

## ارزیابی تغییر اقلیم با استفاده از مدل گردش عمومی جو (AOGCM) و تأثیر آن بر رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS

جهانگیر عابدی کوپایی\* و علیرضا وهابی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۸)

### چکیده

با توجه به آشکار شدن تغییرات اقلیمی در اکثر مناطق دنیا و اثر آن بر بخش‌های مختلف چرخه آب، آگاهی از وضعیت منابع آب به‌منظور مدیریت صحیح منابع و برنامه‌ریزی برای آینده ضروری است. از این‌رو مطالعات زیادی در مناطق مختلف با هدف تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر فرآیند هیدرولوژیک در دوره‌های آتی انجام شده است. در مطالعه حاضر به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی با استفاده از مدل گردش عمومی جو (AOGCM) در شهرستان خمینی‌شهر پرداخته شد. برای این کار از شبیه‌سازی دمای حداکثر و حداقل و بارش دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹) با استفاده از میانگین‌گیری وزنی از سه مدل با کمترین خطا برای هر یک از پارامترهای دمای حداکثر و حداقل و بارش، بر اساس سناریوی انتشار A2 و B1 (حالت بدبینانه و خوش‌بینانه) از مجموعه مدل‌های AOGCM-AR4 استفاده شد و به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی، از مدل LARS-WG استفاده شد. به‌منظور پیش‌بینی رواناب نیز از نرم‌افزار HEC-HMS استفاده شد. نتایج به‌دست آمده ناشی از بررسی اثر تغییر اقلیم در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۴۹) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۷۱-۲۰۰۰)، در سناریو A2 برای دمای حداکثر و حداقل به ترتیب و به‌طور میانگین افزایش ۱/۱ و ۱/۶ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۱۷/۸ درصدی بارش را نشان داد و در سناریو B1 نیز برای دمای حداکثر و حداقل به ترتیب و به‌طور میانگین افزایش ۱/۱ و ۱/۴ درجه سانتی‌گراد و کاهش ۱۳ درصدی بارش به‌دست آمد. نتایج مربوط به رواناب در شش سناریوی موجود متفاوت بود، بدین صورت که بیشترین کاهش رواناب مربوط به سناریوی کاربری اراضی ثابت و سناریو A2 (کاهش ۲۲/۳ درصدی) و بیشترین افزایش مربوط به سناریوی افزایش ۴۵ درصدی شهری و سناریو B1 (افزایش ۵/۸ درصدی) است. پس با توجه به اینکه در آینده بدون شک افزایش بافت شهری وجود خواهد داشت به همین دلیل حجم رواناب در آینده، قابل ملاحظه خواهد بود که از این حجم می‌توان برای تغذیه آب زیرزمینی و آبیاری باغات و فضای سبز شهرستان بهره برد.

واژه‌های کلیدی: مدل گردش عمومی جو، شبیه‌سازی، رواناب سطحی، LARS-WG

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@iut.ac.ir

## مقدمه

تأمین آب برای بخش‌های مصرف خانگی، کشاورزی و صنعت در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های دولت‌ها در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران است. بسیاری از صاحب‌نظران معتقدند که آب باران می‌تواند یکی از منابع جانشین برای آب‌های شیرین موجود محسوب شود و در صورت جمع‌آوری، ذخیره و مدیریت صحیح می‌تواند شیوه‌ای مناسب و کم‌هزینه حداقل برای تأمین بخشی از تقاضاهای آب به‌شمار آید (۱۷).

گسترش طولی شهرها روی کوهپایه‌ها و دشت‌ها که مترادف با افزایش سهم سطح نفوذناپذیر منطقه نسبت به سطح نفوذپذیر آن است، باعث به راه افتادن حجم چشمگیری از رواناب در اراضی شهری شده است. مدیریت این حجم از رواناب که بلافاصله پس از هر بارندگی ایجاد می‌شود تاکنون در بهترین حالت تنها محدود به خروج این آب از محدوده شهری بدون هرگونه استفاده مفید از آن بوده است.

یکی دیگر از موارد تأثیرگذار بر رواناب، تغییر اقلیم است، تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر چرخه هیدرولوژیک است که توجه بسیاری از دانشمندان و کارشناسان را جلب کرده است. تغییر در پارامترهای اقلیمی به ویژه تغییر در میزان بارش و دما نقش مهمی در تعیین میزان رواناب در دوره‌های آتی یک حوضه خواهد داشت. بنابراین، آنالیز اثرات تغییر اقلیم بر فرآیندهای هیدرولوژیک از جمله رواناب سطحی به‌منظور شناسایی تغییرات پتانسیل منابع آبی در آینده و ارائه راهکارهای مناسب برای مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲).

چون پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به‌طور قطعی ممکن نیست، بنابراین اقدام به مشخص کردن امکان رخدادهای گوناگون می‌شود که آن را سناریوهای اقلیمی (Climatic Scenarios) می‌نامند.

هر یک از این سناریوها مربوط به یکی از گروه‌های A1، A2، B1 و B2 است. هر یک از این گروه‌ها به شرح

زیر است:

سناریو A1: این سناریو بیان می‌دارد که تولید گازهای گلخانه‌ای از اهمیت خاصی برخوردار نبوده و در عوض توسعه اقتصادی و مسائل صنعتی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. سناریو A2: این سناریو بر پایه تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای، رشد زیاد جمعیت (۱۵ میلیارد نفر تا سال ۲۱۰۰) و سرعت کمتر در پیشرفت اقتصادی استوار است. در این سناریو اولویت با توسعه فرهنگی، ارزش‌های خانوادگی و سنت‌های اجتماعی است.

سناریو B1: در این سناریو افزایش جمعیت تا سال ۲۰۵۰ ادامه پیدا کرده و به ۹ میلیارد نفر می‌رسد. همچنین، تکنولوژی‌های جدید و به ویژه تکنولوژی‌های اطلاعاتی رشد سریعی خواهند داشت. سناریوی B1 از لحاظ جمعیت جهانی وضعیتی تقریباً مشابه با وضعیت سناریوی A1 خواهد داشت. سناریو B2: تحت این سناریو، پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌عنوان یک اصل مهم مورد توجه است. همچنین نرخ رشد جمعیت در حالتی مشابه با سناریوی A2 (رشد جمعیت زیاد) در نظر گرفته شده و توسعه اقتصادی به‌صورت متعادل خواهد بود.

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی مدل‌های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوس Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) هستند.

از مطالعات انجام‌شده در خصوص شبیه‌سازی سیلاب و کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: سویگنت و همکاران (۱۵) با استفاده از سناریوی A2 و B2 مدل اقلیمی HadCM3 و مدل HEC-HMS به پیش‌بینی رواناب برای یک دوره ۶۰ ساله پرداختند و نتایج بیانگر افزایش دما و کاهش بارش و تغییرپذیری (نوسانات) بالای رواناب سالانه بود.

کبیری و همکاران (۱۰) اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کلانچ را در غرب مالزی بررسی کردند و برای ریزمقیاس‌سازی

شبه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه، از مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن با استفاده از الگوهای ورودی مختلف، استفاده شد که نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش قابل توجه میزان رواناب در حوضه بود. ضرغامی و همکاران (۱۶) به بررسی اثرات تغییر اقلیم در استان آذربایجان شرقی پرداختند. آنها در مطالعات خود از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی و از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی رواناب در دوره‌های آتی استفاده کردند.

جاری‌شدن رواناب در شهرها علاوه بر هدررفت بخش قابل توجهی از آب قابل استفاده، مشکلات بسیاری را برای ساکنان ایجاد می‌کند. از جمله مشکلات موجود در شهرستان خمینی‌شهر می‌توان به دو مورد زیر اشاره کرد:

۱) با توجه به وجود چشمه لادر در شمال غربی خمینی‌شهر، در زمان بارش باران، رواناب جاری شده در مسیر طبیعی به سمت شهر جاری می‌شود. نظر به اینکه در مسیر این آبراهه مقدار قابل ملاحظه‌ای نخاله ساختمانی تخلیه شده است، علاوه بر ترکیب رواناب با نخاله‌ها و آلودگی آن، این ضایعات موجب تغییر مسیر رواناب به سمت منازل می‌شوند (۱۲).

۲) شکل نامناسب کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی و ابعاد نامناسب آن در طول مسیر، موجب بالازدگی رواناب در طول کانال شده و آبی که می‌تواند برای مصارف کشاورزی خمینی‌شهر مورد استفاده قرار گیرد در خیابان‌ها جاری می‌شود (۱۲).

با توجه به مشکلات ذکرشده، رواناب حاصل از نزولات جوی در مناطق شهری سبب ایجاد مشکلات اجتماعی، اختلال در سیستم‌های خدمات شهری و آلوده شدن بخش بزرگی از آب قابل بهره‌برداری می‌شود و همچنین ذخایر آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی نیز رو به کاهش هستند، به‌طور مثال، طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی شهرستان خمینی‌شهر، ۸۰ درصد چاه‌های این شهرستان خشک شده و غیر قابل بهره‌برداری هستند و همچنین طی آمار ارائه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان، میزان ذخیره آب در پشت سد زاینده‌رود به شدت تقلیل

از مدل SDSM و برای شبه‌سازی رواناب تا پایان سال ۲۱۰۰ از مدل HEC-HMS استفاده کردند. نتایج نشان داد حجم رواناب پیش‌بینی شده کاهش می‌یابد.

گوسین و همکاران (۷) تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر رواناب در ۱۲ حوضه رودخانه‌های هند را برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ مورد مطالعه قرار دادند نتایج مطالعه آن‌ها دلالت بر کاهش جریان و افزایش شدت سیلاب و خشکسالی دارد.

سیلر و همکاران (۱۴) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب بر اساس ۳۷ زیرحوضه در کانادا و با استفاده از چندین مدل یکپارچه هیدرولوژیکی پرداختند و نتایج این پژوهش نشان داد انتخاب یک تابع هدف با مشخصات معمول تفسیر مناسبی از تغییر شرایط آبی ارائه خواهد داد.

فولر و همکاران (۳) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب در شمال غرب انگلستان پرداختند. نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش کلی ۱۸ درصدی میزان منابع آب در منطقه بود.

مطالعات انجام‌شده در داخل کشور به خصوص روی حوضه‌های شهری عمر زیادی ندارد و کمتر مورد توجه پژوهشگران و مسئولین قرار گرفته است، اما با توجه به اهمیت یافتن این موضوع در سال‌های اخیر مطالعات و پژوهش‌های خوبی انجام شده است که به‌عنوان نمونه، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

جباری‌ملایی و عابدی‌کوپایی (۹) به‌منظور برآورد رواناب شهری برای استفاده در فضای سبز منطقه ۶ شهر اصفهان از دو مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و Civil Storm V8i استفاده کردند که به این نتیجه رسیدند که مدل HEC-HMS نسبت به مدل Civil Storm V8i تخمین بهتری از رواناب شهری ارائه داده است. ثانی‌خانی و همکاران (۱۳) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی پرداختند که نتایج به‌دست آمده حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه بود. همچنین در این پژوهش، برای

## روش انجام کار

## بررسی تغییرات اقلیمی

برای اطلاع از روند تغییرات پارامترهای مرتبط با تغییرات منابع آب در حوضه، لازم است اثرات تغییر اقلیم روی تغییرات پارامترهای هواشناسی مورد بررسی قرار گیرد.

دوره پایه در نظر گرفته شده برای استخراج داده‌های هواشناسی مربوط به مدل‌های AOGCM طبق پیشنهاد IPCC و به دلیل موجود بودن داده‌های دما و بارندگی در این دوره، سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۷۱ است. برای استخراج داده‌های اقلیمی، چندین مدل AOGCM ارائه شده است. هر کدام از این مدل‌ها را می‌توان با در نظر گرفتن یکی از سناریوهای انتشار A1، A2، B1 و B2 برای استخراج داده‌های هواشناسی در دوره پایه و نیز دوره‌های آینده مورد استفاده قرار داد. با توجه به انجام محاسباتی که در فصل بحث و نتایج بیان خواهد شد، برای هر یک از سه پارامتر دمای حداقل و حداکثر و بارندگی، سه مدلی که دارای کمترین خطا هستند، انتخاب و برای استخراج داده‌های دما و بارش در ایستگاه مورد نظر استفاده شد. در نهایت برای سه پارامتر دمای حداقل و حداکثر و بارندگی تحت دو سناریو A2 و B1 (بدترین و بهترین حالت در آینده) برای دوره پایه ۳۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۷۱) و دوره آتی ۳۰ ساله (۲۰۴۹-۲۰۲۰) داده‌ها از سایت IPCC استخراج شدند.

در گام بعدی به منظور حذف اغتشاش در شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی ناشی از بزرگ‌بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM، به جای استفاده مستقیم از داده‌های مدل در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای درازمدت این داده‌ها استفاده می‌شود (۸).

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad (2)$$

$$\Delta P_i = \left( \frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \right) \quad (3)$$

در روابط فوق  $\Delta T_i$  و  $\Delta P_i$  به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای متوسط درازمدت برای هر ماه،  $\bar{T}_{GCM, fut, i}$  متوسط درازمدت دمای شبیه‌سازی شده

یافته است (۱۲)، متأسفانه تاکنون در شهرستان خمینی‌شهر مطالعه‌های جامعی در خصوص بررسی آب‌های سطحی انجام نشده است و طرح‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی نیز بدون مطالعه و به صورت مقطعی اجرا شده‌اند که البته این مسئله در بسیاری از شهرهای دیگر نیز مشاهده می‌شود (۱۲).

بنابراین، در این مطالعه سعی بر آن شد که با استفاده از مدل Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) به محاسبه رواناب پرداخته و با ارزیابی تغییر اقلیم در شهرستان خمینی‌شهر، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب شهری موجود بررسی شود.

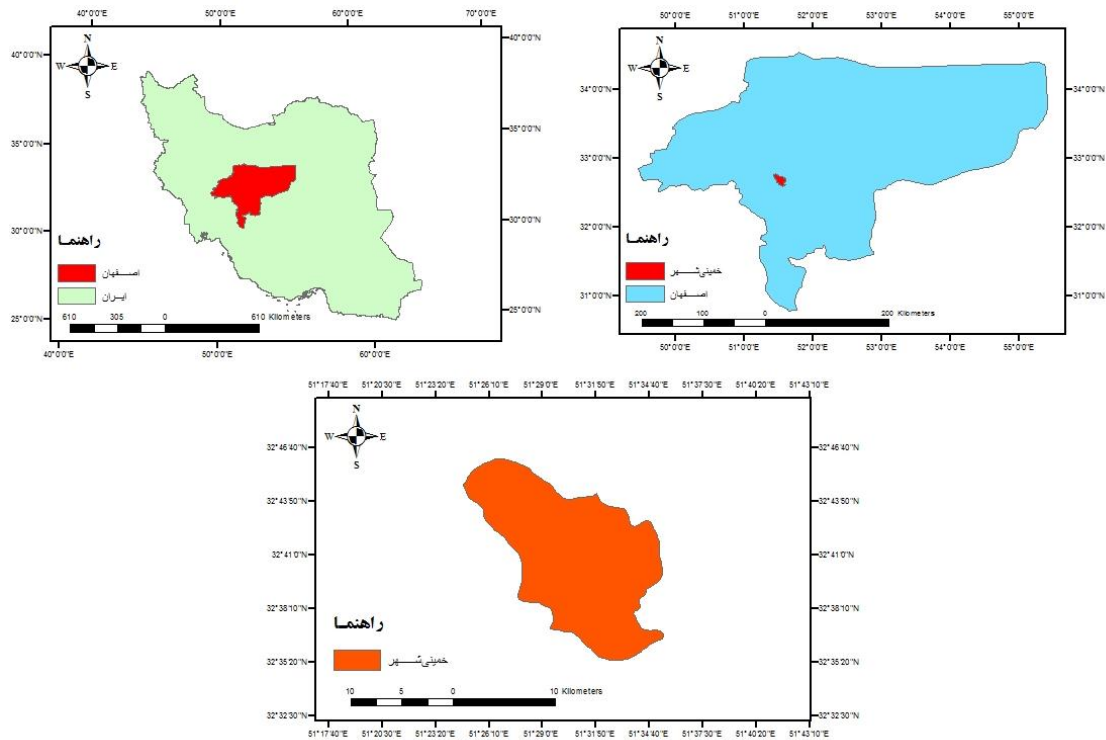
## مواد و روش‌ها

## معرفی منطقه

شهرستان خمینی‌شهر در پنج کیلومتری شمال غربی کلان‌شهر اصفهان واقع شده است (شکل ۱). نواحی شمال و شمال غربی آن را کوه‌های محمودآباد با ارتفاع ۲۴۷۳ متر و سرچاه با ارتفاع ۲۲۵۰ متر و کوه صالح با ارتفاع ۲۵۱۱ متر فرا گرفته و نواحی جنوبی و شرقی آن را دشت همواری پوشانده است. در شمال شهرستان ارتفاعات سید محمد و پلارت با ارتفاع ۲۴۵۰ متر (محمودآباد)، زیبایی خاصی به منطقه بخشیده است. ارتفاع شهرستان از سطح دریا، حدود ۱۵۹۵ تا ۱۶۰۲ متر است و بنابراین در حدود ۱۸ متر از شهر اصفهان مرتفع‌تر است (۱۲). موقعیت شهرستان خمینی‌شهر "۳۲' ۹/۸" ۵۱° طول جغرافیایی و "۴۹/۸' ۴۰' ۳۲° عرض جغرافیایی است.

وسعت شهرستان ۱۷۵/۵ کیلومتر مربع است و از ۳ مرکز شهری و ۱۷ روستا تشکیل شده است، شهرهای آن خمینی‌شهر، درچه‌پیاز و کوشک و روستاهای مهم آن اصغرآباد، تیرانچی، دستگرد قداده، قلعه‌امیریه و ولاشان هستند.

منطقه خمینی‌شهر به دلیل موقعیت جغرافیایی و همجواری با رشته کوه‌های زاگرس از یک سو و نواحی بیابانی گرم ایران داخلی از سوی دیگر، دارای ویژگی‌های اقلیمی ویژه‌ای است و به‌طور کلی دارای آب و هوای گرم و خشک است.



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

$$\Delta T_i = \left( \frac{\sum_{i=1}^3 (W_i * \bar{T}_{GCM, fut, i, j})}{\sum_{i=1}^3 W_i} - \frac{\sum_{i=1}^3 (W_i * \bar{T}_{GCM, base, i, j})}{\sum_{i=1}^3 W_i} \right) \quad (4)$$

$$\Delta P_j = \left( \frac{\sum_{i=1}^3 (W_i * \bar{P}_{GCM, fut, i, j})}{\sum_{i=1}^3 W_i} - \frac{\sum_{i=1}^3 (W_i * \bar{P}_{GCM, base, i, j})}{\sum_{i=1}^3 W_i} \right) \quad (5)$$

در روابط فوق  $\Delta T_j$  و  $\Delta P_j$  به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای متوسط درازمدت برای هر ماه،  $\bar{T}_{GCM, fut, i, j}$  متوسط درازمدت دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر مدل و هر ماه (۲۰۲۰-۲۰۴۹) و  $\bar{T}_{GCM, base, i, j}$  متوسط درازمدت دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهده‌ای (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای هر مدل و هر ماه و  $W_i$  وزن هر مدل است. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار است.

توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه و  $\bar{T}_{GCM, base, i}$  متوسط درازمدت دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهده‌ای برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار است (۴) در پژوهش حاضر با توجه به اینکه هر مدل ممکن است در یک ماه خاص نتیجه بهتری بدهد، پارامترهای موجود در روابط (۱) و (۲) برای سه مدل با کمترین خطا، محاسبه و سپس میانگین‌گیری وزنی (به منظور آشکار شدن تأثیر هر مدل) بین سه مدل انجام شد.

$$W_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{e_i} \right)} \quad (3)$$

$W_i$ : وزن هر مدل

$e_i$ : خطای هر مدل (به مجموع قدر مطلق اختلاف بین مقادیر base و مشاهداتی برای میانگین درازمدت ۱۲ ماه، خطای هر مدل گفته می‌شود).

پس روابط (۱) و (۲) به صورت زیر تغییر پیدا می‌کنند:

**مراحل انجام مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS**

به‌منظور پیش‌بینی رواناب دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹ سه سناریو برای کاربری اراضی آینده در نظر گرفته شد:

الف) کاربری اراضی ثابت

ب) افزایش ۲۰ درصدی شهری

ج) افزایش ۴۵ درصدی شهری

حال با ترکیب دو سناریو A2 و B1 (سناریوهای تغییر اقلیم) با سه سناریو کاربری اراضی در نهایت شش سناریوی مختلف در آینده به وجود می‌آید که سناریو (کاربری اراضی ثابت و سناریو A2) به‌طور کامل توضیح داده خواهد شد.

مراحل انجام مدل‌سازی و دریافت نتایج خروجی‌های آن طی مراحل زیر انجام شده است:

الف) مدل حوضه (Basin Model)

ابتدا نقشه شماتیکی از منطقه ترسیم شد. لازم به ذکر است وجود نقشه الزامی نیست و در محاسبه‌ها نقشی ندارد. متغیرهای مورد استفاده در این بخش شامل گیرش اولیه (میلی‌متر)، شماره منحنی نفوذ (CN)، سطح غیرقابل نفوذ (درصد)، زمان تأخیر (دقیقه) و مساحت منطقه (کیلومتر مربع) است. در این مطالعه گیرش اولیه  $0.2S$  فرض شد و در نتیجه برابر  $13.7$  میلی‌متر در نظر گرفته شد. شماره منحنی با تلفیق نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک منطقه و همچنین با استفاده از جدول‌های موجود و با میانگین‌گیری وزنی، مقدار  $78/73$  محاسبه شد. سطح غیر قابل نفوذ با توجه به نقشه کاربری اراضی،  $26$  درصد در نظر گرفته شد (بخش پشت‌بام و پارکینگ و دیگر جاهای آسفالتی به‌عنوان سطح نفوذناپذیری کل شهرستان فرض شد) و زمان تأخیر با استفاده از رابطه (۸) برابر  $137/4$  دقیقه محاسبه شد و مساحت با استفاده از نرم‌افزار GIS، برابر با  $175/5$  کیلومتر مربع محاسبه شد (جدول ۱).

$$t_1 = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{(1900)y^{0.5}} \quad (8)$$

$t_1$ : زمان تأخیر حوضه (ساعت)

$L$ : طول رودخانه اصلی (فوت)

$y$ : شیب متوسط حوضه (درصد)

به‌منظور تبدیل داده‌های با مقیاس ماهانه به مقیاس روزانه (ریزمقیاسی زمانی) و همچنین تبدیل داده‌های بارش موجود در جو بالا به داده‌های بارش در سطح زمین، (ریزمقیاسی مکانی) از نرم‌افزار LARS استفاده شد که فرایند تولید داده‌های مصنوعی آب‌وهوایی با استفاده از این نرم‌افزار در سه بخش انجام شد:

۱) واسنجی مدل (Site Analysis): در این بخش داده‌های آب‌وهوایی دیده‌بانی شده برای تعیین خصوصیات آماریشان تحلیل می‌شوند. این اطلاعات در دو فایل مجزا ذخیره می‌شوند (۸).

۲) صحت‌سنجی مدل (Q-test): در این قسمت خصوصیات آماری داده‌های دیده‌بانی و مصنوعی تولیدشده توسط مدل برای تعیین اینکه آیا تفاوت‌های آماری قابل توجهی بین این دو گروه از داده‌ها وجود دارد یا نه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (۸).

۳) تولید داده (Generator): در اینجا داده‌های آب‌وهوایی مصنوعی با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی دوره دیده‌بانی شده تولید می‌شوند که دارای خصوصیات آماری مشابه با دوره دیده‌بانی هستند (۸).

به‌منظور مشاهده تغییرات اقلیمی بین دوره مشاهداتی و آتی، با استفاده از روابط (۶) و (۷)،  $\Delta T_i$  و  $\Delta P_i$  محاسبه شد.

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{LARS, fut, i} - \bar{T}_{Obs, i}) \quad (6)$$

$$\Delta P_i = \left( \frac{\bar{P}_{LARS, fut, i}}{\bar{P}_{Obs, i}} \right) \quad (7)$$

در روابط (۶) و (۷)  $\Delta T_i$  و  $\Delta P_i$  به ترتیب بیانگر تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای متوسط درازمدت برای هر ماه،  $\bar{T}_{LARS, fut, i}$  متوسط درازمدت دمای شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار LARS در دوره آتی برای هر ماه (۲۰۴۹-۲۰۲۰)،  $\bar{T}_{Obs, i}$  متوسط درازمدت دمای شبیه‌سازی شده در دوره مشاهده‌ای (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار است.

به‌منظور مشاهده اثر تغییر اقلیم بر رواناب، از مدل HEC-HMS برای شبیه‌سازی رواناب استفاده شد که در ادامه پارامترهای مورد نیاز این مدل معرفی می‌شود.

S: نمایه نگه‌داشت رطوبت در خاک‌های سطح حوضه (برحسب اینچ) که از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$S = \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \quad (9)$$

ب) مدل هواشناسی (Meteorologic Model) مدل هواشناسی شرایط آب و هوایی اثرگذار بر حوضه آبریز در طول دوره شبیه‌سازی را تهیه و آماده‌سازی می‌کند و در نتیجه در هر پروژه دست کم یک مدل هواشناسی مورد نیاز است، به علاوه این مدل می‌تواند برای یک یا چند مدل حوضه مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه نحوه وارد کردن اطلاعات لازم شرح داده شده است:

با انتخاب روش SCS Storm برای محاسبه بارش اثرگذار بر حوضه، دو گزینه باید به نرم‌افزار معرفی شود:

Method: در این مطالعه از رگبار نوع اول (Type 1) استفاده شد. Depth: در این بخش ارتفاع رگبار روزانه به نرم‌افزار معرفی می‌شود، با توجه به اینکه دوره پیش‌بینی رواناب یک دوره ۳۰ ساله است پس تعداد دفعات اجرای نرم‌افزار بسیار زیاد است با توجه به این مورد، یک بازه خاص از مقادیر بارش بدین صورت که حداقل رگبار ۰/۱ میلی‌متر و حداکثر رگبار ۳۲/۳ میلی‌متر است. فاصله بین این حداقل و حداکثر با مقادیر رگبارهای فرضی با گام‌های ۵ میلی‌متری پر شده و در نهایت مقادیر ۰/۱، ۵/۱، ۱۰/۱، ۱۵/۱، ۲۰/۱، ۲۵/۱، ۳۰/۱ و ۳۲/۳ به نرم‌افزار معرفی شده (جدول ۲) و رواناب متناسب با آنها محاسبه شد. پس از آن یک رابطه توانی بین دو متغیر بارش و رواناب برقرار کرده و در نهایت با استفاده از این رابطه، رواناب ناشی از بارش‌های روزانه دوره ۳۰ ساله محاسبه شد (شکل ۲).

ج) مدل مشخصات کنترل (Control Specification Model) مشخصات کنترل یکی از بخش‌های اصلی در یک پروژه است و برای آنکه برنامه اجرا شود، ایجاد این مدل در برنامه ضروری است. در این مطالعه شبیه‌سازی به صورت روزانه انجام شد، یعنی فاصله بین شروع و پایان شبیه‌سازی به مدت ۲۴ ساعت و با گام‌های ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

د) صحت‌سنجی مدل

در این بخش به منظور تعیین میزان صحت و درستی محاسبات نرم‌افزار، برای یک دوره خاص با استفاده از سه معیار ارزیابی ضریب تعیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف (Nash) به ارزیابی عملکرد مدل پرداخته شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\sqrt{Q_o} - \sqrt{Q_m})^2}{\sum (\sqrt{Q_o} - \bar{\sqrt{Q_m}})^2} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * (\sum (Q_o - Q_m)^2)} \quad (11)$$

$$Nash = 1 - \frac{\sum (Q_o - Q_m)^2}{\sum (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \quad (12)$$

$Q_o$ : داده مشاهداتی

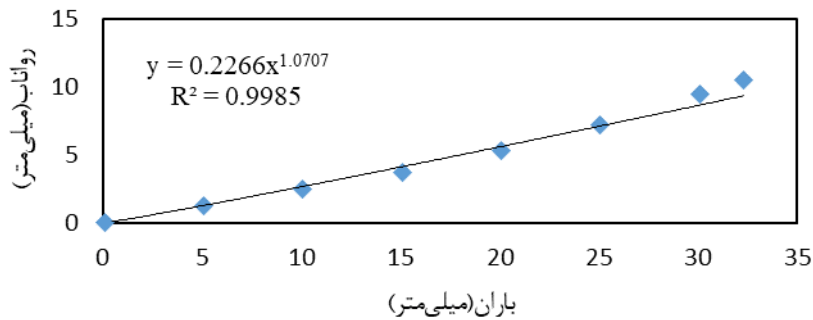
$Q_m$ : داده شبیه‌سازی شده

$\bar{Q}_m$ : میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده

$\bar{Q}_o$ : میانگین داده‌های مشاهداتی

مقدار  $R^2$  بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بوده که مقدار آن بین صفر تا یک است. هرچه مقدار  $R^2$  به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده رابطه قوی‌تر خطی بین دو مقدار است. معیار ضریب تعیین به تنهایی نمی‌تواند بیانگر عملکرد یک مدل در شبیه‌سازی داده‌ها باشد. زیرا حالت‌های زیادی وجود دارد که داده‌های شبیه‌سازی شده به خوبی می‌تواند الگوی رفتاری داده‌های مشاهداتی را شبیه‌سازی کند در صورتی که اختلاف زیادی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود دارد. بنابراین، به طور معمول از معیارهای دیگر که بیانگر وضعیت اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است، استفاده می‌شود. بدین منظور RMSE و ضریب Nash به عنوان معیارهای معتبری در کنار  $R^2$  مورد استفاده قرار گرفت. RMSE واحدی برابر با بعد خود داده‌ها را دارد که کم‌تر شدن آن نشان از برتری روش دارد و آستانه خاصی نیز برای آن تعریف نشده است (۶).

ضریب نش-ساتکلیف از منفی بی‌نهایت الی یک متغیر



شکل ۲. رابطه برازش داده شده بین باران و رواناب (کاربری اراضی ثابت و سناریو A2)

HEC-HMS یک دوره ده ساله (۲۰۰۰-۱۹۹۱) انتخاب شد و نتایج برای سه معیار  $(R^2)$  و (RMSE) و (Nash) به ترتیب برابر ۰/۶۵۴ و ۰/۳۳ و ۰/۷۹۸ محاسبه شد.

### بحث

با توجه به نتایج می توان دریافت که مقادیر  $p\_value$  برای هر سه پارامتر بارش و دمای حداقل و حداکثر نزدیک به یک است که این مورد نشان از عملکرد مطلوب و قابل قبول نرم افزار LARS دارد (معیار  $p\_value$  بین صفر و یک متغیر است و هرچه به یک نزدیک تر باشد نشان از انطباق داده ها است) و معیار دوم برای سنجش عملکرد نرم افزار LARS، معیار کای-اسکوئر است که هرچه مقدار این پارامتر کمتر باشد انطباق داده ها بیشتر بوده و عملکرد LARS بهتر بوده که با توجه به نتایج مقدار کای-اسکوئر برای هر سه پارامتر بارش و دمای حداقل و حداکثر، بسیار کم بوده که این مورد نیز نشان از عملکرد مطلوب و قابل قبول نرم افزار LARS دارد.

به منظور تحلیل بهتر جدول ۴ داده های این جدول به صورت نمودار آماده شدند و در ادامه نمایش داده می شوند.

تغییرات دمای حداقل در هر دو سناریو به صورت افزایشی است و بیشترین افزایش در هر دو سناریو در ماه های گرم سال اتفاق افتاده است و کمترین افزایش در ماه های به نسبت سرد سال اتفاق افتاده است.

تغییرات دمای حداکثر نیز به صورت افزایشی است و بیشترین افزایش برای هر دو سناریو در ماه های به نسبت سرد سال اتفاق

است. اگر مقدار آن برابر یک باشد تناسب کاملی بین داده های مشاهداتی و شبیه سازی وجود دارد و اگر مقدار آن بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه سازی خوب توصیف می شود و چنانچه مقدار این ضریب بین ۰/۷۵-۰/۳۶ باشد نتایج مدل خوب تا متوسط به شمار می رود. در واقع هر چه مقدار ضریب نش-ساتکلیف به عدد یک نزدیک تر شود، مدل از عملکرد بهتری برخوردار است.

### نتایج

#### بخش تغییر اقلیم

به منظور انجام ریزمقیاسی زمانی و مکانی از نرم افزار LARS استفاده شد و نتایج صحت سنجی نرم افزار به صورت جدول ۳ قابل مشاهده است.

به منظور مشاهده تغییرات اقلیمی بین دوره مشاهداتی و آتی، با استفاده از روابط (۶) و (۷)،  $\Delta T_i$  و  $\Delta P_i$  محاسبه شد و نتایج به صورت جدول ۴ قابل مشاهده است.

#### بخش شبیه سازی رواناب شهری

پس از آنکه سه مدل حوضه، هواشناسی و مشخصات کنترل در برنامه ایجاد شدند، برنامه اجرا شد. در نهایت مقادیر رواناب و تغییرات آن در شش سناریو، به ترتیب در جدول های ۵ و ۶ قابل مشاهده است.

به منظور انجام صحت سنجی از عملکرد نرم افزار



جدول ۱. پارامترهای مورد نیاز مدل حوضه در شش سناریو

گیش اولیه (mm)	شماره منحنی (بی‌بعد)	سطح غیرقابل نفوذ (%)	زمان تأخیر (min)	مساحت منطقه (km <sup>2</sup> )	
۱۳/۷	۷۸/۷۳	۲۶	۱۳۷/۴	۱۷۵/۵	کاربری اراضی ثابت و سناریو A2
۱۳/۷	۷۸/۷۳	۲۶	۱۳۷/۴	۱۷۵/۵	کاربری اراضی ثابت و سناریو B1
۱۳	۷۹/۶۲	۳۱	۱۳۴/۹	۱۷۵/۵	افزایش ۲۰ درصدی شهری و سناریو A2
۱۳	۷۹/۶۲	۳۱	۱۳۴/۹	۱۷۵/۵	افزایش ۲۰ درصدی شهری و سناریو B1
۱۳/۵	۷۸/۹۷	۳۳	۱۳۷/۵	۱۷۵/۵	افزایش ۴۰ درصدی شهری و سناریو A2
۱۳/۵	۷۸/۹۷	۳۳	۱۳۷/۵	۱۷۵/۵	افزایش ۴۰ درصدی شهری و سناریو B1

جدول ۲. مقادیر بارش (میلی‌متر) معرفی شده به نرم‌افزار HEC-HMS

SR A2	۰/۱	۵/۱	۱۰/۱	۱۵/۱	۲۰/۱	۲۵/۱	۳۰/۱	۳۲/۳
SR B1	۰/۱	۵/۱ <td>۱۰/۱ <td>۱۵/۱ <td>۲۰/۱ <td>۲۵/۱ <td>۳۰/۱ <td>۳۶/۳</td> </td></td></td></td></td>	۱۰/۱ <td>۱۵/۱ <td>۲۰/۱ <td>۲۵/۱ <td>۳۰/۱ <td>۳۶/۳</td> </td></td></td></td>	۱۵/۱ <td>۲۰/۱ <td>۲۵/۱ <td>۳۰/۱ <td>۳۶/۳</td> </td></td></td>	۲۰/۱ <td>۲۵/۱ <td>۳۰/۱ <td>۳۶/۳</td> </td></td>	۲۵/۱ <td>۳۰/۱ <td>۳۶/۳</td> </td>	۳۰/۱ <td>۳۶/۳</td>	۳۶/۳

جدول ۴. تغییرات اقلیمی بین دوره مشاهداتی و آتی

SR-B1			SR-A2			month
$\Delta P$ (%)	$\Delta T_{max}$ (C°)	$\Delta T_{min}$ (C°)	$\Delta P$ (%)	$\Delta T_{max}$ (C°)	$\Delta T_{min}$ (C°)	
-۲۹/۴	۱/۳	۰/۷	-۳۱/۴	۱/۵	۰/۹	Jan
۳۱/۷	۰/۷	۱	۲۶/۷	۱	۱	Feb
-۸/۲	۱/۸	۱	-۱۰/۷	۲/۲	۰/۹	Mar
۳۳/۷	۱/۲	۰/۸	۲۱/۸	۱/۸	۰/۷	Apr
-۱۲/۵	۱/۶	۱/۴	-۲۵/۱	۱/۹	۱/۵	May
-۵/۱	۰/۷	۱/۱	-۱۱/۷	۰/۸	۱/۵	Jun
-۸/۴	۱/۵	۱/۴	-۷۱/۳	۱/۸	۱/۶	Jul
۱/۱	۱/۶	۱/۵	-۲۶/۶	۱/۷	۱/۵	Aug
۰	۱/۸	۱/۴	۰	۱/۸	۱/۳	Sep
-۳۴/۳	۱/۵	۱	-۲۹/۶	۱/۶	۱	Oct
-۸/۸	۱/۴	۰/۹	-۱۶/۳	۱/۸	۰/۸	Nov
-۴۰/۳	۱/۳	۰/۷	-۳۹/۱	۱/۹	۰/۷	Dec

جدول ۳. صحت‌سنجی نرم‌افزار LARS

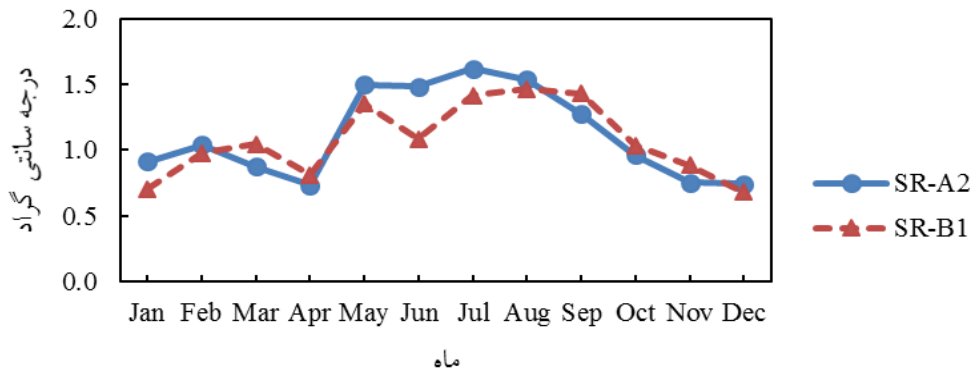
دمای حداکثر		دمای حداقل		بارش		ماه
p-value	KS	p-value	KS	p-value	KS	
۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۱	۰/۰۵۳	۰/۹۲۷۱	۰/۱۵۴	ژانویه
۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۱	۰/۰۶۴	فوریه
۱	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۰۶	مارس
۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۱	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۴۵	آوریل
۱	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۸۲	می
۰/۹۱۲۵	۰/۱۵۸	۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۰/۸۴۱۶	۰/۱۷۴	ژوئن
۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۰/۹۸۲۴	۰/۱۳۱	جولای
۰/۹۱۲۵	۰/۱۵۸	۰/۹۹۹۱	۰/۱۰۵	۰/۵۸۹۵	۰/۲۱۸	اوت
۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۱	۰	سپتامبر
۰/۹۹۹۱	۰/۱۰۵	۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۰/۹۸۹۵	۰/۱۲۵	اکتبر
۱	۰/۰۵۳	۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۱	۰/۰۳۵	نوامبر
۰/۹۹۸۹	۰/۱۰۶	۱	۰/۰۵۳	۰/۹۹۸۱	۰/۱۱	دسامبر

جدول ۵. رواناب تولیدشده (میلی‌متر) در هر ماه برای سناریوهای موجود در آینده

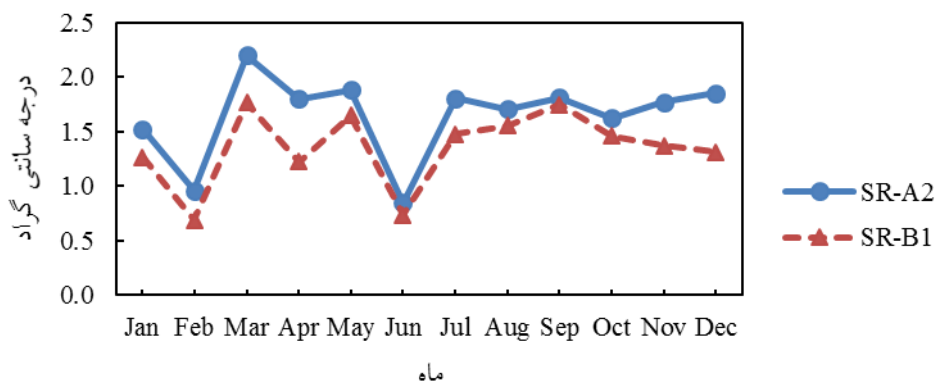
ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	مشاهداتی
۴/۷۰	۴/۵۵	۷/۱۹	۴/۲۷	۲/۵۵	۰/۴۰	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۰	۱/۲۹	۳/۳۰	۵/۸۰	
۲/۹۸	۵/۴۳	۶/۰۱	۴/۸۹	۱/۷۶	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۸۹	۲/۶۲	۳/۲۲	کاربری اراضی ثابت و سناریو A2
۳/۱۲	۵/۷۸	۶/۳۲	۵/۵۱	۲/۱۲	۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۸۴	۲/۹۴	۳/۲۰	کاربری اراضی ثابت و سناریو B1
۳/۷۷	۶/۶۶	۷/۴۱	۶/۰۳	۲/۲۱	۰/۴۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۱	۱/۰۸	۳/۱۹	۴/۰۲	افزایش ۲۰ درصدی شهری و سناریو A2
۳/۹۴	۷/۰۷	۷/۷۷	۶/۷۶	۲/۶۴	۰/۴۶	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۱	۱/۰۳	۳/۵۶	۴/۰۰	افزایش ۲۰ درصدی شهری و سناریو B1
۳/۹۱	۶/۹۳	۷/۷۱	۶/۲۷	۲/۲۹	۰/۴۳	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۱	۱/۱۲	۳/۳۲	۴/۱۸	افزایش ۴۵ درصدی شهری و سناریو A2
۴/۰۸	۷/۳۴	۸/۰۶	۷/۰۱	۲/۷۳	۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۱	۱/۰۷	۳/۷۰	۴/۱۵	افزایش ۴۵ درصدی شهری و سناریو B1

جدول ۶. تغییرات رواناب (درصد) در شش سناریوی مختلف در آینده نسبت به حالت مشاهداتی

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
-۳۶/۶	۱۹/۳	-۱۶/۴	۱۴/۴	-۳۰/۸	-۱۷/۵	-۷۱/۷	-۳۱/۸	۰/۰	-۳۱/۶	-۲۰/۴	-۴۴/۴	
-۳۳/۶	۲۷/۰	-۱۲/۲	۲۸/۹	-۱۶/۸	-۹/۴	-۸۴/۸	-۳/۶	۰/۰	-۳۵/۱	-۱۰/۷	-۴۴/۷	کاربری اراضی ثابت و سناریو B1
-۱۹/۷	۴۶/۳	۳/۰	۴۱/۰	-۱۳/۴	۴/۵	-۶۳/۰	-۷/۳	۰/۰	-۱۶/۶	-۳/۲	-۳۰/۶	افزایش ۲۰ درصدی شهری و سناریو A2
-۱۶/۲	۵۵/۴	۸/۰	۵۸/۲	۳/۴	۱۴/۲	-۷۹/۷	۲۸/۹	۰/۰	-۲۰/۷	۸/۱	-۳۰/۹	افزایش ۲۰ درصدی شهری و سناریو B1
-۱۶/۸	۵۲/۳	۷/۲	۴۶/۶	-۱۰/۱	۸/۳	-۶۱/۸	-۴/۹	۰/۰	-۱۳/۱	۰/۹	-۲۷/۹	افزایش ۴۵ درصدی شهری و سناریو A2
-۱۳/۳	۶۱/۳	۱۲/۱	۶۴/۱	۷/۱	۱۸/۲	-۷۹/۱	۳۲/۵	۰/۰	-۱۷/۷	۱۲/۴	-۲۸/۵	افزایش ۴۵ درصدی شهری و سناریو B1



شکل ۳. تغییرات دمای حداقل در دو سناریو A2 و B1 (رنگی در نسخه الکترونیکی)

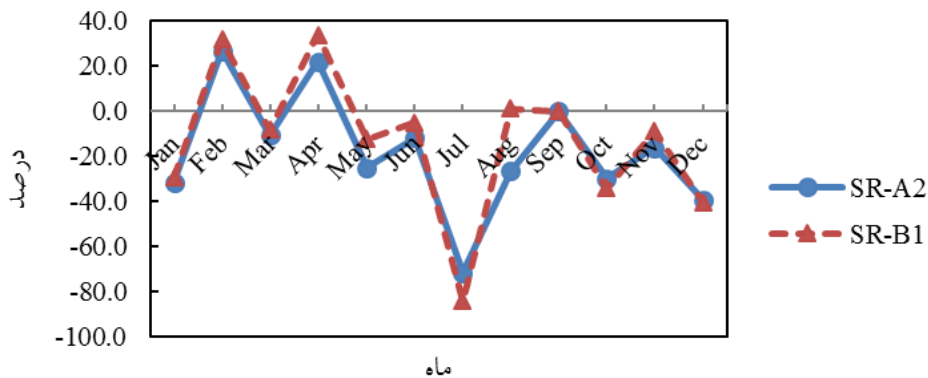


شکل ۴. تغییرات دمای حداکثر در دو سناریو A2 و B1 (رنگی در نسخه الکترونیکی)

کاهش می‌یابد.

با توجه به اینکه معیارهای ارزیابی محاسبه شده در بخش صحت‌سنجی، همگی در محدوده مجاز هستند پس نرم‌افزار HEC-HMS برای منطقه مورد مطالعه مناسب است. عامل کاربری اراضی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر رواناب است به‌گونه‌ای که در حالت کاربری اراضی ثابت با توجه به ثابت‌بودن کاربری اراضی و افزایش دما و کاهش بارش در آینده، در رواناب نیز انتظار وقوع روند کاهشی در آینده می‌رود که نتیجه موجود در جدول ۶ نیز در تأیید این مورد است و به جز دو ماه فوریه و آوریل در بقیه ماه‌ها کاهش در رواناب رخ داده است. در حالت افزایش ۲۰ درصدی کاربری شهری با توجه به اینکه با افزایش سطوح شهری، سطوح نفوذناپذیر نیز اضافه خواهد شد پس احتمال افزایش رواناب در آینده وجود دارد که با توجه به جدول ۶ این احتمال درست است ولی میزان این

افتاده است و کمترین افزایش نیز در ماه‌های به‌نسبت سرد سال اتفاق افتاده است. بیشترین کاهش باران در هر دو سناریو در ماه تیر اتفاق افتاده است از طرفی با توجه به اینکه در سه ماه تیر و مرداد و شهریور مقدار بارش صفر یا بسیار ناچیز است پس ماه‌های خوبی برای تحلیل واقعه باران نیستند بعد از ماه تیر، ماه آذر است که دارای بیشترین کاهش است (این مورد برای هر دو سناریو صادق است) با توجه به اینکه این ماه، ماهی باران‌زا است، بنابراین کاهش باران در این ماه، بسیار زیان‌بار خواهد بود. همان‌طور که از جدول ۴ و شکل ۵ مشخص است دو ماه بهمن و فروردین دارای تغییرات افزایشی بارش هستند که با توجه به اینکه این دو ماه جزء ماه‌هایی هستند که بارش‌های رگباری رخ می‌دهد پس می‌توان نتیجه گرفت که باران‌ها در سی سال آینده، بیشتر به‌صورت رگباری و مقدار باران در کل



شکل ۵. تغییرات باران در دو سناریو A2 و B1 (رنگی در نسخه الکترونیکی)

شمال اسپانیا پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که داده‌های حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل و داده‌های ثبت شده تفاوتی چندانی با هم ندارند. گندمی و شهنی دارابی (۴) با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS و روش اشنایدر اقدام به کالیبراسیون آمار رواناب بر میزان آمار بارش واقعی کردند بدین صورت که با بررسی دوازده نمونه سیلاب رخ داده در سال‌های گذشته میزان رواناب محاسباتی و مشاهداتی مقایسه شد و بهترین پارامترها برای نفوذپذیری اولیه و نهایی خاک و زمان تمرکز حوضه محاسبه شد. تاکنون در شهرستان خمینی شهر مطالعات جامعی در خصوص بررسی آب‌های سطحی انجام پذیرفته است و طرح‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی نیز بدون مطالعه و به‌صورت مقطعی اجرا شده‌اند بنابراین، در پژوهش حاضر، به ارزیابی تغییر اقلیم در شهرستان خمینی شهر و تأثیر آن بر رواناب شهری موجود پرداخته شد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به جدول ۵ واضح است که میزان رواناب در آینده قابل توجه است و از طرفی با توجه به کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی و سطحی شایسته است با ساخت و جاگذاری درست مخازنی به جمع‌آوری و ذخیره این رواناب پرداخت و از رواناب جمع‌آوری شده به‌منظور آبیاری باغات و مزارع موجود در این شهرستان و یا جهت درختکاری و ایجاد فضای سبز در اطراف بزرگراه‌ها و جاده‌ها استفاده کرد. فضای سبز اطراف

افزایش در دو سناریوی تغییر اقلیم متفاوت است به‌طوری که در سناریوی A2 (سناریوی بدبینانه) روند کلی تغییر رواناب هنوز کاهش است ولی در سناریوی B1 (سناریوی خوش‌بینانه) روند کلی تغییر رواناب به‌صورت افزایش است. در حالت افزایش ۴۵ درصدی کاربری شهری نیز همانند حالت افزایش ۲۰ درصد شهری، تغییرات رواناب در سناریوی A2 به‌صورت کاهش و در سناریوی B1 به‌صورت افزایش است، یعنی در سناریوی A2 با وجود افزایش ۴۵ درصد شهری، تأثیر کاهش بارش بیشتر از این افزایش است و در نتیجه در این سناریو تغییرات رواناب به‌صورت کاهش است.

ابراهیمیان و قادری (۱) با استفاده از مدل HEC-HMS فرایند بارش-رواناب حوضه آبریز سد مهاباد را شبیه‌سازی کردند، بررسی نتایج شبیه‌سازی حکایت از انطباق بهتر روش شماره منحنی SCS نسبت به روش نرخ ثابت و مقدار اولیه برای محاسبه میزان تلفات دارد. که در مطالعه حاضر نیز از روش شماره منحنی SCS برای محاسبه میزان تلفات استفاده شد.

مؤذنی و همکاران (۱۱) به برآورد میزان رواناب در حوضه‌های بدون آمار با استفاده از مدل HEC-HMS برای حوضه آبخیز رودخانه سپیدار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند، نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند در حوضه‌های فاقد آمار جهت محاسبه دبی مورد استفاده قرار گیرد.

گارسیا و همکاران (۵) با استفاده از مدل HEC-HMS به ارزیابی منابع آب سطحی در حوضه‌های با تعداد ایستگاه کم در

کاهش بارش نادیده گرفته شد و رواناب در آینده، روند افزایشی پیدا کرد.

علاوه بر کاربری اراضی، نوع اقلیم منطقه نیز بر میزان رواناب تأثیرگذار است در نتیجه تغییر اقلیم برای یک دوره سی ساله در آینده مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از کاهش مقدار و افزایش شدت بارش و افزایش درجه حرارت در آینده بود.

جاده‌ها و بزرگراه‌ها علاوه بر نقش تفریحی و زیبایی، از نظر حفاظت جاده‌ها در مقابل طوفان‌های ماسه‌ای نیز ارزش فوق‌العاده‌ای خواهد داشت. عامل کاربری اراضی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر رواناب است بدین صورت که درحالت افزایش ۴۵ درصدی شهری و سناریوی B1 برای نرم‌افزار HEC-HMS تأثیر کاربری اراضی به قدری زیاد بود که اثر

### منابع مورد استفاده

1. Ebrahimiyan, S. and S. J. Ghaderi. 2014. Evaluation and Calibration of the HEC-HMS/WMS model in Mahabad dam's basin. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 4(16): 70-80 (In Farsi).
2. Eslamian, S., K. L. Gilroy and R. H. Mccuen. 2011. Climate Change Detection and Modeling in Hydrology. PP. 87-100. In: Blanco, D. J. (Ed.), Climate change-research and technology for adaptation and mitigation. INTECH Press, Rijeka, Croatia.
3. Fowler H.J., C. G. Kilsby and J. Stunell. 2007. Modeling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. *Hydrological Earth System Science* 11(3): 1115-1126.
4. Gandomi, M. A. and B. Sheheni Darabi. 2017. Flood forecasting using HEC-HMS (Case study: Maroon catchment-eidenak hydroclammology station). *Journal of Water Engineering* 5(1): 82-90 (In Farsi).
5. Garcia, A., A. Sainz, J. Revilla and C. Alvarez. 2008. Surface water resources assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain. *Journal of Hydrology* 356(3-4): 312-326.
6. Goodarzi, A. and M. T. Dastoorani. 2010. Investigating the effectiveness of the IHACRES rainfall-runoff model in predicting urban floods (Case Study: Herat-Yazd Azam River watershed). In: The first National Conference on Urban Flood Management, Tehran, Iran (In Farsi).
7. Gosain, A., S. Rao and D. Basuray. 2006. Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. *Current Science* 90(3): 346-353.
8. Hejazizadeh, Z., E. Fatahi, A. Massah Bavani and M. H. Nasserzadeh, Evaluating the effects of climate change on flood hydrograph in future periods. *Journal of Geography* 10(34): 6-24 (In Farsi).
9. Jabbari Malayeri, M. and J. Abedi Koupai. 2016. Estimation of urban runoff for use in urban green spaces using HEC-HMS and Civil Storm V8i software (Case study: District 6 of Isfahan city). In: The Third International Conference on Modern Research in Agricultural Science and Environment, Singapore (In Farsi).
10. Kabiri, R., V. Ramani Bai and C. Andy. 2014. Assessment of hydrologic impacts of climate change on the runoff trend in Klang watershed, Malaysia. *Environmental Earth Sciences* 73(1): 27-37.
11. Muezzin, M., S. Nazari and S. Hosseini. 2013. Estimating the amount of runoff in basins without statistics using the HEC-HMS model (Case study: Sepidar watershed). In: National Flood Management Conference, Tehran, Iran (In Farsi).
12. Riahi Samani, M., S. Bagheri and A. Kabiri Samani. 2014. Investigating the urban runoff management system (case study of Khomeinishahr city). In: The first National Architecture Conference, Civil engineering and Urban environment, Hamedan (In Farsi).
13. Sanikhani, H., Y. Dinpajoh, S. Pour yusef, S. Z. Ghavidel, B. Solati. 2014. The Impacts of Climate Change on Runoff in Watersheds (Case Study: Ajichay Watershed in East Azerbaijan Province, Iran). *Journal of Water and Soil* 27(6): 1225-1234 (In Farsi).
14. Seiller, G. R. Roy and F. Ancil. 2017. Influence of three common calibration metrics on the diagnosis of climate change impacts on water resources. *Journal of Hydrology* 547: 280-295.
15. Souvingnet, M., H. Gaese, L. Ribbe, N. Kretschmer and R. Oyarzun. 2008. Climate change impacts on water availability in the Arid Elqui Valley, North Central Chile: a preliminary assessment. In: IWRA World Water Congress, Montpellier, France.
16. Zarghami, M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hasanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts of climate change on runoffs in east Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change* 78(3-4): 137-146.
17. Zolfaghari, H. 2012. A look at ways to collect rainwater for home use. In: Second National Conference on Iranian Water Resources Research, Regional Water Company of Zanjan (In Farsi).

## Climate Change Assessment Using Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) and Its Effect on Runoff Using HEC-HMS model

J. Abedi Koupai\* and A. R. Vahabi<sup>1</sup>

(Received: January 3-2019 ; Accepted: April 17-2019)

### Abstract

Awareness of water resources status is essential for the proper management of resources and planning for the future due to the occurrence of climate change in most parts of the world and its impact on different parts of the water cycle. Hence, many studies have been carried out in different regions to analyze the effects of climate change on the hydrological process in the coming periods. The present study examined the effects of climate change on surface runoff using the Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) in Khomeini Shahr City. The maximum and minimum temperatures and precipitation of the upcoming period (2020-2049) were simulated using a weighted average of three models for each of the minimum and maximum temperatures and precipitation parameters based on the scenario A2 and B1 (pessimistic and optimistic states, respectively) of the AOGCM-AR4 models. The LARS-WG model was also used to measure the downscaling. The HEC-HMS was used to predict runoff. The effects of climate change in the coming period (2020-2049) compared with the observation period (1971-2000), in the A2 scenario, the minimum and maximum temperatures would increase by 1.1 and 1.6 Degrees Celsius, respectively, and the precipitation would decrease 17.8 percent. In the B1 scenario, the minimum and maximum temperatures would increase by 1.1 and 1.4 degrees Celsius, respectively, and the precipitation would decrease by 13 percent. The results of runoff were different in the six scenarios in the way the most runoff reduction is related to the scenario of fixed land use and scenario A2 (22.2% reduction), and the most increase is related to the scenario of 45% urban growth and scenario B1 (5.8% increase). So, according to increase urban texture in the future and consequently enhance the volume of runoff, this volume of runoff can be used to feed groundwater, irrigate gardens, and green space in the city.

**Keywords:** General atmospheric circulation model, Simulation, Surface runoff, LARS-WG

---

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: koupai@cc.iut.ac.ir