاده از مدل هیدرولوژیک WetSpa به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز شازند پرداخته شده است. در این تحقیق ابتدا مدل WetSpa برای حوضه، اجرا و واسنجی شد و سپس خروجی مدل CanESM تحت سه سناریو انتشار وارد مدل ریزمقیاس SDSM گردید و داده‌های هواشناسی سال‌های آتی دریافت شد و در نهایت تغییر رواناب حوضه مورد مطالعه در سال‌های آتی با استفاده از مدل هیدرولوژیک تهیه شده، تعیین گردید. نتایج مدل CanESM2 نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر دما افزایش و میزان بارش کاهش می‌یابد که از این بین، سناریو RCP 8.5 تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب تحت سناریوهای تغییر اقلیم حاکی از کاهش میزان رواناب است که مقدار برای سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برابر ۵/۵۳٪، ۱۳/۸۹٪ و ۲۵/۱٪ درصد می‌باشد. همچنین همخوانی بالایی هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای به خصوص برای جریان‌های بالا، طبق شاخص ناش-ساتکلیف (به ترتیب ۹۲ و ۸۶ درصد برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی) تأکید بر قابلیت بالای مدل WetSpa در شبیه‌سازی حوضه آبریز شازند دارد.

**کلمات کلیدی:** تغییر اقلیم، مدل WetSpa، مدل SDSM، مدل CanESM2، حوضه آبریز شازند.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۳/۲  
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۵/۲۰

1- M.Sc. Graduate of Water Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran.  
2- Assistant Professor, Department of Water engineering, College of Agriculture and Natural Resources, Arak University, Arak, Iran. Email: Paimozd.ar@hotmail.com  
3- M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Tehran University, Karaj, Iran.  
\*- Corresponding Author

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اراک.  
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اراک.  
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.  
\*- نویسنده مسئول  
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۹ امکانپذیر است.

آن حوضه را محاسبه می‌کند، اما مدل‌های توزیعی مکانی می‌توانند تأثیر هر نقطه از حوضه مورد مطالعه را بر رواناب، بیلان آبی حوضه آبریز، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به‌خوبی ارزیابی نمایند (Daraei et al., 2019). با مرور تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌های مختلف، ضرورت استفاده از تکنولوژی‌های نوین سنجش از دور و GIS<sup>1</sup> در شبیه‌سازی سیستم‌های پویای آبریز جهت نیل به مدیریت پایدار حوضه‌های آبریز و سناریوسازی عوامل محیطی مناسب در مدیریت سرزمین از یک طرف و دسترسی به نقشه‌های توزیعی پارامترهای محیطی و تغییرات مکانی- زمانی منابع آب حوضه‌های آبریز از طرف دیگر را بیان می‌کنند. مدل WetSpa<sup>2</sup> از جمله مدل‌های توزیعی بوده که برای شبیه‌سازی جریان رودخانه و سیلاب، فرسایش و رسوب و همچنین کیفیت آب مانند شبیه‌سازی بار فسفر و نیتروژن توسعه داده شده است (Azizi et al., 2018).

Phuong et al. (2020) به پیش‌بینی تغییرات آینده آب‌وهوا در حوضه رودخانه ووگیاتوبون<sup>3</sup> در ویتنام با استفاده از مدل آماری SDSM پرداختند. نتایج پیش‌بینی شده حاکی از کاهش قابل توجه میزان بارندگی در حدود ۱۷/۶۸-۱۱/۵۷ درصد در اکثر ایستگاه‌ها تا سال ۲۰۹۹ بود. علاوه بر این، تمامی ایستگاه‌ها الگو و روند مشابهی را ارائه دادند که نشان‌دهنده پایداری و کاربرد بالای مدل ریزمقیاس SDSM است. Rahmati et al. (2020) به برآورد رواناب حوزه آبخیز بار اریه با استفاده از مدل‌های WetSpa و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد مدل WetSpa با  $R^2$  و RMSE برابر با ۰.۹۲ و ۳۴۶ متر مکعب بر ثانیه و همچنین مدل شبکه عصبی مصنوعی با  $R^2$  و RMSE برابر با ۰.۹۵۹ و ۳۱۰ متر مکعب بر ثانیه توانایی شبیه‌سازی جریان رودخانه بار اریه را دارند. Yigzaw et al. (2019) به بررسی پاسخ رواناب به تغییر کاربری و تغییر پوشش زمین در مورد حوضه آبریز عینالم<sup>4</sup> واقع در شمال اتیوپی با استفاده از مدل WetSpa پرداختند. نتایج مدل WetSpa با نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که میزان رواناب سالانه ۲۱/۱ درصد از سال ۲۰۰۳-۱۹۹۵ و ۲۳/۵ درصد از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ و همچنین ۴۴/۶ درصد از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ افزایش یافته است. این افزایش به احتمال زیاد ناشی از تغییر کاربری پوشش اراضی از درختچه‌ها و زمین‌های چمن به اراضی شهری و زراعی بوده است. Mohammady et al. (2018) به مدل‌سازی و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر روی تولید رواناب با مدل‌های CLUE<sup>5</sup> و WetSpa پرداختند. نتایج آن حاکی از آن بود که به دلیل تبدیل جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی، حجم کل رواناب شبیه‌سازی شده افزایش یافته

در دهه‌های اخیر با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و به دنبال آن صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای، شاهد افزایش دمای کره زمین و تغییر در دیگر پارامترهای اقلیمی بوده‌ایم که به آن پدیده تغییر اقلیم اطلاق می‌شود (Beck and Mahony, 2017). وقوع تغییر اقلیم به‌خصوص در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر منابع آبی داشته باشد. ارزیابی پدیده تغییر اقلیم و پدیده‌های احتمالی آن بر فرایندهای چرخه هیدرولوژی حوضه آبریز، کمک فراوانی به چالش‌های مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در دوره‌های آتی خواهد کرد (Alizadeh et al., 2010). در نتیجه با توجه به قرار گرفتن بیشتر رودها در مناطق خشک، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و لزوم توجه بیشتر به آب‌های سطحی از سویی و فقدان آمار طولانی مدت برای حوضه‌های مختلف به دلیل احداث ایستگاه‌های هیدرومتری در سال‌های اخیر در این حوضه‌ها و نواقص موجود در آمار اکثر ایستگاه‌ها از سوی دیگر، دلایلی است که شبیه‌سازی، پیش‌بینی و تولید آمار مصنوعی در حوضه‌های آبریز را ضرورت می‌بخشد (Karimi et al., 2016; Ghorbani et al., 2015). بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد پرداختن به این مسأله در مقیاس‌های محلی می‌تواند به عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی‌های آینده استفاده شود. مشاهده تحقیقات گذشته نشان می‌دهد بسیاری از این پژوهش‌ها پس از ریزمقیاس‌نمایی، کاربرد داده‌ها را در مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب ارزیابی نکرده‌اند چون بیشتر مدل‌های هیدرولوژیکی- توزیعی، به داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده فراوانی نیاز دارند که در بسیاری از حوضه‌های آبریز از جمله کشور ایران، چنین داده‌های اندازه‌گیری شده وجود ندارد و این مسأله، کاربرد مدل‌های یاد شده را با مشکل مواجه ساخته است. بنابراین، در انتخاب مدل مناسب، باید به مؤلفه‌هایی مانند توزیعی یا یکپارچه بودن، فیزیکی یا تجربی بودن ساختار آن، ساده یا پیچیده بودن و در دسترس بودن یا نبودن داده‌های مورد نیاز به عنوان ورودی مدل و یا روش واسنجی مدل توجه داشت (Zeinivand and De Smeth, 2009). در واقع، مدل‌های هیدرولوژیکی، چهارچوبی را برای بررسی رابطه بین اقلیم و منابع آب فراهم می‌کنند (Zehabion et al., 2010).

مدل‌های ریاضی یکپارچه و توزیعی متعددی برای محاسبه و پیش‌بینی رواناب از حوضه‌های آبریز استفاده شده است. معمولاً این مدل‌ها عکس‌العمل یک حوضه را بر اساس میانگین پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین

است و میزان افزایش رواناب سطحی از نرخ افزایش رواناب زیرسطحی بزرگ‌تر بود. (Azin Mehr and Bahremand (2015) در حوضه آبریز کرخه به بررسی آنالیز حساسیت و عدم قطعیت مدل WetSpa در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان با استفاده از نرم‌افزار PEST<sup>6</sup> پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که مدل WetSpa هیدروگراف خروجی حوضه را به خوبی شبیه‌سازی کرده و مدل هیدروگراف روزانه را طبق معیار ناش - ساتکلیف ۶۶ درصد با صحت قابل قبولی پیش‌بینی می‌کند. (Porretta-Brandyk et al. (2011

جریان رودخانه بیروزا و سیدر<sup>۷</sup> را با استفاده از مدل WetSpa شبیه‌سازی کردند. آن‌ها دریافتند که این مدل برای شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی نتایج خوبی دارد ولی برای جریان‌های کمینه تطابق کمتری دارد. (Bahremand et al. (2006

جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه آبریز مارگسانی<sup>۸</sup> اسلواکی به کار گرفتند و معیار ارزیابی ناش - ساتکلیف برای برآورد رواناب مستقیم را ۷۵ تا ۸۰ درصد به دست آوردند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که با افزایش ۵۰ درصدی جنگل در حوضه مورد مطالعه، اوج سیل ۱۲ درصد کاهش یافته و حدود ۱۴ ساعت به تأخیر می‌افتد. (Rwatabula et al. (2007

به پیش‌بینی رواناب در رودخانه سیمبو<sup>۹</sup> با استفاده از مدل هیدرولوژیک WetSpa پرداختند. نتایج حاصل از کاربرد مدل نشان داد که در این حوضه رواناب سطحی و زیرسطحی هریک به ترتیب ۳۸/۶ و ۶۷/۴ درصد از کل رواناب را شامل می‌شوند در حالی که سهم آب زیرزمینی صفر است و حجم رواناب تولید شده در اراضی کشاورزی در حدود ۹۰ درصد از کل رواناب را تشکیل می‌دهد. (Rahimi R and Rahimi M (2018

به تحلیل مکانی و زمانی تغییر اقلیم در سال‌های آینده و مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM<sup>۱۱</sup>، LARS-WG و شبکه عصبی مصنوعی در استان خوزستان پرداختند. آن‌ها با مشاهده نقشه پهنه‌بندی نمایه‌های خشک‌سالی استان خوزستان می‌توان چنین استنباط کردند که در دوره‌های آبی همواره میانگین مقادیر دو شاخص SPI و SPEI کاهش یافته است ولی از نظر مکانی تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است. همچنین نتایج سه روش ریزمقیاس‌نمایی قابل قبول می‌باشد. (Ajamzadeh and Mollaeinia (2016

به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه فیروزآباد استان فارس، با ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جوی به وسیله نرم‌افزارهای SDSM و LARS-WG پرداختند، نتایج بررسی آن‌ها کاهش رواناب در ماه‌های آپریل، می، جون و اکتبر و افزایش در سایر ماه‌ها را نشان می‌دهد لذا بیشترین عدم قطعیت رواناب در ماه‌های ژانویه و آپریل است. (Ahmadi et al. (2015

به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر فرآیند تبدیل

هدف از انجام این پژوهش ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب با استفاده از مدل توزیعی WetSpa بر منطقه سازند می‌باشد. جهت دستیابی به هدف مورد نظر در ابتدا به جمع‌آوری داده‌ها پرداخته شد. داده‌های مورد نیاز شامل: داده‌های هواشناسی و هیدرومتری، نقشه‌های مربوط به حوضه متشکل از نقشه‌های رستری DEM<sup>۱۱</sup>، بافت خاک و کاربری اراضی و همچنین داده‌های پیش‌بینی شونده مدل تغییر اقلیم می‌باشد. پس از آماده‌سازی داده‌ها و نقشه‌های مورد نیاز که موارد ورودی به مدل WetSpa می‌باشند، این مدل اجرا و سپس با توجه به مشخصات و پارامترهای مربوط به حوضه واسنجی شد و هیدروگراف‌های مربوط به حوضه استخراج گردید. سپس جهت ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در ابتدا داده‌های مربوط به مدل CanESM2<sup>۱۲</sup> تحت سه سناریو موجود جهت انجام فرآیند ریزمقیاس وارد مدل ریزمقیاس SDSM شد و خروجی این مدل برای هر سه سناریو مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت تعیین تأثیر سناریوهای متفاوت بر پیش‌بینی رواناب، خروجی‌های هر سه سناریو به مدل WetSpa از قبل واسنجی شده، داده شد و نتایج آن‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

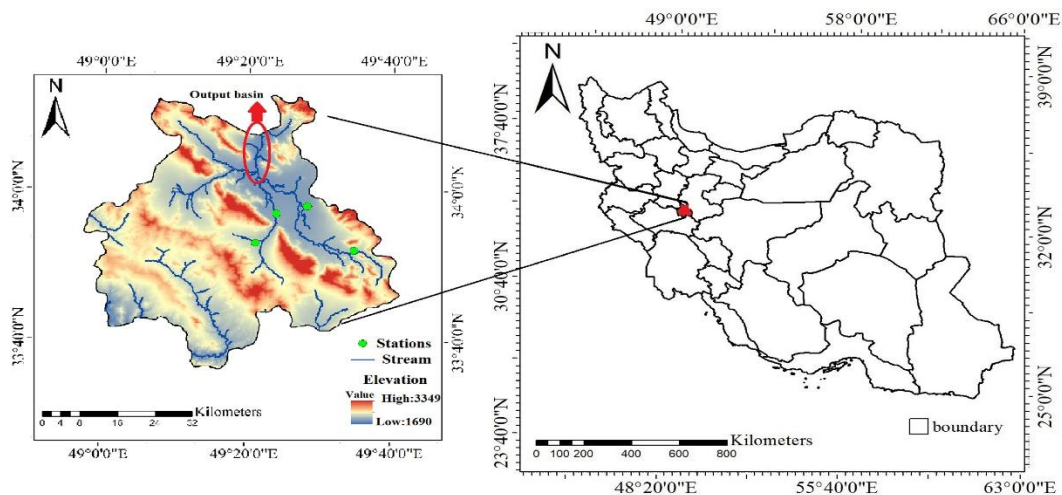
## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- مطالعه موردی

حوضه آبریز سازند با مختصات جغرافیایی "۱۵' ۴۹° تا "۱۲' ۵۲° ۴۹ طول شرقی و "۴۲' ۶۴° ۳۳ تا "۱۳' ۱۲° ۳۴ عرض شمالی و مساحت ۱۷۴۰ کیلومترمربع، یکی از زیرحوضه‌های، حوضه آبریز دریاچه نمک است. موقعیت حوضه آبریز سازند در شکل ۱ نشان داده شده است.

### ۲-۲- داده‌های ورودی

برای اجرای مدل هیدرولوژیکی WetSpa در یک حوضه مشخص، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات پایه نظیر توزیع مکانی کلاس‌های کاربری اراضی، بافت خاک و همچنین آمار هواشناسی - هیدرولوژیکی می‌باشد که در این پژوهش از داده‌ها و آمار ۳۰ ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۶) حوضه سازند استفاده شد.



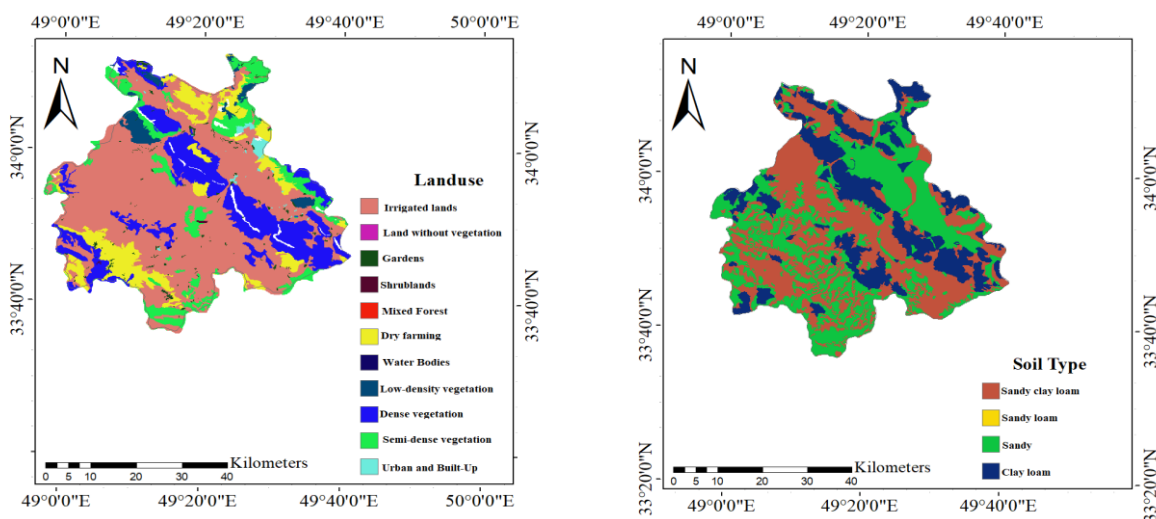
**Fig. 1- Location of the study area**  
**شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه**

دلیل کامل تر بودن داده‌های دبی روزانه و وجود ناهمگونی‌های آماری در سال‌های قبل، برای اجرای مدل انتخاب گردید. از این ۱۰ سال دوره آماری، پنج سال (۲۰۱۱-۲۰۰۶) برای واسنجی مدل و پنج سال (۲۰۱۷-۲۰۱۲) برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد.

### ۲-۳- مدل SDSM

مدل SDSM توسط Wilby et al. (2002) به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس کردن به روش آماری توسعه داده شد. این مدل از روش‌های آماری رگرسیونی به منظور عملیات ریزمقیاس کردن استفاده می‌کند.

نقشه‌های کاربری اراضی با ۱۱ کلاس و نقشه بافت خاک با ۴ کلاس و نقشه رقمی ارتفاع در قالب فایل رستر با پیکسل ۸۵ در ۸۵ متر مطابق شکل ۱ و ۲ در محیط نرم‌افزار GIS استخراج شدند. لازم به ذکر است اطلاعات هواشناسی ورودی به مدل شامل دما و بارش از چهار ایستگاه قدمگاه، شازند، عمارت و آستانه و همچنین اطلاعات مربوط به تبخیر و تعرق از دو ایستگاه آستانه و قدمگاه و اطلاعات دبی از رودخانه شرا در ایستگاه پل دو آب در خروجی حوضه آبریز تهیه گردید که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آمده است. پس از بررسی آمار هواشناسی دریافت شده از سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی و بررسی شرایط حوضه آبریز شازند، سال‌های آبی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ به این



**Fig. 2- Landuse and Soil type maps**  
**شکل ۲- نقشه‌های کاربری اراضی و بافت خاک**

**Table 1- Specifications of the studied stations**

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Station	Longitude	Latitude	Rain	Temperature	Evaporation	Discharge	Time period
Astaneh	49.375938	33.895382	*	*	*		1986-2017
Emarat	49.577233	33.866652	*	*			1986-2017
Shazand	49.405635	33.926297	*	*			1986-2017
Ghadamgah	49.467234	33.975315	*	*	*		1986-2017
Pol do aab	49.354772	34.047005				*	2007-2017

براساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (Fabri-Ruiz et al., 2020). توضیحات مختصری در مورد سناریوهای مختلف تغییر اقلیمی استفاده شده در گزارش پنجم به صورت خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است.

**۲-۵- مدل WetSpa**

مدل WetSpa اولین بار توسط Wang et al. (1997) ارائه و سپس توسط De Smedt et al. (2000) و Lie et al. (2003) برای پیش‌بینی سیل توسعه داده شد. برای استخراج پارامترهای مورد نیاز مدل، نیاز به وارد نمودن اطلاعات زمینی به مدل می‌باشد که به این منظور از نرم‌افزار Arcview استفاده می‌گردد. اطلاعات رقومی شامل نقشه‌های رقومی توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک می‌باشد. همچنین آمار هواشناسی مورد نیاز شامل بارش، دبی و تبخیر و تعرق می‌باشد. در مدل برای هر شبکه سلولی، ۴ لایه شامل: منطقه ریشه، منطقه انتقال، لایه تاج پوشش و منطقه اشباع (سفره آب زیرزمینی) در نظر گرفته می‌شود. فرآیندهای هیدرولوژیکی مدل نیز شامل بارش، برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و بیلان آب است. بیلان آبی در هر سلول ترکیبی از تعادل آبی خاک لخت، پوشش گیاهی، آب‌های با سطوح آزاد و بخش غیرقابل نفوذ هر سلول می‌باشد.

SDSM نوعی ابزار پشتیبان تصمیم است که با ممکن ساختن فرایند کاهش مقیاس مکانی داده‌های تهیه شده توسط مدل اقلیمی جهانی بزرگ‌مقیاس، ارزیابی آثار منطقه‌ای گرمایش جهانی را آسان می‌کند (Gagnon et al., 2005). مدل SDSM برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال حاضر و در شرایط آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم بکار می‌رود که داده‌های آن به صورت سری‌های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی مانند بارندگی، حداقل و حداکثر دما و سایر پارامترهای جوی می‌باشد (Klaas et al., 2020). در این مدل ابتدا روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد و روابط تجربی بین آن‌ها تعیین می‌شود و به کاربر اعلام می‌گردد (Hamidiyan et al., 2013).

**۲-۴- سناریو تغییر اقلیم**

در سال ۲۰۱۴، گروه‌های کاری IPCC<sup>13</sup> گزارش ارزیابی پنجم تغییر اقلیم را ارائه نمودند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید RCP<sup>14</sup> تحت عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کردند. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP4.5، RCP2.6، RCP6، RCP8.5 و RCP8.5 می‌باشند که

**Table 2- Climatic scenarios used in the Fifth IPCC Report**

جدول ۲- سناریوهای اقلیمی مورد استفاده در گزارش پنجم IPCC

Scenario	Type	Explanation
RCP 2.6	Optimistic	The radiative forcing in the middle of the current century reached around 3.1 w/ms and then dropped to 2.6 watts per square meter in 2100
RCP 4.5	Moderate to Optimistic	Radiative forcing remains less than 4.5 watts/square meters before the 2100, and then it remains constant in the amount 4.5 watts/square meter.
RCP 6	Moderate to Pessimistic	Radiative forcing is less than 6 watts/square meter before the year of 2100 and it will remain constant to 6 watts/square meter after 2100.
RCP 8.5	Pessimistic	A radiative forcing reaches 8.5 watt per square meter in 2100 year and it has increased after 2100.

بر مترمکعب)،  $\Delta t$  گام زمانی (ساعت/روز)،  $P$  بارش (متر بر ساعت/روز)،  $I = I_a + D_a$  تلفات اولیه شامل ذخیره برگابی ( $I_a$ ) و ذخیره چالابی ( $D_a$ ) در گام زمانی (متر بر ساعت/روز)،  $V$  رواناب سطحی یا بارش مازاد (متر بر ساعت/روز)،  $E$  تبخیر و تعرق (متر بر ساعت/روز)،  $R$  میزان نفوذ عمقی از منطقه ریشه (متر بر ساعت/روز) و  $F$  میزان جریان زیرسطحی در زمان (متر بر ساعت/روز) می‌باشد. در این مدل بارش مازاد با استفاده از روش استدلالی اصلاح شده (روش ضریب رواناب مبتنی بر رطوبت خاک) و بر مبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک محاسبه می‌گردد.

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

#### ۳-۱- نتایج حاصل از اجرای مدل ریزمقیاس SDSM

همان‌طور که گفته شد، پس از دریافت متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مدل CanESM2 برای منطقه مطالعاتی، جهت ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی داده‌های دما، بارش و تبخیر و تعرق از مدل SDSM استفاده شد. در ابتدا عملکرد مدل برای دوره مشاهداتی ۲۰۰۵-۱۹۸۶ بررسی شد و مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰ برای چهار ایستگاه مشخص شده در منطقه از مدل استخراج گردید که نتایج آن به شرح زیر در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول‌های ۳ الی ۵ نشان‌دهنده مقادیر مشاهداتی و محاسباتی میانگین و انحراف معیار داده‌های ایستگاه‌هایی مورد مطالعه تحت سه سناریو تغییر اقلیم می‌باشد. با توجه به جدول‌ها می‌توان دریافت میزان تبخیر و تعرق در این ایستگاه آستانه نسبت به دوره مشاهداتی تحت سه سناریو RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۹/۱، ۸/۷ و ۹/۲ درصد افزایش یافته و میزان بارش در سناریو RCP 2.6، ۴/۱ درصد افزایش و در دو سناریو دیگر ۶/۸ و ۱۳ درصد کاهش داشته است.

در هر شبکه سلولی فرآیندها به روش آبشاری تنظیم می‌شوند، به این معنی که رخداد فرآیندها پس از وقوع بارش به صورت پی‌درپی فرض شده است.

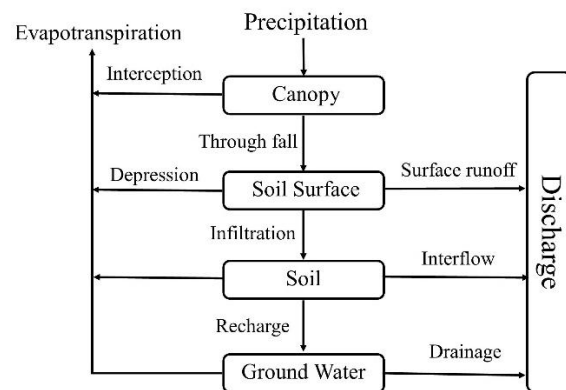


Fig. 3- WetSpa model structure in cell scale

#### شکل ۳- ساختار مدل WetSpa در مقیاس سلول

در مدل ترکیبی از روابط فیزیکی و تجربی برای شرح فرآیندهای پایه به کار می‌رود. همان‌طور که به‌طور شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است، رواناب در شبکه سلولی حاصل مجموع رواناب سطحی، جریان زیرسطحی و دبی آب‌های زیرزمینی است. تعادل آب در منطقه ریشه مهم‌ترین بخش در نگهداشت آب محسوب می‌گردد، زیرا این بخش کنترل‌کننده حجم رواناب سطحی، رواناب زیرسطحی، تبخیر و تعرق و دبی آب زیرزمینی می‌باشد. مدل قادر است کلیه شبیه‌سازی‌ها و پدیده‌های مختلف هیدرولوژیکی در پایه‌های زمانی متفاوت (ساعت/روز) را برآورد کند. تغییرات گام زمانی مدل با تغییر گام زمانی در فایل ورودی به راحتی قابل انجام است. در مدل WetSpa تعادل آب در زون ریشه برای هر شبکه سلولی با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\Delta \theta}{\Delta t} = P - I - V - E - R - F \quad (1)$$

که در آن  $D$  عمق ریشه (متر)،  $\Delta \theta$  تغییرات رطوبتی خاک (مترمکعب

Table 3- Annual average and standard deviation of rainfall data

#### جدول ۳- میانگین سالانه و انحراف معیار داده بارش

Station	Observed data (1986-2005)		Calculated data (2021-2040)					
	Mean	SD	RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
			Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Astaneh	445.40	19.90	463.66	12.10	415.11	10.84	387.50	7.20
Emarat	436.09	22.33	420.83	17.57	395.10	14.50	351.49	10.00
Shazand	440.25	21.71	399.75	17.08	407.67	18.19	395.78	15.23
Ghadamgah	420.70	19.50	471.60	17.24	458.98	12.46	449.73	11.95

**Table 4- Annual average and standard deviation of Temperature****جدول ۴- میانگین سالانه و انحراف معیار داده دما**

Station	Observed data (1986-2005)		Calculated data (2021-2040)					
			RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Astaneh	11.24	12.95	11.30	13.34	11.79	15.21	11.88	23.97
Emarat	10.64	11.64	11.23	13.17	11.71	14.97	12.25	15.75
Shazand	11.35	10.42	12.00	12.47	11.87	11.93	12.58	12.95
Ghadamgah	11.86	11.56	11.81	13.66	12.46	13.72	13.66	12.94

**Table 5- Annual average and standard deviation of Evaporation****جدول ۵- میانگین سالانه و انحراف معیار داده تبخیر و تعرق**

Station	Observed data (1986-2005)		Calculated data (2021-2040)					
			RCP 2.6		RCP 4.5		RCP 8.5	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Astaneh	55.10	5.80	60.11	6.39	59.89	6.29	60.17	6.00
Ghadamgah	53.57	4.92	55.28	4.92	58.34	5.52	57.80	5.23

**۳-۲- واسنجی مدل**

به منظور اصلاح عملکرد مدل و کاهش اثر عدم قطعیت‌ها برای شرایط مختلف، انجام فرایند واسنجی مدل ضروری است. برای سهولت واسنجی مدل، ۱۱ پارامتر اصلی در مدل WetSpa مورد استفاده قرار گرفته است. این پارامترها دارای تعاریف فیزیکی بوده و در کنترل رواناب و هیدروگراف خروجی حوضه نقش مهمی دارند. اما تعیین نمودن آن‌ها در مقیاس شبکه سلولی مشکل می‌باشد. بنابراین برای تطبیق بهتر آن‌ها در مدل، واسنجی آن‌ها در مقابل داده‌های رواناب مشاهده‌ای ترجیح داده می‌شود (Porretta-Brandyk et al., 2011).

در این تحقیق برای واسنجی مدل از دو روش دستی (آزمون و خطا) و روش واسنجی خودکار PEST استفاده گردید. در روش دستی، مدل با مقادیری انتخابی از پارامترهای اولیه اجرا و خروجی آن با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه گردید و این کار ادامه پیدا کرد تا بهترین تطبیق بین خروجی‌ها حاصل شد. در روش واسنجی با نرم‌افزار PEST، واسنجی مدل به صورت خودکار و توسط یک برنامه‌ریز داخلی انجام می‌شود. این مدل یک کد مدل‌سازی معکوس غیرخطی است که با استفاده از یک تکنیک ریاضی شرایطی برای تخمین یک مجموعه جدید از پارامترها در مقایسه با نتایج مدل و مجموعه‌ای از مشاهدات با بینش درباره مدل مفهومی را فراهم می‌کند. PEST مستقل از یک مدل و یک کد حوزه عمومی است که می‌توان آن را با هر شبیه‌ساز عددی ترکیب کرد. جدول ۶ پارامترها و مقادیر اولیه که از راه واسنجی دستی حاصل شده‌اند را نشان می‌دهد که این مقادیر اولیه همراه با محدوده تغییرات در نظر گرفته شده، برای واسنجی به مدل PEST

این مقایسه برای داده دما به این صورت می‌باشد که ۰/۳، ۴/۵ و ۵/۲ درصد برای سه سناریو افزایش داشته است. همچنین تبخیر و تعرق در این ایستگاه قدمگاه نسبت به دوره مشاهداتی تحت سه سناریو RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۳/۲، ۸/۹ و ۷/۹ درصد افزایش یافته و میزان بارش در سه سناریو به ترتیب ۱۲/۱، ۹/۱ و ۶/۹ درصد افزایش داشته است. این مقایسه برای داده دما به این صورت می‌باشد که سناریو RCP 2.6 ۰/۴ درصد کاهش و ۵/۱ و ۱۵/۲ درصد برای دو سناریو دیگر افزایش داشته است. میزان دما در این ایستگاه عمارت نسبت به دوره مشاهداتی تحت سه سناریو RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۵/۵، ۱۰/۱ و ۱۵/۱ درصد افزایش یافته و میزان بارش در سه سناریو به ترتیب ۳/۵، ۹/۴ و ۱۹/۴ درصد کاهش داشته است. در ایستگاه شازند میزان دما نسبت به دوره مشاهداتی تحت سه سناریو RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۵/۷، ۴/۶ و ۱۰/۸ درصد افزایش یافته و میزان بارش در سه سناریو به ترتیب ۹/۲، ۷/۴ و ۱۰/۱ درصد کاهش داشته است. همچنین از مشاهده نمودارهای مربوط به واریانس داده می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها روند مطلوبی نسبت به داده‌های مشاهداتی داشته‌اند.

با توجه به نتایج حاصل از این قسمت می‌توان گفت سناریو RCP 8.5 سخت‌گیرانه‌تر عمل کرده است زیرا مقادیر افزایش دما و کاهش بارش به مراتب بیشتر از سایر سناریوها در اکثر ایستگاه بوده است.

وارد می‌شوند. همچنین در ستون آخر نتایج حاصل از واسنجی پارامترها توسط مدل PEST نشان داده می‌شود.

مدل WetSpa وجود دارد که این معیارها مورد بررسی و نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۷ که مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در دوره واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد، مدل توانسته به خوبی با معیار ناش ساتکلیف ۰/۸۳ و ۰/۷۵ به ترتیب در دوره واسنجی و صحت‌سنجی، الگوی تغییرات رواناب منطقه مطالعاتی را شبیه‌سازی کند. در این منطقه معیار ناش- ساتکلیف در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای جریان‌های کم به ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۴۴ و برای جریان‌های حداکثر به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۶ برآورد شده است که نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول مدل است. همچنین خطای مدل که نمایانگر تفاوت میانگین نسبی بین جریان مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در یک شبیه‌سازی است دارای مقادیر ۰/۴۳- و ۰/۴۲- بوده که نشان دهنده کارایی مدل در دوره واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد.

### ۳-۳- نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل WetSpa

پس از واسنجی مدل و تعیین مقادیر پارامترهای ورودی، مدل اجرا شد که نتایج آن در شکل ۴ و شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که قابل مشاهده است واسنجی قابل قبول می‌باشد به طوری که هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی و اعتبارسنجی تطابق خوبی با هم داشته و روند مشابهی را دنبال می‌کنند که می‌توان نتیجه گرفت کالیبراسیون مدل به خوبی انجام شده است.

به جهت اندازه‌گیری بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده شده و بررسی کارایی مدل، معیارهای ارزیابی مختلفی در

Table 6- Parameters and calibration results of PEST model

جدول ۶- پارامترها و نتایج واسنجی مدل PEST

Sign	Parameters	Initial Value	Min	Max	calibrated Values
$k_i$	Subsurface flow factor(-)	0.308	0.001	100	0.006366
$k_g$	groundwater flow recession coefficient ( $d^{-1}$ )	0.00492	$10^{-6}$	5	0.006806
$K_{ss}$	Initial soil moisture(-)	0.69	0.1	5	0.603785
$K_{ep}$	Potential evaporation correction factor(-)	0.609	0.003	25	0.586812
$G_0$	Initial groundwater storage(mm)	22.1	0	300	14.5232
$G_{max}$	Maximum groundwater storage(mm)	133.9	1	3000	118.732
$T_0$	base temperature coefficient( $^{\circ}C$ )	0	-3	10	-0.05792
$K_{snow}$	temperature degree-day coefficient( $mm/^{\circ}C/day$ )	1.467	-3	50	1.293855
$K_{rain}$	rainfall degree-day coefficient ( $mm/mm/^{\circ}C/day$ )	0.111	$10^{-7}$	1	0.1116
$K_{run}$	Surface runoff power(-)	1.87	1	100	2.126395
$P_{max}$	threshold of rainfall intensity (mm)	482.11	101	5000	746.15532

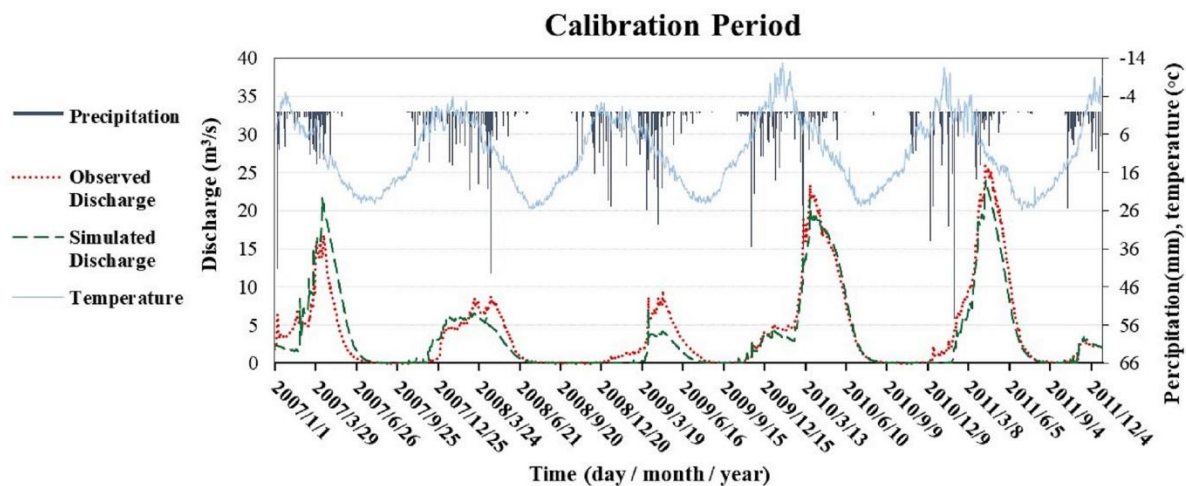


Fig. 4- Observed and simulated hydrographs daily for the Calibration period (2007-2011)

شکل ۴- هیدروگراف روزانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (۲۰۰۷-۲۰۱۱)



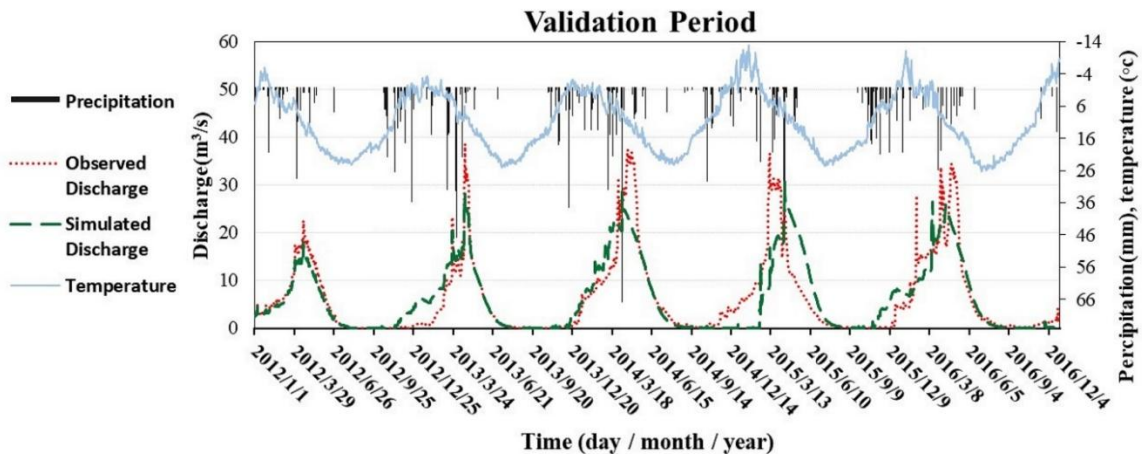


Fig. 5- Observed and simulated hydrographs daily for the Validation period (2012-2017)  
 شکل ۵- هیدروگراف روزانه مشاهده شده و شبیه سازی شده برای دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۷-۲۰۱۲)

Table 7- Values of model performance indicators in the validation, calibration period

جدول ۷- مقادیر شاخص های کارایی مدل در دوره واسنجی، اعتبارسنجی

Efficiency criterion	Calibration	Validation
Bias model (Model error for calculating water balance)	-0.43	-0.42
Model Determination Coefficient	0.83	0.75
Nash-Sutcliffe model efficiency	0.89	0.60
Modified Nash-Sutcliffe for high flows	0.92	0.86
Modified Nash-Sutcliffe for low flows	0.39	0.44

به منظور زراعت را نیز می توان به عنوان یکی از علل مؤثر و مهم دانست.

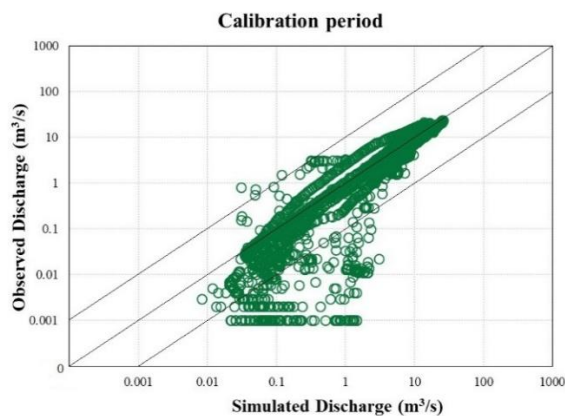
#### ۴-۳- نتایج مدل WetSpa برای دوره های آبی

شکل ۸ تغییرات رواناب ماهانه تحت سه سناریو نسبت به دوره مشاهداتی را نشان می دهند. با توجه به شکل های یاد شده می توان دریافت میزان رواناب در سال های آبی برای هر سه سناریو رو به کاهش می باشد که این مقدار کاهش برای سناریو RCP 2.6 برابر ۵۳/۵، RCP 4.5 برابر ۱۳/۸۹ و RCP 8.5 برابر ۲۵/۱ درصد می باشد که این مسأله حاکی از عملکرد سخت گیرانه سناریو RCP 8.5 می باشد.

#### ۴- جمع بندی

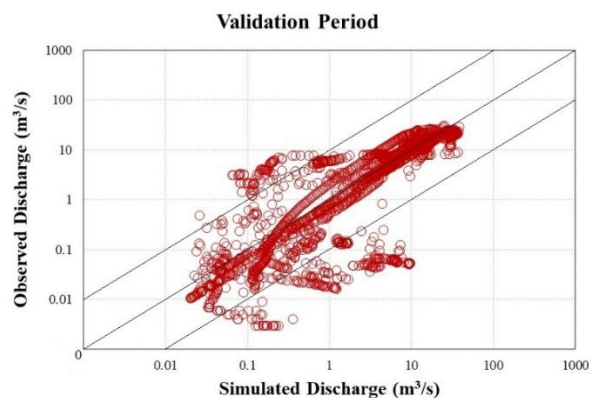
نتایج حاصل از مطالعات گذشته نشان می دهد که مدل به خوبی قادر به اداره فرایندهای هیدرولوژیکی، در شرایط گوناگون توپوگرافی، خاک، کاربری، مساحت و غیره بوده و در این زمینه از توانایی بالایی برخوردار است.

قابلیت اطمینان مدل، یکی از فاکتورهای مهم در شبیه سازی پیوسته مدل می باشد که نماینده سهم واریانس در دبی های مشاهده ای می باشد که با دبی های شبیه سازی شده شرح داده می شود که با توجه به مقادیر ۰/۷۵ و ۰/۸۳ در دوره اعتبارسنجی و واسنجی حاکی از قابلیت اعتماد بالای مدل می باشد. به منظور نمایش بهتر کارایی مدل در شبیه سازی دبی های مرتب شده جریان، داده های هیدروگراف جریان، در دوره آماری مورد نظر با مشخص نمودن حدود اطمینان ۹۵ درصد، نشان داده شده اند. در شکل ۶ و شکل ۷ پراکنش لگاریتمی ابر نقاط جریان شبیه سازی شده و مشاهده ای طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی به نمایش گذاشته شده است. همان طور که در این دو گراف مشاهده می گردد، مدل به خوبی قادر به شبیه سازی جریان های بالا بوده زیرا تمامی داده های متناظر در جریان های بالا در درون محدوده مشخص شده قرار گرفته اند اما در پیش بینی جریان های کم، در بعضی از نقاط داده ها در جریان کم به خوبی شبیه سازی نشده و در محدوده مورد نظر قرار نگرفته است و دقت کافی را دارا نمی باشد. به طور کلی می توان این موضوع را به ساده سازی آب زیرزمینی در مدل و یا عدم تخمین دقیق تبخیر و تعرق از ذخیره آب زیرزمینی طی دوره های خشک نسبت داد. همچنین استفاده از دبی پایه در تابستان



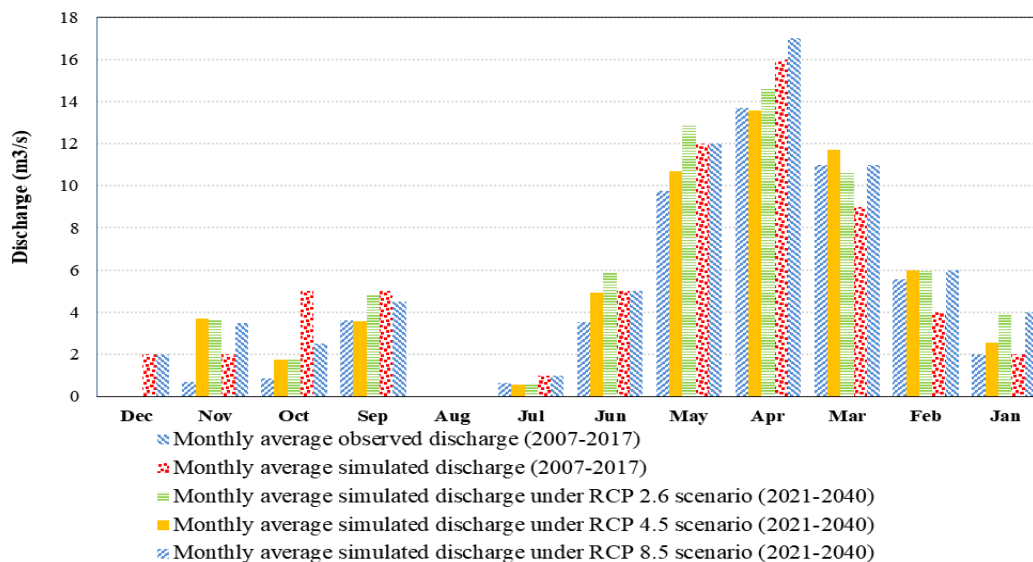
**Fig. 6 - Logarithmic distribution of simulated and observed discharge - 2006-2011**

شکل ۶- پراکنش لگاریتمی ابر نقاط جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای ۲۰۱۱-۲۰۰۶



**Fig. 7 - Logarithmic distribution of simulated and observed discharge - 2012-2017**

شکل ۷- پراکنش لگاریتمی ابر نقاط جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای ۲۰۱۶-۲۰۱۲



**Fig. 8- Monthly discharge changes under three scenarios**

شکل ۸- تغییرات رواناب ماهانه تحت سه سناریو

برای شبیه‌سازی جریان رودخانه مورد استفاده قرار گیرد و از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار است. همچنین ضریب ناش-ساتکلیف برای جریان‌های بالا، حدود ۹۲ درصد برای دوره واسنجی و ۸۶ درصد برای دوره اعتبارسنجی به دست آمد که این موضوع با هدف اصلی مدل که پیش‌بینی سیلاب می‌باشد مطابقت دارد. مقایسه گرافیکی هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی نیز نشان‌دهنده همخوانی خوب بین دو هیدروگراف می‌باشند. علت پایین بودن ضریب ناش-ساتکلیف برای جریان‌های

در این مطالعه نیز مدل برای حوضه آبریز سازند در ایران آزمون گردید. نتایج نشان‌دهنده همخوانی بالایی هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای بودند. دقت شبیه‌سازی بر طبق شاخص ناش-ساتکلیف حدود ۸۹ درصد در دوره واسنجی و ۶۰ درصد در دوره اعتبارسنجی تعیین گردید. طبق مطالعه (Porretta et al. (2011 ضریب ناش-ساتکلیف بین ۰/۵۰ الی ۰/۶۵ نشان‌دهنده عملکرد خوب و مقادیر ۰/۶۵ الی ۰/۸۵ برای این ضریب بیانگر عملکرد خیلی خوب مدل است. بر اساس این نتایج می‌توان گفت که مدل با دقت قابل قبولی می‌تواند

می‌کند که از بین سناریوهای بررسی شده، سناریو RCP 8.5 اختلاف بیشتری را نشان می‌داد که دلیل آن می‌تواند میزان بیشتر واداشت تابشی نسبت به سایر سناریوهای دیگر می‌باشد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رواناب در آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم حاکی از این مسأله می‌باشد که میزان رواناب در این حوضه در تمام سناریوها کاهش یافته است که با نتایج (Abdo et al. (2009 و (Majone et al. (2012 که این مقدار کاهش برای سناریو RCP 2.6 برابر ۵/۵۳، RCP 4.5 برابر ۱۳/۸۹ و RCP 8.5 برابر ۲۵/۱ درصد می‌باشد که این مسأله حاکی از عملکرد سخت‌گیرانه سناریو RCP 8.5 می‌باشد.

در پایان با توجه به اینکه توزیع مکانی خصوصیات هیدرولیکی هر یک از خروجی‌های مدل برای هر گام زمانی قابل تعیین است، می‌توان از این مدل برای تجزیه و تحلیل اثرات توپوگرافی، خاک و کاربری بر روی رفتار هیدرولوژیکی حوضه رودخانه استفاده نمود.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Geographic Information System (GIS)
- 2- Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa)
- 3- Vu Gia Thu Bon
- 4- Aynalem
- 5- Conversion of Land Use and its Effects (CLUE)
- 6- Parameter ESTimation (PEST)
- 7- Kamienna and Sidra
- 8- Margecany-Hornad Watershed
- 9- Simiyu
- 10- Statistical DownScaling Model (SDSM)
- 11- Digital Elevation Model (DEM)
- 12- Second Generation Canadian Earth System Model (CanESM2)
- 13- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
- 14- Representative Concentration Pathway (RCP)

#### ۵- مراجع

- Abdo KS, Fiseha BM, Rientjes T, Gieske ASM, and Haile AT (2009) Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay catchment in Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrological Processes* 23(26):3661-3669
- Ahmadi A, Khoramian A, Safavi H (2015) Assessment of climate change impacts on snow-runoff processes, A case study: Zayandehroud River Basin. *Iran-Water Resources Research* 11(2):70-82 (In Persian)

کم که در شکل‌های ۶ و ۷ نیز قابل مشاهده می‌باشند را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم نمود. دسته اول علل کلی می‌باشند که می‌توان آن‌ها را به مدل و فرضیات آن نسبت داد. از این دسته می‌توان به ساده‌سازی مدل در مورد آب زیرزمینی اشاره نمود. مدل WetSpa برای محاسبه آب زیرزمینی از یک روش ساده به نام مخزن خطی استفاده می‌کند که جریان آب زیرزمینی را در سطح زیرحوضه‌های کوچک تعیین کرده و قادر نیست توزیع مکانی آب زیرزمینی را محاسبه نماید. همچنین تخمین نامناسب تبخیر از سفره‌های آب زیرزمینی طی دوره‌های خشک را می‌توان از علل مربوط به این گروه دانست. دسته دوم علل را می‌توان به شرایط موجود در حوضه آبریز شازند مرتبط دانست. از این دسته نیز می‌توان یکی به برداشت آب پایه در تابستان برای کارهای زراعی و همچنین وجود مخازن کوچک در پایین دست جریان اشاره نمود زیرا در مدل WetSpa تأثیر دریاچه‌ها و مخازن بر دبی جریان در نظر گرفته نمی‌شود که این موارد با نتایج تحقیقات (Chormanski et al. (2011 و (Bahremand et al. (2005 و (Safari et al. (2012 مطابقت دارد.

مطالعه بیان آب حوضه برای بررسی تغییرات آبی سیستم هیدرولوژیکی و همچنین به‌عنوان وسیله‌ای برای تعیین کارایی مدل می‌باشد که با توجه به نتایج شبیه‌سازی و داده‌های اندازه‌گیری شده تعیین می‌گردد. بررسی نتایج بیان آبی حاصله از مدل WetSpa در حوضه نشان می‌دهد که ۵/۹۷ درصد از بارش توسط تاج پوشش گیاهان جذب شده، ۷۳/۰۶ درصد از طریق تبخیر به اتمسفر باز می‌گردد، ۳۳/۴۴ درصد تغذیه آب زیرزمینی می‌گردد و ۲۳/۳۱ درصد به رواناب تبدیل می‌شود که از این میزان ۰/۵۲ درصد رواناب سطحی، ۰/۰۱ درصد رواناب زیرسطحی، ۲۲/۷۸ درصد جریان آب زیرزمینی را شامل می‌شود که این یافته‌ها با توجه به اطلاعات موجود راجع به خصوصیات هیدرولیکی حوضه منطقی به نظر می‌رسند.

موضوع مورد بررسی دیگر در این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی رواناب حوضه آبریز شازند بود برای این منظور از مقادیر داده‌های بارش، دما و تبخیر و تعرق چهار ایستگاه شامل قدمگاه، شازند، عمارت و آستانه استفاده شد. همچنین جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم از مدل CanESM2 از سری مدل‌های گزارش پنجم IPCC استفاده شد که به وسیله مدل SDSM ریزمقیاس‌سازی انجام گردید.

نتایج مدل CanESM2 تحت سه سناریو نشان داد که به‌طور کلی در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر داده دما افزایش یافته و میزان بارش کاهش پیدا

- models. *Iran-Water Resources Research* 11(2):146-150 (In Persian)
- Hamidiyan M, Soltani J, Ghandehari GH (2013) Assess the impact of climate change on runoff catchment Bar and Taghan Nishapur times the output of general circulation models (HadCM3). The first National Conference on Water and meteorology Iran, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran, 11p. (In Persian)
- Karimi H, Zeinivand H, Tahmasebipour N, Haghizadeh A, Miryaghoubzadeh MH (2016) Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. *Environmental Earth Sciences* 75:664-674
- Klaas D K, Imteaz M A, Sudiayem I, Klaas E M and Klaas E C (2020) Assessing climate changes impacts on tropical karst catchment: Implications on groundwater resource sustainability and management strategies. *Journal of Hydrology* 582, 124426
- Majone B, Bovolo C, Bellin A, Blenkinsop S (2013) Modeling the impacts of future climate change on water resources for the Gállego river basin Spain. *Water Resources Research* 48(1):1-18
- Minville M, Brissette F, Leconte R (2008) Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology* 70-83
- Mohammady M, Moradi H R, Zeinivand H, Temme A J A M, Yazdani M R, and Pourghasemi H R (2018) Modeling and assessing the effects of land use changes on runoff generation with the CLUE-s and WetSpa models. *Theoretical and Applied Climatology* 133(1-2):459-471
- Phuong DND, Duong TQ, Liem ND, Tram VNQ, Cuong DK, Loi NK (2020) Projections of future climate change in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam by using Statistical DownScaling Model (SDSM). *Water* 12, 755
- Porretta-Brandyk L J, Chormanski A, Brandyk A, and Okruszko T (2011) Automatic calibration of the WetSpa distributed hydrological model for small lowland catchments. *Geoplanet: Earth and Planetary Sciences, Modelling of Hydrological Processes in the Narew Catchment* 43-62
- Rahimi R, Rahimi M (2018) Spatial and temporal analysis of climate change in the future and comparison of SDSM, LARS-WG and artificial neural network downscaling methods (Case study: Khuzestan Province). *Iranian journal of Ecohydrology* 5(4):1161-1174 (In Persian)
- Ajam Zadeh A, Mollaeinia M (2016) Assessment of impact of climate change on Firoozabad river runoff with downscaling of atmospheric circulation models output by SDSM and LARS-WG softwares. *Iran-Water Resources Research* 12(1):95-109 (In Persian)
- Alizade A, Sayyari N, Hesami-Kermani MR, Banayan Avval M, Farid Hosseini E (2010) Assessment of effects of climate change on water resources and agriculture water using. *Water and Soil Journal* 24:815-835
- Azin Mehr M, Bahremand A (2015) Simulation of the effect of land use change scenarios on Dinour watershed hydrograph using WetSpa Distributed-Hydrological hydrological model. *Scientific Journal of Watershed Engineering and Management* 7:500-510
- Azizi M, Mohajerani A, Akhavan M (2018) Simulating and prediction of flow using by WetSpa model in Ziyarat River Basin, Iran. *Open Journal of Geology* 8(3):298-312
- Bahremand A, De Smedt F, Corluy J, Liu Y B (2006) WetSpa model application for assessing reforestation impacts on floods in Margecany-Hornad Watershed, Slovakia. *Water Resources Management* 21:1373-1391
- Bahremand A, Corluy J, Liu YB, and De Smedt F (2005) Stream flow simulation by WetSpa model in Hornad river basin, Slovakia, floods, from Defence to management edited by van Alphen, van Beek and Taal. Taylor- Francis Group, London, pp. 67-74
- Beck S, Mahony M (2017) The IPCC and the politics of anticipation. *Nature Climate Change* 7(5):311-313
- Chormanski J O, Batelaan (2011) Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with significant contribution of organic soil, Upper Biebrza case study. *Land Reclamation* 43(1):25-35
- Daraei S, Bahremand A, Karimi H (2019) Evaluation of the effect of land use changes on subsurface flow using WetSpa model, case study: Horo-Dehno Watershed. *Watershed Engineering and Management* 11(2):392-407
- Fabri-Ruiz S, Danis B, Navarro N, Koubbi P, Laffont R, and Saucède T (2020) Benthic Eco regionalization based on echinoid fauna of the Southern Ocean supports current proposals of Antarctic Marine Protected Areas under IPCC scenarios of climate change. *Global Change Biology* 26(4):2161-2180
- Ghorbani M, Azani A, Mahmoudi Vanolya S (2015) Rainfall-runoff modeling using hybrid intelligent

- regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software* 17(2):145-157
- Yigzaw D, Haddush G, Gebremeskel A (2019) Investigation of runoff response to land use/land cover change on the case of Aynalem catchment, North of Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences* 153:130-143
- Zehabion B, Goodarzi MR, Massah A (2010) Application of SWAT model for estimating runoff in future periods affected by climate change. *Journal of Climatology* 43-58
- Zeinivand H, De Smedt F (2009) Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment transport at watershed scale. *World Environmental & Water Resources Congress (EWRI)*, 17-21 May, Kansas City, USA
- Rahmati H, Emamgholi Zadeh S, Ansari H (2020) Estimation runoff of Bara-Ariye basin using WetSpa and artificial neural network models. *Geography and Planning* 23 (In Persian)
- Rwetabula J, De Smedt F, and Rebhun M (2007) Prediction of runoff and discharge in the Simiyu River (tributary of Lake Victoria, Tanzania) using the WetSpa model. *Hydrology and Earth System Sciences* 4:881-908
- Safari A, De Smedt F, Moreda F (2012) WetSpa model application in the distributed model intercomparison Project (DMIP2). *Journal of Hydrology* 418- 419:78-89
- Wilby R L, Dawson C W, Barrow E M (2002) SDSM- A decision support tool for the assessment of