

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری

معصومه بحری^۱ - کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران

محمدتقی دستورانی - استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

چکیده

علاوه بر تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی به عنوان یک عامل جانبی اثرات مهمی بر سیلاب دارد. لذا پیش بینی اثر این دو پارامتر بر وضعیت سیلاب دهه های آتی، راهگشای مقابله با این پدیده خواهد بود. هدف از مطالعه حاضر پیش بینی وضعیت هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اسکندری در دهه آتی تحت اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی می باشد. جهت بررسی تغییرات اقلیمی دهه ۲۰۲۰، برون داد مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس گردید. پس از بررسی تغییرات کاربری اراضی گذشته، دو سناریو جهت پیش بینی تغییرات آن در آینده طراحی شد. در انتها با تغییر هایتوگراف بارش و کاربری اراضی در مدل HEC-HMS که برای دوره گذشته کالیبره و اعتبارسنجی شده، اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر سیلاب منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج نشان دهنده افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی بارش متوسط سالانه دهه ۲۰۲۰ می باشد. افزایش توأمان دمای حداقل و حداکثر منطقه مطالعاتی در تمامی ماه ها موجب افزایش ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی گراد دمای متوسط سالانه خواهد شد. افزایش دبی اوج و حجم سیلاب در ماه های مارس، اکتبر و فوریه و کاهش آن در ماه آوریل پیش بینی شده است. به طوری که در صورت تغییر کاربری اراضی همراه با تغییر اقلیم این افزایش شدیدتر خواهد بود.

کلید واژه ها: ریزمقیاس نمایی، سیلاب، HadCM3، HEC-HMS، LARS-WG

۱. مقدمه

ویژگی های اولیه حوزه آبخیز شامل خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، همچنین ویژگی های آب و هوایی شامل بارش، تغییرات هیدرولوژیک سیلابی حوزه های آبخیز را کنترل می کنند. دو ویژگی خاک و توپوگرافی، تغییرات کوتاه مدت نداشته و می توان آن ها را جزء عوامل ایستا محسوب کرد (Ying; 2009). لیکن تغییر در واکنش سیلابی یک حوضه در مقیاس زمانی میان مدت و بلندمدت به تغییرات اقلیمی و

تغییر نوع کاربری بستگی دارد (Miller; 2002,918). لذا بررسی تغییر اقلیم و کاربری اراضی دهه‌های آتی و اثرات آن‌ها بر سیستم هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز می‌تواند زمینه ساز اتخاذ سیاست‌های آینده جهت بهینه سازی روش‌های مدیریت همه جانبه حوزه‌های آبخیز باشد. در مطالعات تغییر اقلیم معمولاً برای جلوگیری از پیچیده شدن بیش از حد محاسبات، تغییر کاربری اراضی احتمالی سال‌های آتی را در نظر نگرفته و فرض بر ایستاد بودن حوضه آبریز جهت تبدیل سری‌های زمانی اقلیم به سری‌های زمانی رواناب و سیلاب می‌باشد [همانند مطالعات حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۱)، غریب دوست و همکاران (۱۳۹۵)، مالمیر و همکاران (۱۳۹۵)، قربانی و همکاران (۱۳۹۵) و منیو^۱ و همکاران (۲۰۱۲)]. در حالی که ایستاد بودن حوضه در وضعیت تغییر اقلیم به دلیل تغییر کاربری اراضی آن نمی‌تواند حفظ گردد. از سوی دیگر با بررسی اثر تغییر کاربری اراضی سال‌های آتی بر وضعیت هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز پارامتر اقلیم ثابت در نظر گرفته می‌شود [همانند مطالعات رحمانی و همکاران (۱۳۹۵)، محمد^۲ و همکاران (۲۰۱۱) همچنین دو^۳ و همکاران (۲۰۱۲)]. مطالعات محدودی اثر هر دو پارامتر مذکور را به طور همزمان بر سیستم هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز مورد ارزیابی قرار داده‌اند، از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود: آگاروال^۴ و همکاران (۲۰۱۲)، جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر رواناب حوضه‌ای واقع در هندوستان از مدل VIC^۱ استفاده نموده‌اند. در این مطالعه جهت اعمال تغییر اقلیم، درجه حرارت مشاهداتی منطقه به میزان ۱، ۲ و ۳ درجه سانتی‌گراد و میزان بارش ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد افزایش داده و فرض بر تغییر کاربری جنگل به کاربری کشاورزی شده است. محققین افزایش رواناب را علی‌رغم افزایش دما هم راستا با افزایش بارش دانسته‌اند. Suanna و همکاران (۲۰۱۲)، کاربری اراضی آتی را با استفاده از مدل CA-MARKOV و اقلیم آتی با استفاده از ۵ سناریو با افزایش و کاهش درصدی در بارش و دما شبیه‌سازی نموده و با مدل HSPF وضعیت هیدرولوژیکی آینده منطقه مطالعاتی پژوهش خود را بررسی نمودند. این محققین افزایش جریان دهه‌های آتی را به اثبات رساندند. مانگو^۵ و همکاران (۲۰۱۲)، جهت بررسی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر رواناب رودخانه مارا در غرب کنیا، از مدل SWAT استفاده نمودند. در این مطالعه نتایج ۱۸ مدل GCM و سناریوی تغییر کاربری اراضی نشان داد رواناب رفتاری غیرخطی از خود نشان می‌دهد، با تغییر ۳- و ۲۵+ درصدی بارش، رواناب به شدت افزایش می‌یابد و با تغییر ۷+ درصدی بارش، رواناب تغییر چندانی نمی‌کند. عظیم عدنان^۶ (۲۰۱۰)، اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی را بر رواناب دهه‌های آتی رودخانه کلانتان مالزی توسط مدل واقعه محور HEC-HMS و مدل اقلیمی

1 Meenu

2 Muhammad

3 Du

4 Aggarwal

5 Mango

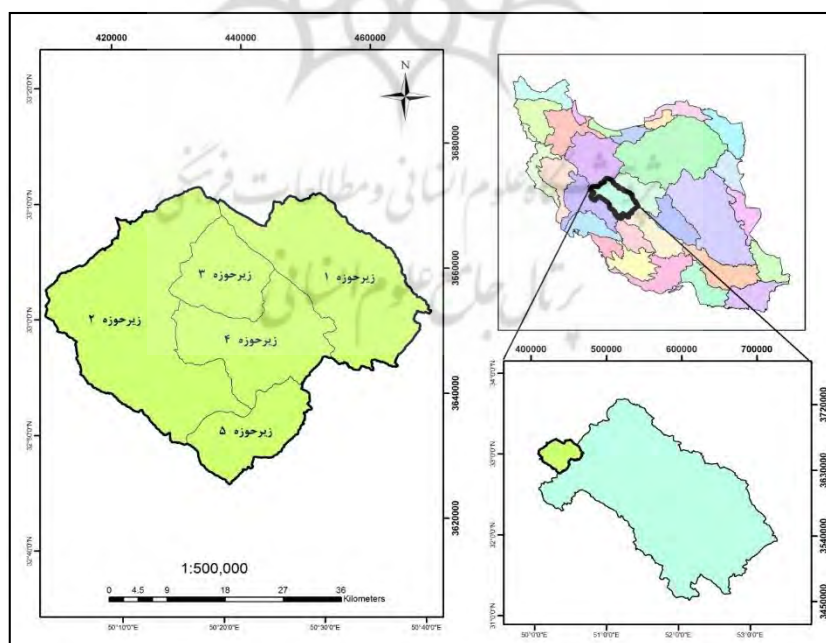
6 Azim Adnan

HadCM PRECIS مورد مطالعه قرار داد. در این پژوهش در دهه ۲۰۲۰ دبی پیک کاهش ۲۶/۹- تا ۴/۱- و حجم رواناب تغییرات ۲/۳- تا ۲- درصدی، در دهه ۲۰۵۰ دبی پیک در محدوده ۸/۸- تا ۳۲/۲ درصد و حجم رواناب ۷/۶- تا ۲۰/۱ درصد و همچنین دهه ۲۰۸۹ دبی پیک افزایش ۳/۴ تا ۳۹/۲ و حجم رواناب افزایش ۱/۶ تا ۳/۴ پیش بینی شده است.

با توجه به کاستی‌های تحقیقاتی موجود در زمینه بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی به طور همزمان، تحقیق پیش رو به ارزیابی اثر پارامترهای مذکور بر وضعیت سیلاب حوزه آبخیز اسکندری در دهه ۲۰۲۰ پرداخته است. مطالعه حاضر می‌تواند راهگشای پیش بینی و وضعیت در آینده و ارائه برنامه‌های کارتر در زمینه توسعه پایدار منابع موجود در منطقه مطالعاتی باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

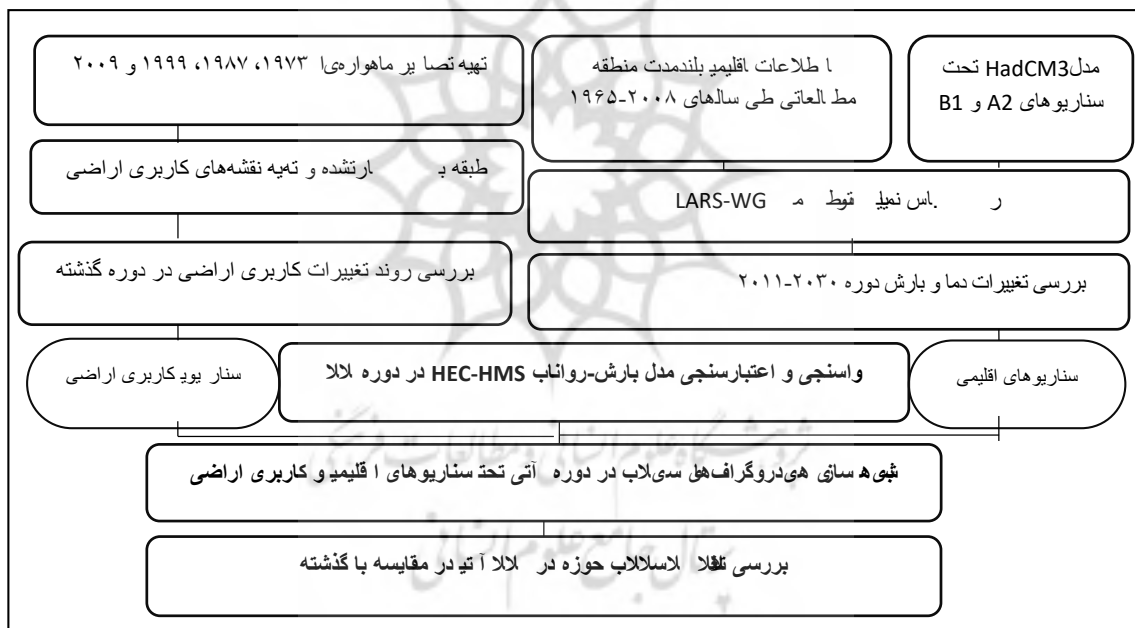
منطقه مطالعاتی تحقیق پیش رو، حوزه آبخیز اسکندری، واقع در غرب استان اصفهان می‌باشد. حوضه مذکور با مختصات ۰۲° ن ۵۰° طول ۴۰° و ۵۰° طول ۳۲° ن ۱۱° عرض شمالی در حوضه آبریز سد زاینده‌رود واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی و زیرحوضه‌های آن را در سطح کشور و حوضه سد زاینده‌رود نمایش می‌دهد. اهمیت این حوزه از این موضوع ناشی می‌شود که در بالادست سد زاینده‌رود واقع شده و رواناب آن مستقیماً به آن وارد شده که منبع اصلی تأمین آب کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه و استان اصفهان است و آگاهی از وضعیت آن در دهه‌های آتی راهگشای برنامه‌ریزی جهت مدیریت صحیح آن می‌باشد.



شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز اسکندری

۳. مواد و روش‌ها

هدف از مطالعه حاضر پیش‌بینی وضعیت هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اسکندری در دهه آتی تحت اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی می‌باشد. بدین منظور مراحل تحقیق در سه گام اصلی بررسی تغییرات اقلیمی، تغییرات کاربری اراضی و مدلسازی هیدرولوژیکی صورت پذیرفته است. جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، برون‌داد مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B1 توسط مدل LARS-WG برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ ریزمقیاس شده و تغییرات اقلیمی دهه آتی در مقایسه با دوره گذشته مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به بررسی تغییرات کاربری اراضی در گذشته پرداخته شده و با توجه به تغییرات آن در گذشته سناریوهای پیش‌بینی کاربری اراضی دهه آتی طراحی و تغییرات آن در آینده پیش‌بینی گردید. در انتها جهت ارزیابی وضعیت هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی در دوره آتی، نتایج سناریوهای اقلیمی و کاربری اراضی به مدل HEC-HMS که در دوره گذشته واسنجی و اعتباریابی شده است، وارد شده و وضعیت هیدروگراف سیلاب دهه آتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته شده است. شکل ۲ مراحل انجام تحقیق را به طور خلاصه به نمایش می‌گذارد.



شکل ۲ نمودار جریان‌ی مراحل مختلف تحقیق

۳.۱. بررسی تغییرات اقلیمی

در این مطالعه، اطلاعات ایستگاه کلیماتولوژی دامنه فریدن (ضلع ۲۹، ۵۰، ضلع ۰۱، ۳۳) که دارای آمار طولانی مدت و ارتفاعی برابر با ارتفاع متوسط وزنی حوزه آبخیز اسکندری می‌باشد و همچنین ایستگاه سینوپتیک داران (ضلع ۲۲، ۵۰، ضلع ۵۸، ۳۲) مورد استفاده قرار گرفته و با در نظر گرفتن دوره ۴۴ ساله ۱۹۶۵-۲۰۰۸ به عنوان

دوره پایه، پارامترهای اقلیمی مورد نیاز جهت اجرای مدل اقلیمی جمع آوری و مورد پردازش قرار گرفته شد. مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای دوره پایه اجرا شده، بدین ترتیب مرحله واسنجی مدل صورت گرفت. به منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه که هیچگونه تغییر اقلیمی اعمال نمی‌کند برای دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۶۵ تدوین و با اجرای دوباره مدل قدرت آن در بازتولید داده‌های دوره آماری و شهادتی مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس خروجی مدل شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش و همچنین انحراف معیار آن‌ها با داده‌های ۴۴ ساله مشاهداتی منطقه مطالعاتی مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده توسط مدل با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و پارامترهای خطاسنجی RMSE, MAE, BIAS, NSE صورت گرفت. همچنین از آزمون‌های آماری K-S جهت مقایسه توزیع‌های فراوانی، از آزمون T.test برای مقایسه مقادیر میانگین‌ها و آزمون F.test جهت مقایسه انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و مدلسازی شده استفاده گردید. پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی، این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی برونداد مدل گردش عمومی جو HadCM3 و تولید داده‌های مصنوعی جهت پیش‌بینی اقلیم دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ (که پس از این دهه ۲۰۲۰ نامیده می‌شوند) اجرا شد. پس از اجرای مدل و تولید مقادیر روزانه پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر برای دهه ۲۰۲۰، پارامترهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط اقلیمی دوره آینده پیش‌بینی شد.

۳.۲. بررسی تغییرات کاربری اراضی

جهت بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیستم هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی، نیاز به پیش‌بینی کاربری اراضی دهه آتی بوده است. بدین علت با بررسی روند تغییرات آن در گذشته، اقدام به طراحی سناریو و پیش‌بینی کاربری اراضی دهه ۲۰۲۰ شده است. در این مطالعه جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی گذشته از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شده است. در این روش به صورت مجزا تصاویر ماهواره‌ای به نقشه‌های موضوعی طبقه‌بندی شده سپس نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده برای دوره‌های زمانی مختلف با یکدیگر مقایسه شده و تغییرات آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به طور کلی فرآیند تعیین تغییرات کاربری اراضی در ۴ مرحله: کسب داده‌ها و پیش‌پرداز آن‌ها، انتخاب تکنیک مناسب جهت طبقه‌بندی و اجرای آن، عملیات پس از طبقه‌بندی و ارزیابی صحت، ارائه نقشه کاربری اراضی در هر دوره زمانی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر صورت پذیرفت.

به منظور بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در دوره مشاهداتی، مقاطع زمانی ۱۹۷۳، ۱۹۸۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ میلادی با هدف پوشش دوره پایه اقلیمی انتخاب شده و تصاویر ماهواره‌ای لندست MSS و TM استخراج و پس از انجام مراحل پیش‌پردازش تصاویر، جهت تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به هر سال، از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده گردیده است. مهم‌ترین مشکل در مرحله طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای اختلاط بازتاب‌های

طیفی ثبت شده کاربری مناطق مسکونی با مناطق کوهستان‌های صخره‌ای و عدم طبقه‌بندی صحیح این اراضی بوده است. جهت رفع این مشکل الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده شامل الگوریتم حداکثر احتمال، الگوریتم کم‌ترین فاصله و الگوریتم شبکه عصبی در نرم افزار ENVI بر روی تصویر سال ۲۰۰۹ که اطلاعات مناسب‌تری از واقعیت زمینی جهت صحت‌سنجی آن وجود داشت صورت گرفته و بهترین الگوریتم جهت طبقه‌بندی سایر تصاویر انتخاب شده و سایر تصاویر در مقاطع زمانی مختلف توسط این الگوریتم طبقه بندی شد. جهت ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده با قطع دادن آن‌ها با نقشه واقعیت زمینی (نقشه‌های کاربری اراضی تهیه شده توسط اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان، عکس‌های هوایی، نقشه توپوگرافی، تصاویر گوگل ارث و نقاط کنترل زمینی تهیه شده از بازدید منطقه) و تشکیل ماتریس خطا، در نهایت از شاخص کاپا و دقت کلی استفاده گردید. پس از طبقه‌بندی تصاویر، فیلتر ماژوریتی به منظور حذف تک پیکسل‌ها و قطعات کوچک و بهبود کیفیت تصاویر طبقه‌بندی شده مورد استفاده قرار گرفت. از دیگر اقدامات در مرحله پس پردازش، ادغام کلاس‌ها، انتقال به محیط GIS و تشکیل پایگاه اطلاعات زمینی بوده است. پس از انجام مراحل قبل، نقشه کاربری اراضی در مقاطع زمانی مختلف تهیه و مساحت کاربری‌ها و درصد آن‌ها نسبت به کل مساحت منطقه استخراج شده و تغییر مساحت هر کاربری در طول زمان مورد بررسی قرار گرفت.

پس از مشخص شدن روند تغییرات کاربری در گذشته، جهت اطلاع از نحوه استفاده اراضی در آینده، اقدام به طراحی سناریوی تغییر کاربری اراضی برای دهه آتی منطقه مطالعاتی جهت ورود به مدل هیدرولوژیکی شده است. در این مطالعه دو سناریو برای کاربری اراضی دهه آتی به شرح زیر طراحی شده است: سناریوی L1: هیچ گونه تغییر کاربری در منطقه مطالعاتی رخ نداده و نحوه استفاده از اراضی و همچنین پوشش گیاهی همانند زمان حال باشد. سناریوی L2: کاربری اراضی با همان روند گذشته (سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۹) ادامه یابد. جهت اجرای سناریوی دوم، معادله روند تغییرات درصد مساحت هر کاربری با زمان استخراج و به آینده بسط داده و درصد مساحت کاربری‌های مختلف دهه آتی پیش‌بینی شد.

همانطور که در مباحث گذشته بیان شد جهت بررسی تغییر اقلیم از دو سناریوی A2 و B1 استفاده و جهت بررسی اثر تغییر کاربری اراضی دو سناریوی L1 و L2 طراحی شد. در این مطالعه اثرات ترکیبی این سناریوها بر دبی و حجم سیلاب بررسی می‌گردد. در سناریوی اول کاربری اراضی (L1) فرض بر ثابت ماندن کاربری و عدم تغییر آن نسبت به زمان حال است، لذا می‌توان بیان کرد که ترکیب سناریوهای اقلیمی و سناریوی اول کاربری اراضی (A2, L1 و B1, L1) تنها تغییرات اقلیمی را بر سیلاب‌های آینده اعمال می‌کند. با ترکیب سناریوهای اقلیمی و سناریوی دوم کاربری اراضی که فرض بر ادامه روند تغییرات گذشته می‌باشد (A2, L2 و B1, L2) سیلاب‌های آینده تحت اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی خواهد شد.

۳.۳. مدل‌سازی هیدرولوژیکی

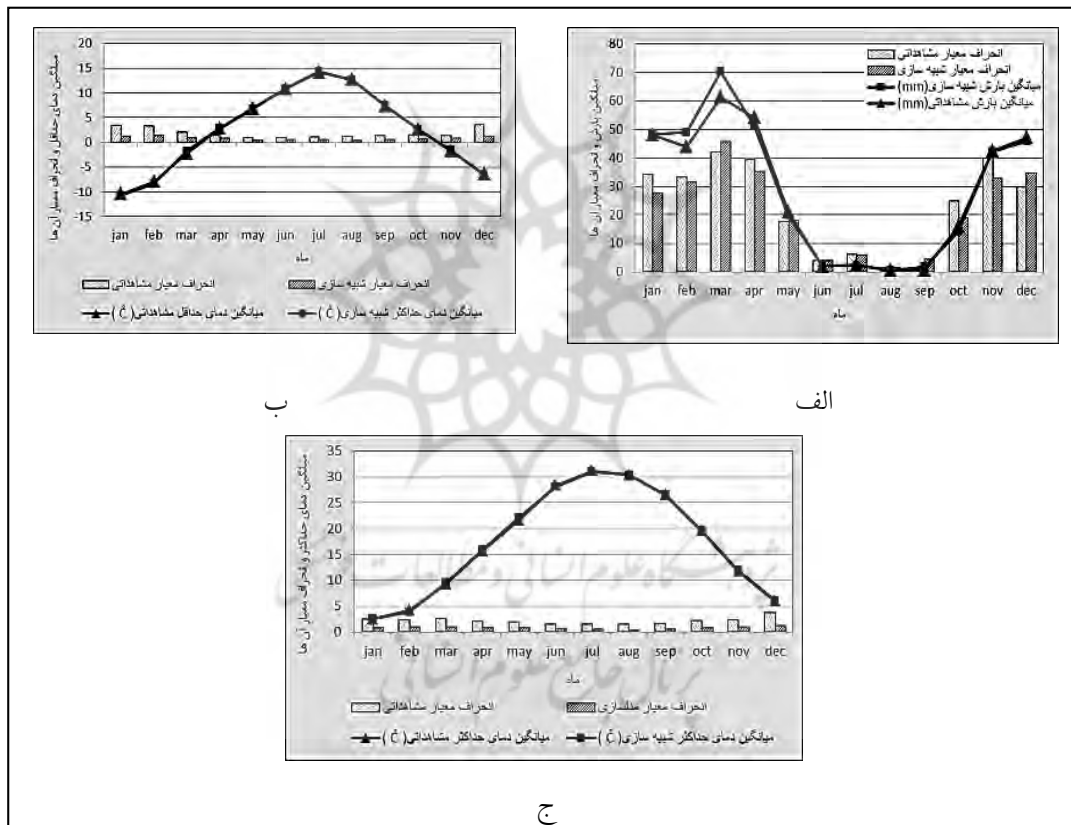
جهت مدل‌سازی سیستم هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اسکندری و بررسی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر آن از مدل HEC-HMS استفاده گردید. پس از انجام مراحل آنالیز حساسیت، واسنجی، بهینه‌سازی و اعتبارسنجی مدل در دوره گذشته از آن جهت پیش‌بینی وضعیت سیلاب‌های دهه آتی بهره‌جسته شد.

جهت انجام مرحله آنالیز حساسیت، مقادیر پارامترهای تلفات اولیه، زمان تأخیر و شماره منحنی را در دامنه ۲۰- تا ۲۰+ در صد با فواصل ۵ در صد تغییر داده و تأثیر آن را بر دبی اوج سیل مورد بررسی قرار داده شد، سپس منحنی تغییرات دبی اوج نسبت به تغییر هر کدام از پارامترها ترسیم گشته. هرچه انحنای منحنی این تغییرات زیاد باشد، مدل را نسبت به آن پارامتر حساس می‌گویند (تلوری، ۱۳۷۵: ۸۷). پس از یافتن پارامترهای حساس، مدل نسبت به آن‌ها واسنجی و بهینه‌سازی شد. روش‌های محاسبه بارندگی، تلفات، رواناب و انتقال در مدل HEC-HMS با توجه به اطلاعات موجود از منطقه مطالعاتی به ترتیب روش های توگراف ویژه، شماره منحنی SCS، هیدروگراف واحد SCS و زمان تأخیر در نظر گرفته شد. جهت شبیه‌سازی دبی پایه مقایسه نتایج حاصل از دو روش ثابت ماهانه و بدون دبی پایه نشان داد هنگامی که مدل بدون آب پایه در نظر گرفته شود نتایج بهتری به دست می‌آید لذا در این مطالعه مقدار دبی پایه در خارج از مدل محاسبه و از دبی مشاهداتی کسر شده و مدل در تمامی زیرحوضه‌ها بدون آب پایه در نظر گرفته شد. مدل با استفاده از سه رویداد ۲۴-۲۵ مارس ۲۰۰۰، ۴-۶ آوریل ۲۰۰۴ و ۷-۸ نوامبر ۱۹۹۴ واسنجی و بهینه‌سازی گردید و نتایج حاصل از بهینه‌سازی جهت ارزیابی توانایی مدل مورد استفاده قرار گرفت. جهت اطمینان از کارایی مدل با استفاده از اطلاعات ۶ واقعه رگبار و سیلاب متناظر، مستقل از رویدادهای استفاده شده در مرحله واسنجی، شبیه‌سازی جریان انجام گرفت. در این مرحله از مقادیر میانگین پارامترهای بهینه‌سازی شده در مرحله واسنجی استفاده گردید. وقایع مورد استفاده در این مرحله به گونه‌ای انتخاب شده که بازه زمانی رویداد سیلاب منطقه مطالعاتی را در تمامی ماه‌ها پوشش دهد. رویدادهای مورد استفاده در این مرحله عبارتند از: ۲۹-۳۱ مارس ۱۹۹۸، ۲۴-۲۷ آوریل ۲۰۰۴، ۲۹-۳۱ می ۱۹۹۵، ۲۷-۲۸ اکتبر ۲۰۰۴، ۲۳-۲۶ نوامبر ۱۹۹۴ و ۲۰-۲۱ فوریه ۱۹۹۹ می باشند. کارایی مدل هیدرولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مرحله اعتبارسنجی، با استفاده از شاخص‌های ناش-ساتکلیف و اریبی مدل در برآورد دبی و حجم جریان مورد ارزیابی قرار گرفت. در انتها جهت شبیه‌سازی هیدروگراف‌های دوره آینده مدل در مقاطع مختلف زمانی با تغییر در های توگراف بارش (اثر تغییر اقلیم) و تغییر درصد کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای دهه آتی (اثر تغییر کاربری اراضی) اجرا گردید. بعد از اجرای مدل با سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی، با مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده دوره آتی تغییرات آن مورد بررسی قرار گرفته شد.

۴. بحث و نتایج

۴.۱. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG

در تحلیل فراوانی وقوع بارش روزانه با استفاده از آزمون K-S، اختلاف معنی داری بین داده های مشاهداتی و داده های تولید شده توسط مدل در دوره پایه برای تمامی ماهها، به جز ماه ژوئن وجود نداشته و مقادیر همبستگی در سطح اعتماد ۰/۰۵ درصد قابل قبول می باشد، بنابراین عدم اطمینان به فراوانی بارش فقط در ماه مذکور وجود دارد. همچنین در بررسی بارش متوسط ماهانه با استفاده از آزمون T.test، تنها عدم اطمینان به مدل سازی بارش ماه ژوئیه وجود دارد. با توجه به قرارگیری ماه های ژوئن و ژوئیه در فصل تابستان و کمبود بارش در این فصول میتوان از این خطا چشم پوشی نمود. شکل ۳ مقایسه مقادیر مشاهداتی و مدل سازی شده بارش، دمای حداقل و حداکثر همچنین انحراف معیار آن ها را در دوره پایه نشان می دهد.



شکل ۳ میانگین ماهانه و انحراف معیار (الف) بارش (ب) دمای حداقل

(ج) دمای حداکثر مشاهداتی و شبیه سازی

چنانچه ملاحظه می شود، بارش شبیه سازی شده در ماه های فوریه و مارس به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد بیشتر از مقادیر مشاهده ای به دست آمده است لذا لازم است بیش برآورد مدل در این ماهها مدنظر قرار گیرد. ارزیابی مدل از احتمال فراوانی وقوع متغیرهای دمای حداقل و حداکثر روزانه با استفاده از آزمون K-S عدم

وجود اختلاف معنی دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل را در تمامی ماه‌های سال و قابل قبول بودن مقادیر همبستگی در سطح اعتماد $0/05$ درصد را نشان می‌دهد. ارزیابی مدل از بررسی داده‌های متوسط دمای حداقل و حداکثر ماهانه با استفاده از آزمون T-test وجود اطمینان بالا به مدلسازی این پارامترها و عدم وجود اختلاف معنی دار بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد. جدول ۱ مقدار آماره های خطاسنجی حاصل از پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و مدلسازی شده را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار آماره NSE برای هر سه پارامتر اقلیمی مطالعه شده نزدیک به عدد یک می‌باشد و همچنین کم بودن مقدار آماره Bias، مدل لارس دارای دقت مدلسازی بالایی است. مقدار آماره RMSE برای دمای کمینه و بیشینه کم‌تر از مقدار آن برای بارش است. این مسئله بیانگر قدرت بالای LARS-WG در مدل کردن داده‌های دیدبانی شده دما نسبت به بارش است که این امر به علت ماهیت پارامتر دما می‌باشد که عنصری پیوسته است. نتیجه به دست آمده با نتایج تحقیقات مشابهی نظیر با بئیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) و آبایی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. با بررسی شکل ۳ نمودارهای دمای کمینه و بیشینه مشاهداتی و مدلسازی شده مطابقت بیشتری با هم داشته که مؤید مطالب بیان شده می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که تغییر پذیری زیاد بارش در افزایش خطای مدلسازی این پارامتر تاثیر گذار است. می‌توان بیان داشت که هرچه پارامتر حالت پیوستگی داشته باشد، میزان خطای مدلسازی کاهش می‌یابد.

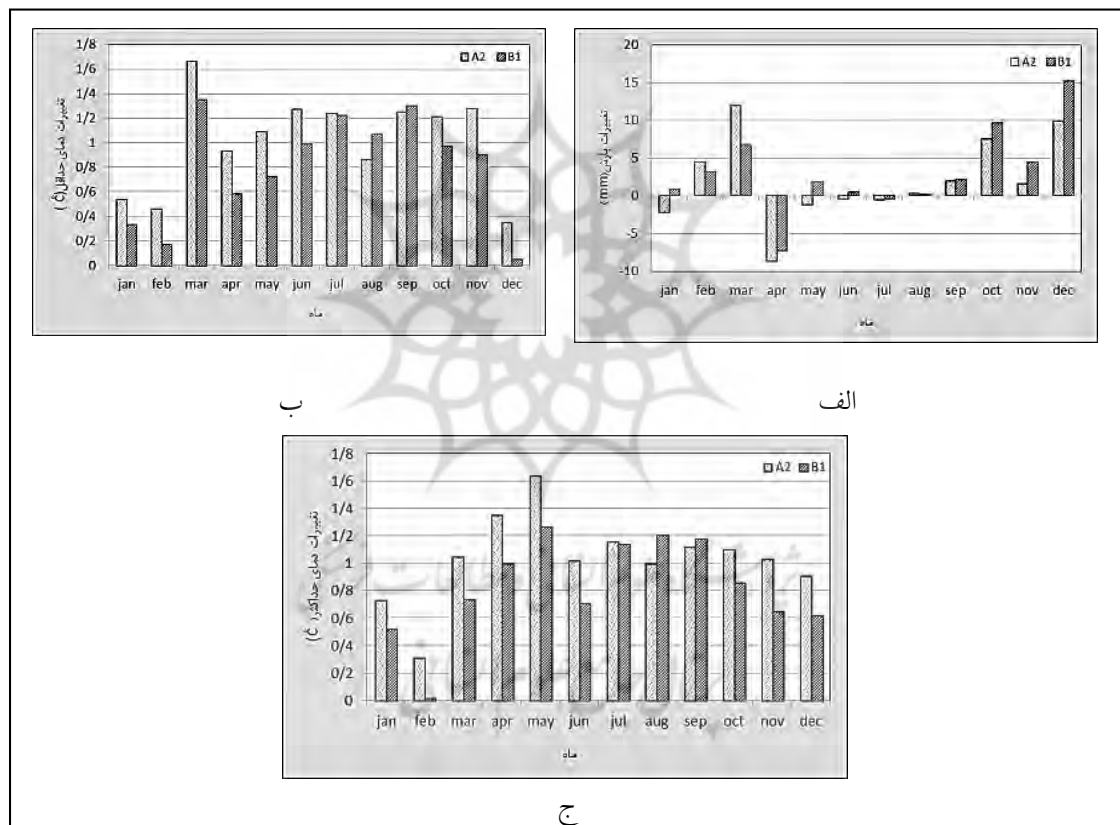
جدول ۱ آماره‌های خطاسنجی متغیرهای هواشناسی مشاهداتی و مدلسازی در دوره پایه

میانگین دمای حداقل ماهانه				میانگین دمای حداکثر ماهانه				میانگین بارش ماهانه			
Bias	NSE	MAE	RMSE	Bias	NSE	MAE	RMSE	Bias	NSE	MAE	RMS E
۰/۰۱۷	۰/۹۹۹	۰/۰۱۸	۰/۲۳	۰/۰۵۸	۰/۹۹۹	۰/۰۵۸	۰/۲۲۸	۱/۶۵۸	۰/۹۸۲	۰/۶۵	۳/۱۷۶

۲.۴. پیش بینی پارامترهای هواشناسی دهه ۲۰۲۰

شکل ۴ اختلاف میانگین ماهانه بارش، دمای حداقل و حداکثر پیش‌بینی شده دهه ۲۰۲۰ و دوره پایه تحت سناریوهای A2 و B1 را نشان می‌دهد. هر دو سناریو به طور مشترک برای ماه‌های فوریه، مارس، اگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش بارندگی و برای ماه‌های آوریل و ژوئیه کاهش بارندگی را پیش‌بینی نموده‌اند. سناریوی A2 بیشترین افزایش بارندگی را برای ماه مارس و به میزان $19/43$ درصد و سناریوی B1 برای ماه دسامبر و به میزان $32/31$ درصد پیش‌بینی نموده است. بیشترین کاهش بارندگی در ماه آوریل به وقوع خواهد پیوست. در ماه‌های ژانویه، می و ژوئن سناریوی A2 کاهش بارش و سناریوی B1 افزایش بارش را پیش‌بینی می‌نماید. در کل می‌توان بیان داشت مجموع بارش متوسط سالانه در دهه آتی حوزه آبخیز

اسکندری روند افزایشی خواهد داشت. میزان بارش متوسط سالانه پیش‌بینی شده برای این دوره تحت سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۳۶۴/۵ و ۳۷۶/۹ میلی‌متر می‌باشد، در مقابل میزان بارندگی سالانه دوره مشاهداتی ۳۳۹/۸ میلی‌متر بوده، بدین ترتیب منطقه مطالعاتی شاهد افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی بارش خواهد بود. از نظر تغییرات فصلی، دو سناریوی A2 و B1 افزایش ۱۸/۷ تا ۲۸/۶ درصدی بارش را برای فصل پاییز و افزایش ۸/۲ تا ۱۰/۵ درصدی را برای فصل زمستان پیش‌بینی نموده‌اند. فصل بهار با کاهش ۷/۲ تا ۱۴/۶ درصدی بارش روبه‌رو خواهد بود. مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴)، در مطالعه خود در حوضه سد زاینده رود افزایش ۷ درصدی بارش را پیش‌بینی نموده‌اند که با توجه به قرارگیری حوزه آبخیز اسکندری در محدوده حوضه آبریز سد زاینده رود، نتایج همخوانی مناسبی با یکدیگر دارند. نتایج همچنین با مطالعه مهسافر و همکاران (۱۳۸۹) نیز مطابقت دارد.



شکل ۴ تغییرات میانگین ماهانه الف) بارش ب) دمای حداقل

ج) دمای حداکثر آینده نسبت به گذشته

هر دو سناریو افزایش دمای حداقل و حداکثر را در تمامی ماه‌ها پیش‌بینی نموده‌اند. سناریوی A2 و B1 به ترتیب نشان از افزایش ۰/۳ تا ۱/۶ و ۰/۵ تا ۱/۳ درجه سانتی‌گرادی دمای حداقل می‌باشند. با مقایسه دمای

حداکثر دوره پایه و دهه ۲۰۲۰، بیشترین افزایش دمای حداکثر در ماه می به میزان ۱/۶ تا ۱/۲ درجه سانتی‌گراد رخ خواهد داد. کم‌ترین افزایش مربوط به ماه فوریه و به میزان ۰/۳ تا ۰/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. با بررسی تغییرات فصلی دمای حداکثر و حداقل در تمامی فصول افزایش خواهد داشت. به طوری که این افزایش در فصول گرم سال بیشتر از فصول سرد سال خواهد بود. با توجه به افزایش توأمان دمای حداقل و حداکثر می‌توان انتظار داشت میانگین دمای منطقه مطالعاتی در دهه‌های آتی افزایش قابل توجهی را تجربه نماید. میزان متوسط دمای سالانه پیش‌بینی شده برای دهه ۲۰۲۰ تحت دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و با توجه به این که متوسط دمای دوره پایه در منطقه مطالعاتی ۹/۸ درجه سانتی‌گراد بوده است، سناریوهای مذکور افزایش ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی‌گرادی دمای متوسط سالانه را برای دهه آتی حوزه آبخیز اسکندری پیش‌بینی می‌نمایند. این نتایج با مطالعه مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) که افزایش ۱/۱ درجه سانتی‌گرادی دما را برای حوزه آبریز سد زاینده رود پیش‌بینی کرده است، مطابقت دارد.

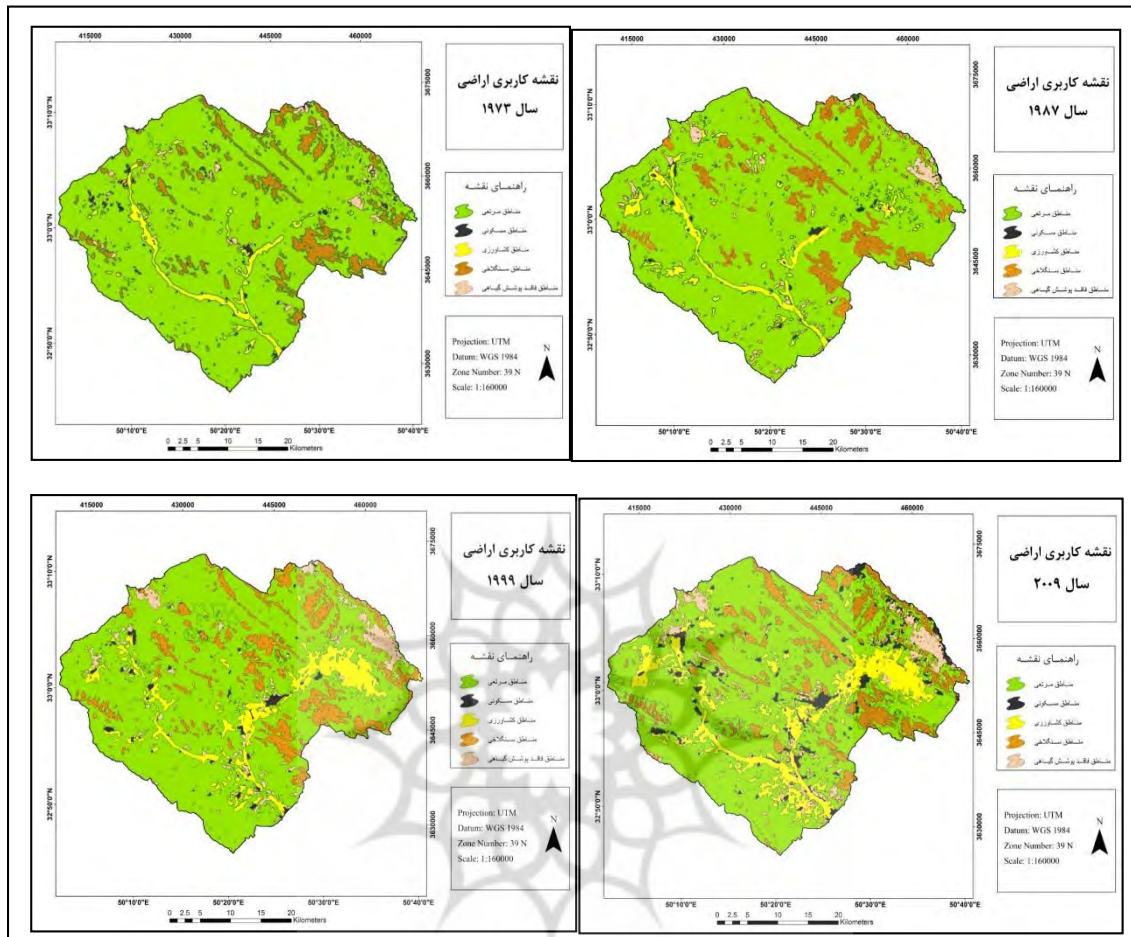
۱. ۴. تهیه نقشه کاربری اراضی دوره گذشته و پیش‌بینی آینده

در جدول ۲ مقادیر شاخص کاپا و صحت کلی الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده در طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۰۹ آورده شده است.

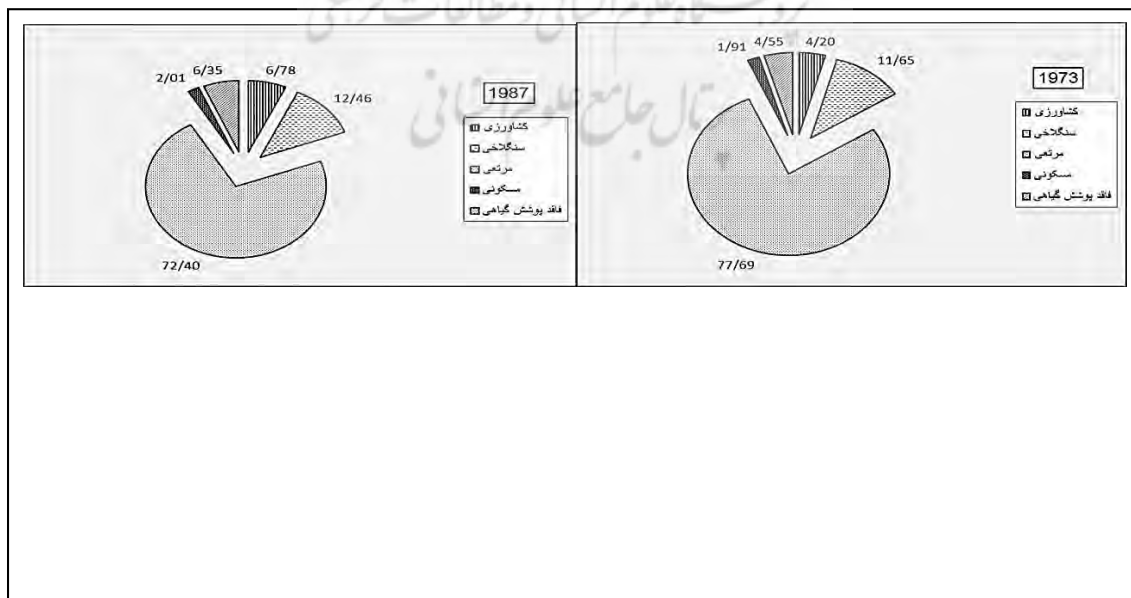
جدول ۲ شاخص‌های ارزیابی کارایی الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

شاخص	الگوریتم حداکثر احتمال	الگوریتم حداقل فاصله	الگوریتم شبکه عصبی
ضریب کاپا	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۹
صحت کلی (درصد)	۸۸/۲۳	۸۱/۰۸	۹۲/۶۱

با توجه به این دو شاخص، الگوریتم شبکه عصبی بهترین عملکرد را داشته و از نظر تفهیر بصری نیز کاربری‌های مسکونی و مناطق سنگلاخی که دارای بازتاب طیفی یکسانی بوده، با استفاده از این الگوریتم به بهترین نحو طبقه‌بندی شدند. بدین ترتیب تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۷۳ و ۱۹۹۹ نیز با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی طبقه‌بندی و به کلاس‌های مناطق مسکونی، مرتعی، کشاورزی، سنگلاخی و بدون پوشش گیاهی تقسیم‌بندی شدند. شکل ۵ نقشه کاربری اراضی و شکل ۶ درصد مساحت کاربری‌های مختلف را نسبت به کل حوزه نمایش می‌دهد.



شکل ۵ نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز اسکندی در سالهای مختلف





شکل ۶ درصد مساحت کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز اسپندری مساحت حوزه را در چنانچه ملاحظه می‌شود، در طول سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۹ مناطق مرتعی که بیشترین مساحت حوزه را در بر می‌گیرد، روند نزولی داشته و مساحت آن در طول زمان ۱۲/۸۹ درصد کاهش یافته است. این تغییرات از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۹ شتاب زیاد و از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ با شتاب کم‌تری صورت گرفته است. مناطق با کاربری کشاورزی و همچنین مناطق فاقد پوشش گیاهی در طول زمان افزایش ۵/۹۲ و ۳/۲ درصدی داشته است. افزایش مناطق کشاورزی و همچنین اراضی فاقد پوشش گیاهی نیز از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۹ با سرعت زیادی صورت گرفته و شتاب این تغییر از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ کم‌تر شده است. با گذشت زمان و افزایش جمعیت منطقه مطالعاتی مساحت مناطق مسکونی ۰/۹۸ درصد افزایش یافته است. سرعت رشد مناطق مسکونی بعد از سال ۱۹۸۷ بیشتر بوده است. در مناطق سنگلاخی نیز با از بین رفتن پوشش سطحی در طول زمان افزایش کمی مشاهده می‌شود.

در جدول ۳ معادلات روند تغییرات درصد مساحت کاربری‌های مختلف و زمان در دوره گذشته و همچنین پیش‌بینی درصد مساحت کاربری‌های مختلف در دهه ۲۰۲۰ آورده شده است.

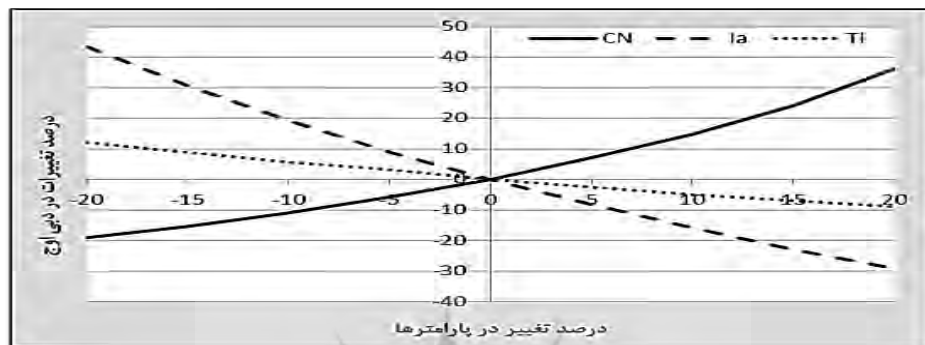
جدول ۳ معادلات روند تغییر مساحت کاربری‌های مختلف در طول زمان

کاربری اراضی	روابط مساحت کاربری و زمان	همبستگی (R ²)	درصد مساحت کاربری‌های پیش‌بینی شده
کشاورزی	$y = 0.174x - 338.88$	۰/۹۶	۱۲/۶
سنگلاخی	$y = 0.0832x - 152.53$	۰/۹۶	۱۵/۵
مرتعی	$y = -0.3763x + 819.95$	۰/۹۷	۵۹/۷
مسکونی	$y = 0.0272x - 51.827$	۰/۸۹	۳/۱
فاقد پوشش	$y = 0.0919x - 176.52$	۰/۹۳	۹/۱

۴.۴. آنالیز حساسیت مدل HEC-HMS

شکل ۷ منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر پارامترهای شماره منحنی، زمان تأخیر و تلفات اولیه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود انحنا منحنی تغییرات CN و تلفات اولیه بیشتر از شیب منحنی تغییرات زمان تأخیر می‌باشد، بدین ترتیب می‌توان گفت مدل نسبت به شماره منحنی و تلفات اولیه بیشترین

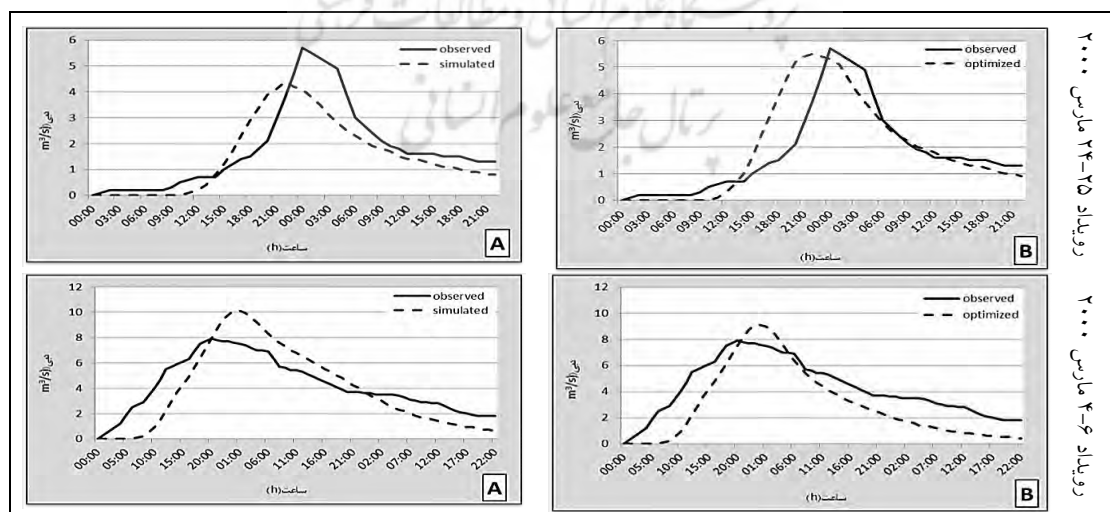
حساسیت را دارا می‌باشد. میزان حساسیت مدل نسبت به CN در دامنه ۰ تا +۲۰ درصد و نسبت به تلفات اولیه در دامنه ۰ تا -۲۰ درصد بیشتر می‌باشد؛ بنابراین اگر CN نسبت به حالت واقعی بیشتر و تلفات اولیه نسبت به حالت واقعی کمتر محاسبه شده باشد، تأثیر بیشتری بر دبی اوج سیلاب خواهد داشت. در نهایت این دو به عنوان تأثیر گذارترین پارامترها بر دبی اوج سیلاب برای مرحله واسنجی و بهینه سازی انتخاب شدند.

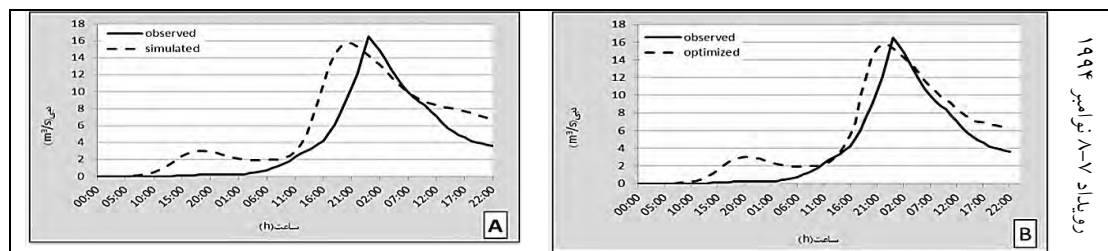


شکل ۷ منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در پارامترها

۲.۵. واسنجی و بهینه‌سازی مدل HEC-HMS

شکل ۸ هیدروگراف‌های مرحله واسنجی را قبل و بعد از بهینه‌سازی نمایش می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌شود، بعد از بهینه‌سازی اختلاف دبی اوج و حجم سیلاب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل کاهش یافته است. بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که استفاده از مدل بدون واسنجی و با تکیه بر آورد پارامترهای مدل با استفاده از روابط تجربی باعث ایجاد خطا در شبیه‌سازی سیلاب می‌شود. بدین ترتیب اهمیت و ضرورت واسنجی مشخص می‌شود.



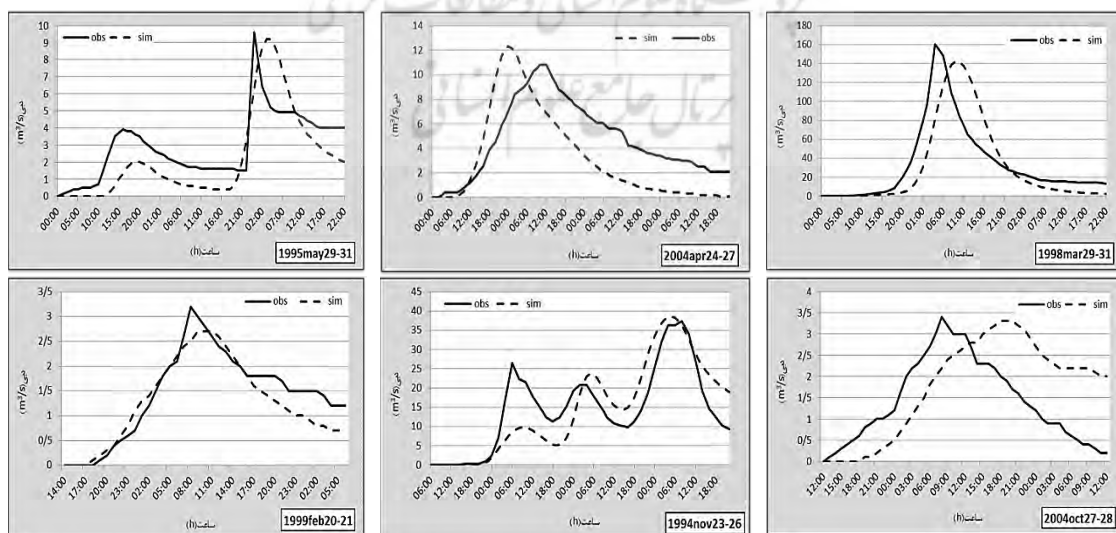


شکل ۸ هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (A) قبل و (B) بعد از بهینه‌سازی

a. اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

شکل ۹ هیدروگراف‌های مرحله اعتبارسنجی مدل را نشان می‌دهد. مدل دبی حداکثر سیلاب را با $3/1$ تا $14/29$ درصد اختلاف و حجم آن را با اختلاف $0/2$ تا $30/32$ درصد شبیه‌سازی نموده است. با توجه به وسعت زیاد و بارش‌های غیر فراگیر در منطقه مطالعاتی این اختلاف در شبیه‌سازی قابل قبول می‌باشد. در هیدروگراف‌های ماه می ۱۹۹۵ و همچنین نوامبر ۱۹۹۴ که سیلاب‌هایی با چند نقطه اوج (چند قله ای) می‌باشند، مشاهده می‌شود که مدل نقاط حداکثر، حداقل و زمان رسیدن به حداکثر سیلاب را به خوبی شبیه‌سازی نموده است که این نشان از توانایی مدل در شبیه‌سازی سیلاب‌های دوره گذشته است. اختلاف‌های دبی حداکثر کم‌تر از اختلاف حجم سیلاب بوده، بدین ترتیب می‌توان بیان داشت که مدل در شبیه‌سازی دبی اوج دقت بیشتری نسبت به حجم سیلاب دارد.

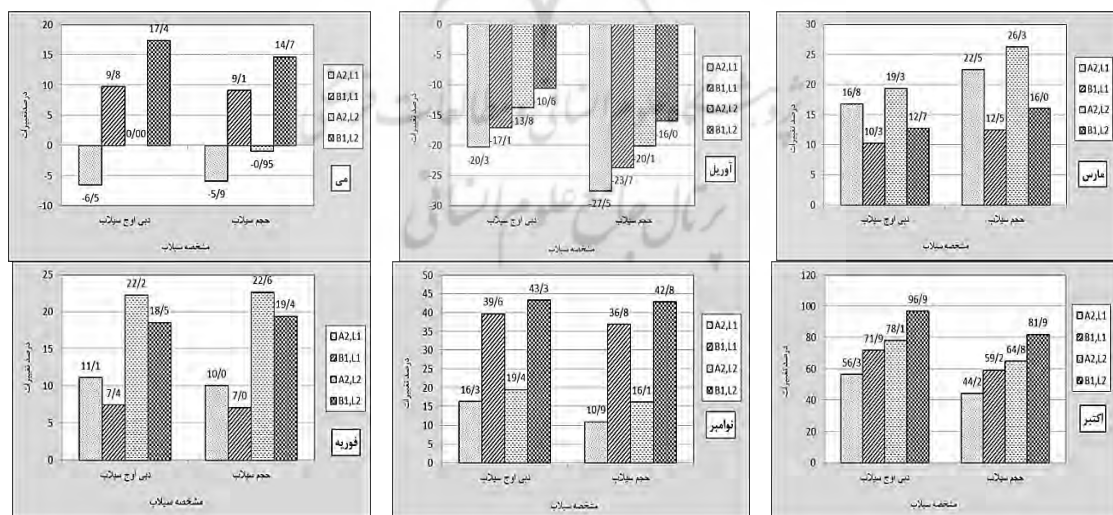
شاخص ناش-ساتکلیف کارایی مدل HEC-HMS را در شبیه‌سازی دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب $0/91$ و $0/89$ و شاخص اریبی $0/09$ و $0/07$ محاسبه نموده است. با توجه به بالا بودن مقادیر شاخص کارایی، می‌توان به نتایج مدل اطمینان کامل داشته و از آن‌ها برای پیش‌بینی سیلاب‌های دهه‌های آتی بهره جست.



شکل ۹ هیدروگراف مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی

b. پیش‌بینی هیدروگراف سیلاب دهه آتی تحت اثر تغییر اقلیم و کاربری‌اراضی

درصد تغییرات دبی و حجم سیلاب دهه ۲۰۲۰ نسبت به گذشته در شکل ۱۰ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تمامی سناریوها برای ماه‌های مارس، اکتبر، نوامبر و فوریه افزایش سیلاب پیش‌بینی نموده‌اند. حیدری (۱۳۹۰) نیز افزایش دبی سیلاب دهه آتی در حوزه آبخیز سد طرق مشهد را به اثبات رسانده است. با توجه به سناریوهای A2,L1 و B1,L1 و در صورت عدم تغییر کاربری‌اراضی، تنها تحت اثر تغییرات اقلیمی دبی اوج در ماه مارس ۱۰/۳ تا ۱۶/۸ درصد، ۵۶/۳ تا ۷۹/۹ درصد در ماه اکتبر، ۱۶/۳ تا ۳۹/۶ درصد در ماه نوامبر و ۷/۴ تا ۱۱/۱ درصد در ماه فوریه افزایش خواهد داشت. حجم سیلاب در این ماه‌ها با افزایش بیشتری روبه‌رو خواهد بود. چنانچه در مباحث اقلیمی بیان شد، ماه‌های نامبرده در دهه ۲۰۲۰ با افزایش میانگین بارش روبه‌رو بوده، بدین ترتیب افزایش خصوصیات سیلاب در این ماه ناشی از افزایش بارندگی می‌باشد. در صورتی که تغییر کاربری‌اراضی با تغییر اقلیم همراه شود (سناریوهای A2,L2 و B1,L2) افزایش دبی اوج و حجم سیلاب تشدید خواهد شد به طوری که دبی ۱۲/۷ تا ۱۹/۳ درصد در ماه مارس، ۷۸/۱ تا ۹۶/۹ درصد در ماه اکتبر، ۱۹/۴ تا ۴۳/۳ درصد در ماه نوامبر و ۱۸/۵ تا ۲۲/۲ درصد در ماه فوریه افزایش خواهد داشت. در این بین شاهد شدت بیشتر سیلاب ماه اکتبر نسبت به سایر ماه‌ها علی‌رغم دبی کمتر آن خواهیم بود. علت این امر افزایش بیشتر بارندگی (۴۶/۶ تا ۶۰/۳۲ درصد) ماه مذکور نسبت به سایر ماه‌هاست.



شکل ۱۰ درصد تغییرات دبی و حجم سیلاب دهه ۲۰۲۰ نسبت به گذشته

نتایج نشان دهنده کاهش ۱۰/۶ تا ۲۰/۳ درصدی دبی و کاهش ۱۶ تا ۲۷/۵ درصدی حجم سیلاب ماه آوریل می باشد. با وجود تغییر کاربری اراضی به سمت افزایش مناطق سنگلاخی و غیر قابل نفوذ، سناریوهای A2,L2 و B1,L2 کاهش دبی و حجم سیلاب را پیش بینی نموده اند که علت آن کاهش بارندگی ماه آوریل در دهه ۲۰۲۰ می باشد. ذکر این نکته ضروری است که کاهش پیش بینی شده توسط دو سناریوی مذکور کم تر از کاهشی است که سناریوهای A2,L1 و B1,L1 پیش بینی نموده اند. کاهش سیلاب تا حدی با افزایش رواناب حاصل از تغییر کاربری اراضی جبران شده است. تغییرات حاصله در وضعیت هیدروگراف ماه آوریل غالب بودن اثر تغییر اقلیم بر کاربری اراضی را اثبات می کند، به طوری که با تأثیر توأم اقلیم و کاربری اراضی شاهد کاهش سیلاب که ناشی از کاهش بارندگی است، هستیم. بدین ترتیب می توان بیان کرد که با وجود اینکه تغییر کاربری اراضی موجب تشدید سیلاب می شود اما به نظر می رسد که تغییرات سیلاب از اقلیم تبعیت می کند. سناریوهای مختلف در پیش بینی وضعیت سیلاب ماه می در دهه ۲۰۲۰ رفتاری متفاوت دارند. سناریوی A2,L1 و B1,L1 که با فرض تغییر اقلیم و عدم تغییر کاربری اراضی استوارند، به ترتیب ۶/۵- و ۹/۸ در صد تغییر در دبی اوج و ۵/۹- و ۹/۱ در صد تغییر در حجم سیلاب را پیش بینی نموده اند. با بررسی تغییرات بارندگی دهه آتی مشاهده می شود که سناریوی A2 افزایش بارش و سناریوی B1 کاهش بارش را پیش بینی نموده اند؛ بنابراین تغییر وضعیت سیلاب همگام با تغییر اقلیم خواهد بود. تحت سناریوهای A2,L2 و B1,L2 که اثر تغییر کاربری اراضی نیز در نظر گرفته شده به ترتیب عدم تغییر دبی و افزایش ۱۷/۴ درصدی آن پیش بینی شده است. همانطور که بیان شد سناریوی اقلیمی A2 بیان کننده افزایش ۵/۶۴ درصدی بارش بوده است لیکن عدم تغییر سیلاب تحت سناریوی ترکیبی A2,L2 نشان دهنده اثر تغییر کاربری می باشد چنانکه تغییر کاربری به سمت افزایش مناطق سنگلاخی و غیر قابل نفوذ، کمبود بارندگی دهه ۲۰۲۰ را جبران نموده و سیلاب تغییری نخواهد نمود. در مورد سناریوی B1,L2 افزایش بارش تحت اثر تغییر اقلیم و افزایش رواناب ناشی از تغییر کاربری باعث افزایش شدید دبی و حجم سیلاب شده است. مقایسه سناریوی B1,L1 و B1,L2 نقش تغییر کاربری در تشدید سیلاب را اثبات می کند.

۵. نتیجه گیری

در این مطالعه به پیش بینی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر وضعیت هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اسکندری، از منابع مهم تأمین کننده آب سد زاینده رود در دهه آتی پرداخته شد. نتایج نشان دهنده افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی بارش متوسط سالانه در دهه ۲۰۲۰ می باشد. از نظر تغییرات فصلی، بارش پاییزه افزایش و بارش بهار کاهش خواهد یافت. افزایش توأم دمای حداقل و حداکثر منطقه مطالعاتی در تمامی ماهها موجب افزایش ۰/۸۲ تا ۱/۰۲ درجه سانتی گراد دمای متوسط سالانه در دهه ۲۰۲۰ خواهد شد. در این بین

افزایش دمای بهار و تابستان از سایر فصول بیشتر خواهد بود. به این ترتیب می‌توان بیان داشت افزایش بارش در منطقه مطالعاتی به علت همراهی با افزایش دما، لزوماً بهبود شرایط دسترسی به منابع آب و به دنبال آن بهبود وضعیت کشاورزی و پوشش گیاهی را به همراه نخواهد داشت. چرا که افزایش دما، موجب افزایش تبخیر و تعرق و از دسترس خارج شدن منابع آب خواهد شد.

همانطور که بیان شد، حوزه آبخیز اسکندری در تابستان و بهار دوره‌های آبی با کاهش بارش روبرو خواهد بود، در حالی که بیشترین افزایش دمای هوا در همین فصول رخ خواهد داد. با توجه به این که قسمت قابل توجهی از منطقه مطالعاتی، زمین‌های کشاورزی بوده و معیشت بخش زیادی از آبخیز نشینان این منطقه به کشاورزی وابسته است، و در این فصول نیاز به منابع آب جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی و همچنین شرب بیشتر است، مدیریت و برنامه‌ریزی جهت استحصالی و ذخیره سازی آب در فصول پر باران، توسعه روش‌های ضروری است. برنامه‌ریزی مدیریتی جهت استحصالی و ذخیره سازی آب در فصول پر باران، توسعه روش‌های جدید تأمین آب، به کارگیری شیوه‌های کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن توصیه می‌شود.

با افزایش دما در منطقه مطالعاتی احتمال افزایش نسبت بارش‌های مایع به کل بارش سالانه وجود دارد، بدین ترتیب ممکن است ذخایر آبی (برف) برای تابستان و بهار کاهش یابد. از آن جا که منطقه مطالعاتی یکی از منابع تأمین کننده آب سد زاینده رود بوده، بحران آب در دوره‌های آبی محتمل خواهد بود.

نتایج نشان دهنده افزایش دبی اوج و حجم سیلاب در ماه‌های مارس، اکتبر و فوریه در دهه ۲۰۲۰ می‌باشد به طوری که در صورت تغییر کاربری اراضی همراه با تغییر اقلیم این افزایش شدیدتر خواهد بود، بدین ترتیب می‌توان بیان داشت تغییر کاربری موجب تشدید سیلاب می‌گردد. در این بین ماه اکتبر به علت داشتن بارندگی بیشتر در دوره آبی با شدت سیلاب بیشتری رو به رو خواهد بود. در ماه آوریل دهه ۲۰۲۰ کاهش حجم و دبی سیلابی پیش‌بینی شده است. در این ماه با وجود تغییر کاربری به سمت افزایش مناطق سنگلاخی و غیر قابل نفوذ نیز با کاهش سیلاب پیش رو خواهیم بود که علت آن کاهش بارندگی در دهه آبی و غالب بودن اثر تغییر اقلیم می‌باشد. کاهش دبی سیلابی در ماه آوریل از دو دیدگاه قابل بررسی است. از دیدگاه مقابله با اثرات مخرب پدیده سیلاب کاهش دبی اوج نکته‌ای مثبت به شمار می‌آید در حالی که کاهش دبی نشانی از کاهش کلی منابع آب در منطقه مطالعاتی خواهد بود. از آن جا که در این ماه (معادل با اردیبهشت) نیاز به آب کشاورزی زیاد خواهد بود، جهت جلوگیری از بحران آب، تدابیر مدیریتی ضروری به نظر می‌رسد. چنانچه از نتایج مشخص است در صورت همراهی تغییرات کاربری اراضی با تغییر اقلیم شدت سیلاب‌های آبی افزایش می‌یابد و در صورت ادامه روند تغییرات کاربری گذشته و همراهی آن با تغییر اقلیم، شاهد افزایش دبی و حجم سیلاب در منطقه مطالعاتی خواهیم 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

تأثیر گذاشته و موجب تشدید تغییر اقلیم می شود (عساکره، ۱۳۸۶: ۱۵۴). تغییر اقلیم نیز خود موجب افزایش رواناب خواهد شد. 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 (تغییر کاربری موجب افزایش رواناب و تشدید تغییر اقلیم و تغییر اقلیم نیز موجب افزایش رواناب می شود).

مشکل سیل در رودخانه جاری در حوزه آبخیز اسکندری به صورت فرسایشی خود را نشان می دهد و پخش شدن آب و زیر سیل رفتن اراضی و تهدید و تخریب روستاها، راه‌ها، ابنیه و تأسیسات کم تر مطرح می باشد (مطالعات مهندسی رودخانه پلاسجان، سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان). 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 می دهد و خاک شسته شده به صورت رسوب همراه جریان آب به مخزن سد زاینده رود انتقال می یابد. 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 رو به رو خواهیم بود، که این امر باعث تشدید فرسایش کنار رودخانه‌ای شده و به دنبال آن حجم رسوبات انتقال یافته به پشت سد افزایش می یابد، بدین ترتیب کاهش عمر مفید سد یکی از معضلات دهه آتی خواهد بود. همچنین رسوبات فرسایش یافته، بعد از انتقال به پایین دست حوضه در آن جا انباشته شده و می تواند 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 پخش شدگی بیشتر سیلاب و دربرگرفتن اراضی بیشتر کشاورزی خواهیم بود.

اصلی ترین راه مقابله با چنین معضلاتی کنترل تغییر اقلیم می باشد. کنترل تغییر اقلیم با جلوگیری از افزایش یا کنترل تولید گازهای گلخانه‌ای امکان پذیر می باشد (ذهبیون، ۱۳۸۱: ۲۷). توسعه سطوح جنگلی موجود در منطقه (سنوبر، بادام و گردو)، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی در جهت منفی، افزایش پوشش گیاهی به سمت کلیماکس و استفاده از اراضی در راستای توان اکولوژیک منطقه هم در کاهش رواناب مؤثر بوده و هم با ترسیب کربن در کاهش گازهای گلخانه‌ای مؤثر خواهند بود. در این راستا آموزش همگانی و فرهنگ سازی گام مؤثری به شمار می رود. کنترل فرسایش و حفاظت اراضی اطراف رودخانه و افزایش ظرفیت هیدرولیکی رودخانه پلاسجان، جهت کنترل سیلاب‌ها و رسوبات احتمالی ناشی از آن توصیه می شود.

کتابنامه

آبایی، بهنام؛ میرزایی، فرهاد و تیمور سهرابی؛ ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران. پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، صص. ۲۲۲-۲۱۷.

- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک؛ ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان، دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۶۱. مجله نیوار، شماره ۶۲، صص. ۴۹-۶۵.
- تلوری، عبدالر سول؛ ۱۳۷۵. کتاب مدل‌های هیدرولوژی به زبان ساده، تهران: انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.
- حجازی زاده، زهرا؛ فتاحی، ابراهیم؛ مساح بوانی، علیرضا و محمدحسین ناصرزاده؛ ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدروگراف سیلاب در دوره‌های آتی، مطالعه موردی: حوضه آبریز بختیاری. فصلنامه جغرافیا، سال دهم، شماره ۳۴، صص. ۵-۲۴.
- حیدری، عبدالمجید؛ ۱۳۹۰. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دبی و رسوب حوزه آبخیز سد طرق مشهد. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد. استاد راهنما: محمدتقی دستورانی.
- ذهبیون، باقر؛ ۱۳۸۱. اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب. نشریه شماره ۴۹: وزارت نیرو- کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- رحمانی، ناصح؛ شاهدی، کاکا؛ سلیمانی، کریم و میریعقوب زاده، میرحسین؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز کسلیان. مدیریت حوزه آبخیز، سال هفتم، شماره ۱۳.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۶. تغییر اقلیم، زنجان، انتشارات دانشگاه زنجان.
- غریب دوست، مسعود؛ قربانی، محمدعلی و فروزنده شهرتی، ایمان؛ ۱۳۹۵. برآورد میزان تاثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوزه آبخیز صوفی چای. مهندسی منابع آب ایران، سال نهم، شماره ۲۹، صص. ۲۸-۴۵.
- مالمیر، مهسا؛ محمدرضا پور، ام‌النبی؛ شریف‌آذری، سلمان و قندهاری، قاسم؛ ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه قره‌سو با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 و شبکه عصبی پویا. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال بیست و سوم، شماره ۳، صص. ۳۱۷-۳۲۶.
- قربانی، خلیل؛ سهرابیان، الهه؛ سالاری جزی، میثم و عبدالحسینی، محمد؛ ۱۳۹۵. حفاظت منابع آب و خاک، سال پنجم، شماره ۴.
- مساح بوانی، علیرضا و سعید مرید؛ ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره چهارم، صص. ۱۷-۲۷.
- مطالعات مهندسی رودخانه پلاسجان؛ ۱۳۸۵. جلد دوم. سازمان جهاد سازندگی استان اصفهان، مدیریت آبخیزداری- شرکت مهندسی مشاور پارساب.
- مہسافر، حمید؛ مکنون، رضا و بهرام ثقفیان؛ ۱۳۸۹. اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه. تحقیقات منابع آب ایران، سال هفتم، شماره یک، صص. ۴۷-۵۸.

Aggarwal, S., Gary, V., Gupta, B., Nikman, R., & Thakur, P. (2012). Climate and landuse change scenarios to study impact on hydrological regime. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8, 58-72.

- Azim Adnan, N. (2010). *Quantifying the impact of climate change and land use change on the hydrological response of a Monsoonal catchment*(Unpublished doctoral dissertation). University of South Ampton, England.
- Du, J., Qian, L., Rui, H., Zuo, T., Zheng, D., Xu, Y. (2012). Assessing the effect of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai river basin, China. *Journal of Hydrology*, 464-465, 127-139.
- Mango, L., Melesse, A., McClain, M., Gann, D., & Setegn, S. (2011). Land use 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.
- Meenu, R., Rehana, S., & Mujumdar, P. (2012). Assessment of hydrology impact of climate change in Tanga-Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM. *Hydrological Process*, 12, 1572-1589.
- Miller, S. N., Kepner, W. G., Mehaffey, M. H., Hernandez, M., Miller, R. C., & Miller, W. P. (2002). Integrating landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4), 915-929.
- Muhammad, A., Jamal Khan, S., & Aslan, I. (2011). Simulation of the impact of land use changes on surface runoff Lai Nullah basin in Islamabad Pakistan. *Landscape and Urban Planning*, 102, 271-279.
- Ying, C., Youpeng, X., & Yixing, Y. (2009). Impact of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*, 208, 121-128.