

بررسی و ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرواقليمی حوضه سد اکباتان (استان همدان)

هادی نظری پویا^۱، پرویز کردوانی^{۲*}، عبدالرضا فرجی راد^۲

۱. دانشجوی دکتری جغرافیا اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

۲. استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۶/۱۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۸/۲۱)

چکیده

تغییر اقلیم یکی از عوامل مهمی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان روی کره زمین را تحت تأثیر قرار خواهد داد و تأثیرات زیان‌باری بر منابع زیست‌محیطی، اقتصادی اجتماعی و به‌ویژه منابع آب، با تغییر در بارندگی، مقدار و زمان وقوع رواناب خواهد داشت. یکی از راهکارهای کاهش تأثیرات ناشی از تغییر اقلیم، ارزیابی تأثیرات آن بر بارندگی، دما و رواناب در هر منطقه است. در این تحقیق عدم قطعیت تأثیرات ناشی از تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و رواناب در حوضه آبخیز سد اکباتان با استفاده از مقایسه مدل‌های MPEH5, HadCM3 و IPCM4 تحت دو سناریوی A2 و B1 برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ ارزیابی شده است. بنابراین، ابتدا کارایی مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای بارش و دما تعیین و سپس مدل هیدرولوژیکی IHACRES به منظور شبیه‌سازی رواناب بررسی شد. در نهایت، اطلاعات ماهانه بارندگی، دما و رواناب برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۳-۲۰۱۰ بررسی شدند. نتایج نشان می‌دهد میزان دمای متوسط سالانه دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ طبق سناریوی A2، ۲/۱۲ و B1، ۱/۱۲ درجه سانتی‌گراد افزایش و میزان بارندگی طبق سناریوی A2، ۶/۱- و B1، ۱/۴- درصد کاهش می‌یابد. همچنین طبق سناریوی A2 میزان رواناب ۱۷/۲- درصد و B1، ۴/۱۹- درصد کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی تحت دو سناریوی A2 و B1 مقدار دمای حوضه افزایش و بارندگی کاهش می‌یابد و این تغییرات تأثیرات منفی زیادی بر رواناب حوضه خواهد داشت.

کلیدواژه‌گان: تغییر اقلیم، رواناب، عدم قطعیت، مدل LARS-WG, IHACRES.

مقدمه

در چند دهه اخیر افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص گاز CO₂ در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی، موجب افزایش غلظت این گاز از ۲۸۰ ppm در سال ۱۷۵۰ به ۳۸۰ ppm در سال ۲۰۰۵ شده است. گزارش‌های IPCC^۱ نشان می‌دهد در صورت ادامه روند کنونی مصرف این سوخت‌ها، غلظت این گاز تا قبل از پایان قرن بیست‌ویک ممکن است به بیش از ۶۰۰ ppm برسد. اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، متوسط دمای سطحی کره زمین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ خواهد رسید. افزایش دمای سطح زمین و تغییرات در الگوهای بارندگی پدیده‌های غالب در تغییر اقلیم است که این دو تقریباً تمام بخش‌های دیگر چرخه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

اغلب مدل‌های AOGCMs^۲ افزایش دما در سطح زمین و افزایش شدت بارش و مقدار آن بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای را در قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند. تحقیقات و بررسی‌های ارزنده‌ای در این خصوص در کشور صورت گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. مساح بوانی و همکارانش (۱۳۸۴) تأثیرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود را تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B2 در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ ارزیابی کردند. یافته‌های آنها بیانگر کاهش بارش در هر دو دوره به میزان ۱۰ و ۱۶ درصد و افزایش دما به میزان ۴/۶ و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای A2 و B2 است. آنها با کاربرد روش شبکه عصبی بارش - رواناب را در حوضه شبیه‌سازی کردند که یافته‌هایشان نشان‌دهنده کاهش جریان تا ۵/۸ درصد و افزایش ضریب تغییرات جریان تا ۳ برابر دوره آماری در آینده است [۱۲]. عباسپور و همکارانش (۲۰۰۹) با بررسی مدل اقلیمی CGCM برای سناریوهای A1B, B1, A2 برای ۳۷ ایستگاه هواشناسی در کشور ایران نتیجه گرفتند که بارندگی در دوره ۲۰۷۰-۲۱۰۰ در مناطق خشک کاهش و در مناطق مرطوب افزایش می‌یابد [۱۴]. تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب زیرحوضه قره‌سو با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی توسط کمال و مساح بوانی (۱۳۸۹) مطالعه شد. برای این منظور مدل آماری SDSM را برای کوچک‌مقیاس کردن برون‌داد مدل HadCM3 به کار بردند.

یافته‌های پژوهش نشان داد میزان رواناب در فصل پاییز کاهش می‌یابد و در سایر فصول طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ افزایش خواهد یافت [۱۰]. قربانی‌زاده و همکارانش (۱۳۸۸) اثر تغییر اقلیم بر توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه کارون را با به‌کارگیری برون‌داد دو سناریوی اقلیمی از مدل گردش عمومی ECHAM4^۳ در دو دوره ۲۵ ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ مطالعه کردند و دریافتند که زمان بیشینه جریان از بهار به زمستان انتقال خواهد یافت. همچنین تعیین کردند که در این حوضه دبی زمستان ۱۰ درصد افزایش و دبی بهار و تابستان کاهش می‌یابد [۸]. آذری و همکارانش با بررسی و ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگان‌رود تعیین کردند که متوسط بارندگی سالانه برای دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش می‌یابد و بیشینه دمای سالانه بین مدل‌های مختلف از ۳ تا ۵/۷ درجه و حداقل دمای سالانه ۲/۸ تا ۵/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. آنها نتیجه گرفتند که حاصل این تغییرات اقلیمی در بخش آب کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد را به همراه خواهد داشت [۱].

قاسمی و همکارانش (۱۳۹۲) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب با رویکرد عدم قطعیت مدل‌های گردش عمومی جو تعیین کردند که مدل‌های AOGCM در تخمین میانگین بلندمدت دما و بارش ماهانه منطقه با یکدیگر تطابق ندارند که خود بیانگر وجود عدم قطعیت در خروجی این مدل‌هاست. بنابراین، به‌منظور مشخص کردن محدوده تغییرات رژیم دما و بارش از رویکرد بیز استفاده کردند. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی به‌دست‌آمده از مدل‌های گردش عمومی جو نشان داد دمای حوضه در دوره آتی بین ۰/۱ تا ۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد و بارندگی بین ۳۴- تا ۴۶ درصد نوسان خواهد داشت [۷]. سهرابی‌ان و همکارانش (۱۳۹۴) تأثیر تغییر اقلیم بر آینده حوضه با استفاده از مدل هیدرولوژی IHACRES در حوضه گالیکش در استان گلستان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریوی B1 و A2، A1B به ترتیب ۶/۳۷، ۴/۴۳ و ۷/۹۴ مترمکعب در ثانیه، کاهش می‌یابد [۳]. سادات آشفته و همکارانش (۱۳۸۹) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر در حوضه آیدوغموش، آذربایجان

۳. مدل اقلیمی مؤسسه هواشناسی ماکس پلانک آلمان

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Atmosphere-Ocean Global Circulation Models

شرقی و با معرفی مقادیر دما و بارندگی کوچک‌مقیاس‌شده دوره آتی به مدل IHACRES¹ نتیجه گرفتند که شدت دبی‌ها برای دوره بازگشت‌های تا ۵۰ سال تفاوت چندانی نکرده است و با افزایش دوره بازگشت، شدت آن در دوره آتی افزایش خواهد یافت [۴]. مزین و همکارانش (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر جریان‌های کم‌آبی را با استفاده از خروجی‌های دما و بارش ۱۰ مدل گردش عمومی جو تحت سناریوی انتشار A2 و مدل هیدرولوژیکی IHACRES ارزیابی و تعیین کردند که تغییر اقلیم در آینده، تا حد زیادی جریان کم‌آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۳]. طائی سمیرمی (۱۳۹۳) تغییرات جریان رودخانه بار نیشابور را تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بررسی کرد و جریان رودخانه برای دوره‌های آتی و تحت سناریوهای مختلف را با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES تعیین و پیش‌بینی کرد که جریان رودخانه ۹، ۴۴ و ۶۶ درصد به ترتیب در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. به‌طور کلی و با توجه به نتایج مدل‌های استفاده‌شده در این تحقیق مشخص می‌شود که دما و بارش در طول قرن ۲۱ به ترتیب افزایش و کاهش پیدا می‌کند که این تغییرات می‌تواند تأثیرات منفی زیادی روی جریان رودخانه بار نیشابور داشته باشد [۹].

گودرزی و همکارانش (۱۳۹۴) تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل بارش-رواناب IHACRES نیز دقت خوب و مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات رواناب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه دارد. همچنین نتیجه گرفتند که متوسط رواناب سالانه بلندمدت در دهه‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۵، ۳۵/۲۲ و ۴/۶۵ درصد کاهش می‌یابد و براساس نتایج سناریوهای مختلف، حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره‌های آتی با مشکل کاهش رواناب سطحی، کاهش بارندگی و افزایش دما روبه‌رو خواهد بود [۱۱]. حجازی‌زاده (۱۳۹۴) با تحلیل تغییرات جریان تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه رودخانه گر با استفاده از خروجی مدل 3، رابطه بارش- IHACRES و با واسنجی مدل HadCM²

رواناب ماهانه حوضه را شبیه‌سازی کرد و نتیجه گرفت که رواناب سالانه حوضه حدود ۹/۴۳ درصد کاهش می‌یابد و رواناب آتی در برخی ماه‌ها (ژانویه، فوریه، می و ژوئن)، افزایش را نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۲-۲۰۰۱ نشان می‌دهد [۵].

چنگ و یانگ (۲۰۱۰) میزان رواناب سالانه، فصلی و مقادیر کمینه و بیشینه رواناب و عدم قطعیت آن را در ۲۱۸ زیرحوضه رودخانه Willamette ایالت اورگان بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد تغییرات فصلی رواناب به صورت افزایش در جریان زمستانه و کاهش در جریان تابستانه است و تغییرات زمانی و مکانی رواناب نیز ممکن است در آینده دچار تغییر شود که مقدار و جهت آن به خصوصیات زیرحوضه بستگی دارد [۱۶]. گوسمین و همکارانش (۲۰۰۶) تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر دبی جریان در ۱۲ حوضه رودخانه‌های هند را برای دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ مطالعه کردند. نتایج مطالعه آنها دلالت بر کاهش جریان و افزایش شدت سیلاب و خشکسالی دارد [۱۷]. پروسکی و نیرینگ (۲۰۰۲) با استفاده از خروجی‌های بارندگی ماهانه مدل HadCM3 اثر تغییر در رژیم بارندگی بر رواناب در هشت منطقه ایالات متحده آمریکا را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بارندگی سالانه از ۹/۶- درصد تا ۱/۶ درصد و تغییر در میزان رواناب از ۴۲/۵- درصد تا ۱۴ درصد متغیر است [۲۲].

تأثیرات تغییر اقلیم با کاربرد برون‌داد مدل‌های منطقه‌ای با دو سناریوی A2 و A1B بر حوضه رودخانه کراتی در جنوب کشور ایتالیا توسط سناتور و همکارانش مطالعه شد. آنها پیش‌بینی کردند که در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میانگین دمای این حوضه بین ۳/۵ تا ۳/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد، درحالی‌که بارش به مقدار ۹ تا ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت. این شرایط موجب کاهش شدید برف تجمعی سالانه به میزان ۲۸ تا ۲۹ درصد خواهد شد. همچنین میزان آب‌های زیرسطحی بین ۶/۵- تا ۴۱/۴ درصد و رواناب سطحی بین ۵۲/۴- درصد تا ۱۴/۲- درصد کاهش خواهد یافت [۲۵].

بی و همکارانش (۱۹۹۷) مدل IHACRES را برای ۳ حوضه آبخیز با آینده محدود در استرالیا به ترتیب با مساحت ۱۵۸۲ و ۵۱۷ کیلومتر مربع با متوسط آبدی سالانه تقریباً ۱۰، ۱۲ و ۲ درصد بارش در پایه‌های زمانی روزانه به کار بردند. خطای مطلق در جریان روزانه با استفاده از IHACRES ۱۰ میلی‌متر در روز در دوره ارزیابی محاسبه و مشخص شد که مدل IHACRES براساس معیار ناش- ساتکلیف دقت مناسبی

۱. Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data.
2. Hadley Centre Coupled Model, version 3

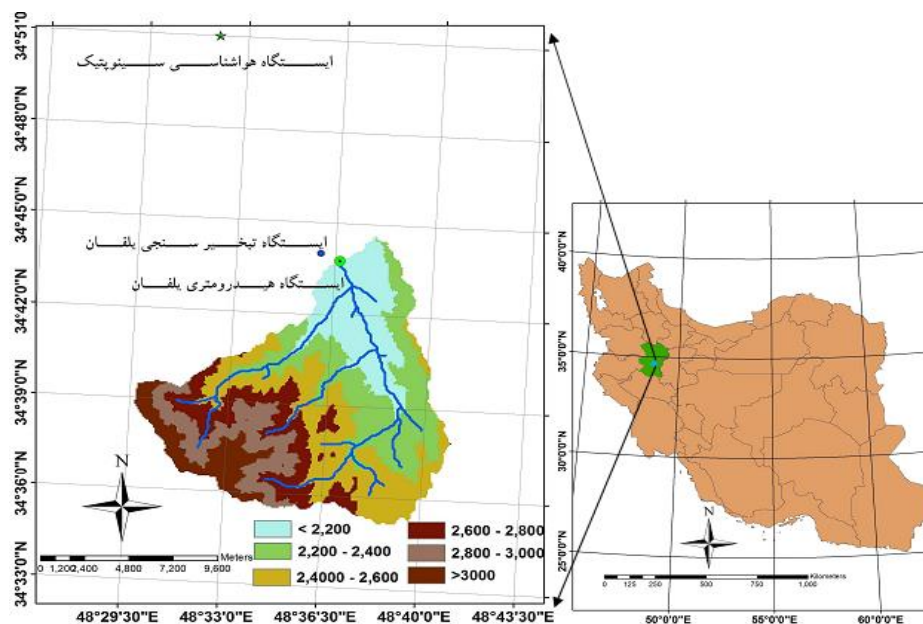
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

زیرحوضه سد اکباتان با مساحت ۱۶۰ کیلومترمربع در مرکز استان همدان بین $48^{\circ} 41'$ و $48^{\circ} 30'$ طول شرقی و $34^{\circ} 36'$ و $34^{\circ} 46'$ عرض شمالی در دامنه‌های شمالی الوند قرار دارد. رودخانه زیرحوضه بررسی شده از دامنه‌های شمالی پربرف کوه الوند سرچشمه می‌گیرد. $13/5$ درصد بافت خاک سطحی حوضه، سبک و 55 درصد آن، متوسط است. حدود $22/3$ درصد از مساحت منطقه زیر کشت دیم و تنها $17/1$ درصد کشت آبی و $60/6$ درصد نیز به صورت مرتع استفاده می‌شود. ارتفاع حوضه بین 1970 تا 3467 متر متغیر و ارتفاع متوسط آن 2524 متر است (شکل ۱). حدود $26/5$ درصد از مساحت حوضه شیب معادل $10-0$ درصد دارد و $6/3$ درصد از مساحت دارای شیب بیش از 30 درصد و $67/3$ درصد از مساحت حوضه نیز شیب بین 10 تا 30 درصد است. حجم کل آورد زیرحوضه یلفان طی دوره آماری $1983-2009$ برابر $44/15$ میلیون مترمکعب در سال و میانگین آبدهی سالانه آن $1/4$ مترمکعب در ثانیه است. کمترین میانگین آبدهی ماهانه $0/08$ مترمکعب در ثانیه در شهریورماه و بیشترین میانگین آبدهی ماهانه آن $4/9$ مترمکعب در ثانیه در فروردین‌ماه است.

دارد [۲۴]. کروک و همکارانش (۲۰۰۴) مدل IHACRES را برای یک حوضه آبخیز ۴۲ هزار کیلومترمربعی در جنوب واز، استرالیا، به‌روش نیمه‌توزیعی به‌کار بردند. آنها نسخه‌ای از IHACRES که شامل یک بخش رطوبت خاک بود را استفاده کردند و در روش یکپارچه برای داده‌های روزانه هر زیرحوضه به‌کار بردند [۲۷].

به‌طور کلی، با توجه به تحقیقات انجام‌شده، ملاحظه می‌شود که وقوع تغییر اقلیم تأثیرات فراوانی به‌ویژه روی پارامترهای اقلیمی، هیدرولوژیکی در هر منطقه خواهد داشت، بنابراین ضروری است برای مقابله و کاهش آثار زیان‌بار ناشی از آن وضعیت تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه‌ها در دوره‌های آتی بررسی شود. از طرف دیگر، با توجه به اینکه تغییرات نسبت به زمان و مکان‌های مختلف متفاوت است، ضروری است چگونگی این تغییرات در حوضه‌های مختلف به‌طور جداگانه ارزیابی شود. از این‌رو، در تحقیق حاضر تلاش شده است تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی دما، بارندگی و به‌ویژه رواناب سطحی در حوضه آبخیز سد اکباتان واقع در استان همدان طی دوره آتی $2045-2065$ با ارزیابی ۳ مدل گردش عمومی جو MPEH5, HadCM3 و IPCM4^۱ تحت سناریوی A2 و B1 بررسی شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه بررسی شده در ایران و استان همدان

1. Institute Pierre Simon Laplace

جفت‌شده اقیانوسی جوی است که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است. قدرت تفکیک آن ۲/۷۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی و قدرت تفکیک اقیانوسی ۱/۲۵ عرض جغرافیایی و ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی است [۱۹]. مدل گردش عمومی MPEH5 مخفف ECHAM5 است که در مرکز هواشناسی ماکس پلانک آلمان تهیه شده است. قدرت تفکیک مکانی این مدل ۱/۸ درجه است که ۳۱ لایه عمودی جو و ۴۰ لایه عمودی در اقیانوس را پوشش می‌دهد [۲۳]. مدل IPCM4 نیز یکی از مدل‌های جفت‌شده گردش عمومی جو-اقیانوس به‌شمار می‌رود که توسط مؤسسه IPSL فرانسه تهیه شده است. مؤلفه جوی این مدل تفکیک افقی ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی دارد و ۱۹ لایه و مؤلفه افقی آن تفکیک افقی ۲×۲ درجه دارد [۲۴].

معرفی مدل LARS-WG

مدل LARS-WG مولد مصنوعی داده‌های آب و هوایی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان تحت شرایط اقلیم حال و آینده به‌کار رود. داده‌ها در سری‌های زمانی روزانه برای یک سری متغیرهای اقلیمی مناسب برای مثال بارش، دمای کمینه و بیشینه و تابش (مگاژول بر مترمربع) ایجاد می‌شوند. در این مدل فرایند تولید داده‌های مصنوعی آب و هوایی در سه بخش کلی انجام می‌گیرد: ۱. کالیبره کردن مدل؛ ۲. صحت‌سنجی مدل؛ ۳. تولید و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های آینده. به‌طور خلاصه مراحل اجرای مدل شامل: ۱. داده‌های دیدبانی؛ ۲. آنالیز؛ ۳. واسنجی؛ ۴. صحت‌سنجی؛ ۵. انتخاب مدل گردش عمومی؛ ۶. انتخاب سناریوهای انتشار؛ ۷. شبیه‌سازی داده‌های روزانه آینده؛ ۸. آنالیز نتایج است [۲].

معرفی مدل هیدرولوژیکی

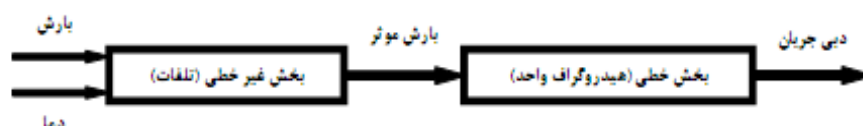
این مدل از پارامترهای هیدروکلیماتولوژی بارندگی، دما و دبی روزانه در شبیه‌سازی رواناب استفاده می‌کند. مدل هیدرولوژی IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی-متریک برای شبیه‌سازی بارش-رواناب است که توسط جکمن و هورمبرگر در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. مدل بارش-رواناب IHACRES یک مدل پارامتری مؤثر و کارآمد است که در بیشتر مناطق آب و هوایی مختلف از جمله مناطق خشک و

تولید سناریوهای اقلیمی با استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب، پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی در دهه آینده (۲۰۴۶-۲۰۶۵) میلادی، با استفاده از نتایج خروجی مدل‌های جفت‌شده اقیانوسی-جوی (AOGCM) تحت دو سناریو از سری سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح منطقه شبیه‌سازی شدند. بر این اساس، آمار و اطلاعات هواشناسی روزانه دمای ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان وابسته به سازمان هواشناسی کشور و آمار بارندگی روزانه ایستگاه تبخیرسنجی یلفان وابسته به سازمان تحقیقات منابع آب دریافت و جمع‌آوری شدند و پس از رفع برخی نواقص آماری و تکمیل آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده، به‌عنوان ورودی مدل LARS-WG استفاده شدند. از طرفی با توجه به اینکه اغلب مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی با فرایندهای کوچک‌مقیاس و زیرحوضه‌ای سروکار دارند و مقیاس آنها بسیار کوچک‌تر از مقیاسی است که مدل‌های گردش عمومی جو به ما می‌دهند [۲]، ضروری است مدل‌های جهانی برای استفاده در بررسی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی کوچک‌مقیاس شوند که به‌طور کلی دو روش برای به‌دست‌آوردن اطلاعات در مقیاس محلی یا ناحیه‌ای از سناریوهای اقلیم جهانی تولیدشده توسط مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد که عبارت‌اند از روش دینامیکی و آماری. در این پژوهش از روش آماری مدل LARS-WG^۱ برای ریزمقیاس کردن مدل‌های گردش عمومی به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی استفاده شده است. بر این مبنا متغیرهای اقلیمی روزانه دمای حداکثر و حداقل ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان و بارندگی روزانه ایستگاه تبخیرسنجی یلفان با دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۰۹ به‌عنوان دوره پایه انتخاب و برای ارزیابی و تعیین تأثیرات تغییر اقلیم در حوضه سد اکباتان استفاده شدند. با استفاده از تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده و خروجی ۳ مدل گردش عمومی جو MPEH5، 3 پارامترهای A2.B1 تحت سناریوی IPCM4 و HadCM بررسی شده برای دوره آینده ۲۰۴۵-۲۰۶۵ محاسبه و برآورد شدند و به کمک خروجی ۳ مدل گردش عمومی جو، وضعیت رواناب طی دوره آتی ۲۰۴۵-۲۰۶۵ با استفاده از مدل در حوضه برآورد و بررسی شدند. IHACRES هیدرولوژیکی یکی از مدل‌های HadCM3 مدل گردش عمومی جو

1. Long Ashton Research Station-Weather Generator

تشکیل می‌شود. به همین منظور ابتدا بارندگی I_k و دما T_k در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده و سپس توسط مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی x_k در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲. چگونگی شبیه‌سازی بارش رواناب مدل IHACRES همراه با مدول‌های خطی و غیرخطی
منبع: جکمن و هورمبرگر (۱۹۹۳)

واحد خواهد بود $b < 1$. با فرض اینکه بارندگی مؤثر و رواناب در همه گام‌های قبلی صفر باشد و بارندگی مؤثر در گام‌های بعدی نیز صفر باشد، می‌توان در گام‌های بعدی میزان رواناب را به صورت نسبت a ($a < 1$) از مقدار آن در مرحله قبل در نظر گرفت. بنابراین، رواناب به دست آمده به صورت نمایی با نرخ a در هر گام زمانی کاهش می‌یابد [۱۴].

یافته‌های پژوهش

عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی B1, A2 در برآورد بارندگی و دما

عدم قطعیت به معنای نبود یا کمبود اطلاعات درباره وضعیت موجود و یا نتایج یک فرایند است. شایان یادآوری است که عدم قطعیت کاملاً حذف نمی‌شود اما می‌توان با بررسی‌های بیشتر گستره آن را کاهش داد. عدم قطعیت در مدل‌ها تفاوت بین نتایج مدل و مقادیر مشاهده شده است که می‌تواند ناشی از کمبود اطلاعات و تغییرپذیری مدل و پارامترهای آن باشد [۲۳]. بنابراین، تغییرات بارندگی و دما طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ توسط ۳ مدل گردش عمومی جو HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی B1, A2 با اجرای مدل LARS-WG محاسبه و عدم قطعیت مدل‌های یادشده بررسی شده است که به طور جداگانه نتایج هر یک از ۳ مدل بررسی شده، HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی A2 و B1 ارزیابی و تجزیه و تحلیل می‌شوند.

نیمه‌خشک کاربرد دارد [۱۵]. مدل یادشده به دو سری داده‌های بارش و دما به عنوان ورودی و برای شبیه‌سازی جریان، به داده‌های جریان مشاهداتی برای واسنجی مدل و بررسی دقت نتایج شبیه‌سازی نیاز دارد. اساس این روش از دو مدول غیرخطی کاهش و مدول خطی هیدروگراف

– مدول غیرخطی کاهش

به منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در حوضه از ضریب رطوبتی حوضه استفاده می‌شود که با s_k ($0 < s_k < 1$) نشان داده می‌شود. هرچه حوضه قبل از بارندگی مرطوب‌تر باشد، مقدار تبدیل بارندگی به بارش مؤثر بیشتر خواهد بود.

$$u_k = s_k \times I_k \quad (1)$$

در حالتی که حوضه کاملاً خیس باشد $s_k = 1$ تمامی بارش به بارندگی مؤثر تبدیل خواهد شد. از طرف دیگر ضریب رطوبتی حوضه تابعی از تبخیر و تعرق در حوضه است که با روابط زیر بیان می‌شود:

$$s_k = c \times I_k + \left[1 - \frac{-1}{t_\omega(t_k)} \right] s_{k-1} \quad s_k = 0 \quad (2)$$

$$t_\omega(t_k) = t_{\omega e} / 0.62f(R - t_\omega) \quad t_\omega(t_k) > 1 \quad (3)$$

در رابطه ۳ $t_\omega(t_k)$ مقدار شاخص s_k را در رابطه ۲ هنگامی که بارش رخ نمی‌دهد را کنترل می‌کند. که در آن R برابر دمای مرجع، $t - \omega$ ثابت زمانی خشک شدن حوضه و f فاکتور تعدیل دماست. در رابطه ۲ پارامتر c به گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهده‌ای در دوره کالیبراسیون یکسان شود.

– مدول خطی هیدروگراف واحد

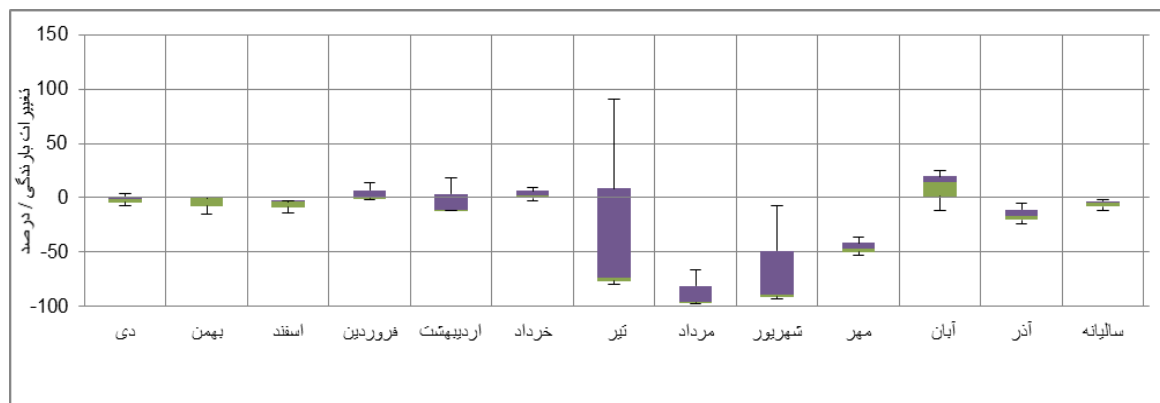
فرض کنید بارندگی مؤثر واحد در یک گام زمانی در یک حوضه به مقدار b واحد رواناب تولید کند. بدیهی است به علت افت‌های مختلف در تبدیل بارندگی به رواناب، مقدار رواناب به دست آمده در همان گام زمانی کمتر از

حوضه بدون در نظر گرفتن سه ماه تابستان مشخص کرد که بیشترین کاهش بارندگی در مهرماه اتفاق می افتد. به این صورت که براساس سناریوی A2، مقدار بارندگی ماهانه ۴۵/۳- درصد، ۱۰/۸- میلی متر و طبق سناریوی B1، ۳۴/۵- درصد، ۸/۲- میلی متر کاهش می یابد. همچنین بیشترین و کمترین عدم قطعیت بارندگی فصلی نیز طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ طبق دو سناریو در حوضه در فصل بهار و پاییز رخ داده است. بررسی نتایج مختص به تغییرات بارندگی فصلی صرف نظر از فصل تابستان که بارندگی اندکی را در برمی گیرد نشان می دهد بیشترین کاهش بارندگی طبق دو سناریوی A2 و B1 در فصل پاییز رخ می دهد که به ترتیب ۱۱/۴- درصد، ۱۳/۱- میلی متر و ۸/۱- درصد، ۱۰/۴- میلی متر کاهش می یابد. به طور کلی، می توان نتیجه گرفت که در این دوره مقدار بارندگی ماهانه به استثنای ماه های فروردین، خرداد و آبان در سایر ماه های سال کاهش می یابد. از نظر فصلی نیز به استثنای فصل بهار در سایر فصل ها بارندگی کاهش خواهد یافت.

- عدم قطعیت مدل های اقلیمی HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی A2 و B1 در برآورد بارندگی نتایج بررسی عدم قطعیت برآوردها با در نظر گرفتن ۳ مدل گردش عمومی جو HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نشان دهنده وجود عدم قطعیت های زیادی در برآورد بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه در حوضه است. برای بررسی و تعیین عدم قطعیت از نمودار باکس پلات (نمودار جعبه ای) استفاده شد. بر این اساس، مقادیر حداقل ۲۵ درصد یا چارک اول، ۵۰ درصد یا میانه، ۷۵ درصد یا چارک سوم و بیشترین محاسبه و نمودارهای باکس برای تعیین عدم قطعیت بارندگی در حوضه بررسی شده تهیه و ترسیم شد. بررسی نمودارهای باکس پلات درصد تغییرات بارندگی ماهانه و فصلی حوضه سد اکباتان و مرور جدول ۱ نشان می دهد که طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ بیشترین و کمترین عدم قطعیت ماهانه بارندگی طبق دو سناریو در حوضه در ماه های فروردین و مهر رخ داده است. نتایج بررسی تغییرات بارندگی ماهانه

جدول ۱. درصد تغییرات بارندگی حداقل، چارک اول، میانه، چارک سوم و حداکثر فصلی، ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان

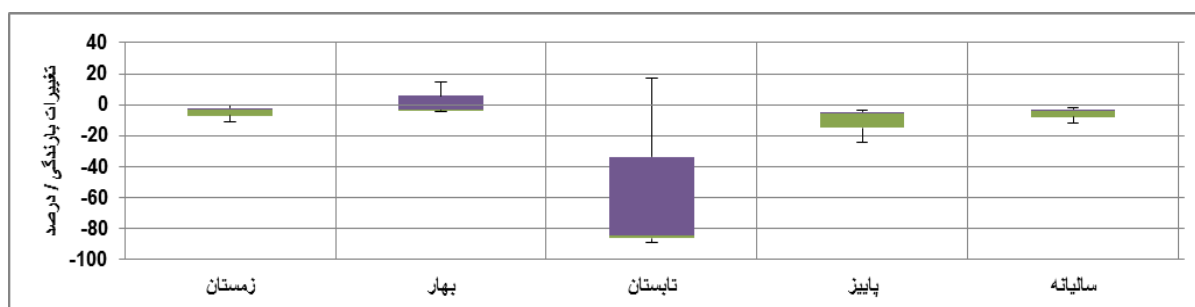
فصل	B1					A2						
	Min	Q1	Median	Mean	Q3	Max	Min	Q1	Median	Mean	Q3	Max
زمستان	-۹	-۸/۳	-۷/۶	-۰/۸	۳/۴	۱۴/۳	-۱۰/۹	-۷/۲	-۳/۵	-۵	-۲/۱	-۰/۷
بهار	-۱۳/۳	-۰/۳	۱۲/۶	۹/۲	۲۰/۴	۲۸/۲	-۴/۶	-۴	-۳/۴	۲/۳	۵/۷	۱۴/۷
تابستان	-۹۰/۱	-۸۵/۲	-۸۰/۳	-۴۵/۷	-۲۳/۵	۳۳/۳	-۸۸/۸	-۸۶/۶	-۸۴/۴	-۵۲/۱	-۳۳/۷	۱۶/۹
پاییز	-۱۷	-۱۲/۱	-۷/۲	-۸/۱	-۳/۶	۰/۰	-۲۴/۸	-۱۵/۲	-۵/۷	-۱۱/۴	-۴/۸	-۳/۹



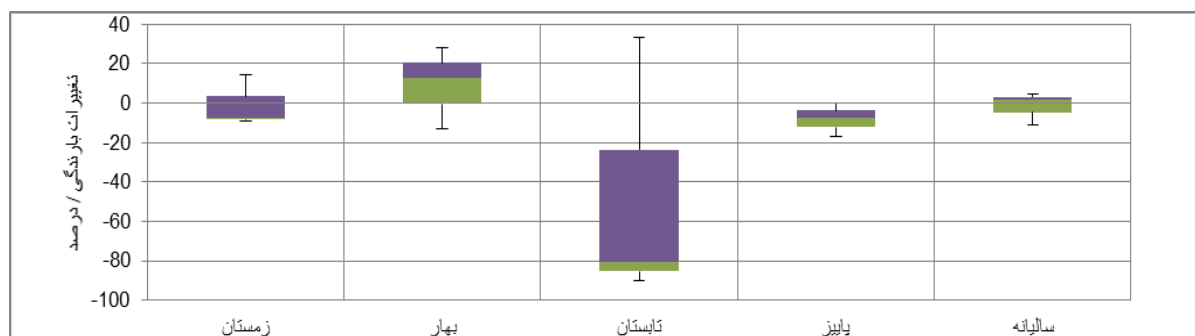
شکل ۳. باکس پلات درصد تغییرات بارندگی ماهانه تحت سناریوی A2، دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان



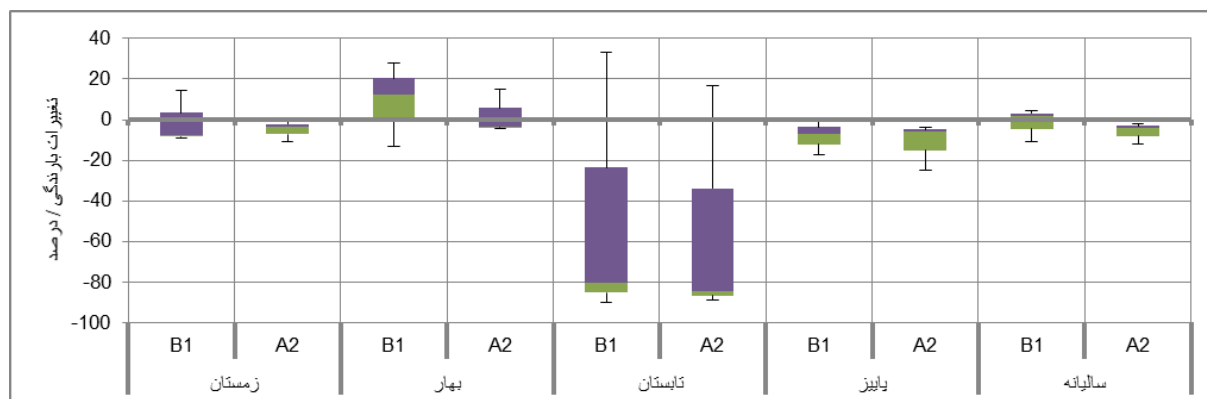
شکل ۴. باکس پلات درصد تغییرات بارندگی فصلی تحت سناریوی A2، دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان



شکل ۵. باکس پلات درصد تغییرات بارندگی فصلی تحت سناریوی B1، دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان



شکل ۶. باکس پلات درصد تغییرات بارندگی فصلی تحت سناریوی B1، دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان

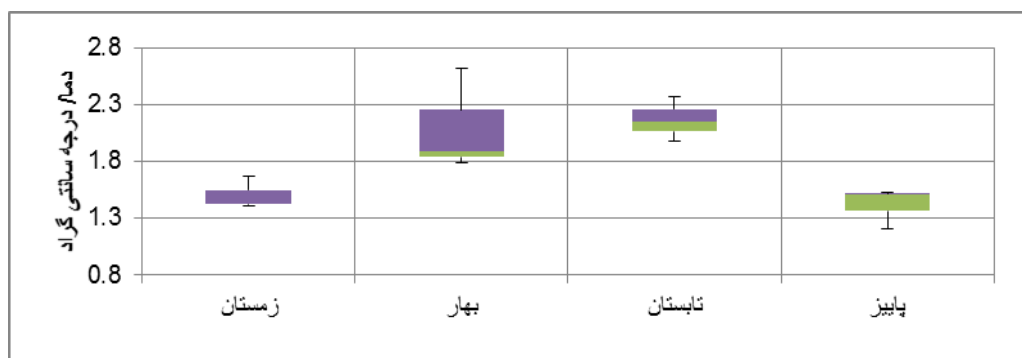


شکل ۷. باکس پلات مقایسه عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی در برآورد بارندگی تحت دو سناریوی A2 و B1 در حوضه سد اکباتان (۲۰۴۵-۲۰۶۵)

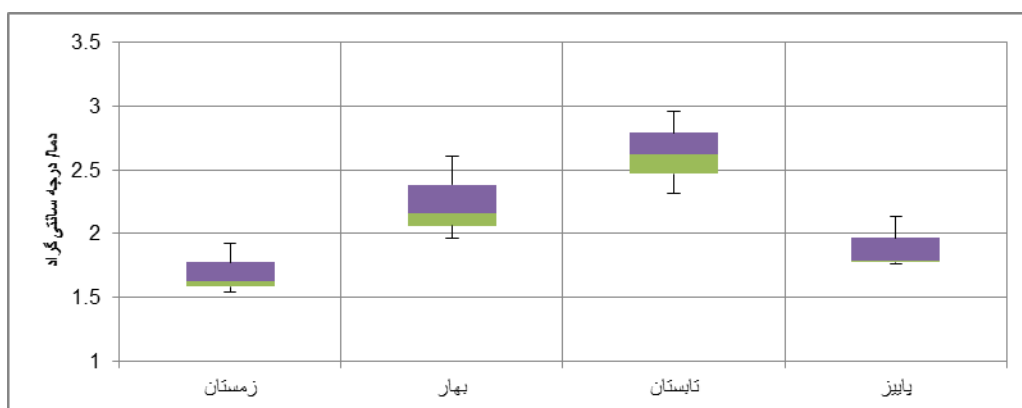
وجود دارد. بر این مبنای، مرور کلی نمودارهای باکس پلات تغییرات دمای فصلی منطقه تحت سناریوی A2 و B1 طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان نشان می‌دهد بیشترین و کمترین عدم قطعیت متوسط دمای فصلی طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ طبق دو سناریو در منطقه در فصل بهار بیش از سایر فصل‌هاست. بررسی نتایج مختص به تغییرات متوسط دمای فصلی نشان می‌دهد بیشترین افزایش دما در فصل تابستان اتفاق خواهد افتاد که طبق سناریوی A2، میزان متوسط افزایش دمای ماهانه ۲/۶۳ درجه سانتی‌گراد و طبق سناریوی B1، ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بررسی کلی نمودارهای باکس پلات تغییرات دمای فصلی منطقه تحت سناریوی A2 و B1 نشان می‌دهد عدم قطعیت برآورد دمای فصلی حوضه طبق سناریوی A2 به‌استثنای فصل بهار کمتر از سناریوی B1 است.

بررسی نمودار باکس پلات مقایسه عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی در برآورد بارندگی تحت دو سناریوی A2 و B1 شکل ۷ نشان‌دهنده وجود عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی در برآورد بارندگی حوضه است. فصل تابستان بیشترین عدم قطعیت بارندگی و در فصل زمستان کمترین عدم قطعیت تحت سناریوی A2 مشاهده می‌شود. همچنین مقدار بارندگی سالیانه نیز بیشترین عدم قطعیت تحت سناریوی B1 در حوضه است.

- عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی A2 و B1 در برآورد متوسط دما
نتایج بررسی عدم قطعیت برآوردها با در نظر گرفتن ۳ مدل گردش عمومی جو HadCM3, MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی A2 و B1 برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نشان می‌دهد عدم قطعیت فراوانی در برآورد متوسط دمای فصلی در حوضه



شکل ۸. باکس پلات تغییرات دمای فصلی منطقه تحت سناریوی A2، دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان



شکل ۹. باکس پلات تغییرات دمای فصلی منطقه تحت سناریوی B1، دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ حوضه سد اکباتان

بررسی توانمندی مدل بارش-رواناب IHACRES در شبیه‌سازی رواناب سطحی

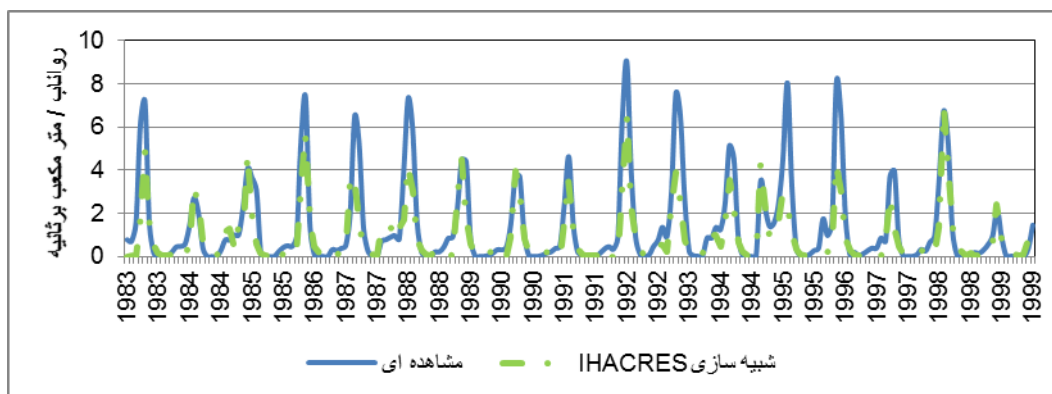
مدل IHACRES از پارامترهای هیدروکلیماتولوژی بارندگی، دما و دبی ماهیانه در شبیه‌سازی رواناب استفاده می‌کند. بنابراین، داده‌های ماهیانه بارندگی و دمای دوره ۱۹۸۳-۲۰۰۹ ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان به‌عنوان متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی جریان و داده‌های مشاهده‌ای دبی ماهیانه دوره ۱۹۸۳-۲۰۰۹ ایستگاه هیدرومتری یلفان در خروجی حوضه برای سنجش دقت مدل IHACRES استفاده شدند. بر این مبنای با تجزیه تحلیل آمار هیدرومتری ایستگاه یلفان خروجی حوضه سد اکباتان دوره آماری ۱۹۸۳-۱۹۹۹ به‌عنوان دوره واسنجی مدل و دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹

۲۰۰۹ به‌عنوان دوره صحت‌سنجی مدل انتخاب شدند. نتایج بررسی در زیرحوضه در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد مدل IHACRES توانایی مناسبی در شبیه‌سازی‌ها دارد (جدول ۱ و شکل‌های ۱۰ و ۱۱). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در منطقه طبق جدول ۲، مدل کارایی مناسبی دارد و ضریب نش در مقیاس ماهانه در دوره واسنجی ۰/۶۸ و دوره صحت‌سنجی ۰/۷۲ است و مقدار قابل قبولی دارد.

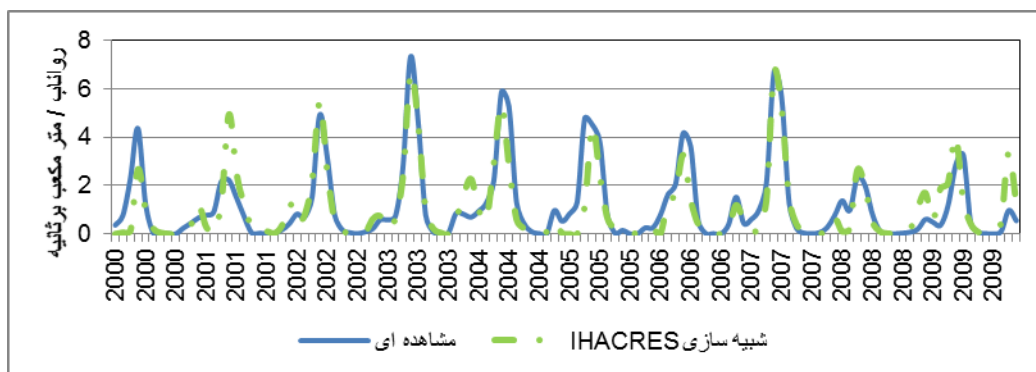
بنابراین، با توجه به ضریب نش می‌توان نتیجه گرفت که مدل توانایی لازم را در برآورد رواناب را دارد و در شبیه‌سازی رواناب در حوضه بررسی شده نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود که مدل عملکرد زیادی در شبیه‌سازی رواناب در حوضه دارد.

جدول ۲. مقادیر ماهانه معیارهای عملکرد در مدل هیدرولوژی IHACRES در برآورد رواناب

نام حوضه	متوسط قدر مطلق خطا	ضریب Sutcliffe - Nash	R ²	دوره	عملیات
یلفان	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۸	۱۹۸۳-۱۹۹۹	واسنجی
	۰/۵۴	۰/۷۲	۰/۷۲	۲۰۰۰-۲۰۰۹	صحت‌سنجی



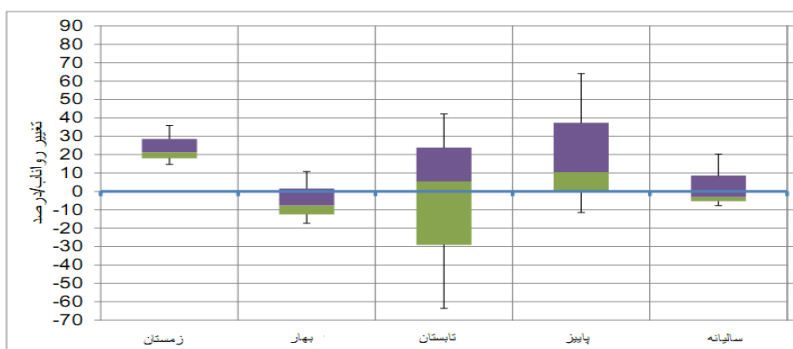
شکل ۱۰. شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه سد اکباتان در دوره واسنجی توسط مدل IHACRES



شکل ۱۱. شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه سد اکباتان در دوره صحت‌سنجی توسط مدل IHACRES

می‌شود که در حوضه سد اکباتان طبق سناریوهای A2 و B1 رواناب از مهرماه تا اسفندماه افزایش می‌یابد و جابه‌جایی منحنی به‌طرف زمستان (چپ) مشهود است که ناشی از کاهش رواناب بهار و افزایش رواناب در فصل زمستان است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود متوسط سالانه رواناب طبق مدل MPEH5 افزایش و بر مبنای سایر مدل‌های اقلیمی مقدار رواناب کاهش می‌یابد. درصد تغییرات رواناب بر مبنای مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار A2 و B1 برای حوضه سد اکباتان در جدول ۳ ارائه شده است.

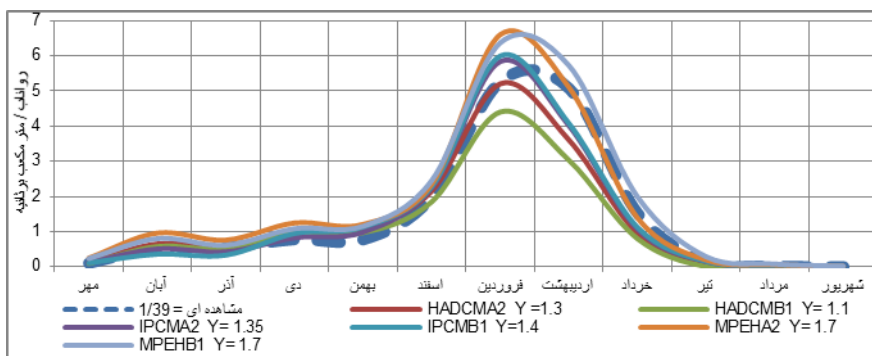
پیش‌بینی رواناب حوضه با استفاده از مدل‌های بارش-رواناب در دوره‌های آتی نتایج بررسی و برآورد مقادیر رواناب سطحی حوضه با استفاده از مدل IHACRES در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ طبق مدل‌های اقلیمی HadCM3، IPCM و MPEH5 تحت سناریوهای تغییر اقلیم A2 و B1 در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد عدم قطعیت زیادی در برآورد رواناب حوضه طبق مدل‌های اقلیمی HadCM3، IPCM و MPEH5 تحت سناریوهای تغییر اقلیم A2 و B1 وجود دارد. براساس شکل ۳ مشاهده



شکل ۱۲. باکس پلات تغییرات رواناب حوضه سد اکباتان تحت سناریوی A2 طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵



شکل ۱۳. باکس پلات تغییرات رواناب حوضه سد اکباتان تحت سناریوی B1 طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵



شکل ۱۴. برآورد هیدروگراف رواناب سطحی زیر حوضه سد اکباتان طبق سناریو و مدل‌های اقلیمی توسط مدل IHACRES

جدول ۳. برآورد درصد تغییرات فصلی رواناب بر مبنای مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار زیرحوضه سد اکباتان با مدل IHACRES

فصل	MPEH5- B1	MPEH5- A2	IPCM- B1	IPCM- A2	HadCM3- B1	HadCM3- A2
زمستان	۰/۴۶	۴/۶۹	۲/۲۳	۷/۲۷	۱/۲۲	-۹/۴
بهار	-۱/۱۷	-۸/۳۱	-۷/۲۹	-۱/۳۵	-۴/۴۹	-۶/۲۳
تابستان	۴۰/۳	-۳/۴۴	-۷/۳۰	-۷/۵۳	-۵/۷۰	-۸/۳۸
پاییز	-۰/۱۵	۳/۳۱	-۷/۷۵	-۷/۵۳	-۹/۳۴	-۰/۴۳
سالانه	-۰/۳	-۰/۶	-۸/۲۱	-۴/۲۴	-۵/۳۳	-۲/۲۱

بر اساس جدول ۳ مشاهده می‌شود که میزان رواناب بر مبنای مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار به استثنای فصل زمستان کاهش و بیشترین کاهش رواناب در فصل تابستان مختص به مدل HadCM3 تحت سناریوی B1 است که ۷۰/۵- درصد کاهش می‌یابد. میزان کاهش رواناب سالانه نیز طبق مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار بین ۳- تا ۳۳/۵- درصد متغیر است. به گونه‌ای که طبق مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 ۲۱/۲- درصد و طبق همین مدل تحت سناریوی B1 ۳۳/۵- درصد کاهش می‌یابد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار نشان از تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه در دوره آتی دارد. مهم‌ترین تأثیرات ناشی از تغییر اقلیم تغییرات آن روی دما، بارندگی و رواناب منطقه است. بررسی بارندگی ماهانه طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ در منطقه تعیین کرد که بیشترین کاهش بارندگی طبق سناریوی A2 در حوضه ۴۵/۳- درصد در مهرماه (۱۰/۸- میلی‌متر) و طبق سناریوی B1 مقدار ۳۴/۵- درصد در مهرماه (۸/۲- میلی‌متر) است. بررسی بارندگی فصلی در همین دوره در منطقه تعیین کرد که بیشترین کاهش بارندگی طبق سناریوی A2 در حوضه ۱۱/۴- درصد در پاییز (۱۳/۱- میلی‌متر) و طبق سناریوی B1، ۸/۱- درصد نیز در پاییز (۱۰/۴- میلی‌متر) و بارندگی سالانه طبق سناریوی A2 میزان ۶/۱- درصد (۲۱/۲- میلی‌متر) و طبق سناریوی B1 مقدار ۱/۴- درصد (۵/۰- میلی‌متر) کاهش می‌یابد. همچنین نتایج مختص به تغییرات متوسط دمای فصلی طی دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ مشخص کرد که طبق سناریوی A2، متوسط افزایش دمای ماهانه ۲/۶۳ درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان و طبق سناریوی B1، ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد نیز در فصل تابستان خواهد بود و

متوسط دمای سالانه طبق دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۲/۱۲ و ۱/۷۹ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. نتایج بررسی و برآورد مقادیر رواناب سطحی حوضه با استفاده از مدل هیدرولوژی IHACRES در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ طبق مدل‌های اقلیمی HadCM3، IPCM و MPEH5 تحت سناریوهای تغییر اقلیم A2 و B1 مشخص کرد که در حوضه طبق اغلب مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی، رواناب از مهرماه تا اسفندماه افزایش می‌یابد و جابه‌جایی و انتقال منحنی هیدروگراف ماهیانه به طرف زمستان (چپ) مشهود است و میزان رواناب در فصل بهار کاهش و در فصل زمستان افزایش می‌یابد. به استثنای فصل زمستان مقدار رواناب در سایر فصول سال کاهش می‌یابد و تغییرات و نوسانات زیادی در برآورد میزان رواناب ماهیانه و سالیانه حوضه با توجه به مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی مختلف وجود دارد.

در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم روی پارامترهای اقلیمی عدم قطعیت‌های مختلفی وجود دارد که می‌تواند اغلب روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌های اقلیمی و سناریوهای اقلیمی را دربرگیرد. با توجه به اینکه در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب عدم قطعیت‌های مختلفی بر نتایج نهایی مؤثرند و در نظر گرفتن هر یک از آنها نتایج نهایی اطمینان لازم را نخواهد داشت، در این تحقیق عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی HadCM3، MPEH5 و IPCM4 تحت سناریوی A2، B1 در بررسی بارندگی، دما و رواناب برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ ارزیابی شدند. نتایج شبیه‌سازی و برآورد مدل هیدرولوژیکی نشان می‌دهد در دوره آینده مقدار بارندگی ماهیانه کاهش و دما افزایش می‌یابد که نظر بابائیان (۱۳۸۵) و عباسپور را تأیید می‌کند. هیدروگراف ماهانه رواناب در حوضه بررسی شده نسبت به دوره پایه تغییر خواهد کرد و جابه‌جایی و انتقال به طرف زمستان را نشان می‌دهد و شاهد جابه‌جایی پیک جریان به سمت زمستان (چپ) خواهیم بود و

- Agricultural Science and Technology (JAST). 2015; 15 (38) :31-47. [Persian]
- [6]. Modaresi F, Araghinejad Sh, Ebrahimi K, Kholgh M. Assessment of Climate Change Effects on the Annual Water Yield of Rivers, A Case Study of Gorganroud River, IRAN. Journal of Water and Soil. 2012 ; Vol. 25, No. 6, Jan-Feb, p. 1365-1377 [Persian].
- [7]. Ghasemi E, Fattahi E, Babaie O. Impact of Climate Change on feature runoff Approach to uncertainty of AOGCMs. Arid Regions Geographic Studies. 2013; 4 (13) :37-53. [Persian]
- [8]. Ghorbanizadeh Kharaz H, Sedghi H, Saghafian B, Porhemmat J. Study on the Effect of Climate Change on Snowmelt Runoff Timing in Karoon Basin. jwmseir. 2010; 3 (9):45-50. [Persian]
- [9]. Taei Semiromi S, Moradi H R, Khodagholi M. Evaluation Change in Nayshabour Bar River flow Under Differents Climate Change Scenarios. 2014 ; Journal of Human and Environment .Volume 12, Issue 2, Summer, Page 1-19. [Persian]
- [10]. Kamal AR, Massah Bavani AR. Climate Change and Variability Impact in Basin's Runoff with Interference of Tow Hydrology Models Uncertainty Journal of Water and Soil. 2010; Vol. 24, No. 5, Nov-Des, p. 920-931. [Persian]
- [11]. Goudarzi M , Boroumand S , Asaad H. Study on Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes Case Study: Urmia Lake Basin , Iranian Journal of Ecohydrology 2015; Volume 2, Issue 2, Summer, Page 175-189. [Persian]
- [12]. Massah Bavani AR, Morid S. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin. JWSS. Isfahan University of Technology. 2006; 9 (4) :17-28. [Persian]
- [13]. Mozayyan M, Akhoond Ali AM, Massah Bavani AR, Radmanesh F, Zohrabi N. The Impact of Climate Change on Low Flows (Case Study: Sepid Dasht Sezar) Volume & Issue: Journal of irrigation science and engineering. 2015 ; Volume 38, Issue 2, Autumn. [Persian]
- [14]. Abbaspour K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S. and Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. Water Resources Research. 45(10): p. W10434.
- [15]. Croke, B. F. W. & Jakeman, A. J. (2004), A catchment moisture deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model, Environmental Modelling & Software, 19, 1-5.
- [16]. Chang H, Jung I.W. 2010. Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex larger river basin in Oregon. Journal of Hydrology 388(3-4): p. 186-207.
- جریان رودخانه در ماه اسفند با افزایش مواجه خواهد شد، اما در فصل بهار جریان رودخانه کاهش خواهد یافت. این جابه‌جایی ناشی از افزایش دما در فصل زمستان و تغییر نوع بارش از برف به باران و همچنین ذوب زود هنگام ذخایر برفی در بالادست حوضه در قسمت‌های کوهستانی است. بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در نظر نگرفتن عدم قطعیت مدل‌های اقلیمی تأثیر زیادی بر رواناب و بارش حوضه تحت تأثیر اقلیم خواهد داشت. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات کمال و همکارانش (۱۳۹۰)، آذری و همکارانش (۱۳۹۲)، قاسمی و همکارانش (۱۳۹۲)، حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴)، مدرسی و همکارانش (۱۳۹۰) و مساح بوانی و همکارانش (۱۳۸۴) انطباق دارد.
- بنابراین، بررسی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی نشان‌دهنده وجود عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی در برآورد دما، بارندگی و رواناب در حوضه است و می‌توان مدل‌های اقلیمی را به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع عدم قطعیت در مطالعات اثر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی قلمداد کرد و در تحقیقات آتی باید سعی در ارزیابی و مدیریت بیشتر منابع عدم قطعیت معطوف کرد.

منابع

- [1]. Azari M , Moradi HR, Saghafian B, Faramarzi M. Assessment of Hydrological Effects of Climate Change in Gorganroud River Basin. Journal of Water and Soil ,Vol. 27, No.3, Jul. Agu. 2013; p. 537-547. [Persian]
- [2]. Babaiya A, Najafinik Z. Introducing and evaluation of Lars Model for modelling of meteorological parameters in Khorasan province during 1961-2003. Neyvar magazine, 2006; 62 and 63 (fall and winter (2006-2007)): p. 49-65. [Persian]
- [3]. Sohrabian E, Meftah Halaghi M, Ghorbani Kh, Golian S, Zakerinia M. Effects of climate change on runoff from rainfall ,Case study. Galikesh Watershed in Golestan. J of Water and Soil Conservation. 2015; Vol. 22(2). [Persian]
- [4]. Ashofteh P, Massah Bouani A R. Impact of Climate Change on Maximum Discharges: Case Study of Aidoghmoush Basin, East Azerbaijan. JWSS - Isfahan University of Technology. 2010; 14 (53) :28-38. [Persian]
- [5]. Hejazizadeh Z, Ashofteh P S, Fatahi E, Gholampour Z. Analysis of Streamflow Changes under Climate Change Using Rainfall-Runoff Model in the Kor River Basin. Journal of

- [17]. Gosain A., Rao S., Basuray D. 2006. Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. *Current Science*, 90(3):p. 346-353.
- [18]. Hamlet, A.F. and Lettenmaier D.P. 2007. Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western U.S. *Water Resour. Res.*, 43(6): p. W06427.
- [19]. Hadley, C. 2006. Effect of climate change in the developing countries. UK Meteorological Office.
- [20]. Jakeman AJ, Hornberger GM (1993) How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resour Res* 29(8):2637-2649.
- [21]. Littlewood, I. G. (2002), Improved unit hydrograph characterisation of the daily flow regime (including low flows) for the River Teifi, Wales: towards better rainfall-streamflow models for regionalisation, *Hydrology and Earth Sciences*, 6 (5), 899-911.
- [22]. Pruski F.F. Nearing M.A. 2002. Runoff and soil-loss responses to changes in precipitation: A computer simulation study. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(1): p. 7-16.
- [23]. Roeckner, E. 2003. "The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Simulated climatology and comparison with observations". Report No.349, Max-Planck-Institute for Meteorology, Hamburg.
- [24]. Semenov, M.A., Donatelli, M., Stratonovitch, P., Chatzidaki, E. and Baruth, B., 2010, ELPIS: a Dataset of Local-Scale Daily Climate Scenarios for Europe, *Journal of Climate Researches*, Vol. 1, No. 44, PP. 3-15.
- [25]. Senatore A., Mendicino G., Smiatek G. Kunstmann H. 2011. Regional climate change projections and hydrological impact analysis for a Mediterranean basin in Southern Italy. *Journal of Hydrology* 339:70-92.
- [26]. Turley, Marianne, E. David Ford. 2009. Definition and calculation of uncertainty in ecological process models. *Ecological Modelling* 220 (2009) 1968-1983. pp 1969-1983.
- [27]. Ye, W., B. C. Bates, N. R. Viney, M. Sivapalan and A. J. Jakeman 1997, 'Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments', *Water Resources Research*, vol 33, pp 153-16.
- [28]. Zarghami, M. Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoff in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78(3-4): p. 137-146.