

بررسی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر رواناب سطحی حوزه آبخیز بالیقلو چای اردبیل

بهنوش فرخزاده^{۱*}، سپیده چوبه^۲، حمید نوری^۳ و مسعود گودرزی^۴

^۱ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ^۲ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه،
^۳ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر و استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش
و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۸

چکیده

تغییر کاربری به همراه تغییر اقلیم، به عنوان یک عامل جانبی اثرات مستقیم و غیر مستقیم بر سیلاب دارد. بنابراین، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر وضعیت سیلاب و رواناب دهه‌های آتی، راه‌گشای مقابله با این پدیده خواهد بود. جهت بررسی تغییرات اقلیمی دهه ۲۰۲۰ حوزه آبخیز بالیقلوچای، برونداد مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 به وسیله مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۸/۷۸ تا ۱۲/۸۶ درصدی بارش متوسط سالانه دهه ۲۰۲۰ می‌باشد. افزایش هم‌زمان دمای حداقل و حداکثر منطقه مطالعاتی در تمامی ماه‌ها موجب افزایش ۰/۶۶ درجه سانتی‌گرادی دمای متوسط سالانه در دهه ۲۰۲۰ خواهد شد. پس از بررسی تغییرات کاربری اراضی در گذشته، دو سناریو جهت پیش‌بینی اثر تغییرات کاربری اراضی در دهه‌های آتی بر سیلاب منطقه طراحی شد که در سناریوی اول فرض بر ثابت ماندن وضعیت فعلی و سناریوی دوم بر فرض ادامه روند گذشته می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده کاهش نه درصدی مراتع و افزایش پنج درصدی اراضی کشاورزی در دهه‌های ۲۰۲۰ می‌باشد. جهت شبیه‌سازی سیستم هیدرولوژیکی دهه‌های آتی، از مدل HEC-HMS استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش دبی اوج و حجم سیلاب در ماه آوریل و کاهش آن در ماه‌های مارس، می و جوئی به بوده است. به طوری که در صورت تغییر کاربری اراضی همراه با تغییر اقلیم این تغییرات شدیدتر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: افزایش دبی اوج، حجم سیلاب، ریزمقیاس نمایی، شبیه‌سازی، HEC-HMS

مقدمه

گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد تغییرات قابل ملاحظه‌ای در وضعیت آب و هوایی شده است. طبق نظر IPCC متوسط دمای سطح زمین طی قرن گذشته حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ این مقدار بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، همچنین، انتظار می‌رود

رشد صنایع و کارخانه‌ها از آغاز انقلاب صنعتی و به تبع آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی از یک‌سو و تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده است (IPCC, ۲۰۰۷). تغییر اقلیم، حاصل از افزایش

برنامه‌های کارا تر در زمینه توسعه پایدار منابع موجود در منطقه مطالعاتی باشد.

مواد و روش

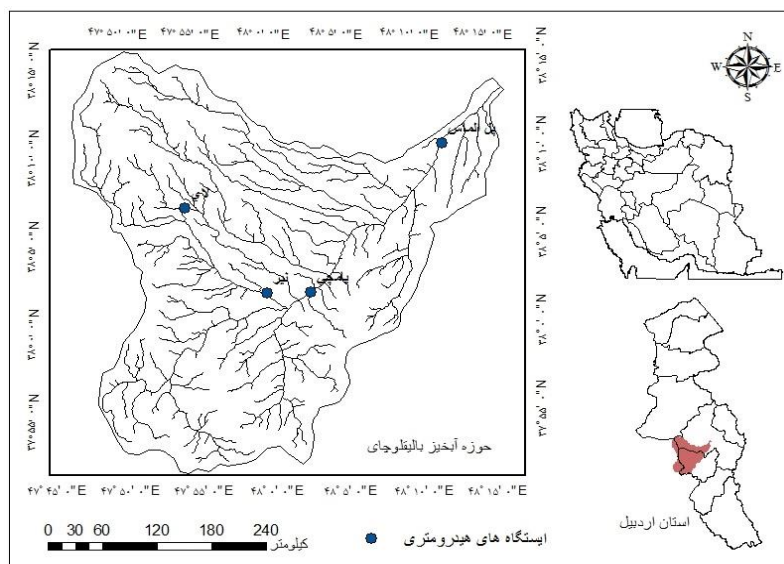
منطقه مورد پژوهش: رودخانه بالیقلو در استان اردبیل و از زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو می‌باشد. این رودخانه در پایین‌دست خود از شهر اردبیل می‌گذرد و در دشت اردبیل به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد. حوضه رودخانه در شهرستان نیر در موقعیت $28^{\circ} 46' 47''$ تا $11^{\circ} 42' 48''$ طول شرقی و $37^{\circ} 38' 52''$ تا $22^{\circ} 38'$ عرض شمالی واقع شده است. مساحت حوضه در حدود $1036/18$ کیلومتر مربع می‌باشد. سر شاخه اصلی آن، رودخانه بالیقلو است و از رودهای فرعی آن می‌توان به نیر چای اشاره کرد. میانگین بارشی حوضه بر اساس آمار ایستگاه‌های استفاده شده برابر با 266 میلی‌متر است. بارش‌های منطقه تحت تأثیر اقلیم منطقه شمال غرب بوده و در اوایل فصل پاییز با ورود سیستم‌های باران‌زای غربی بارش‌ها شروع می‌شود. بیشترین بارش مربوط به ماه اردیبهشت و کمترین آن مربوط به مرداد ماه است. (Beheshti, Javid, 2011). شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز را در استان و موقعیت و نحوه پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری را نشان می‌دهد.

روش تحقیق: هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی حوضه مورد مطالعه است. بدین منظور مراحل تحقیق در سه مرحله اصلی شامل بررسی تغییرات اقلیم، تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی هیدرولوژیکی انجام می‌شود. برای بررسی تغییرات اقلیم منطقه خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 با استفاده از مدل LARS-WG برای دوره $2030-2011$ کوچک مقیاس شده و تغییرات اقلیمی دوره‌های آینده در مقایسه با داده‌های مشاهداتی دوره $2013-1983$ مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. در این پژوهش سعی شده است تا عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو با در نظر گرفتن دو سناریو از سری سناریوهای مورد تایید IPCC شامل سناریوهای A2 و B1 تعدیل شود. به منظور ارزیابی و مقایسه دقت مدل استفاده شده برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های گردش

این افزایش به افزایش مقادیر تبخیر و تعرق منجر شود و اتمسفر بتواند مقادیر بیشتری از بخار آب را جابه‌جا کند. سیل به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان محسوب می‌شود، به‌طوری که وقوع آن باعث خسارت جبران‌ناپذیری در بخش‌های کشاورزی، صنعت، مسکن و امور معیشتی مردم در کشورهای مختلف می‌شود (Massah bavani, 2005). به‌منظور پیش‌گیری از بلایای طبیعی، شناسایی شرایط فعلی و پیش‌بینی وضعیت آینده مهم است. فائق آمدن بر این بحران‌ها و کاهش اثرات سوء آن‌ها، تنها در سایه مدیریت و برنامه‌ریزی و با تکیه به دانش روز عملی می‌باشد. تاکنون در این زمینه مطالعات زیادی انجام شده است که در این مطالعات تأثیر همزمان تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی پرداختند. نتایج این مطالعات نشان داد که تغییرات آب و هوایی موجب افزایش حداکثر جریان ماهانه در حوضه مورد بررسی می‌شود و در صورتی که این تغییر همراه با تغییر کاربری اراضی باشد اثرات آن شدیدتر خواهد بود (Mango و همکاران، 2011؛ El-Khoury و همکاران، 2015). ایران از وقوع تغییر اقلیم و افزایش دمای جهانی مستثنی نبوده است از طرفی در اثر عدم استفاده صحیح و افزایش جمعیت، سطح وسیعی از پوشش گیاهی کشور از بین رفته و کاربری اراضی تغییرات شدیدی را متحمل شده است. توجه به تغییر اقلیم و کاربری اراضی و تأثیر آن بر منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد اما کمتر به آن پرداخته شده است. مطالعه Nazari Samani و همکاران (2013) در حوزه آبخیز طالقان نشان دادند که با در نظر گرفتن دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی، علت کاهش رسوب طی این دو دوره در بارندگی مشابه مربوط به آثار افزایش اراضی رها شده در منطقه است. همچنین، عامل دبی با توجه به اختلاف بین دبی‌های بدون بعد قبل از 1366 و بعد از 1366 با سطح معناداری $0/98$ با احتمال 99 درصد معنادار نیست. لذا، بررسی تغییر اقلیم و کاربری اراضی و اثرات آن‌ها بر سیستم هیدرولوژیکی می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های آینده جهت مدیریت همه جانبه و بهینه‌سازی حوزه‌های آبخیز باشد. مطالعه حاضر می‌تواند راه‌گشای پیش‌بینی وضعیت در آینده و ارائه

۲۰۰۶؛ Sohrabian و همکاران، ۲۰۱۵؛
Lakzaeianpoor و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zahedi و Bahri
(۲۰۱۶).

عمومی از مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده به وسیله مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE، MAE، BIAS و NSE صورت گرفت (Morid و Massah Bavani).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز بالیقلو چای

Foody (۲۰۰۱) در مطالعات خود این روش را به‌عنوان بهترین روش جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی دانسته‌اند. بنابراین در ابتدا باید تصاویر ماهواره‌ای مقاطع مختلف زمانی به کاربری‌های مورد نظر طبقه‌بندی شود. با در نظر گرفتن محدودیت‌های انتخاب تصویر در زمان مطلوب، تصاویر ماهواره‌ای لندست OLI برای سال ۲۰۱۳ و TM برای سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ تهیه شد. تصاویر ماهواره‌ای از طریق سایت سازمان هوا و فضا ارتش آمریکا تهیه شدند. به لحاظ دقت عمل و به‌خصوص در زمانی که از دو تصویر با سنجنده متفاوت و در سطح حوضه‌ای با وضعیت توپوگرافیکی نسبتاً قابل توجه استفاده می‌شود، توجه به موارد پیش‌پردازش اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Lu و همکاران، ۲۰۰۴). در این مطالعه با آزمودن ترکیب رنگ‌های مختلف، ترکیب رنگی کاذب سه، چهار، پنج که دارای بیشترین وضوح نسبت به سایر ترکیبات رنگی در تصاویر landsat8 بود انتخاب شد در بقیه تصاویر از ترکیب رنگی کاذب چهار، سه، دو استفاده شد. در انتخاب نمونه‌ها سعی شد اغلب از مناطق همگن نمونه‌برداری صورت گیرد تا

مقدار پارامتر NSE بین منهای بی‌نهایت و یک متغیر می‌باشد. پارامترهای MAE و RMSE خطای مدل را نشان می‌دهند. نزدیک به صفر بودن پارامتر BIAS نیز نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل در شبیه‌سازی است (Bahri، ۲۰۱۳). آمارهای مذکور با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شده‌اند.

$$NSE = \left[1 - \frac{\sum (X_o - X_s)^2}{\sum (X_o - \bar{X}_o)^2} \right] \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum |X_o - X_s|}{N} \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (X_s - X_o) \quad (4)$$

که در آن‌ها، X_o داده‌های مشاهده شده، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{X}_o میانگین داده‌های مشاهده شده و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

در این مطالعه جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شده است. در این روش به‌صورت مجزا تصاویر چند زمانی به نقشه‌های موضوعی طبقه‌بندی شده سپس نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده برای دوره‌های زمانی مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند و تغییرات آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. Mass (۱۹۹۹) و

پس از مشخص شدن تغییرات کاربری در گذشته، اقدام به طراحی سناریوی تغییر کاربری اراضی برای دهه‌های آتی و سپس پیش‌بینی وضعیت شماره منحنی (به‌عنوان پارامتر نشان‌دهنده کاربری و پوشش گیاهی و خاک) منطقه مطالعاتی جهت ورود به مدل هیدرولوژیکی شد. در این پژوهش دو سناریو برای کاربری اراضی دهه‌های آتی به‌صورت زیر طراحی شده است.

سناریوی L1 (سناریوی خوش بینانه): هیچ‌گونه تغییر کاربری در منطقه مطالعاتی رخ نداده و نحوه استفاده از اراضی و همچنین، پوشش گیاهی همانند زمان حال باشد.

سناریوی L2 (سناریوی بدبینانه): تغییر کاربری اراضی با همان روند گذشته (۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳) ادامه یابد.

جهت اجرای سناریوی دوم و آگاهی از کاربری اراضی دهه ۲۰۲۰ معادله روند تغییرات درصد مساحت هر کاربری با زمان استخراج شده و سپس سال مورد نظر در دهه‌های آتی در معادله مربوطه قرار داده شد. بدین ترتیب مساحت کاربری‌های مختلف در سال مورد نظر به‌دست آمد.

در این پژوهش جهت مدل‌سازی سیستم هیدرولوژیکی حوزه آبخیز بالیقوچای و بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر آن از مدل HEC-HMS استفاده شد. مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا در سال ۱۹۹۰ مدل HEC-1 را برای شبیه‌سازی بارش-رواناب ارائه کرد. در این مدل اجزا مختلفی برای شبیه‌سازی سیستم فیزیکی حوضه ترکیب می‌شوند و هر جز نماینده یکی از عوامل تبدیل بارش به رواناب در حوضه‌ای می‌باشد که از ترکیب اثر عوامل مذکور هیدروگراف نهایی سیلاب حاصل خواهد شد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS:

محدودیت‌های ساختاری مدل و داده‌های موجود در تعیین پارامترها و عدم امکان تعیین دقیق شرایط مرزی موجب شده است که به‌کارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی از هر نوع آن بدون واسنجی مشکل باشد (Ghasemi, ۲۰۱۳). در این مطالعه مدل با استفاده از سه رویداد ۱۰ آوریل ۲۰۰۳، ۱۷ آوریل ۲۰۰۳ و ۱۶

ارزش‌های طیفی پیکسل‌های تصویر با نمونه‌های آموزشی مقایسه شود و به این ترتیب پیکسل‌ها در طبقات قابل تفکیک قرار داده شوند. با توجه به اطلاعات موجود از منطقه و تهیه نمونه‌های تعلیمی به کمک سیستم موقعیت یاب جهانی و با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده (Moradi و همکاران، ۲۰۰۸). نقشه کاربری برای منطقه مورد نظر در مقاطع زمانی مورد نظر تهیه شد. از آن‌جا که کاربری‌های مناطق مسکونی و کوهستان‌های سنگلاخی دارای بازتاب‌های طیفی ثبت شده مشابهی هستند و پس از طبقه‌بندی تصویر، این نوع کاربری‌ها به‌طور مناسب از یکدیگر تفکیک نمی‌شوند. جهت رفع این مشکل الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصویر از جمله الگوریتم‌های کمترین فاصله، حداکثر احتمال و شبکه عصبی در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE9.2 جهت استفاده مورد ارزیابی قرار گرفتند و با انتخاب بهترین الگوریتم طبقه‌بندی، با پیاده‌سازی نمونه‌های آموزشی، تصاویر مربوط به مقاطع زمانی مختلف به کاربری‌های مورد نظر طبقه‌بندی شدند. جهت استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت آن ضروری است. جهت ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده با قطع دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده هر مقطع زمانی با نقشه واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس خطا، در نهایت از شاخص کاپا و دقت کلی استفاده شد.

دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (5)$$

که در آن، OA دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های آموزشی، P_{ii} جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد.

برای محاسبه شاخص کاپا نیز از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (6)$$

که در آن، P_o درستی مشاهده و P_c توافق مورد نظر می‌باشد. Chuanga و همکاران (۲۰۱۱)، بیان کرده‌اند که چنانچه صحت کلی و شاخص کاپا در نقشه‌های تولید شده بیش از ۷۰ درصد باشد، صحت نقشه‌های تولیدی قابل اعتماد است.

تغییر درصد اراضی نفوذناپذیر و شماره منحنی پیش‌بینی شده برای دهه‌های آتی (اثر تغییر کاربری اراضی) اجرا شد. شایان ذکر است که الگوی بارش برای آینده ثابت در نظر گرفته شده و فقط فرض بر تغییر مقدار آن می‌باشد. بعد از اجرای مدل با سناریوهای تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم، با مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده دوره‌های آتی تغییرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ مقادیر RMSE، MAE، BIAS، NSE مربوط به پارامترهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر ارائه شده است. بالا بودن مقادیر پارامتر NSE، پایین بودن مقادیر شاخص خطاسنجی MAE و نزدیک به صفر بودن شاخص BIAS نشان از کارایی و توانایی بالای مدل LARS-WG در تولید پارامترهای اقلیمی حوضه مورد مطالعه دارد.

می ۲۰۰۳ واسنجی شد و نتایج حاصل از واسنجی جهت ارزیابی توانایی مدل مورد استفاده قرار گرفت. جهت اطمینان از کارایی مدل با استفاده از چهار واقعه رگبار و سیلاب متناظر، مستقل از رویدادهای استفاده شده در مرحله واسنجی استفاده شد. رویدادهای مورد استفاده در این مرحله عبارتند معادل با ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد می‌باشند. کارایی مدل هیدرولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مرحله اعتبارسنجی، با استفاده از شاخص ناش-ساتکلیف (رابطه ۶) و اریبی مدل در برآورد دبی و حجم جریان (رابطه ۷) مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$C_{NS} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=0}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=0}^n (Q_{oi} - Q_o)^2} \right) \quad (6)$$

$$Bias = \left(\frac{\sum_{i=0}^n Q_{si}}{Q_{oi}} \right) - 1 \quad (7)$$

وضعیت سیلاب‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم و کاربری اراضی: جهت شبیه‌سازی هیدروگراف‌های دوره آینده مدل در مقاطع مختلف زمانی با تغییر در هایتوگراف بارش (اثر تغییر اقلیم) و

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های خطاسنجی پارامترهای اقلیمی در دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۳

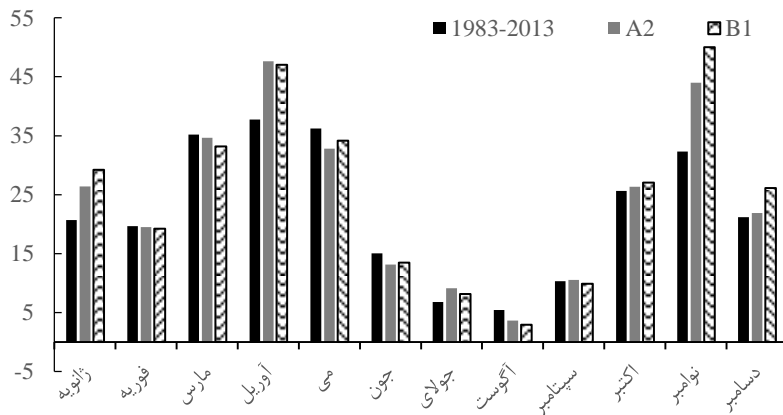
| دمای حداقل | | | | دمای حداکثر | | | | بارش | | | |
|------------|------|------|-------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| BIAS | NSE | MAE | RMSE | BIAS | NSE | MAE | RMSE | BIAS | NSE | MAE | RMSE |
| ۰/۱۷ | ۰/۰۲ | ۰/۳۵ | -۰/۱۲ | ۰/۱۲ | ۰/۹۹ | ۰/۱۲ | ۲/۷۲ | ۰/۴۱ | ۰/۹۳ | ۰/۵۸ | ۷/۴۱ |

نهایت می‌توان نتیجه گرفت که مجموع بارش متوسط سالانه در دهه ۲۰۲۰ حوزه آبخیز بالیقلوچای (بالخلوچای) روند افزایشی خواهد داشت. میزان بارش متوسط سالانه پیش‌بینی شده برای این دهه تحت سناریو A2 و B1 به ترتیب برابر با ۲۸۹/۴۷ و ۳۰۰/۳۳ میلی‌متر خواهد بود، در صورتی که میزان بارندگی سالانه دوره پایه ۲۶۶/۱۱ میلی‌متر بوده، بدین صورت حوضه مورد مطالعه شاهد افزایش بارش ۸/۷۸ تا ۱۲/۸۶ درصد خواهد بود. هر دو سناریوی A2 و B1 افزایش دمای حداقل را در تمامی ماه‌ها پیش‌بینی کرده‌اند. سناریوی A2 و B1 به ترتیب نشان از افزایش دمای ۰/۳ تا ۱/۱۲ و ۰/۱۲ تا ۱/۲۹ درجه سانتی‌گرادی دمای حداقل دارند. به صورتی که بیشترین افزایش دما مربوط به ماه سپتامبر و کمترین آن مربوط به ماه اکتبر خواهد بود. چنانچه مشاهده می‌شود، سناریو A2 افزایش دمای بیشتری را

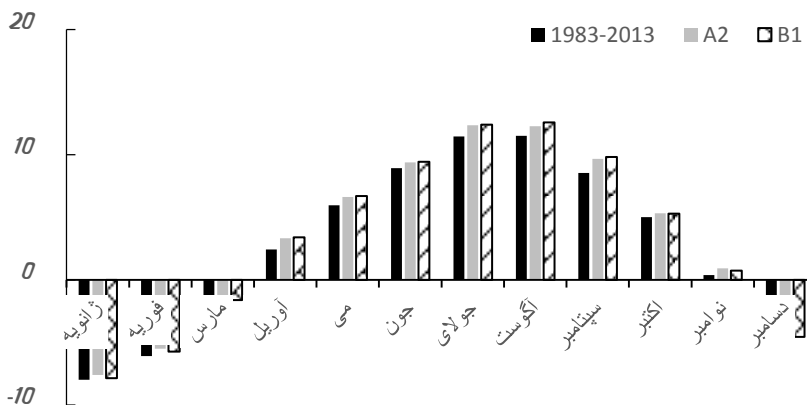
پس از اطمینان از عملکرد و کارایی مدل LARS-WG در تولید اقلیمی حوزه آبخیز بالیقلوچای، نتایج نشان می‌دهد که میزان تغییرات بارش دهه ۲۰۲۰ نسبت به دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۳ روند یکنواختی را نشان نمی‌دهد. مدل HadCM3 در برخی از ماه‌ها، میزان بارش دوره آینده را نسبت به دوره پایه کمتر و در برخی ماه‌ها بیشتر از دوره پایه نشان می‌دهد. هر دو سناریو به صورت مشترک افزایش بارندگی را برای ماه‌های ژانویه، آوریل، جولای، اکتبر، نوامبر و دسامبر و کاهش بارندگی را برای ماه‌های فوریه، مارس، می، جوئیه و آگوست پیش‌بینی نموده‌اند. سناریو A2 و B1 بیشترین افزایش بارندگی را برای ماه‌های نوامبر و به ترتیب به میزان ۳۶ و ۵۴/۶۹ درصد پیش‌بینی نموده است. در ماه سپتامبر سناریوها تغییرات متفاوتی را نشان داده‌اند به صورتی که سناریو A2 افزایش بارندگی و سناریو B1 کاهش بارندگی را پیش‌بینی کرده‌اند. در

منطقه مورد نظر در دوره‌های آینده افزایش قابل توجهی داشته باشند. متوسط دمای پیش‌بینی شده برای دهه ۲۰۲۰ تحت دو سناریو A2 و B1 به ترتیب برابر با ۹/۷۱ و ۹/۷۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و با توجه به این‌که متوسط دمای دوره پایه در حوضه مورد مطالعه ۹/۰۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. سناریوهای مورد نظر افزایش ۰/۶۴ تا ۰/۶۷ درجه سانتی‌گرادی دمای متوسط سالانه را برای آینده نزدیک حوزه آبخیز بالیقلوچای پیش‌بینی می‌کند. در شکل‌های ۲ تا ۴ مقادیر پارامترهای اقلیمی را در دو دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۳ و ۲۰۳۰-۲۰۱۱ ارائه شده است.

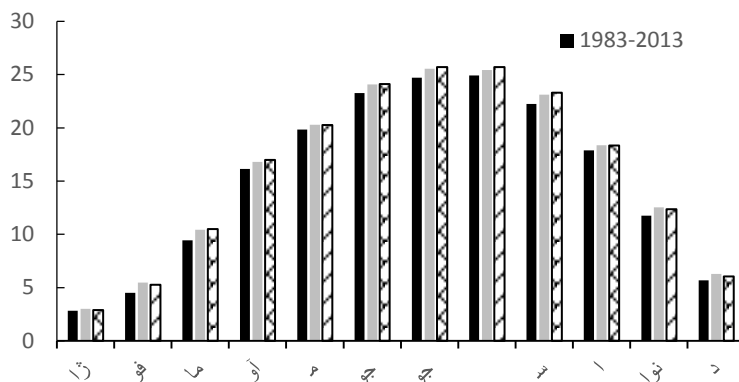
پیش‌بینی می‌کند. همچنین، هر دو سناریو مطالعه شده افزایش دمای حداکثر را برای تمامی ماه‌ها پیش‌بینی نموده‌اند. با مقایسه دمای حداکثر دوره مشاهداتی و دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، مشاهده می‌شود که بیشترین افزایش دمای حداکثر در ماه مارس و به مقدار ۰/۹۹ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. کمترین افزایش مربوط به ماه ژانویه و به میزان ۰/۰۶ تا ۰/۱۶ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. همچنین، مشاهده می‌شود که سناریو B1 افزایش دمای بیشتری را پیش‌بینی می‌کند. به صورت کلی با افزایش هم‌زمان دمای حداکثر و حداقل می‌توان انتظار داشت که دمای



شکل ۲- میانگین بارش ماهانه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۱۹۸۳-۲۰۱۳ تحت سناریوهای A2 و B1



شکل ۳- میانگین دمای حداقل ماهانه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۱۹۸۳-۲۰۱۳ تحت سناریوهای A2 و B1



جدول ۴- میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۳ و ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تحت سناریوهای B1 و A2

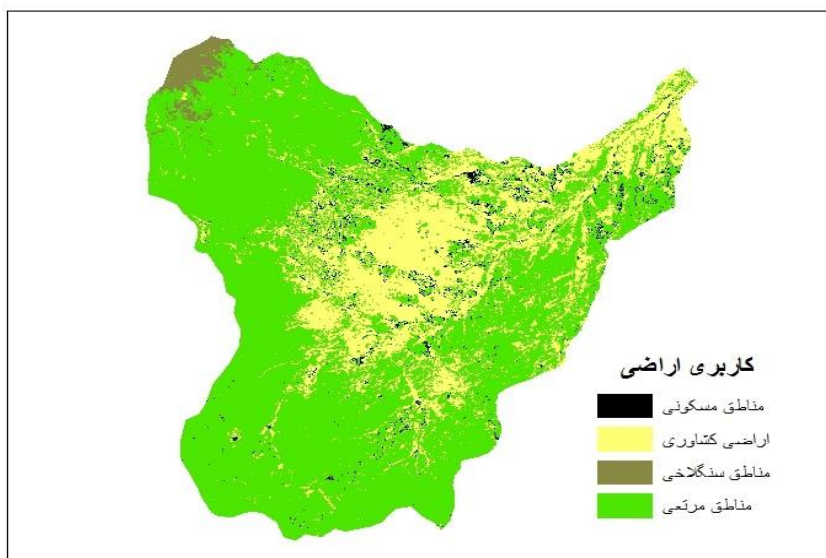
نقشه‌های تولید شده در هر مقطع زمانی و درصد مساحت هر کاربری در طول زمان باهم مقایسه شده است. جدول ۳ روند این تغییرات را در حوزه آبخیز بالیقلوچای (بالخلوچای) در طول زمان نشان می‌دهد. نتایج نشان از تغییرات زیادی در کاربری اراضی دارد. چنانچه مشاهده می‌شود، در طول سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ مناطق مرتعی بیشترین مساحت حوضه را شامل می‌شود، روند نزولی داشته و مساحت آن در طول زمان ۳۲ درصد کاهش یافته است. این تغییرات از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ با شتاب زیاد بوده ولی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ شتاب کمتری داشته است. مناطق با کاربری‌های کشاورزی و مناطق سنگلاخی و بدون پوشش در طول زمان افزایش ۱۵ و چهار درصدی داشته‌اند که نشان دهنده تبدیل مراتع به زمین‌های زراعی و اراضی رها شده می‌باشد. افزایش اراضی زراعی در طول زمان می‌توان مربوط به رشد جمعیت و همچنین، پیشرفت تکنولوژی و آشنایی روستائیان با آن دانست. با افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش بهره‌برداری و فشار بر منابع طبیعی، شاهد افزایش مناطق رها شده در منطقه مطالعاتی هستیم. با افزایش جمعیت مساحت منطقه مسکونی ۱۳ درصد افزایش داشته است. این کاربری از سال ۱۹۹۰ به بعد با سرعت بیشتری افزایش یافته است. در کل در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۴ کاربری کشاورزی با ۱۵ درصد افزایش بیشترین تغییرات افزایشی را داشته و در میان تغییرات نزولی، بیشترین کاهش مربوط به مراتع با ۳۲ درصد کاهش سطح می‌باشد.

جهت رفع مشکل اختلاط بازتاب‌های طیفی ثبت شده کاربری مناطق مسکونی با کوهستان‌های صخره‌ای الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده در نرم‌افزار Erdas Imagine 9.2 بر روی تصویر سال ۲۰۱۳ که اطلاعات مناسب‌تری از واقعیت زمینی جهت صحت‌سنجی آن وجود داشت صورت گرفته و بهترین الگوریتم جهت طبقه‌بندی سایر تصاویر انتخاب شد. در جدول ۲ مقادیر شاخص کاپا و صحت کلی الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی آورده شده است.

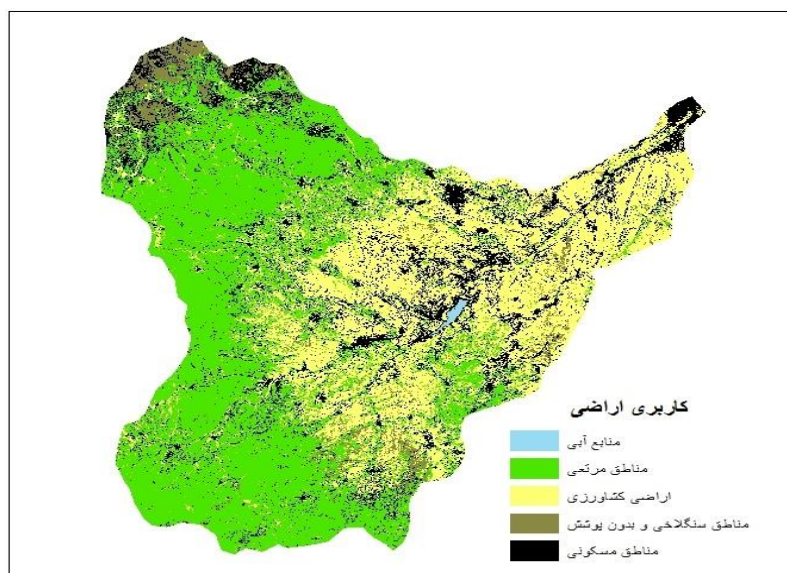
جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی کارایی الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

| الگوریتم شبکه عصبی | الگوریتم حداقل فاصله | الگوریتم حداکثر شباهت | |
|--------------------|----------------------|-----------------------|-----------|
| ۰/۸۷ | ۰/۷۵ | ۰/۸۹ | ضریب کاپا |
| ۹۱/۴۷ | ۸۴/۶۵ | ۹۳/۷۵ | صحت کلی |

با توجه به شاخص‌های صحت‌سنجی الگوریتم حداکثر شباهت بهترین عمل‌کرد را در طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۳ داشته است. بدین ترتیب، تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ نیز با استفاده از همین الگوریتم به کلاس‌های مناطق مسکونی، مرتعی، کشاورزی دیم و آبی، منابع آب و مناطق سنگلاخی تقسیم‌بندی شدند. شکل‌های ۵ و ۶ نقشه کاربری اراضی را نشان می‌دهند. جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳،



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۴



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی سال

۲۰۱۳

جدول ۳- درصد مساحت کاربری‌های مختلف نسبت به کل حوضه از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳

| کاربری‌های مختلف (بر حسب درصد) | | | | سال |
|---------------------------------|---------|--------|---------|------|
| مرتعی | کشاورزی | مسکونی | سنگلاخی | |
| ۷۷ | ۲۰ | ۲ | ۱ | ۱۹۸۴ |
| ۶۷ | ۲۳ | ۹ | ۱ | ۱۹۹۰ |
| ۵۶ | ۳۱ | ۱۱ | ۲ | ۲۰۰۰ |
| ۴۵ | ۳۵ | ۱۵ | ۵ | ۲۰۱۳ |

زمان استخراج شده و با جای‌گذاری سال مورد نظر مساحت کاربری آن پیش‌بینی شد. جدول ۴ معادلات

جهت آگاهی از وضعیت کاربری اراضی دوره‌های آتی بعد از طراحی سناریو، معادله تغییرات کاربری با

روند تغییرات درصد مساحت کاربری‌های مختلف و سال مورد نظر و Y مساحت کاربری‌های مختلف در زمان در دوره گذشته آورده شده است که در آن X سال مورد نظر می‌باشد.

جدول ۴- معادلات روند تغییر مساحت کاربری‌های مختلف در طول زمان

| کاربری اراضی | روابط مساحت کاربری و زمان | همبستگی |
|---------------------|---------------------------|--------------|
| مرتعی | $Y = -1.07X + 2215.2$ | $R^2 = 0.98$ |
| کشاورزی | $Y = 0.53X - 1045.1$ | $R^2 = 0.96$ |
| مسکونی | $Y = 0.40X - 790.07$ | $R^2 = 0.87$ |
| سنگلاخی و فاقد پوشش | $Y = 0.14X - 280.05$ | $R^2 = 0.90$ |

منطقه در سال ۲۰۲۰ به ترتیب نه درصد کاهش سطح خواهد داشت. در این مدت سطح اراضی زراعی به میزان پنج درصد افزایش خواهد یافت.

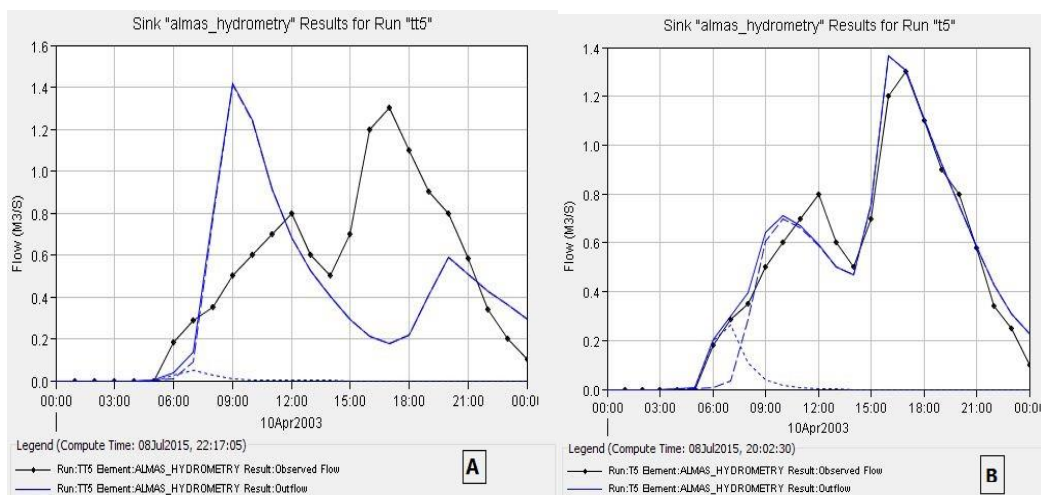
با توجه به بالا بودن ضریب همبستگی در همه کاربری‌ها، می‌توان بیان نمود که این تغییرات در طول زمان معنی‌دار بوده است. نتایج این پیش‌بینی در جدول ۵ آمده است. مراتع به‌عنوان مهم‌ترین کاربری

جدول ۵- درصد مساحت کاربری‌های پیش‌بینی شده دهه‌های آتی

| سال | مرتعی | کشاورزی | مسکونی | سنگلاخی و فاقد پوشش |
|------|-------|---------|--------|---------------------|
| ۲۰۲۰ | ۳۶ | ۴۰ | ۱۸ | ۶ |

شماره منحنی SCS، هیدروگراف واحد SCS و ماسکینگام-کانژ در نظر گرفته شد. جهت شبیه‌سازی دبی پایه، مدل بدون در نظر گرفتن دبی پایه عملکرد بهتری جهت شبیه‌سازی هیدروگراف مشاهداتی را داشته است. نتایج مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان‌دهنده اختلاف بین این دو هیدروگراف می‌باشد. جهت دست‌یابی به نتایج بهتر، با استفاده از پارامترهای زمان تاخیر، شماره منحنی که در مرحله آنالیز حساسیت انتخاب شدند، مرحله واسنجی و بهینه‌سازی مدل انجام گرفت. شکل ۷ و جداول ۶ هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را قبل و بعد از بهینه‌سازی این سیلاب بهاره را نشان می‌دهند.

مدل‌سازی سیستم هیدرولوژیکی در منطقه: برای واسنجی مدل از سه واقعه و برای اعتبارسنجی آن از چهار رخداد بارندگی استفاده شده است. با بررسی رویدادهای گذشته حوزه آبخیز مورد مطالعه، می‌توان بیان داشت که بازه زمانی رویداد سیلاب ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد می‌باشد. بنابراین سعی شده است تا وقایع انتخابی جهت اعتبارسنجی مدل، در این بازه قرار گیرند تا پس از ارزیابی مدل در شبیه‌سازی رواناب حوضه از این رویدادها جهت پیش‌بینی وضعیت سیلاب منطقه مطالعاتی در آینده استفاده نمود. روش‌های محاسبات تلفات، رواناب و انتقال در مدل HEC-HMS با توجه به اطلاعات موجود از حوزه آبخیز مورد مطالعه به‌ترتیب روش



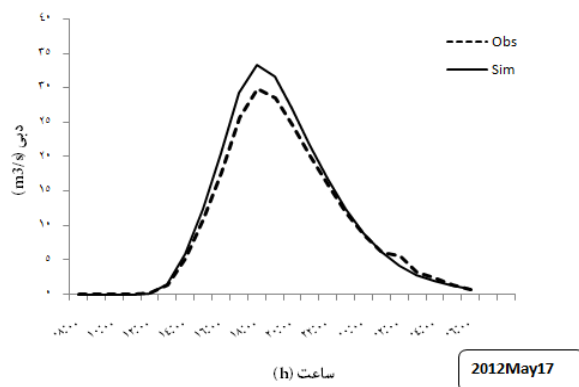
شکل ۷- هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (A قبل، B) بعد از بهینه‌سازی برای رویداد ۱۰ آوریل ۲۰۰۳

جدول ۶- مقایسه هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده قبل و بعد از بهینه‌سازی در سه رویداد انتخاب شده

| تاریخ | پارامتر | مشاهده شده | شبیه‌سازی شده | | درصد اختلاف |
|------------------|---------------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------|
| | | | قبل از بهینه‌سازی | بعد از بهینه‌سازی | |
| ۱۰ آوریل ۲۰۰۳ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۱/۳ | ۱/۴ | ۱/۴ | ۷/۶۹ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۴۲/۲۵ | ۳۴/۲ | ۴۳/۷ | ۳/۴۳ |
| ۱۶-۱۸ آوریل ۲۰۰۳ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۷/۵ | ۸/۸ | ۸/۱ | ۸ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۲۳۸/۵۲ | ۲۵۵/۳ | ۲۴۹/۴ | ۴/۵۶ |
| ۱۶-۱۷ می ۲۰۰۳ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۲۹/۳ | ۳۴/۹ | ۳۲/۸ | ۱۱/۹۴ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۷۸۳/۲۲ | ۹۸۰/۸ | ۸۱۷/۴ | ۴/۳۶ |

مناسبی باهم دارند. در جدول ۷ مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب و میزان اختلاف مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آورده شده است. مدل دبی حداکثر سیلاب را با ۹/۶۱ تا ۱۳/۰۴ درصد اختلاف و حجم آن را با اختلاف ۹/۰۶۶ تا ۱۵/۸۷ درصد شبیه‌سازی نموده است. ملاحظه می‌شود که اختلاف‌های دبی حداکثر کمتر از اختلاف حجم سیلاب بوده، بدین ترتیب می‌توان بیان نمود که دقت مدل در شبیه‌سازی دبی اوج بیشتر از حجم سیلاب است. جهت ارزیابی مدل، از دو شاخص ناش-ساتکلیف و اریبی مدل در برآورد حجم سیلاب و دبی اوج محاسبه شد. نتایج این شاخص‌ها در جدول ۸ آورده شده است. با توجه به بالا بودن مقادیر شاخص کارایی، می‌توان به نتایج مدل اطمینان کامل داشته و از آن‌ها برای پیش‌بینی سیلاب‌های دهه‌های آتی بهره گرفت.

استفاده از مدل با تکیه بر برآورد پامترهای مدل با استفاده از روابط تجربی باعث ایجاد خطا در شبیه‌سازی سیلاب می‌شود. بدین ترتیب اهمیت واسنجی مشخص می‌شود. نتایج واسنجی نشان داد که مقدار بهینه تلفات اولیه در حدود ۰/۱۳۳ تلفات کل می‌باشد. بنابراین، با استفاده از CN اصلاح شده تلفات اولیه زیرحوضه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت. در مرحله اعتبارسنجی مدل جهت ارزیابی توانایی مدل با استفاده از اطلاعات چهار واقعه رگبار و سیلاب متناظر، مستقل از رویدادهای استفاده شده در مرحله واسنجی، شبیه‌سازی جریان انجام شد. در این مرحله از مقادیر میانگین پارامترهای بهینه‌سازی شده در مرحله واسنجی استفاده شد. شکل ۸ هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در این مرحله را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که هیدروگراف‌ها برازش



شکل ۸- هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۷- مقایسه هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی

| تاریخ | پارامتر | شبیه‌سازی شده | مشاهده شده | درصد اختلاف |
|------------------|---------------------------|---------------|------------|-------------|
| ۲۶-۲۵ مارس ۲۰۱۱ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۱۸/۴ | ۱۶/۵ | ۱۱/۵۱ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۵۱۵/۷ | ۴۷۲/۸۳ | ۹/۰۶۶ |
| ۱۴-۱۳ آوریل ۲۰۱۲ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۰/۸ | ۰/۹۲ | -۱۳/۰۴ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۲۹/۲ | ۳۴/۷۱ | -۱۵/۸۷ |
| ۱۷-۱۶ می ۲۰۱۲ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۳۳/۴ | ۲۹/۹ | ۱۱/۷۰ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۸۶۲/۶ | ۷۹۰/۳۸ | ۹/۱۴ |
| ۷-۶ جوییه ۲۰۱۳ | دبی اوج (مترمکعب برثانیه) | ۴/۷ | ۵/۲ | -۹/۶۱ |
| | حجم سیل (هزار مترمکعب) | ۱۵۱/۱ | ۱۶۶/۱۱ | -۹/۰۳۶ |

جدول ۸- شاخص‌های کارایی مدل HEC-HMS در مرحله اعتبارسنجی

| شاخص | پارامتر | مقدار کارایی |
|-------------|---------------|--------------|
| ناش-ساتکلیف | دبی اوج سیلاب | ۰/۹۸ |
| | حجم سیلاب | ۰/۹۷ |
| | دبی اوج سیلاب | ۰/۰۹۰ |
| اریبی مدل | حجم سیلاب | ۰/۰۶۴ |

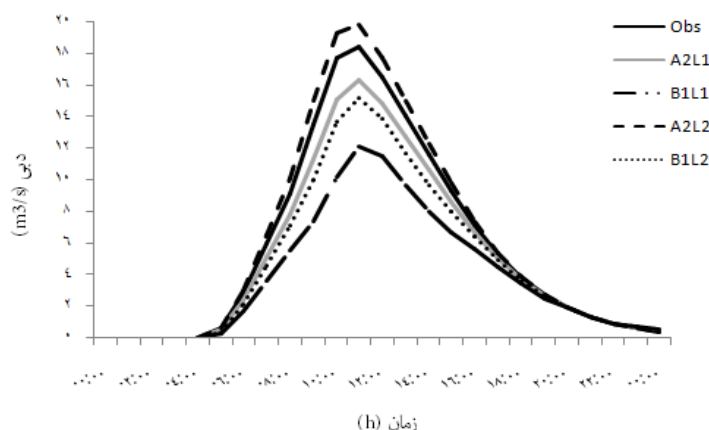
روند تغییرات گذشته می‌باشد (A2,L2 و B1,L2) سیلاب‌های آینده تحت تاثیر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی خواهد شد. جدول ۹ مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب پیش‌بینی شده دهه ۲۰۲۰ تحت سناریوهای اقلیمی و کاربری اراضی را نشان می‌دهد. جهت نمایش بهتر، نمودار درصد تغییرات دبی و حجم سیلاب این دوره نسبت به گذشته در شکل ۹ آورده شده است.

با توجه به سناریوهای A2,L1 و B1,L1 و در صورت عدم تغییر کاربری اراضی، تنها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی دبی اوج تحت سناریو A2 در ماه مارس ۱۱/۴ درصد، ۴۵/۸ درصد در ماه می و ۸۵/۱ درصد در ماه جوئییه کاهش خواهد داشت، در ماه

بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیلاب: همان‌گونه که بیان شد برای بررسی تغییر اقلیم از دو سناریو A2 و B1 استفاده شد و جهت بررسی تغییر کاربری اراضی دو سناریو L1 و L2 طراحی شد. در این قسمت اثرات ترکیبی این سناریوها بر دبی و حجم سیلاب بررسی می‌شود. در سناریو اول کاربری اراضی فرض بر ثابت ماندن کاربری و عدم تغییر آن نسبت به زمان پایه (سال ۲۰۱۳) است، بنابراین می‌توان بیان نمود که ترکیب سناریوهای اقلیمی و سناریو اول کاربری اراضی (A2,L1 و B1,L1) تنها تغییرات اقلیمی را بر سیلاب‌های آینده اعمال می‌کند. با ترکیب سناریوهای اقلیمی و سناریو دوم کاربری اراضی که فرض بر ادامه

ماه‌های می و جون کاهش ۳۴/۱ و ۸۰/۹ درصدی خواهد داشت. در این بین شاهد شدت بیشتر سیلاب ماه آوریل نسبت به سایر ماه‌ها خواهیم بود. علت این امر افزایش بارندگی ماه مذکور نسبت به سایر ماه‌هاست.

آوریل به دلیل افزایش مقدار بارندگی دبی اوج سیلاب ۸۱۲/۵ درصد افزایش خواهد داشت. چنان‌چه تغییر کاربری اراضی با تغییر اقلیم همراه شود (سناریوهای A2,L2 و B1,L2) افزایش دبی اوج و حجم سیلاب تشدید خواهد شد به طوری که دبی اوج در ماه مارس ۷/۶ درصد، تا ۹۰۰ درصد افزایش خواهد داشت. اما در



شکل ۹- مقایسه هیدروگراف ماه مارس دوره مشاهداتی و دهه ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی

جدول ۹- مقادیر دبی اوج و حجم سیلاب پیش‌بینی شده دهه ۲۰۲۰ و دوره ۲۰۱۳-۱۹۸۳

| ماه | پارامتر | دوره پایه | A2,L1 | B1,L1 | A2,L2 | B1,L2 |
|-------|--------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| مارس | دبی (مترمکعب برثانیه) | ۱۸/۴ | ۱۶/۳ | ۱۲/۱ | ۱۹/۸ | ۱۵/۲ |
| | حجم سیلاب (هزار مترمکعب) | ۵۱۵/۷ | ۴۶۱/۷ | ۳۵۳ | ۵۵۳/۶ | ۴۲۸/۶ |
| آوریل | دبی (مترمکعب برثانیه) | ۰/۸ | ۷/۳ | ۳/۳ | ۹ | ۳/۹ |
| | حجم سیلاب (هزار مترمکعب) | ۲۹/۲ | ۲۲۶/۱ | ۱۰۶/۷ | ۲۷۸/۷ | ۱۳۱/۱ |
| می | دبی (مترمکعب برثانیه) | ۳۳/۴ | ۱۸/۱ | ۲۳/۲ | ۲۲ | ۲۹/۱ |
| | حجم سیلاب (هزار مترمکعب) | ۸۶۲/۶ | ۵۰۴/۶ | ۶۳۳/۲ | ۶۰۸ | ۷۶۳/۴ |
| جولیه | دبی (مترمکعب برثانیه) | ۴/۷ | ۰/۷ | ۱/۲ | ۰/۹ | ۱/۴ |
| | حجم سیلاب (هزار مترمکعب) | ۱۵۱/۱ | ۲۶ | ۳۸/۸ | ۳۲/۷ | ۴۵/۶ |

نتیجه گیری

با وجود تغییر کاربری اراضی به سمت افزایش مناطق سنگلاخی و بدون پوشش، سناریوهای A2,L2 و B1,L2 کاهش دبی و حجم سیلاب را پیش‌بینی نموده‌اند که علت آن کاهش بارندگی ماه‌های مارس، می و جولیه در دهه ۲۰۲۰ می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که کاهش پیش‌بینی شده به‌وسیله دو سناریوی مذکور کمتر از کاهشی است که سناریوهای B1,L1 و A2,L1 پیش‌بینی نموده‌اند. کاهش سیلاب

تأحدی با افزایش رواناب حاصل از تغییر کاربری اراضی جبران شده است. تغییرات حاصله در وضعیت هیدروگراف در این ماه‌ها غالب بودن اثر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی را اثبات می‌کند، به طوری که با تأثیر توأم اقلیم و کاربری اراضی شاهد کاهش سیلاب ناشی از کاهش بارندگی است، هستیم. بدین ترتیب می‌توان بیان نمود که با وجود این‌که تغییر کاربری اراضی موجب تشدید سیلاب می‌شود اما به نظر می‌رسد که تغییرات سیلاب از اقلیم تبعیت می‌کند. سناریوهای

اقلیم می‌شود. بدین ترتیب در صورت عدم مدیریت کاربری اراضی چرخه‌ای ایجاد شده که هر جزء آن بر دیگری اثر گذاشته و موجب تشدید سیلاب خواهد شد. مشکل سیل در حوزه آبخیز بالیقلوچای به صورت فرسایشی خود را نشان می‌دهد و پخش شدن آب و زیر سیل رفتن اراضی و تهدید و تخریب روستاها، راه‌ها، ابنیه و تأسیسات کمتر مطرح می‌باشد. آن چه مشهود است مشکل اصلی رودخانه عبارت است از گسترش زمین‌های کشاورزی در مجاورت رودخانه به نحوی که زمین‌های سست کشاورزی، دیواره‌های رودخانه را تشکیل داده و به محض جاری شدن آب، فرسایش و ریزش دیواره‌ها رخ می‌دهد. همان‌طور که نتایج این مطالعه به اثبات رساند در دهه‌های آتی در صورت ادامه روند تغییر کاربری اراضی همراه با تغییر اقلیم با افزایش شدید حجم سیلاب روبه‌رو خواهیم بود که این امر باعث تشدید فرسایش کنار رودخانه‌ای خواهد شد. همچنین، رسوبات فرسایش یافته، بعد از انتقال به پایین‌دست حوضه در آن جا انباشته شده و می‌تواند باعث کاهش شیب، بالا آمدن کف رودخانه و در نتیجه کاهش ظرفیت عبوری شود و با افزایش حجم و ارتفاع جریان سیل دهه‌های آتی شاهد پخش‌شدگی بیشتر سیلاب و دربر گرفتن اراضی بیشتر کشاورزی خواهیم بود.

مختلف در پیش‌بینی وضعیت سیلاب ماه مارس در دهه ۲۰۲۰s رفتاری متفاوت دارند. مقایسه سناریوی A2,L2 و A2,L1 نقش تغییر کاربری در تشدید سیلاب را اثبات می‌کند. این نتایج با مطالعه Bahri (۲۰۱۳) که افزایش ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی‌گرادی دما را برای حوزه آبخیز اسکندری پیش‌بینی کرده است. می‌توان بیان داشت افزایش بارش در منطقه مطالعاتی به‌علت همراهی با افزایش دما، لزوماً بهبود شرایط دسترسی به منابع آب و به‌دنبال آن بهبود وضعیت کشاورزی و پوشش گیاهی را به همراه نخواهد داشت. همان‌طور که بیان شد، حوزه آبخیز بالیقلوچای در تابستان و بهار دوره‌های آبی با کاهش بارش روبه‌رو خواهد بود، در حالی‌که بیشترین افزایش دمای هوا در همین فصول رخ خواهد داد. با افزایش دما در منطقه مطالعاتی نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه افزایش یافته، بدین ترتیب ذخایر آبی (برف) برای تابستان و بهار کاهش می‌یابد. از آن جا که منطقه مطالعاتی یکی از منابع تأمین‌کننده آب منطقه بوده، بحران آب در دوره‌های آبی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. تغییر کاربری اراضی از یک طرف موجب افزایش سیلاب و رواناب می‌شود و از طرف دیگر موجب تغییر خواص فیزیکی و حیاتی سطح زمین شده و در سیستم اقلیم تاثیر گذاشته و موجب تشدید تغییر

منابع مورد استفاده

1. Bahri, M. 2013. Evaluation of the climate and landuse changes impacts on watershed hydrological responses, case study: Eskandari watershed, Isfahan province. MSc Thesis, University of Yazd, 153 pages (in Persian).
2. Bahri, M. and E. Zahedi. 2016. Assessment impact of climate change on runoff in Araz kouseh watershed. Journal of Applied Researches in Geographical Science, 42: 109-131(in Persian).
3. Beheshti Javid, E. 2011. Zonation of flooding in Baleghloo Chai River. MSc Thesis, Faculty of Geographic Science, Kharazmi University, 162pages.
4. Ghasemi, A. 2013. Modeling the role of sub-watershed on output hydrograph with an emphasis on flooding, in river basin of baligli chay (The province of Ardabil). MSc Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 148 pages.
5. Chuanga, W., C. Lina, C. Chiena and W. Choub. 2011. Application of markov-chain model for vegetation restoration assessment at landslide areas caused by a catastrophic earthquake in central Taiwan. Ecological Modeling, 222: 835-845.
6. El-Khoury, A., O. Seidou, D. Lapen, Z. Que, M. Mohammadian, D. Sunohara and D. Bahram. 2015. Combined impacts of future climate and land use changes on discharge, nitrogen and phosphorus loads for a Canadian river basin. Journal of Environmental Management, 151: 76-86.
7. Foody, G. 2001. Monitoring the magnitude of land-coverchange around the southern limits of the Sahara. Photogrammetric Engineering and Remote Sencing, 67: 841-847.
8. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Summary for policy makers, climate change: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report. Cambridge University Press, 881 pages.

9. Lakzaeianpoor, Gh., O. Mohammadrezapoor and M. Malmir. 2016. Assessment effects of climate change on runoff in Nazloo Chai River. *Geographic and Development*, 42: 183-198 (in Persian)
10. Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio and E. Moran. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 25-36.
11. Massah Bavani, A.R. and S. Morid. 2006. Study effects of climate change on zayande rood discharge. *Journal of Water and Soil Science*, 4: 17-27 (in Persian).
12. Mango, L., A. Melesse, M. McClain., D. Gann and S. Setegn. 2011. Landuse and climate change impacts on hydrology of upper Mara river basin, Kenya: Result of modeling study to support better resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2245-2258.
13. Mass, J. 1999. Monitoring land-cover change: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 2: 12-26.
14. Massah bavani, A. 2005. Assessment risk of climate change and its impact on water resources, case study: Zayandehrood Watershed. PhD Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 98 pages.
15. Moradi, H.R., M.R. Fazelpoor, S.H.R. Sadeghi and Z. Hoseini. 2008. Study on land use changes in Ardakan desertification using remote sensing. *Range and Desert Researches of Iran*, 15: 1-12 (in Persian).
16. Moosavi Nadushani, S. 2005. Hydrological modeling system HEC-HMS. Dibagaran press, 296 pages.
17. Nazari Samani, A., H. Horavi, M. Panahi and M. Jafari Shalamzar. 2013. Effects of land use and precipitation changes on sediment production in Taleghan Watershed. *Natural Resources of Iran*, 66: 157-165 (in Persian).
18. Shamsipoor, A. 2013. Climate modeling (theory and method). Tehran University Press, 287 pages.
19. Sohrabian, E., M. Meftah Halaghi, Kh. Ghorbani, S. Golian and M. Zakerinia. 2015. Effects of climate change on runoff from rainfall, case study: Galikesh Watershed in Golestan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 2: 111-125 (in Persian).

Study of climate change and land use changes impacts on surface runoff: Balighlo Chai Watershed in Ardebil

Behnoush Farrokhzadeh^{*1}, Sepideh Choobeh², Hamid Nouri³ and Massoud Goodarzi⁴

¹ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Iran, ² PhD Student, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran, ³ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University, Iran and ⁴ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 29 July 2016

Accepted: 17 September 2017

Abstract

In addition to climate change, the land use changes as an ancillary factor affects flooding. Thus evaluation of impacts of climate change and land use change (together) on flood situation in the coming decades will open a new way to deal with this phenomenon. In this research, to study the effects of climate change on 2020s in Balighloo Chai Watershed, HadCM3 under A2 and B1 scenarios was downscaled with LARS-WG. Results showed an increase between 8.78 to 12.86 percent in average of annual rainfall in 2020s. Average annual temperature increases 0.66 °C in 2020s. After examining past changes in land use, two scenarios were developed to predict the impact of land use changes on the runoff in the coming decades: the first scenario assumes a constant in current land use and the second scenario assumes continuation of changes rate during past decades in the future. Results showed a decrease between nine percent in rangelands and five percent increase in agricultural lands area respectively in 2020s. In order to simulate the hydrologic system in the coming decades, HEC-HMS model was calibrated and validated using data of past period, and was used with new curve number, impervious area and hydrograph estimated for the future decades. Then the coming decades predicted hydrographs were compared to the past ones. Results showed an increase in peak flow and flood volume in April while they will decrease in March, May and June. If land use change occurs with climate change, this increase will be intensified.

Key words: Downscaling, Flood volume, HEC-HMS, Increase in peak flow, Simulation

* Corresponding author: b.farrokhzadeh@malayeru.ac.ir