نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال شانزدهم، شماره ۴۲، پاییز ۹۵

# بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی جریان سطحی رودخانه حوضه آبخیز ارازکوسه

دریافت مقاله: ۹۴/۱/۱۹ پذیرش نهایی: ۹۵/۴/۲۵
صفحات:۱۳۲-۱۰۹

**معصومه بحری:** دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران[۱]
Email:bahri.masoumeh@yahoo.com
**احسان زاهدی:** دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران
Email:eh_zahedi@yahoo.com

**چکیده**

**در این پژوهش به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبخیز ارازکوسه پرداخته شده، برای این منظور پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل LARS-WG، خروجی HadCM3 تحت سناریوی A2 در ایستگاه‌های ارازکوسه، رامیان و مینودشت برای عناصر اقلیمی بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ریزمقیاس گردید. پارامترهای اقلیمی پیش‌بینی شده دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ به مدل SWAT که در دوره گذشته واسنجی و اعتبارسنجی شده، وارد و رژیم جریان سطحی دهه‌های مذکور پیش‌بینی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۰/۸، ۲/۱ و ۴/۹ درجه سانتی‌گرادی در متوسط دمای سالانه در دوره‌های نامبرده بود. همچنین بارش در سال‌های ابتدایی و میانی قرن با افزایش ۸/۸ و ۱۱/۲ درصدی و در سال‌های انتهایی قرن با کاهش ۸/۷ درصدی رو به‌رو خواهد بود. اوج بارش از ماه مارس به دسامبر و به سمت فصول سرد جابه‌جا خواهد شد. به دنبال تغییرات اقلیمی، دبی رودخانه جاری در منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک و متوسط، ۱۳ و ۵ درصد افزایش و در آینده دور، ۱۸ درصد کاهش خواهد یافت. میزان آبدهی دهه‌های آتی رودخانه درفصل تابستان افزایش و در بهار با کاهش رو به رو خواهد بود. همچنین نتایج پیش‌بینی شده در این خصوص بیانگر جابه‌جایی دبی اوج سالانه از ماه مارس به آوریل در منطقه مورد پژوهش بود.**

**کلیدواژگان**: ارازکوسه، ریزمقیاس نمایی، HadCM3، LARS-WG، SWAT

---

[۱]. **نویسنده مسئول**: یزد، صفائیه، بلوار دانشگاه، دانشگاه یزد، دانشکده متابع طبیعی و کویر شناسی

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

**مقدمه**

اقلیم کره زمین از زمان پیدایش جو بر روی این سیاره تغییر کرده، اما سرعت آن هیچگاه به اندازه عصر حاضر نبوده است. از نظر پژوهشگران، این مقدار شدت در تغییرات اقلیمی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است که غالباً منشأ انسانی دارند. غلظت این گازها، رابطه مستقیمی با افزایش دمای جهانی هوا داشت. طبق نظر هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در قرن بیستم، دمای کره زمین ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰، این مقدار بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد(هیئت بین الدول تغییراقلیم[1]، ۲۰۰۷). تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱، احتمالاً سریع‌تر از گذشته رخ خواهد داد و موجب گرمای بیشتر کره زمین نسبت به قبل خواهد شد؛ اما نکته مهم، وجود بیش از شش میلیارد جمعیت ساکن بر روی کره زمین است که در معرض قرارگرفتن آن‌ها در مقابل این افزایش گرما بیش از گذشته می‌باشد. این مسأله، توجه به پدیده تغییر اقلیم را بیش از پیش نمایان می‌کند. به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی این پدیده، شناسایی شرایط کنونی و پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده مهم است. در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم و پیش‌بینی آن، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوسی است (هیئت بین الدول تغییراقلیم، ۱۹۹۵). این مدل‌ها، پارامترهای جوی و اقیانوسی را با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC مدل‌سازی می‌نمایند. ضعف مدل‌های مذکور، قدرت مکانی کم آن‌ها و عدم توانایی در مدل‌سازی عناصر هواشناسی در مقیاس نقطه-ای ایستگاه‌های هواشناسی است (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۴). جهت رفع این نقیصه، خروجی مدل‌ها قبل از استفاده ریزمقیاس می‌شوند. مولدهای وضع هوا، از مهم‌ترین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی هستند. این مدل‌ها، سری‌های زمانی پارامترهای اقلیمی نظیر بارندگی، دما و تابش خورشیدی را تولید و شبیه‌سازی می‌کنند.

آب در تمام اجزای سامانه اقلیم، حضور تعیین‌کننده داشت. لذا تغییرات اقلیمی، اثرات بارزی بر چرخه آب و خصوصیات هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز دارد؛ به گونه‌ای که می‌تواند به عنوان تهدیدی بزرگ بر منابع آب در سراسر جهان قلمداد شود. سامانه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز، سیستمی پیچیده است، بدین علت جهت شناخت یا کنترل برخی از جنبه‌های رفتاری آن‌ها، ساده‌سازی و خلاصه کردن امری ضروری است. مدل‌های هیدرولوژیکی با هدف شبیه-سازی سیستم هیدرولوژیکی و بررسی اثر هرگونه تغییر در عملکرد آن‌ها توسعه یافته‌اند.

[1] .Intergovernmental Panel On Climate Change:IPCC

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

محققین به وفور از این مدل‌ها جهت مطالعه پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌های آبخیز بهره گرفته‌اند. ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹)، جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه آبریز قره‌سو، برونداد مدل اقلیمی HadCM3 تحت سناریوی A2 را ریزمقیاس و سپس به مدل SWAT معرفی نمودند. بدین ترتیب تغییر رواناب در دوره آتی را مورد ارزیابی قرار دادند. محققین بیان نمودند که دمای منطقه بین یک تا چهار درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه گرم‌تر خواهد شد و بارش، تغییری بین ۳۰-٪ تا ۳۰٪ خواهد داشت. تغییر رواناب منطقه نیز بین ۹۰ تا ۱۲۰ درصد در ماه‌های مختلف است. عباسپور و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهش خود از مدل CGCM3 جهت پیش‌بینی اقلیم آتی و از مدل هیدرولوژیکی SWAT جهت مطالعه اثر آن بر منابع آب ایران استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که در آینده مناطق مرطوب کشور، بارش بیش‌تر و مناطق خشک، بارش کم‌تری را دریافت خواهند نمود. در این پژوهش، تجزیه و تحلیل شدت بارش روزانه، شدت سیل بیش‌تر در مناطق مرطوب و خشکسالی طولانی‌مدت در مناطق خشک را نشان داد. گوسن[1] و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از مدل SWAT، تأثیرات تغییر اقلیم بر روی ۱۲ رودخانه اصلی هند را برای دوره زمانی ۲۰۶۰-۲۰۴۱ مورد بررسی قرار دادند که نتایج، نشان‌دهنده کاهش جریان رواناب سطحی در تمام حوضه‌ها بوده است. نارسیملو[2] و همکارن (۲۰۱۳) با استفاده از مدل اقلیمی PRECIS و مدل هیدرولوژیکی SWAT، افزایش ۱۶/۴ درصدی رواناب را برای اواسط قرن و افزایش ۹۳/۵ درصدی آن را برای اواخر قرن پیش‌رو در حوضه آبخیزرودخانه سند هندوستان پیش‌بینی نموده‌اند. لو[3] و همکاران (۲۰۱۳) طی مطالعه‌ای با استفاده از مدل SWAT به بررسی اثرات تغییر اقلیم قرن ۲۱ در جبال ساحلی شمال و غرب کالیفرنیا پرداختند. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، حاکی از افزایش باران و جریان رودخانه‌ها در طول ماه‌های زمستان و کاهش آنها طی تابستان بوده است. مولینا[4] و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب با استفاده از مدل SWAT در منطقه مدیترانه‌غربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تمام مؤلفه‌های رژیم آبی کاهش یافته و افزایش تنش آبی و دما به علت تغییر اقلیم، باعث کاهش تولید محصول شده است.

از آن‌جایی که کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده و با بحران آب مواجه

[1]. Gosian
[2] .Narsimlu
[3] . Lou
[4] .Molina

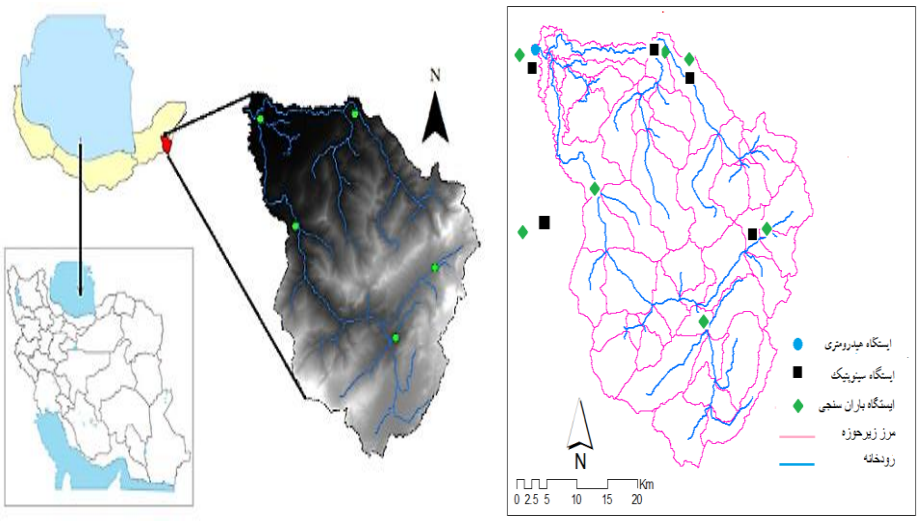
[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

است، بررسی تغییر اقلیم و اثرات آن بر سیستم هیدرولوژیک، می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست-های آینده جهت مدیریت همه‌جانبه و بهینه‌سازی حوضه‌های آبخیز باشد. لذا هدف از تحقیق حاضر، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی و اثرات آن بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز ارازکوسه است.

## مواد و روش کار

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز ارازکوسه در محدوده مختصات جغرافیایی "۲۵ '۱۰ °۵۵ تا "۰۱ '۲۷ °۵۵ طول شرقی و "۲۰ '۰۲ °۳۷ تا "۳۶ '۱۳ °۳۷ عرض شمالی و در جنوب استان گلستان واقع شده است. مساحت حوضه مذکور ۳۹۰۹/۶۵ کیلومتر مربع، حداقل ارتفاع از سطح دریا معادل ۲۲ متر (در مناطق شمالی و در محدوده شهر گنبد) و حداکثر ارتفاع آن، ۲۸۷۵ متر (در مناطق جنوبی) است. این منطقه از لحاظ تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان گنبد قرار دارد. شکل ۱ (الف) موقعیت منطقه مطالعاتی را در سطح کشور و استان گلستان به نمایش گذاشته است.



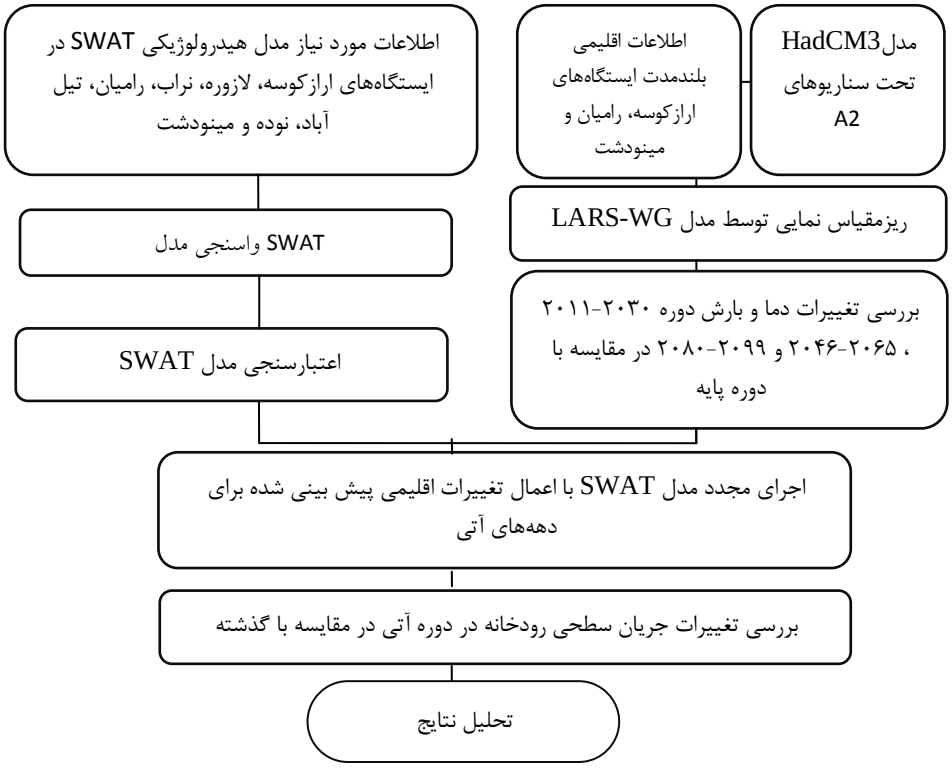

(الف) (ب)

**شکل (۱). الف) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز ارازکوسه ب) موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده**

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

**روش پژوهش**

در این پژوهش به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز ارازکوسه پس از واسنجی مدل هیدرولوژیکی ارزیابی آب و خاک (SWAT)[1] و مدل اقلیمی LARS-WG[2] با شرایط منطقه مطالعاتی، کارایی آن‌ها در بازتولید داده‌های گذشته و شبیه‌سازی حوضه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس برونداد مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 در سه ایستگاه ارازکوسه، رامیان و مینودشت ریزمقیاس گردید. بارش، دمای حداقل و حداکثر دهه‌های آتی شامل سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ با دوره گذشته مقایسه شده و تغییرات این پارامترها جهت پیش‌بینی وضعیت منابع آب منطقه مطالعاتی، وارد مدل واسنجی و اعتبارسنجی شده SWAT شد. مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.




**شکل (۲). نمودار جریانی مراحل پژوهش**

[1] .Soil and Water Assessment Tool
[2] .Long Ashton Research Station-Weather Generator

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

**سناریو و مدل اقلیمی**

قدرت تفکیک مدل HadCM3 در جو، شبکه‌ای با ابعاد ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و در بخش اقیانوس ۱/۲۵ درجه عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی است (هیئت بین الدول تغییراقلیم، ۲۰۰۷). این مدل، رفتار نرمال و مناسبی برای برآورد تغییر اقلیم ارائه می‌دهد و از حالت افراط و تفریط به دور است (جکسون[1] و سن[2]، ۲۰۰۹: ۴۳) .مساح بوانی (۱۳۸۵)، کمال (۱۳۸۸) و مدرسی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعات خود با مقایسه مدل‌های مختلف GCM بیان داشته‌اند، مدل HadCM3 نسبت به سایر مدل‌ها از کارایی و عملکرد بهتری در شبیه سازی اقلیم ایران برخوردار است. سناریوی A2 به عنوان یک سناریوی حالت متوسط که نشان‌دهنده رشد سریع جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن است، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است.

**مدل ریزمقیاس نمایی**

مدل LARS-WG، یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است و برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای کمینه و بیشینه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود. . مدل مذکور جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط مختلف آب و هوایی ایران توانایی مناسبی دارد بذرافشان و همکاران (۱۳۸۸)، مشکوتی و همکاران (۱۳۸۹)، خلیلی اقدم و همکاران (۱۳۹۱).LARS-WG برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارندگی و تابش خورشیدی، از توزیع‌های نیمه‌تجربی به شکل کلی زیر استفاده می‌کند:

$$EPM = \{a_0, a_i; h_i, i = 1,...,10\}$$ رابطه (۱)

که هیستوگرامی شامل ۱۰ طبقه است و هر یک از طبقات در فاصله $\left(a_{i-1}, a_i\right]$ تعریف می‌شود، به طوری که $a_{i-1} \langle a_i$ و $h_i$ فراوانی پدیده‌های مشاهده شده در طبقه i ام است. برای تولید مقادیر متغیرهای تصادفی وضع هوا با استفاده از یک توزیع نیمه تجربی، ابتدا یکی از طبقات ده گانه به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. سپس با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع یکنواخت در طبقه مورد نظر، یک مقدار در آن فاصله برای متغیر انتخاب می‌شود. فرآیند تولید داده‌های مصنوعی توسط این مدل در سه مرحله کالیبره کردن، ارزیابی و تولید داده‌های مصنوعی صورت می‌گیرد.

[1]. Jakson
[2] .Sen

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

**روش مدل‌سازی اقلیمی**

جهت بررسی تغییرات اقلیمی دهه‌های آتی در منطقه مطالعاتی سه ایستگاه ارازکوسه، مینودشت و رامیان به علت دارا بودن طول دوره آماری لازم جهت ساخت مدل اقلیمی انتخاب شدند. ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۴۵ ساله (۲۰۱۲-۱۹۶۷) برای ایستگاه ارازکوسه و دوره ۲۹ ساله (۲۰۱۲-۱۹۸۴) برای ایستگاه‌های مینودشت و رامیان به عنوان دوره پایه (مشاهداتی)، پارامترهای اقلیمی مورد نیاز جهت اجرای مدل جمع‌آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل LARS-WG به طور جداگانه برای هر سه ایستگاه در دوره پایه اجرا شده و بدین ترتیب مرحله واسنجی مدل انجام گرفت. به منظور اطمینان از کارایی مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه تدوین و مدل در دوره پایه اجرا گردید. سپس خروجی‌های مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش و همچنین انحراف معیار آن‌ها با داده‌های مشاهداتی ایستگاه مورد مطالعه مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE، MAE، Bias، NSE و همچنین از طریق آزمون‌های آماری K-S جهت مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون T.test جهت مقایسه مقادیر میانگین‌ها و آزمون F.test جهت مقایسه انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی و مقایسه مقدار احتمالاتی P-value صورت گرفت. پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی هر سه ایستگاه مطالعاتی، این مدل جهت ریزمقیاس نمایی برون‌دادهای مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و تولید داده مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (آینده نزدیک)، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ (آینده متوسط) و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ (آینده دور) اجرا شد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه برای هر سه ایستگاه به طور جداگانه، پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده پیش‌بینی گردید.

با توجه به هدف مطالعه جهت بررسی اثر تغییراقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه آبخیز ارازکوسه، پس از تولید مقادیر روزانه پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی، این مقادیر به مدل SWAT که در مرحله قبل واسنجی و اعتبارسنجی شده بود، وارد شده و وضعیت آبدهی منطقه مطالعاتی در دهه‌های آتی پیش‌بینی شد. با مقایسه مقادیر دبی در دوره پایه و آینده، تغییرات هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه قرار گرفت.

**مدل هیدرولوژی**

مدل SWAT برای شبیه‌سازی حرکت آب، رسوب و آلاینده‌های شیمیایی-کشاورزی در سطح

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

حوضه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی طراحی شده است (نیتش[1] و همکاران، ۲۰۱۱) .ناهمگنی‌های مکانی در منطقه مورد مطالعه با تقسیم حوضه آبخیز به زیرحوضه‌ها بررسی می‌شود. زیرحوضه‌ها به تعدادی واحدهای کوچک‌تر (واحدهای واکنش هیدرولوژیک[2]) تقسیم می‌شوند. این واحدها، دارای ترکیبات یکسانی از خاک، پستی و بلندی و کاربری اراضی هستند. بخش‌های اصلی مدل، شامل هیدرولوژی، اقلیم، رشد گیاه، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان است. اجزاء بیلان آب و مدیریت در سطح واحدهای واکنش هیدرولوژیک محاسبه و سپس برای زیرحوضه ها، میانگین‌گیری وزنی می‌شود. مدل SWAT برای داده‌های اقلیمی از نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل زیرحوضه استفاده می‌کند. روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگام قابل محاسبه است. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود (آرنولد[3]، ۱۹۹۸: ۷۵). معادله بیلان آب که در مدل استفاده می‌شود به صورت رابطه شماره (۲) است (نیتش و همکاران، ۲۰۱۱):

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$ رابطه (۲)

که در آن $SW_t$ محتوای آب نهایی در خاک، t زمان (روز)، $SW_0$ مقدار آب اولیه موجود در خاک (mm)، $R_{day}$ مقدار بارش در هر روز (mm)، $Q_{surf}$ مقدار رواناب سطحی در هر روز (mm)، $E_a$ مقدار تبخیر و تعرق روزانه، $W_{seep}$ مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری (mm) و $Q_{gw}$ مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی است (mm) است.

**روش مدل سازی هیدرولوژیکی**

در پژوهش حاضر، از اطلاعات بارش، دمای حداقل و حداکثر روزانه شش ایستگاه ارازکوسه، لازوره، نراب، رامیان، تیل‌آباد و نوده طی دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ جهت واسنجی مدل SWAT استفاده شده است. جدول ۱ و شکل ا (ب) مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های مذکور در حوضه آبخیز ارازکوسه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که از ایستگاه هواشناسی گنبد به عنوان ایستگاه مرجع استفاده شده و ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه واقع در خروجی حوضه به عنوان ایستگاه مبنا جهت مشاهده تغییرات رواناب منطقه مطالعاتی انتخاب گردید.

1. Neitsch
2. HRU
3. Arnold

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

سایر اطلاعات هواشناسی مورد نیاز شامل تابش، سرعت باد، رطوبت نسبی توسط مدل شبیه-سازی شده است.

**جدول(۱). مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده شده در این مطالعه**

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | طول جغرافیایی(UTM) | عرض جغرافیایی(UTM) | ارتفاع (متر) |
|---|---|---|---|---|
| ارازکوسه | باران‌سنجی، دماسنجی | ۱۰۰۷۲۴ | ۱۴۶۸۲۵۸ | ۱۰۰ |
| لازوره | باران‌سنجی، دماسنجی | ۱۲۴۴۲۶ | ۱۴۶۸۵۴۳ | ۱۹۰ |
| نراب | باران‌سنجی، دماسنجی | ۱۴۱۰۵۱ | ۱۴۴۶۵۵۴ | ۱۵۰۰ |
| مینودشت | باران سنجی، دماسنجی | ۱۴۱۰۵۱ | ۱۴۴۶۵۵۴ | ۱۵۰۰ |
| رامیان | باران‌سنجی، دماسنجی | ۱۰۰۹۶۳ | ۱۴۴۶۰۳۶ | ۲۰۰ |
| تیل‌آباد | باران‌سنجی | ۱۳۰۸۱۹ | ۱۴۳۵۲۹۵ | ۱۰۰۰ |
| نوده | باران‌سنجی | ۱۱۲۷۸۰ | ۱۴۵۱۷۲۶ | ۲۸۰ |

در این تحقیق از روش SUFI 2 جهت واسنجی مدل SWAT استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی SUFI 2 به این صورت است که در گام نخست، تابع هدف تعریف شده و در گام بعد، محدوده‌های مجاز یا دامنه اولیه برای هر پارامتر تعیین می‌شود. در تعیین حدود اولیه بهتر است که تا حد امکان بزرگ و در عین حال معنی‌دار باشند. سپس با در نظر گرفتن حدود اولیه عدم قطعیت پارامترها، نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب به تعداد زیاد انجام می‌شود. در هر بار نمونه‌گیری از حدود پارامترها، مقادیر انتخاب شده به مدل معرفی و اجرا می‌شود و متعاقباً، مقدار تابع هدف محاسبه می‌گردد. بعد از هر بار نمونه‌گیری، اجرای مدل و محاسبه مقدار تابع هدف، دامنه هر پارامتر کاهش می‌یابد، تا زمانی که دو شرط برآورده شوند : الف) اکثر داده‌های مشاهده‌ای در محدوده‌ی PPU ۹۵ (پیش‌بینی عدم قطعیت ۹۵ درصد) واقع شوند و ب) متوسط حد بالا و پایین باند عدم قطعیت PPU ۹۵ کوچک شود. نتایج آنالیز عدم قطعیت در این تحقیق، نشان‌دهنده این است که ۷۵ درصد داده‌های دبی مشاهداتی در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ واقع شده‌اند (فرامرزی،۲۰۰۹:۴۸۸). با استفاده از نرم‌افزار SWAT_CUP سیزده پارامتر (پارامترهای حاصل از آنالیز حساسیت مدل SWAT) در تولید رواناب حوضه آبخیز ارازکوسه مؤثر شناخته شد که این پارامترها به همراه محدوده مجاز تغییرات آن‌ها در مدل وارد شد. در مراحل مختلف اقدام به نزدیک کردن مقادیر پارامترها به مقادیر واقعی آنها در حوضه شده و در نهایت مقادیر بهینه این پارامترها جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه مورد مطالعه تعیین شد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب $R^2$، $bR^2$ و NS بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی صورت گرفت. پس از اطمینان از توانایی مدل در شبیه‌سازی سیستم

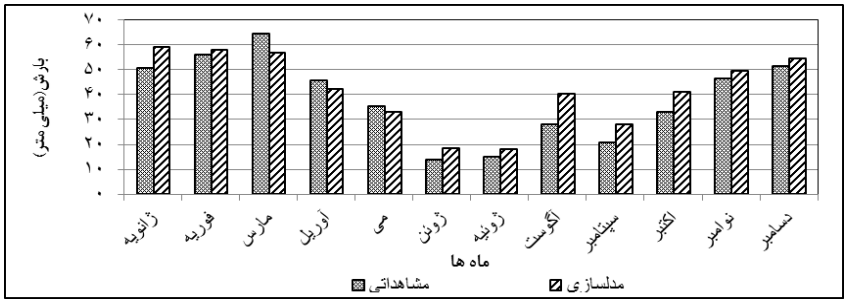
[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی، از آن به‌منظور پیش‌بینی رواناب دهه‌های آتی استفاده شد.

## نتایج

### ارزیابی مدل LARS-WG

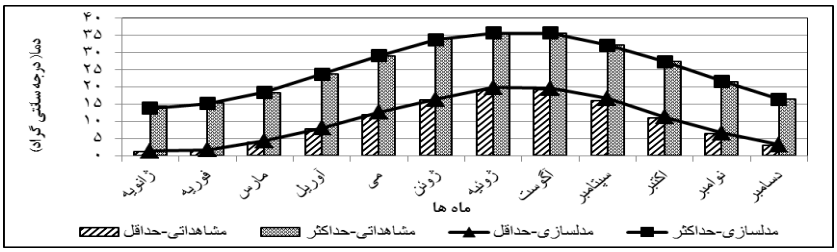
در تحلیل فراوانی وقوع بارش روزانه سه ایستگاه رامیان، ارازکوسه و مینودشت با استفاده از آزمون K-S، اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۲-۱۹۶۷) و داده‌های تولید شده توسط مدل در تمامی ماه‌ها، به جز ماه ژوئن وجود نداشته و مقادیر همبستگی در سطح اعتماد ۰/۵٪ در هر سه ایستگاه قابل قبول است، بنابراین عدم اطمینان به فراوانی بارش فقط در ماه مذکور وجود دارد. در بررسی بارش متوسط ماهانه با استفاده از آزمون T.test، تنها عدم اطمینان به مدل‌سازی بارش ماه ژوئیه وجود دارد. با توجه به قرارگیری ماه‌های ژوئن و ژوئیه در فصل تابستان و کمبود بارش در این فصل می‌توان از این خطا چشم‌پوشی نمود. ارزیابی مدل از احتمال فراوانی وقوع متغیرهای دمای حداقل و حداکثر روزانه با استفاده از آزمون K-S عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل را در همه ماه-های سال و قابل قبول بودن مقادیر همبستگی در سطح اعتماد ۰/۵٪ را در هر سه ایستگاه نشان می‌دهد. ارزیابی مدل از بررسی داده‌های متوسط دمای حداقل و حداکثر ماهانه با استفاده از آزمون T.test، وجود اطمینان بالا به مدل‌سازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد.




**شکل (۳). مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی بارش ارازکوسه**

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]




**شکل (۴). مقادیر مشاهداتی و مدل سازی دمای حداقل و حداکثر ارازکوسه**

شکل ۳، مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده بارش را نشان می‌دهد و شکل ۴، این مقایسه را برای مقادیر دمای حداقل و دمای حداکثر به نمایش می‌گذارد. چنانچه ملاحظه می‌شود، دمای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برازش بسیار مناسبی با یکدیگر داشته و بارش شبیه‌سازی شده در ماه‌های ژوئن و آگوست، بیشترین درصد اختلاف را با مقادیر مشاهده‌ای دارند. جهت اطمینان به کارایی مدل LARS-WG، آماره‌های خطاسنجی در هر سه ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته و در جدول شماره (۲)، نتایج آن صرفا برای ایستگاه ارازکوسه (به علت تشابه اعداد در هر سه ایستگاه) آورده شده است.

**جدول (۲). آماره‌های خطاسنجی متغیرهای هواشناسی مشاهداتی و مدل‌سازی در دوره مشاهداتی**

| میانگین بارش ماهانه | | | | میانگین دمای حداکثر ماهانه | | | | میانگین دمای حداقل ماهانه | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RMSE | MAE | NSE | Bias | RMSE | MAE | NSE | Bias | RMSE | MAE | NSE | Bias |
| ۳/۱۴ | ۱/۱۵ | ۰/۸۲ | ۳/۱۵ | ۰/۲۴ | ۰/۱۲ | ۱ | -۰/۱۲ | ۰/۴ | ۰/۳۱ | ۱ | ۰/۳۱ |

با توجه به این‌که مقدار آماره NSE برای پارامتر اقلیمی دمای حداقل و حداکثر، عدد یک و برای پارامتر بارش نزدیک به عدد یک است و همچنین کوچک بودن خطای RMSE و BIAS، می‌توان بیان داشت که مدل LARS-WG دارای دقت مدل‌سازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای کمینه و بیشینه، کم‌تر از مقدار آن برای بارش متوسط است. این مسأله بیانگر قدرت بالای LARS-WG در مدل کردن داده‌های دیدبانی شده دما نسبت به بارش است که این امر به علت ماهیت پارامتر دما است که عنصری پیوسته است. با بررسی شکل‌های ۵ و ۶، نمودارهای دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و مدل‌سازی شده، مطابقت بیشتری با هم داشته که مؤید مطالب بیان شده است. چنین به نظر می‌رسد که تغییرپذیری زیاد بارش در افزایش خطای مدل‌سازی این پارامتر تأثیرگذار است. لذا می‌توان بیان داشت که هرچه پارامتر حالت پیوستگی داشته باشد، میزان خطای مدل‌سازی کاهش می‌یابد.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

**ارزیابی مدل SWAT**

سیزده پارامتر مؤثر در آبدهی حوضه آبخیز ارازکوسه و محدوده مجاز آن‌ها که در شبیه‌سازی رواناب ماهانه منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت، در جدول ۲ آورده شده است. جدول ۳، مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. براساس نتایج، مقادیر ضرایب $R^2$، $bR^2$ و NS برای مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۸۱ و ۰/۷۳ و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۸۱، ۰/۷۸ و ۰/۶۴ برآورد شدند. مقایسه این شاخص‌ها در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی موفق‌تر عمل کرده است. نتایج به‌دست آمده قابل قبول و کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز رودخانه ارازکوسه رضایت‌بخش است.

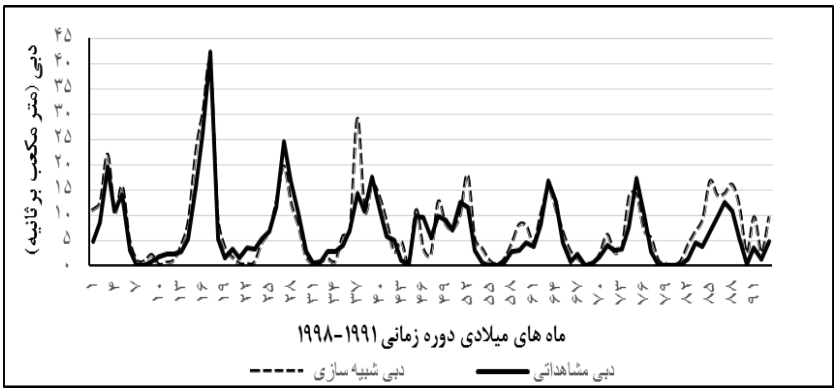
به منظور ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی پایه و دبی اوج و همچنین بررسی انطباق زمانی آن‌ها با داده‌های واقعی، نمودارهای مربوط به مقادیر دبی ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، در طی دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی رسم گردید که در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

**جدول (۳). پارامترهای مؤثر در دبی رواناب و مقادیر بهینه، t-stat و p-value آن‌ها**

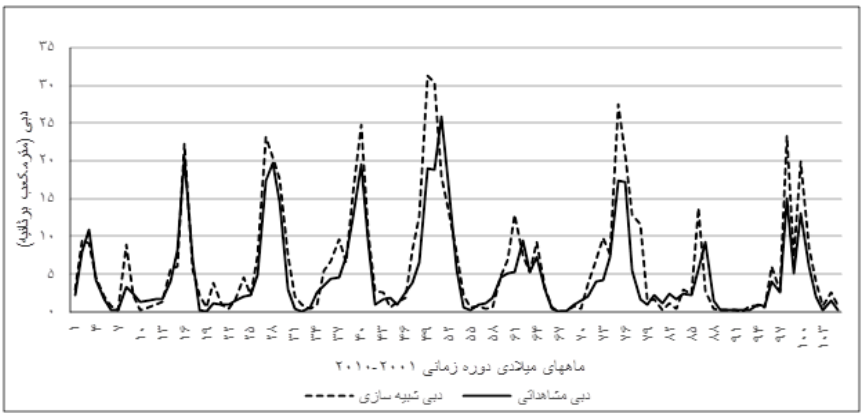
| توضیح و واحد | مقدار بهینه | حداقل | حداکثر | t-Stat | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| شماره منحنی در شرایط رطوبتی ۲ | ۰/۰۶۱ | -۰/۰۴ | ۰/۱ | ۰/۴۸ | ۰/۶۲ |
| ضریب α آب پایه | ۰/۲۷۶ | ۰/۱۶۸ | ۰/۴۲ | ۰/۷۸ | ۰/۴۳ |
| زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل خاک به سطح آب زیر زمینی (روز) | -۸۱/۶ | -۲۱۱ | -۱۲/۸ | ۱/۱۷ | ۰/۲۳ |
| حداقل مقدار ذخیره آب لازم در سفره برای رویداد جریان پایه (mm H2o) | ۰/۱۹ | -۰/۰۸ | ۱/۰۸ | ۰/۴۳ | ۰/۶۶ |
| ضریب تعیین نفوذ به سفره آب عمیق یا صعود موئینگی از سفره کم عمق. | ۰/۰۶۹ | ۰/۰۵۳ | ۰/۱ | ۱/۵۲ | ۰/۱۲ |
| ضریب تبخیر خاک | ۱/۰۷۷ | ۱/۰۰۳ | ۱/۰۹ | -۰/۲۸ | ۰/۷۷ |
| هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr) | ۰/۳۴۵ | ۰/۲۰۹ | ۰/۳۵ | ۰/۴۸ | ۰/۶۲ |
| هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr) | ۱۷/۶۴۶ | -۵/۰۹ | ۳۷/۹ | -۷/۰۴ | ۰ |
| ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال | ۰/۱۴۳ | ۰ | ۰/۳ | ۱۷/۵ | ۰ |
| ظرفیت آب قابل دسترس خاک mm H20/mm Soil | ۰/۵۷۱ | ۰/۳۸ | ۰/۶۱ | ۰/۲۹ | ۰/۷۷ |
| هدایت هیدرو لیکی خاک (mm/hr) | -۰/۴۴۲ | -۰/۴۸ | ۰/۰۷ | -۰/۴۶ | ۰/۶۴ |
| چگالی خاک در حالت مرطوب ($mg/m^3$) | -۰/۱۳۸ | -۰/۳۷ | ۰/۲ | -۰/۴۷ | ۰/۶۳ |
| متوسط دمای هوا برای بارش برف (درجه سلسیوس) | ۱/۸۹۱ | ۱/۱۵۲ | ۴/۳ | -۱/۱۳ | ۰/۲۵ |

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]




**شکل (۵). مقادیر ماهانه رواناب مشاهداتی و شبیه سازی پس از واسنجی مدل SWAT**




**شکل (۶). مقادیر ماهانه رواناب مشاهداتی و شبیه سازی دوره اعتبارسنجی مدل SWAT**

**تغییرات اقلیم و رژیم هیدرولوژیکی دهه‌های آتی**

تغییرات پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی شامل آینده نزدیک (دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱)، آینده متوسط (دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶) و آینده دور (دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰) در سه ایستگاه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج برای دو ایستگاه مینودشت و رامیان به طور خلاصه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج مربوط به ایستگاه ارازکوسه در شکل‌های ۷ تا ۹ همراه با شرح کامل ارائه شده است.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

**جدول (۴). تغییرات پارامترهای اقلیمی دهه‌های آتی ایستگاه‌های مینودشت و رامیان**

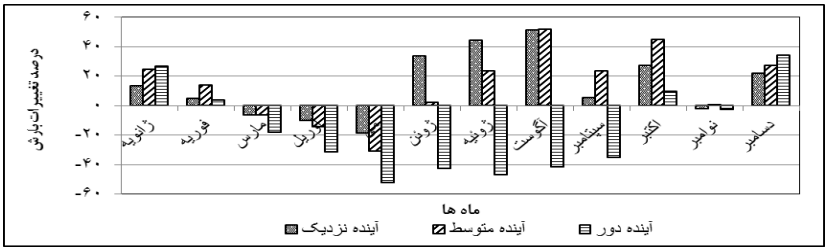
| ایستگاه | | پارامتر | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | ژوئیه | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مینودشت | آینده نزدیک | بارش | -۱۴/۰ | ۵/۶ | ۵/۰ | -۰/۷ | ۴/۱ | ۱۹/۱ | -۰/۲ | -۹/۵ | -۱/۷ | -۱۶/۶ | -۰/۶ | -۱۱/۱ |
| | | دمای حداقل | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۷ | ۰/۸ |
| | | دمای حداکثر | ۰/۲ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۴ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۵ | ۰/۲ | ۰/۷ | ۰/۹ |
| | آینده متوسط | بارش | -۶/۱ | ۱۳/۱ | ۷/۲ | -۳/۵ | -۹/۰ | -۰/۵ | -۱۱/۳ | -۵/۱ | ۱۳/۸ | -۶/۳ | ۲/۹ | -۷/۰ |
| | | دمای حداقل | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۸ | ۱/۹ | ۲/۰ | ۲/۳ | ۲/۵ | ۲/۳ | ۲/۰ | ۱/۴ | ۱/۴ | ۱/۵ |
| | | دمای حداکثر | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۴ | ۱/۸ | ۱/۷ | ۲/۰ | ۲/۴ | ۲/۲ | ۲/۰ | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۷ |
| | آینده دور | بارش | -۲/۵ | ۴/۰ | -۶/۷ | -۲۲/۱ | -۳۱/۰ | -۴۶/۰ | -۶۰/۲ | -۶۱/۹ | -۳۷/۰ | -۲۶/۵ | -۲/۲ | -۰/۱ |
| | | دمای حداقل | ۲/۳ | ۲/۵ | ۳/۳ | ۳/۸ | ۴/۵ | ۵/۱ | ۵/۳ | ۵/۰ | ۴/۳ | ۳/۴ | ۳/۵ | ۳/۲ |
| | | دمای حداکثر | ۲/۳ | ۲/۵ | ۲/۸ | ۳/۷ | ۴/۲ | ۴/۸ | ۵/۲ | ۵/۰ | ۴/۳ | ۳/۴ | ۳/۵ | ۳/۴ |
| رامیان | آینده نزدیک | بارش | ۲/۴ | -۱۰/۸ | ۳/۸ | ۱۶/۱ | ۳/۵ | ۱۷/۷ | ۴۵/۳ | -۱۱/۱ | -۱۵/۶ | ۱۹/۴ | ۳/۴ | ۲/۹ |
| | | دمای حداقل | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۱/۰ | ۰/۷ | ۰/۶ | ۰/۹ | ۰/۵ |
| | | دمای حداکثر | -۰/۱ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۱/۰ | ۰/۸ | ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۶ | ۰/۶ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۲ |
| | آینده متوسط | بارش | ۱۰/۷ | -۴/۲ | ۶/۳ | ۱۳/۲ | -۹/۸ | ۰/۹ | ۳۰/۲ | -۹/۷ | -۴/۴ | ۳۴/۲ | ۸/۰ | ۷/۷ |
| | | دمای حداقل | ۱/۳ | ۱/۵ | ۱/۸ | ۲/۰ | ۲/۱ | ۲/۰ | ۲/۱ | ۲/۶ | ۲/۲ | ۱/۷ | ۱/۶ | ۱/۲ |
| | | دمای حداکثر | ۰/۸ | ۱/۴ | ۱/۵ | ۲/۴ | ۲/۳ | ۱/۷ | ۲/۲ | ۲/۲ | ۲/۰ | ۱/۴ | ۱/۲ | ۰/۹ |
| | آینده دور | بارش | ۱۲/۲ | -۱۴/۳ | -۵/۶ | -۶/۴ | -۳۴/۹ | -۳۹/۵ | -۳۶/۵ | -۵۷/۱ | -۴۰/۸ | ۵/۹ | ۵/۶ | ۱۶/۰ |
| | | دمای حداقل | ۲/۵ | ۲/۷ | ۳/۳ | ۳/۸ | ۴/۴ | ۴/۶ | ۴/۸ | ۵/۳ | ۴/۴ | ۳/۸ | ۳/۷ | ۲/۹ |
| | | دمای حداکثر | ۲/۱ | ۲/۷ | ۲/۹ | ۴/۲ | ۴/۷ | ۴/۳ | ۴/۹ | ۴/۹ | ۴/۳ | ۳/۴ | ۳/۳ | ۲/۶ |

* در جدول بارش به درصد و دما به درجه سانتی گراد آورده شده است

شکل (۷)، میزان اختلاف بارش ماهانه دوره مشاهداتی و دهه‌های آتی را در ایستگاه ارازکوسه نشان می‌دهد. ماه‌های ژانویه، فوریه، اکتبر و دسامبر با افزایش بارش و ماه‌های مارس، آوریل و می با کاهش بارش رو به رو خواهند بود. در سایر ماه‌ها، ایستگاه ارازکوسه در سال‌های ابتدایی و میانی قرن پیش رو با افزایش بارش و در آینده دور با کاهش بارش رو به رو خواهد بود. در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بیشترین افزایش بارش در ماه آگوست به میزان ۵۱/۶ و ۵۲ درصد و بیشترین کاهش در ماه می، به میزان ۱۸/۵ و ۳۰/۵ درصد رخ خواهد داد. در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ بیشترین افزایش بارش در ماه دسامبر به میزان ۳۴/۵ و بیشترین کاهش در ماه می به میزان ۵۲ درصد خواهد بود. در آینده نزدیک، فصل بهار با کاهش ۱۰/۴ درصدی بارش رو به رو خواهد بود. در سایر فصول افزایش بارش پیش‌بینی شده است، به نحوی که بیشترین افزایش در فصل تابستان و به میزان ۴۵/۳ درصد خواهد بود. از نظر مجموع بارش

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

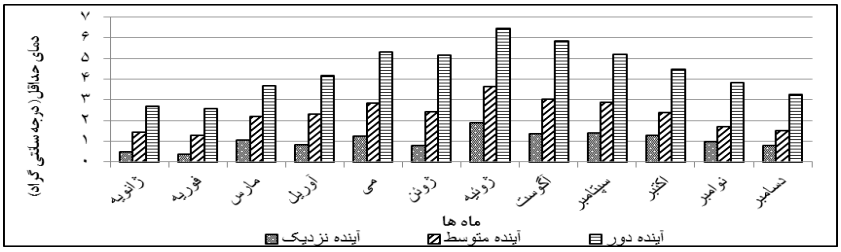
سالانه، ایستگاه مطالعاتی در دوره گذشته به طور میانگین شاهد ۴۶۲ میلی‌متر بارش بوده است. مدل LARS-WG برای آینده نزدیک، ۵۳۰ میلی‌متر بارش پیش‌بینی نموده است، بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که در این دوره، افزایش ۸/۸ درصدی بارش به وقوع خواهد پیوست. الگوی تغییرات بارش فصلی و سالانه در آینده متوسط، همانند سال‌های ابتدایی قرن خواهد بود، به طوری که فصل تابستان با افزایش ۳۲/۳ درصدی و فصل بهار با کاهش ۱۴/۷ درصدی رو به رو خواهد بود. این تغییر در میانگین بارش سالانه، افزایش ۱۱/۲ درصدی خواهد بود. در فصول بهار، تابستان و پاییز، شاهد کاهش بارش بود و بیشترین کاهش در فصل تابستان و به میزان ۴۳/۱ درصد خواهد بود. تغییرات اقلیمی در این دوره به صورت کاهش ۸/۷ درصدی بارش سالانه وجود دارد.




**شکل (۷). درصد تغییرات میانگین بارش ماهانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه ارازکوسه**

همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، دمای حداقل دهه‌های آتی در تمامی ماه‌ها با افزایش روبه‌رو خواهد بود. دمای حداقل در آینده نزدیک با افزایش ۰/۳ تا ۱/۹ درجه سانتی‌گراد و در آینده متوسط و دور به ترتیب با افزایش ۱/۲ تا ۳/۶ و ۲/۵ تا ۶/۴ درجه سانتی گراد روبه‌رو خواهد بود. بیشترین افزایش دما در ماه ژوئیه به میزان ۱/۹ درجه سانتی‌گراد در سال‌های ابتدایی قرن و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد در سال‌های انتهایی قرن و کمترین آن در ماه فوریه به میزان ۰/۳ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در طول قرن خواهد بود. از نظر تغییرات فصلی، بیشترین افزایش دمای حداقل در فصل تابستان است. در سال‌های ابتدایی قرن، ۱/۳ درجه سانتی‌گراد و در سال‌های میانی و انتهایی، ۳ و ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش در دمای حداقل فصل تابستان مورد انتظارمی‌باشد. دمای حداقل سالانه نیز به ترتیب ۱، ۲/۳ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

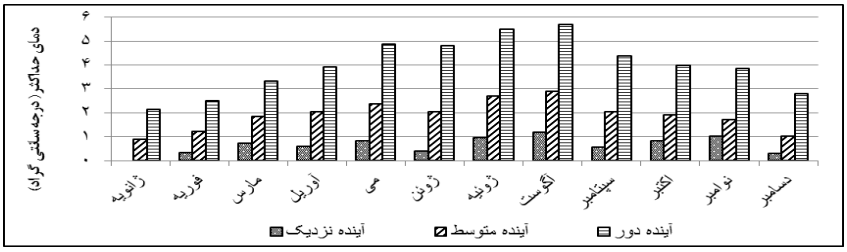
[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]




**شکل (۸). تغییرات میانگین دمای حداقل ماهانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه ارازکوسه**

شکل ۹، درصد تغییرات دمای حداکثر ماهانه دهه‌های آتی ایستگاه ارازکوسه را نسبت به دوره پایه نمایش می‌دهد. مطابق با پیش‌بینی مدل اقلیمی، دمای حداکثر در تمامی ماه‌ها افزایش خواهد یافت. کم‌ترین افزایش دمای حداکثر در ماه ژانویه به میزان ۰/۹ و ۲/۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در آینده رخ خواهد داد. دمای حداکثر این ماه در سال‌های ابتدایی قرن، تغییری نخواهد داشت. بیشترین افزایش این پارامتر در ماه آگوست به وقوع خواهد پیوست. به نحوی که این افزایش در آینده نزدیک، متوسط و دور به ترتیب ۱/۲، ۲/۹ و ۵/۷ درجه سانتی-گراد خواهد بود. دمای حداکثر در فصل تابستان، بیشترین افزایش را خواهد داشت. این افزایش به میزان ۰/۸ درجه سانتی‌گراد در سال‌های ابتدایی قرن و ۲/۵ درجه سانتی‌گراد در سال‌های میانی و ۵/۳ درجه در اواخر قرن خواهد بود. میانگین دمای حداکثر سالانه ایستگاه ارازکوسه، شاهد افزایش ۰/۶ تا ۳/۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

با افزایش تؤامان دمای حداکثر و حداقل انتظار می‌رود، ایستگاه ارازکوسه شاهد افزایش دمای متوسط سالانه قابل توجهی باشد. این افزایش در دهه‌های آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰/۸، ۲/۱ و ۴/۹ درجه سانتی‌گراد در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ است.

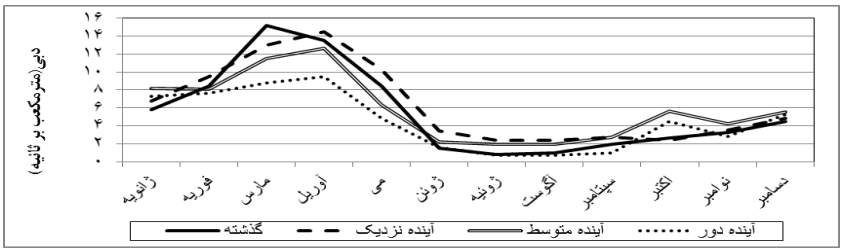



**شکل (۹). تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره مشاهداتی و آینده ایستگاه ارازکوسه**

با تغییر در پارامترهای بارش و دما، سیستم هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی دستخوش تغییرات قابل توجهی خواهد شد. میانگین دبی ماهانه در ژوئن، دسامبر و ژانویه افزایش و در

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

ماه مارس کاهش خواهد یافت. کاهش دبی ماه مارس، تغییرات ۱۴ تا ۴۱ درصدی خواهد داشت، به نحوی که در آینده کاهش بیشتر دبی این ماه مورد انتظار خواهد بود. بیشترین افزایش دبی ماهانه در ژوئن رخ خواهد داد. با بررسی تغییرات دبی فصلی منطقه مطالعاتی ملاحظه می‌شود که آبدهی منطقه مطالعاتی در فصل تابستان با افزایش و در فصل بهار با کاهش روبه‌رو خواهد بود که با افزایش دبی ماه ژوئن مطابقت دارد. شکل ۱۰، میانگین دبی ماهانه حوضه آبخیز ارازکوسه در دهه‌های آتی را در مقایسه با دوره گذشته نشان می‌دهد. چنانچه در شکل ملاحظه می‌شود دبی اوج در دهه‌های آتی با یک ماه تأخیر در ماه آوریل و با کاهشی ۴ تا ۳۷ درصدی به وقوع خواهد پیوست. به طوری که کاهش دبی پیک سالانه در اواخر قرن با شدت بیشتری همراه است. آبدهی سالانه منطقه مطالعاتی در ابتدا و اواسط قرن به ترتیب با افزایش ۱۳ و ۵ درصدی رو به رو خواهد بود. اما تغییر اقلیم در آینده با کاهش ۱۸ درصدی، رواناب سالانه حوضه آبخیز ارازکوسه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.




**شکل (۱۰). میانگین دبی ماهانه دوره مشاهداتی و آینده حوضه**

## نتیجه‌گیری

بررسی شاخص‌ها و نمودارهای به‌دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه، نشان می‌دهد که مدل در مرحله اعتبارسنجی موفق‌تر عمل کرده است. به دلیل به‌دست آمدن مقادیر بالای شاخص‌های ارزیابی، مدل‌سازی بسیار خوب زمان وقوع دبی‌های اوج و دبی‌های پایه و علی‌رغم بیشتر برآورد نمودن مقادیر دبی‌های اوج، نتایج مدل‌سازی مطلوب است. به طور کلی نتایج به‌دست آمده، نشان‌دهنده توانایی و دقت قابل قبول مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه حوضه آبخیز ارازکوسه است. یافته‌های این تحقیق مشابه با نتایج مطالعات چانگ بین[1] و همکاران (۲۰۱۰)، شملیس[2] و همکاران

[1]. Changbin
[2]. Shimelis

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

(۲۰۱۰) و زو[1] و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد که تماما توانایی مدلSWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه را رضایت‌بخش اعلام کرده‌اند.

با توجه به آزمون‌های آماری و آماره‌های خطاسنجی، مدل LARS-WG کارایی مناسبی در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دارد. این مدل، توانایی بیشتری در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی پیوسته همانند دما نسبت به پارامترهایی با تغییرپذیری بیشتر مانند بارش دارد. نتیجه به‌دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظیر بابائیان و نجفی‌نیک (۱۳۸۵) و آبابایی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

در این پژوهش، افزایش دمای حداقل در تمامی ماه‌های سال پیش‌بینی شده است. در فصل تابستان، افزایش پارامتر مذکور به میزان ۱/۳، ۳ و ۵/۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در آینده نزدیک، متوسط و دور مشاهده خواهد شد. همچنین افزایش میانگین دمای حداقل سالانه نیز به میزان ۱، ۲/۳ و ۴/۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. دمای حداکثر نیز در تمامی ماه‌ها افزایش خواهد یافت، به نحوی که این افزایش در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول خواهد بود. افزایش متوسط دمای حداکثر سالانه، ۰/۶ تا ۳/۹ درجه سانتی‌گراد در طول قرن خواهد بود. دمای متوسط سالانه منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک، متوسط و دور به‌ترتیب ۰/۸، ۲/۱ و ۴/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. در آینده نزدیک هنوز انتشار گازهای گلخانه‌ای زیاد نبوده، پس تغییر اقلیم شدید نیست؛ در حالی‌که در آینده دور، اثر سیگنال‌های مربوط به افزایش گازهای گلخانه‌ای در سال‌های آتی قوی‌تر است. تغییر اقلیم با اثر بیشتری نمود می یابد. چنان‌چه ملاحظه می‌شود حوضه آبخیز ارازکوسه در سال‌های ابتدایی قرن، شاهد افزایش دمای کم‌تری نسبت به سال‌های انتهایی قرن خواهد بود و به طور کلی، پارامترهای دمای حداقل، حداکثر و میانگین دما روند صعودی خواهند داشت.

بارش‌های دهه‌های آتی در فصل بهار با کاهش ۱۰/۴، ۱۴/۷ و ۳۰/۴ درصدی روبه‌رو خواهد بود. از آنجا که در این فصل نیاز به منابع آب جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی زیاد بوده و مصرف آب نسبت به سایر فصول بیشتر است، منطقه مطالعاتی در این فصل با کمبود منابع آب مواجه خواهد بود. جهت مقابله با این مشکل، مدیریت و برنامه‌ریزی جهت حفظ منابع آب در فصول پرباران و آبیاری مناسب در این فصل توصیه می‌شود. چنانچه بیان شد منطقه مطالعاتی با افزایش دما مواجه خواهد بود. با افزایش دما، نسبت بارش‌های مایع نسبت به کل بارش سالانه افزایش می‌یابد و میزان بارش‌های برف کاهش می‌یابد(عظیم ادنان[2]،۲۰۱۰:۱۵۳). بدین

1 . Xu
2. Azim Adnan

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

ترتیب ذخایر آبی (برف) برای بهار که با کاهش بارندگی نیز رو به رو خواهد بود، نکته‌ای منفی محسوب می‌شود. نتایج مذکور با نتایج مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) و همچنین آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) همخوانی دارد. سال‌های ابتدایی و میانی قرن در فصل تابستان شاهد بیشترین افزایش بارش مورد انتظار خواهد بود. چنانچه قبلاً بیان شد بیشترین افزایش دما نیز در فصل تابستان به وقوع خواهد پیوست. افزایش بارش در این فصل به علت همراهی با افزایش دما لزوماً بهبود شرایط دسترسی به منابع آب و به دنبال آن بهبود وضعیت زیستی و معیشتی جوامع انسانی و همچنین افزایش سطح کشاورزی را به دنبال نخواهد داشت. چرا که افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق و از دسترس خارج شدن منابع آب خواهد بود. از طرف دیگر با توجه به نزولات کم جوی در فصل تابستان، افزایش آن در دهه‌های آتی ممکن است چندان محسوس نباشد. به‌طور کلی تغییر اقلیم در آینده نزدیک و متوسط به صورت افزایش ۸/۸ و ۱۱/۲ درصد بارش سالانه و در آینده دور با کاهش ۸/۷ درصدی آن نمود خواهد کرد. این نتایج با مطالعه نرسیملو[1] و همکاران(۲۰۱۳) همخوانی دارد. در آینده دور بیشترین کاهش بارش در فصل تابستان رخ خواهد داد، از آنجا که در این دوره افزایش دمای بیشتری به وقوع خواهد پیوست، کمبود شدید منابع آب مورد انتظار خواهد بود و با عدم مدیریت صحیح به دنبال افزایش جمعیت بیشتر و صنعتی شدن جوامع شاهد فجایع انسانی گسترش بیشتری خواهد یافت. در حوضه آبخیز ارازکوسه، بارش‌ها به سمت بارش‌های فصل سرد جابه‌جا خواهند شد. به طوری‌که اوج بارش از ماه مارس (فصل بهار) در دوره گذشته به ماه دسامبر (فصل زمستان) در دوره آینده جابه‌جا خواهد شد. انتظار می‌رود به علت افزایش دما، بارش‌های زمستانه از شکل بارش‌های جامد (برف) به مایع (باران) تبدیل شود.

به دنبال افزایش بارش، رواناب سالانه منطقه مطالعاتی در آینده نزدیک و متوسط به ترتیب افزایش ۱۳ و ۵ و ۱۸ درصدی خواهد داشت. بدین ترتیب در اواخر قرن پیش رو کمبود منابع آب مورد انتظار خواهد بود. رشد جمعیت، صنعتی شدن جوامع و به دنبال آن افزایش تقاضای آب جهت تأمین مصارف شرب، کشاورزی و صنعت، مسأله کمبود آب در منطقه مطالعاتی را شدت خواهد بخشید. برنامه‌ریزی مدیریتی جهت استحصال و ذخیره‌سازی آب در فصول پر باران، توسعه روش‌های جدید تأمین آب، به کارگیری شیوه‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن می‌تواند در کاهش اثرات پدیده تغییر اقلیم کمک شایانی نماید. دبی پیک سالانه در حوضه آبخیز ارازکوسه با یک ماه جابه‌جایی و با کاهش ۴ تا ۳۸ درصدی رخ خواهد داد.

1. Narsimlu

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

مطالب بیان شده جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و مدیریت منابع آب کمک شایانی می‌نماید، اما باید توجه نمود که عدم قطعیت، نتایج مطالعات ارزیابی اثرات اقلیم بر سامانه‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دلیل نامشخص بودن وضعیت اقتصادی، اجتماعی و فن‌آوری آینده جامعه بشری نمی‌توان به صراحت میزان مشخصی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفت. همچنین وجود تفاوت در منطق مدل‌های مختلف شبیه‌سازی منابع آب، باعث ایجاد تفاوت در خروجی‌ها تحت شرایط یکسان ورودی‌ها می‌شود که نشان از عدم قطعیت در کاربرد مدل‌های شبیه‌ساز منابع آب می‌شود. بدین ترتیب هنگامی می‌توان بیان داشت که خروجی مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی تحت تأثیر تغییراقلیم، دارای دقت کافی برای تصمیم‌گیری هستند که محدوده‌های عدم قطعیت مربوط به موارد ذکر شده در محاسبات مربوطه اعمال شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در نظر گرفتن منابع عدم قطعیت در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

## منابع و مآخذ


۱. آبابایی، بهنام.، میرزایی، فرهاد.، سهرابی، تیمور. (۱۳۹۰). **ارزیابی عملکرد LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران**. پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، ۲۲۲-۲۱۷.

۲. آشفته، پریسا سادات.، مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۹). **تأثیر تغییراقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی**. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۳.

۳. بابائیان، ایمان.، کوهی، منصوره. (۱۳۹۱). **ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییراقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی**. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۴، ۹۶۷-۹۵۳.

۴. بابائیان، ایمان.، نجفی‌نیک، زهرا. (۱۳۸۵). **معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۶۱**. مجله نیوار، شماره ۶۲، ۶۵-۴۹.

۵. بذرافشان، جواد.، خلیلی، علی.، هورفر، عبدالحسین.، ترابی، صدیقه.، و حجام، سهراب.، (۱۳۸۸). **بررسی و مقایسه عملکرد دو مدل ClimGen و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در شرایط مختلف اقلیمی ایران**، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱۳، ۵۷-۴۴.

۶. خلیلی اقدم، نبی.، مساعدی، ابوالفضل.، سلطانی، افشین.، کامکار، بهنام. (۱۳۹۱). **ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج**. مجله پژوهش‌های حفاظت


[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۴.

۷. ذهبیون، باقر.، گودرزی، محمدرضا.، مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۹). **کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییراقلیم**. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال اول، شماره ۳ و ۴.

۸. - کمال، علیرضا. (۱۳۸۸). **ارزیابی تغییر اقلیم بر رواناب تحت تأثیر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AR4 و روش‌های کوچک‌مقیاس کردن، مطالعه موردی زیرحوضه قره‌سو**. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران.

۹. مدرسی، فرشته.، عراقی‌نژاد، شهاب.، ابراهیمی، کیومرث.، خلقی، مجید. (۱۳۹۰). **بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه رودخانه**. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۶، ۱۳۷۷-۱۳۶۵.

۱۰. مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۵). **ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب، مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود استان اصفهان**. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.

۱۱. مساح بوانی، علیرضا.، مرید، سعید. (۱۳۸۴). **اثرات تغییراقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود**. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره چهارم، ۲۷-۱۷.

۱۲. مشکواتی، امیرحسین.، کردجزی، محمد.، بابائیان، ایمان. (۱۳۸۹). **بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳**. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۶، شماره ۱۹.

Abbaspour, K., Faramarzi, C., Seyed Ghasemi, S., & Yang, H. (2009). ***Assessing the impact of climate change on water resource in Iran***. Water resource research, 1-16.

Abbaspour, K., Faramarzi, C., Seyed Ghasemi, S., & Yang, H. (2013). ***Impact of climate change on hydrology in the Srepok Watershed Vietnam. Climate and Land Surface Changes in Hydrology Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly***, Gothenburg, Sweden, 111-117.

Alizadeh. A., Izadi, A., Davari, k., Ziaei, A, N,. Akhavan, S., Hamidi, Z. (2013). ***Estimation of Actual Evapotranspiration at Regional – Annual scale using SWAT. Iranian Journal of lrrigation and Drainage***. 2(7), 243-258.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and Williams, J.R., (1998). ***Large area hydrologicmodeling and assessment, part I: model development***. Journal of American Water Resources Association, 34 (1), 73-89.

Azim adnan, N. (2010). ***Quantifiying the impact of climate change and***

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

***land use change on the hydrological response of a Monsoonal catchment***. Thesis for the degree of doctor of philsophy, University of South Ampton, Faculty of social and human sciences, School of geoghraphy.

Changbin, Li., Jiaguo, Qi., Zhaodong, Feng., Runsheng, Yin., Songbing, Zou and Feng, Zhang. (2010). ***Parameters optimization based on the combination of localization and auto-calibration of SWAT model in a small watershed in Chinese Loess Plateau***. Front. Earth Sci. 4(3), 296–310.

Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R., and Yang, H. (2009). ***Modelling blue and. green water resources availability in Iran. Hydrological processes***. 23, 486–501.

Gosain, A., Rao, S., & Basuray, D. (2006). ***Climate change impacts assessment on hydrology of Indian river basin***. Current sciences 90, 346-353.

IPCC-TGCIA. (2007). ***General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment***. ads. K.Alfsen, E. Barrow, B. Bass. X. Dai, P. Desanker, S. R. Gaffin, F. Giorgi, M. Hulme, M. Lai, L. J. Mata, L. O. Mearns, J. F. B. Mitchell, T. Morita, R. Mass. task group on data and scenarios suport for impact and climate assessment.

IPCC. 1995. Impacts, ***Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific Technical Analyses***. Cambridge University Press, 878 PP.

Jakson, C., & Sen, M. (2009). ***Stochastic model prediction of future* climate**. Institute of geographic,university of Texas at Austin.

Luo. Y., Ficklin. L. D., Liu. X and Zhang. M. (2013). ***Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling approach***. Science of The Total Environment. 4, 72-82.

Molina-Navarro,E,. Trolle, D,. Martínez-Pérez, S,. Sastre-Merlín, A and Jeppesen, E. (2014). ***Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios***. Journal of Hydrology, 509, 354-366.

Narsimlu, B., Gosain, A.K., Chahar, B.R. (2013). ***Assesment of future climate change impacts on water resources of Upper Sind River basin,India using SWAT model***. Water resource manage, 27:3647-3662.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., (2011). ***Soil and***

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

***waterassessment tool, theoretical documentation, version 2009.*** Texas Water Research Institute,Technical Report 406.

Shimelis, G., Setegn, Bijan Dargahi., Ragahavan, Srinivasan and Assefa, M. Melesse. (2010). ***Modeling of sediment yield from Anjeni-Gauged watershed, Ethiopia using SWAT model***. Journal of the American water resources association, 46(3).

Xu, Z. X., Pang, J. P., Liu, C. M., and Li, J. Y.( 2009). ***Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model***. Hydrological Processes. *Hydrol. Process.* 23, 3619–3630.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1395.16.42.6.1 ]
[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08 ]