

جفت کردن مدل ریز مقیاس‌نمایی اقلیمی SDSM با WMS در

پیش‌بینی رواناب حوضه آبریز خوانسار هرات تحت شرایط تغییر اقلیم آینده

مصطفی کریمی^۱، استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

محمدرضا عارف، دانش‌آموخته دکتری تغییر اقلیم، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده

مدل‌های ریزمقیاس، نمایی در پیش‌بینی عناصر اقلیمی دارای کاربرد اساسی است. یکی از کاربردهای نتایج ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی هوا^۱ (GCM)، استفاده در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز است. بدین منظور در این تحقیق از داده‌های بارندگی ایستگاه باران سنجی مشکان در دوره مشاهداتی ۱۹۷۱-۲۰۱۰ و دوره نرمال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ استفاده و شرایط تغییر اقلیم آینده با مدل SDSM و داده‌های HadCM3^۳ با سناریو A2 در حوضه آبریز خوانسار یزد ریزمقیاس‌نمایی گردید. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و پیش‌بینی رواناب حوضه در دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده از نرم‌افزار WMS^۴ و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS^۵ انجام گرفت. نتایج نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه بارندگی در دوره پیش‌بینی دارای افزایش ۶ درصدی نسبت به دوره نرمال بوده، اما میزان رواناب حوضه از ۱۹/۳ میلیون متر مکعب در دوره ۳۰ ساله (نرمال اقلیمی) - ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰، به ۱۷/۴ میلیون متر مکعب در دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ می‌رسد که حدود ۹ درصد کاهش دارد. بیشتر کاهش رواناب به ماه‌های فصل بهار اختصاص داشته که این کاهش ناشی از اثرات تغییر در توزیع زمانی بارش است.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، حوضه آبریز، HEC-HMS، رواناب.

Mostafakarimi.a@ut.ac.ir

۱- نویسنده مسئول :

¹Global circulation model

²Statistical Downscaling Model

³Hadley Centre Coupled Model, version 3

⁴Water Modeling system

⁵Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling system

مقدمه

یکی از مهم‌ترین اثرات تغییر اقلیم در چرخه هیدرولوژی، تغییر در وضعیت کمی و کیفی منابع آب است. در تغییرات اقلیمی همه عناصر ایجاد کننده اقلیم متأثر خواهند شد، اما بارندگی و دما از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. به گونه‌ای که تغییر اقلیم مدیریت فعلی و آینده منابع آب را به چالش کشیده است (وانگ و زانگ، ۲۰۱۵). پیش‌بینی صحیح و دقیق تغییرات بارش و دما می‌تواند شرایط محیطی و زیستی آینده را به خوبی ترسیم نماید. تاکید IPCC (IPCC، ۲۰۰۷) مبنی بر افزایش دمای کره زمین و سرنوشت آینده محیط طبیعی، نگرانی‌های زیادی را به وجود آورده است. بدین لحاظ داده‌های مدل‌های جهانی اقلیمی و ریز مقیاس کردن آنها آنگاه دارای ارزش واقعی است که اولاً دارای دقت لازم بوده و ثانیاً بتوان از نتایج آن در پیش‌بینی شرایط محیطی استفاده کرد. در صورت پیش‌بینی صحیح بارش می‌توان شرایط و وضعیت اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و منابع آب را پیش‌بینی و براساس آن برای آینده مناطق برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح نمود. اقدامی که امروزه نیاز مبرم مناطق زیستی بخصوص برای مناطق خشک با توجه به رشد جمعیت، تکنولوژی و بهره‌برداری گسترده از طبیعت به شمار می‌رود. طبق پیش‌بینی‌های به عمل آمده توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، میزان کاهش بارندگی در خاورمیانه تا سال ۲۰۲۰ به میزان ۲۰ درصد و کاهش منابع آب تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۲ درصد پیش‌بینی شده است (خسروی، اسمعیل‌نژاد و نظری‌پور، ۱۳۸۹). همچنین در مطالعات انجام شده بر روی رودخانه زاینده رود، کاهش بارندگی بین ۱۰ تا ۱۶ درصد پیش‌بینی شده که در اثر آن کاهش جریان سطحی ۵/۸ درصدی را به دنبال خواهد داشت (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴) و این کاهش تولیدات کشاورزی را متأثر خواهد کرد (مساح بوانی، مرید و هاشموند، ۱۳۸۴). در تحقیقی کاهش رواناب تا ۸۸ درصد نیز برآورد گردیده است (منتظری و فهمی، ۱۳۸۸). میانگین کاهش بارش کشور براساس خروجی مدل ECHO-G حدود ۹ درصدی پیش‌بینی

گردیده که استان گیلان با ۱۱ درصد بیشترین افزایش و استان خوزستان با ۵۶ درصد بیشترین میزان کاهش بارندگی را داشته است (بابائیان، ۱۳۸۶). نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان با مدل LARS-WG حاکی از سیر نزولی حجم آبخوان با توجه به تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر منابع و مصارف محدوده دشت رفسنجان بود (کارآموز، ابولپور و نظیف، ۱۳۹۰). همچنین ارزیابی طرح‌های توسعه‌ای آینده تحت شرایط اقلیم بررسی و مشخص شد که در حوضه قزل-اوزن، طرح‌های ناحیه گیلان از حساسیت بیشتری در آینده برخوردار خواهند بود (زارع زاده و مرید، ۱۳۹۱).

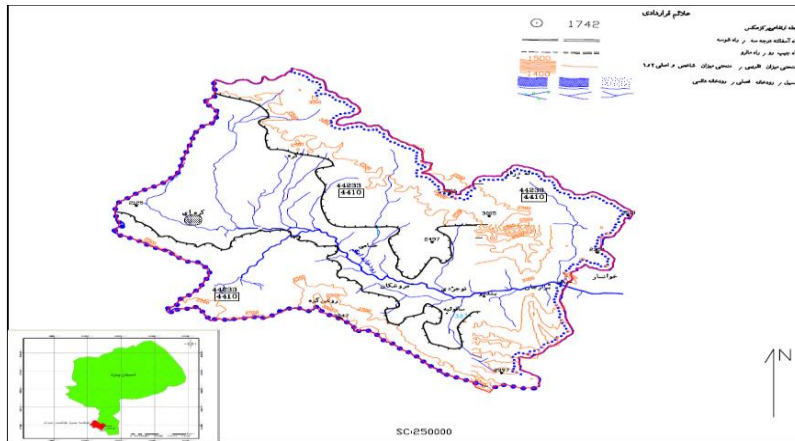
بدیهی است از مشکلات اساسی بشر در آینده تامین آب برای شرب، صنعت و کشاورزی است که در شرایط فعلی نیز مشکلات و کمبود آن بخصوص در زمینه آب شرب کاملاً احساس می‌شود (پاپاداس لاپولو، کاتسو و والتا، ۲۰۱۵، زائو و دپینگ زو، ۲۰۱۶، شمیر، ۲۰۱۵). بنابراین توجه به مدیریت منابع آب به عنوان یک هدف استراتژیک برای حال و آینده ضروری است. براین اساس پیش بینی بارندگی برای دوره‌های ۳۰ تا ۱۰۰ ساله می‌تواند در ترسیم شرایط هیدرولوژیکی و تامین آب آینده مناطق بخصوص برای مناطق خشک و کم باران کمک شایانی نماید. بکارگیری نتایج مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی جهت پیش بینی بارندگی و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، امکان برآورد میزان آب تجدید شونده و قابل دسترس را برای دوره‌های آتی فراهم می‌سازد. بررسی‌ها نشان می‌دهد پژوهش‌های متعددی در زمینه پیش بینی رواناب حوضه‌های آبریز با استفاده از مدل‌های اقلیمی انجام شده که می‌توان بررسی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه (خسروی، اسمعیل نژاد و نظری پور، ۱۳۸۹)، اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴)، تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه زرینه رود (افراز و مساح بوانی، ۱۳۸۴)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریانات ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از مدل ریزمقیاس SDSM (فاخری‌فرد، احمدی و رومیانفر، ۱۳۹۰)، ریزمقیاس‌نمایی دینامیک بارش و

برآورد رواناب در حوضه های رودخانه ای (بات و ماک، ۲۰۱۵)، تأثیر پذیری آبخوان ها از تغییر اقلیم (زائو و دیپنگ زو، ۲۰۱۶)، اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه لتیان (فرج زاده، لشکری و رفعتی، ۱۳۸۸) و عارف و علیجانی (۱۳۹۶) بررسی تغییرات دما و بارش حوزه آبخیز یزد - اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده را نام برد. همچنین تحقیقاتی در زمینه شبیه‌سازی رواناب و تغییرات هیدرولوژیکی حوضه رودخانه اعظم هرات متأثر از تغییر اقلیم توسط الهه گودرزی در سال ۱۳۸۹ انجام شده که در آن موضوع تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه مورد تحقیق بررسی شده است. اما در پژوهش حاضر علاوه بر بررسی میزان تأثیر تغییر اقلیم، رواناب حوضه نیز پیش بینی و با دوره نرمال مقایسه گردیده که اولین پژوهش کاربردی مدل های اقلیمی در حوضه های آبریز استان یزد با سناریو A2 محسوب می گردد. سناریو A2 مبتنی بر جهانی نامتناجس، تمرکز بر خودکفایی، حفظ ماهیت های محلی، روند پیوسته رشد جمعیت و همچنین تفاوت بر روند توسعه اقتصادی و میزان درآمد سرانه تعریف شده است. بنابراین در تحلیل داده‌ها بررسی موضوع بر پایه کاربردی نمودن اثرات تغییر اقلیم بر میزان جریان سطحی یکی از حوضه‌های آبریز مناطق خشک هدف گذاری شده است.

داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبریز خوانسار در شهرستان خاتم در بخش جنوبی استان یزد و در ۳۵ کیلومتری غرب شهر هرات واقع شده است (شکل ۱). حوضه مذکور از ارتفاعات آقا حسینی مربوط به ارتفاعات دامنه های شمالی زاگرس در شرق استان فارس سرچشمه گرفته و تا روستای بند پائین که ۱۰۸۴ کیلومترمربع مساحت دارد در استان فارس و پایاب آن در استان یزد واقع شده است. رودخانه اعظم، شاخه اصلی حوضه بوده که چندین شاخه فرعی دیگر تا محل بند پائین به آن متصل و پس از عبور از روستای خوانسار با جهت غرب به شرق در نهایت به کویر هرات ختم می‌گردد. در محل روستای خوانسار سد مخزنی هرات در دست احداث است که با اتمام آن جریانات

سطحی به ویژه سیلاب‌های حوضه را با هدف استفاده بهینه در شرب و توسعه کشاورزی منطقه، مهار و ذخیره می‌کند.



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبریز خوانسار در استان‌های یزد و فارس

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، ویژگی‌های فیزیکی حوضه محاسبه و استخراج گردید که خلاصه نتایج پارامترهای حوضه به شرح جدول ۱ می‌باشد. براساس آن ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۱۶ متر، طول آبراهه اصلی ۷۲ کیلومتر و شیب آن ۱/۸ درصد است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبریز خوانسار (اعظم)

مساحت (km ²)	محیط (km)	حداقل ارتفاع (m)	حداکثر ارتفاع (m)	ارتفاع متوسط (m)	طول آبراهه (km)	شیب آبراهه (%)	زمان تمرکز (hr)
۱۰۸۴	۲۶۳/۳	۱۹۳۰	۳۲۴۷	۲۷۱۵/۵	۷۲	۱/۸	۵/۱۷

ایستگاه هیدرومتری بند پائین با مختصات طول جغرافیایی ۵۴/۰۹ و عرض جغرافیایی ۲۹/۹۳ در ارتفاع ۱۹۳۰ متر در سال ۱۳۵۹ احداث گردیده که با دارا بودن

تجهیزاتی مانند اشل، لیمنگراف و پل تلفریک از نوع هیدرومتری درجه ۱ محسوب می‌شود. ایستگاه مذکور اخیراً مجهز به سیستم ثبت الکترونیکی گردیده که تغییرات سطح آب رودخانه و سیلاب‌ها را به صورت خودکار ثبت می‌کند. همچنین در سال ۱۳۵۹ ایستگاه باران سنجی معمولی در روستای بند پائین با مختصات طول جغرافیایی ۵۴/۰۸ و عرض جغرافیایی ۲۹/۹۳ در ارتفاع ۱۹۵۷ متری احداث و پس از آن یک دستگاه باران سنجی ثابت توسط وزارت نیرو در کنار آن نصب گردیده است. خلاصه آمار موجود بارندگی و دبی ماهیانه ایستگاه بندپائین مطابق جدول‌های ۲ و ۳ می‌باشد.

جدول ۲. آمار بارندگی ماهیانه در محل ایستگاه بند پایین برحسب میلی‌متر

(دوره آماری ۶۱-۱۳۶۰ تا ۹۲-۱۳۹۱)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه
حداقل	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰/۲
حداکثر	۱۴	۳۱/۵	۲۳۸	۱۰۲/۵	۱۰۸	۱۲۰/۵	۷۸	۵۵	۵۰	۰	۹	۰	۳۲۱
میانگین	۰/۷	۴/۳	۳۶/۵	۳۶/۲	۳۷/۱	۳۱/۹	۲۸/۳	۹/۶	۲/۷	۰	۰/۶	۰	۱۸۷/۸
انحراف معیار	۲/۹	۸/۱	۵۰/۹	۲۷/۵	۲۸/۳	۲۶/۷	۲۲/۸	۱۲/۷	۹/۵	۰	۱/۹	۰	۷۱
دوره آماری	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲

طبق آن متوسط بارندگی سالیانه ایستگاه بند پائین ۱۸۷/۸ میلی‌متر و متوسط دبی سالیانه آن ۰/۶۱ مترمکعب در ثانیه و حجمی معادل ۱۹/۲۵ میلیون متر مکعب در سال است.

جدول ۳. دبی ماهیانه رودخانه اعظم در محل ایستگاه بند پایین به مترمکعب در ثانیه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالیانه	حجم
حداقل	۰	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۱/۸
حداکثر	۱/۲	۱	۶/۱	۴/۲	۳/۴	۷/۸	۴/۲	۲/۲	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۱/۹	۵۸/۵
میانگین	۰/۴	۰/۴	۰/۸	۰/۸	۱/۱	۱/۴	۰/۹	۰/۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۶	۱۹/۲
انحراف معیار	۰/۳	۰/۲	۱/۲	۰/۸	۰/۸	۱/۹	۰/۹	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۱۳/۹

به دلیل کوتاه مدت بودن دوره آماری ایستگاه باران سنجی بندپائین برای دوره نرمال اقلیمی از آمار بارندگی ایستگاه مشکان با طول جغرافیائی ۵۴/۳۲، عرض جغرافیائی ۲۹/۶۳ درجه و ارتفاع ۲۲۱۵ متر که در مجاور ایستگاه بندپائین قرار گرفته و دارای همخوانی آماری با ایستگاه بندپائین می‌باشد، استفاده شده است. جدول شماره ۴ خلاصه پارامترهای آمار موجود بارندگی ایستگاه مشکان را نشان می‌دهد. بر اساس آن متوسط بارندگی ایستگاه مشکان ۲۷۶/۷ میلی‌متر در سال است. پیش بینی بارندگی از مدل SDSM برای ایستگاه مشکان انجام شده، ولی در بررسی‌های هیدرولوژیکی می‌بایست از آمار ایستگاه بندپائین استفاده کرد. بنابراین همخوانی و همبستگی داده‌های بارندگی ایستگاه های مشکان و بندپائین در دوره آماری مشترک به روش جرم مضاعف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن طبق شکل ۲ بیانگر همخوانی داده‌های بارندگی دو ایستگاه مذکور می‌باشد.

جدول ۴- آمار بارندگی ماهیانه ایستگاه مشکان به میلی‌متر (سال آبی ۵۲-۱۳۵۱ تا ۸۹-۱۳۸۸)

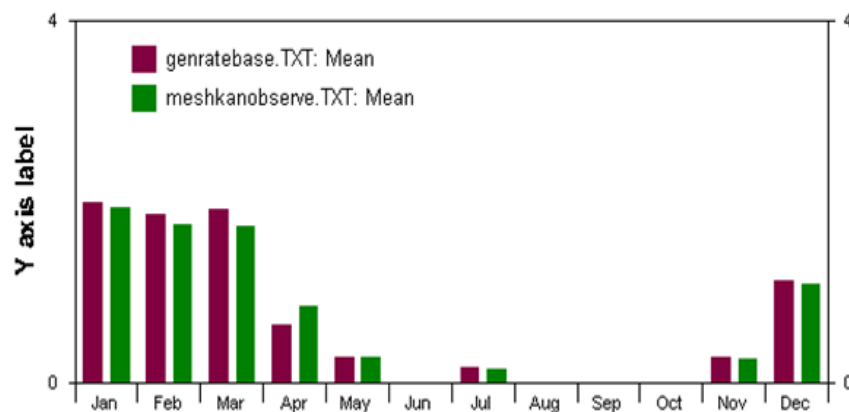
ماه	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م
حد اقل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حد اکثر	۲	۱۷۹/۵	۲۰۶	۱۶۶/۵	۲۳۷/۵	۱۱۲	۷۷	۷	۵۶	۲۲	۲۴	۵۳۶	۰
میانگین	۰/۱	۹/۲	۴۰/۸	۶۱/۲	۵۳/۷	۳۵	۱۵/۱	۰/۶	۳/۷	۲/۴	۱/۲	۲۷۶/۷	۰
انحراف معیار	۰/۳	۱۴/۴	۴۲/۷	۴۶/۸	۴۲/۳	۳۲/۳	۲۱/۸	۱/۷	۱/۶	۵/۲	۴/۳	۱۰۲	۰

با استفاده از داده‌های مدل HadCM3 با سناریو A2 و ریزمقیاس‌نمایی در مدل SDSM، داده‌های بارندگی برای ایستگاه مشکان در دوره آتی تولید گردید. به دلیل اینکه در شبیه‌سازی وضعیت جریان سطحی حوضه رودخانه اعظم دوره آماری ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ مد نظر بوده، نتایج مدل برای داده‌های بارندگی در دوره یاد شده استخراج گردید.

محاسبه رواناب حوضه آبریز خوانسار در محیط WMS با گزینه Hydrologic Modeling Module و با ورود و ذخیره سازی اطلاعات حوضه در محیط HEC-HMS، مدل طراحی و در نهایت اجرا گردید. همچنین با استفاده از نرم افزار WMS محدوده حوضه آبریز تفکیک و ویژگی‌های فیزیکی آن استخراج شد. در گام بعدی با اجرای مدل هیدرولوژیکی محاسبات دبی و حجم جریان انجام گرفت. بدین ترتیب رواناب حوضه بندپایین بر مبنای بارش پیش بینی شده که به مدل داده شد، برای دوره آبی برآورد گردید.

نتایج و بحث

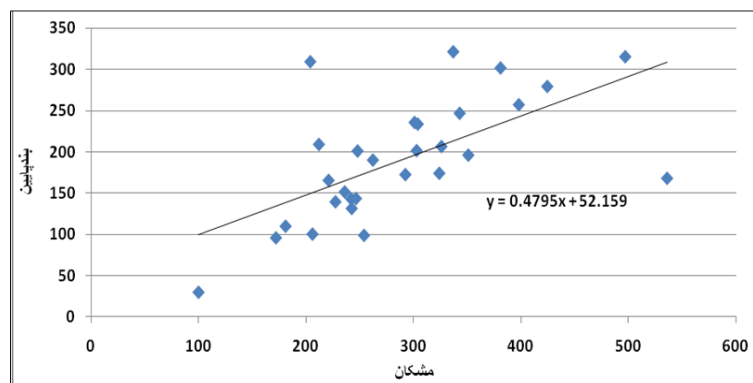
پس از این که داده‌های بارندگی ایستگاه مشکان در مدل SDSM کالیبره و ریز مقیاس نمایی شد، آمار بارندگی ایستگاه بندپایین برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ برآورد شد. مقایسه تغییرات بارندگی ماهیانه ایستگاه مشکان در دوره مشاهداتی و تولید شده توسط مدل در شکل ۲ آمده است



شکل ۲. نتایج کالیبراسیون داده‌های مشاهداتی و تولید شده ایستگاه مشکان در مدل

SDSM

طبق محاسبات به عمل آمده متوسط بارندگی ایستگاه مشکان که در دوره آماری نرمال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ معادل ۲۷۶/۷ میلیمتر بوده، در مدل SDSM ۲۴۹ میلیمتر برآورد شده است. متوسط بارندگی ایستگاه مشکان برای سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ نیز ۲۷۶/۷ میلیمتر پیش بینی شده که ضریب خطای مدل مربوط به آمار دوره مشاهداتی ۱۰ درصد است. در نتیجه با اعمال ضریب خطای ۱۰ درصد، متوسط بارندگی سالیانه ایستگاه مشکان ۳۰۴/۴ میلیمتر برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱-۲۰۴۰ محاسبه و پیش بینی گردید. رابطه بارندگی سالیانه بین دو ایستگاه بند پایین و مشکان محاسبه گردید که به صورت $y=0.4795x+52.16$ با ضریب همبستگی ۰/۶۳ مطابق شکل ۴ است.



شکل ۳. رابطه بارندگی سالیانه ایستگاه بندپایین با ایستگاه مشکان (میلیمتر)

براین اساس میزان بارندگی ایستگاه بندپایین برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ معادل ۱۹۸/۱ میلیمتر می‌باشد که افزایش حدود ۶ درصدی را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. این افزایش به اوایل فصل زمستان اختصاص دارد و حتی در این دوره از بارندگی ماه‌های فصول پاییز و بهار کاسته شده است. بنابراین اگرچه در دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ بر میزان بارندگی افزوده شده، اما توزیع زمانی بارش تغییر کرده است. تحقیقات انجام شده مشابه در حوضه زرینه رود در غرب کشور نیز موید کاهش

رواناب در سه ماهه فصل بهار می‌باشد (افراز، مساح بوانی و هوشمند، ۱۳۸۴). پس از آن با فرض ثابت بودن نسبت تغییرات بارندگی سالیانه، برای بارندگی روزانه در دوره پیش‌بینی شده، ضریب تصحیح $0/62$ (نسبت بارندگی سالیانه دو ایستگاه) است که با اعمال آن مقادیر بارندگی روزانه ایستگاه بندپائین محاسبه گردید. بدین ترتیب نتایج به دست آمده برای محاسبات پیش‌بینی رواناب حوضه خوانسار به کار گرفته شد. همچنین با استفاده از آمار روزانه ایستگاه بندپائین مقادیر بارندگی ماهیانه آن محاسبه شد که نتایج مربوطه در جدول ۵ ملاحظه می‌شود.

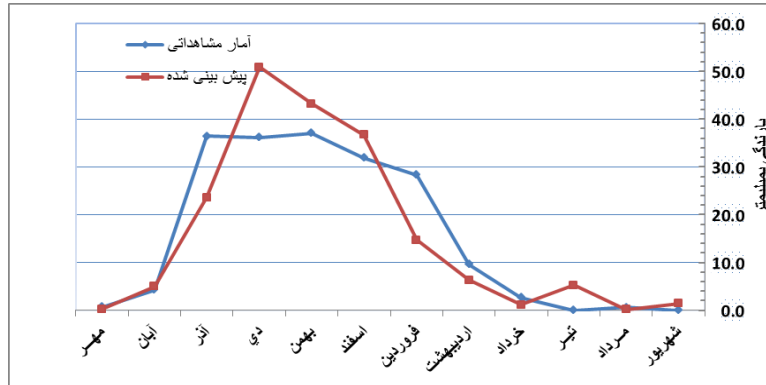
جدول ۵- مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه ایستگاه مشکان و بندپائین در دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰

(mm)

نام ایستگاه	م	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مرداد	شهریور	مهر	سالیانه
مشکان	۰/۴	۷/۴	۶/۶	۷/۷	۷/۷	۹/۳	۱۵	۲۱	۱۸	۱۳	۷	۲۷۶
موجود بندپائین	۰/۷	۳۱	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۱۸۷
بندپائین ۲۰۱۱-۲۰۴۰	۰/۳	۵	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۲۳	۱۸۸

تغییرات بارندگی سالیانه و ماهیانه ایستگاه بندپائین در دوره مشاهداتی و دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ به صورت مقایسه‌ای در

شکل ۴ نشان می‌دهد بیشترین افزایش بارندگی در ماه‌های دی و بهمن و بیشترین کاهش در ماه‌های فصل بهار است. این تغییرات بیانگر کم باران‌تر شدن ماه‌های کم باران و طولانی‌تر شدن دوره خشک می‌باشد.

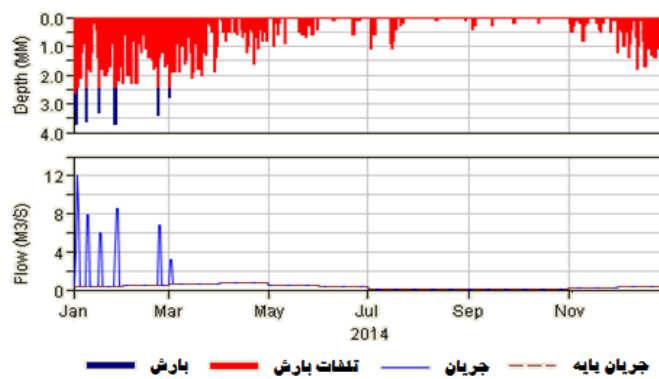


شکل ۴. مقایسه بارندگی ایستگاه بند پایین در دوره مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده به میلی‌متر

در نتیجه بارندگی و حجم رواناب حوضه به صورت روزانه برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ از مدل استخراج گردید که خلاصه نتایج آن در جدول ۶ آمده است. شکل ۶ تغییرات حجم رواناب حوضه آبریز خوانسار را در دوره آتی نشان می‌دهد.

جدول ۶. خلاصه نتایج محاسبات هیدرولوژیکی رواناب حوضه آبریز خوانسار در دوره آتی

مساحت (km ²)	دبی اوج (m ³ /s)	زمان دبی اوج	حجم (۱۰۰۰ m ³)
۱۰۸۴	۱۲	۲۰۱۴/۰۳/۰۱ ۱۲:۰۰	۱۷۶۵۳/۳



شکل ۶. خلاصه نتایج محاسبات حجم رواناب حوضه آبریز خوانسار

جدول ۸ میزان حجم جریان سطحی ماهیانه و سالیانه ایستگاه بندپایین برای دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ را نشان می‌دهد. طبق آن رواناب حوضه در ماه دی بطور قابل توجه و در بهمن کمی افزایش، ولی در ماه‌های فصل بهار کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. تغییرات مقایسه‌ای حجم جریان سطحی ماهیانه ایستگاه بندپایین در شکل ۷ ترسیم شده است.

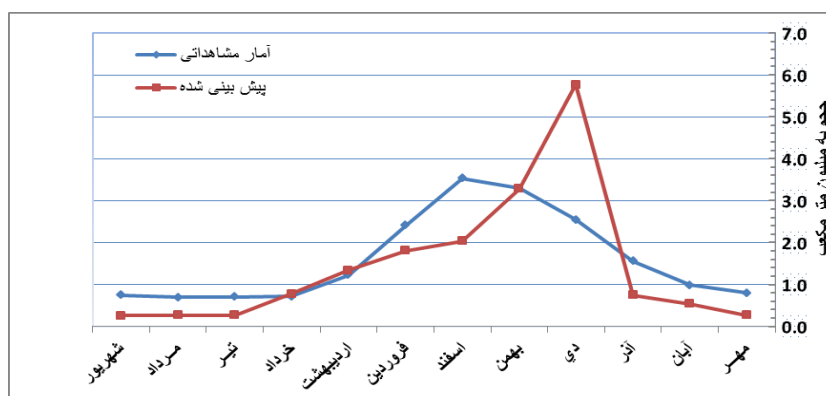
نتایج محاسبات مربوط به رواناب حوضه آبریز خوانسار نشان می‌دهد متوسط بارندگی بندپایین در دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ معادل $۱۸۸/۳$ میلیمتر است که $۶/۶$ میلیمتر آن تبدیل به رواناب شده و با توجه به $۹/۴$ میلیمتر مربوط به دبی پایه، مجموع ارتفاع بارندگی منتج به رواناب حوضه ۱۶ میلیمتر است. براساس آن متوسط حجم رواناب حوزه تحقیق در دوره مذکور $۱۷/۳۶$ میلیون متر مکعب در سال پیش بینی گردیده است.

بنابراین حجم رواناب حوضه از $۱۹/۳$ میلیون متر مکعب در دوره مشاهداتی به $۱۷/۴$ میلیون متر مکعب برای دوره ۳۰ ساله پیش بینی شده که ۹ درصد کاهش دارد. علت کاهش رواناب علی‌رغم افزایش بارندگی، توزیع نامناسب بارش بخصوص کاهش بارندگی در اواخر ماه‌های فصل زمستان و اوایل بهار است.

جدول ۸. مقادیر متوسط حجم رواناب ماهیانه حوضه آبریز خوانسار در دوره موجود و

۲۰۱۱-۲۰۴۰ به میلیون متر مکعب

سالیانه	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	مهر	سالیانه
دوره موجود	۰/۸	۰/۹۹	۰/۵۶	۰/۵۵	۳/۳	۳	۳	۲	۱	۰	۰	۰	۱۹
۲۰۱۱- ۲۰۴۰	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۷۷	۰/۲۹	۰/۰۴	۰/۸۱	۰/۳۴	۰/۷۸	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۷۱	۰/۳۸



شکل ۷. مقایسه تغییرات میانگین حجم رواناب ماهیانه ایستگاه بند پایین در دوره مشاهداتی و آتی

نتیجه‌گیری

انجام پژوهش در زمینه شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز خوانسار هرات در استان یزد برای دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ با این هدف انجام گرفت تا بتوان پس از پیش‌بینی بارندگی، با جفت شدن با یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی، میزان رواناب حوضه را برای آینده پیش‌بینی و تأثیر تغییر اقلیم را بررسی نمود. برای پاسخ به این سوال که در صورت تداوم افزایش دما، وضعیت بارش و رواناب در حوضه خوانسار هرات چگونه و میزان تأثیرپذیری آن به چه میزان خواهد بود، در ابتدا ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارندگی ایستگاه بندپایین انجام شد و سپس با استفاده از نرم افزار WMS و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMC رواناب حوضه مذکور برای ۳۰ سال آینده پیش‌بینی گردید. نتایج نشان می‌دهد میزان بارندگی در حوزه به میزان ۶ درصد افزایش یافته، ولی رواناب حوضه از ۱۹/۳ میلیون متر مکعب در دوره مشاهداتی به ۱۷/۴ میلیون متر مکعب برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ به میزان ۹ درصد کاهش یافته است.

مقایسه حجم جریان سطحی ماهیانه و سالیانه ایستگاه بندپایین برای دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰، حاکی از افزایش قابل توجه رواناب حوضه در ماه دی است، ولی در ماه‌های فصل بهار کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. این تغییر در جریان سطحی ماهیانه که

نتیجه توزیع نامناسب بارش ماهیانه است می‌تواند حاکی از تغییر در رفتار اقلیمی آینده منطقه باشد، موضوعی که تحقیقات به عمل آمده در سایر حوضه‌های آبریز مانند زاینده رود (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۶) و زرینه رود (افراز، مساح بوانی و هوشمند، ۱۳۸۴) نیز بر آن گواهی دارد.

منابع

- افراز، سبحان، علیرضا مساح‌بوانی و پگاه هاشموند، (۱۳۸۴)، تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه زرینه رود، ۳۲ کنگره بین‌المللی علوم زمین، ۲۷ تا ۳۰ بهمن ۱۳۸۴، سازمان زمین‌شناسی، تهران.
- بابائیان، ایمان، (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم در دوره ۲۰۱۰-۲۰۲۹ با استفاده از ریزمقیاس نمائی داده‌های مدل گردش عمومی. مجله جغرافیا و توسعه، زمستان ۱۳۸۸، ص ۱۳۵-۱۵۲.
- خسروی، محمود، مرتضی اسمعیل‌نژاد، حمید نظری‌پور، (۱۳۸۹)، تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب خاورمیانه، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۵-۲۷ فروردین ۱۳۸۹، زاهدان.
- زارع‌زاده مهریزی، محبوبه، سعید مرید، عبدالرحیم صلوی تبار و کاوه مدنی، (۱۳۹۱)، ارزیابی منابع آب حوضه آبریز قزل‌اوزن - سفیدرود تحت تاثیر تغییر اقلیم و طرح‌های آبی، مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۶، شماره ۲، ص ۹۳-۱۰۴.
- عارف، محمدرضا و بهلول علیجانی، (۱۳۹۶)، بررسی تغییرات دما و بارش حوزه آبخیز یزد-اردکان با SDSM تحت شرایط تغییر اقلیم آینده، خشکبوم، جلد ۸، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷.
- فاخری فرد، احمدی، سمیرا رومیانفر، حسن ابوعلی، احمد خاکی ترابی، (۱۳۹۰)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان‌ات ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از مدل

ریز مقیاس SDSM، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه امیرکبیر، تهران.

فرج‌زاده منوچهر، حسن لشکری، سمیه رفعتی، (۱۳۸۸)، تغییرپذیری منابع آب در حوضه آبریز سد لتیان و اثر تغییر اقلیم بر آن، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۵، شماره ۱، ص ۸۲-۸۵.

فرج‌زاده، منوچهر، (۱۳۹۲)، تحلیل اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه: مطالعه موردی رودخانه ششپیر، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۴، شماره ۱، ص ۱۷-۳۲.

کارآموز، محمد، آناهیتا ابول‌پور و سارا نظیف، (۱۳۹۰)، ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی دشت رفسنجان، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه امیرکبیر، تهران.

گل‌محمدی، مریم و علیرضا مساح‌بوانی، (۱۳۹۰)، بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، مجله آب و خاک، جلد ۲۵، ص ۳۱۳-۳۲۶.

مساح‌بوانی، علیرضا و آشفته پریسا، (۱۳۸۶)، کارگاه فنی بررسی اهمیت موضوع تغییر اقلیم بر جهان و تأثیر آن بر سیستم‌های مختلف، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران ۱۳۸۶.

مساح‌بوانی، علیرضا و سعید مرید، (۱۳۸۴)، اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود، نشریه آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی)، جلد بیست و چهارم، ص ۱۷-۲۷.

مساح‌بوانی علیرضا و سعید مرید (۱۳۸۴)، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود اصفهان، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۱، ص ۴۰-۴۷.

Bhatt, Diva, R.K. Mall, (2015), Surface Water Resources, Climate Change and Simulation Modeling, Aquatic Procedia, Volume 4, Pages 730-738.

- IPCC, (2007), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- Melkonyan, Ani (2015), *Climate change impact on water resources and crop production in Armenia*, *Agricultural Water Management*, Volume 161, November, Pages 86-101.
- Papadaskalopoulou, C., E. Katsou, K. Valta, K. Moustakas, D. Malamis, M. Dodou, (2015), *Review and assessment of the adaptive capacity of the water sector in Cyprus against climate change impacts on water availability*, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 105, Part A, Pages 95-112.
- Shamir, Eylon, Sharon B. Megdal, Carlos Carrillo, Christopher L. Castro, Hsin-I Chang, Karletta Chief, Frank E. Corkhill, Susanna Eden, Konstantine P. Georgakakos, Keith M. Nelson, Jacob Prietto, (2015) *Climate change and water resources management in the Upper Santa Cruz River, Arizona*, *Journal of Hydrology*, Volume 521, Pages 18-33.
- Wang, G. Q., J. Y. Zhang, Y. Q. Xuan, J. F. Liu, J. L. Jin, Z. X. Bao, R. M. He, C. S. Liu, Y. L. Liu, and X. L. Yan, (2013) *Simulating the Impact of Climate Change on Runoff in a Typical River Catchment of the Loess Plateau, China*. *J. Hydrometeor*,
- Wang, G.Q., J.Y. Zhang, (2015), *Variation of water resources in the Huang-huai-hai areas and adaptive strategies to climate change*, *Quaternary International*, Volumes 380–381, 4, Pages 180-186.
- Wilby, R.L., and Harris, I, (2006), *A frame woke for assessing uncertainties in climate change impact. Low flow scenarios for the River Thames*, UK. *Water Resource Research*.
- Zhao, Anzhou, Xiufang Zhu, Xianfeng Liu, Yaozhong Pan, Depeng Zuo, (2016), *Impacts of land use change and climate variability on green and blue water resources in the Weihe River Basin of northwest China*, *CATENA*, Volume 137, Pages 318-327.