ارزیابی تغییرات کاربری زمین با استفاده از داده‌های سنجش از دور چند زمانی و مدل‌های آماری و میزان تأثیر آن در افزایش رواناب (مطالعه موردی حوضهٔ گرگان‌رود ـ استان گلستان)

فریبا پاک‌نژاد: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*
عزت اله قنواتی*: استاد *ژئومورفولوژی دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*
علی احمدآبادی: *دانشیار ژئومورفولوژی دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران*

مقاله پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۵)

چکیده

تغییرات آب و هوا، کاربری زمین و تغییرات پوشش آن، بر فرایندهای رواناب ـــــ فرسایش تأثیر قابل توجهی دارد. این مطالعه برای بررسی تغییرات کاربری اراضی و میزان نقش آن در افزایش رواناب در حوضه آبریز گرگان‌رود طی یک دورهٔ ۳۵ ساله انجام شد و با استفاده از ادغام تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. در پژوهش حاضر تصاویر لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ پردازش و تجزیه و تحلیل شد. تأثیر کاربری زمین در پتانسیل رواناب نیز از طریق مدل نیمه توزیعی SWAT شبیه‌سازی و برای واسنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد.. نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده در تغییرات کاربری اراضی طی بازهٔ زمانی مشخص، حاکی از آن است که در بازهٔ زمانی ۲۰۲۰-۱۹۸۶، بیشترین تغییر شکل مربوط به اراضی جنگلی است که از ۳۳۴۲/۸۰ کیلومتر مربع در سال ۱۹۸۶ به ۱۸۱۹/۸۷کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته‌است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی در حوضهٔ رودخانهٔ گرگان‌رود، به افزایش حجم رولناب از ۱۴۹/۴۵در سال ۱۹۸۶ به ۱۵۹/۸۶ میلی‌متر در سال ۲۰۲۰ (به میزان ۶/۸۹درصد افزایش داشته) منجر شده‌است و بیشترین تأثیر در افزایش رواناب نیز مربوط به افزایش کاربری اراضی کشاورزی و کاهش اراضی جنگلی به ترتیب به میزان ۴۳/۶۳ و ۳۷/۲۵درصد، در طی دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۸۶است. در نهایت، مقایسهٔ اثر تغییرات کاربری اراضی بر مؤلفه‌های چرخهٔ هیدرولوژیکی و مقادیر مختلف رواناب نشان می‌دهد که با ادامهٔ روند تخریبی کاربری، مقادیر مختلف رواناب افزایش یافته و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق نیز کاهش یافته‌است؛ این امر بر توان سیلاب در حوضهٔ مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد. نتایج این مطالعه، برای مدیریت حوادث شدید و برنامه‌ریزی/ مدیریت کاربری اراضی در آینده در منطقه مرتبط و مفید است.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، سیلاب، مدل هیدرولوژیکی، حوضهٔ گرگان‌رود.

* نویسنده مسئول: Ghanavati@khu.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

۱- مقدمه

واژه‌های کاربری و پوشش زمین، اگرچه وضعیت سطح زمین را توصیف می‌کنند (GemitzI, 2020) و عناصر جذب‌کنندهٔ پایه منابع هستند (Tadese et al, 2021) و ویژگی زمانی پویا دارند (Assaf et al, 2021)، دیدگاه آنها نسبت به هم متفاوت است؛ زیرا کاربری زمین، فعالیت‌های انسانی را منعکس می‌سازد و محدوده‌های اراضی و ورودی‌ها را توصیف می‌کند که اغلب با مردم مرتبط است (Sharma et al, 2012)؛ در حالی که پوشش زمین شرایط بیوفیزیکی را بررسی می‌کند و ویژگی‌های طبیعی و انسانی را که می‌توان در سطح زمین مشاهده کرد، توصیف می‌کند. بنابراین، کاربری زمین و پوشش آن (LULC)[1]، مجموعهٔ پیچیده‌ای از تغییرات ناشی از تعامل محیط طبیعی و فعالیت‌های انسانی است که بر تغییرات محیطی جهانی و توسعهٔ پایدار تأثیر مهمی دارد (Li et al, 2020). عواملی از قبیل تغییرات کاربری اراضی، شدت بارندگی، درجه اشباع خاک و غیره، سبب به هم خوردن تعادل و جریان طبیعی رودخانه‌ها می‌شود (Ghanavati et al, 2014). تغییرات درکاربری زمین می‌تواند به دلیل رشد جمعیت و توسعهٔ فعالیت‌های منطقه‌ای رخ دهد (Prayitno et al, 2020). فرسایش خاک، تخریب خاک، کاهش مساحت جنگل و تنوع زیستی می‌تواند از مشکلات ناشی از این توسعه باشد (Hu et al, 2019) که بر محیط منطقه‌ای و جهانی تأثیر عمده‌ای می‌گذارد (Chen et al, 2020). تغییرات (LULC) نه تنها می‌تواند به صورت مستقیم بر کمیت و کیفیت منابع زمین در زندگی انسان تأثیر بگذارد، بلکه به طور غیرمستقیم به تغییرات آب و هوایی ـــ که یکی از عوامل مهم گرم شدن زمین است ـــ منجر می‌شود (Baoying et al, 2008). بنابراین، می‌تواند رژیم هیدرولوژیکی و مکانیسم‌های بارش ـــ رواناب یک منطقه را تغییر دهد (Li et al, 2007). گسترش شهرنشینی نیز به افزایش مناطق نفوذناپذیر و کاهش جذب بارندگی در حوضه آبخیز منجر می‌شود و تغییراتی در هیدرولوژی رودخانه، ایجاد رواناب پس از بارندگی و در نتیجه کاهش شارژ آبخوان ایجاد می‌کند (Quan et al, 2015).

در سراسر جهان، سیل تقریباً یک سوم خطرات طبیعی را شامل می‌شود و بیش از هر نوع بلایای دیگر بر افراد تأثیر منفی می‌گذارد (Asinya et al, 2021). تغییرات مداوم و تخریب منابع طبیعی می‌تواند مشکلات زیادی ایجاد کند؛ از جمله فرسایش خاک و افزایش رواناب (Di Palma et al, 2016). اگرچه دگرگونی محیطی زمین توسط فعالیت‌های انسانی در اواخر پلیستوسن آغاز شد، با ظهور کشاورزی و جوامع شهری این دگرگونی افزایش یافت (Stephens et al, 2019). به دلیل فعالیت‌های انسان‌زایی، سطح زمین به طور قابل توجهی در حال تغییر است (Gregory, 2006) و حضور انسان در زمین و استفادهٔ او از آن تأثیر عمیقی بر محیط طبیعی دارد؛ بنابراین، به یک الگوی قابل مشاهده در تغییر کاربری زمین/ پوشش زمین (LULC) در طول زمان منجر می‌شود (Khalid et al, 2020). پوشش کاربری زمین (LULC) نه تنها محصول ساختار زمین‌شناسی، ارتفاع و شیب بلکه ساختارهای اجتماعی ـ اقتصادی و نهادی نیز است (Nikoo et al, 2020). در طول دهه‌های اخیر، دینامیک (LULC)به صورت پویا تغییر کرد. تغییرات در کاربری زمین نیز می‌تواند به دلیل رشد جمعیت و توسعهٔ فعالیت‌های منطقه‌ای باشد (Prayitno et al, 2020). تغییر ویژگی‌های کاربری اراضی مانند جنگل‌ها، تالاب‌ها و زمین‌های زیر کشت به مناطق شهری، سطح نفوذناپذیر زمین را افزایش می‌دهد (Ghanavati. 2014) که به نوبهٔ خود به تغییر در چرخهٔ هیدرولوژیکی منجر می‌شود و این تغییرات سرعت

[1] Land Use Land Cover

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

رواناب سطحی را افزایش می‌دهد (Prasad et al, 2019). تشخیص تغییرات (LULC)، با مقایسهٔ تغییرات رخ داده در یک منطقهٔ خاص با توجه به تصاویر گرفته شده در زمان‌های مختلف امکان‌پذیر است. امروزه، داده‌های ماهواره‌ای منابع زمین در دسترس می‌باشد و برای مطالعات تحول (LULC) مرتبط و مفید است (Shanmugapriya et al, 2016)؛ زیرا برخی ویژگی‌ها مانند قابلیت دسترسی، پوشش جهانی زمین برای سال‌های متوالی و داشتن تنوع گسترده، در تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی توان‌بالایی دارد (Kantakumar, 2019). در سال‌های اخیربه دلایل اقلیمی، وقوع سیل در جهان افزایش یافته‌است (Ghanavati et al, 2013)که استان گلستان نیز از این قاعده مستثنی نیست. در سیلاب اخیر این استان، عوامل طبیعی همچون زمستان پر آب به مرطوب شدن خاک، پر شدن کانال‌های ذخیره و بالا آمدن سطح ایستایی منجر شده و در نتیجه، ضریب رواناب را افزایش داده‌است. در خصوص عوامل انسانی نیز می‌توان به عدم رعایت اصول آمایش سرزمین و تخصیص کاربری نامناسب، جنگل‌زدایی، تجاوز به حریم رودخانه و لایروبی ناکافی کانال‌های اصلی به ویژه مصب اشاره کرد. مدل‌های هیدرولوژیکی، مبنایی برای شناخت رابطهٔ علت و معلولی بین تغییرات هیدرولوژیکی و تغییرات کاربری اراضی است (Shokouhifar et al, 2022).

مطالعات متعددی در زمینهٔ مدل SWAT در شبیه‌سازی پوشش کاربری زمین برای اهداف مختلف صورت گرفته‌است که از آن میان می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد: Pikounis و همکاران (2003) با استفاده از مدل SWAT، به بررسی اثرات هیدرولوژیکی و تغییرات کاربری خاص در حوضه آبریز رودخانهٔ پینیوس در تسالی پرداختند. آنها با در نظر گرفتن سه سناریو به این نتیجه رسیدند که این سناریوها، به افزایش دبی در ماه‌های مرطوب و کاهش آن در دوره‌های خشک منجر شده‌است. سناریوی جنگل‌زدایی نیز سناریویی بود که بیشترین تغییر رواناب ماهانه را در پی داشت. Li و همکاران (2007) با استفاده از مدل SWAT، به بررسی حوضه‌ای در غرب آفریقا پرداختند و نشان دادند که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی یا مناطق شهری، به تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوضه آبخیز منجر می‌شود و نتیجهٔ این تغییر، افزایش در حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی و جریان پلیه رودخلنه‌ها است. Hua Guo و همکاران (2008) نیز در مطالعه‌ای، از مدل SWAT برای بررسی اقلیم و اثرات کاربری زمین و پوشش زمین بر هیدرولوژی و جریان در حوضهٔ رودخانه سین کیانگ دریاچهٔ پویانگ استفاده کردند. یکی از یافته‌های اصلی این مطالعه این است که اثر اقلیم، در جریان سالانه غالب است. Nie و همکاران (2011) از مدل SWAT برای هر یک از نقشه‌های پوشش کاربری زمین در چهار دورهٔ زمانی (۱۹۷۳، ۱۹۸۶، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۷) در حوضهٔ فوقانی سن پدر استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که شهرنشینی، قوی‌ترین عامل افزایش رواناب سطحی و عملکرد آب از سال ۱۹۹۷-۱۹۷۳ بوده‌است. Wagner و همکاران (2013) نیزبا استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT، اثر تغییر کاربری اراضی بر منابع آب را ارزیابی کردند. آنها معتقدند افزایش زمین‌های کشاورزی و توسعهٔ شهرنشینی هر چند در مقیاس مزرعه‌ای تغییر معناداری در تعادل آبی‌نداشته، در مقیاس حوضه‌ای و زیر حوضه‌ای تغییرات معناداری در هیدرولوژی و تعادل آبی ایجاد کرده‌است؛ به نحوی که با توسعهٔ شهرنشینی، میزان رواناب حدود ۷/۶ درصد افزایش یافته و تبخیر و تعرق کاهش یافته‌است. Lina و همکاران (2015) با استفاده از شاخص‌های زمانی مختلف بر اساس مدل SWAT، به تحلیل اثرات تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوضه پرداختند. آنها در این پژوهش به شبیه‌سازی رواناب در یک دورهٔ نه ساله

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

پرداختند و نتایج بیانگر تغییر متغیر رواناب در سه مقیاس زمانی بود. رواناب سالانه نیز کمترین افزایش را بین دو سناریوی دیگر (ماهانه و روزانه) داشت. Kundu و همکارن (2017)، تغییر کاربری و تأثیر آن بر تعادل آب در بخشی از حوضهٔ رودخانهٔ نارمادا در مادهیای هند را ارزیابی کردند. آنها تغییرات کاربری زمین را در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ بررسی و از مدل زنجیرهٔ مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات دهه‌ای ۲۰۲۰، ۲۰۳۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۵۰ استفاده کردند. در بررسی انجام شده مشخص شد که افزایش زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌ها به افزایش رواناب و کاهش ET منجر می‌شود. Daphneska و همکاران (2022)، از مدل SWAT برای بررسی روابط بین فرایندهای رواناب ـ فرسایش و کاربری اراضی و پوشش زمین استفاده کردند. نتایج نشان داد که حوضه به دلیل تغییرات LULC، استعداد بیشتری برای افزایش جریان و رسوب دارد. Nazari و همکاران (2011) نیز با استفاده از این مدل و بر مبنای فقدان قطعیت در حوضه آبریز تالار، به شبیه‌سازی رواناب پرداختند. آنها با مقایسهٔ رواناب مشاهداتی و رواناب شبیه‌سازی شده به این نتیجه رسیدند که میزان دبی در ماه‌های گرم سال دقت بالایی ندارد. Ghodosi و همکاران (2014) با استفاده از مدل SWAT، اثر تغییرات کاربری اراضی را بر ورودی رودخانهٔ آجی‌چای به دریاچهٔ ارومیه بررسی کردند. تصاویر Landsat سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۸ به عنوان ورودی به مدل SWAT معرفی و مدل برای سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ به صورت ماهانه اجرا شد. نتایج نشان داد که حجم آب خروجی از حوضه، به میزان ۵۱ درصد کاهش و تبخیر و تعرق واقعی نیز به میزان ۱۳ درصد افزایش داشته‌است. در طی این سال‌ها، تغییرات کاربری اراضی بر کاهش تراز آب دریاچهٔ ارومیه نیز نقشی مهم داشته‌است. Rezai moghadam و همکارن (2013)، با استفاده از این مدل به بررسی اثرات تغییر کاربری و پوشش اراضی بر سیل‌خیزی و دبی رواناب در حوضه آبریز سد علویان در بازهٔ زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۷ پرداختند. آنها در این مطالعه به این نتیجه رسیدند که افزایش در مساحت کاربری باغ، به کاهش رابطه بین بارش و دبی حاصل از آن در حوضه آبریز سد علویان منجر شده‌است. Hosini و همکاران (2015) با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک SWAT، اثر کاربری‌های مختلف را بر مؤلفه‌های بیلان آب شبیه‌سازی و مقایسه کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در حوضهٔ شکستیان نشان داد که از مجموع ۵۱۰ میلی‌متر متوسط بارندگی، بیشترین مقدار تلفات به تبخیر و تعرق در سطح حوضه تعلق داشت. Ahmadabadi و همکاران (2016) با استفاده از مدل SWAT، اثرات عملیات آبخیزداری را بر خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز عنبران‌چای بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که بیشترین تغییرات، در بخش دشت رسوبی منطقه بوده‌است. Dadgar و همکاران (2022) نیز با استفاده از این مدل به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضهٔ کردان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که احیای مراتع و ایجاد مخازن، بیشترین تأثیر را بر کاهش رولناب دارد. اثرات تغییرات کاربری اراضی، به فرسایش، رسوبات و جنگل‌زدایی منجر می‌شود (Abdul et al, 2014). این اثرات همچنین از دست دادن تنوع زیستی و تخریب زمین را دربرمی‌گیرد (Butt et al, 2015).

برای کاهش اثرات نامطلوب رشد شهری بر محیط زیست و حفظ عملکرد بهینهٔ اکوسیستم، الگوهای زمانی و مکانی پوشش زمین، تغییر کاربری اراضی و عوامل مؤثر بر این تغییرات در توسعهٔ نسبی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد (Dewan et al, 2015). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات هیدرولوژیکی و محیطی آنها برای مدیریت حوضه و عملیات آبخیزداری نیز بسیار اهمیت دارد (Zhang et al, 2022). در این مطالعه، از

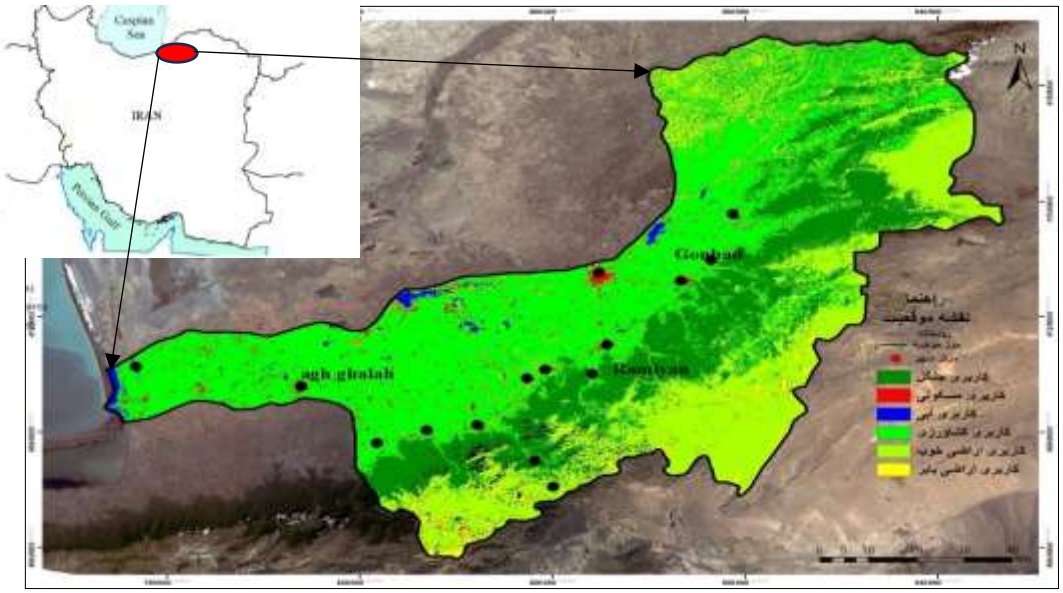
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات مکانی ـــــ زمانی انواع کاربری اراضی در دورهٔ ۲۰۲۰-۱۹۸۶ در حوضهٔ گرگان‌رود استفاده شد. ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) برای بررسی فرایند هیدرولوژیکی، به تغییرات کاربری اراضی معرفی شده‌است. هدف این مطالعه، بررسی تغییرات کاربری اراضی از ۲۰۲۰-۱۹۸۶ و برآورد تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر رواناب سطحی در حوضهٔ گرگان‌رود است. مطالعهٔ تغییرات کاربری و پوشش زمین در زمان‌ها و مکان‌های مختلف و پیش‌بینی ساختارهای کاربری و چیدمان‌های فضایی می‌تواند حمایت علمی برای استفاده از منابع زمین منطقه، حفاظت از محیط‌های اکولوژیکی منطقه‌ای و توسعهٔ اجتماعی و اقتصادی پایداری ارائه دهد.

۲ـ مواد و روش‌ها

۲ـ۱ـ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

این حوضه در محدودهٔ مختصاتی ″۰۵ ′۳۵ °۳۶ تا ″۱۹ ′۱۵ °۳۸ عرض شمالی و ″۴۰ ′۱۰ °۵۴ تا ″۵۵ ′۲۶ °۵۴ طول شرقی قرار گرفته‌است. میانگین بارندگی نقاط گوناگون آن نیز متفاوت و میزان آن از ۲۰۲ میلی‌متر در رباط قره بیل تا ۹۰۳ میلی‌متر در پی‌پشته متغیر است. میانگین دمای سالانه، از صفر درجهٔ سانتی‌گراد در ارتفاعات البرز تا بالای ۱۷/۵ درجه در بخش‌های شمال شرقی حوضه متفاوت است. از نظر زمین‌شناسی، تشکیلات حوضهٔ گرگان‌رود شامل شن، ماسه‌سنگ قرمز، کامبرین اردویسین، آهک و آهک شیستی دونین، پرمین، ژوراسیک و کرتاسه، ماسه‌سنگ‌های آهکی ترسیر و مهم‌ترین آن، تشکیلات کواترنری دوران چهارم است که اکثر این دشت را در بر می‌گیرد (درویش‌زاده، ۱۳۸۵). از نظر پوشش گیاهی، ارتفاعات حوضه عمدتاً دارای پوشش گیاهی جنگلی است و گرگان‌رود به عنوان بخشی از دامنه‌های شمالی سلسله کوه‌های البرز، از جنگل‌های پهن‌برگ و در مناطق شرق حوضه جنگل‌های تنک و درمنه‌زار و در شمال شرق آن تیپ درمنه و گندمیان یک ساله (مراتع قشلاقی، مناطق غربی آن تیپ گیاهان شورپسند) و مرتفع‌ترین نقاط حوضه آبخیز گرگان‌رود از جنگل‌های ارس تشکیل شده‌است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

۲ـ۲ـ داده‌های مورد استفاده در پژوهش

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

۲ـ۲ـ۱ـ داده‌های مورد استفاده در تهیهٔ نقشهٔ تغییرات کاربری اراضی

در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای LandsatTM ، Landsat ETM+ و TIRS OLI به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰، برای طبقه‌بندی و بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضهٔ گرگان‌رود استفاده شد. علت انتخاب این تصاویر، قدمت سری‌های زمانی و در دسترس و رایگان بودن این تصاویر است. تصاویر مورد نظر از سایت https://earthexplorer.usgs.gov تهیه شد. در ادامه، مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در جدول ۱ ذکر شده‌است. برای پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزار ENVI 5.6 و برای گرفتن خروجی از پردازش‌های انجام شدهٔ تصاویر، از نرم‌افزار ARCGIS10.7 استفاده شد. از نرم افزار TERRSET2020 نیز برای مدل‌سازی تغییرات استفاده شد. برای ارزیابی صحت و دقت طبقه‌بندی و مقایسهٔ نتیجهٔ آن با واقعیت زمینی، از ضریب کاپا استفاده شد.

جدول ۱: جزئیات تصاویر لندست مورد استفاده در این مطالعه

No	satellite	Sensor	Spatial resolution (m)	Total Bound	LULC Name	UTM Zone	Date	Format
1	Landsat 5	TM	30 × 30	7	1986 LULC	40 N	1986/05/19	**Geotiff**
2	Landsat 7	ETM+	30 × 30	7	2006 LULC	40 N	2006/03/31	**Geotiff**
3	Landsat 8	OLI-TIRS	30 × 30	11	2020 LULC	40 N	2020/06/08	**Geotiff**

۲ـ۲ـ۲ـ پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای طبقه‌بندی پوشش اراضی، شش طبقه کاربری شامل جنگل، مناطق شهری، اراضی کشاورزی، مناطق آبی، مراتع با پوشش گیاهی خوب و اراضی با پوشش ضعیف (مرتع و زمین بایر) در نظر گرفته شد (جدول ۲). برای تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی به روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، داشتن نمونه‌های آموزشی از منطقه ضروری است که این نمونه‌ها در دو مرحله جمع‌آوری می‌شود: الف) جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی قبل از طبقه‌بندی، برای طبقه‌بندی و آشنایی با ویژگی‌های منطقهٔ مورد مطالعه و ب) جمع‌آوری نمونه‌های پس از طبقه‌بندی برای ارزیابی دقت و کنترل نتایج آن. این نمونه‌ها (اراضی جنگلی، مناطق شهری، اراضی کشاورزی، مناطق آبی، مراتع با پوشش گیاهی خوب، اراضی با پوشش ضعیف (مرتع و زمین بایر))، در دو مرحله با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل‌ارث انتخاب شد. سپس نمونه‌های هر طبقه با توزیع یکنواخت در کل منطقهٔ مورد مطالعه و با در نظر گرفتن ویژگی‌های اصلی و فرعی زمین که با استفاده از نقشه‌های موجود مانند نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های زمین‌شناسی شناسایی می‌شوند جمع‌آوری و از بازدیدهای میدانی برای اطمینان از صحت نمونه‌برداری و بازنمایی استفاده شد؛ به این شکل که ابتدا نقشهٔ طبقه‌بندی کاربری اراضی مورد نظر در نرم‌افزار ENVI 5.6 با استفاده از هفتاد درصد نمونه‌های آموزشی با روش الگوریتم جنگل تصادفی[2] برای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶

[2]. Random Forest

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

و ۲۰۲۰ هر طبقه از کاربری‌های اراضی استخراج شد. سپس ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی‌شده در طول سال‌های مورد مطالعه، با استفاده از نقاط کنترل زمینی (۱۱۰ نمونه برای سال ۲۰۲۰، نود نمونه برای سال ۲۰۰۶ و هفتاد نمونه برای سال ۱۹۸۶) صورت گرفت.

جدول ۲: طرح طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شده برای مطالعهٔ مورد نظر

	کاربری زمین/پوشش زمین	توضیحات
۱	اراضی جنگلی	منطقه‌ای پوشیده از جنگل انبوه
۲	مناطق شهری	این دسته شامل سکونتگاه‌های شهری و روستایی، ارتباطات حمل و نقل و تأسیسات تفریحی است
۳	اراضی کشاورزی	مناطق تحت پوشش محصولات چند ساله و یک‌ساله
۴	مناطق آبی	این دسته شامل مناطقی با آب‌های سطحی به شکل برکه، دریاچه، زهکش، کانال و غیره است
۵	مراتع با پوشش گیاهی خوب	اراضی مرتعی در معنای محدود، بخش‌های محصور از زمین‌های کشاورزی است که توسط دام‌های اهلی مانند اسب، گاو، گوسفند یا خوک چرا می‌شود.

رابطهٔ ۱، شاخص K را نشان می‌دهد. حالت ایده‌ال برای ضریب کاپا عدد یک است و چنانچه این عدد برابر صفر باشد، طبقه‌بندی کاملاً تصادفی است و اگر مقدار آن منفی باشد، در طبقه‌بندی خطا وجود خواهد داشت. در پژوهش مورد نظر، مقایسهٔ نتیجهٔ طبقه‌بندی با واقعیت زمینی از ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ در کاربری‌های مورد نظر به ترتیب ۸۲.۸۵ ، ۸۵.۳۹ و ۹۱.۰۱ به دست آمد که دقت قابل قبول روند کار را نشان می‌دهد (جدول ۳).

رابطهٔ ۱

$$k = \frac{p_0}{1} - \frac{p_c}{p_c}$$

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

جدول۳: دقت کلی و ضریب کاپا تصاویر طبقه‌بندی شده

سال آماری	نام کاربری	%صحت تولید	%صحت کاربر	%ضریب کاپا	%% دقت کلی
۱۹۸۶	اراضی جنگلی	۱۰۰.۰۰	۱۰۰.۰۰	۰.۸۱	۸۲.۸۵
	مناطق شهری	۷۰.۰۰	۷۷.۷۸		
	اراضی شهری	۹۰.۰۰	۶۶.۶۷		
	مناطق آبی	۸۷.۵۰	۱۰۰.۰۰		
	خوب اراضی با پوشش	۹۸.۳۳	۸۲.۳۵		
	اراضی با پوشش بد	۶۰.۱۴	۱۰۰.۰۰		
۲۰۰۶	اراضی جنگلی	۶۸.۷۵	۷۸.۵۷	۰.۸۲	۸۵.۳۹
	مناطق شهری	۱۰۰.۰۰	۱۰۰.۰۰		
	اراضی شهری	۱۰۰.۰۰	۸۳.۳۳		
	مناطق آبی	۸۴.۶۲	۱۰۰.۰۰		
	خوب اراضی با پوشش	۷۱.۴۳	۷۱.۴۳		
	اراضی با پوشش بد	۸۱.۸۲	۱۰۰.۰۰		
۲۰۲۰	اراضی جنگلی	۱۰۰.۰۰	۱۰۰.۰۰	۰.۸۹	۹۱.۰۱
	مناطق شهری	۸۶.۶۷	۱۰۰.۰۰		
	اراضی شهری	۱۰۰.۰۰	۸۳.۳۳		
	مناطق آبی	۱۰۰.۰۰	۱۰۰.۰۰		
	خوب اراضی با پوشش	۸۶.۶۷	۷۶.۴۷		
	اراضی با پوشش بد	۵۰.۰۰	۱۰۰.۰۰		

۲ـ۳ـ مدل SWAT

مدل SWAT (ابزار ارزیابی خاک و آب)، یک مدل هیدرولوژیکی توزیع شده، دارای اساس فیزیکی است که در یک گام زمانی روزانه عمل می‌کند و برای پیش‌بینی اثرات شیوه‌های مدیریت زمین بر روی آب، رسوبات و عملکرد کشاورزی طراحی شده‌است (Liu et al, 2003)؛ به عبارت دیگر، این مدل می‌تواند با استفاده از چرخهٔ هیدرولوژی و فرموله کردن تمام فرایندهای فیزیکی، جریان حوضه‌های آبریز را برآورد سازد (Demirel et al, 2009). در مدل SWAT، شبیه‌سازی بر اساس چرخهٔ هیدرولوژی و بر پایهٔ رابطهٔ بیلان آبی انجام می‌شود (Neitsch, et al, 2007). این رابطه در مدل SWAT به‌صورت معادلهٔ زیر است:

رابطهٔ ۲

$$SW_t = SW_o + \sum_{i-1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

که در آن، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، SW_o مقدار آب اولیهٔ خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{see} مقدار آبی که از پروفیل خاک به ناحیهٔ غیراشباع در روز i ام وارد می‌شود (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) است.

دو روش در SWAT برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد:

الف) شماره منحنی خدمات حفاظت از خاک (SCS)

روش شماره منحنی SCS تابعی از نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و شرایط رطوبتی پیشین خاک است. این روش از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

رابطهٔ ۳
$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)}$$

ب) روش نفوذ گرین و آمپت. یک مدل ذخیره‌سازی سینماتیکی (سولن و همکاران، ۱۹۸۴)، برای محاسبهٔ توزیع مجدد آب بین لایه‌های خاک است. در این روش، نفوذ تابعی از پتانسیل ماتریک و هدایت هیدرولیکی است و فرض بر این است که پروفیل خاک همگن و رطوبت به‌طور یکنواخت در خاک توزیع شده‌است. سرعت نفوذ گرین و آمپت از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطهٔ ۴
$$f_{\inf,t} = K_e\left(1 + \frac{\Psi_{wf}\,\Delta\theta_v}{F_{\inf,t}}\right)$$

آب خاک ممکن است به صورت جانبی در پروفیل، حرکت و به جریان کمک کند، سپس از کف نیمرخ خاک عبور کند و در نهایت، به تغذیهٔ آبخوان تبدیل شود. تغذیهٔ آبخوان نیز به سفره‌ای کم عمق تقسیم می‌شود که در نهایت، به جریان برگشتی تبدیل می‌شود (Neitsch et al, 2009). جریان‌ها از HRUها به سطح حوضهٔ فرعی شبیه‌سازی می‌شود و از طریق سیستم جریان با استفاده از روش مسیریابی ذخیره‌سازی متغیر یا روش مسیریابی Muskingum هدایت می‌شود.

۲ـ۳ـ۱ـ داده‌های مورد استفاده در مدل SWAT

در کاربرد مدل SWAT، حوضه آبریز مورد مطالعه ابتدا بر اساس یک DEM سی متری به چندین زیرحوضه تقسیم شد. نقشهٔ خاک و اطلاعات مربوط به پروفیل خاک، یکی از ورودی‌های مهم در مدل SWAT است که در میزان رواناب سطحی، نفوذ بارش، میزان جریان زیرزمینی و میزان رسوب تأثیر زیادی دارد. داده‌های خاک در حوضهٔ رودخانهٔ گرگان‌رود، از پایگاه دادهٔ خاک جهانی (http://soil.geodata.cn) آماده شده‌است. همچنین در این قسمت، فایل Lookup table در قالب فایل txt برای نقشهٔ خاک ساخته می‌شود که مدل بتواند به کمک آن، نقشهٔ خاک را به پایگاه اطلاعات ورودی مدل متصل کند. مدل از این نقشه برای تولید واحدهای هیدرولوژی و شبیه‌سازی حوضه استفاده می‌کند. در مرحلهٔ بعدی، نقشهٔ کاربری اراضی (برای سال‌های ۲۰۰۶، ۱۹۸۶ و ۲۰۲۰) و انواع خاک به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRUs) تقسیم می‌شود. این HRUها مهم‌ترین واحد فضایی برای محاسبهٔ فرایندهای

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

هیدرولوژیکی در SWAT است (Neitsch, et al, 2011). چرخهٔ هیدرولوژیکی برای هر HRU بر اساس تعادل آب از جمله بارش، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق، نفوذ و جریان جانبی از نیم‌رخ خاک و جریان برگشتی از سفره‌های کم عمق شبیه‌سازی شده‌است (Gassman et al, 2007). مدل SWAT برای شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی حوضه آبریز به داده‌های اقلیمی شامل بارندگی، حداکثر و حداقل درجه حرارت، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی به صورت روزانه نیاز دارد. در این مطالعه، داده‌های هواشناسی بارش و حداکثر و حداقل درجه حرارت به صورت روزانه از سازمان کل هواشناسی استان گلستان دریافت می‌شود (جدول ۴) که مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز گرگان‌رود را نشان می‌دهد. مدل SWAT برای بازسازی مقادیر مفقود شده و تکمیل اطلاعات اقلیمی، به اطلاعات یک یا چند ایستگاه سینوپتیک در حوضه یا در نزدیکی حوضه به عنوان ایستگاه مبنا ــ که آمار بلند مدت و مفقود نشده دارد ـــــ نیازمند است. در این مطالعه برای ساخت این فایل، از داده‌های ایستگاه سینوپتیک گنبد استفاده شد. این پارامترها برای ایستگاه مورد نظر برای ۴۰ سال محاسبه شد که این محاسبات توسط نرم‌افزار طراحی شده در محیط اکسل صورت گرفت و در نهایت، در فایلی به عنوان WGEN_User در پایگاه اطلاعات مدل وارد شد. مشخصات ایستگاه سینوپتیک گنبد در جدول ۵ ارائه شده‌است. در مدل‌سازی با استفاده از مدل SWAT مانند سایر مدل‌های هیدرولوژی، لازم است پس از شبیه‌سازی، مدل ساخته شده واسنجی و اعتبارسنجی شود. از جمله داده‌هایی که از آن برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT استفاده می‌شود، آمار بلند مدت رواناب، رسوب و غیره اندازه‌گیری شده در خروجی حوضه یا حوضه‌های آبریز مورد مطالعه است. در این مطالعه برای مقایسهٔ داده‌های شبیه‌سازی شده با واقعیت در نرم‌افزار SWAT-CUP، از داده‌های ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا شامل دبی روزانه برای یک دورهٔ زمانی ۳۵ ساله از سال ۲۰۲۰-۱۹۸۵ از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان دریافت شد و میانگین ماهانهٔ میلادی آن محاسبه شد.

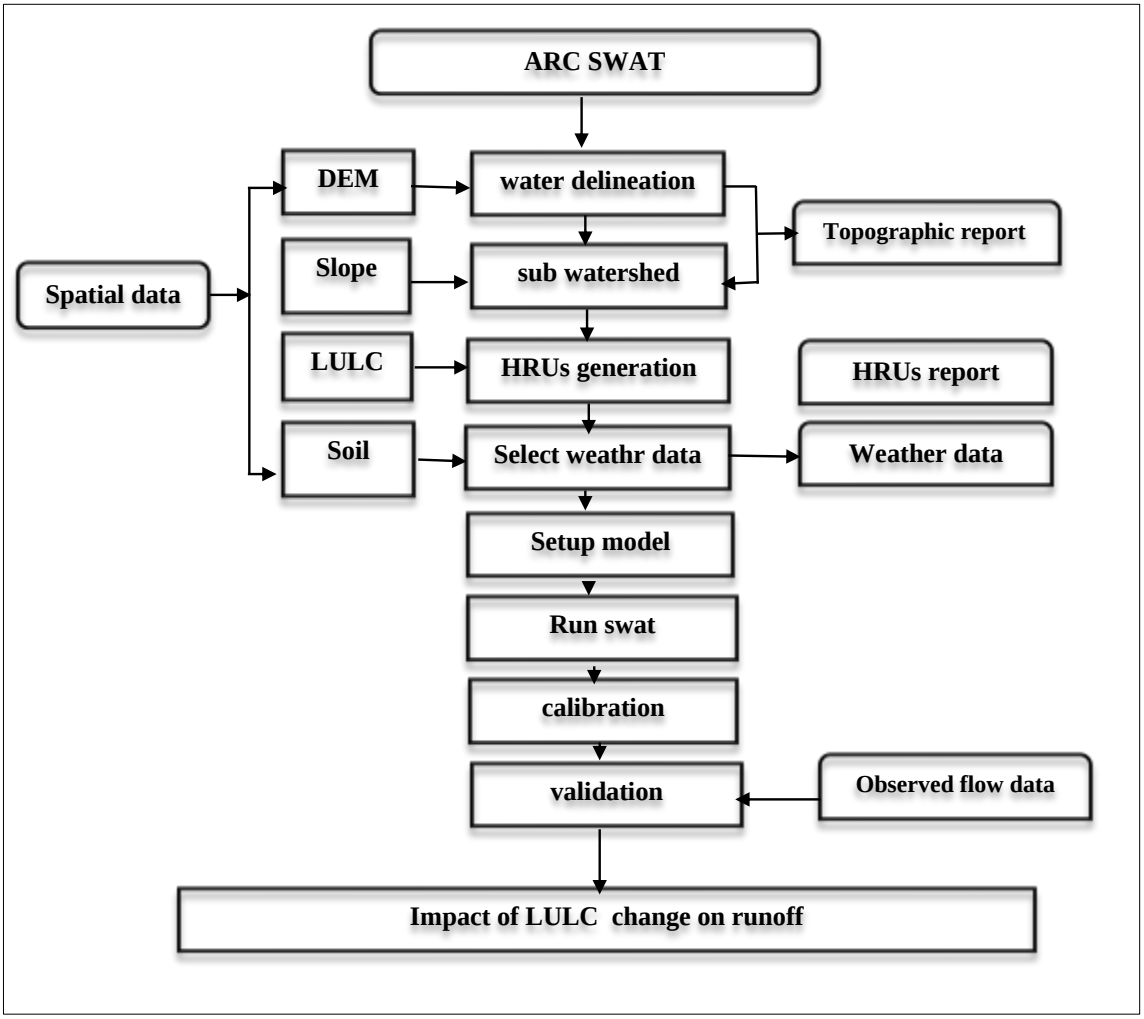
جدول ۴: مشخصات ایستگاه هواشناسی حوضه آبریز گرگان‌رود

ردیف	نام ایستگاه	نام رودخانه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال آماری
۱	تنگراه	گرگان‌رود	باران‌سنجی	۴۱° ۳۹′ ۶۱	۳۹° ۰۱′ ۱۶	۴۴۰	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۲	فاضل‌آباد	گرگان‌رود	تبخیرسنجی	۵۳° ۵۷′ ۲۱	۳۶° ۵۷′ ۳۰	۱۸۱	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۳	گنبد	گرگان‌رود	باران‌سنجی	۴۱° ۲۳′ ۴۰	۳۳° ۹۶′ ۵۷	۴۰	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۴	گالیکش	باران‌سنجی	باران‌سنجی	۴۱° ۲۵′ ۳۴	۳۶° ۱۰′ ۹۰	۱۹۶	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۵	آق‌قلا	گرگان‌رود	تبخیرسنجی	۵۴° ۲۷′ ۲۶	۳۷° ۰۱′ ۲۱	-۱۲	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۶	تمر	گرگان‌رود	تبخیرسنجی	۴۱° ۵۰′ ۵۰	۳۶° ۷۵′ ۹۱	۱۷۰	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۷	اراز کوسه	گرگان‌رود	باران‌سنجی	۴۱° ۲۱′ ۵۴	۳۳° ۶۰′ ۵۰	۳۶	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۸	گلیداغ	گرگان‌رود	تبخیرسنجی	۴۱° ۶۶′ ۴۸	۴۰° ۷۱′ ۰۰	۹۵۶	۱۳۶۵-۱۴۰۰
۹	سد گرگان ـ وشمگیر	گرگان‌رود	تبخیرسنجی	۴۱° ۲۰′ ۲۲	۲۹° ۹۰′ ۶۷	۱۵	۱۳۶۵-۱۴۰۰

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

جدول ۵: مشخصات ایستگاه سینوپتیک حوضه آبریز گرگان‌رود

نام ایستگاه	نام رودخانه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال آماری
گنبد	گرگان‌رود	سینوپتیک	۵۵° ۰۹′ ۱۶	۳۷° ۱۵′ ۲۵	۱۴۱	۱۳۹۸-۱۳۵۸



شکل ۲: فلوچارت اجرای پژوهش (نگارندگان، ۱۴۰۱)

۲ـ۳ـ۲ـ ساخت مدل سوات

در این مطالعه از مدل Arc Swat 2012 استفاده شده‌است که پس از نصب به عنوان مدلی الحاقی در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 قرار می‌گیرد. اجرای مدل در محیط Arc GIS 10.7 انجام شد. پس از تهیهٔ نقشه‌های مورد نیاز و آماده‌سازی داده‌های ورودی (نقشهٔ کاربری اراضی (برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۰۶ و ۱۹۸۶) شکل ۶ و انواع خاک)، سه مدل SWAT مختلف برای حوضه آبریز گرگان‌رود طراحی شد. مدل اول در مقطع زمانی ۱۹۹۶-۱۹۸۵ از نقشهٔ کاربری اراضی سال ۱۹۸۶، مدل دوم در مقطع زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۹ از نقشهٔ کاربری اراضی ۲۰۰۶ و مدل سوم در مقطع زمانی ۲۰۱۰-

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

۲۰۲۰ از نقشهٔ کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ استفاده شد. در مرحلهٔ نخست با ورود نقشهٔ Dem و تولید شبکهٔ جریان توسط خود مدل، بر اساس حد آستانهٔ ۱۴۰۰۰ هکتار به عنوان حداقل سطح زهکشی و وارد کردن ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا به عنوان خروجی حوضه، حوضه آبریز گرگان‌رود به ۳۲ زیرحوضه تقسیم شد. پس از ترسیم مرز حوضه، زیرحوضه و شبکهٔ جریان، پارامترهای فیزیکی مربوط به حوضه و هر زیرحوضه شامل مساحت، طول آبراههٔ اصلی، شیب، خصوصیات ارتفاعی و غیره محاسبه شد. در مرحلهٔ بعد، نقشه‌های خاک و کاربری اراضی به مدل وارد شد و طبقات شیب در سه کلاس (۰-۵/۵، ۵/۵-۲۵، ۲۵-< درصد) به مدل معرفی و با ترکیب آنها، واحدهای واکنش هیدرولوژی (HRU) در هر زیر حوضه تولید شد. HRUها ویژگی‌های همگنی از خاک، کاربری اراضی و توپوگرافی دارد و با روی هم اندازی[3] نقشه‌های خاک، شیب و کاربری اراضی ایجاد می‌شود. تقسیم زیر حوضه‌ها به HRUها سبب افزایش دقت مدل می‌شود؛ چرا که در این حالت مدل ابتدا رواناب سطحی، بار رسوب، مقدار آب خاک، رشد گیاه و عملیات مدیریتی برای هر HRU به صورت جداگانه شبیه‌سازی می‌شود، سپس شبیه‌سازی تعادل آبی کل حوضه صورت می‌گیرد (Neitsch et al, 2001). در گام بعدی، داده‌های اقلیمی شامل اطلاعات بارش و درجه حرارت روزانه به مدل‌ها وارد و روش مناسب برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس نوع داده‌های اقلیمی در دسترس تعیین شد. در این مطالعه برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق پتانسیل از روش هارگریوز- سامانی، و برای روندیابی جریان از روش ضریب ذخیرهٔ متغیر استفاده شده‌است (شکل ۲). همچنین اطلاعات مدیریتی از جمله کاشت، کوددهی، زمان آبیاری و برداشت محصولات غالب حوضه، به مدل‌ها معرفی شد. در گام پایانی نیز مدل برای شبیه‌سازی رواناب ماهانه با در نظر گرفتن سه سال آموزش[4] برای هر سه مدل اجرا شد.

۲-۴- کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل

در مرحلهٔ واسنجی مدل، یک دورهٔ یازده ساله برای هر سه سناریو در نظر گرفته شد. پارامترهای فراوانی در نتایج مدل دخالت داشتند و لازم بود پارمترهایی که خروجی مدل به دقت آنها حساسیت بیشتری دارد، مشخص شود و در واسنجی مدل تنها از این پارمترها استفاده شود. با استفاده از داده‌های دبی جریان متوسط ماهانه بین سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۲۰ طبق سه سناریو ساخته شده، تحلیل حساسیت در نرم‌افزار SWAT-CUP با روش مدل‌سازی معکوس و الگوریتم SUFI-2 تعیین شد. الگوریتم SUFI-2، واسنجی و فقدان قطعیت را ترکیب و سعی کرد پارامترهای فقدان قطعیت را به نحوی پیدا کند که اکثر داده‌های مشاهداتی در ناحیهٔ فقدان قطعیت تعیین شده قرار گیرد و در ادامه، تعداد هیجده پارامتر با بیشترین حساسیت انتخاب شد. نتایج تحلیل حساسیت در جدول ۶ ارائه شده‌است. همان طور که از نتایج واسنجی به دست آمد، عمده‌ترین تغییرات برای واسنجی شدت جریان شامل تغییر در شماره منحنی رواناب (CN) و دیگر مشخصات خاک است. برای تحلیل کیفیت نتایج مدل از دو شاخص آماری، ضریب تعیین R^2 (رابطهٔ ۵) و ضریب نش ـــ ساتکلیف (رابطهٔ ۶) استفاده شد. ضریب تبیین، بیانگر بخشی از کل واریانس مقادیر مشاهده‌ای است که توسط مقادیر شبیه‌سازی شده توجیه می‌شود. ضریب تبیین، بین صفر تا یک تغییر می‌کند و مقدار بهینهٔ آن یک است و از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

[3] .Overlay
[4]. Warm Up

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

رابطهٔ ۵

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i-} \overline{Q_m})(Q_{s,i-} \overline{Q_s})]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \overline{Q_m})^2 \sum_i (Q_{s,i} - \overline{Q_s})^2}$$

ضریب نش ـــ ساتکلیف، ابزار دیگری است که اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. از این روش به طور گسترده برای ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف استفاده می‌شود. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بی‌نهلیت تغییر می‌کند و مقدار بهینهٔ آن یک است. Gassman و همکاران (2007) بیان می‌کنند که برای مقیاس زمانی ماهانه، بهتر است مقادیر N2 از پنجاه درصد بیشتر باشد تا نتایج قابل قبولی برای مطالعات هیدرولوژیک قلمداد شود.

رابطهٔ ۶

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \overline{Q_m})^2}$$

جدول۶: پارامترهای مؤثر بر شبیه‌سازی مؤلفه‌های شدت جریان

پارامتر	دامنهٔ پارامتر		توضیحات
	بیشینه	کمینه	
r_CN2.mgt	98	35	شماره منحنی
r_SOL_BD.sol	0.4	-0.4	چگالی ظاهری خاک
r_SOL_AWC.sol	0.5	-0.5	متوسط آب قابل استفاده
r_SOL_K.sol	0.7	-0.7	هدایت هیدرولیکی اشباع خاک
r_SOL_ALB.sol	0.5	-0.5	ضریب بازتاب خاک مرطوب
v_ESCO.hru	1	0	شاخص جبران تبخیر از خاک
v_RCHRG_DP.gw	1	0	ضریب نفوذ آبخوان
v_GW_DELAY.gw	70	0	زمان تأخیر برای تغذیهٔ آبخوان
v_ALPHA_BF.gw	1	0	ثابت کاهش جریان پایه
v_GW_REVAP.gw	0.2	0.02	ضریب آبی که از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک بر می‌گردد.
v_SMFMX.bsn	10	0	شاخص ذوب برف
v_CH_N2.rte	0.3	0	ضریب زبری مانینگ برای جریان در کانال اصلی
v_CH_K2.rte	150	0	هدایت هیدرولیکی مؤثر در کانال اصلی
v_MSK_CO1.bsn	10	0	ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان نرمال
v_MSK_CO2.bsn	10	0	ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان کم
v_SURLAG.bsn	24	1	ضریب تأخیر رواناب سطحی
r_HRU_SLP.hru	0.6	0	متوسط تندی شیب
v_DEEPST.gw	4000	2000	عمق آب در آبخوان عمیق

۳ـ یافته‌های پژوهش

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

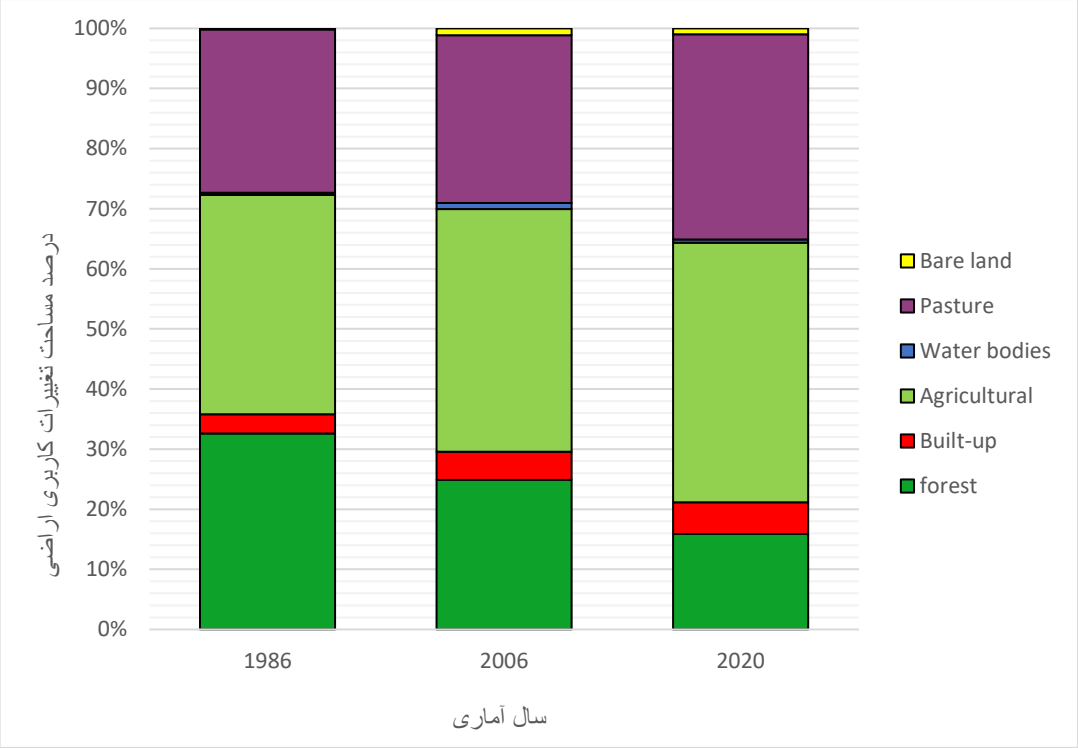
۳ـ۱ـ ارزیابی طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش زمین

با توجه ارزیابی طبقه‌بندی کاربری اراضی، میزان مساحت کاربری اراضی جنگلی مورد نظر در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ در حوضهٔ گرگان‌رود به ترتیب ۳۳۴۲/۸۰، ۲۵۳۰/۳۰ و ۱۸۱۹/۸۷ کیلومتر مربع می‌باشد (جدول۷)(شکل۳). که روند کاهشی میزان اراضی جنگلی در منطقهٔ مورد نظر را نشان می‌دهد. از آنجایی که حوضهٔ مورد نظر در سال‌های اخیر با سیلاب‌های متعددی روبه‌رو بوده‌است، می‌توان یکی از علل مهم آن را کاهش اراضی جنگلی دانست. کاهش پوشش‌گیاهی نیز بیشترین سهم را در افزایش رواناب و رسوب در منطقه دارد؛ بنابراین، لازم است برای کاهش خسارت‌های پیش آمدهٔ ناشی از سیلاب‌ها در منطقه، برنامه‌های بیولوژیکی و حفاظت از اراضی جنگلی اجرا شود. دومین کاربری، به مناطق شهری تعلق دارد که با توجه به جدول ۷، مساحت به دست آمده به ترتیب سالهای نامبرده؛ ۳۳۱/۷۰، ۴۸۷/۱۷، ۶۰۶/۳۰کیلومتر مربع می‌باشد که روند افزایشی در بازهٔ زمانی ۳۵ ساله در منطقهٔ مورد نظر را نشان می‌دهد. تبدیل اساسی مزارع شالیزار، زمین‌های جنگلی و زمین‌های خشک به زمین شهری، به افزایش رواناب سطحی و تسریع تلاقی منجر می‌شود (Quan et al, 2020). کاربری سوم اراضی کشاورزی می‌باشد که میزان آن بر اساس سال‌های مورد بررسی، ۳۷۴۱/۴۰، ۴۰۹۷/۹۶، ۴۷۴۲/۵۱کیلومتر مربع می‌باشد که در سال ۲۰۰۶ کمی افزایش و در سال ۲۰۲۰ روند افزایشی آن را به میزان ۲۶/۷۶ درصد نشان می‌دهد. نرخ تغییرات کاربری مورد نظر در سال ۲۰۲۰، - ۰/۱۵ درصد را نشان می‌هد (جدول ۸)(شکل‌های۴ و۵). کاربری چهارم، مربوط به سطوح آبی در منطقهٔ مورد نظر است که طبق جدول ۸، میزان آن نشان دهنده افزایش جزئی آن در سال ۲۰۲۰ با نرخ تغییرات ۰/۰۰۳۳ درصد است(شکل‌های۴ و۵). کاربری پنجم مراتع با پوشش خوب در منطقه می‌باشد که میزان آن در سالهای نامبرده به ترتیب۲۷۶۹/۱۱، ۲۸۳۲/۱۱، ۲۹۱۱/۶۷ کیلومتر مربع می‌باشد که نشانگر روند افزایشی آن است(جدول ۸)(شکل‌های۴ و۵). و کاربری آخر مربوط مراتع با پوشش بسیار ضعیف می‌باشد که میزان آن از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ در بازه زمانی ۳۵ ساله ۱/۰۸ درصد افزایش داشته است(جدول ۸)(شکل‌های۴ و۵).

جدول ۷: مساحت و درصد طبقات کاربری اراضی در طول یک دورهٔ مورد مطالعه (۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰)

نام کاربری‌ها	۱۹۸۶		۲۰۰۶		۲۰۲۰	
	مساحت (km2)	% مساحت	مساحت (km2)	% مساحت	مساحت (km2)	% مساحت
اراضی جنگلی	۳۳۴۲/۸۰	۶۱/۳۲	۵۲۳۰/۳۰	۲۴/۶۸	۱۸۱۹/۸۷	۱۷/۷۵
مناطق شهری	۳۳۱.۷۰	۳/۲۰	۴۸۷/۱۷	۴/۶۶	۶۰۶/۴۳	۵/۹۰
اراضی کشاورزی	۳۷۴۱.۴۰	۳۶/۵۰	۴۰۹۷/۹۶	۳۹/۹۷	۴۷۴۲/۵۱	۴۶/۲۱
مناطق آبی	۳۵.۸۰	۰.۳۴	۱/۸۴	۱/۰۵	۵/۰۴	۰.۵۴
اراضی با پوشش خوب	۲۷۶۹/۱۱	۲۷/۲۰	۲۸۳۲/۱۱	۲۷/۶۲	۲۹۱۱/۶۷	۲۸/۴۰
اراضی با پوشش بد	۱۸/۲۱	۰.۱۷	۶۵.۱۱۷	۱.۱۴	۱۱۱۱/۱۲	۱/۰۸

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

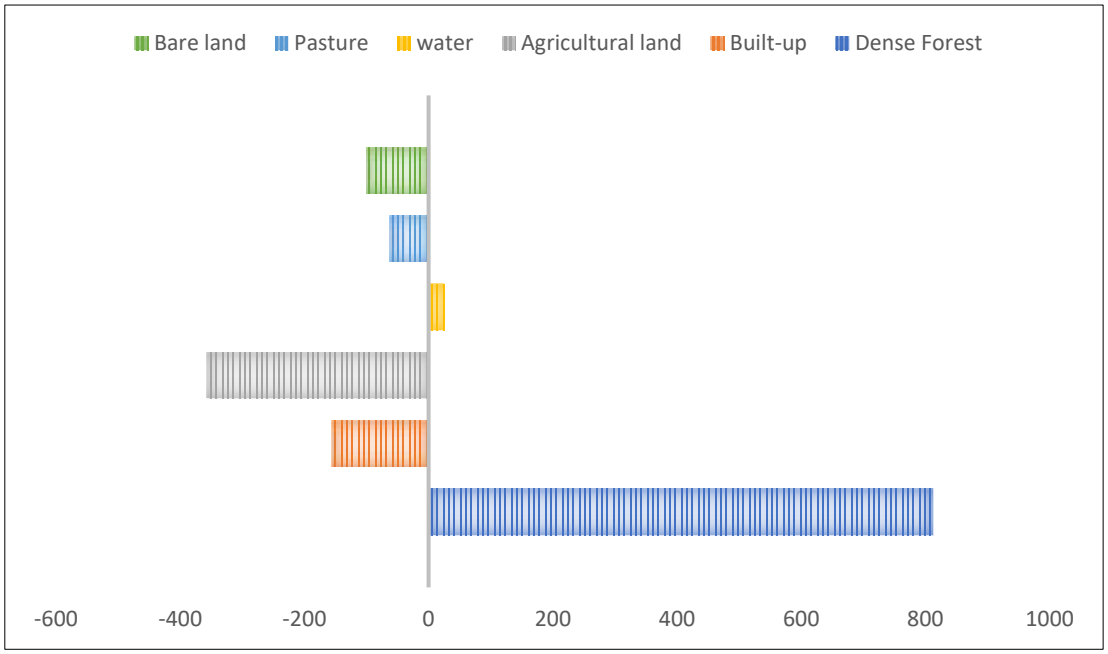


شکل ۳: پوشش هر طبقه زمین در سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۸۶

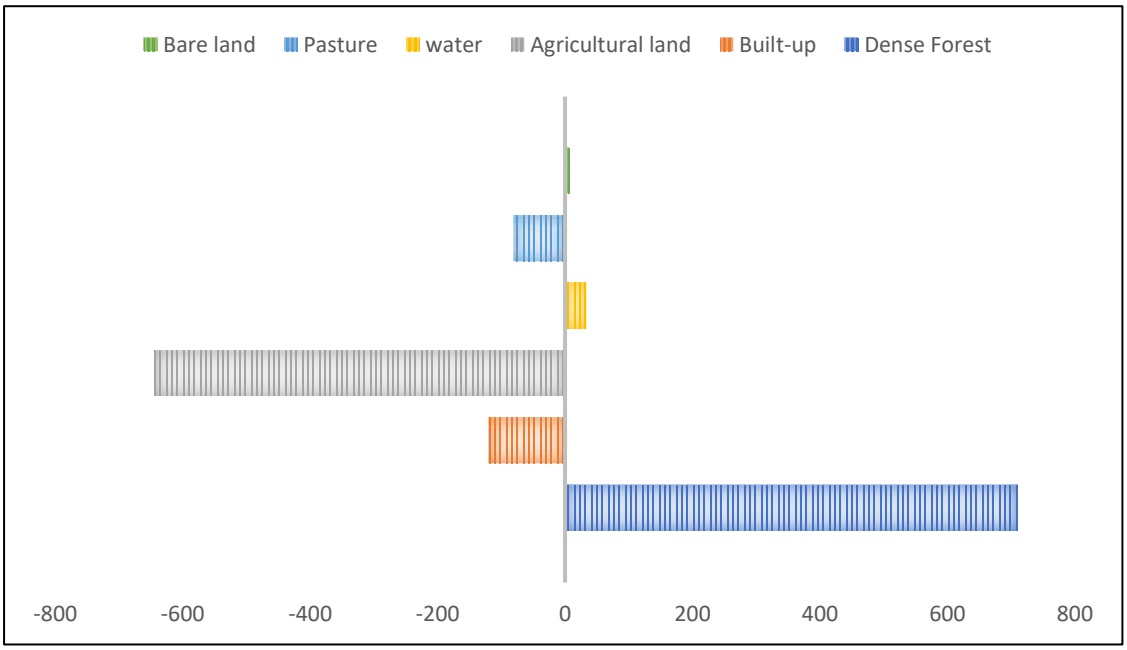
جدول ۸: میزان تغییر در طبقه‌بندی‌های مختلف کاربری زمین و پوشش زمین در طی سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۸۶

	اراضی جنگلی	مناطق شهری	اراضی کشاورزی	مناطق آبی	اراضی با خوب پوشش	اراضی با خوب پوشش	کل
۱۹۸۶ (km2)	۳۳۴۲/۸۰	۳۳۱/۷۰	۳۷۴۱/۴۰	۳۵/۸۰	۲۷۶۹/۱۱	۱۸/۲۱	۱۰۲۵۰
۲۰۰۶ (km2)	۲۵۳۰/۳۰	۴۱۷/۱۷	۴۰۹۷/۹۶	۱۰/۸۴	۲۸۳۲/۱۱	۱۱۷/۶۵	۱۰۲۵۰
۲۰۲۰ (km2)	۱۸۱۹/۸۷	۶۰۶/۴۳	۴۷۴۲/۵۱	۵۴/۴	۲۹۱۱/۶۷	۱۱/۱۲	۱۰۲۵۰
۱۹۸۶-۲۰۰۶ (km2) تغییرات	۸۱۲/۵	۱۵۵/۴۷-	۳۵۶/۵۶-	۲۴/۹۶	-۶۳	-۹۹/۴۴	
۲۰۰۶-۲۰۲۰ (km2) تغبیرات	۷۱۰/۴۳	۱۱۹/۲۶-	۶۴۴/۵۵-	۳۴/۸	۷۹/۵۶-	-۶/۳۵	
۲۰۰۶ میزان تغییرات (%)	۰.۲۴	۰.۴۶-	-۰.۰۹۵-	۰.۶۹	۰.۰۲۲-	-۵/۴۶	
۲۰۲۰ میزان تغییرات (%)	۰.۲۸	۰.۲۴-	۰.۱۵-	۰.۵۷	۰.۰۲۸-	۰.۰۵۵	
۱۹۸۶-۲۰۰۶ دامنهٔ تغبیرات (%)	۰.۰۷۹	۰.۰۱۵-	۰.۳۴-	۰.۰۰۲۴	-۰.۰۰۶۱	-۰.۰۰۹۷	
۲۰۰۶-۲۰۲۰ دامنهٔ تغییرات (%)	۰.۰۶۹	۰.۰۱۱-	۰.۰۶۲-	۰.۰۰۳۴	-۰.۰۰۷۷	۰.۰۰۰۶	

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

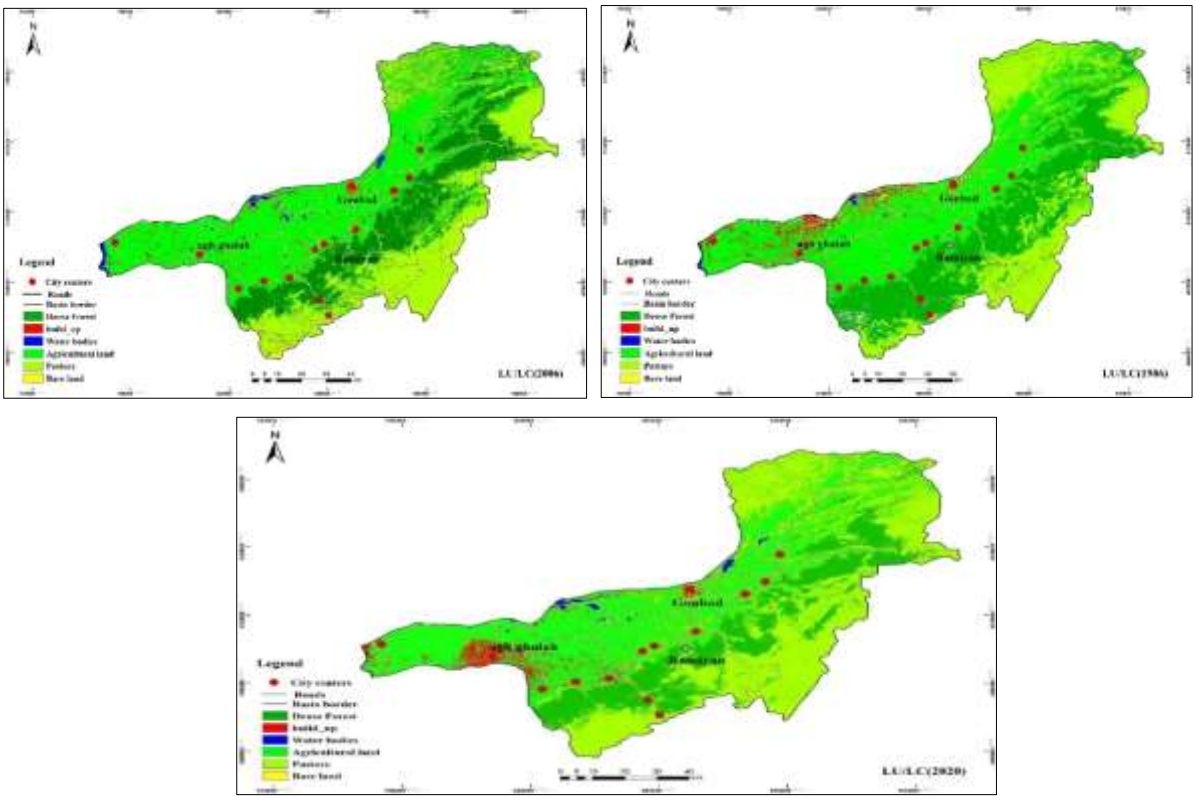


شکل ۴: میزان تغییرات کاربری اراضی در بازۀ زمانی (۲۰۲۰-۱۹۸۶)



شکل ۵: میزان تغییرات کاربری اراضی در بازۀ زمانی (۲۰۲۰-۲۰۰۶)

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]



شکل ۶: نقشهٔ کاربری اراضی حوضهٔ گرگان‌رود به ترتیب (۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰)

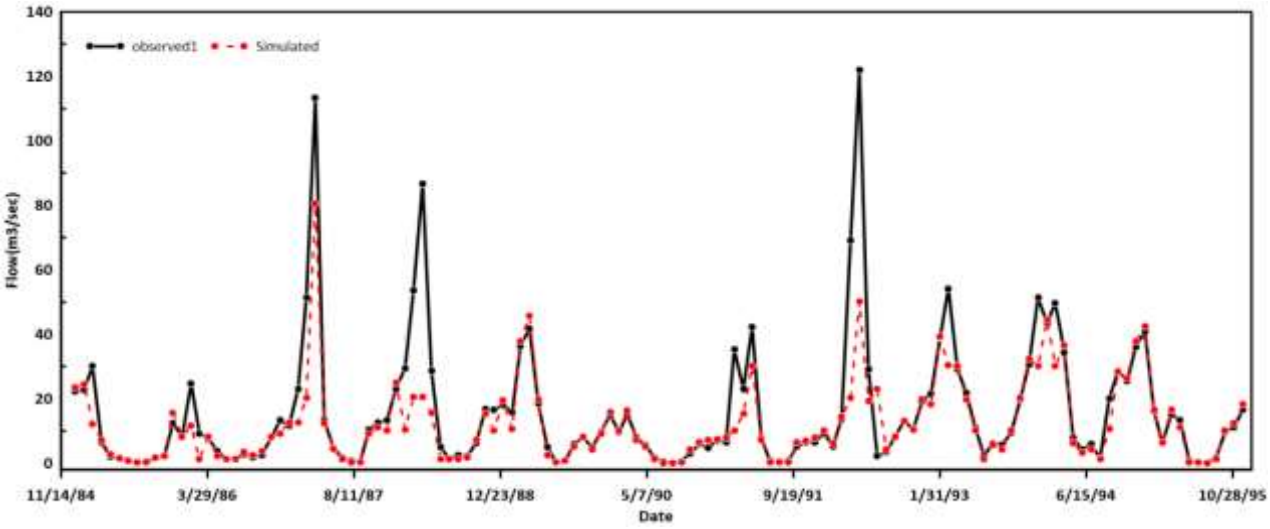
۳ـ۲ـ تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترها، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل SWAT

بر اساس نتایج تحلیل حساسیت مدل، هیجده پارامتر به عنوان حساس‌ترین پارامترها شناسایی شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده‌است. پارامتر منحنی نفوذ در شرایط رطوبت متوسط (CN2)، بیشترین تأثیر را بر خروجی از حوضه داشت. پس از CN2، به ترتیب پارامترهای r_SOL_BD ، SOL_AWC، چگالی ظاهری خاک و میانگین مصرف آب در لایه سطحی، در رتبهٔ بعدی قرار داشتند. پس از مرحلهٔ تحلیل حساسیت، مدل کالیبره و اعتبارسنجی شد که این امر با کمک نرم‌افزار SWAT CUP و آمار دبی ماهانه در ایستگاه آق قلا صورت گرفت. این مراحل به طور جداگانه برای سال‌های نزدیک به نقشهٔ کاربری مورد بررسی انجام شد؛ به عنوان مثال، برای کالیبراسیون مدل بر اساس نقشهٔ کاربری اراضی سال ۱۹۸۶ (دورهٔ اول)، باید سال‌های ۱۹۹۶ - ۱۹۸۵ را در نظر گرفت. این دیدگاه بر اساس رویکرد مورد استفاده توسط کخ بود. در نهایت، مدل با استفاده از دو ضریب تبیین (R) و ضریب نش ساتکلیف (NS) ارزیابی شد که نتایج آن در جدول ۹ نشان داده شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

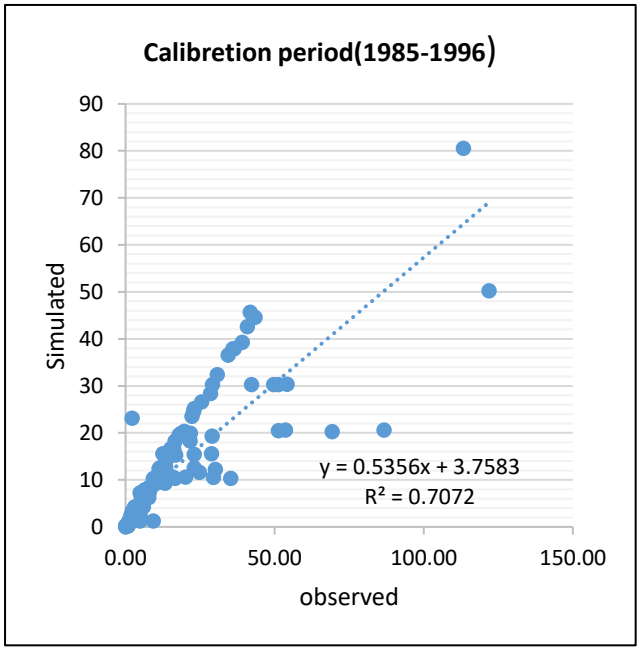
جدول ۹: مقادیر شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی رواناب در مدل‌های اجرا شده

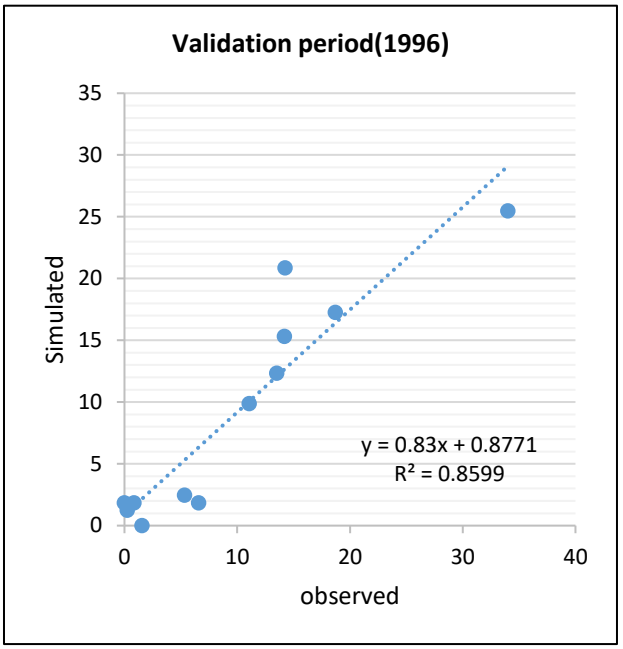
نقشهٔ کاربری اراضی		سال ۱۹۸۶	سال ۲۰۰۶	سال ۲۰۲۰
دورهٔ واسنجی		۱۹۸۵-۱۹۹۶	۱۹۹۹-۲۰۰۹	۲۰۱۰-۲۰۲۰
دورهٔ اعتبارسنجی		۱۹۹۷	۲۰۱۰	۲۰۱۹
نتایج واسنجی	R2	۰/۷۰	۰/۵۳	۰/۶۵
	N2	۰/۷۵	۰/۸۳	۰/۸۵
	P-Faktor	۰/۸۰	۰/۸۲	
	R-Faktor	۱/۵۰	۱/۵۳	
نتایج اعتبارسنجی	R2	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۸۸
	N2	۰/۶۲	۰/۶۱	۱/۴۷



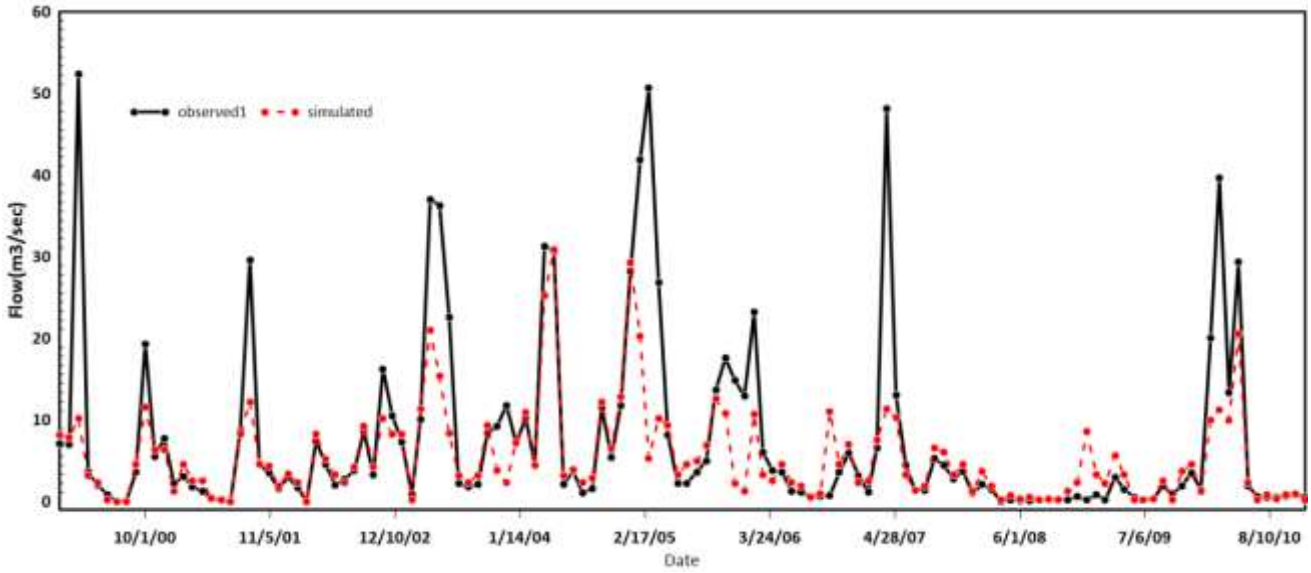
نمودار ۱: نتایج واسنجی دورهٔ اول مدل **SWAT** با استفاده از الگوریتم **SUFI-2**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]



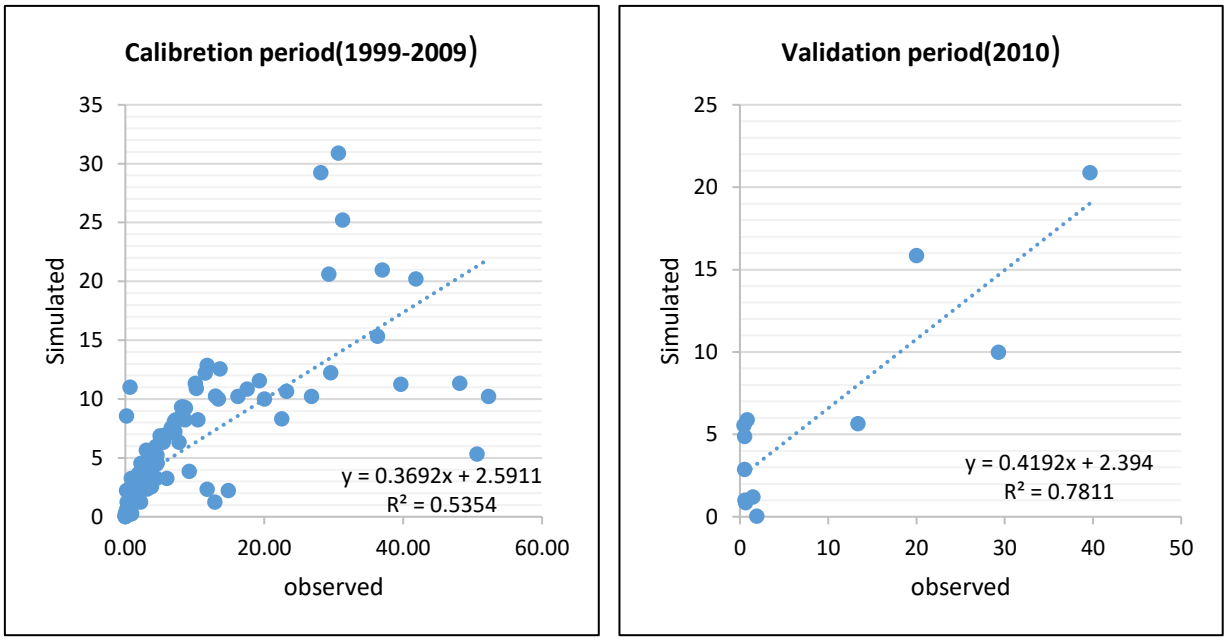


نمودار ۲: نتایج همبستگی بین رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحلهٔ کالیبراسیون و اعتبارسنجی دوره اول مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2

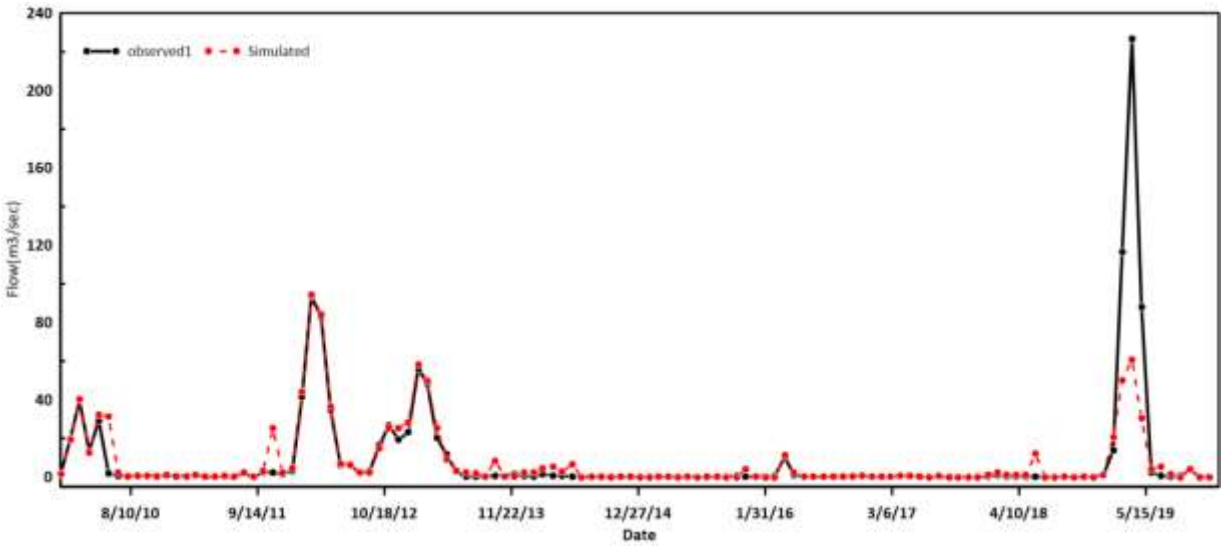


نمودار ۳: نتایج واسنجی دوره دوم مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

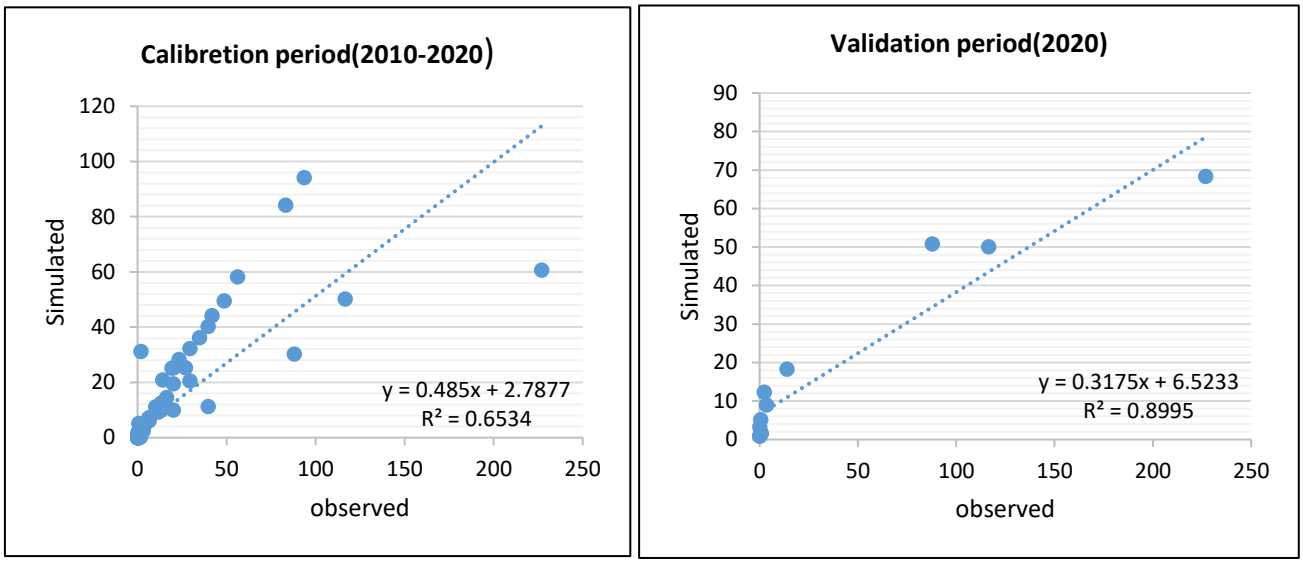


نمودار ۴: نتایج همبستگی بین رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحلهٔ کالیبراسیون اعتبارسنجی دوره دوم مدل **SWAT** با استفاده از الگوریتم



نمودار ۵: نتایج واسنجی دوره سوم مدل **SWAT** با استفاده از الگوریتم **SUFI-2**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]



نمودار ۶: نتایج همبستگی بین رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در مرحلهٔ کالیبراسیون اعتبارسنجی دوره سوم مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2

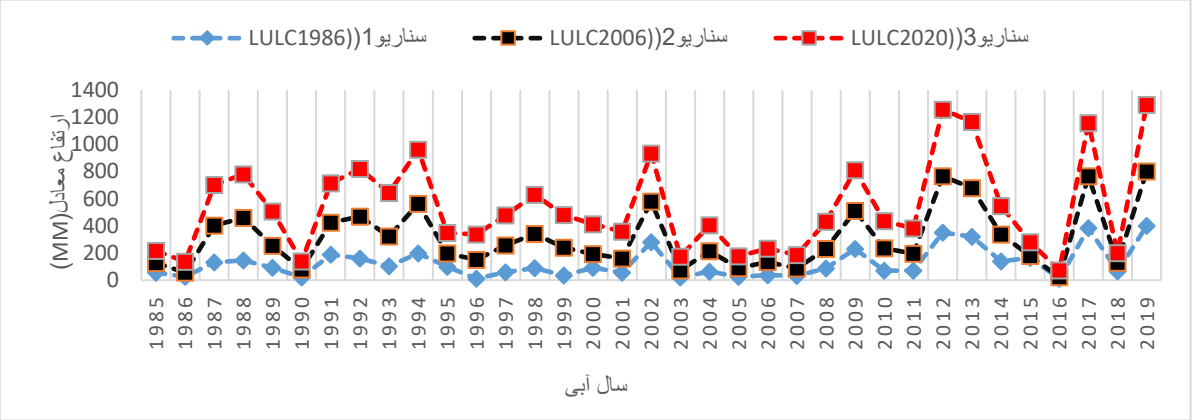
پس از اتمام تکرار اول، مقادیر شاخص‌های نش ـــــ ساتکلیف و ضریب تبیین بررسی شد و مقادیر پارامترها در بهترین دورهٔ شبیه‌سازی به عنوان مقادیر اولیهٔ پارامترها، در تکرار بعدی جایگزین شد. این فرایند تا دستیابی به دقت مناسب در تخمین رواناب خروجی حوضه ادامه یافت. نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی در دوره‌های شبیه‌سازی، در نمودارهای ۶-۱ قابل مشاهده است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که مدل در شبیه‌سازی رواناب توانایی نسبتاً قابل قبولی داشته‌است. روند تغییرات جریان در مرحلهٔ واسنجی نیز به خوبی شبیه‌سازی شده و تغییرات سه مؤلفه رواناب سطحی، نفوذ عمقی و تبخیر ـ تعرق برای کل دوره در جدول ۱۰ نمایش داده شده‌است. به طور کلی، نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در پایهٔ زمانی ماهانه، شماره منحنی رواناب حساس‌ترین پارامتر است. از طرفی، بین این پارامتر و نوع کاربری اراضی ارتباط مستقیمی وجود دارد. پارامتر (CN2) تابعی از نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و شرایط رطوبت پیشین است. به طور کلی، افزایش مقدار (CN2) به افزایش حجم رواناب منجر می‌شود که به نوبهٔ خود به تلفات بیشتر آب، کاهش تغذیهٔ منابع آب زیرزمینی، کاهش آب پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقادیر فرسایش و رسوب می‌انجامد (Li et al, 2007). همان طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود با تغییر کاربری در هر یک از سناریوها، مقادیر اوج رواناب نیز تغییر می‌کند که دلیل آن، ناشی از تغییر نوع پوشش گیاهی و در نتیجه تغییر شماره منحنی رواناب است. در این صورت با کاهش نفوذپذیری، مقادیر بیشتر بارندگی در روی سطح زمین، جاری و از دسترس خارج می‌شود و همین طور با تغییر کاربری اراضی در جهت مثبت، جریان متوسط ماهانه نیز افزایش می‌یابد. بررسی رواناب سالانه در سه سناریو نشان می‌دهد که تحت سناریوی دوم و سوم، رواناب سطحی به ترتیب ۲۰/۴۷ و ۴۶/۴۵ درصد نسبت به سناریوی اول افزایش یافته‌است (نمودار ۷). علاوه بر اینکه رواناب سطحی کل دوره در سناریوی سوم بیشتر است. با توجه به شرایط تقریباً یکسان بارش در سه سناریو می‌توان این‌گونه استنباط کرد که تغییر کاربری اراضی، بر میزان رواناب و توزیع آن تأثیر گذاشته‌است؛ به گونه‌ای که در سناریوی اول، میزان رواناب از دو سناریوی دیگر کمتر است. همچنین میزان تبخیر و تعرق سناریوی دوم و سوم نسبت به سناریوی اول کاهش

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

دارد. علت این امر، کاهش پوشش گیاهی حوضه در سناریوی دوم و سوم است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوهای تعریف شده، به صورت میانگینی از کل دوره در جدول ۱۰ نشان داده شده‌است.

جدول ۱۰: مقایسهٔ مؤلفه‌های بیلان آب در سه سناریو شبیه‌سازی شده بر حسب میلی‌متر

مؤلفه‌های بیلان آب	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم
بارش	۶۴۲	۶۵۲	۶۵۳
رواناب سطحی	۱۴۹/۴۵	۱۵۰/۵۴	۱۵۹/۸۶
جریان جانبی	۲۰/۹۸	۲۲/۶۸	۲۶/۸
جریان بازگشتی	۱۴۰/۲۰	۱۴۲/۷۳	۱۴۳/۶
تبخیر تعرق	۲۹۹/۲	۲۸۴/۹	۲۶۹/۶۵
آب خارج شده از آبخوان	۲۰/۲۵	۲۴/۰۴	۲۵/۶۷
نفوذ عمقی	۱۷۵/۴۷	۱۷۲/۸۲	۱۷۱/۱۶
تغذیه آبخوان عمیق	۸/۹۲	۸/۸۹	۸/۹۱
شماره منحنی	۸۰/۲۵	۸۰/۸۳	۸۱/۴۷



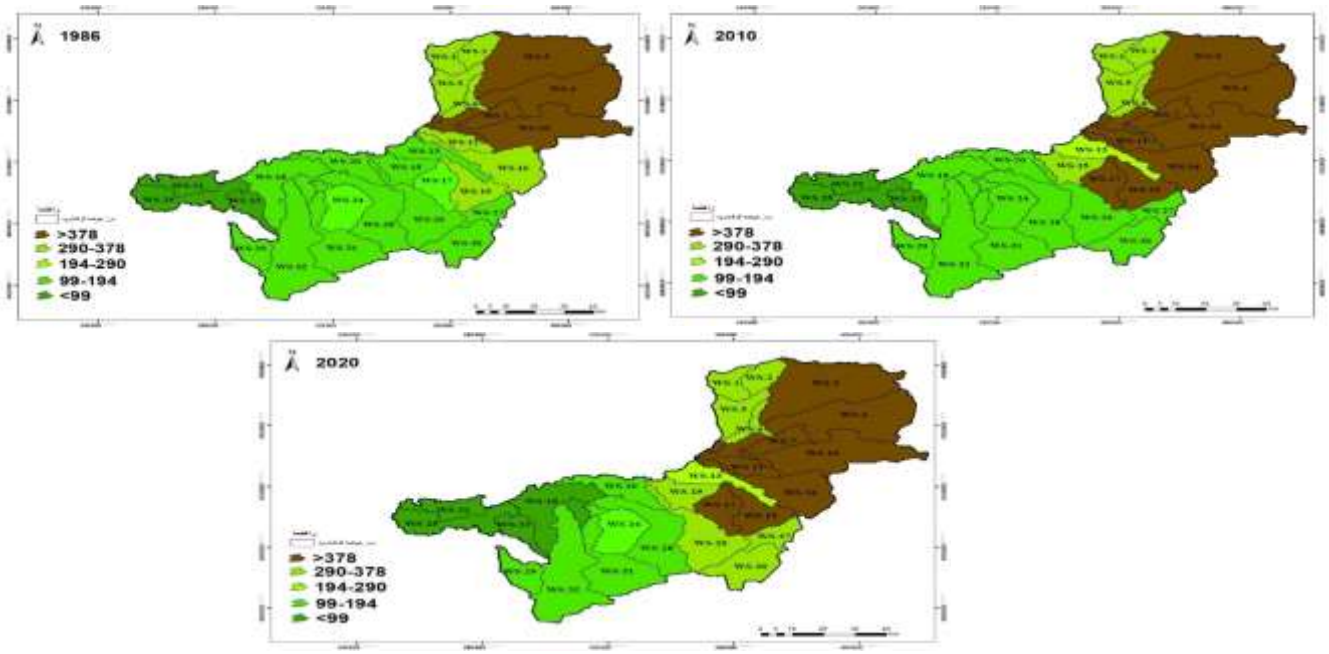
نمودار ۷: مجموع رواناب سالانهٔ سه سناریو بر حسب میلی‌متر

۴ـ ۲ـ تأثیر تغییر کاربری زمین بر عملکرد بیلان آب در زیر حوضه‌ها

تأثیر تغییر کاربری اراضی بر عملکرد آب، در شکل ۷ برای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ در زیرحوضه‌های مختلف نشان داده شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص است بازدهی آب از سال ۱۹۸۶-۲۰۲۰ روند افزایشی داشته که می‌توان این افزایش را به تغییرات کاربری از جمله کاهش مساحت جنگل‌ها و افزایش زمین‌های کشاورزی، مراتع و مناطق مسکونی نسبت داد. با توجه به شکل ۷، روند افزایشی در زیرحوضه‌های شمال شرقی نسبت به جنوب غربی مشاهده می‌شود که این امر به دلیل کاهش اراضی جنگلی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی در شمال شرقی است. در سال ۱۹۸۶، بازدهی آب اکثر زیرحوضه‌ها (۴۵.۹۸ درصد از مساحت حوضه) کمتر از ۱۹۴ میلی‌متر بود؛ در حالی که بازدهی آب در سال ۲۰۲۰ در اکثر حوضه‌ها (۵۶ درصد از مساحت حوضه) بیش از ۲۹۰ میلی‌متر افزایش داشت و در زیرحوضه‌های ۱۰ و ۱۲ که عمدتاً مناطق جنگلی تخریب‌شده است و در ارتفاع بالاتری قرار دارد، تا ۳۷۸ میلی‌متر متغیر

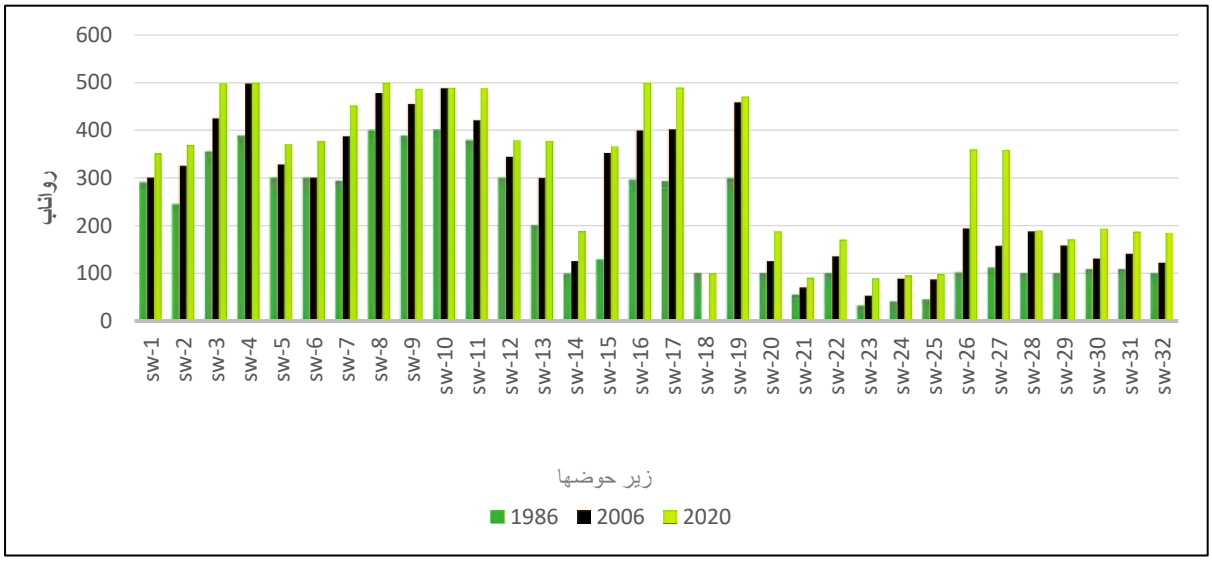
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

بود. در سال ۲۰۰۶، میزان بازدهی آب در زیرحوضه‌های شمال شرقی بین ۲۹۰ تا ۳۷۸ میلی‌متر و در جنوب غرب کمتر از ۱۹۴ میلی‌متر بود. در سال ۲۰۲۰، زیرحوضه‌های شمال شرق در مقایسه با سال ۱۹۸۶ بازدهی بالاتری را نشان داد که از ۹۹ میلی‌متر در جنوب غرب تا ۳۷۸ میلی‌متر در شمال شرق متغیر بود؛ از این رو، افزایش کلی در بازدهٔ آب کل منطقهٔ حوضه به دلیل تغییر کاربری اراضی وجود داشت. متوسط رواناب سطحی ناشی از تغییر کاربری اراضی، در شکل ۸ نشان داده شده‌است. مؤلفه رواناب سطحی از سال ۲۰۲۰-۱۹۸۶ برای برخی از زیرحوضه‌ها در میانگین سالانهٔ کل حوضه و به ویژه برای برخی از زیرحوضه‌ها در قسمت (شمال شرق) حوضه، بیش از دویست میلی‌متر افزایش داشت؛ برخلاف بخش‌های غربی که عمدتاً در محدودهٔ ۰-۶۵ میلی‌متر افزایش می‌یافت. الگوی برداشت کلی آب یکسان است؛ با این حال، مقیاس دیگری دارد که از روندهای کاهشی اندک در زیرحوضه‌های غربی تا مقادیر افزایشی نزدیک به دویست میلی‌متر در زیرحوضه‌های شرقی است. انحراف آب به سمت قسمت‌های شرقی افزایش می‌یابد؛ به جز دشت سیلابی که این الگو به اندازهٔ مناطق کوهستانی اطراف متمایز نیست. نمودار ۹، تغییرات رواناب سطحی زیرحوضه را نشان می‌دهد. حوضه‌های فرعی ۱ تا ۱۰، رواناب سطحی نسبتاً بالاتر نسبت به بقیه را نشان می‌دهد. تغییر کاربری اراضی به دلیل افزایش ارزش CN که به دلیل تخریب پوشش گیاهی است، رواناب سطحی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و به افزایش میزان رواناب در سال ۲۰۲۰ در اکثر زیر حوضه‌ها منجر می‌شود. پس زیرحوضه های ۱۶ و ۱۹ در سناریوی سال ۱۹۸۶، پوشش جنگلی بالاتری داشت که به رواناب سطحی کمتری (۱۱۰-۱۵۵mm) در سطح حوضه منجر شد، اما در سناریوی سال ۲۰۲۰ و با تغییر کاربری و کاهش پوشش جنگلی به اراضی کشاورزی و مراتع، میزان رواناب زیر حوضهٔ آن به میزان (۵/۶۲ درصد) و بیش از دویست میلی‌متر افزایش داشت. حوضه‌های فرعی نیز به دلیل کاهش پوشش‌های جنگلی، ارزش CN بالاتری ایجاد می‌کند و در ایجاد رواناب نقش مؤثری دارد.



شکل ۷: توزیع فضایی تأثیر تغییرات پوشش کاربری زمین بر بیلان آب در مقیاس زیرحوضه

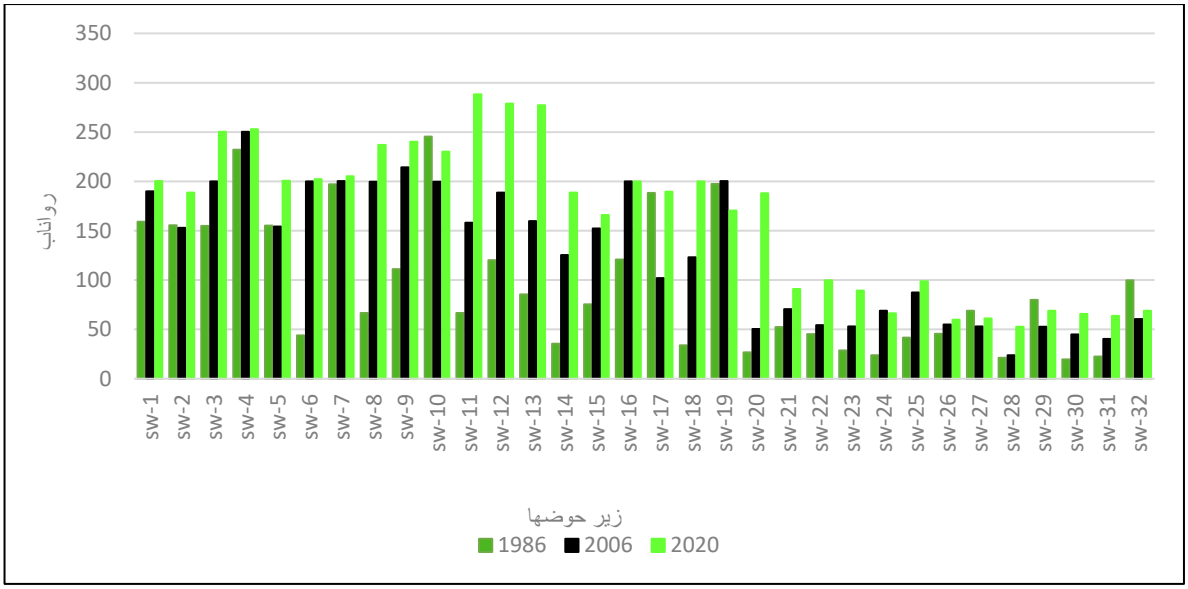
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]



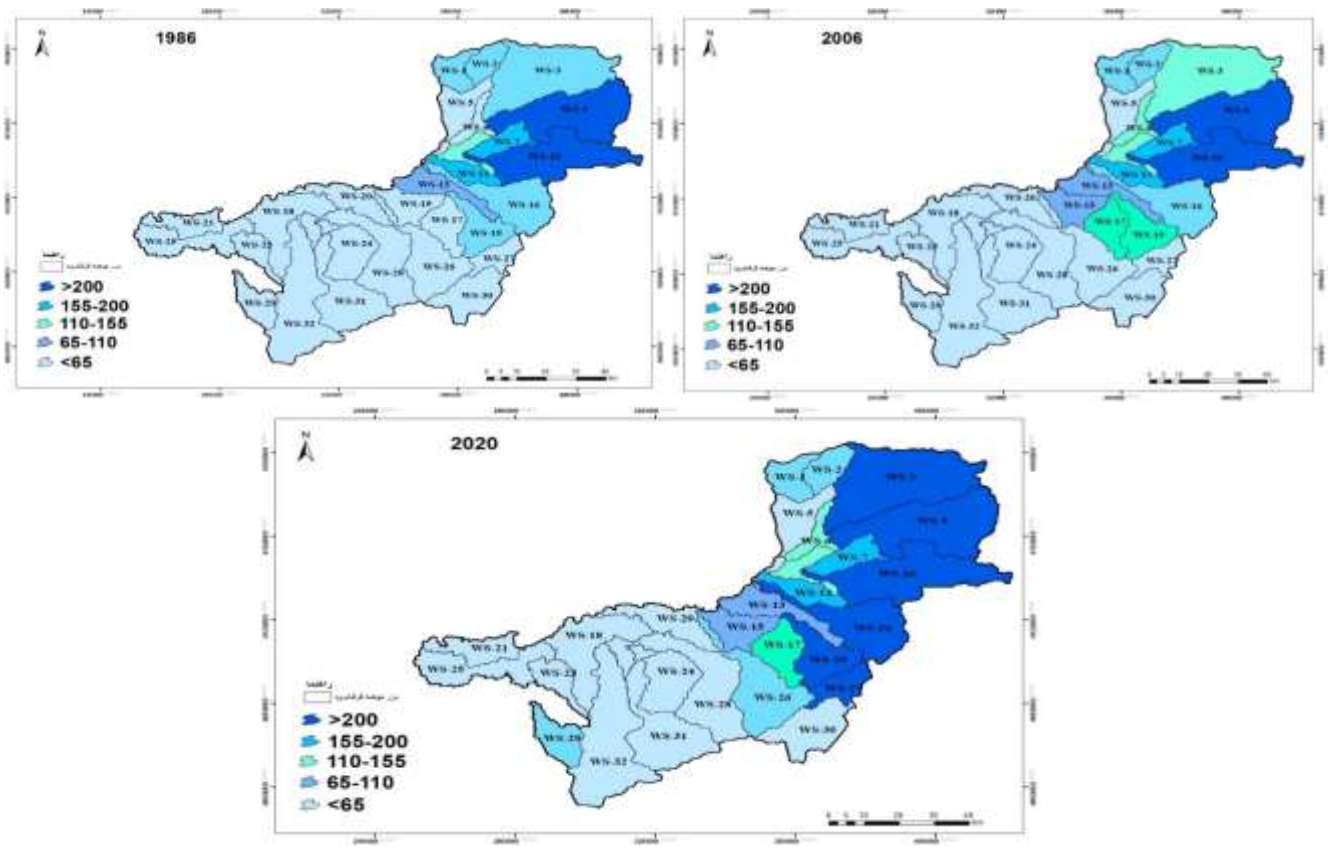
نمودارها ۸: تأثیر تغییرات پوشش کاربری زمین بر توزیع بیلان آب در زیرحوضه‌های گرگان‌رود

نرخ سهم رواناب انواع مختلف پوشش کاربری زمین در حوضه‌ی گرگان رود در جدول (۱۱)، نمودارهای (۱۰)و شکل(۸) ارائه شده است اراضی کشاورزی با میانگین نرخ مشارکت ۴۳/۶۳ درصد، بالاترین میزان تغییر را در رواناب از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ را داشته است. و پس از آن اراضی جنگلی با نرخ ۳۷/۲۵ درصد افزایش نقش مهمی در ایجاد رواناب در حوضه گرگان داشته است، که می‌توان کاهش مساحت اراضی جنگلی به اراضی بایر و کشاورزی دلیل اصلی این افزایش دانست. مناطق شهری ، مراتع و زمین های بایر با میانگین نرخ مشارکت ۱۸/۱۷، ۲۳/۹۱، ۱۶/۷۰ درصد قرار داشتند. روند تغییر نرخ مشارکت برای هر نوع پوشش کاربری زمین با رواناب تولید شده برای انواع مختلف پوشش کاربری زمین، سازگار بود. نرخ سهم اراضی کشاورزی و اراضی جنگلی به رواناب روند افزایشی را نشان داد، ظرفیت تولید رواناب در سال ۲۰۲۰ برای تمام کاربری‌ها رشد افزایشی داشته است.(نمودار۹) میزان مقدار افزایش رواناب برا اساس میزان تغییرات طی سالهای ۱۹۸۶ تا۲۰۲۰ برای کاربری‌های مورد نظر به ترتیب زیر می‌باشد: اراضی کشاورزی (۱۹۹/۹۵) جنگل(۱۲۹/۷۵میلی متر)، مراتع (۱۲۵/۴۷میلی متر)، مناطق شهری (۱۲۵/۵میلی متر)، اراضی بایر (۱۵۵/۶۷میلی متر)، می باشد.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]



نمودارها ۹. توزیع فضایی تأثیر تغییرات پوشش کاربری زمین را بر توزیع رواناب در زیر حوضه های گرگان رود

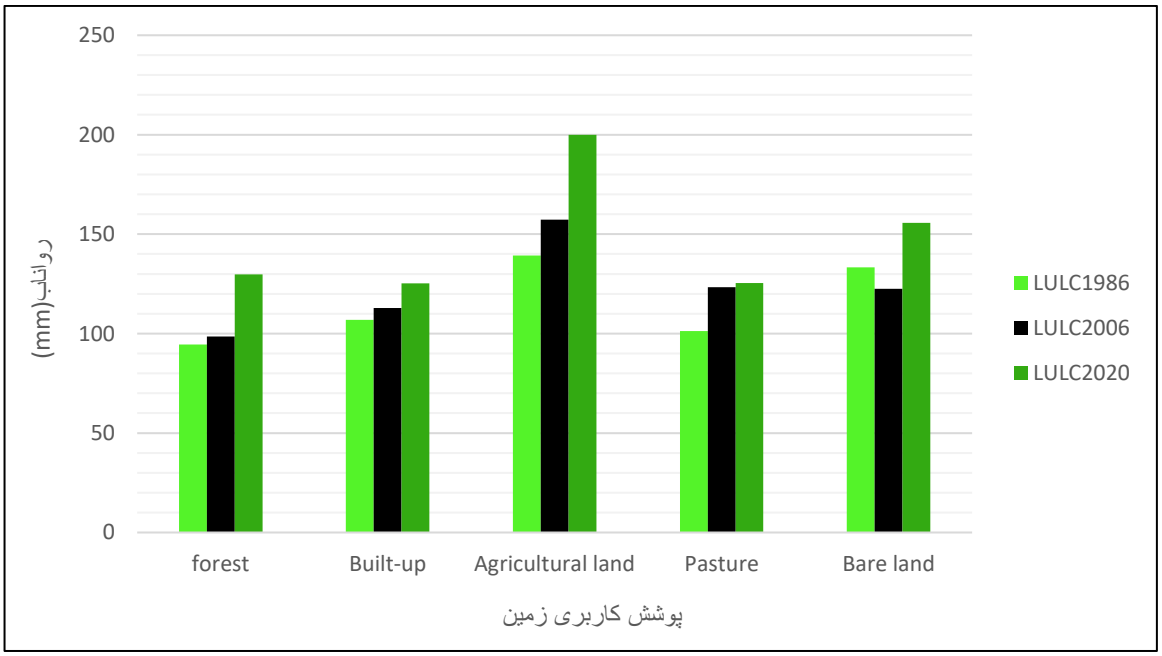


شکل ۸. توزیع فضایی تأثیر تغییرات پوشش کاربری زمین را بر توزیع رواناب در زیر حوضه های گرگان رود

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

جدول ۱۱: میزان رواناب ایجاد شده در انواع مختلف پوشش کاربری زمین در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰

پوشش کاربری زمین		رواناب				
		اراضی جنگلی	مناطق شهری	اراضی کشاورزی	اراضی با پوشش خوب	اراضی با پوشش بد
۱۹۸۶ کاربری	مساحت (km2)	۲۷۴۲/۸۰	۳۲۱/۸۰	۳۵۴۱/۴۰	۲۶۶۹/۱۱	۲۸/۲۱
	رواناب (mm)	۹۴/۵۶	۱۰۶/۸۹	۱۳۹/۲۱	۱۰۱/۲۶	۱۳۳/۳۸
۲۰۰۶ کاربری	مساحت (km2)	۲۴۲۸/۳۰	۳۸۷/۲۸	۳۶۹۹/۲۰	۲۳۱۰/۶۳	۴۰/۴۹
	رواناب (mm)	۹۸/۵۷	۱۱۲/۸۷	۱۵۷/۲۵	۱۲۳/۲۷	۱۲۲/۴۵
۲۰۲۰ کاربری	مساحت (km2)	۱۷۹۰/۳۳	۴۹۹/۱۱	۳۹۷۹/۹	۲۴۳۸/۹۸	۶۵/۱۱
	رواناب (mm)	۱۲۹/۷۸	۱۲۵/۲۵	۱۹۹/۹۵	۱۲۵/۴	۱۵۵/۶۵



نمودارها ۱۰: میزان رواناب ایجاد شده در انواع مختلف پوشش کاربری زمین در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰

۴ـ بحث و جمع‌بندی پژوهش

در این پژوهش، ابتدا نتایج حاصل از طبقه بندی و استخراج کاربری اراضی حوضه آبریز گرگان رود ارائه شده و تغییرات کاربری‌های مختلف در طول سال‌های مورد مطالعه، تحلیل شده است. در این پژوهش، ابتدا نتایج حاصل از طبقه‌بندی و استخراج کاربری اراضی حوضه آبریز گرگان‌رود ارائه و تغییرات کاربری‌های مختلف در طول سال‌های مورد مطالعه تحلیل شد. در ادامه به نتایج شبیه‌سازی، عملکرد مدل SWAT و اثرات ناشی از تغییرات کاربری اراضی بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه در طول دورهٔ زمانی مورد نظر پرداخته شد. نتایج نشان داد که تغییرات کاربری و پوشش زمین، به صورت کاهش اراضی جنگلی و گسترش کاربری اراضی کشاورزی، مناطق شهری و مراتع بود. نقشهٔ کاربری اراضی برای سه دورهٔ ۱۹۸۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ در طبقات مختلف کاربری، در جدول ۷ ارائه شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

نتایج نشان داد که اراضی شهری از ۳/۲۰ درصد کل اراضی تشکیل‌دهندهٔ منطقه در سال ۱۹۸۶، به ۴/۶۶ درصد در سال ۲۰۰۶ افزایش داشت و این عدد در سال ۲۰۲۰ به مقدار ۵/۶۰ درصد رسید؛ با این حال، سطح اراضی جنگلی از سال ۱۹۸۶-۲۰۰۶، حدود ۸۱۲/۵ کیلومتر مربع کاهش یافت که ۲۴/۵۶ درصد روند کاهشی را نشان می‌دهد. این مقدار برای دوره ۲۰۰۶-۲۰۲۰ به میزان ۷۱۰/۴۳ کیلومتر بوده است. که ۲۸/۰۴- درصد روند کاهشی داشته است. آنچه که مشخص است نشان دهنده کاهش سطوح اراضی در بازه زمانی ۳۵ ساله است، ولی میزان کاهش در دوره ۲۰۰۶-۲۰۲۰ کمتر شده است که نشان دهنده اجرای برنامه های حفاظتی در ارگان‌های ذی ربط می‌تواند می‌باشد. با این حال مشخص است روند کاهشی در این سطوح ادامه دارد که علت آن هم افزایش ساخت و سازها شهری و صنعتی در این نواحی و عدم اجرای کامل برنامه‌های حفاظتی می‌باشد. در این زمینه‌بلید برنامه‌های حفاظتی قانون‌مند و هم چنین ایده‌های و برنامه‌های احیای جنگل‌ها اجرا شود زیرا ادامه این روند باعث ایجاد بحران جدی در آینده خواهد شد و به مراتب خسارت وارد ناشی از این بحران‌ها از جمله سیلاب جبران ناپذیر خواهد بود. کاربری کشاورزی نیز بین سال های ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۰۶ روند افزایشی داشته از مقدار ۳۵/۵۰ درصد به میزان ۳۹/۹۷ درصد در سال ۲۰۰۶ رسیده است. (طی سناریو ۱۹۸۶-۲۰۰۶ به میزان ۹/۰۵ درصد روند افزایشی) و این مقدار به ۱۵/۳۷ درصد در سال ۲۰۲۰ افزایش داشته است مناطق آبی منطقه نیز روند افزایش داشته که میزان آن از ۰/۳۴ درصد در سال ۱۹۸۶ به میزان ۰/۵۷ درصد رسیده است. کاربری مراتع با پوشش خوب طی دوره ۳۵ ساله روند افزایشی داشته است که از میزان ۲۷/۲۰ درصد در سال ۱۹۸۶ به میزان ۲/۸۱ درصد افزایش داشته است. علت این افزایش هم تخریب اراضی جنگلی و تبدیل آن به مراتع می‌باشد. کاربری مراتع فقیر نیز روند افزایش داشته است در سال ۲۰۲۰ مقدار این اراضی ۱۱۱/۱۲ کیلومتر مربع بوده است آنچه که مشخص است، منطقه مورد مطالعه سیلاب‌های متعددی را تجربه کرده است. در دوره های قبل از سیلاب مرداد سال ۱۳۸۰ در منطقه مورد نظر رخداد سیلاب با شدت و خسارات بالا بسیار کم بوده است،که به احتمال زیاد به علت عدم فرسایش پذیری و تغییرات مورفولوژیکی ناشی از تغییرات کاربری اراضی در حوضه مطالعاتی می باشد، و شروع این رخدادها در سالهای ۸۰، ۸۱، ۸۴ و ۹۸ گواه این امر می‌باشد که می‌توان آن را به شروع این تغییرات و افزایش میزان فرسایش پذیری و تغییرات ژئومورفیک نسبت داد. همانطور که از نتایج مشخص است کاملا رابطه مستقیم بین افزایش تغییرات بالاخص کاهش اراضی جنگلی و افزایش اراضی کشاورزی و مناطق شهری و صنعتی و افزایش سیلاب‌های اخیر در منطقه می‌باشد. به منظور آشکارسازی اثر تغییر کاربری اراضی بر اجزای هیدرولوژیکی حوضه، سناریویی برای هر نقشه کاربری تعریف شد. سناریوها از نظر داده های اقلیمی برابر با ۳۵ سال (۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰) در نظر گرفته شدند. برای هر سناریو در مدل SWAT، یک شبیه سازی جداگانه انجام شد و نتایج شبیه سازی به عنوان ورودی وارد نرم افزار SWAT-CUP شد. سپس مقادیر پارامتر در بهترین شبیه‌سازی به‌دست‌آمده از دوره اول، دوم و سوم به ترتیب برای سناریوهای اول، دوم و سوم تنظیم و برای بررسی اثر تغییر کاربری زمین شبیه‌سازی شد. سناریوی اول به عنوان سناریوی کنترل برای مقایسه بهتر انتخاب شد. بدین معنی که در صورت عدم تغییر کاربری اراضی در گام زمانی این مطالعه، مولفه های هیدرولوژیکی متناظر با نتایج سناریوی اول باقی خواهند

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

ماند. نتایج شبیه سازی سناریوهای تعریف شده به عنوان میانگین کل دوره در جدول ۹ نشان داده شد. سه جزء رواناب سطحی، نفوذ و تبخیر و تعرق برای کل دوره نیز در جدول ۱۰ نشان داده شد. در سناریوی دوم و سوم رواناب سطحی به ترتیب ۰/۷۵ و ۶/۸۹ درصد، نسبت به سناریوی اول افزایش داشت (جدول ۱۰). علاوه بر این، کل رواناب کل دوره در سناریوی سوم بیش از سناریوی اول است. با توجه به شرایط بارندگی تقریباً یکسان در سه سناریو، می‌توان استنباط کرد که تغییر کاربری اراضی، بر میزان رواناب و توزیع آن تأثیر داشته‌است؛ در سناریوی سوم نیز میزان رواناب بیش از دو سناریوی دیگر بود. همچنین میزان تبخیر و تعرق سناریوی دوم و سوم نسبت به سناریوی شاهد به ترتیب ۲/۰۷ و ۷/۵۹ درصد کاهش داشت (شکل ۶). این امر به دلیل کاهش پوشش گیاهی از جمله اراضی جنگلی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی و اراضی مسکونی در حوضه در سناریوهای دوم و سوم است. میزان سهم رواناب انواع مختلف پوشش کاربری زمین در حوضهٔ گرگان‌رود، در جدول ۱۱ و نمودار ۱۰ ارائه شده‌است. اراضی کشاورزی با میانگین میزان مشارکت ۴۳/۶۳ درصد، بالاترین میزان تغییر در رواناب را از سال ۲۰۲۰-۱۹۸۶ داشت. طبق نمودار ۱۰ به ترتیب از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰، افزایش ۱۲/۳۸ درصدی اراضی کشاورزی به افزایش ۴۳/۶۳درصدی رواناب منجر شد و کاهش ۳۷/۷۳ درصدی اراضی جنگلی به افزایش ۳۷/۲۵ درصدی رواناب انجامید که بیشترین تأثیر را داشت. بقیهٔ کاربری‌ها نیز در افزایش مؤثر بودند که در جدول ۱۱ به آنها اشاره شد. تغییرات کاربری اراضی در حوضهٔ گرگان‌رود چشمگیر بود و در نتیجه، حجم آب خروجی از حوضه به طور کلی طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ به میزان ۶/۰۸ درصد افزایش یافت. به طور کلی، نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که در نرم‌افزار swat-cup برنامهٔ SUFI2 در پایهٔ زمانی ماهانه، شماره منحنی حساس‌ترین پارمتر است. از طرفی، بین این پارامتر و تغییرات کاربری اراضی ارتباط مستقیمی وجود دارد.

نتیجه‌گیری

سهم تغییرات کاربری اراضی به اجزای اصلی هیدرولوژیکی در حوضهٔ گرگان‌رود، با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی SWAT ارزیابی شد. تغییرات کاربری اراضی در منطقه بیانگر کاهش مستمر اراضی جنگلی و افزایش مناطق شهری است که به تخریب شدید زمین در آینده و افزایش رواناب منجر می‌شود. با توجه به تغییرات ایجاد شده در حوضه و تبدیل بسیاری از مراتع به اراضی کشاورزی و باغ، گسترش شهرها و کاهش جنگل‌ها و غیره، بررسی این اثرات بر میزان رواناب سطحی حوضه و اندازه‌گیری آنها با استفاده از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری در خروجی حوضه می‌تواند شدت آسیب را نشان دهد. در حوضهٔ گرگان‌رود با ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ در حالی که مساحت اراضی جنگلی به میزان ۴۵.۵۶ درصد کاهش یافته، مساحت اراضی کشاورزی و زمین ساخته شده به ترتیب به میزان ۲۶.۷۶ و ۰.۰۸۲ درصد افزایش داشته‌است. بیشترین افزایش نیز در مساحت زمین‌های ساخته شده در نیمهٔ دوم دوره بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ رخ داده‌است؛ با این حال، کاهش سطح زمین‌های جنگلی ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ بسیار چشمگیر است. این تغییرات بیانگر روند تخریب در منطقه از طریق جایگزینی این کاربری‌ها با مراتع، اراضی بایر و جنگل است. نتایج شبیه‌سازی مدل SWAT نشان داد که با تغییر کاربری اراضی، ارزش عدد منحنی در سناریوهای دوم و سوم به ترتیب ۰.۷۹ و ۱.۵۰ درصد افزایش داشت که دلیل آن، افزایش اراضی بایر و کاهش پوشش

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

گیاهی در منطقه بود. مطالعهٔ سالانهٔ رواناب در سه سناریو نشان داد که در سناریوی دوم و سوم، رواناب سطحی به ترتیب ۲۰.۴۷ و ۴۶.۴۵ درصد نسبت به سناریوی اول افزایش داشته‌است. طبق بررسی‌های انجام شده در زمینهٔ میزان تأثیر هر یک از کاربری‌ها در افزایش رواناب، بیشترین تأثیر مربوط به اراضی کشاورزی با افزایش مقدار ۱۲.۳۸ درصدی در سال ۲۰۲۰ به میزان ۴۳.۶۳ درصدی میزان رواناب نسبت به سال ۱۹۸۶ بود. کاربری بعدی اراضی جنگلی با کاهش ۳۴.۷۳ درصدی، به افزایشی به میزان ۳۷.۲۵ درصد رواناب در سال ۲۰۲۰ منجر شد. در نتیجه، حجم آب خروجی به میزان ۶.۸۹ درصد از حوضه افزایش داشت. همچنین میزان تبخیر و تعرق سناریوی دوم و سوم نسبت به سناریوی شاهد به ترتیب ۲.۰۷ و ۷.۵۹ درصد کاهش داشت؛ دلیل این امر، کاهش پوشش گیاهی از جمله اراضی آبی (باغ‌ها و کشاورزی) در حوضه در سناریوهای دوم و سوم است. با توجه به نقش تأثیرگذار تغییرات کاربری اراضی در کاهش خروجی از حوضه و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، بهبود و اصلاح کاربری‌های حوضه یکی از راهکارهای اساسی برای مدیریت رواناب سطحی در حوضهٔ مورد مطالعه است. نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل نیز نشان داد که تخریب اراضی جنگلی، در نواحی جنوبی حوضه و افزایش درصد شهرنشینی و زمین‌های بایر در این نواحی خواهد بود. به دلیل وقوع رخدادهای متعدد سیلاب در حوضهٔ مورد نظر، استفاده از مدل SWAT در شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و شدت جریان از جنبه‌های مهم این مطالعه در نظر گرفته می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که رویکرد یکپارچهٔ سنجش از دور و GIS برای اجرای مدل‌ها در ارزیابی تغییرات زمانی فضایی برای تشخیص الگو و درصد بسیار مفید است. این نتایج از نظر دقت و روش کار با پژوهش‌های Tabrizi و همکاران (2017) Per Hammet و همکاران (2017) Shokouhifar و همکاران (2022)، Kundu و همکاران (2017) و Nie و همکاران (2011) مطابقت دارد. بنابراین، ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات کاربری‌های اراضی و ترکیب آن با مدل هیدرولوژیکی SWAT برای تجزیه و تحلیل پاسخ هیدرولوژیکی به روشی متوالی و تأثیر آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی مناسب است.

منابع

1. Adhikari, S., & J. Southworth., (2012). Simulating forest cover changes of Bannerghatta National Park based on a CAMarkov model: A remote sensing approach. *Remote Sens.* 4(10), 3215-3243.
2. Abdul-Wahab, S. A.; Chan, K.; Elkamel, A.; & L. Ahmadi, 2014. Effects of meteorological conditions on the concentration and dispersion of an accidental release of H2S in Canada, *Atmos. Environ*, 82, 316-326.
3. Ahmadabadi, A.; Kiyani, T.; & P. Ghaforpour, 2015. Analysis of the Effects of Watershed Management on the Hydrogeomorphological Characteristics of Ambaran Chai Watershed Using SWAT Semi-Distributive Model, *Planning and Preparation*, 21, 2.
4. Asinya, A., & M. G. B. Alam., (2021). Flood Risk in Rivers: Climate Driven or Morphological Adjustment. Earth Systems and Environment. https://doi.org/10.1007/s41748-021-00257-y
5. Assaf, C.; Adams, C.; Ferreira, F. F.; & F. Helena, 2021. Land Use and Cover Modeling as A Tool for Analyzing Nature Conservation Policies – A Case Study of Juréia-Itatins, Land Use Policy 100: 104895. November 2018. doi:10.1016/ j.landusepol.2020.104895

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

6. Arekhi, S., & M. Adibnejad., (2011). Efficiency Assessment of the of Support Vector Machines for Land Use Classification Using Landsat ETM+ data (Case study: Ilam Dam Catchment). *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*. 18(3), 420-440. (in Persian)
7. Azizi, A., & B. Malakmohamadi., (2016). Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model. *Global J. Environ. Sci. Manage*. 2(3), 223-234, DOI: 10.7508/gjesm.2016.03.002
8. Baoying, Y., & B. Zhongke., (2008). Imulating land use/ cover chenges of nenjiang county based on CA- Marcov model. *Technologies in Agriculture*. 321-329.
9. Borrelli, P.; Robinson, D. A.; Fleischer, L. R.; Lugato, E.; Ballabio, C.; Alewell, C.; Meusburger, K.; Modugno, S.; Schütt, B.; Ferro, V.; Bagarello, V.; Van Oost, K.; Montanarella, L.; & V. Bagarello, 2017. An Assessment of the Global Impact of 21st Century Land use Change on Soil Erosion, *Nat. Commun*, 8(1), 1-13. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7
10. Butt, A.; Shabbir, R.; Ahmad, S. S.; & N. Aziz, 2015. Land use Change Mapping and Analysis Using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. Egypt, *J. Remote Sens. Space Sci*, 18, 251-259.
11. Chen, G.; Li, X.; Liu, X.; Chen, Y.; Liang, X.; Leng, J.; Xu, X.; Liao, W.; Qiu, Y.; Wu, Q.; & K. Huang, 2020. Global Projections of Future Urban Land Expansion Under Shared Socioeconomic Pathways, *Nat. Commun*, 11(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x.
12. Chen, W.; Chi, G.; & J. Li, 2019. The Spatial Association of Ecosystem Services with Land use and Land Cover Change at the County Level in China, 1995-2015, *Sci. Total Environ*, 669, 459-470. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.139
13. Darvishzadeh, A., (2nd edition 2016), Geology of Iran, Amir Kabir Publishing House: Tehran.
14. Dadgar et al., 2022. Investigating the effects of small dams and land use change on the hydrological processes of Kurdan Basin using the SWAT model, *Ecohydrology*, 9, 1, 97.
15. Demirel, M. C.; Venancio, A.; & E. Kahya, 2009. Flow forecast by SWAT model and ANN in Pracana basin Portugal, *Advances in Engineering Software*, 40, 467-473.
16. Dewan, A. M., & Y. Yamaguchi., (2009). Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Appl Geogr*. 29(3), 390-401.
17. Dfonseca, C.; Al-Ansari, N.; Marques da, R.; Santos, G.; Zerouali , B.; Oliveira, D. B.; & A. Elbeltagi, 2022. Investigating Relationships between Runoff–Erosion Processes and Land Use and Land Cover Using Remote Sensing Multiple Gridded Datasets, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 272.https://doi.org/10.3390/ijgi11050272
18. Di Palma, F.; Amato, F.; Nolè, G.; Martellozzo, F.; & B. Murgante, 2016. A SMAP Supervised Classification of Landsat Images for Urban Sprawl Evaluation, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 5, 109.
19. Fonseca, C.; Al-Ansari, N.; Marques da, R.; Santos,G.; Zerouali , B.; Oliveira, D. B.; & A. Elbeltagi, 2022. Investigating Relationships between Runoff–Erosion Processes and Land Use and Land Cover Using Remote Sensing Multiple Gridded Datasets, *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 272. https://doi.org/10.3390/ijgi11050272

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

20. Gassman, P. W.; Reyes, M. R.; Green, C. H.; & J. G. Arnold, 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. Trans, *ASABE*, 50 (4), 1211-1250.
21. Gebremicael, T. G.; Mohamed, Y. A.; Betrie, G. D.; Zaag, P.; & E. Teferi, 2013. Trend Analysis of Runoff and Sediment Fluxes in the Upper Blue Nile basin: a Combined Analysis of Statistical Tests, Physically-Based Models and Landuse Maps, *Hydrology*, 482, 57-68.
22. GemitzI, A., 2021. Predicting Land Cover Changes Using a CA Markov Model Under Different Shared Socioeconomic Pathways in Greece, *GIScience and Remote Sensing*, 3, 425-441. https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1885235
23. Ghanavati, E., 2014. Flood Risk Zonation for Karaj City Using Fuzzy Logic, *Geography and environmental hazards*.
24. Ghanavati, E.; Karam, A.; & M. Aghaalikhani, 2013. Flood Risk Zonation in the Farahzad Basin (Tehran) Using Fuzzy model, *Geography and Environmental Planning*.
25. Ghanavati, E.; Safari, A.; Javid, E.; & E. Mansorian, 2014. Zonation of Flooding Using CN Hydrological Model and AHP in GIS, case study: Balekhloo river basin, *Natural Geography Research*.
26. Gregory, K. J., 2006. The Human Role in Changing River Channels, *Geomorphology*, 79, 3-4, 172 – 191.
27. Hosseini, M.; et al., 2015. Estimation of Water Balance Components in Shabaktian Watershed of Fars Province, National Conference on Soil Conservation and Watershed Management, 19-21.
28. Houet, T., & L. Hubert-Moy., (2006). Modeling and Projecting Land-Use and Land-Cover Changes with Cellular Automaton in Considering Landscape Trajectories. *EARSeL eProceedings*. 5(1), 63-76.
29. Hu, Y.; Zhen, L.; & D. Zhuang, 2019. Assessment of land-use and land-cover change in Guangxi, China, *Sci. Rep*, 9(1), 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-019-38487-
30. Hua Guo, Qi, H., & J, Tong., (2008). Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China, *Journal of Hydrology*, 355, 1-4, 106-122.
31. Kantakumar, L. N.; Kumar, S.; & K. Schneider, 2019. SUSM: A Scenario-Based Urban Growth Simulation Model Using Remote Sensing Data, *Eur J Remote Sens*, 52(2), 26-41.
32. Khalid Hussein, Khaula Alkaabi, Dawit Ghebreyesus, Muhammed Usman Liaqat, 2020. Land Use/Land Cover Change along the Eastern Coast of the UAE and Its Impact on Flooding Risk, *GEOMATICS, NATURAL HAZARDS AND RISK*, 11, 1, 112-130. https://doi.org /10. 1080 /19475705.2019.1707718.
33. Kundu, S.; Khare, D.; & A. Mondal, 2017. Past, Present and Future Land Use Changes and their Impact on Water Balance, *Journal of Environmental Management*, 197 (2017) 582e596.
34. Li, K. Y.; Coe, M. T.; Ramankutty, N.; & R. De Jong, 2007. Modeling the Hydrological Impact of Land-Use Change in West Africa, *Journal of hydrology*, 337(3-4), 258-268.
35. Li, Z. T.; Li, M.; & B. C. Xia, 2020c. Spatio-Temporal Dynamics of Ecological Security Pattern of the Pearl River Delta Urban Agglomeration Based on LUCC Simulation, *Ecol. Ind*, 114, 106319. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106319

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

36. Lillesand, T.; Kiefer, R. W.; & J. Chipman, 2014. Remote Sensing and Image Interpretation, *Wiley, Hoboken*, 98-100.
37. Lina, B.; Chena, B.; Huaxia Yaoc, D.; Ying, Ch.; Meibing, L.; Lu, G.; & J. April, 2015. Analyses of Landuse Change Impacts on Catchment Runoff Using Different Time Indicators Based on SWAT Model, *Ecological Indicators*, 58, 55-63.
38. Liu, C. M.; Li, D. F.; Tian, Y.; Hao, F. H.; & G. L. Yang, 2003. An Application Study of DEM Based Distributed Hydrological Model on Macroscale Watershed, *Prog. Geogr*, 2(5), 437-445 (in Chinese).
39. Macedo, R.; Maria de Almeida, C.; Santos, J.; & B. Rudor, 2013. Spatial Dynamic Modeling of Land Cover and Land Use Change Associated with the Sugarcane Expansion, *Boletim de Cienc. Geod*, 19, 313-337.
40. Matinfar, H. R.; Sarmadian, F.; Alavi-Panah, S. K.; & R. J. Hech, 2007. Comparisons of Object-Oriented and Pixel-Based Classification of Land Use/Land Cover Types Based on Lansadsat7, Etm+ Spectral Bands (Case Study: Arid Region of Iran), *AmericanEurasian J. Agric. & Environ. Sci*., 4(4), 448-456. (in Persian)
41. Miralizadeh Fard et al., 2012. Monitoring and Forecasting of Land Use Changes Using Markov Chain Model (case study: Dehlran plain of Ilam), *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 7, 26-11.
42. Nazari, M., et al., 2013. Simulation of Runoff based on the Determinism of SWAT Model Parameters Using Sequential Matching Algorithm of Non-Determinism, 6th National Congress of Civil Engineering, Ardabihesht.
43. 48. Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R.; Williams, J. R.; & K. W. King, 2011. Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation. Blackland Research Center, Texas AgriLife Research, *Texas Water Resources Institute Technical Report*, 406, 618.
44. Nie, W.; Yuan, Y.; Kepner, W.; Maliha, S.; Nash, Jackson, M.; & C. Erickson, 2011. Assessing impacts of Landuse and Landcover changes on hydrology for the upper San Pedro watershed, *Journal of Hydrology*, 407, 105-114.
45. Nikoo, M. R. M., et al., 2020. Analyses of Land Use Land Cover (LULC) Change and Built-Up Expansion in the Suburb of a Metropolitan City: Spatio-Temporal Analysis of Delhi NCR Using Landsat Datasets, *Journal of Urban Management*, 9, 347-359.
46. Per Hammet, C., & Collaborators., (2017). Investigating the Impact of Land Use Change on Maren River Runoff at Idenak Station Using Remote Sensing Data and SWAT Model. *Journal of Water and Soil Resources Protection*. 7th year, 3rd issue.
47. Pikounis, M.; Varanou, E.; Baltas, E.; Dassaklis, A.; & M. Mimikon, 2003. Application of the swat model in the Pinios River Basin Under Different Land- Use Secenarios Globle Nest, *the Int. J.*, 5(2), 71-79.
48. Prasad, G., & M. Ramesh., (2019). Spatio-Temporal Analysis of Land Use/Land Cover Changes in an Ecologically Fragile Area-Alappuzha District, Southern Kerala, India. *Natural Resources Research*. 28, 1. https://doi.org/10.1007/s11053-018-9419-y
49. 55. Prayitno, G.; Sari, N.; & A. Hasyim, 2020. Land-Use Prediction in Pandaan Didtrict Pasuruan Regency, *International Journal of GEOMATE*, 18, 65, 64 - 71.
50. Quan, B.; Bai, Y.; Romkens, M. J. M.; Chang, K.; Song, H.; Guo, T.; & S. Lei, 2015. Urban Land Expansion in Quanzhou City, China, 1995-2010, *Habitat Int*, 48,131-139.
51. Qudousi, M., et al., 2013. The Effect of Land Use Changes on the Hydrology of the Aji Chai Watershed and its Inlet to Lake Urmia, *Iran Water and Soil Research*, 45(2), 123-133.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

52. Rezaei Moghadam et al., 2013. Investigating the Effects of Land Use and Land Cover Changes on Flood Risk and Runoff (case study: Alaviyan Dam Catchment Area), *Hydrogeomorphology*, 1, 41-58.
53. Shanmugapriya, E. V.; Samhitha, S. V.; & P. A. Geetha, 2016. Case Study on the Landuse Pattern of Kanyakumari District Using GIS, *Journal of Applied Geology and Geophysics*. https://doi.org/10.9790/0990-0404023641.
54. Sharma, N. K.; Lamay, J. B.; & R. K. Kullu, 2012. Land Use and Land Cover Analysis of Jharkhand Using Satellite Remote Sensing, Research & Reviews: Journal of Space Science & Technology Volume 1, Issue 2, August 2012, Pages 1(2), Pages
55. Shokouhifar, Z.; Zarei, H.; Akhondali, A. M.; & A. Khormian, 2022. Assessment of Effects of Changes in Landuse on the Water Balance Components Using SWAT (Case Study: Doroudzan Dam Basin), *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 45(2), 139-150.
56. Shujayan et al., 2013. Comparison of Parametric and Non-Parametric Methods in Land Cover Classification Using Landsat 8 Satellite Images, *Information and Technology*, 24, 54.
57. Stephens, L.; Fuller, D.; Boivin, N.; & et al., 2019. Archaeological Assessment Reveals Earth's Early Transformation through Land Use, *Science*, 365, 897-902.
58. Tabrizi et al., 2019. The Relationship Between Land Use Changes and Runoff Production in the Gorgan River Watershed, *Watershed Management Research Journal*, 11(21).
59. Tadese, S.; Soromessa, T.; & T. Bekele, 2021. Analysis of the Current and Future Prediction of Land Use/Land Cover Change Using Remote Sensing and the CA-Markov Model in Majang Forest Biosphere Reserves of Gambella, Southwestern Ethiopia, *the Scientific World Journal*, Article ID 6685045, 18 pages. https://doi.org/10.1155/2021/6685045
60. Wagner, P. D.; Kumar, S.; & K. Schneider, 2013. An Assessment of Land Use Change Impacts on the Water Resources of the Mula and Mutha Rivers Catchment Upstream of Pune, India, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(6), 2233-2246.
61. Zhang. X.; Chen, X.; Zhang, W.; Peng, H.; & G. Xu, 2022. Impact of Land Use Changes on the Surface Runoff and Nutrient Load in the Three Gorges Reservoir Area, China, *Sustainability*, 14, 2023.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

The Relationship between Land Use Changes in the Increase of Runoff in the Gorgan River Watershed Using Satellite Image Data and Statistical Models

Fariba Paknejad: *Ph.D. Candidate, Faculty of geomorphology, Kharazmi University, Tehran*
Ezatollah **Qanavati**[1]**:** *Professor of Geomorphology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran*
Ali Ahmadabadi[*]**:** *Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Geographic Sciences, Kharazmi University, Tehran*

Article History (Received: 2023/03/15 Accepted: 2023/08/11)

1- Introduction

Land use and land cover (LULC) is a complex set of changes caused by the interaction of the natural environment and human activities, which has an important impact on the global environmental changes and sustainable development (Li et al., 2020). Changes in land use can occur due to population growth and the development of regional activities (Prayitno et al., 2020). Many of the problems caused by this development can be soil erosion, soil degradation, and the reduction of forest areas and biodiversity (Hu et al., 2019), which have had a major impact on the regional and global environment (Chen et al., 2020). Changes in LULC can not only directly affect the quantity and quality of land resources in human life, but also indirectly cause climate change, which is one of the important factors of global warming (Baoying et al., 2008), so it can change the hydrological regime and rainfall-runoff mechanisms of a region (Li et al., 2007). Factors such as land use changes, rainfall intensity, and degree of soil saturation, etc. cause the balance and natural flow of rivers to be disrupted (Ghanavati et al., 2014). The expansion of urbanization leads to an increase in impervious areas and a decrease in rainfall absorption in the watershed, causing changes in the river's hydrology, creating runoff after rainfall, and as a result, reducing the recharge of the aquifer (Quan et al., 2015). Around the world, flood includes almost one-third of natural hazards and harms people more than any other types of disasters (Asinya et al., 2021). Change detection of LULC is possible by comparing the changes that occurred in a certain area according to the images taken at different times. Today, satellite data on land resources are available and are relevant and useful for LULC studies (Shanmugapriya et al., 2016) because of having some features such as high temporal frequency, accessibility, showing global land cover for consecutive years, being suitable for calculations, and having a wide range of uses which make them have a high potential for analyzing spatial and temporal changes (Kantakumar, 2019). In recent years, due to climatic reasons, the occurrence of floods has increased in the world (Ghanavati et al, 2013). Golestan province is no exception to this rule. In the recent floods in Golestan, natural factors such as the wet winter have led to the wetting of the soil, the filling of storage channels, and the rise of the stagnation level, and as a result, the runoff coefficient has increased. In terms of human factors, it is possible to point out the impact of non-observance of the principles of land preparation and improper land use allocation, deforestation, encroachment on river boundaries, and insufficient dredging of the main channels especially the estuary, which have increased the possibility of occurrence of natural hazards. Hydrological models are the basis for understanding the cause-and-effect relationship between hydrological changes and land use changes (Shokouifar et al., 2022).

2- Methodology

In this research, Landsat TM, Landsat ETM+, and TIRS OLI satellite images from 1986, 2006, and 2020 have been respectively used to classify and investigate land use changes in the Gorgan River basin. ENVI 5.6 software was used for image processing and data analysis, and ArcGIS 10.7 software was used to obtain output from image processing. ENVI 5.6 software was used to classify the desired images using the Random Forest algorithm and using the EnMap-Box 2.2 plugin. TERRSET2020 software was used to model the changes. The Kappa coefficient was used to evaluate the accuracy and precision of the classification as well as to compare the classification result with the ground reality. For land cover classification, six land use classes, including forest, urban areas, agricultural lands, water areas, pastures with good vegetation cover, and land with poor cover (pasture and barren land) were considered. In this study, the effect of land use on runoff potential was also simulated through the semi-distributed SWAT model. Model implementation was done in Arc GIS 10.7 environment. After preparing the required maps and preparing the input data, three different SWAT models were designed for the Gorgan River watershed. The first model was used from 1985 to 1996 from the land use map of 1986, the second model was used from 1999 to 2009 from the land use map of 2006, and the third model was used from 2010 to 2020 from the land use map of 2020. In

[1] . Responsible author: **Ghanavati@khu.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

the first stage, by entering the Dem map and producing the flow network by the model itself, based on the threshold limit of 14,000 hectares as the minimum drainage level and entering the Agh Qala hydrometric station as the outlet of the basin, the Gorgan River watershed was divided into 32 sub-basins. After drawing the boundary of the basin, sub-basin, and flow network, the physical parameters related to the basin and each sub-basin, including area, length of the main waterway, slope, height characteristics, etc. are calculated. In the next step, the soil and land use maps must be entered into the model and the slope classes must be defined by the user, and by combining them, hydrological reaction units (HRU) are produced in each sub-basin. The number of HRUs can be changed multiple times for each land use, soil, and slope by determining a minimum percentage of the watershed area that is defined by the user. In the next step, climate data including daily precipitation and temperature information are entered into the models and the appropriate method for calculating potential evaporation and transpiration is determined based on the type of climate data available. In this study, the Hargreaves-Samani method was used to calculate potential evaporation and transpiration. The method of variable storage coefficient was used for trending the flow. Also, management information such as planting, fertilizing, irrigation time, and harvesting of the dominant crops of the basin were introduced to the models. In the final step, the model was run to simulate monthly runoff, considering 3 years of training for all three models.

3-Results

The analysis of annual runoff in three scenarios shows that under the second and third scenarios, the surface runoff has increased by 20.47 and 46.45%, respectively, compared to the first scenario-According to the investigations, it is clear that water efficiency has been increasing from 1986 to 2020. This increase can be attributed to land use changes, including the reduction of forest area and the increase of agricultural land, pastures, and residential areas. An increasing trend is observed in the northeast sub-basins compared to the southwest, which is due to the reduction of forest land and its conversion to agricultural land in the northeast. In 1986, the water yield of most sub-basins (45.98% of the basin area) is less than 194 mm. While the water yield in 2020 has increased by more than 290 mm in most of the basins (56% of the basin area) and in sub-basins 10 and 12, which are mainly degraded forest areas and are at a higher level up to 378mm, the variable of agricultural land with an average participation rate of 43.63% has had the highest change in runoff from 1986 to 2020. And after that, forest lands increased by 37.25% and played an important role in creating runoff in the Gorgan basin.

4- Discussion & Conclusion

The results show that urban land has increased from 3.20% of the total land of the region in 1986 to 4.66% in 2006 and this number has reached 5.60% in 2020. According to the investigations carried out in this research, it can be concluded that the area of forest land decreased by 45.56% between 1986 and 2020,The largest increase in the area of built land occurred in the second half of the period between 2006 and 2020. However, the decrease in the area of forest land from 1986 to 2020 is very impressive. These changes show the process of destruction in the region by replacing these uses with pastures, barren lands, and forests. To evaluate the effect of land use change on runoff, three SWAT models were implemented using three land use maps for the study area. The simulation results of the flow in the region were acceptable in all three models, so the coefficient of explanation between the observed and simulated data showed acceptable results. After the SWAT model simulation, three optimal values of the parameters of each period were placed for the defined scenarios. The results showed that with the change in land use, the value of the curve number in the second and third scenarios increased by 0.79 and 1.50%, respectively, which was due to the increase of barren lands and the decrease of vegetation in the region. The annual study of runoff in three scenarios shows that in the second and third scenarios, surface runoff has increased by 20.47% and 46.45%, respectively, compared to the first scenario. According to the studies conducted on the impact of each land use in increasing the runoff, the highest impact related to agricultural lands has increased by 12.38% in 2020 to the amount of 43.63% compared to 1986. The subsequent use of forest lands with a decrease of 34.73% has caused an increase of 37.25% of runoff in 2020. As a result, the water output volume has increased by 6.89% of the basin. Also, the rate of evaporation and transpiration of the second and third scenarios was reduced by 2.07 and 7.59%, respectively, compared to the control

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]

scenario. The reason for this is the reduction of vegetation including water lands (gardens and agriculture) in the basin in the second and third scenarios.

Keywords: land use, floods, hydrological model, Gorgan River basin

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.20]