

## Measurement and forecasting of flood potential in terms of climate change algorithms (Case Study: Gorganrood Watershed)

Abdolhafez Panahi<sup>1</sup>, GholamrezaJanbaz Ghobadi<sup>2\*</sup>, Sadraddin Motavalli<sup>3</sup>, Shahryar khaledi<sup>4</sup>

1- PhD Student of Geography and climatology, Noor branc, Islamic Azad University, Noor, Iran.

2- Assisitant Professor of Geography, Noor branc, Islamic Azad University, Noor, Iran.

3- Associate Professor of Geography, Noor branc, Islamic Azad University, Noor, Iran.

4- Professor of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received: 14 March 2023

Accepted: 12 August 2023

### Extended Abstract

#### Introduction

Flood is one of the natural phenomena and one of the most important and destructive hazards in the world, which is associated with loss of life and property every year in different parts of the world and Iran. Climate change has consequences and effects on global warming, reduction of Agricultural production, changes in the diversity and vegetation of pastures, changes in groundwater levels, the occurrence of social and economic problems, and so on. The overall goal of this research is to zoning and model areas at risk and flood risk for changing climates. The prevailing approach of the research is the approach of climate change and its effects on the hydrology of Gorganrood watershed. The key goal of the current research is to model and forecast regional flood risk under climate change conditions using fuzzy analysis algorithm, hierarchical analysis and SWAT model in the watersheds of Golestan province. In fact, it is possible to plan the water resources of the region more precisely and help to calculate the more precise management of the transfer of the region along with other environmental variables, including this research. There have been many research studies on the phenomenon of precipitation in Golestan province and Iran, but none of them have examined this climatic variable with the perspective of climate change together with environmental variables.

#### Methodology

Gorganrood Basin with an area of 10197 square kilometers is one of the northeastern basins of the country, a large part of which is located in Golestan province. It is bounded by the Atrak catchment area and the Caspian Sea and Qarahu catchment area from the west. In the present study, flood zone changes in Gorganrood watershed based on the use of meteorological organization (synoptic) station information with a 30-year statistical period (1989 to 2018), land use, vegetation, topographic moisture index, slope, altitude, land lithology, Distance from river, river density, erosion, soil science, runoff, simulated data The average rainfall of HadCM3 model in LARS-WG under SRA1B scenario is estimated between 2011 and 2045. The evaluation criteria used in this study are defined based on parameters such as ME, RMSE, ASE, MSE. The most important criterion for estimating estimates is the square root of the mean error (RMSE). (ME) is the mean of the errors or the mean difference between the estimated value and the value observed at point I. The SWAT model is an extension under ArcGIS software that simulates the main hydrological processes including evapotranspiration, surface runoff, deep infiltration, groundwater flow and subsurface flows by the simulator model.

---

\*. Corresponding Author (Email: [gghobadi@yahoo.com](mailto:gghobadi@yahoo.com)).

The type of land use in the region, the type of vegetation in the region, the slope values and the length of the slope in different areas, which is used through the Geographic Information System (GIS). The input spatial variables of the SWAT model in this study include the digital elevation model (DEM) information layers, the soil layer with soil texture information, and the land use layer with its descriptive information. Hydroclimatology and numerical variables of SWAT model include daily precipitation, minimum and maximum temperature related to stations inside and outside the basin and the average daily runoff of the basin outlet along with their geographical locations. Simulating large and complex areas with different management strategies can be done without spending a lot of time and money.

### **Results and discussion**

The results for SRA1B scenario therefore it can be concluded that in general for the next period, the area under study will face a decrease in average flow rate. By analyzing the obtained results, it can be inferred that the phenomenon of climate change will have tangible effects on the studied area over time and will change the values of temperature and precipitation parameters and will reduce winter precipitation and increase the temperature of the studied area. results of the future discharge simulation show a decrease in runoff for October under the SRA1B scenario. Therefore, according to the results, it can be stated that in general, the SRA1B scenario predicts a decrease in discharge for the next period compared to the observed discharge. The simulation results of the basin output flow and observational flow measured by architect R2 and NS as well as the uncertainty parameters r-factor, p-factor were evaluated and analyzed. The optimal values of R2 and NS coefficients are one and one. One of the goals of the SWAT model is to reduce impotence. So that most of the observational data are at the level of 95%. In research, NS coefficient greater than 0.5 and p-factor greater than 0.5 have been introduced as satisfactory values. Examining the changes, it is expected that the runoff will decrease with increasing scenarios. This trend has decreased in RCP4.5, although its limit rainfall has also increased, and in RCP8.5 (with more rainfall) the runoff has increased. The reason for this change is that the incidence of precipitation in RCP4.5 was in summer and early autumn, which despite the high evaporation and lack of snowmelt (according to RCP8.5 which in spring coincides with snowmelt) runoff is less than the next scenario.

### **Conclusion**

Flood risk zoning in the Gorganrood watershed, 345 villages with a population of 275,312 people are at high risk of flooding. square, it has a relatively low potential equal to 1425.46 square kilometers, a very high degree of flood risk equal to 884.68 square kilometers, and finally, an area with a low flood potential equal to 623.12 square kilometers from the entire surface of the Gorganrood watershed. It can also be concluded that most of the basin level equal to 89% is at risk of severe flooding. In all the stations, according to the predictions made by the LARS-WG model, the rainfall for the future scenario has increased in some months and decreased in some months compared to the base period . So that in the summer month, the rainfall will decrease and compared to the winter season, the rainfall will increase compared to the base period. The comparison of the monthly rainfall of the base period (2011-2007) with the rainfall simulated by the HadCM3 model for the SRA1B scenario (2011-2045) also shows a significant increase in rainfall in this series of scenarios in the months of September, October and November. It can be seen with a few changes. which can be investigated in terms of the effects of this phenomenon by studying the average percentage of precipitation changes for the SRA1B scenario in 2 periods; 2011-2045, 2045-2065 also shows the changes in rainfall from August in the period, 2011-2045 to 37.5% in November of the same period compared to the base period. The very high increase of precipitation changes in November can also be investigated and pondered for the cause of autumn floods.

**Key words:** Climate change, Algorithms, Zoning, Gorganrood, GIS

## پیش بینی و پهنه بندی پتانسیل وقوع سیلاب بر حسب الگوریتم های تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانود)\*

عبدالحافظ پناهی - دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی نور، ایران.  
غلامرضا جانباز قبادی<sup>۱</sup> - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران.  
صدرالدین متولی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی نور، ایران.  
شهریار خالدی - استاد گروه علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳

### چکیده

با توجه به بحران جهانی آب، داشتن اطلاعات درست از منابع آب در نقاط مختلف برای مدیریت برنامه ریزی و بهینه سازی ضروری است. پتانسیل سیل خیزی عبارت از تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب های سطحی است. در واقع، با تعیین محل های دارای پتانسیل بالا به نوعی می توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل خیزی منطقه نیز به دست آورد چراکه وجود پتانسیل بالای سیل خیزی در یک منطقه مقدمه ای بر افزایش احتمال وقوع سیل در آن منطقه می باشد روش پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش های کمی است، در تحقیق حاضر تغییرات منطقه ای سیلاب در حوضه آبخیز گرگانود با کارگیری اطلاعات ایستگاه های سازمان هواشناسی (سینوپتیک) با دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۷ تا ۱۳۶۸)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص رطوبت، توپوگرافیک، شیب، ارتفاع، لیتولوژی زمین، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فرسایش، خاکشناسی، رواناب، داده های شبیه سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدل HADCM3 در LARS-WG تحت سناریو SRAIB بین سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ برآورد شده است. در این تحقیق در دو بخش متفاوت که در روش اول از مدل LARS-WG برای ریز مقیاس نمائی جهت پیش بینی اقلیم آینده (نزدیک و دور) و در بخش دوم از مدل هیدرولوژیکی SWAT برای ارزیابی خطر سیل استفاده استفاده شد و با توجه به درصد خطرات احتمالی در حوزه آبریز گرگانود در محیط نرم افزار SWAT و GIS پهنه بندی گردید. با توجه به توزیع بارش با روش کریجینگ خطر سیلاب با احتمال خیلی زیاد در نواحی شمالی محدوده حوضه آبخیز رخ می دهد. پهنه بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز گرگانود نشان می دهد بیشتر سطح حوضه برابر ۸۹ درصد در معرض خطر سیلاب شدید واقع شده است. نتایج نشان داده اند که تغییر اقلیم و ساختار محیط طبیعی در منطقه پیامدها و اثراتی از جمله تغییر الگوی بارش، به وجود آمدن ناهمگنی در سری داده های تاریخی، تغییر سطح آب رودخانه ها و کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر در ترکیب و تولید گیاهی مراتع، تغییر سطح آب های زیرزمینی، بروز مشکلات اجتماعی و اقتصادی و ... بوجود آورده است. برخی از رفتارها در سری های زمانی عناصر اقلیمی ناگهانی، شدید و ناپایدار بوده و به شکلی غیرمترقبه دیده می شوند. عوامل فیزیوگرافی همچون شیب، بافت خاک، کاربری اراضی و نفوذپذیری سنگ ها موجب پاسخ های هیدرولوژیکی متفاوت به رخداد بارش در حوضه های مختلف منطقه شده و این امر بر ایجاد و ویژگی های سیلاب ناگهانی تأثیرگذار بوده است.

واژگان کلیدی: تغییرات اقلیمی، پهنه بندی سیلاب، الگوریتم، گرگانود، GIS، SWAT.

\* این مقاله برگرفته از رساله آقای عبدالحافظ پناهی به راهنمایی اول نویسنده دوم و راهنمایی دوم نویسنده سوم و مشاوره نویسنده چهارم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور می باشد.

## مقدمه

سیل یکی از بلایای طبیعی است که با ایجاد تغییرات شدید جوی در اثر بارش شدید و طغیان رودخانه‌ها همراه است. طی چند سال گذشته کشور ایران با پدیده‌های مهمی مانند آلودگی محیط زیست، پدیده‌های گرد و غبار و سیلاب و ... را تجربه کرده است. طغیان سیل خطر اصلی طبیعی است که سالانه باعث خسارات جانی و خسارت به اموال مادی می‌گردد. سیل‌های مکرر تا حدودی به تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی نسبت داده می‌شود. تغییر در الگوهای استفاده از اراضی، تخریب جنگل‌ها، سیستم ناکارآمد مدیریت سدها و رودخانه‌ها باعث افزایش درصد آسیب پذیری سیل و سیلاب می‌شود. تحقیقات علمی نقش مهمی در شناسائی مناطقی دارد که در معرض سیل قرار دارند. این امر باعث می‌شود تصمیم‌گیرندگان اقدامات لازم و هماهنگی لازم را برای جلوگیری یا کاهش خطرات سیل انجام دهند. ارزیابی و مدل‌سازی موضوعات پیچیده‌ای است که نیاز به یک رویکرد یکپارچه برای برنامه‌ریزی فضایی، ملاحظه زیست محیطی در توسعه، تصمیم‌گیری سیاسی و توسعه اقتصادی دارد. این امر باعث می‌شود تا ابزار سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تکنیک‌های قدرتمند تجزیه و تحلیل چند معیاره برای درک سیلاب‌ها استفاده شود. ایجاد نقشه‌های خطر سیل برای تهیه اطلاعات اولیه، مزیت استفاده از سنجش از دور و GIS برای ارزیابی و مدل‌سازی ریسک سیل برای تجزیه و تحلیل بیشتر و درک بیشتر فرایندی است که در این رویداد به وجود می‌آید. روش‌های تحلیل چند معیاره (AHP) چهارچوبی را فراهم می‌کند که می‌تواند دیدگاه‌های مختلفی در مورد شناسایی عناصر یک مسئله تصمیم‌گیری پیچیده داشته باشد، عناصر را به یک ساختار سلسله‌مراتبی سازمان دهد و روابط بین مؤلفه‌های مسئله را مورد مطالعه قرار دهد. استفاده از این روش در زمینه ارزیابی ریسک سیل هنوز نادر است روند سلسله‌مراتبی تحلیلی (AHP) که توسط (Saaty, 1980) ایجاد شده است. سیل یکی از پدیده‌های طبیعی و از مخاطرات بسیار مهم و مخرب در سطح جهان محسوب می‌شود که همه ساله با تلفات جانی و مالی در گوشه و کنار دنیا و ایران همراه است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۶۴). از بین رفتن پوشش گیاهی در اثر عدم درک صحیح از مدیریت منابع موجود، نبود جایگاهی برای آن در سیاست‌گذاری‌های کلان و شرایط اقتصادی حاکم بر عرصه و بهره‌وری بیش از ظرفیت طبیعی منابع موجود شرایطی را فراهم نموده است که هر ساله شاهد بروز سیلاب و اثرات تخریبی آن واز دست رفتن میلیون‌ها تن خاک ارزشمند باشیم. بر همین اساس کاهش و مهار نسبی خطرات سیلاب یکی از چالش‌های عمده مدیریت کشور است. یکی از راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبریز است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۸). پهنه‌بندی سیل، جهت مشخص کردن میزان خطرپذیری به سیلاب برای استفاده‌کنندگان متحمل سیل، شناسایی ناحیه‌ها برای بیمه سیل و ایجاد محدودیت‌های اجباری کاربری در مناطق خطرپذیر قابل استفاده هست. پهنه‌بندی معمولاً در نواحی مناطق توسعه‌یافته و بر طبق نقشه‌های خطرپذیری صورت می‌گیرد و بایستی قدرت لازم برای اعمال محدودیت‌های ناشی از آن وجود داشته باشد. به‌طور خلاصه تعیین پهنه‌های سیل گیر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های معین را پهنه‌بندی سیل می‌گوییم (قاسمیان، ۱۳۹۸: ۴۱۴). در منطقه مورد مطالعه در دو دهه گذشته چندین وقوع سیل اتفاق افتاده است وجود همین امر در محدوده و نیز با توجه به وسعت و توپوگرافی حوضه رودخانه که توان تولید بالایی را در تولید رواناب دارد و همچنین تبدیل کاربری‌های زمین از مرتع به کشاورزی و از بین رفتن پوشش گیاهی، زمینه مناسبی را برای تشدید سیلاب‌ها فراهم کرده است. قرارگیری روستاها و همچنین زمین‌های کشاورزی در حریم رودخانه‌ها و از همه مهم‌تر عبور آن از شهرهایی مثل گنبد کاووس و آق‌قلا و بندر ترکمن و گمیشان در انتهای حوضه حتی لزوم بررسی در رابطه با تولید رواناب و سیلاب شهری و روستایی را توجیه می‌کند.

از بین رفتن پوشش گیاهی در اثر عدم درک صحیح از مدیریت منابع موجود، نبود جایگاهی برای آن در سیاستگذاری‌های کلان و شرایط اقتصادی حاکم بر عرصه و بهره‌وری بیش از ظرفیت طبیعی منابع موجود شرایطی را فراهم نموده است که هر ساله شاهد بروز سیلاب و اثرات تخریبی آن واز دست رفتن میلیون‌ها تن خاک ارزشمند باشیم. با توجه به اهمیت این موضوع و بعضاً اثرات منفی آن بر پوشش گیاهی مقابله با تغییر اقلیم مستلزم ارائه راهکارهایی برای سازگاری با شرایط آینده است. باوجود آنکه علل واقعی تغییرپذیری اقلیمی به‌طور کامل شناخته‌نشده است، لیکن فرضیه‌هایی به‌عنوان عوامل مؤثر در تغییرات اقلیم مطرح شده‌اند که نتیجه تمام این فرضیه‌ها، تغییر پارامترهای درجه حرارت و بارش است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۰). تغییر اقلیم دارای پیامدها و اثراتی در بروز پدیده گرمایش جهانی، کاهش تولیدات کشاورزی، تغییر در تنوع و پوشش گیاهی مراتع، تغییر سطح آب‌های زیرزمینی، بروز مشکلات اجتماعی و اقتصادی و ... است (زارعی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۲۶). مدل‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای هواشناسی اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی محیطی دارد (عاقل‌پور و نادى، ۱۳۹۷: ۱۱۳). پهنه‌بندی سیل، جهت مشخص کردن میزان خطرپذیری به سیلاب برای استفاده‌کنندگان متحمل سیل، شناسایی ناحیه‌ها برای بیمه سیل و ایجاد محدودیت‌های اجباری کاربری در مناطق خطرپذیر قابل استفاده هست (قاسمیان، ۱۳۹۸: ۴۱۴).

### مبانی نظری

چارچوب نظری از مراحل اساسی علم روش تحقیق است، که بر مبنای نظریه‌های خاص، پدیده را بررسی می‌نماید. در واقع محقق بعد از تعیین موضوع تحقیق و مطالعات اکتشافی با نگاهی فراگیر به اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع اسنادی و غیر اسنادی باید به مهار کردن ایده‌های نظری مرتبط با پدیده مورد بررسی بپردازد و محورهای اصلی نظری تحقیق خود را مشخص کند و طرح نظری مناسب با مسئله تحقیق را ارائه دهد. چارچوب نظری از مراحل تعیین‌کننده روش تحقیق است که بر مبنای نظریات خاص موجود در هر رشته‌ای، باید به اثبات قواعد منطقی و همبستگی بین پدیده‌های مورد مطالعه در آن تحقیق پرداخت. هدف کلی این تحقیق پهنه بندی و مدل کردن مناطق تحت خطر و ریسک سیلاب برای اقلیم در حال تغییر می‌باشد. رویکرد حاکم بر تحقیق رویکرد تغییر اقلیم و اثرات آن بر هیدرولوژی حوضه آبخیز گرگانود می‌باشد. مسئله تغییر اقلیم یکی از چالش‌هایی است که اثر منفی بر روی اکوسیستم‌های آبی و خشکی دارد. عواملی مانند گردش وضعی زمین، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی، چرای بیش‌ازحد دام در مراتع، روش‌های آبیاری نامناسب، افزایش گازهای گلخانه‌ای، در بروز پدیده تغییر اقلیم نقش دارند. استان گلستان یکی از نقاط سیل خیز کشور بوده که تجربه‌های بسیار سختی از سیلاب طی سالیان متمادی در آن وجود دارد با توجه به پیشرفت علم و تکنولوژی و یافته‌های متفاوت از روند تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی‌های آینده دور و آینده نزدیک نیاز در این است که از ترکیب و ادغام یافته‌های چندین مدل مثل ریز مقیاس نمائی LARS-WG ، SDSM و... استفاده شود و نیز از فنون و مدل‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در جهت ترسیم و تهیه نقشه‌ها جهت پهنه‌بندی و بررسی و ترکیب نتایج یافته‌ها به کار گرفته شود لذا در این رساله، ما به دنبال آشکارسازی نقش اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات سیلاب حوضه آبریز گرگانود در استان گلستان و پیش‌بینی روند تغییرپذیری این فرایند برای دهه‌های آینده می‌باشیم. بطوری که با پیش‌بینی‌های مناسب از تغییرات بارندگی در این ناحیه مطالعاتی می‌توان، مدیریت ریسک را جایگزین مدیریت بحران در عرصه‌های طبیعی، روستایی و شهری و همچنین حفاظت از این سرمایه ملی اعمال نمود. هدف کلیدی پژوهش حاضر مدل‌سازی و پیش‌بینی خطر وقوع منطقه‌ای سیلاب تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم تحلیل فازی، تحلیل سلسله مراتبی و مدل SWAT در حوضه‌های آبخیز استان گلستان است. به دلیل بالا بودن ضریب تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش در

منطقه استان گلستان شناخت منابع آب و متغیرهای محیطی و بررسی آن‌ها که عمده‌تاً حاصل ریزش‌های جوی است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بارش یکی از پدیده‌های اقلیمی است که به علت وابستگی زندگی موجودات زنده به آن از اهمیت زیادی برخوردار است. این اهمیت زمانی آشکارتر می‌شود که در یک منطقه با کمبود ریزش و یا با ریزش ناگهانی روبرو شویم. در واقع بارش پدیده‌ای اقلیمی است که به دلیل پیوند با اجزاء مختلف دستگاه اقلیم رفتاری پیچیده دارد. تدوین و تکوین این پژوهش می‌تواند راه‌گشای مطالعات بعدی باشد و نیز در برنامه‌ریزی‌های سازمان‌های آب منطقه‌ای، هواشناسی، منابع طبیعی، جهاد کشاورزی، محیط‌زیست، راه و ترابری و کلیه‌ی کاربران اقلیم در جهت توسعه پایدار منطقه مؤثر واقع گردد. در واقع، امکان برنامه دقیق‌تر مدیریت منابع آب منطقه و کمک به محاسبه دقیق‌تر بارش منطقه در کنار متغیرهای محیطی دیگر از جمله مزایای این پژوهش است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پدیده بارش در منطقه استان گلستان و ایران صورت گرفته است ولی هیچکدام این متغیر اقلیمی را با دیدگاه تغییر پذیری اقلیمی همراه با متغیرهای محیطی به صورت تلفیقی بررسی نکرده‌اند که شرح مختصری از این پژوهش‌ها در ذیل اشاره می‌شود.

فلونی و همکاران (۲۰۲۰) محدوده‌های سیل خیز منطقه‌ی آتیکا در یونان را با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در GIS شناسایی نمودند. آنها چارچوبی را پیشنهاد دادند که در آن عمده‌تاً داده‌هایی نظیر توپوگرافی، پوشش زمین و مواردی از این دست در مطالعات مدنظر قرار گیرد. کیم و همکاران (۲۰۲۰) پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله رودخانه‌ی مکونگ پایین کامبوج تایلند را انجام دادند و عنوان کردند که با استفاده از روش‌های موجود در محیط GIS می‌توان خطرپذیری سیلاب را در حوضه‌های آبریز برآورد کرد. کاستریدیس (۲۰۲۰) با عنوان «یک رویکرد یکپارچه از تجزیه و تحلیل سیلاب در حوضه‌های آبریز مدیترانه با استفاده از نظرسنجی‌های پس از سیل و وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (بهبودها)» اشاره کرد. این مطالعه رویداد سیل ناگهانی دو جریان زودگذر غیرمنتظره را در منطقه المپادا (یونان شمالی)، که در ۲۱ تا ۲۲ نوامبر ۲۰۱۹ رخ داده است، تجزیه و تحلیل می‌کند. نتایج حاصل از این رویکرد نشان داد مداخله انسان در جریانهای اصلی، پراکندگی شهری، AMC مرطوب و حمل و نقل رسوب از اصلی‌ترین عواملی است که در ایجاد سیلاب چشم‌انداز مؤثر بوده است. این رویکرد یکپارچه، ضرورت ارزیابی و اعتبارسنجی مداوم مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را در حوضه‌های آبریز کوچک دریای مدیترانه و جریان‌های زودگذر آشکار کرد. جیا و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی را با عنوان پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس فرایند تحلیلی سلسله مراتبی و مجموعه متغیرهای فازی انجام داده‌اند و در نهایت مناطق در معرض بیش‌ترین خطر سیل را نام برده‌اند. یودینگ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه‌موردی: بانگ رگام در تایلند) پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که مناطق بسیار خطرناک سیل در نزدیکی شبکه زهکشی یافت شده است. همچنین فاکتورهای تأثیرگذار مهم در معرض خطر سیلاب به ترتیب شامل؛ انباشت جریان، ارتفاع و نفوذ آب خاک (همان وزن)، فاصله از شبکه زهکشی، متوسط باران سالیانه، تراکم زهکشی، کاربری زمین و شیب بوده است. در تحقیقی که ملینسکی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی رودخانه ویستولا در کشور لهستان انجام داد، حداکثر آورد سالیانه‌ی رودخانه بوسیله‌ی پارامترهای فیزیوگرافی حوضه بالادست رودخانه برای ۴۱ ایستگاه بررسی گردید. نتایج نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی حوضه مؤثر بر سیل، شامل مساحت زیر حوضه، اختلاف ارتفاع، شبکه‌ی آبراه‌های حوضه بودند. اقبال و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیل در حوضه‌ی رودخانه کابل برای دو دوره‌ی ۲۰۵۰-۲۰۳۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ با چهار مدل اقلیمی تحت سناریو RCP4.5، RCP8.5 پرداختند. برای شبیه‌سازی رواناب‌های سالانه حداکثر از مدل SWAT استفاده کردند. برای انجام تحلیل فرکانس از مدل HEC-SSP استفاده کردند. نتایج نشان از افزایش دما و بارش بود. همچنین، بررسی فراوانی سیل افزایش شدت و کاهش دوره‌های بازگشت سیل را نشان

داد که در RCP8.5 این مقادیر بیشتر از RCP4.5 بود. شرستا و لویای سانکریت (۲۰۱۷) در مقاله خود ارزیابی خطرسیل تحت سناریوهای تغییر آب و هوا در حوضه رودخانه یانگ تایلند، از روش LARS-WG و مدل روان آب استفاده کرده و نتایج حاصل نشان می‌دهد: از خروجی‌های اصلاح شده از سه مدل گردش کلی (GCM) برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ ساخته شد. نتایج نشان می‌دهد که حوضه در آینده گرم‌تر و مرطوب‌تر می‌شود. حداقل و حداکثر دمای حوضه در آینده روند افزایشی پیش‌بینی شده است میزان بارندگی سالانه در آینده، بیشتر در آینده نزدیک و در آینده بسیار کمتر باشد الگوی رواناب شدید و هیدروگراف‌های ورودی مصنوعی برای برگشت سیل ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله انتظار می‌رود که سناریوهای RCP 4.5 و ۸,۵ افزایش یابد. در مقایسه با دوره پایه، مساحت اضافی ۶۰ کیلومتر مربع از حوضه با دوره بازگشت ۱۰۰ سال سیلاب پیش‌بینی شده است نتایج حاصل از این مطالعه برای تدوین استراتژی‌های سازگاری برای جبران آن مفید خواهد بود.

دانوما و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای که در منطقه عبیدجان به منظور ارزیابی خطر سیلاب و پهنه‌بندی آن با روش تحلیل سلسله مراتبی پرداختند به این نتیجه رسیدند که ۳۴ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در معرض خطر سیلاب هستند. آنها از لایه‌های اطلاعاتی تراکم زهکشی، نوع خاک، تراکم جمعیت، کاربری اراضی و سیستم فاضلاب در مطالعه خود استفاده نمودند. چری (۲۰۱۳) در تحقیق خود در ارتباط با ریز مقیاس‌نمایی و مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم در هیدرولوژی و منابع آب حوضه رودخانه نیل با استفاده از روش LARS-WG و SWAT که در آن تحلیل تأثیرات احتمالی تغییرات آب و هوایی آینده بر منابع آب در دو بخش پیش‌بینی و مدل‌سازی با استفاده از پیش‌بینی‌کننده‌های نزولی از سه مدل GCM (ECHAM5, GFDL21 و CSIRO-MK3) تحت سناریوهای SRES و LARS-WG اعمال می‌شود برای دوره زمانی آینده ۲۰۵۰ پیش‌بینی آب و هوا نشان می‌دهد: افزایش دما از C ۰,۶ به C ۲,۷ برای دمای حداکثر فصلی Tmax، و برای حداقل C ۰,۵ تا C 2.44 است در نتیجه این افزایشها به طور کلی برای A2 بیشتر از میزان A1B است و در مدل SWAT برای پیش‌بینی جریان بالای رود نیل و همچنین سایر پارامترهای مربوط به منابع آب در حوضه، نتایج حاصل از شبیه‌سازیهای بعدی جریان در حوضه با استفاده از هر دو LARS-WG و LSD در SWAT، نشان دهنده کاهش ۱۰٪ به ۶۱٪ جریان آبی رود نیل می‌باشد. نفرزادگان و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی تحت عنوان ادغام مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب جهت اولویت بندی زیرحوضه‌ها برای کنترل سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دهبار خراسان) به این نتیجه رسیده‌اند که بررسی پارامترهای مؤثر در بروز سیل از طریق رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌تواند در تعیین نقش هر یک از زیرحوضه‌ها در بروز سیلاب راهگشا باشد. گودرزی و فاتحی فر (۱۳۹۸) در تحقیق پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذر شهر چای) با استفاده از مدل گردش عمومی CAN ESM2 تحت جدیدترین سناریو و متغیر دما و بارش آماری SDSM ریز مقیاس نمائی شده و با روش هیدرولوژیکی SWAT نقشه حوزه‌بندی و خطوط آبراهه‌ها حاصل گردیده نتایج ارزیابی مدل SDSM با ضریب تعیین و نش- ساتکلیف ۰/۹۵. به طور متوسط بیانگر عملکرد خوب مدل در ریزمقاس نمایی داده‌های بزرگ مقیاس است. همچنین افزایش ۲۳٪، درجه سانتیگراد دما و ۴/۵۳ درصدی بارش و دبی‌های حداکثر در دوره آبی ۲۰۳۰-۲۰۵۹ پیش-بینی شده‌است. با مدل SWAT نقشه‌های پایه تحلیل و حوضه با تلفیق نقشه متوسط دبی حاکثر، ضریب شکل حوضه و فاصله از رودخانه که با رویکرد AHP پهنه‌بندی شده است. با توجه به پهنه‌بندی ۴۱/۵۵ درصد از مساحت حوضه در خطر بسیار کم و کم، ۲۷/۲۳ درصد خطر و ۳۱/۲ درصد در خطر زیاد و بسیار زیاد می‌باشد همچنین با نقشه‌نهایی مشخص شد که اواسط حوضه به دلیل داشتن شرایط مستعد دارای خطر زیاد است و نیاز به انجام اقدامات مدیریتی دارد. خوش روش و

رضایی (۱۳۹۵) در پژوهش تحت عنوان اثر تغییر اقلیم بر فراوانی سیلاب حوضه کلاردشت با استفاده از تلفیق الگوریتم K-nn و مدل HadCM3 به این نتیجه رسیده‌اند که نتایج تحلیل فراوانی سیل نشان داد که دبی سیل در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با دوره بازگشت ۲۵ ساله در کل حوضه، نسبت به دوره پایه، ۲۱ درصد کاهش دارد. بحری و دستورانی (۱۳۹۶) در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوضه آبخیز اسکندری به این نتیجه رسیده‌اند که علاوه بر تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی به عنوان یک عامل جانبی اثرات مهمی بر سیلاب دارد. لذا پیش‌بینی اثر این دو پارامتر بر وضعیت سیلاب دهه‌های آتی، راهگشای مقابله با این پدیده خواهد بود.

گنجی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی (منطقه مطالعاتی: شهر آق‌قلا) به این نتیجه دست یافته‌اند که با توجه به تخریب دیواره بیرونی پیچان رودهایی که شعاع انحنای کمی دارند مقدار زیادی گل‌ولای همراه با سیلاب به سمت مناطق شمال شرقی و جنوب شرقی جریان پیدا کرده بود. در تاریخ چهارم فروردین ۱۳۹۸، در حدفاصل روستای آق‌تکه‌خان تا روستای دوگونچی میانگین عرض کم بستر رودخانه و شیب بستر بسیار کم (دو در ده هزار) باعث عدم حرکت سیلاب شده که منجر به بالا آمدن سطح آب رودخانه و خروج آن از بستر رودخانه در محدوده شهری آق‌قلا شد. دیواره‌سازی قوس‌های بیرونی پیچان‌رودها، کاشت گیاهان با جذب آب زیاد در حریم کمی رودخانه، تعریض و لایروبی بستر رودخانه می‌تواند تا حد زیادی از آبرفتگی شهر آق‌قلا هنگام سیلاب جلوگیری نماید.

سلیمانی و صلاحی (۱۴۰۱) با بیان اینکه بارش‌های سیلابی از جمله فاجعه بارتترین مخاطراتی‌اند که خسارات فراوانی را در تمامی جوانب در مناطق سیل‌زده ایجاد می‌کنند، بارش‌های سیلابی ۱۳ تا ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۷ در شمال ایران مورد بررسی همدید قرار دادند نتایج حاصل در یک روز قبل از بارش، نشانگر قرارگیری منطقه در محل شیب فشاری سیستم‌های پرفشار غرب دریای سیاه با کم فشارهای اروپای شمالی و سودانی در سطح زمین است.

شاکری و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی به ارزیابی متغیرهای تغییر اقلیمی شهر تهران تحت سناری RCP در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و تحلیل عملکرد منطق فازی در ریزمقیاس‌نمایی پرداخته‌اند نتایج دوره آتی بیانگر روند صعودی تغییرات سالانه دمای متوسط، دمای حداکثر، بارش و سرعت باد است. با جمع بندی پیشینه کارهای انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت بررسی تغییرات بارندگی، دبی سیلاب رودخانه در اثر پتانسیل تغییرات اقلیمی در آینده، همچنین بررسی معیارهای طبیعی بینش ارزشمندی می‌دهد که چگونه سطح حوضه آبخیز به این تغییرات واکنش نشان می‌دهد و مدیران را در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر روند سیل‌خیزی حوضه آبخیز گرگانرود به منظور برنامه‌ریزی جهت کنترل سیلاب یاری می‌کند. نتایج یافته‌های تحقیقات دانشمندان گویای این نظر است که وقوع تغییرات اقلیمی در آینده نمود بیشتری خواهد داشت لذا تحلیل پیش‌بینی تغییرات اقلیمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وقوع تغییرات اقلیمی در یک منطقه با عوامل مختلفی ارتباط دارد و روش‌های متعددی برای مطالعه این پدیده بکار گرفته شده است. در این تحقیق به بررسی وقوع سیلاب تحت شرایط تغییرات اقلیمی و ارزیابی خطرات احتمالی آن و پهنه بندی، ابعاد و پیامدهای زیانبار آن پرداخته خواهد شد.

تحقیقات پژوهشگران طی سالهای گذشته نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی اثرات متفاوتی بر روی مولفه‌های اقلیم و مولفه‌های هیدرولوژیکی دارد که باعث ایجاد خشکسالی و یا سیلاب می‌گردد. برای نمونه ایجاد سیل‌های مخرب سالهای ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در کشور خصوصاً در استان گلستان نیاز به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی عناصر اقلیمی و عناصر هیدرولوژیکی حوضه آبخیز را حائز اهمیت و در الویت قرار می‌دهد. استان گلستان یکی از نقاط سیل‌خیز کشور بوده که



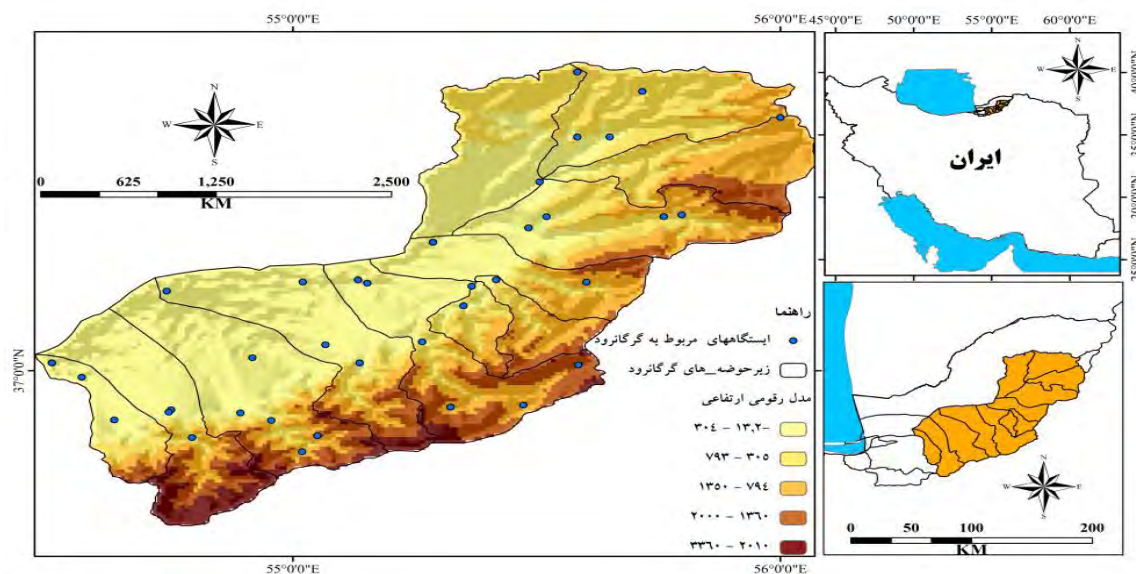
تجربه‌های بسیار سختی از سیلاب طی سالیان متمادی در آن وجود دارد با توجه به پیشرفت علم و تکنولوژی و یافته‌های متفاوت از روند تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی‌های آینده دور و آینده نزدیک نیاز در این است که از ترکیب و ادغام یافته‌های چندین مدل مثل ریز مقیاس نمائی LARS-WG، SDSM و... استفاده شود و نیز از فنون و مدل های سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS در جهت ترسیم و تهیه نقشه‌ها جهت پهنه‌بندی و بررسی و ترکیب نتایج یافته‌ها به کار گرفته شود. در این پژوهش در دو بخش متفاوت که در روش اول از مدل LARS-WG برای ریز مقیاس نمائی جهت پیش‌بینی اقلیم آینده (نزدیک و دور) و در بخش دوم از مدل هیدرولوژیکی SWAT برای ارزیابی خطر سیل استفاده شده و با توجه به درصد خطرات احتمالی در حوزه آبریز گرگانرود در محیط نرم افزار SWAT و GIS پهنه‌بندی گردید. بر اساس اهداف تحقیق سوالات پژوهش حاضر بدین شرح می‌باشد.

- ❖ آیا امکان پهنه بندی و مدل کردن مناطق تحت خطر وقوع سیلاب برای اقلیم در حال تغییر وجود دارد؟
  - ❖ براساس سناریوی تغییر اقلیم خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز گرگانرود چگونه است ؟
  - ❖ کدام قسمت‌های حوضه گرگانرود از خطر وقوع سیلاب بیشتری برخوردار است؟
  - ❖ آیا تغییرات اقلیمی برالگوی بارشی وسیلاب‌های اخیر (سالهای ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) استان گلستان تاثیر داشته است؟
- با توجه به توضیحاتی که در بیان مسأله از حوضه آبخیز گرگانرود عنوان شده است فرضیات ذیل مطرح می‌گردد:
- ❖ می‌توان تحت شرایط تغییر اقلیم مدل سازی و پیش‌بینی خطرو وقوع سیلاب درحوضه آبخیز گرگانرود را انجام داد.
  - ❖ براساس سناریوهای تغییر اقلیم احتمال وقوع سیلاب درحوضه‌های گرگانرود زیاد است.
  - ❖ در مناطق بالادست و پر شیب رودخانه گرگانرود احتمال وقوع سیلاب بیشتری وجود دارد.
  - ❖ تغییرات اقلیمی در تغییر الگوی بارشی و وقوع سیلابهای سالهای ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ در محدوده مورد مطالعه تاثیر داشته است.

### روش پژوهش

حوضه آبریز گرگان رود با مساحت ۱۰۱۹۷ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده که بخش وسیعی از آن در استان گلستان واقع است این حوضه از جنوب مشرف به سلسله جبال البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبریز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبریز قره‌سو محدود می‌شود این حوضه در محدوده مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه محصور گردیده است. شکل ذیل موقعیت حوضه آبریز گرگانرود در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد حوضه آبخیز گرگانرود از لحاظ اقلیمی بسیار متنوع بوده و بر طبق طبقه‌بندی این حوزه دارای اقلیم‌های مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و خشک است همچنین عموماً در کلیه مناطق حوضه ماه‌های آذر، دی و خصوصاً بهمن و اسفند مرطوب‌ترین و خرداد لغایت شهریور خشک‌ترین ماه‌های سال است (مطالعات آمایش استان گلستان، ۱۳۹۵).

## محدوده مورد مطالعه



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۰)

پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تأکید بر روش های کمی است، در تحقیق حاضر تغییرات منطقه ای سیلاب در حوضه آبخیز گرگانرود بر اساس به کارگیری اطلاعات ایستگاه های سازمان هواشناسی (سینوپتیک) با دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شاخص رطوبت توپوگرافیک، شیب، ارتفاع، لیتولوژی زمین، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، فرسایش، خاک شناسی، رواناب، داده های شبیه سازی شده میانگین بارندگی حاصل از مدل HadCM3 در LARS-WG تحت سناریو SRAIB بین سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵ برآورد شده است.

با توجه به اینکه ارائه کلیه نتایج مدل در این پژوهش صورت نگرفت به دلیل حجم زیاد موارد بود. پس از محاسبه فاکتور بارش برای ایستگاه مورد نظر از طریق نرم افزار Excel، با استفاده از روش های درون یابی روش عکس فاصله و کریجینگ نقشه تغییرات منطقه ای بارندگی منطقه مورد مطالعه در محیط نرم افزار ArcGIS ترسیم گردید بدین منظور جهت بهترین نتیجه و کمترین میزان خطا از روش میان یابی کریجینگ بیزی با پراکنش (Exponential) و جهت انتخاب بهترین روش درون یابی از شاخص های آماری از قبیل MSE, RMSE, ME استفاده گردید.

یکی از مهمترین راهبردهای موجود در زمینه وزن دهی تکنیک های کمی و ریاضی است در پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره (روش تحلیل سلسله مراتبی AHP) در محیط نرم افزار Excel معیارهای متناسب و سازگار را مورد ارزیابی قرار دادیم و در ادامه برای اجرای فرآیند پهنه بندی سیلاب منطقه ای از روش تحلیل فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های منتخب جهت آنالیز پارامتر بارندگی

ردیف	نام ایستگاه	LAT	Lon	ردیف	نام ایستگاه	LAT	Lon
۱	علی آباد کتول	۸۸/۵۴	۹۰/۳۶	۷	هاشم آباد گرگان	۲۷/۵۴	۸۵/۳۶
۲	بندرگز	۹۵/۵۳	۷۷/۳۶	۸	اینچه برون	۲۹/۵۴	۴۵/۳۷
۳	بندرترکمن	۰۷/۵۴	۹۰/۳۶	۹	کلاله	۴۶/۵۵	۳۹/۳۷
۴	گلوگاه	۸۲/۵۳	۷۸/۳۶	۱۰	مراوه تپه	۹۵/۵۵	۹۰/۳۷
۵	گنبد کاووس	۱۷/۵۵	۲۵/۳۷	۱۱	مینودشت	۶۳/۵۵	۳۷/۳۷
۶	گرگان	۴۱/۵۴	۹۱/۳۶				

منبع: (اداره کل هواشناسی استان گلستان، ۱۳۹۹)

در این تحقیق بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درونیابی انجام شده توسط روش‌های مورد بررسی صحت این درونیابی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های عمده‌ای که در بررسی صحت درونیابی استفاده می‌شود شامل صحت یابی (Validation) و صحت یابی سرتاسری است. که در روش اول یک منطقه تعلیمی (Training) و یک منطقه آزمایش انتخاب می‌شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطه‌ی درونیابی به دست می‌آید. سپس برای منطقه آزمایش به کار می‌رود و میزان دقت برآورد محاسبه می‌گردد. معیارهای ارزیابی استفاده شده در این مطالعه بر اساس پارامترهایی از قبیل  $ME$ ,  $RMSE$ ,  $MSE$ ،  $ASE$ ،  $RMSE$ ،  $RMSE$  تعریف می‌شوند. مهم‌ترین معیار برای ارزیابی تخمین، مقدار مجذور میانگین مربع خطا ( $RMSE$ ) می‌باشد. ( $ME$ ) میانگین خطاها یا میانگین اختلاف بین مقدار تخمین زده شده و مقدار مشاهده شده در نقطه  $i$  ام می‌باشد و می‌تواند به وسیله‌ی معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$ME = E[Z_i^* - Z_i]$$

مجذور میانگین مربع خطا است و به صورت معادله زیر محاسبه شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Z_i^* - Z_i)^2}{n}}$$

که  $N$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

$MSE$ : میانگین استاندارد شده خطا است که بصورت معادله زیر تعیین می‌شود

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{Z_i^* - Z_i}{Standard\ error}}{n - 1}$$

### مدل SWAT

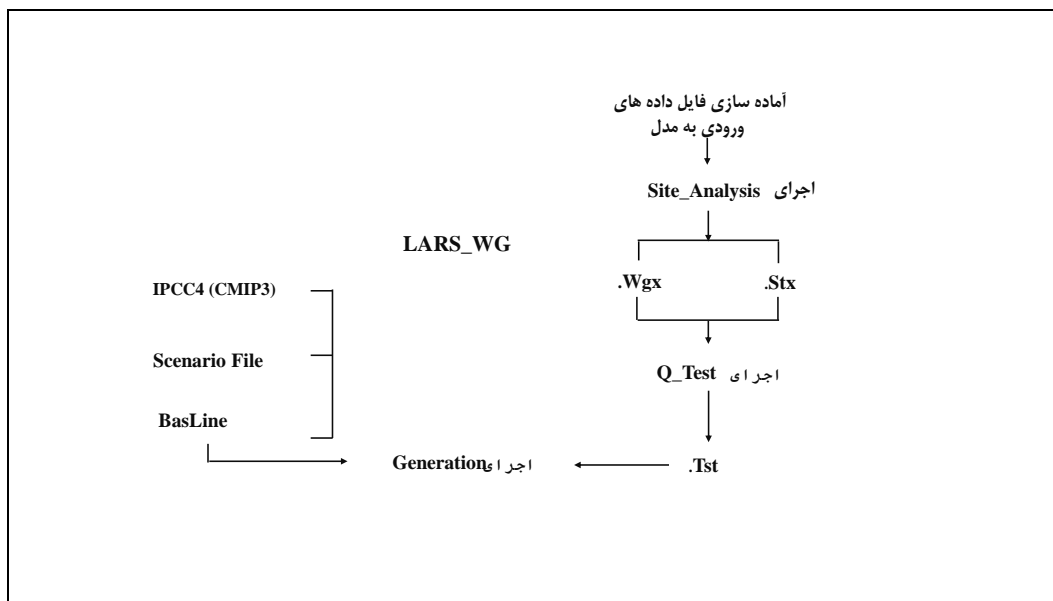
مدل SWAT یک Extension تحت نرم افزار ArcGIS می‌باشد که به شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی اصلی شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، نفوذ عمقی، جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیرسطحی توسط مدل شبیه ساز می‌پردازد. این مدل در جهت مدل سازی مدیریت آب، سموم و رسوب در مقیاس حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ورودی‌های این مدل شامل داده‌های هواشناسی، جنس و ترکیبات خاک هر منطقه، نوع کاربری زمین در منطقه، نوع پوشش گیاهی منطقه، مقادیر شیب و طول شیب در نواحی مختلف می‌باشد که به طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل SWAT مدلی در مقیاس حوزه آبریز می‌باشد که توسط Jeff Arnold برای اداره خدمات تحقیقات کشاورزی آمریکا ارائه شده است. این مدل برای پیش بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی کشاورزی در سطح حوزه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با انواع خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف

مدیریتی در درازمدت طراحی شده است. SWAT مدلی فیزیکی می‌باشد که به‌جای ضمیمه کردن روابط رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، نیازمند اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت و کاربری اراضی در سطح حوزه می‌باشد. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و مشابه آن در این مدل به‌طور مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. (Zhixiang, 2015).

متغیرهای مکانی ورودی مدل SWAT در این تحقیق شامل لایه‌های اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاع (DEM)، لایه خاک همراه با اطلاعات بافت خاک، لایه کاربری اراضی همراه با اطلاعات توصیفی آن است. متغیرهای هیدروکلیماتولوژی و عددی ورودی مدل SWAT شامل مقادیر روزانه بارش، درجه حرارت حداقل و حداکثر مربوط به ایستگاه‌های داخل و خارج حوضه و متوسط رواناب روزانه خروجی حوضه به همراه موقعیت‌های جغرافیایی آنها می‌باشد. شبیه‌سازی حوزه‌های بزرگ و پیچیده با استراتژی‌های مختلف مدیریتی، بدون صرف هزینه و زمان زیاد قابل انجام می‌باشد. این امکان را به کاربر می‌دهد، تا اثر بلند مدت برخی از عوامل از جمله آلودگی و فرسایش را بررسی نماید. نحوه انجام کالیبراسیون و اعتبار سنجی در این نرم افزار بدین صورت بوده است که بر اساس ۲۰ پارامتر حساس انتخاب شده به شرح (جدول ۲) شبیه‌سازی صورت گرفت.

جدول ۲. پارامترهای حساس انتخاب شده و محدوده تغییرات آنها

شماره ردیف	نام پارامتر	حداقل مقدار	حداکثر مقدار
۱	r_CN2.mgt	-۰/۳	۰/۴
۲	v_ALPHA_BF.gw	۱	۳
۳	v_GW_DELAY.gw	۵۰	۳۶۰
۴	v_GWQMN.gw	۱	۳
۵	r_ESCO.hru	۰/۶۵۸	۲/۰۴۵
۶	r_GW_REVAP.gw	-۰/۳	-۰/۳۲۱
۷	r_CH_K2.rte	-۱۱/۴۷۹	۵۶/۳۶۷
۸	r_CH_N2.rte	-۰/۳۱۴	-۰/۵۶۲
۹	r_ALPHA_BNK.rte -	-۰/۱۶۷	۰/۴۹۶
۱۰	r_SOL_AWC().sol	-۰/۳	۱/۹
۱۱	r_EPCO.hru	-۰/۳	-۰/۴
۱۲	r_SOL_K().sol	-۰/۲	۳
۱۳	r_PLAPS.sub	.	۱۰۰
۱۴	r_RCHRG_DP.gw	.	۳
۱۵	r_REVAPMN.gw	.	۷۰۰
۱۶	r_SMTMP.bsn	-۳	۳
۱۷	r_SMFMN.bsn	.	۱۰۰
۱۸	r_REVAPMN.gw	.	۷۰۰
۱۹	r_SMFMX.bsn	.	۱۰۰
۲۰	r_TIMP.bsn	-۰/۱	۱



شکل ۲. فرایند تحقیق شبیه سازی بارش باران آینده با استفاده از روش LARS\_WG.5  
منبع: (ترسیم نگارندگان ۱۴۰۱)



شکل ۳. فرایند تحقیق پهنه بندی منطقه ای سیلاب با استفاده از روش سلسله مراتبی و مدل هیدرولوژیکی SWAT  
منبع: (ترسیم نگارندگان ۱۴۰۱)

## بحث و یافته‌ها

با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آن‌ها شاهد نقشه‌ی پهنه‌بندی کاملی از منطقه می‌باشیم. بررسی مقدار بارش در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که رژیم بارش در نواحی مختلف دارای رفتارهای متفاوتی است. بطوریکه مطابق جدول ذیل مشخص می‌گردد در استان گلستان بیشترین مقدار بارش در ایستگاه مینودشت معادل ۶۴۹ میلی‌متر در سال و کمترین آن نیز در مراوه تپه معادل ۳۶۱ میلی‌متر است. از طرف دیگر مشخص می‌گردد که بارش ایستگاه مینودشت از متوسط ۱۲۵ روز و مراوه تپه ۷۷ روز حاصل شده است.

جدول ۳. میانگین ماهانه بارش و تعداد روزهای بارشی ایستگاه‌های استان گلستان ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۶

ایستگاه	بارش	ماه‌های میلادی											
		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	م	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
بندرترکمن	روزهای بارشی	۱۰	۱۱	۱۳	۱۰	۹	۶	۵	۶	۸	۹	۱۰	۱۱
	بارش	۹/۴۸	۴۹	۵۴	۶/۳۴	۶/۲۵	۲۳۳	۷/۲۰	۹/۲۰	۷/۴۰	۵/۵۶	۳/۶۵	۴/۵۵
بندرگز	روزهای بارشی	۱۰	۱۱	۱۳	۱۰	۹	۷	۶	۷	۹	۹	۱۰	۱۱
	بارش	۴/۴۷	۵۳	۸/۵۹	۳/۴۰	۹/۲۸	۲/۲۸	۸/۱۸	۶/۲۳	۴/۴۸	۸/۶۲	۷/۶۹	۲/۵۷
علی آباد کنول	روزهای بارشی	۱۱	۱۲	۱۶	۱۳	۱۱	۸	۷	۸	۸	۹	۱۰	۱۱
	بارش	۲/۵۸	۷۰	۶/۷۷	۱/۵۲	۳/۴۱	۲۵	۲/۲۰	۸/۲۹	۸/۴۵	۳/۵۱	۸/۶۵	۴/۵۷
کلاله	روزهای بارشی	۱۱	۱۲	۱۵	۱۲	۹	۶	۶	۷	۷	۸	۹	۱۲
	بارش	۸/۶۳	۳/۷۲	۷/۸۷	۲/۶۶	۲/۴۷	۱/۲۰	۵/۲۳	۳۷	۱/۲۲	۳۸	۱/۵۰	۸/۶۷
گرگان	روزهای بارشی	۹	۱۰	۱۳	۱۰	۹	۵	۵	۶	۶	۷	۸	۹
	بارش	۳/۵۳	۲/۵۹	۷/۶۸	۴/۴۴	۵/۳۷	۱/۲۶	۲/۱۸	۷/۲۴	۴/۴۰	۱/۵۵	۹/۶۷	۱/۵۵
گنبد کاووس	روزهای بارشی	۸	۹	۱۱	۹	۷	۴	۴	۵	۵	۶	۷	۸
	بارش	۸/۵۰	۴/۶۱	۳/۷۰	۵/۵۰	۳/۳۳	۳/۱۶	۸/۱۸	۹/۲۶	۱/۲۳	۶/۳۷	۶/۴۵	۵/۴۹
مراوه تپه	روزهای بارشی	۸	۹	۱۱	۸	۶	۳	۳	۳	۴	۶	۷	۹
	بارش	۸/۳۴	۲/۴۵	۸/۴۹	۸/۴۳	۷/۲۷	۸/۱۳	۲/۱۳	۵/۱۵	۱/۱۶	۲۸	۷/۳۵	۱/۳۷
مینودشت	روزهای بارشی	۱۲	۱۳	۱۶	۱۳	۱۱	۷	۷	۸	۷	۸	۱۰	۱۳
	بارش	۲/۶۸	۲/۷۸	۷/۹۶	۳/۷۴	۱/۴۹	۹/۲۲	۶/۲۷	۳/۳۹	۲/۲۷	۱/۳۹	۵/۵۷	۶/۶۸
هاشم آباد گرگان	روزهای بارشی	۱۰	۱۱	۱۴	۱۱	۱۰	۷	۶	۷	۸	۸	۱۰	۱۱
	بارش	۳/۵۱	۵/۵۷	۲/۶۵	۸/۴۴	۳/۳۷	۲۷	۵/۱۶	۶/۲۳	۷/۴۲	۴/۵۵	۷/۶۹	۹/۵۴

منبع: نگارندگان، (۱۴۰۱)

مطابق (جدول ۳) رفتار ماهانه رژیم بارش نیز در ایستگاه گرگان، گنبدکاووس و مراوه تپه حداکثر در ماه مارس و حداقل آن نیز در ماه‌های ژوئن و ژوئیه رخ داده است. البته لازم به ذکر است که در ایستگاه گرگان در نوامبر نیز مقدار بارش قابل توجه است. بررسی فراوانی روزهای بارشی نیز در ایستگاه‌های فوق‌الذکر در ماه مارس با بالاترین رخداد به ترتیب معادل ۱۳، ۱۱ و ۱۱ روز است. البته در ایستگاه گرگان با وجود مقدار بارش حداکثر در ماه نوامبر تعداد روزهای بارشی مشابه مارس مشاهده نمی‌شود البته این موضوع می‌تواند حاکی از افزایش شدت بارش‌های پاییز در این منطقه باشد.

جدول ۴. مقادیر حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره‌های بازگشت مختلف استان گلستان (میلیمتر)

نام ایستگاه‌ها	دوره بازگشت					
	۲ سال	۵ سال	۱۰ سال	۲۰ سال	۵۰ سال	۱۰۰ سال
قلی تپه	۴۵/۹	۵۷	۶۶	۷۵/۱	۸۸/۱	۹۴/۴
گرگان	۵۱	۶۹	۸۰	۹۱	۱۰۵	۱۱۶
سفید چاه	۴۵	۶۰	۷۱	۸۳	۱۰۰	۱۱۴
فاضل آباد	۲۹	۳۸	۵۰	۶۶	۹۲	۱۱۴
سلطان آباد	۶۶	۶۶	۶۶	۷۷	۹۹	۱۱۷
بهلکه داشلی	۳۰	۴۱	۴۸	۵۵	۶۵	۷۲
سد وشمگیر	۲۹	۴۰	۴۷	۵۵	۶۵	۷۴
تیل آباد	۲۴	۳۱	۳۵	۳۸	۴۳	۴۶
ارازکوسه	۲۶	۴۹	۵۷	۶۴	۷۴	۸۱
تمر	۳۲	۴۵	۵۴	۶۲	۷۴	۸۳
بارکلا	۳۹	۵۱	۵۹	۶۶	۷۶	۸۴
نهارخوران	۴۲	۵۳	۶۰	۶۷	۷۶	۸۳
نقی آباد	۳۵	۵۲	۶۶	۹۰	۱۲۰	۱۴۶
زرین گل	۴۳	۵۴	۶۱	۶۸	۷۷	۸۳
گالیکش	۴۴	۶۲	۷۷	۹۲	۱۱۳	۱۲۳
قزاقلی	۲۹	۴۳	۵۵	۶۸	۸۷	۱۰۱
گنبد	۳۵	۴۷	۵۱	۵۹	۶۳	۶۷
لزوره	۵۲	۶۷	۷۷	۸۷	۹۸	۱۰۸
نوده	۴۶	۶۰	۷۱	۸۲	۹۶	۱۰۷
پس پشته	۵۵	۷۷	۹۷	۱۱۹	۱۵۱	۱۷۸

منبع: (نگارندگان ۱۴۰۱)

دوره‌های بازگشت حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته مفاد پر حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های بارندگی یک منطقه است که در برآورد سیلاب‌ها نقش اساسی دارد. با روش‌های مختلف آماری حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ایستگاه‌های واجد آماری استان گلستان برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال برآورد گردیده است. آنگونه که از جدول ذیل مشاهده می‌شود. بیشترین شدت بارندگی ۲۴ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال در ایستگاه پس پشته (واقع در زیر حوضه چهل‌چای گرگانود) به ترتیب با ۵۵، ۷۷، ۹۷، ۱۱۹، ۱۵۱، ۱۷۸ میلیمتر در شبانه روز و کم‌ترین مقادیر مربوط به ایستگاه تیل‌آباد (واقع در زیر حوضه تیل‌آباد گرگانود) به ترتیب با ۴۶، ۴۳، ۳۸، ۳۵، ۳۱، ۲۴ میلیمتر در شبانه روز است. با عنایت به آنچه آمده می‌توان بیان نمود که میزان حداکثر بارش ۲۴ ساعته در حوضه آبخیز گرگانود از سمت غرب به شرق و از جنوب به شمال آن اغلب روندی نزولی داشته است. هرچند در بخش‌های ارتفاعات میانی این حوضه شاهد افزایش محسوسی در میزان حداکثر بارش ۲۴ ساعته می‌باشیم. همانطور که بدان اشاره شد، شدت بارندگی در بخش‌های مختلف استان گلستان نشان می‌دهد که میزان بارندگی در زیرحوضه‌های واقع در حوضه آبخیز گرگانود به مراتب بیشتر از دیگر حوضه‌های آبخیز این استان است. از این روی در ادامه به بررسی داده‌های بارندگی در ایستگاه‌های مختلف مستقر در این حوضه پرداخته می‌شود. پر بارانترین ناحیه واقع در حوضه آبخیز گرگانود، در احاطه خط همباران ۱۰۰۰ میلیمتری می‌باشد که این مرکز با یک کشیدگی شرقی- غربی، بخش محدودی از ارتفاعات منطقه را دربر گرفته است. همچنین کم باران‌ترین نواحی نیز در بخش جنوب شرقی قرار گرفته که میانگین دراز مدت بارندگی سالانه در آن، به حدود ۲۰۰ میلیمتر می‌رسد. همچنین، علاوه بر مقادیر کمینه و بیشینه میانگین درازمدت

بارندگی سالانه بر اساس خطوط همباران منطقه، باید گفت که حداقل و حداکثر میزان بارندگی متوسط ماهانه در محدوده مطالعاتی، در ایستگاه های رباط قره بیل (زیرحوضه مدرسو) و شیرآباد (زیرحوضه رودبارمحمدآباد- زرین گل) به ترتیب برابر ۴/۸ (درشهریورماه) و ۱۴۲/۳ (در اسفندماه) میلیمتر گزارش شده است. همچنین، مجموع مقادیر بارش سالانه نیز از ۴/۴ در ایستگاه قزاقلی (واقع در شاخه اصلی گرگانرود- بخش شهرستان گنبدکاووس) تا ۲۷۴۵/۵ در ایستگاه رامیان (زیرحوضه قورچای، شهرستان آزادشهر) میلیمتر در نوسان بوده است. بررسی روند تغییرات بارش به صورت ماهانه و سالانه در ایستگاه های مختلف منطقه مورد مطالعه مطابق (جدول ۵) نشان می دهد فراوانی روندهای افزایشی یا کاهش می معنی دار نسبت به عدم روند بسیار ناچیز است. بطوریکه دیده می شود از نظر سالانه تنها در ایستگاه گرگان روند بارش از کاهش معنی داری پیروی می کند در حالی که در سایر ایستگاه ها روند خاصی دیده نمی شود. همچنین بررسی ماهانه روند تغییرات نیز نشان می دهد که در دو ماه از سال شامل ماه های می معادل ۱۱ و دسامبر معادل ۸ ایستگاه روند کاهش معنی دار را تجربه کرده اند. در حالی که در سایر ماه ها این تعداد ایستگاه ها به کمتر از ۴ ایستگاه تقلیل یافته است. در کل در ماه های فوریه، مارس، آوریل، سپتامبر، اکتبر و نوامبر روندهای مشاهده شده افزایشی معنی دار و در سایر موارد تقریباً حالت کاهش را تجربه کرده اند. در نهایت می توان گفت که از کل ایستگاه ها ۳۱ درصد، هیچ گونه روند تغییر معنی داری در آنها حاصل نشده است.

جدول ۵. روند تغییرات میزان بارش ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	p-value (Two-tailed)												
	سال	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اگوست	ژولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه
علی آباد کتول	.۵۹۰	.۵۹۰	.۸۵۸	.۶۷۵	.۴۳۵	.۱۲۷	.۱۰۱	.۱۵۷	.۶۶۷	.۳۳۱	.۶۶۷	.۴۵۱	.۳۳۱
بندرگز	۱	.۰۳۰	.۳۸۱	.۷۷۳	.۲۳۹	۱	.۷۲۰	.۷۰۶	.۹۰۵	.۵۴۸	.۷۲۰	.۱۷۹	.۹۰۵
بندرترکمن	.۳۰۶	.۰۷۶	.۷۶۵	.۲۰۴	.۹۵۲	.۳۹۲	.۴۳۵	.۳۲۸	.۵۹۰	.۰۵۷	.۴۲۵	.۸۲۵	.۵۱۰
گنبد کاووس	.۹۴۵	.۸۷۲	.۸۳۶	.۵۳۳	.۰۶۵	.۹۶۵	.۸۹۶	.۱۵۲	.۱۶۰	.۸۶۲	.۸۶۲	.۰۱۴	.۳۵۰
گرگان	.۰۰۷	.۰۰۲	.۸۸۴	.۲۱۴	.۷۱۷	.۰۱۷	.۶۹۴	.۰۹۳	.۰۰۷	.۷۷۶	.۳۳۲	.۰۸۵	.۹۸۷
هاشم آباد	.۹۵۲	.۰۷۶	.۲۰۴	.۴۳۵	.۳۰۶	.۹۵۶	.۱۷۰	.۳۳۱	.۰۲۶	.۱۲۷	۱	.۹۱۴	.۲۳۳
اینچه برون	.۱۳۶	.۱۳۶	.۵۶۲	.۵۶۲	.۵۶۲	.۸۷۹	.۵۶۲	.۸۷۵	.۷۷۳	.۰۶۹	۱	.۰۳۰	.۷۷۳
کلاله	.۲۳۳	.۵۱۸	.۵۹۱	.۸۳۰	.۳۳۱	.۵۵۹	.۷۷۰	.۲۰۲	.۴۹۵	.۳۷۹	.۰۹۳	.۲۰۲	.۱۱۴
مراوه تپه	.۰۹۳۴	.۲۸۲	.۱۸۵	.۵۳۶	.۵۳۶	.۱۶۰	.۵۰۱	.۰۵۸	.۲۵۲	.۰۴۶	.۵۷۰	.۱۳۰	.۶۲۵
میتودشت	۱	۱	.۷۱۹	۱	۱	.۵۶۲	.۳۸۱	.۵۶۲	.۵۶۲	.۰۳۰	.۵۶۲	.۱۳۶	۱

\*\*روند کاهش در سطح معنی داری

\* روند افزایشی در سطح معنی داری

منبع: (نگارندگان ۱۴۰۱)

در بررسی سری های زمانی متغیرهای اقلیمی معلوم گردید که تغییرات موجود از نوع روند و در دو جهت مثبت و منفی بوده است. با توجه به روند گرمایش جهانی رخ داده در جهان می توان افزایش روندهای مثبت در پارامترهای اقلیمی را توجیه کرد. بررسی روند تغییرات بارش استان گلستان مطابق (جدول ۶) مشخص می کند که به غیر از ماه دسامبر در سایر ماه ها روند تغییرات بارش از سطح معنی داری قابل قبولی پیروی نمی کند. همچنین بررسی تغییرات مساحتی طبقات بارشی نیز مطابق (جدول ۷) است که بیشترین وسعت بارش در هر چهار دهه در طبقه بارش بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر اتفاق افتاده است اما در دهه دوم وسعت بارش در این طبقه نسبت به دوره های دیگر کاسته شده و در عوض محدوده بارشی ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر گسترده تر شده است.





جدول ۸. میانگین بارندگی بیش بینی شده با دوره زمانی ۳۵ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۵

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
علی آباد کنول	۵۴/۴	۱۱۳/۷	۷۲/۸	۵۶/۸	۳۱	۳۷/۷	۵	۵۵/۲	۸۷/۷	۶۲/۳	۶۹/۶	۴۰/۸
بندرگز	۴۲/۸	۳۶/۳	۷۴/۶	۵۱/۸	۲۰	۴۵	۲۵/۷	۱۵/۹	۷۰/۳	۵۳/۳	۵۹/۹	۴۹/۸
بندرترکمن	۵۲/۲	۵۳/۴	۴۹/۵	۲۸/۳	۱۲/۹	۳۷/۴	۲۶/۲	۱۶/۲	۳۷/۱	۶۵/۵	۶۳	۴۹/۹
گنبد کاووس	۵۰/۶	۵۲/۷	۶۸/۴	۶۶/۳	۲۷/۵	۱۵/۸	۲۳/۶	۲۷/۳	۲۳/۵	۳۳/۹	۴۴/۸	۳۸/۱
گرگان	۵۹/۴	۳۶/۵	۴۱/۷	۴۰/۸	۲۵/۵	۲۳/۷	۱۴/۷	۱۸/۸	۳۳/۴	۴۳/۸	۶۸/۹	۳۸/۶
هاشم آباد	۳۴/۲	۷۷/۶	۶۱/۷	۳۹/۱	۲۲/۶	۱۵/۳	۷/۸	۲۱/۵	۸۹/۵	۲۰/۳	۵۲/۶	۳۴/۸
اینچه برون	۳۴/۹	۴۶/۵	۲۹/۸	۱۷/۴	۸/۸	۱۲/۷	۱۱/۸	۷/۵	۱۹	۲۶/۳	۲۵/۹	۲۵/۱
کلاله	۳۷/۴	۷۱/۶	۵۹/۸	۷۹/۹	۲۶/۴	۳۱/۹	۲۲/۳	۲۲/۶	۲۲/۹	۳۱/۲	۲۲/۶۶	۵۰/۸
مراوه تپه	۳۶/۸	۳۵	۵۱/۶	۴۵	۲۶/۲	۲۱/۵	۲۱/۳	۱۱/۵	۱۸/۸	۵۰/۳	۴۹/۷	۲۶/۸
مینودشت	۹۵/۵	۱۰۶/۸	۱۳۵/۴	۸۶	۶۷/۷	۳۲	۳۹/۹	۵۹/۲	۲۵/۴	۶۴/۱	۶۴/۳	۵۳/۴

منبع: (نگارندگان ۱۴۰۱)

رژیم بارندگی منطقه مورد مطالعه مدیترانه‌ای است. بارندگی فصلی کاملاً متغیر است. است. ۳۸٪ بارش در زمستان، ۱۴/۶٪ در تابستان، ۲۲/۸٪ در پاییز و ۲۵/۵٪ در بهار رخ می‌دهد. بارش ماهانه منطقه مورد مطالعه شامل ۱۳/۵۳٪ در بهمن ماه (فوریه) که مرطوب‌ترین ماه سال است. در دی ماه ۱۱/۲۳٪، در اسفند ماه ۱۰/۶٪ و در آذرماه ۹/۳٪ می‌باشد. خشک‌ترین ماه سال مردادماه با ۵ درصد بارندگی سالانه می‌باشد. متوسط حداکثر باران روزانه با دوره بازگشت ۱۰ ساله با تداوم یک ساعته ۳۷/۹ میلی‌متر می‌باشد. نتایج حاصل برای سناریو SRA1B نشان داد که برای ماه می افزایش دبی ۲۱/۱۱ درصدی پیش بینی شده است. از سوی دیگر همین سناریو برای ماه اکتبر کاهش دبی ۱۳/۲ درصدی را پیش بینی کرده است. طبق سناریو SRA1B برای هر دو ماه می و اکتبر به ترتیب کاهش دبی ۲/۹ و ۳۸/۶۳ درصدی پیش بینی شده است. همچنین برای سناریو SRA1B برای ماه می افزایش دبی ۱۹/۳۴ درصدی و کاهش دبی ۲/۱۴ درصدی پیش بینی شده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به طور کل برای دوره آبی منطقه مورد مطالعه با کاهش متوسط دبی جریان مواجه خواهد بود. با تحلیل و بررسی نتایج به دست آمده می‌توان استنباط کرد که پدیده تغییر اقلیم به مرور زمان اثرات خود را بر منطقه مطالعاتی محسوس خواهد کرد و در مقادیر پارامترهای دما و بارش تغییر ایجاد کرده و باعث کاهش بارش زمستانه و افزایش دمای منطقه مطالعاتی خواهد شد. این روند تغییر دما و بارش باعث تغییر در مقدار رواناب خواهد شد در واقع در طی این روند به تدریج با افزایش دما و کاهش بارش ابتدا رواناب ماهانه و در نهایت رواناب سالانه دچار تغییرات قابل توجهی خواهد شد. نتایج حاصل از شبیه سازی دبی آینده حاکی از کاهش رواناب برای ماه اکتبر تحت سناریو SRA1B می‌باشد بنابراین طبق نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت که به طور کلی سناریو SRA1B کاهش دبی را برای دوره آبی نسبت به دبی مشاهداتی پیش بینی کرده است.

جدول ۷. معیارهای عملکرد مربوط به مرحله واسنجی مدل SWAT

	P-Factor	R-Factor	R2	NS
مقادیر ارزیابی شده	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۷۳	۰/۵۸

منبع: (نگارندگان ۱۴۰۱)

نتایج شبیه سازی دبی خروجی حوضه و دبی مشاهداتی اندازه گیری شده توسط معمار R2 و NS و همچنین پارامترهای عدم قطعیت p-factor, r-factor مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. مقادیر بهینه ضرایب R2 و NS، یک و یک، می‌باشد.

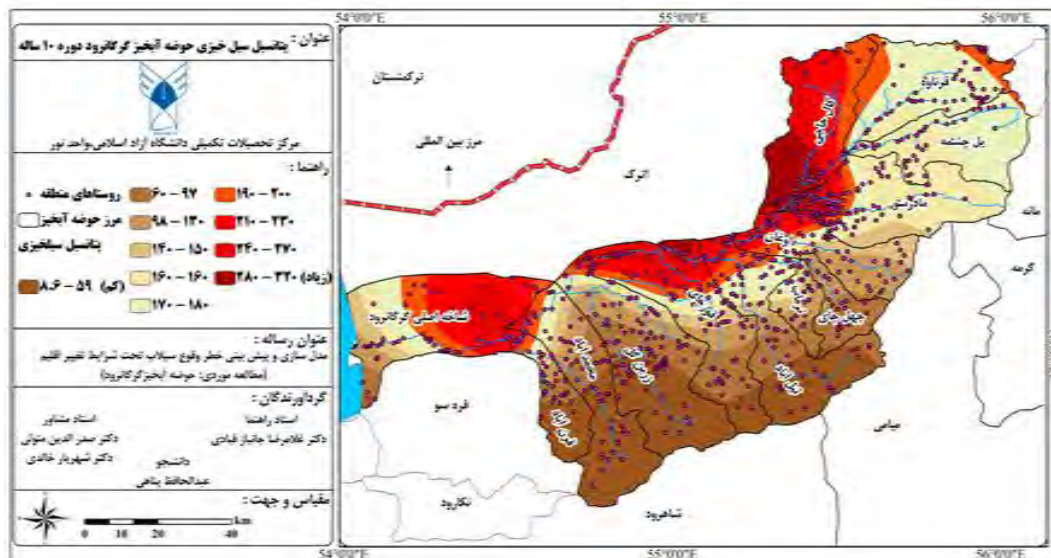
همچنین اندازه عدم قطعیتی که محاسبه می‌شود به وسیله pfactor کمی شده و درصد داده اندازه گیری شده برابر ۹۵ درصد احتمال عدم قطعیت پیش‌بینی توسط این معیار محاسبه گردید و بیانگر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده‌ای است که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند. اقدام دیگر گمی سازی آنالیز عدم قطعیت r-factor که میانگین ضخامت باند ۹۵ درصد احتمال عدم قطعیت پیش‌بینی تقسیم بر انحراف استاندارد داده اندازه‌گیری شده، محاسبه می‌شود. به لحاظ تئوری f-factor, p-factor, بترتیب در بازه‌های ۰ تا ۱ و ۰ تا بینهایت تغییر می‌کنند pfactor برابر ۱ و r-factor برابر صفر نشان دهنده تطابق کامل مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی است. ولی بدلیل عدم قطعیت‌های مختلف موثر بر نتایج خروجی، هیچگاه این ضرایب پهنه نمی‌باشند. یکی از اهدافی که مدل SWAT دنبال می‌کند کاهش عدم قطعیت می‌باشد. بطوریکه اکثر داده‌های مشاهداتی در سطح ۹۵ درصد قرار گیرند. در تحقیقات صورت گرفته ضریب NS بیشتر از ۰/۵ و p-factor بیشتر از ۰/۵ را بعنوان مقادیر رضایت بخش معرفی کرده‌اند. نتایج جدول فوق نشان دهنده دقت بالای مدل در برآورد رواناب در دوره واسنجی می‌باشد.

جدول ۹. درصد تغییرات میانگین ماهانه رواناب تحت سناریو انتشار در دوره مشاهداتی و آینده ۳۰ ساله ایستگاه

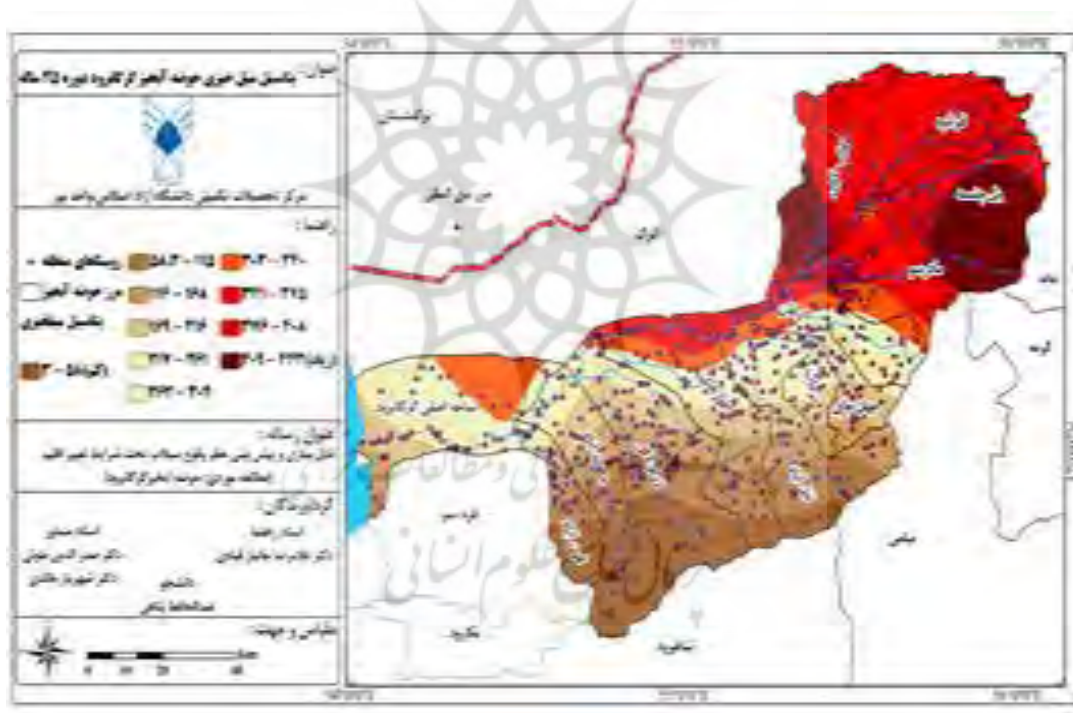
ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
6/01	21/02	۵۴	6/09	-49/01	-54/03	13/3	-18/45	6/29	42/3	11/52	38/8	RCP2.6
4/03	36/78	8/03	4/02	-23/53	-21/39	22/19	55/01	33/28	31/13	49/73	-19/08	RCP4.5
23/7	3/9	39/11	8/06	-14/02	-66/05	-24/4	6/07	2/24	-34/2	24/41	-35/04	RCP8.5

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۱)

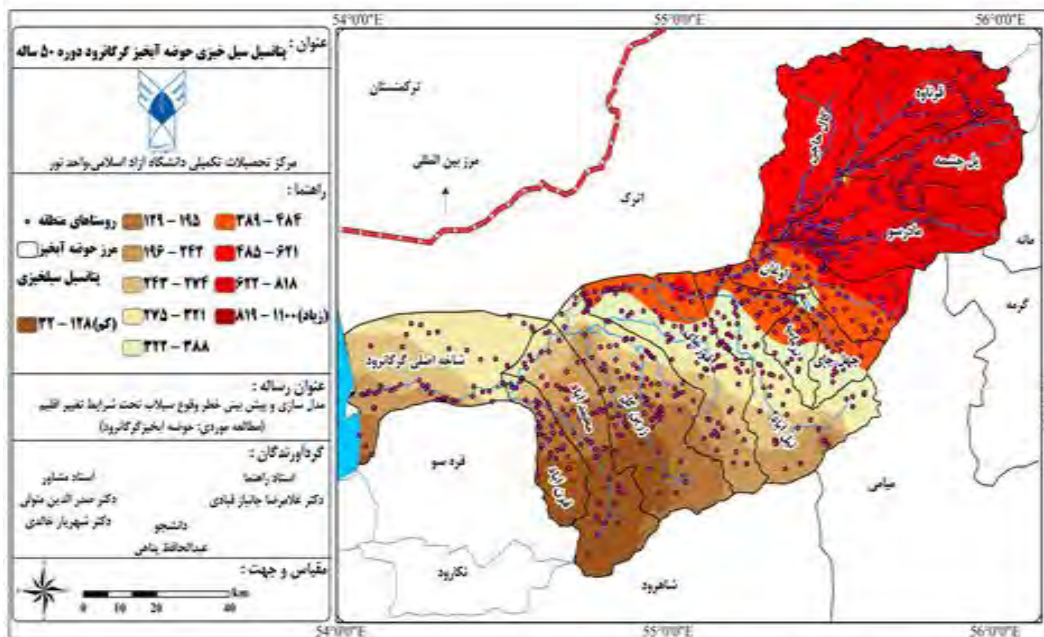
میزان کاهش رواناب در ماه‌های گرم سال و اوایل پاییز و اواخر بهار می‌باشد. البته کاهش در فصل گرم روند یکنواخت-تری را دنبال می‌کند. در سناریوهای مختلف استثنائاتی نیز وجود دارد. در اواخر زمستان و اوایل بهار افزایش دیده می‌شود. دلیل این افزایش بطور مستقیم با افزایش دما و افزایش بارش‌های جدی در دوره‌آتی مرتبط است. افزایش دما باعث افزایش نرخ ذوب برف در منطقه خواهد شد و به مرور زمان منابع آب موجود در ارتفاعات و مناطق سرد ذوب شده که منجر به سیلاب در منطقه می‌گردد. بطور کلی افزایش بارش و رواناب‌های حدی دلیل بر پرآب شدن منطقه نمی‌باشد. علی‌رغم افزایش رواناب، دبی پایه کاهش و روزهای خشک بدلیل تبخیر بالا افزایش یافته است. از این رو افزایش رواناب نشان از افزایش وقایع حدی دارد که منجر به سیل در منطقه می‌گردد. با بررسی تغییرات انتظار می‌رود با افزایش سناریوها رواناب کاهش یابد که این روند در RCP4.5 با اینکه مقدار بارش حدی آن نیز افزایش داشته کاهش یافته است و در RCP8.5 (با بارش حدی بیشتر) رواناب افزایش یافته است. دلیل این تغییر این است که رخداد بارش حدی در RCP4.5 در فصل تابستان و اوایل پاییز بوده است که با وجود تبخیر بالا و عدم ذوب برف (برخلاق RCP8.5 که در فصل بهار همزمان با ذوب برف) رواناب کمتر از سناریو بعدی شده است. اما بطور کلی روند افزایش رواناب نسبت به دوره پایه و کاهش آنها نسبت به RCP2.6 حفظ شده است. البته باید توجه داشت این افزایش رواناب بیانگر عدم خشکسالی منطقه نیست و مرتبط با دبی‌های حداکثر حوضه می‌باشد زیرا اکثر دبی‌های روزانه صفر در فصول گرم و خشک هستند و با وقایع و بارش‌های حدی افزایش می‌یابند. به عبارتی سال‌های خشک متمادی زیادی در این دوره ۳۰ ساله وجود دارد که در برخی از سال‌ها با افزایش شدت وقایع حدی دبی‌های حداکثری ایجاد می‌شود که گاهی با همراه شدن با ذوب برف در منطقه دبی‌های سیلابی زیانباری را ایجاد می‌کنند.



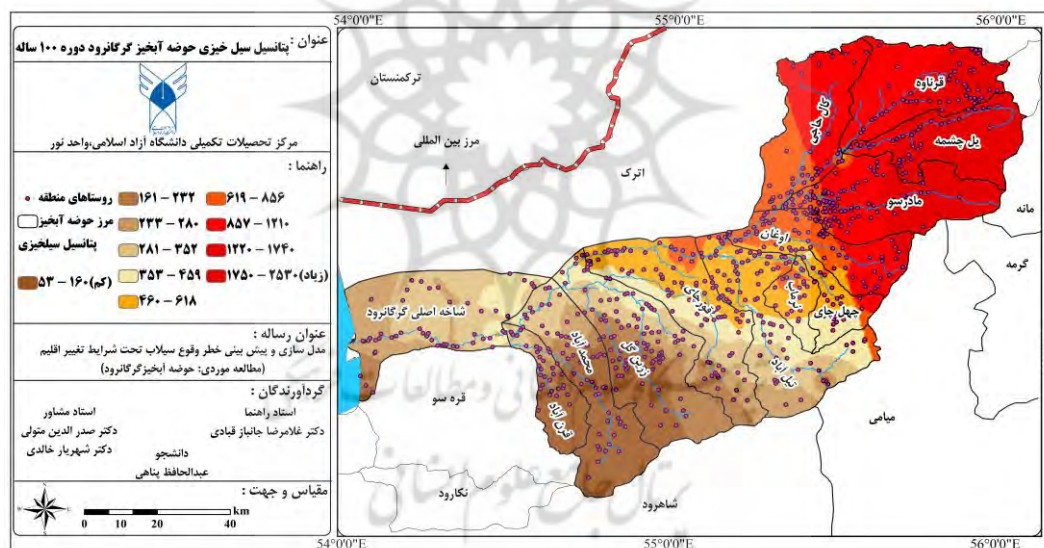
شکل ۴. پهنه بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۱۰ ساله  
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۵. پهنه بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۲۵ ساله  
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۶. پهنه بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۵۰ ساله  
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۷. پهنه بندی خطر سیلاب آینده با استفاده از خروجی روش SWAT دوره ۱۰۰ ساله  
منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۱)

در حوضه آبخیز گرگانرود بیشینه و کمینه مقادیر دبی با دوره‌های مختلف بازگشت سیل به شرح ذیل می‌باشد:

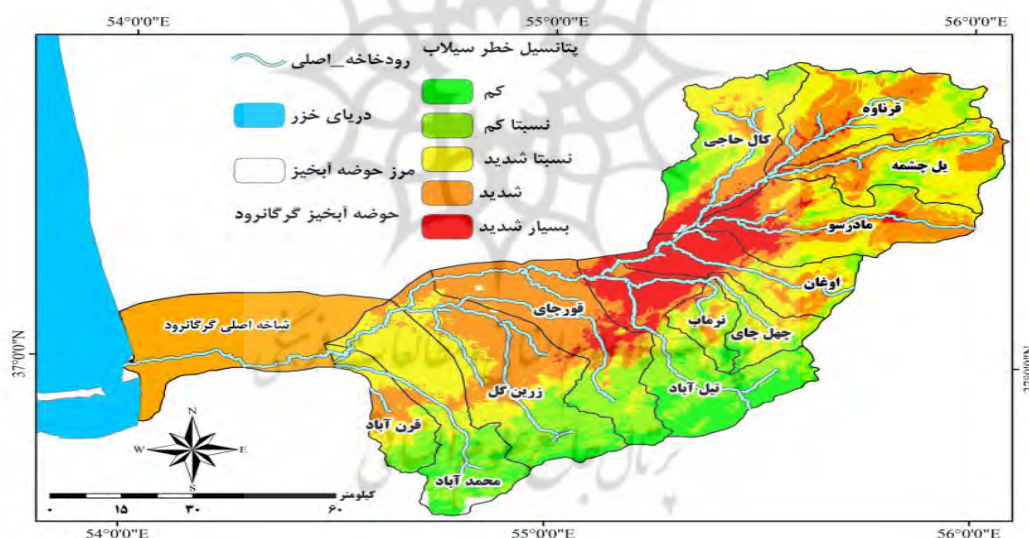
**سیل ۱۰ ساله:** حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۱۰ ساله مربوط به ایستگاه پارک جنگلی گلستان واقع در زیرحوضه مادرسو با ۳۶۷ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه‌های گرمابدشت و امامزاده در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانرود با ۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

**سیل ۲۵ ساله:** حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۲۵ ساله مربوط به ایستگاه پارک جنگلی گلستان و تنگراه واقع در زیرحوضه مادرسو با ۵۵۶ و ۵۱۷ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه گرمابدشت در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانود با ۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

**سیل ۵۰ ساله:** حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۵۰ ساله مربوط به ایستگاه تنگراه واقع در زیرحوضه مادرسو با ۱۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه گرمابدشت در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانود با ۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

**سیل ۱۰۰ ساله:** حداکثر دبی سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله مربوط به ایستگاه تنگراه واقع در زیرحوضه مادرسو با ۲۷۷۹ مترمکعب بر ثانیه بوده و حداقل آن مربوط به ایستگاه گرمابدشت در زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانود با ۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

با عنایت به آنچه آمد می‌توان بیان نمود که در مجموع، بیشترین مقادیر دبی با دوره‌های مختلف بازگشت سیل (۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله)، مربوط به زیرحوضه مادرسو بوده و کمترین مقادیر این دبی نیز مربوط به زیرحوضه شاخه اصلی و سفلی گرگانود می‌باشد. بطور کلی افزایش بارش و رواناب‌های حدی دلیل بر پرآب شدن منطقه نمی‌باشد. علی‌رغم افزایش رواناب، دبی پایه کاهش و روزهای خشک بدلیل تبخیر بالا افزایش یافته است. از این رو افزایش رواناب نشان از افزایش وقایع حدی دارد که منجر به سیل در منطقه می‌گردد.

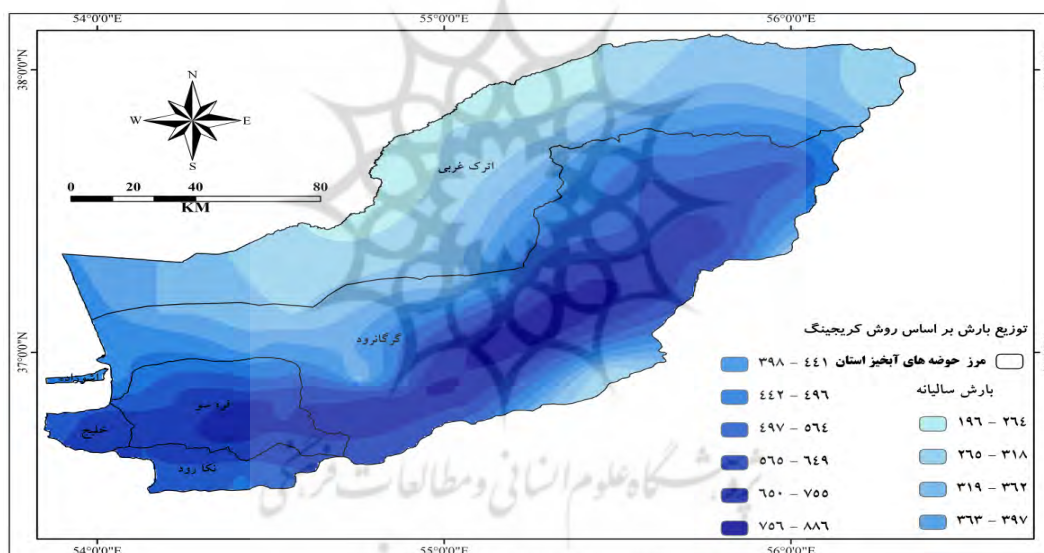


شکل ۸. پهنه بندی نهایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز گرگانود بر اساس روش AHP

منبع: (ترسیم نگارندگان ۱۴۰۰)

با توجه به خروجی نهایی (شکل ۸) پهنه بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز گرگانود، ۳۴۵ روستا با جمعیتی معادل ۲۷۵۳۱۲ نفر در معرض خطر سیل خیزی با درجه شدید قرار دارند بیشترین مساحت مربوط به طبقه با سیل خیزی نسبتاً شدید معادل ۳۶۱۷/۳۳ کیلومتر مربع، طبقه با پتانسیل بالا معادل ۳۳۱۴/۲۶ کیلومتر مربع، پتانسیل نسبتاً کم معادل ۱۴۲۵/۴۶ کیلومتر مربع، سیل خیزی با درجه بسیار بالا معادل ۸۸۴/۶۸ کیلومتر مربع و در نهایت طبقه با پتانسیل سیل خیزی کم معادل ۶۲۳/۱۲ کیلومتر مربع از سطح کل حوضه آبخیز گرگانود را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشتر سطح حوضه برابر ۸۹ درصد در معرض خطر سیلاب شدید واقع شده است.

استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به‌عنوان یکی از ابزارهای مطالعات اقلیمی کمک زیادی به افزایش دقت و سرعت عمل در تهیه نقشه‌های اقلیمی داشته باشد. این ابزارها امکان اعمال معادلات پیچیده ریاضی را بر روی نقشه‌ها فراهم می‌آورد. از طرف دیگر با استفاده از روش‌های میان یابی موجود در زمین‌آمار می‌توان تحلیل‌های آماری و پیش‌بینی را در مکان‌های مختلف بر اساس موقعیت مکانی و جغرافیایی پدیده‌ها تحلیل نمود مدل کریجینگ از دقیق‌ترین مدل‌هایی است که در تهیه نقشه‌های هم‌ارزش به کار می‌رود. به دلیل اینکه این مدل فاقد خطای سیستماتیک است و در تخمین‌ها دارای حداقل واریانس می‌باشد. جایگاه ویژه‌ای در درون‌یابی به دست آورده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بارندگی سالانه به روش کریجینگ بهترین دقت را دارد و تغییرات بارندگی سالانه بیشتر از این مدل تبعیت می‌کند. با به‌کارگیری نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام مشخص شدند واریوگرام نمایی با میزان  $0/34$  دارای همبستگی مکانی متوسطی بین داده‌ها می‌باشد. با مقایسه مربع میانگین ریشه خطا با میانگین خطا در داده‌های بدست آمده از صحت یابی سرتاسری در کریجینگ معمولی، ساده و عام بیش‌ازحد انتظار است. با توجه به اینکه نتایج ارزیابی دقت روش‌های موردبررسی آمده است. روش کریجینگ عام با پایین‌ترین میزان میانگین استاندارد خطای برآورد ( $0/06$ ) و مربع میانگین ریشه خطا ( $73/23$ ) بهترین روش برای درون‌یابی در این پژوهش ارزیابی شد.



شکل ۹. توزیع بارش سالیانه با استفاده از روش کریجینگ زمین آماری

منبع: (ترسیم نگارندگان، ۱۴۰۰)

بررسی شکل ۹ توزیع بارندگی به روش‌های زمین آماری حکایت از این دارد که در قسمت مرکزی به مقدار  $756$  الی  $886$  میلی‌متر زیر در شمال شرقی حوضه آبخیز گرگانرود به مقدار  $497$  الی  $755$  میلی‌متر و بخش‌های شمالی حوضه به مقدار  $319$  میلی‌متر همچنین بطور کلی حوضه آبخیز گرگانرود با بیش‌ترین میانگین بارشی را در طی دوره  $30$  ساله دریافت کرده است که نشان از سیلابی بودن این منطقه از شمال کشور دارد. با توجه به مطالعه انجام شده در بخش حوضه آبخیز به این نتیجه می‌توان دست یافت که خطر سیلاب با احتمال خیلی زیاد در نواحی شمالی محدوده حوضه آبخیز رخ می‌دهد. داده‌های دریافتی نشان می‌دهد که در این مناطق تراکم رودخانه‌ها بیشتر از جاهای دیگر است. همچنین مشاهده می‌شود که نواحی مرکزی حوضه آبخیز دارای بیشترین حجم نزولات جوی هستند به‌طور کلی نقشه نهایی پهنه‌بندی مخاطرات در منطقه مطالعاتی حاکی از آن است که بخش‌های شمال و شمال‌غربی و شرقی تاحدودی در پهنه‌های بسیار





جدول ۱۱. وزن نهایی ارجعیت یک معیار به معیار دیگر بر طبق استاندارد روش سلسله مراتبی

درصد	وزن معیار	خاکشناسی	رطوبت خاک	رواناب	زمین شناسی	شیب	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	فرسایش رودخانه	تراکم رودخانه	ارتفاع زمین	انحنای زمین	بارش
۱۰٪	۱۰/۰	۰۷/۰	۱۰/۰	۱۴/۰	۰۹/۰	۰۷/۰	۱۰/۰	۱۳/۰	۱۱/۰	۰۸/۰	۰۷/۰	۱۱/۰	۰۹/۰
۸٪	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۷/۰	۰۷/۰	۱۲/۰	۰۵/۰	۰۸/۰	۰۹/۰	۰۹/۰	۰۸/۰	۰۷/۰	۰۶/۰	۰۶/۰
۹٪	۱۰/۰	۱۱/۰	۰۷/۰	۰۸/۰	۰۹/۰	۰۹/۰	۱۰/۰	۰۹/۰	۱۱/۰	۰۹/۰	۱۰/۰	۱۲/۰	۱۲/۰
۱۱٪	۱۱/۰	۱۲/۰	۱۰/۰	۱۱/۰	۰۹/۰	۰۹/۰	۱۰/۰	۱۳/۰	۱۲/۰	۱۱/۰	۱۱/۰	۱۳/۰	۱۳/۰
۸٪	۰۸/۰	۰۸/۰	۱۰/۰	۰۶/۰	۰۷/۰	۰۷/۰	۰۸/۰	۱۳/۰	۰۷/۰	۰۶/۰	۰۶/۰	۰۶/۰	۰۶/۰
۶٪	۰۶/۰	۰۸/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۷/۰	۰۷/۰	۰۸/۰	۰۵/۰	۰۳/۰	۰۴/۰	۰۶/۰	۰۴/۰	۰۴/۰
۷٪	۰۷/۰	۰۷/۰	۱۰/۰	۰۶/۰	۰۹/۰	۰۷/۰	۰۷/۰	۰۵/۰	۰۶/۰	۰۸/۰	۰۷/۰	۰۶/۰	۰۶/۰
۱۱٪	۱۱/۰	۰۷/۰	۰۷/۰	۱۴/۰	۰۹/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۰۸/۰	۱۱/۰	۱۳/۰	۱۲/۰	۱۴/۰	۱۴/۰
۶٪	۰۶/۰	۰۷/۰	۰۸/۰	۰۶/۰	۰۶/۰	۰۷/۰	۰۵/۰	۰۴/۰	۰۶/۰	۰۷/۰	۰۶/۰	۰۴/۰	۰۶/۰
۱۰٪	۱۰/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۱۰/۰	۱۰/۰	۰۸/۰	۱۱/۰	۱۱/۰	۱۲/۰	۰۹/۰	۱۲/۰	۱۰/۰	۰۶/۰
۶٪	۰۶/۰	۰۷/۰	۰۶/۰	۰۶/۰	۰۴/۰	۰۸/۰	۰۴/۰	۰۴/۰	۰۴/۰	۰۷/۰	۰۸/۰	۰۶/۰	۰۵/۰
۹٪	۱۰/۰	۱۰/۰	۰۸/۰	۰۸/۰	۰۸/۰	۱۵/۰	۱۰/۰	۰۶/۰	۰۸/۰	۰۹/۰	۱۳/۰	۱۳/۰	۱۳/۰

منبع: (نگارندگان ۱۴۰۱)

### نتیجه گیری

پهنه بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز گرگانود، ۳۴۵ روستا با جمعیتی معادل ۲۷۵۳۱۲ نفر در معرض خطر سیل خیزی با درجه شدید قرار دارند بیشترین مساحت مربوط به طبقه با سیل خیزی نسبتاً شدید معادل ۳۶۱۷/۳۳ کیلومتر مربع، طبقه با پتانسیل بالا معادل ۳۳۱۴/۲۶ کیلومتر مربع، پتانسیل نسبتاً کم معادل ۱۴۲۵/۴۶ کیلومتر مربع، سیل خیزی با درجه بسیار بالا معادل ۸۸۴/۶۸ کیلومتر مربع و در نهایت طبقه با پتانسیل سیل خیزی کم معادل ۶۲۳/۱۲ کیلومتر مربع از سطح کل حوضه آبخیز گرگانود را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین می‌توان چنین نتیجه گرفت که بیشتر سطح حوضه برابر ۸۹ درصد در معرض خطر سیلاب شدید واقع شده است. پیش‌بینی بارش تحت الگوریتم‌های تغییر اقلیم نشان دهنده بیشترین تغییرات دمائی در ماه‌های ژوئن، آگوست و فوریه می‌باشد که نشان دهنده گرم‌تر شدن ماه‌های گرم سال و حتی گرم‌تر شدن ماه فوریه در دوره‌های آتی می‌باشد مقایسه میانگین دمای ماهانه دوره پایه و شبیه‌سازی شده با مدل HadCM3 در منطقه نشان می‌دهد که ماه‌های ژوئن و آگوست با افزایش درجه حرارت در دوره‌های آتی همراه خواهد بود. در تمامی ایستگاه‌ها با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده به وسیله مدل LARS-WG بارندگی برای سناریو بارش در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه در بعضی ماه‌ها افزایش و در بعضی ماه‌ها کاهش داشته است. به طوری که در ماه تابستان کاهش بارش و در مقابل فصل زمستان نسبت به دوره‌ی پایه بارندگی افزایش خواهد یافت. مقایسه بارش ماهانه دوره پایه (۲۰۰۷-۲۰۱۱) با بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل HadCM3 برای سناریوی SRA1B سال (۲۰۱۱-۲۰۴۵) نیز نشان دهنده افزایش قابل توجه بارش در این سری سناریو در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر دارد که این روند با کمی تغییرات قابل مشاهده است. که از نظر تاثیرات این پدیده قابل بررسی می‌باشد با مطالعه وضعیت میانگین درصد تغییرات بارش برای سناریوی SRA1B در ۲ دوره؛ ۲۰۴۵-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۵ نیز نشان دهنده تغییرات بارش از در ماه آگوست در دوره، ۲۰۴۵-۲۰۱۱ تا ۳۷/۵ درصد در ماه نوامبر همین دوره نسبت به دوره پایه را دارد. افزایش بسیار بالای تغییرات بارشی در ماه نوامبر نیز به جهت ایجاد سیلاب‌های پائیزه قابل بررسی و تعمق می‌باشد. پیشنهادات پژوهش عبارتند از:

❖ پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی من بررسی مدل‌های ریزمقیاس نمائی همراه با مدل‌های سینوپتیکی بررسی گردد.

❖ توصیه می‌گردد در تحقیقات آینده از سایر روشها گردش عمومی جو و مدل‌های ریزمقیاس نمایی مانند SDSM نیز استفاده شود و نتایج آنها با نتایج حاصله از این تحقیق مقایسه گردد. همچنین می‌توان اعمال عدم قطعیت‌ها در مدل‌های تغییر اقلیمی را بررسی کرد.

## تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده، این مقاله، که مستخرج از رساله می‌باشد حامی مالی نداشته است.

## منابع

- (۱) بحری، معصومه و دستورانی، محمدتقی (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۶، شماره ۲، صص. ۵۷-۳۷.
- (۲) خوش روش، مجتبی؛ میرناصری، محمد و پسرکلو، مهسا (۱۳۹۶). آشکارسازی روند تغییرات بارش شمال کشور با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، دوره ۸، شماره ۱۶، صص. ۲۳۱-۲۲۳.
- (۳) زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ ابراهیمی، عطاله؛ جعفری، محمد و ملکیان، آرشد (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری. مرتع، دوره ۱۲، شماره ۴، صص. ۴۳۶-۴۲۶.
- (۴) سلیمانی، سحر و صلاحی، برومند (۱۴۰۱). واکاوی هم‌دید بارش‌های سیلابی شمال ایران (مطالعه موردی: بارش سنگین و فراگیر ۱۲ تا ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۷). پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۱۴، شماره ۵۱، صص. ۳۱-۱۵.
- (۵) شاکری، حسین؛ مطیعی، همایون و مک‌بین، ادوارد. (۱۴۰۱). تحلیل عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی فازی و SDSM در ارزیابی تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای RCP در شهر تهران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۱۴، شماره ۵۰، صص. ۸۲-۶۱.
- (۶) عاقل پور، پویا و نادى، مهدی (۱۳۹۷). ارزیابی دقت مدل SARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی بلندمدت میانگین دمای ماهانه در اقلیم‌های متفاوت ایران. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، دوره ۱۳، شماره ۳۵، صص. ۱۲۶-۱۱۳.
- (۷) عابدینی، موسی و لطفی، خداداد (۱۳۹۸). برآورد ارتفاع رواناب جهت تحلیل پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش شماره منحنی در حوضه آبریز شاهرود اردبیل. فضای جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۶۸، صص. ۱۸۱-۱۶۳.
- (۸) عسگری، شمس‌اله؛ صفاری‌امیر و فتحی، حجت‌الله (۱۳۹۷). بررسی سیل‌خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۵۰، صص. ۷۷-۹۰.
- (۹) قاسمیان، هما، نجفی، اسماعیل (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان کوه‌دشت با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و فازی. جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۲، شماره ۳، صص. 417-403.
- (۱۰) گودرزی م، فاتحی‌فر آ (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذر شهر چای). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳۹۸، دوره ۱۹، شماره ۵۳، صص. ۱۱۷-۹۹.
- (۱۱) گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید و احمدی، احمد (۱۳۹۹). بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانود بر پهنه‌های سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی (منطقه مطالعاتی: شهر آق‌قلا). جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۳، صص. ۲۲۵-۲۰۵.
- (۱۲) محمدی، حسین؛ امیری، ابراهیم و ربانی، فاطمه (۱۳۹۷). تغییر اقلیم و مدل‌های اقلیمی، موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۸۲.

۱۳) نفرزادگان، علی رضا؛ محمدی فر، علی اکبر؛ وقار فرد، حسن و فروزان فرد، معصومه (۱۳۹۸). ادغام مدل های تصمیم گیری چندمعیاره و تکنیک تجزیه و تحلیل منطقه ای سیلاب جهت اولویت بندی زیرحوزه ها برای کنترل سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دهبار خراسان). جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۲، صص. ۴۵-۲۷.

- 14) Aqelpour, P. & Nadi, Me. (2017). Assessing the accuracy of SARIMA model in modeling and long-term forecasting of monthly assessment in different climates of Iran. *Climatology Research*, Vol.20, No. 35, pp. 113-126. [Persian].
- 15) Abedini, M. & Lotfi, Kh. (2018). Estimating the height of runoff to analyze flood potential using the curve number method in the Shahrood catchment area of Ardabil. *Geographical Space*, Vol 19, No. 68, pp. 163-181. [Persian].
- 16) Asgari, Safari, A. & Fathi, H. (2017). Investigation of flooding in the Jafarabad watershed. *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, Vol.18, No. 50, pp. 77-90. [Persian].
- 17) Bahri, M. & Dasturani, M. (2016). Evaluating the effects of climate change and land use change on the hydrological response of Eskandari watershed. *Geography and Environmental Hazards*, Vol. 6, No. 2. pp. 37-57. [Persian].
- 18) Cherie NZ. Downscaling and modeling the effects of climate change on hydrology and water resources in the upper Blue Nile river basin, Ethiopia (Doctoral dissertation, Universitätsbibliothek Kassel) (2013). 329.
- 19) Danumah JH. Assessing Urban Flood Risks under Changing Climate and Land Use in Abidjan District, South Cote d'Ivoire (Doctoral dissertation) (2016).197.
- 20) Feloni, E., Mousadis, I. & Baltas, E. (2020). Flood vulnerability assessment using a GIS-based multi-criteria approach—The case of Attica region. *Journal of Flood Risk Management*, 13, pp. 1-15.
- 21) Junxia, Jia., Xinyi, W., Naima, A. & Wei, Z. (2019). Flood-Risk Zoning Based on Analytic Hierarchy Process and Fuzzy Variable Set Theory, *Natural Hazards Review*, Vol. 20, No.3.
- 22) Iqbal, M.S., Dahri, Z.H., Querner, E.P., Khan, A. & Hofstra, N. (2018). Impact of Climate Change on Flood Frequency and Intensity in the Kabul River Basin. *Geosciences*. Vol.8, No.4, pp.114-130.
- 23) Ghasemian, H. & Najafi, I. (2018). Flood risk zoning in Kohdasht city using hierarchical and fuzzy analysis model. *Geography and Human Relations*, Vol. 2, No.3, pp. 403-417. [Persian].
- 24) Guderzi, M. & Fatehifar, A. (2018). Flood risk zoning due to climate change under RCP 8.5 scenario using SWAT hydrological model in Gis environment (Azar Shahr Chai Basin). *Applied Research Journal of Geographical Sciences* 2018, Vol. 19, No. 53, pp. 117-99. [Persian].
- 25) Ganji, K., Qara Chalo, S. & Ahmadi, A. (2019). Investigating the effect of the morphological indicators of the Gorganroud River on flood plains using remote sensing data and spatial analysis (study area: Aqqola city). *Geography and Environmental Hazards*, Vol. 9, No. 3, pp. 205-225. [Persian].
- 26) Kim, V., Tantanee, S. & Suparta, W. (2020). Gis-based flood hazard mapping using hec-ras model: a case study of lower mekong river, cambodia, *Geographia technica*, Vol.15, No.1, 16-26.
- 27) Kastridis, A., Kirkenidis, C. & Sapountzis, M. (2020). An integrated approach of flash flood analysis in ungauged Mediterranean watersheds using post-flood surveys and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Hydrological Processes*.
- 28) Khoshravesht, M., Mirnaseri, M. & Pasarkello, M. (2016). Detecting the trend of precipitation changes in the north of the country using the non-parametric Mann-Kendall test. *Watershed Management Research*, Vol. 8, No. 16, pp. 223-231. [Persian].
- 29) Mlinsky, D., Walega, A., Stachura, T. & Kaczor, G. (2019). A New Empirical Approach to Calculating Flood Frequency in Ungauged Catchments: A Case Study of the Upper Vistula Basin, Poland. *Water*. Vol.11, No.3, pp.601-622.
- 30) Mohammadi, H., Amiri, E. & Rabbani, F. (2017), *Climate Change and Climate Models*, University of Tehran Printing and Publishing Institute, pp. 182. [Persian].
- 31) Neferzadegan, Ali Reza; Mohammadi Far, Ali Akbar; baqar Fard, Hassan & Forozan Fard, Masoumeh (2018). Integration of multi-criteria decision making models and regional flood

- analysis technique to prioritize sub-basins for flood control (case study: Dehbar Khorasan watershed). Geography and environmental hazards, Vol. 8, No. 2, pp. 27-45. [Persian].
- 32) Shrestha S., & Lohpaisankrit W. Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand. International Journal of Sustainable Built Environment. 2017 Dec 1;6(2):285-98.
- 33) Soleimani, Sahar, Salahi, Broumand. (1401). Colloquial analysis of flooding rains in the north of Iran (case study: heavy and widespread rain from October 12 to 15, 2017). Climatology researches, Vol. 1401, No.51, pp. 15-31. [Persian].
- 34) Shakeri, H., Motiei, H. & McBain, E. (1401). Analyzing the performance of fuzzy microscale models and SDSM in evaluating climate changes under RCP scenarios in Tehran. Climatology Research, Vol.1401, No. 50, pp. 61-82. [Persian].
- 35) Yodying. A., Seejata. K., Chatsudarat, S., Chidburee., P., Mahavik, N., Kongmuang., CH. & Tantanee.S. (2019). FD Flood Hazard assessment using Fuzzy analytic hierarchy process: A case studt of Bang Rakam model in Thailand. The 40th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2019) October 14-18, 2019 / Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea.
- 36) Zarei, Azin., Asadi, I., Ebrahimi, A., Jafari, M. & Malekian, Arash (2017). Investigating the changes of precipitation and temperature parameters under climatic scenarios in the pastures of Chaharmahal and Bakhtiari provinces. Marta, Vol. 12, No. 4, pp. 426-436. [Persian].
- 37) Zhixiang, L., Songbing, Z., Honglang, X., Chunmiao, Z., Zhenliang, Y. & Weihua, W. (2015) Comprehensive hydrologic calibration of SWAT and water balance analysis in mountainous watersheds in northwest China, Physics and Chemistry of the Earth , No. 79, pp.76-85.

