

خلاصه گزارش طرح

به کارگیری مدل نیمه فیزیکی توزیعی SWAT در شبیه سازی اثر تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوزه آبخیز سد هراز



پژوهشگر

عطااله کاویان

داور طرح

مجتبی خوش‌روش

تاریخ انتشار

۱۳۹۶

دبیرخانه گروه تحقیقات

شرکت آب منطقه‌ای مازندران

استان مازندران، ساری، کیلومتر ۳ جاده ساری - قائمشهر

شرکت آب منطقه‌ای مازندران کدپستی: ۴۸۱۵۸۹۸۶۴۳

تلفکس گروه تحقیقات: ۳۳۳۴۷۸۱۵ (۰۱۱)

تلفن: ۳۳۳۴۷۸۰۱-۴ (۰۱۱) دورنگار: ۳۳۳۴۷۸۰۰ (۰۱۱)

پست الکترونیک: wrw.mz.research@gmail.com

www.mzrw.ir

وب سایت:



وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
شرکت آب منطقه‌ای مازندران
گروه تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی

خلاصه گزارش طرح:
**به کارگیری مدل نیمه فیزیکی توزیعی SWAT در شبیه سازی
اثر تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوزه آبخیز سد هراز**

کد طرح:
MAI-91005

پژوهشگر:
دکتر عطاله کاویان

داور طرح:
دکتر مجتبی خوش‌روش

تاریخ انتشار:
۱۳۹۶

پروژه ارزیابی اثربخشی و مستندسازی پروژه‌های تحقیقاتی

شناسنامه طرح

این گزارش نتیجه اجرای طرح تحقیقاتی با عنوان «به کارگیری مدل نیمه فیزیکی توزیعی SWAT در شبیه سازی اثر تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوزه آبخیز سد هراز» می باشد که پیشنهاد انجام آن پس از داوری و بررسی در جلسه شماره ۳ مورخ ۹۱/۴/۱۵ کمیته تحقیقات آب منطقه ای مازندران مورد تایید قرار گرفت.

قرارداد این طرح در تاریخ ۹۳/۳/۳ به شماره ۵۳۹۲/۵۰۰ بین شرکت آب منطقه ای مازندران به عنوان کارفرما و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به عنوان مجری (مشاور) تنظیم و با حمایت و پشتیبانی مالی از محل طرح های عمرانی (تملک دارایی و سرمایه ای) شرکت آب منطقه ای مازندران انجام شده و در تاریخ ۹۶/۱۰/۷ خاتمه یافته است.

پژوهشگر این طرح دکتر عطااله کاویان بوده، داوری نهایی طرح توسط دکتر مجتبی خوش روش انجام گردیده است.

گروه تحقیقات کاربردی
شرکت آب منطقه ای مازندران

به کارگیری مدل نیمه فیزیکی توزیعی SWAT در شبیه سازی اثر تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوزه آبخیز سد هراز

پژوهشگران: عطااله کاویان، بهمن جباریان امیری، حامد روحانی و مرضیه بهرامی
کد طرح: MAI-91005

چکیده

شبیه سازی جریان رودخانه ها، پیش بینی رفتار هیدرولوژیکی حوزه های آبخیز و درک درستی از مؤلفه های مختلف چرخه ی هیدرولوژیکی برای برنامه ریزی در جهت حفاظت از منابع آبی دارای اهمیت است. از طرف دیگر با توجه به این که در خروجی حوزه آبخیز هراز با وسعت ۴۰۱۴ کیلومتر مربع واقع در جنوب استان مازندران سد سازی صورت می گیرد بر آورد رواناب و رسوب حاصل از بارش و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی بر میزان این مؤلفه ها از ضرورت بالایی برخوردار می باشد. برای این منظور در این پژوهش ابتدا با استفاده از رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکوف اقدام به شبیه سازی کاربری اراضی گردید. سپس با استفاده از مدل SWAT جهت مدل سازی هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه اقدام شد. جهت ارزیابی تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره های لندست ۵، ۷ و ۸ به ترتیب با سنجنده های TM مربوط به سال ۱۳۶۷، ETM⁺ مربوط به سال ۱۳۷۹ و OLI مربوط به سال ۱۳۹۲ استفاده شد. برای سنجش دقت طبقه بندی از شاخص های ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شد. نتایج این این قسمت نشان داد که مقادیر ضرایب کاپا و صحت کلی به ترتیب برای سال ۱۳۶۷، ۰/۷۸ و ۸۴/۷۷ درصد، برای سال ۱۳۷۹، ۰/۷۵ و ۸۲/۹۶ درصد و برای سال ۱۳۹۲، ۰/۷۷ و ۸۱/۳۴ درصد به دست آمد. جهت پیش بینی تغییرات کاربری اراضی ۱۴۰۴ از دوره های واسنجی (۱۳۶۷-۱۳۷۹، ۱۳۷۹-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۳۶۷) با استفاده از زنجیره مارکوف و مدل پیش بینی سخت استفاده شد. با اعمال نقشه کاربری سال های ۱۹۹۸، ۲۰۱۳ و ۱۴۰۴ به مدل SWAT میزان دبی جریان برای این دوره ها شبیه سازی شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد مدل نسبت به پارامترهای CN2، ALPHA_BNK و SOL-BD جهت پیش بینی دبی جریان از حساسیت بیشتری برخوردار می باشند. واسنجی مدل به منظور شبیه سازی رواناب برای سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ و اعتبارسنجی مدل برای سال های ۱۹۹۸-۱۹۹۹ انجام شد و خروجی مدل با استفاده از نمایه های آماری ضریب R^2 ، NS و MSE مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقادیر آمارها در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۷۲، ۰/۷۰ و ۵۴/۴ و در دوره اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۷۴ و ۴۶/۴ می باشد.

کلید واژه ها: اعتبارسنجی، تحلیل حساسیت، واسنجی، حوضه هراز، مدل SWAT

مقدمه

فعالیت‌های انسانی همراه با حوادث طبیعی به شکل فزاینده‌ای پوشش گیاهی را تحت تأثیر تغییرات قرار می‌دهد. در کشور ایران پوشش گیاهی به دلایل گوناگون از جمله تخریب منابع طبیعی، تغییر کاربری اراضی، استفاده بی‌رویه از منابع جنگلی مناطق در وضعیت بحرانی قرار دارد. بی‌شک یکی از مهم‌ترین دلایل وقوع سیلاب و افزایش دبی سیلاب‌های مناطق شمالی ایران در دهه اخیر، تغییر کاربری اراضی و عدم تناسب کاربری‌های فعلی با توانایی اراضی است. تغییر کاربری و پوشش اراضی، طبیعتاً نتایج هیدرولوژیکی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی به همراه دارد. امروزه تغییرات بدون برنامه کاربری اراضی به یک شکل حاد تبدیل گردیده است. تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یکی از چالش‌های عمده در قرن بیست و یکم مطرح خواهد بود و برخی حتی اعتقاد به شدید بودن تأثیرات آن نسبت به پدیده تغییر اقلیم دارند. آگاهی از تغییرات و تحولات کاربری اراضی در طول یک دوره زمانی و تأثیر آن بر میزان دبی جریان رودخانه برای برنامه‌ریزان و مدیران بسیار دارای اهمیت است در کنار آشکارسازی تغییرات گذشته یک منطقه، پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات رخ داده در طول زمان دارای اهمیت است.

بررسی تغییرات کاربری اراضی در گذشته و پیش‌بینی این تغییرات در آینده و تأثیر این تغییرات بر رژیم هیدرولوژیکی جریان می‌تواند به برنامه‌ریزی بهتر در جهت توسعه پایدار کمک کند. به‌منظور تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری مناسب برای ارزیابی و هدایت تغییرات کاربری اراضی در جهت توسعه پایدار استفاده شوند. با استفاده از روش‌های آشکارسازی تغییرات (change detection) و مدل‌سازی می‌توان تغییرات گذشته و پیش‌بینی تغییرات آینده را نشان داد (رفیعی، ۲۰۰۹).

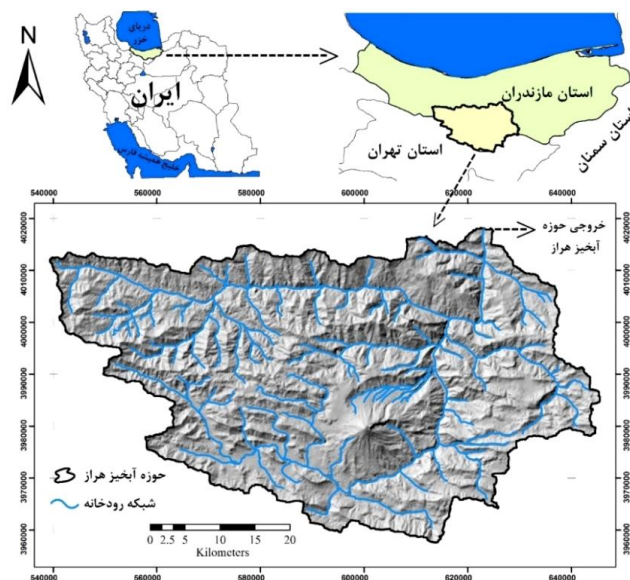
در راستای مدیریت حوزه‌ی آبخیز و جلوگیری از بروز ناسازگاری در اقدامات طراحی‌شده در سطح حوضه، برای شبیه‌سازی حوزه‌ی آبخیز مورد نظر، به مدلی نیاز است که بتواند حجم وسیع داده‌ها از جمله بارش، توپوگرافی، مرزهای حوزه‌ی آبخیز، خصوصیات خاک و لایه‌ی زیر سطحی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، سیستم‌های انتقال رواناب، سازه‌های مدیریتی موجود، داده‌های موجود کیفی آب و سطح آب زیرزمینی را در شبیه‌سازی به‌کار ببرد. مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را فراهم می‌آورند تا با شبیه‌سازی بارش - رواناب، عکس‌العمل حوزه را با صرف حداقل هزینه و زمان به‌دست آورد. چون در حوزه‌های آبخیز، امکان اندازه‌گیری همه کمیت‌های موردنیاز برای بررسی عکس‌العمل حوزه میسر نمی‌باشد، بنابراین انتخاب مدلی که بتوان در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی

مورد نیاز، پیش‌بینی با دقت قابل قبولی را ارائه کند، امری ضروری به نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳). حوضه آبخیز هراز یکی از آبخیزهای مهم استان مازندران به لحاظ ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی است که قرارگیری قله دماوند و مسیر ارتباطی تهران-آمل در این حوضه آبخیز اهمیت آن را دوچندان نموده است. از سوی دیگر طراحی و اجرای سد هراز در فاصله ۲۰ کیلومتری شهر آمل بر روی رودخانه هراز و اهمیت پیش‌بینی اثرات تغییرات کاربری اراضی آینده آبخیز بر رفتار هیدرولوژیکی و رسوبی این حوضه آبخیز، ضرورت انجام این تحقیق را بیش از پیش می‌نماید.

مواد و روش‌ها

موقعیت و شرح عمومی منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه بین $51^{\circ}43'$ تا $52^{\circ}36'$ درجه طول شرقی و $35^{\circ}45'$ تا $36^{\circ}22'$ درجه عرض شمالی و در جنوب استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). وسعت حوضه آبخیز هراز بالغ بر ۴۰۱۴ کیلومترمربع می‌باشد. محیط حوضه برابر با ۴۴۳ کیلومتر، حداقل ارتفاع حوضه ۳۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۵۶۱۰ متر (قله دماوند) می‌باشد. تمامی رودخانه‌های حوضه به رودخانه هراز ختم می‌شوند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هراز در سطح کشور و استان

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای از سایت USGS پیش‌پردازش‌ها و پردازش‌ها و در نهایت پس‌پردازش‌هایی بر روی این تصاویر به‌منظور استخراج نقشه کاربری اراضی انجام شد. پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان مقدمه عملیات پردازش (طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای) و پایش تغییرات امری ضروری می‌باشد. جدول ۱ مشخصات تصاویر مورد استفاده به‌منظور استخراج نقشه کاربری اراضی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	زمان جمع‌آوری	قدرت تفکیک مکانی (متر)	شماره گذر و ردیف	تعداد باندها
لندست ۵	TM	۱۹۸۸/۰۹/۱۹	۲۸/۵	۱۶۴/۳۵	۷
لندست ۷	ETM ⁺	۲۰۰۰/۴/۲۸	۲۸/۵	۱۶۴/۳۵	۷
لندست ۸	OLI	۲۰۱۳/۰۵/۲۷	۳۰	۱۶۴/۳۵	۱۱

تصحیح اتمسفری

در این تحقیق به‌منظور از بین بردن خطای ناشی از اتمسفر که بر اثر فعل و انفعالات فوتون‌ها توسط مولکول‌ها و ذرات معلق گرد و غبار موجود در اتمسفر زمین ایجاد می‌شود، از نرم‌افزار ENVI 4.7 و روش کاهش تیرگی پدیده (DOS) استفاده شد. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره رنگ دارای تابش صفر در همه طول موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آنها صفر یا نزدیک به یک می‌باشد، مثل آب، به این ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به‌صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد. به همین دلیل جهت حذف خطای اتمسفریک باید ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود. این فرایند جهت کاهش اثرات پخش اتمسفری بر روی تصویر است. به‌نحوی که کاهش تیرگی پدیده یک روش ساده است که به‌طور گسترده در بسیاری از موارد به‌کار گرفته می‌شود.

تصحیح رادیومتری

تصاویر خام سنجش از دور همیشه دارای خطایی در مقادیر ثبت شده برای پیکسل ها می باشند که به خطای رادیومتری معروف است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به خصوص برای داده های قدیمی کار بسیار سختی است. این خطا به دلیل تفاوت شرایط اتمسفری و ارتفاع خورشید هنگام ثبت داده ها توسط سنجنده رخ می دهد. که باعث ایجاد خطوط سیاه رنگ با درجه روشنایی صفر در تصویر می شود که برای رفع آن Replace Bad Line در محیط نرم افزار ENVI برای تعویض خطوط با درجه روشنایی صفر (خطوط بد) با میانگینی از خطوط دارای درجه روشنایی متعارف اسکن شده اطراف آن به کار می رود. از عمده موارد خطاهای رادیومتری عبارتند از: خطوط جافتاده، خطای نوار نوار شدن، خطاهای دستگاهی و نویزها (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۹). پس از نمایش تک باندها و ترکیبات مختلف رنگی بر روی صفحه مانیتور در محیط نرم افزار PCI Gomatica و به کمک بزرگ نمایی آن ها در قسمت های مختلف، داده ها به لحاظ خطاهای رادیومتری نظیر راه راهدگی و Striping، خطاهای زیر هم قرار گرفتن دسته های خطوط اسکن و پیکسل های دوبله، مورد بررسی قرار گرفتند و هیچ کدام از موارد فوق در آن ها مشاهده نشد.

پردازش اطلاعات

پس از بررسی کیفیت داده ها و انجام تصحیح اتمسفری و رادیومتری، برای بهره مندی از توان اطلاعاتی داده ها، به کمک الگوریتم های طبقه بندی، قابلیت آن ها برای تفکیک طبقات کاربری که در تحقیق مورد نظر هستند مورد آزمون و بررسی قرار گرفت. معمولاً رفتار طیفی کلاس ها در بعضی از بخش های طیف الکترومغناطیس (باند) با هم شباهت داشته و بنابراین استفاده از این باندها برای طبقه بندی علاوه بر اینکه هیچ کمکی به بهبود فرایند طبقه بندی نمی کند، سبب کاهش سرعت و افزایش تعداد نمونه های تمرینی می شود. از معروف ترین روش های آنالیز وابستگی و همچنین حذف باندها روش آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA) می باشد. که در این تحقیق از این روش برای تقلیل باندها استفاده شد. برای متمرکز کردن اطلاعات چند باند با همبستگی بالا در یک باند از روش تجزیه مؤلفه های اصلی استفاده شد. برای این کار از روش استاندارد تجزیه مؤلفه های اصلی استفاده شد.

به منظور انتخاب بهترین ترکیب باندی از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا (Kappa coefficient) و ضریب صحت کلی (Overall Accuracy) استفاده شد. بدین صورت که ترکیب باندی که بالاترین ضرائب مورد نظر را ارائه دهد به عنوان بهترین ترکیب باندی در نظر گرفته می‌شود. جهت طبقه‌بندی تصاویر ابتدا اقدام به برداشت نمونه‌های تعلیمی (Training Sample) با استفاده از تفسیر بصری، تصاویر ماهواره‌ای، نرم‌افزار Google earth و روش نمونه‌بردار تصادفی ساده (SRS) از منطقه مورد مطالعه شد. مرحله بعد انتخاب الگوریتم مناسب برای طبقه‌بندی می‌باشد که از مراحل مهم در طبقه‌بندی می‌باشد. در این تحقیق از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. طبقه‌بندی حداکثر احتمال یکی از معروف‌ترین روش‌های آماری طبقه‌بندی است که جزء روش پیکسل‌های پایه قرار می‌گیرد. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال در اکثر موارد دارای دقت بیشتری نسبت به طبقه‌بندی با الگوریتم‌های حداقل فاصله (Minimum Distance) و متوازی‌السطوح (Parallelepiped) است (دارابی، ۱۳۹۰) در نهایت به منظور انتخاب بهترین ترکیب باندی، ترکیبات باندی مختلفی بر روی هر سه تصویر اعمال شد و سپس بهترین ترکیب باندی با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و با توجه به ضریب کاپا و صحت کلی انتخاب شد.

پس‌پردازش اطلاعات

پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، به هفت کلاس جنگل، زراعت آبی، اراضی فاقد پوشش گیاهی (راضی بایر، اراضی صخره‌ای و ...)، مرتع، باغات و اراضی مسکونی با توجه به ترکیب باندی مناسب انتخاب شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال، نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲ به دست آمده و این نقشه‌ها با نقشه واقعیت زمینی و عملیات‌های میدانی و نقشه‌های توپوگرافی و پرس و جوی محلی ارزیابی شده و پس از تشکیل ماتریس خطا (Confusion Matrix)، ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی بر اساس معیارهای صحت کلی (Overall Accuracy)، ضریب کاپا (Kappa coefficient)، صحت تولیدکننده (Producers Accuracy) و صحت کاربر (User Accuracy) صورت گرفت. از نظر تئوری احتمالات دقت کلی نمی‌تواند معیار خوبی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی باشد.

آشکارسازی تغییرات با استفاده از LCM

آشکارسازی تغییرات یک ابزار ضروری برای پایش محیط زیست و مدیریت حوضه های آبخیز می باشد. این مقوله فرایندی است که وضعیت تغییرات پدیده ها را از روی تصاویر بدست آمده در زمان های مختلف مشخص می کند (سینگ، ۱۹۸۹). این تکنیک در بسیاری از موارد برای مطالعه تغییرات محیط زیست به کار می رود (مس، ۱۹۹۹؛ کوپین و بیور، ۱۹۹۶؛ یان و همکاران، ۲۰۰۵؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). تاکنون روش های مختلفی از الگوریتم های دیجیتالی برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی از داده های سنجنش از دور ایجاد شده اند. با وجود این دامنه گسترده، روش ها به طور اساسی در دو طبقه وسیع خلاصه می شوند، آن هایی که آشکارسازی تغییرات را انجام می دهند و سپس طبقات را مشخص می کنند (pre-classification) و آن هایی که اول طبقات را مشخص می کنند و سپس آشکارسازی تغییرات را انجام می دهند (post-classification) مثل مقایسه پس از طبقه بندی (ون اوورت، ۲۰۰۷). در روش pre-classification تصاویر دو تاریخ مختلف به یک تصویر جدید تبدیل می شوند که شامل تغییرات طیفی وسیع است (یان و همکاران، ۱۹۹۸). مزایای عمده روش post-classification که در آن بررسی پیکسل به پیکسل تغییر کاربری انجام خواهد شد و طی آن نقشه آشکارسازی تغییرات تهیه خواهد شد این است که تصاویر دو تاریخ جداگانه طبقه بندی می شوند، در نتیجه کمترین مشکل تصحیح رادیومتریک بین دو تاریخ خواهد بود. در این روش ارزیابی مقایسه پس از طبقه بندی کلاً به دقت طبقه بندی اولیه وابسته است (کوپین و همکاران، ۲۰۰۴) و نتایج طبقه بندی ضعیف باعث عدم قطعیت در نقشه تغییر می شود. به علاوه این روش به خوبی در مناطق همگن بزرگ با تغییرات عمده عمل می کند (رفیعی، ۲۰۰۹). با توجه به متفاوت بودن قدرت تفکیک و اندازه پیکسل تصاویر سنجنده های متفاوت همواره عدم قطعیت در آشکارسازی تغییرات وجود دارد چرا که بعضی عوارض در نقشه هایی که با تصویر با قدرت تفکیک بالاتر ساخته شدند قابل تشخیص بوده اما در نقشه هایی که از تصاویر با قدرت تفکیک پایین تر تولید می شوند تشخیص دادن آن ها مشکل و گاهی ناممکن است. پس از تهیه نقشه های کاربری اراضی مربوط به سال های ۱۳۷۹، ۱۳۶۷، ۱۳۹۲ اقدام به آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق افتاده در طی دوره زمانی مورد مطالعه شد.

در این تحقیق نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۳۶۷، ۱۳۷۹، ۱۳۹۲ و ۱۳۶۷ با ۱۳۹۲ جهت آنالیز و آشکارسازی تغییرات منطقه وارد مدل شدند. کاهش ها و افزایش ها در هر کاربری،

تغییرات خالص، تغییر خالص از سایر کاربری‌ها به یک طبقه موردنظر، نقشه تغییرات و نقشه مناطق تغییر نیافته و نقشه‌های روند مکانی تغییرات از جنگل و مرتع به همه کاربری‌ها و از همه کاربری‌ها به زراعت آبی، مناطق مسکونی، باغات و اراضی فاقد پوشش گیاهی برای سال‌های مورد مطالعه بدست آمدند (ناگاباتلا و همکاران، ۲۰۰۸).

مدل‌سازی پتانسیل انتقال

مدل‌سازی تغییرات مجموعه‌ای از ابزارهایی است که اجازه می‌دهد یک گروه به مجموعه‌ای از زیرمدل‌ها برای بررسی قدرت بالقوه متغیرهای توضیحی انتقال پیدا کند. متغیرها می‌توانند به صورت استاتیک (در طول زمان تغییرناپذیر) یا دینامیک (محرک‌های تابع زمان) به مدل اضافه شوند. هنگامی که متغیرهای مدل انتخاب شدند، هر انتقال با استفاده از رگرسیون لجستیک مدل‌سازی شد. نتیجه در هر یک از موارد یک نقشه پتانسیل برای هر انتقال است که بیان‌کننده زمان خاصی برای تغییر است. رگرسیون لجستیک یک روش آماری برای ارزیابی ارتباط بین مجموعه متغیرهای مستقل و متغیر وابسته دوگانه است. در رگرسیون لجستیک متغیر وابسته باید دوگانه باشد و می‌تواند فقط دو مقدار ۰ و ۱ را بگیرد. ارزش ۱ نشان‌دهنده وقوع یک رویداد و ارزش صفر نشان‌دهنده عدم وقوع رویداد است.

انتخاب زیرمدل‌ها

برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال قبل از هر کاری باید زیرمدل‌ها مشخص گردد. برای انتخاب زیرمدل‌هایی که بالاترین صحت را داشته باشند، لازم است که مدل با چند سناریوی مختلف اجرا شود (اوناته و سندرا، ۲۰۱۰). زیرمدل‌ها شامل: ۱- زیرمدل انتقال به همه کاربری‌ها در دوره واسنجی ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۹ (A) ۲- زیرمدل انتقال به همه کاربری‌ها در دوره واسنجی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ (B) ۳- زیرمدل انتقال به همه کاربری‌ها در دوره واسنجی ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۲ (C).

انتخاب متغیرها

برای انتخاب متغیرهای مناسب برای ورود به مدل باید ابتدا متغیرهایی که گمان می‌رود می‌توانند ارتباط بین تغییرات را به خوبی توضیح دهند تست شوند و در نهایت با توجه به ضریب کرامر به دست

آمده از هر یک از متغیرها مناسب ترین متغیرها انتخاب شود. متغیرهای به کار رفته در این مطالعه عبارتند از: ۱- مدل رقومی ارتفاع ۲- شیب ۳- فاصله از رودخانه ۴- فاصله از جاده ۵- فاصله از مناطق مسکونی ۶- فاصله از مناطق جنگلی.

پیش بینی تغییرات (change prediction)

خروجی های مرحله پتانسیل انتقال به عنوان ورودی های مرحله پیش بینی تغییرات به کار می روند. مقدار تغییرات هر انتقال با استفاده از زنجیره مارکوف پیش بینی می شود و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از ۲ مدل پیش بینی سخت (hard prediction) و نرم (soft Prediction) در مدل LCM تهیه خواهد شد. در مدل مارکوف حالت سیستم در زمان ۲ می تواند بر اساس حالت سیستم در زمان یک پیش بینی شده و در نتیجه آن ماتریس احتمالات انتقال به عنوان پایه مدل سازی تغییرات کاربری اراضی ارایه گردد. سپس مدل سازی برای سال ۱۳۹۲ با استفاده از مدل پیش بینی سخت اجرا شد.

انتخاب فاصله زمانی

نقشه های کاربری اراضی مربوط به سال های ۱۳۶۷ و ۱۳۷۹ به عنوان ورودی مدل برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۳۹۲ استفاده شد. در این راستا سه زیر مدل (A, B, C) و شش متغیر مذکور مورد بررسی قرار گرفت (به ترتیب سناریوی ۱: با دوره واسنجی ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۹ و زیر مدل A، سناریوی ۲ با دوره واسنجی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ و زیر مدل B، سناریوی ۳ با دوره واسنجی ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۲ و زیر مدل C نامیده شدند. پس از بررسی تاثیر متغیر در توضیح انتقال و ضریب کرامر ۶ متغیر وارد مدل شدند.

ارزیابی صحت مدل

خطا و صحت پیش بینی مدل بر اساس نقشه های پوشش اراضی ۱۳۹۲ واقعیت زمینی و ۱۳۹۲ حاصل از پیش بینی محاسبه شد و مقادیر کاپای کلی، تطابق ناشی از مکان و مقدار به دست آمدند. برای به دست آوردن کاپای کلی نقشه پیش بینی شده توسط مدل با نقشه واقعیت زمینی ۱۳۹۲ با استفاده از جدول بندی متقاطع (Cross Tabulation) تقابل داده شدند. نمایه توافق کاپا از -۱ تا +۱ است و این

نشان‌دهنده تشابه بین دو تصویر است. چنانچه دو تصویر تشابه کامل داشته باشند ضریب کاپا یک است و اگر یک تصویر کاملاً متفاوت از دیگری باشد (هیچ پیکسلی ارزش ثابت در دو تصویر نداشته باشد) ضریب کاپا ۰-۱ است.

مدل SWAT

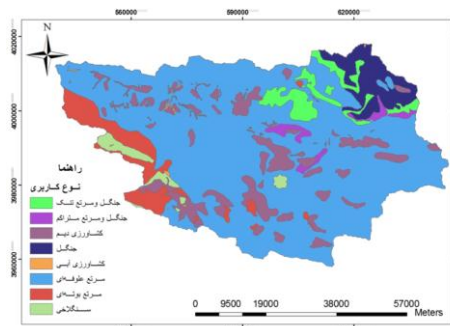
مدل SWAT از قویترین مدل‌های شبیه‌سازی حوزه آبخیز می‌باشد که در مطالعات مختلفی در داخل (اکبری‌مجدر، ۱۳۹۰؛ آبابایی، ۱۳۸۸؛ کاویان و همکاران، ۱۳۹۴) و خارج کشور (Duan و همکاران، ۲۰۰۹؛ Hyung و همکاران، ۲۰۱۱) برای شبیه‌سازی دبی جریان مورد استفاده قرار گرفته است. چرخه هیدرولوژیکی که در این مدل شبیه‌سازی می‌شود براساس بیلان آبی است که به صورت معادله زیر می‌باشد:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه ۱:}$$

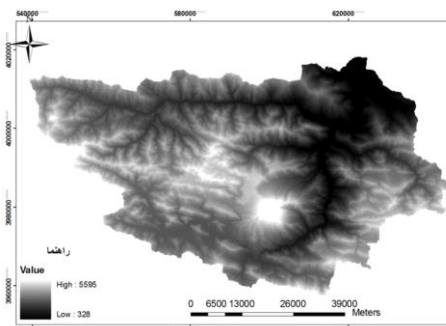
که در آن، SW_t مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، t زمان (روز)، SW_o مقدار آب موجود در خاک (میلی‌متر)، R_{day} مقدار بارش در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} مقدار رواناب در روز i ام (میلی‌متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} مقدار آب نفوذ کرده به منطقه قشری در پروفیل خاک (میلی‌متر) و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) می‌باشد.

ورودی‌های مدل

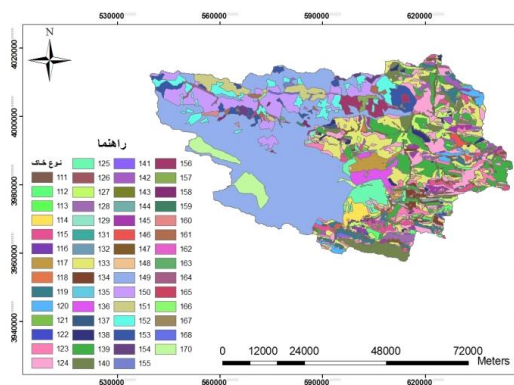
مدل SWAT برای شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز پیچیده و وسیع کاربرد دارد. برای شبیه‌سازی جریان رواناب و رسوب نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از حوزه مورد مطالعه داریم که از جمله ورودی‌های اصلی برای این منظور می‌توان نقشه کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع (نقشه DEM)، نقشه خاک، داده‌های هواشناسی را نام برد. نقشه‌های مکانی وارد شده به مدل SWAT در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی



شکل ۲- نقشه DEM منطقه مطالعاتی



شکل ۴- نقشه خاک حوزه آبخیز هراز

واستنجی، تحلیل حساسیت و آنالیز عدم قطعیت پارامترهای مدل

روش‌های به کار برده شده برای انجام آنالیز حساسیت می‌تواند در دو گروه بررسی شود: آنالیزهای حساسیت موضعی و سرتاسری. آنالیز حساسیت موضعی، که با روش OAT (یک فاکتور در یک زمان) شناخته شده است، واکنش خروجی‌ها توسط تغییرات متوالی هر پارامتر مدل را مشخص می‌کند، در حالی که دیگر پارامترها بدون تغییر می‌باشند. سیستم‌های فیزیکی معمولاً به وسیله معادلات پیوسته مدل‌سازی می‌شوند، بنابراین هیچ مسأله هیدرولوژیکی معکوسی وجود ندارد که به طور منفرد قابل حل باشد. همچنین از آنجا که همه فرایندهای تصحیح توزیع دما و بارش تنها در داده‌های اندازه‌گیری شده

(شامل عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها) ظاهر می‌شود، بنابراین داده‌های غیرقابل اندازه‌گیری خطای مدل محسوب و عدم قطعیت در پیشگویی مدل وجود دارد. بنابراین درصد داده‌های به‌دست آمده به‌وسیله پیشگویی عدم قطعیت، ارزیابی خوبی برای توانایی تحلیل عدم قطعیت است. با توجه به فیزیکی بودن این مدل، پارامترهای زیادی برای انطباق آن با شرایط منطقه لازم است. مدل SWAT نیازمند داده‌های گوناگون جهت اجرا می‌باشد که هر یک به‌علت عدم قطعیت‌های دخیل در آن‌ها نیازمند واسنجی هستند. از طرفی در مرحله واسنجی باید امکان اصلاح فرضیات مدل را با توجه به خصوصیات حوزه آبریز فراهم کرد. واسنجی مدل جهت به‌دست آوردن مقدار بهینه پارامترها با استفاده از ویرایش دوم نرم‌افزار SUFI2 انجام شد.

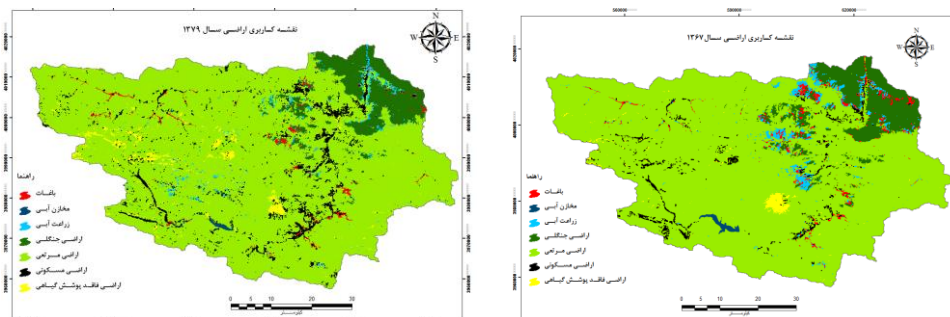
معرفی معیارهای ارزیابی مدل

به‌منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل، از ۳ نمایه آماری ضریب همبستگی (R^2)، راندمان نش-ساتکلیف (NS) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ سنجنده TM، ETM⁺ و OLI نشان داد که بیشترین اطلاعات باندهای مذکور در مؤلفه‌های اوّل و دوّم حاصل از عمل PCA تمرکز یافته است. جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، کلاس‌های کاربری اراضی در هفت گروه تحت عنوان جنگل، زراعت آبی، اراضی فاقد پوشش گیاهی (اراضی بایر، اراضی صخره‌ای و ...)، مرتع، باغات و اراضی مسکونی تعیین شد. حدود ۷۲ نقطه از منطقه مورد مطالعه با پراکنش مناسب برداشت شد. پس از مشخص شدن میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها نسبت به طبقه‌بندی به‌صورت نظارت‌شده و با روش حداکثر احتمال اقدام شد. بدین‌ترتیب نقشه‌های پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲ به‌دست آمد شکل‌های ۵، ۶ و ۷ ارائه گردیده است.

به کارگیری مدل نیمه فیزیکی توزیعی SWAT در شبیه سازی ...

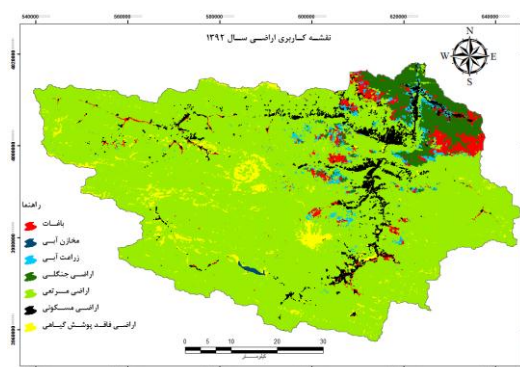


شکل ۶- نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۷۹

(سنجنده ETM^+)

شکل ۵- نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۷۷

(سنجنده TM)



شکل ۷- نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۹۲

(سنجنده OLI)

مساحت کاربری اراضی مرتعی و گسترش دیگر کاربری ها در طی سال های مورد مطالعه (۱۳۶۷، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۲) با استفاده از آشکارسازی تغییرات در محیط نرم افزار ARC GIS 9.3 به دست آمد.

جدول ۲- تغییرات مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در دوره ۱۴۰۴-۱۳۹۲			
دوره	کاربری اراضی	تغییر مساحت (کیلومتر مربع)	تغییر مساحت (درصد)
۱۳۹۲-۱۴۰۴	باغات	+۱۴/۵۳۴۱	+۰/۳۸
	مخازن آبی	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰
	زراعت آبی	+۳/۹۱۸۶	+۰/۱۱
	اراضی جنگلی	-۲۹/۷۸۱۸	-۰/۷۴
	اراضی مرتعی	-۶۳/۶۷۴۱	-۱/۵۶
	اراضی مسکونی	+۲/۹۵۳۸	+۰/۰۸
	اراضی فاقد پوشش گیاهی	+۷۲/۱۴۹۴	+۱/۸۱

با مقایسه این جدول میزان تغییرات کاربری اراضی طی سه دوره مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. جدول ۲ تغییرات یاد شده را بر حسب کیلومتر مربع و درصد نشان می‌دهد. در این جدول افزایش مساحت هر کاربری با عدد مثبت و کاهش مساحت با عدد منفی نمایش داده شده است.

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

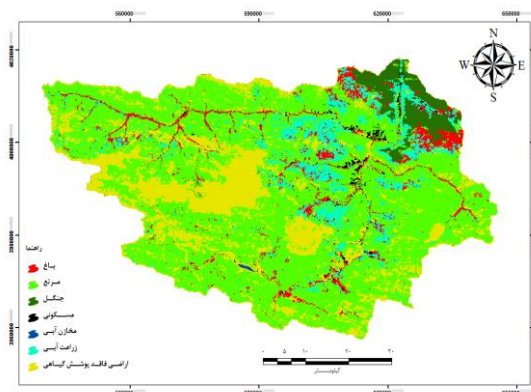
در این مرحله احتمال انتقال به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف در دوره‌های واسنجی مختلف (۱۳۶۷-۱۳۷۹، ۱۳۹۲-۱۳۷۹ و ۱۳۹۲-۱۳۶۷) انجام شد و برای ارزیابی صحت مدل از نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده توسط مدل و نقشه واقعیت زمینی سال مدل شده استفاده شده و سه فاکتور مهم (کاپای کلی، تطابق ناشی از مکان و مقدار) محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۳- ارزیابی صحت رگرسیون لجستیک در دوره‌های واسنجی مختلف			
دوره	کاپای کلی	تطابق ناشی از مکان	تطابق ناشی از مقدار
۱۳۶۷-۱۳۷۹	۰/۸۴۸۱	۰/۸۲۳۷	۰/۷۸۶۴
۱۳۷۹-۱۳۹۲	۰/۹۳۵۴	۰/۹۹۳۸	۰/۹۱۲۶
۱۳۶۷-۱۳۹۲	۰/۹۴۳۰	۰/۹۹۰۰	۰/۹۲۲۴

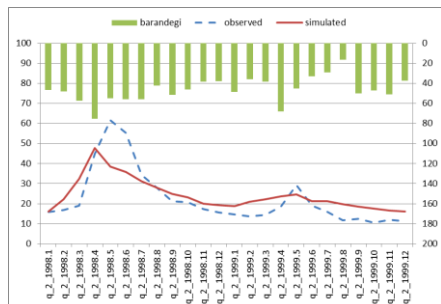
نتایج مدل سازی برای سال ۱۴۰۴ نشان داد مساحت کاربری جنگل و مرتع نسبت به سال ۱۳۹۲ به ترتیب (۲۹۷۸/۱۸ و ۶۳۶۷/۴۱) هکتار کاهش و زراعت آبی، مسکونی، باغ و اراضی فاقد پوشش گیاهی به ترتیب (۳۹۱/۸۶، ۲۹۵/۳۸، ۱۴۵۳/۴۲ و ۷۲۱۴/۹۴) هکتار افزایش خواهند یافت. مساحت تبدیل کاربری های اراضی بین سال های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۴ نشان داد که بیشترین تبدیلات کاربری اراضی شامل تبدیل مرتع به اراضی فاقد پوشش گیاهی می باشد که حدود ۱۷۴۸۹/۲۵ هکتار می باشد (شکل ۸).

نتایج به کارگیری مدل SWAT

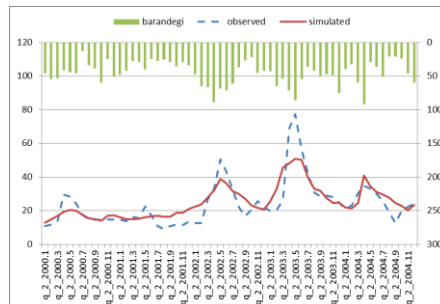
طول دوره آماری مورد مطالعه برای شبیه سازی رواناب از سال آبی (۲۰۰۰-۲۰۰۴) برای دوره واسنجی مدل و سال آبی (۱۹۹۸-۱۹۹۹) برای دوره اعتبارسنجی انتخاب شد. بعد از اجرای مدل، از ۹ ایستگاه برای شبیه سازی استفاده گردید که ۸ تا از ایستگاه ها در داخل حوزه آبخیز هراز و یک ایستگاه در خارج حوزه آبخیز هراز قرار دارند. ایستگاه های داخل محدوده مورد مطالعه شامل کره سنگ، بلده، گت کلا، رزن، پنجاب، ناندل، رینه، نمارستاق و ایستگاه شیخ موسی در خارج از حوزه آبخیز می باشند. نتایج شبیه سازی رواناب برای ایستگاه هیدرومتری کره سنگ در حوزه آبخیز هراز در دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب در شکل های ۹ و ۱۰ آورده شده است. همچنین شکل های ۱۱ و ۱۲ نشان دهنده همبستگی بین دبی مشاهداتی و دبی شبیه سازی شده می باشد که نشان دهنده کارایی بالای مدل SWAT در منطقه مطالعاتی می باشد.



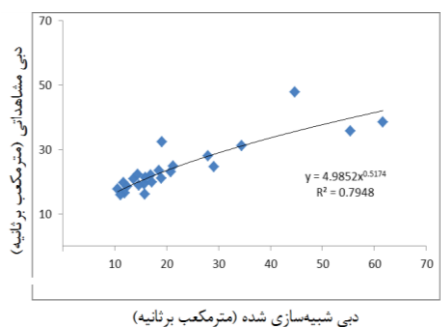
شکل ۸- نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده سال ۱۴۰۴



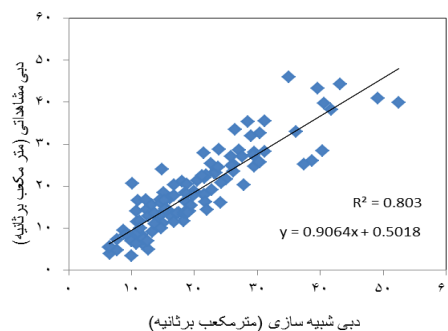
شکل ۱۰- نتایج حاصل از اجرای مدل در مرحله اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ



شکل ۹- نتایج اجرای مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ



شکل ۱۲- همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده، ایستگاه کره‌سنگ، در مرحله اعتبارسنجی

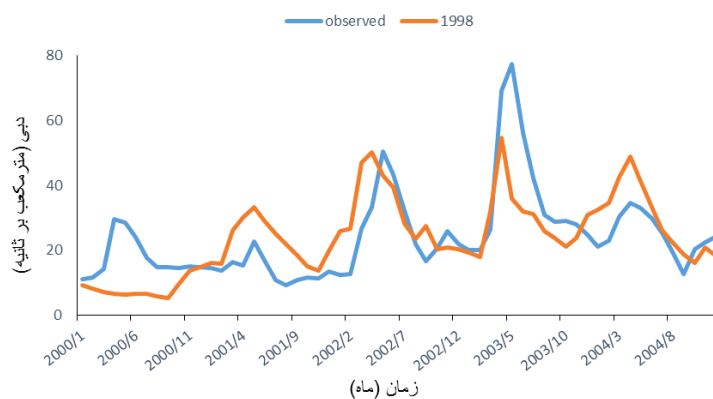


شکل ۱۱- همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده، ایستگاه کره‌سنگ، در مرحله واسنجی

نتایج حاصل از اجرای مدل با نقشه کاربری اراضی تهیه شده

اجرای مدل برای دوره زمانی گذشته

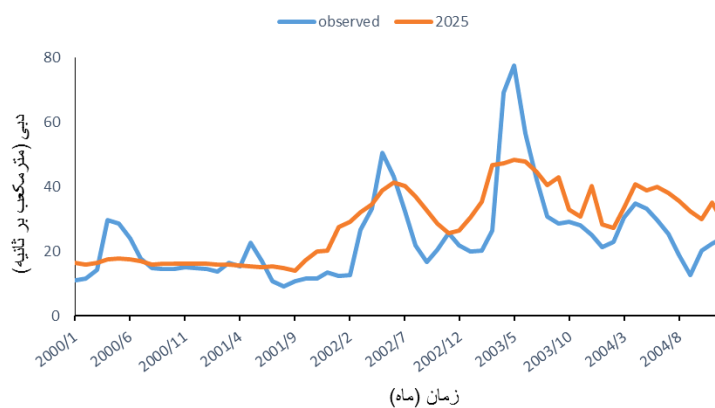
بعد از اجرای مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی دقت مدل برای شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز هراز مناسب ارزیابی شد. به منظور شبیه‌سازی دبی جریان حوزه آبخیز برای دوره گذشته از نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۸ استفاده شد. که نتایج حاصل از اجرای مدل برای مقطع زمانی ۱۹۹۸ در شکل ۱۳ آورده شده است.



شکل ۱۳- تغییرات دبی بر اساس نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۸

اجرای مدل برای مقطع زمانی آینده

به منظور مدل سازی دبی جریان در رودخانه هراز برای سال های آینده از نقشه کاربری اراضی پیش بینی شده برای سال ۲۰۲۵ استفاده شد. که نتایج حاصل از اجرای مدل برای این دوره در شکل ۱۴ آورده شده است.



شکل ۱۴- تغییرات دبی بر اساس نقشه پیش بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۵

نتیجه گیری

در راستای مدیریت حوزه‌ی آبخیز و جلوگیری از بروز ناسازگاری در اقدامات طراحی شده در سطح حوزه، برای شبیه‌سازی حوزه‌ی آبخیز مورد نظر، به مدلی نیاز است که بتواند حجم وسیع داده‌ها از جمله بارش، توپوگرافی، مرزهای حوزه‌ی آبخیز، خصوصیات خاک و لایه‌ی زیرسطحی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، سیستم‌های انتقال رواناب، سازه‌های مدیریتی موجود، داده‌های موجود کیفی آب و سطح آب زیرزمینی را در شبیه‌سازی به کار ببرد. اطلاعات و آمار موجود نشان می‌دهد که ۵۹ درصد از ۱۷ حوزه از حوزه‌های مورد مطالعه در ایران به شدت تخریب یافته‌اند. متخصصین علم آبخیزداری و هیدرولوژیست‌ها و متخصصین منابع آب برای ارایه‌ی راه‌حل مناسب و بهینه تلاش وافر نمودند و فرمول‌های تجربی و مدل‌های زیادی را عرضه کرده‌اند. شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ها، پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و درک درستی از مؤلفه‌های مختلف چرخه‌ی هیدرولوژیکی برای برنامه‌ریزی در جهت حفاظت از منابع آبی دارای اهمیت است. رواناب ناشی از بارندگی در حوزه‌های آبخیز علاوه بر خسارت‌های جانی و مالی ناشی از سیل، باعث فرسایش و از بین رفتن خاک حاصل‌خیز سطحی شده و در نهایت، رسوب‌گذاری در مسیل‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها را به دنبال دارد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نقشه کاربری اراضی برای دوره‌های زمانی مختلف تهیه شد و با استفاده از رگرسیون لجستیک و زنجیره مارکوف سطح کاربری‌های اراضی برای دوره‌های زمانی آینده پیش‌بینی شد. با پیش‌بینی سطح کاربری اراضی برای دوره آینده امکان شبیه‌سازی تغییرات رواناب برای این دوره وجود دارد. بنابراین با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT ابتدا شرایط هیدرولوژیکی منطقه مدل‌سازی شد و پارامترهای مدل بهینه‌سازی شدند. سپس با وارد کردن نقشه کاربری اراضی مربوط به دوره‌های زمانی حال و آینده میران تغییرات رواناب برای این دوره‌ها شبیه‌سازی شد. دبی جریان رودخانه شبیه‌سازی شده با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ نشان داد که متوسط دبی رودخانه نسبت به جریان رودخانه با نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۸ افزایش یافته است. متوسط دبی جریان رودخانه مشاهداتی برای دوره ۵ ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ برابر با ۲۴ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد و متوسط دبی شبیه‌سازی شده با نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۳ به ترتیب برابر با ۲۴/۰۲ و ۲۴/۹۶ مترمکعب می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد در دوره ۵ ساله، مقدار متوسط دبی ۴ درصد افزایش یافته است. دبی حداکثر

شبیه سازی شده برای دوره گذشته برابر با ۵۴/۷ و برای دوره حاضر ۵۰/۹۷ به دست آمد که کمتر از دبی حدکثر مشاهداتی (۷۷/۴۵) می باشد. اختلاف بین دبی های اوج نشان می دهد مدل دبی اوج را کمتر از دبی مشاهداتی شبیه سازی کرده است و دبی اوج در منطقه نسبت به دبی اوج گذشته ۷ درصد افزایش یافته است. با اعمال نقشه کاربری اراضی مدل سازی شده برای سال ۲۰۲۵ مقدار تغییرات دبی جریان رودخانه هراز شبیه سازی شد. برای دوره ۵ ساله ذکر شده (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴) مقدار متوسط دبی برابر با ۲۷/۰۷ مشاهده شد که نشان دهنده افزایش قابل توجه تولید رواناب در منطقه می باشد.

تشکر و قدردانی

از شرکت آب منطقه ای مازندران برای پشتیبانی مالی این طرح که در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام گردید تقدیر و تشکر می گردد.

منابع

۱. اکبری مجدر، ح. ۱۳۹۰. معرفی مدل هیدرولوژیکی SWAT. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، اردیبهشت ماه، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸ ص.
۲. آبابایی، ب. و سهرابی، ت. ۱۳۸۸. ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه آبریز زاینده رود. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره سوم، ۴۱-۵۸ ص.
۳. دارابی، ح.، سلیمانی، ک.، شاهدی، ک. و میریعقوبزاده، م. ۱۳۹۰. اولویت بندی زیرحوضه ها بر اساس عوامل مورفومتریک و کاربری اراضی با استفاده از تکنیک های RS و GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۱۰۲ ص.
۴. شریفی، ف.، صفارپور، ش. و ایوبزاده، س.ع. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل رایانه ای AWBM2002 در شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوزه های آبخیز ایران. پژوهش و سازندگی، شماره ۶۳. ۳۵-۴۲ ص.
۵. فاطمی، س.ب. و رضایی، ی. ۱۳۸۹. مبانی سنجش از دور انتشارات آزاده، ۲۵۷ ص.
۶. کاویان، ع.، گلشن، م.، روحانی، ح. و اسمعیل عوری، ا. ۱۳۹۴. شبیه سازی رواناب و رسوب در حوضه آبخیز هراز با مدل SWAT. مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی تهران، ۴۷: ۱۹۷-۲۱۱.

7. Arnold, J.G. and Allen, P.M. 1996. Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds. *J. Hydrol.* 176: 57-77.
8. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. and Lambin, E. 2004. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Inter. J. Rem. Sens.* 2 (9): 1565-1596.
9. Dendoncker, N., Rounsevell, M. and Bogaert, P. 2007. Spatial analysis and modelling of land use distributions in Belgium. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31 (2): 131-205.
10. Duan, Z., Song, X. and Liu, J. 2009. Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin, graduate university of Chinese academy of sciences (GUCAS). *Conservation sedny*.
11. Hyung-Kyung, J., Jong-Yoon, P., Hyun-Kyo, J., Hyung-Jin, S., Hyung-Joong, K. and Seong-Joon, K. 2011. The uncertainty analysis of SWAT simulated stream flow and water quality applied to Chungju dam watershed of South Korea. Dept. of civil and environmental system eng, konkuk university Seoul, South Korea. 29p.
12. Mas, J.F. 1999. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *Inter. J. Rem. Sens.* 20 (1): 139-152.
13. Nagabhatla, N., Finlayson, M., Senaratna Sellamuttu, S. and Gunawardena, A. 2008.
14. Rafiee, R., Salman Mahiny, A. and Khorasani, N. 2009. Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. *Inter. J. Appl. Earth Obser. Geoinf.* 11: 431-438.
15. Singh, A. 1989. Digital change detection techniques using remotely-sensed data, *Inter. J. Rem. Sens.* 10: 989-1003.
16. Yuan, F., Bauer, M.E., Heinert, N.J. and Holden, G.R. 2005. Multi-level Land Cover Mapping of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area with Multi-seasonal Landsat TM/ETM⁺ Data. *Geocarto International*, 20 (2): 5-13.
17. Yuan, D., Elvidg, C. and Lunetta, R. 1998. Survey of multispectral methods for landcover change analysis. *Remote Sensing change detection: Environmental monitoring methods and application*, pp. 21-39.
18. Zhang, L., Chen, X., Cai, X. and Salim, H. 2010. Spatial-temporal changes of NDVI and their relations with precipitation and temperature in yangtze River basin from 1981 to 2001. *Geo –spatial Information Science*, 13 (3): 186-190.

**Application of SWAT semi physically distributed model in simulating
the effects of land use changes on runoff in Haraz Dam watershed-
A study in Dam useful life time scale**

Abstract

Simulations of rivers flow, perditions of hydrological behavior of basins and better understanding of different components of hydrologic cycle are Important in order to programing the conservation aspects of water resources. On the other hand, since the output of the study area is located in the site of dam construction and in order to better management of water resources, particularly management of reservoir exploiting and water supply network, the Estimation of rainfall runoff and sediment yield are very important. Therefore, in this study, the SWAT model was applied to model hydrological responses of the study area. Haraz watershed with area of 328527.2 hectares is located in the south of Mazandaran province and the city of Amol. In this study, four hydrometry stations were selected which three stations are located in the Haraz River tributaries (including Razan, Chelav and Panjab) and also Karehsang station is in the outlet of the watershed Haraz. For this purpose and for running the SWAT model, data layers of land use, soil and DEM was overlaid and finally 94 Hydrologic Units (HRU) was determined, then model run with those layers. In order to determine sensitive parameters, sensitivity analysis of input parameters to the model was performed. Sensitivity analysis results showed that CN2, ALPHA_BNK, CH_K2 for predicting discharge and SPCON, SPEXP, SOL_AWC for predicting sediment load has the higher degree of sensitivity. Then model was calibrated to simulate runoff for years of 1995-2004 and evaluated Using correlation coefficient (R^2), coefficient of Nash – Sutcliffe (NS) and Mean of Squared Error (MSE). The results showed that the values of mentioned coefficients in the Karehsang station are 0.80, 0.77 and 20.93, in Chelav Station is 0.75, 0.73 and 1.23; in Razan Station is 0.80, 0.79 and 5.91 and in Panjab station are 0.68, 0.55 and 2.7 respectively. Also sediment yield was calibrated in Karehsang station for years of 2002-2006 and statistical coefficients (R^2) and NS obtained by 61 and 60 percent, respectively. In order to validation, the model was re-run for years of 2005-2009 without changing the values of the input parameters. Results showed that mentioned coefficients are 0.87, 0.75, 10.17 for Karehsang station; 0.83, 0.77, 0.88 for Chelav station; 0.81, 0.72, 1.34 for Razan station and 0.75, 0.70 0.17 for Panjab stations. Validation of sediment yield was done for years of 2007-2008 with coefficients of NS and R^2 equal to 53 and 68 percent. Finally, results indicated that model has a high level of performance in simulation flow discharge and sediment yield simulation and it can be used in order to operating watershed management strategies.

Keywords: Validation, sensitivity analysis, calibration, Haraz watershed, SWAT model