

بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر جریان روزانه رودخانه نوژیان با استفاده از مدل‌های WetSpa و Clue-s

نرگس قاسمی‌امین^۱، نسیم آرمان^{۲*} و حسین زینی‌وند^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان، ^۲ استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان و ^۳ استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۸

چکیده

کاربری اراضی و نوسانات آن یکی از مهمترین عواملی است که بر چرخه طبیعی در اکوسیستم اثر می‌گذارد. تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در سیکل هیدرولوژیکی حوضه شده و در نتیجه باعث تغییر تعادل آب بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری و پاسخ رواناب می‌شوند. درک رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و عوامل به وجود آورنده آن و اثرات ثانویه آن بر رژیم هیدرولوژیکی، اطلاعات ضروری برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین و مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم می‌کند. در این پژوهش ابتدا نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز نوژیان برای سال ۲۰۱۴ با استفاده از سنجش از دور تهیه شد، سپس با استفاده از مدل Clue-s، کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۵ شبیه‌سازی شد. برای شبیه‌سازی رواناب به مدلی نیاز است که به خوبی بتواند میزان رواناب را شبیه‌سازی نماید، بدین منظور از مدل WetSpa برای شبیه‌سازی جریان روزانه برای کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۵ استفاده شد. با توجه به نتایج، معیار ارزیابی نش-سائتکلیف برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۶۸/۲۶ و ۶۶/۷۵ درصد به دست آمد. همچنین معیار تجمعی مدل (AM) برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی ۶۴ و ۵۴/۱۵ درصد محاسبه شد. مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی یاد شده نشان داد، مهمترین تغییرات کاربری در حوزه آبخیز نوژیان تبدیل جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی است که در نتیجه این تغییرات حجم رواناب سالانه، بیشینه دبی و میانگین دبی به ترتیب به میزان ۱۶/۲۰، ۱۱/۳۵ و ۹/۱۵ درصد افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل آماری با استفاده از آزمون t جفتی هم نشان داد که تغییر کاربری اراضی در سطح معنی‌داری یک درصد بر روی دبی در منطقه مورد مطالعه تأثیر دارد.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز، شبیه‌سازی جریان، کاربری ۲۰۲۵، مدل هیدرولوژیکی-توزیعی، GIS

مقدمه

به دلیل تأثیر نوع استفاده از اراضی در آینده نیز دارای اهمیت می‌باشد. پایداری منابع طبیعی مستقیم و یا غیرمستقیم با پوشش سطحی اراضی منطقه ارتباط دارند. از این رو حفظ هماهنگی بین منابع پایدار و نیازهای اجتماعی-اقتصادی نیازمند مطالعاتی در زمینه پوشش اراضی و کاربری اراضی است. از آن‌جا

کاربری اراضی نتیجه روابط متقابل پارامترهای اجتماعی-فرهنگی و توان بالقوه سرزمین است. تغییرات در کاربری و پوشش اراضی نتایج چشمگیری در محیط زیست دارد. الگوهای موجود کاربری اراضی

* مسئول مکاتبات: nasim_arman2000@yahoo.com

تبخیر و تعرق و حرکت آب در خاک را بین رگبارها توصیف می‌نماید و بنابراین قادر است تعادل آب و انرژی را بین رگبارها برقرار نماید.

Luo و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌های Clue-s و SD به آنالیز سناریوهای کاربری اراضی در مقیاس منطقه‌ای در حوضه Sangon چین پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل‌ها توانایی انعکاس رفتارهای پیچیده سامانه کاربری اراضی در مقیاس منطقه‌ای را دارد و ابزار مفیدی برای تحلیل تأثیرات تغییرات کاربری اراضی هستند. Zhang و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل‌های Clue-s و SWAT به شبیه‌سازی منبع بارهای آلودگی تحت سناریوهای مختلف کاربری اراضی، در حوضه آبخیز Miyun در چین پرداختند. نتایج بیانگر این بود که تغییرات در الگو و ساختار کاربری اراضی تحت سناریوهای مختلف، تأثیرات قابل‌توجهی روی منبع بارهای آلودگی دارد. به طوری که افزایش باغات و کاهش پوشش جنگل منجر به افزایش پتانسیل آلودگی نیتروژن به میزان ۵/۲۷ درصد و فسفر به میزان ۴/۳ درصد می‌شود و کاربری کشاورزی، منبع آلودگی نیتروژن را به میزان ۱۳/۸۴ درصد و فسفر را به میزان ۹/۶۸ درصد کاهش می‌دهد. Mohamadi و همکاران (۲۰۱۵) از مدل Clue-s به منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز باغ سالیان استفاده کردند. فرایند اعتبارسنجی مدل، توانایی مدل Clue-s، برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی را برای سال‌های ۲۰۳۰ نشان داد.

Zhang و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه‌ای در جنوب غرب چین، با استفاده از مدل Clue-s اقدام به شبیه‌سازی خط‌مشی‌های کاربری اراضی کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این روش می‌تواند به بخش کاربری منابع و اراضی، برای شبیه‌سازی ساختار و طرح فضایی کاربری اراضی بر طبق تقاضا و خط‌مشی‌های محلی اراضی کمک کند. Gibreel و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل‌های Clue-s و VFHM کاربری اراضی قسمتی از چین را شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که کاشت کائوچو در مناطق پایین-دست و کشت گیاهان زود بازده در مناطق بالادست تا سال ۲۰۲۵ رو به افزایش است. Batelaan و Jaroslaw

که تغییر کاربری اراضی در یک حوزه آبخیز می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر چرخه هیدرولوژی و در نتیجه منابع آب حوضه داشته باشد، از این رو شناخت آثار تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه، راه‌گشای تعیین راهبرد مناسب در توسعه پایدار منابع آب حوزه‌های آبخیز است. در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور، محدودیت‌های مختلف نظیر کافی نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری در آبراهه‌های رتبه پایین و هزینه‌بر بودن جمع‌آوری آمار و اطلاعات مشاهده‌ای، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی جریان و محاسبه حجم رواناب در حوزه‌های آبخیز را ایجاب می‌نماید. مدل‌سازی کاربری اراضی ابزار قدرتمندی برای مطالعه تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با عوامل موثر بر این تغییرات است (Lambin, ۱۹۹۷). از جمله مدل‌های تخصیص کاربرد زمین می‌توان به مدل Clue-s^۱ اشاره کرد. این مدل نوعی مدل چند مقیاسه تغییر کاربری اراضی است، به طوری که در آن امکان شبیه‌سازی چندین کاربری در یک زمان با در نظر داشتن رقابت میان آن‌ها وجود دارد (Erdogan و همکاران، ۲۰۱۱). از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی می‌توان به مدل توزیعی-مکانی WetSpa اشاره کرد. این مدل قابلیت پیش‌بینی سیلاب و شبیه‌سازی بیلان آبی، فرسایش و انتقال رسوب، کیفیت آب و مدیریت آبخیز در مقیاس حوضه، زیرحوضه و شبکه سلولی با گام‌های زمانی مختلف را دارا است (De Smedt و Zeinivand, ۲۰۰۹). مدل WetSpa یک مدل فیزیکی، توزیعی و پیوسته می‌باشد که فرایندهای بارش، رواناب و تبخیر و تعرق را برای عوارض زمینی ساده و پیچیده توصیف می‌کند. این مدل، جزء دسته مدل‌های توزیعی می‌باشد، زیرا که در آن اطلاعات مکانی به صورت واحدهایی در سطح پیکسل در کنار داده‌های هیدرولوژیک قرار می‌گیرند و حوضه و شبکه آبراهه را به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته در نظر می‌گیرد که هر شبکه به وسیله پارامترهای خاص خود، شرایط اولیه و ورودی‌های بارش شرح داده می‌شود. مدل پیوسته بوده زیرا دارای اجزایی می‌باشد که

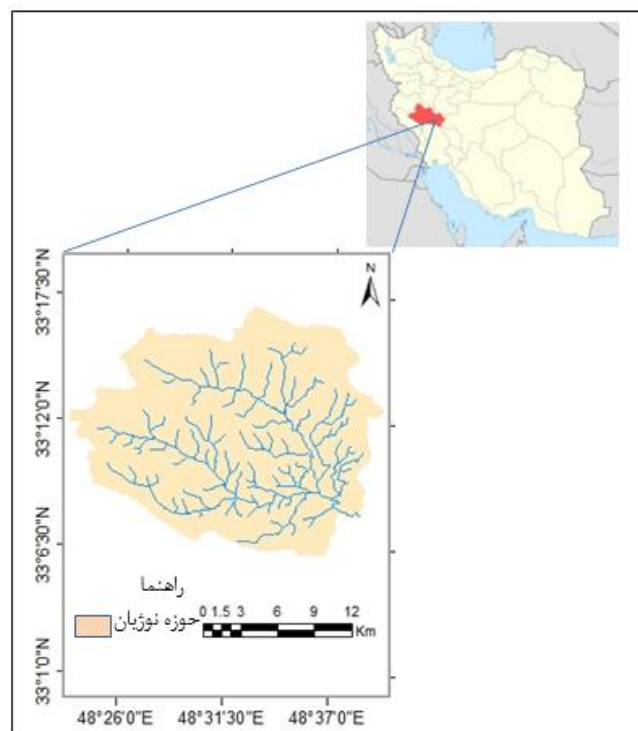
¹ Conversion of landuse and its effects in small scale extent

کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل به تحلیل اثرات تغییر کاربری به روی جریان پرداخته شد. تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری‌های مرتع، جنگل و زراعت و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ با استفاده از مدل CLUE-s انجام گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند زمینه‌ساز افزایش دقت مدل‌سازی و طبعاً مدیریت صحیح منابع آب و خاک در سطح حوزه‌های آبخیز شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز نوژیان با مساحت ۳۴۲/۶۱ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های رودخانه دز می‌باشد. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل $33^{\circ} 08' 08''$ تا $33^{\circ} 17' 00''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 23' 14''$ تا $48^{\circ} 39' 48''$ طول شرقی واقع شده است. ارتفاع بلندترین نقطه حوزه آبخیز ۲۸۰۰ متر و ارتفاع محل خروجی آن در محل ایستگاه راه‌آهن کشور در ۷۳ کیلومتری شهرستان خرم‌آباد، ۸۰۰ متر از سطح دریا است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز را نسبت به استان لرستان و ایران نشان می‌دهد.

(۲۰۱۱) برای بررسی و تحلیل اثرات توپوگرافی، بافت خاک و کاربری اراضی بر خصوصیات رواناب در بالادست حوضه بایبرزا در جنوب شرق کشور لهستان، از مدل WetSpa استفاده کردند که نتایج نشان می‌دهد، این مدل قابلیت خوبی برای بررسی اثر کاربری اراضی، توپوگرافی و نوع بافت خاک در این حوضه داشته است. Xu و همکاران (۲۰۱۲) برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوضه Three-Gorge در چین، از مدل WetSpa استفاده کردند. نتایج نشان داد مدل دارای ضریب نش-ساتکلیف ۶۰ و ۷۲ درصد برای رواناب هفتگی و ماهانه و ضریب ۸۸ درصد برای رسوب است. Vansteenkiste و همکاران (۲۰۱۴) جریان حوضه Grote Nete در بلژیک، را در مقیاس ساعتی با استفاده از پنج مدل؛ شامل مدل‌های توزیعی و متوسط، شبیه‌سازی نمودند. واسنجی مدل‌ها نشان داد، تمام مدل‌ها نش-ساتکلیف بالای ۷۵ درصد داشته و بیشترین مقدار مربوط به مدل WetSpa و مدل PDM برابر ۷۹ درصد است. در این مطالعه ابتدا جریان روزانه رودخانه حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل Wetspa در محیط GIS شبیه‌سازی شد و بعد از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در استان لرستان و ایران

اقتصادی-اجتماعی وجود دارد که انتخاب روش بستگی به شرایط تغییرات کاربری و داده‌های موجود دارد. برای شبیه‌سازی کاربری، ابتدا باید میزان تغییرات کاربری و میزان تقاضای سالانه برای هر کاربری را محاسبه کرد. از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی برای دو مقطع زمانی (گذشته و حال) استفاده می‌شود تا بتوان میزان تغییرات و نحوه آن را به‌عنوان مبنایی برای ایجاد مدل تقاضای زمین برای هر کدام از گروه‌های کاربری مورد استفاده قرار داد (Babaie aghdam و همکاران، ۲۰۱۳). در این تحقیق، برای محاسبه تقاضای کاربری برای دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ از برون‌یابی تغییرات کاربری طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شد.

فرایند تخصیص و شبیه‌سازی مکانی: در این قسمت فایل‌های متنی مربوط به معادلات رگرسیون، ماتریس تبدیل و تقاضای کاربری به‌همراه نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر در پوشه مربوط به نرم‌افزار CLUE-s قرار داده شد و بر اساس بیشینه احتمال به دست آمده از رگرسیون لجستیک هر پیکسل به کاربری مورد نظر اختصاص داده شده و نقشه کاربری شبیه‌سازی می‌شود. شبیه‌سازی کاربری به‌صورت سالانه انجام می‌شود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۳). شکل ۲ نمایی کلی از مدل CLUE-s و شبیه‌سازی به‌صورت سالانه را نشان می‌دهد.

مدل وتسپا (WetSpa): این مدل یک نوع مدل هیدرولوژیکی و فرسایشی خاک است (Zeinivand و De Smedt، ۲۰۰۹). این مدل اولین بار به‌وسیله Wang و همکاران (۱۹۹۶) ابداع و سپس به‌وسیله De Smedt و همکاران (۲۰۰۰)، Liu و همکاران (۲۰۰۳)، Zeinivand و De Smedt (۲۰۰۹) توسعه پیدا کرده است.

بر اساس مطالعات Liu و همکاران (۲۰۰۴)، مدل WetSpa بر اساس شبکه سلولی طراحی شده، برای هر شبکه سلولی، چهار لایه شامل منطقه ریشه، لایه سطح خاک، لایه تاج پوشش و منطقه اشباع در نظر گرفته می‌شود. مدل در هر شبکه سلولی با توجه به میزان بارش، دما و تبخیر و تعرق، فرایندهای هیدرولوژیک ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب

مدل CLUE-s: این مدل به‌وسیله گروه مطالعات محیط زیست دانشگاه واخنینگن هلند طراحی و اولین بار در سال ۱۹۹۶ ارائه شد (Babaie aghdam و همکاران، ۲۰۱۳). مدل Clue-s یک مدل شبیه‌سازی تخصیص مکانی کاربری اراضی بوده که بر اساس تحلیل تجربی تناسب اراضی، تغییرات زمانی و مکانی کاربری و عوامل مؤثر بر کاربری اراضی استوار است. اطلاعات مورد نیاز برای این مدل به چهار بخش تقسیم می‌شوند.

بررسی عوامل مؤثر با استفاده از رگرسیون لجستیک: در این پژوهش داده‌های مربوط به زمین-شناسی، شیب، ارتفاع، خاک‌شناسی، قابلیت اراضی، فاصله از آبراهه، تابش خورشیدی، بارش سالانه به‌عنوان عوامل تاثیرگذار انتخاب شد. عوامل مؤثر بر انواع کاربری اراضی با مرور منابع و همچنین، موجودیت داده‌ها انتخاب شد. عوامل مؤثر بر انواع کاربری با کمی کردن ارتباط هر نوع کاربری و عوامل تاثیرگذار بر آن با استفاده از روش رگرسیون لجستیک تعیین می‌شود (Verburg و همکاران، ۲۰۰۶). از آنجا که مطلوبیت یک مکان برای هر نوع کاربری، نمی‌تواند مستقیماً مشاهده یا اندازه‌گیری شود، به‌صورت یک احتمال برآورد می‌شود. تابعی که این احتمال را شرح می‌دهد، به‌صورت مدل لجستیک زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Log} \left[\frac{P_i}{1-P_i} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \dots + \beta_n X_{n,i} \quad (1)$$

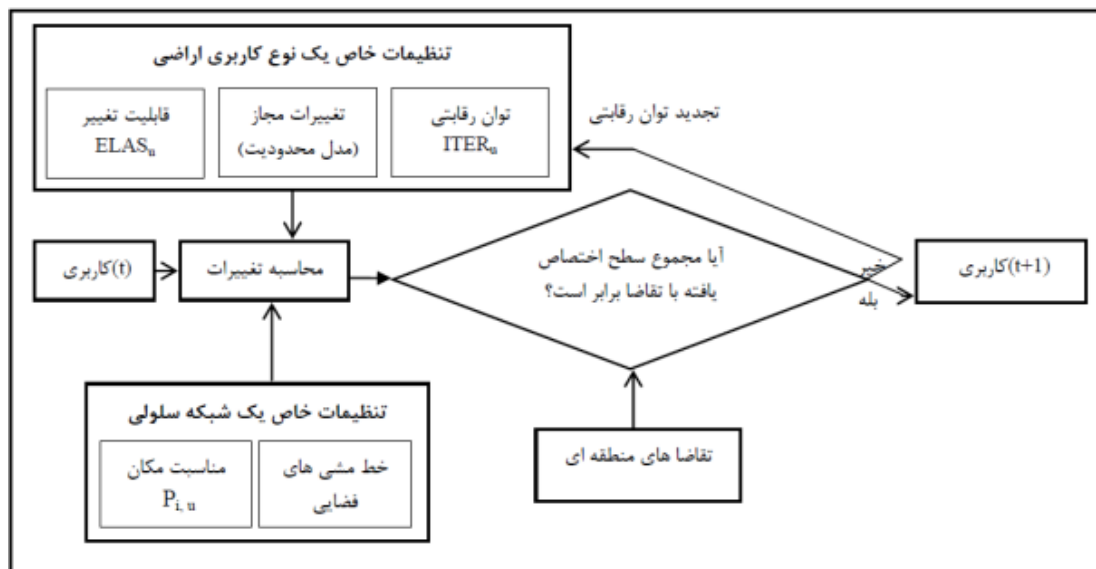
که در آن، P_i احتمال وقوع کاربری در نظر گرفته شده در یک شبکه سلولی با موقعیت i و X ها عوامل آن مکان هستند. ضرایب β از طریق رگرسیون لجستیک برآورد می‌شوند.

ماتریس تبدیل و برگشت‌پذیری کاربری‌ها: در این ماتریس مشخص می‌شود که کاربری‌های مختلف چگونه به یکدیگر تبدیل می‌شوند و وضعیت برگشت-پذیری کاربری‌ها به چه صورت است (Luo و همکاران، ۲۰۱۰). منظور از برگشت‌پذیری احتمال بازگشت یک کاربری بعد از تبدیل به کاربری دیگر است و در واقع تبدیل‌های مجاز نیز در این فرایند مشخص می‌شود.

محاسبه تقاضا برای هر کاربری: برای تعیین میزان تقاضای کاربری، روش‌های مختلفی شامل برون‌یابی ساده تغییرات کاربری در گذشته تا مدل‌های پیچیده

شبیه‌سازی می‌کند. شکل ۳ ساختار کلی مدل را نشان می‌دهد.

سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق، ذوب برف، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی و جریان آب زیرزمینی را



شکل ۲- نمای کلی شبیه‌سازی در مدل Clue-s

طی زمان (میلی‌متر)، $RI_i(t)$ جریان زیرسطحی خروجی از سلول در طی زمان (میلی‌متر) است. در مدل WetSpa برای تخمین رواناب سطحی و فرایند نفوذپذیری، از یک روش ضریب اصلاحی استفاده شده است که در آن نفوذپذیری و رواناب در رابطه با عواملی چون توپوگرافی، بافت خاک، کاربری زمین، رطوبت خاک و شدت بارش بیان شده‌اند که رابطه آن‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.

$$PE_i(t) = C_i [P_i(t) - I_i(t)] \left[\frac{\theta_i(t)}{\theta_{i,s}} \right]^\alpha \quad (3)$$

$$F_i(t) = P_i(t) - I_i(t) - PE_i(t) \quad (4)$$

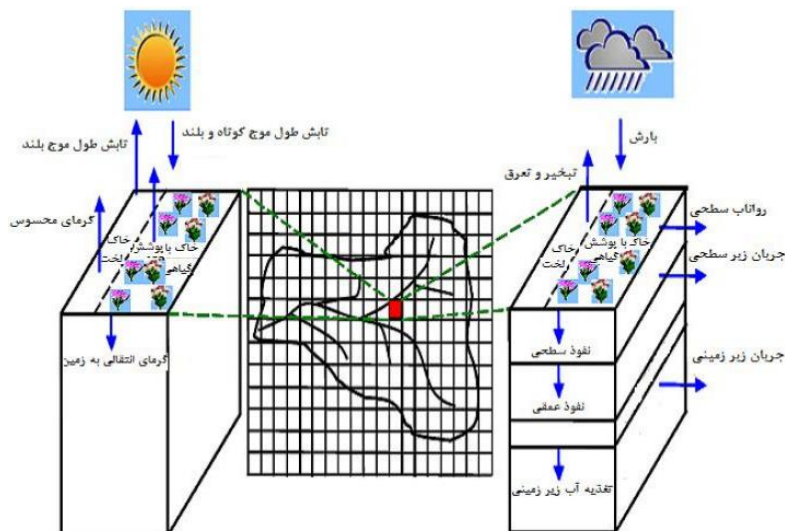
که در آن، $PE_i(t)$ بارندگی مازاد (میلی‌متر) در سلول i در زمان t ، $F_i(t)$ نفوذ سطحی (میلی‌متر) در سلول i ، $I_i(t)$ تلفات برگاب (میلی‌متر) در سلول i ، مقدار رطوبت (متر مکعب بر متر مکعب) در سلول i در زمان t ، $\theta_{i,s}$ خلل و فرج خاک (متر مکعب بر متر مکعب)، α توانی است که با شدت بارندگی ارتباط دارد و C_i ضریب رواناب پتانسیل سلول i است.

در مدل WetSpa نقشه‌های پارامترهای فیزیکی- هیدرولوژیکی مورد نیاز برای شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از سه نقشه پایه (نقشه کاربری اراضی، بافت خاک و مدل رقومی ارتفاع) در محیط GIS و با استفاده از جداول مرجع مدل ساخته می‌شوند و در یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند، سپس با استفاده از آمار بارندگی، دما و تبخیر روزانه یک دوره آماری هشت ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱)، مدل WetSpa اجرا می‌شود.

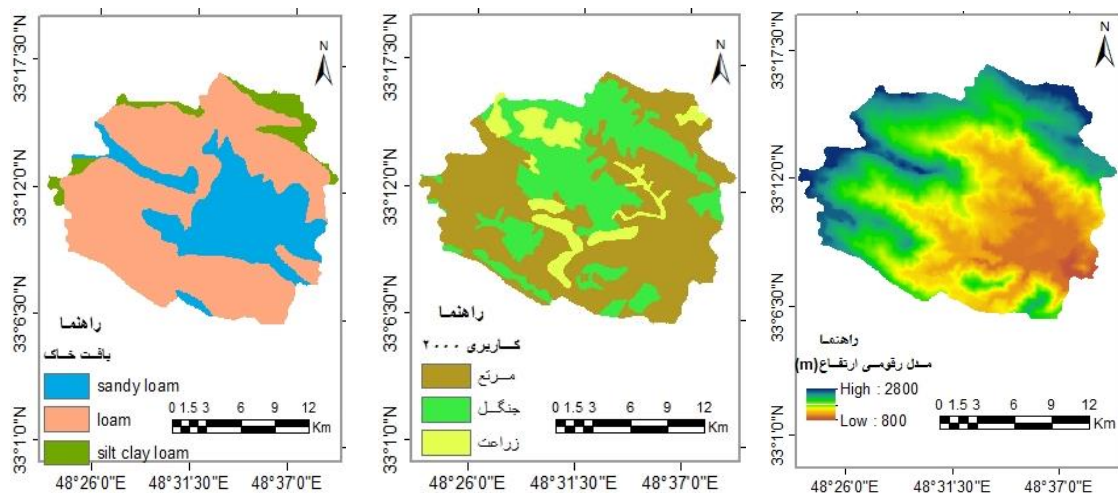
در مدل WetSpa ذخیره رطوبت در ناحیه ریشه به وسیله رابطه زیر بیان می‌شود.

$$D_i [\theta_i(t) - \theta_i(t-1)]_i = F_i(t) - ES_i(t) - RG_i(t) - RI_i(t) \quad (2)$$

که در آن، $\theta_i(t)$ و $\theta_i(t-1)$ مقدار رطوبت خاک سلول در زمان t و $t-1$ (متر مکعب بر متر مکعب)، D_i عمق ناحیه ریشه (میلی‌متر)، $F_i(t)$ نفوذ سطحی از سطح خاک شامل نفوذ در زمان بارندگی و نفوذ از ذخیره چالابی بعد از وقوع بارندگی در طی زمان (میلی‌متر)، $ES_i(t)$ تبخیر و تعرق واقعی از سطح خاک در طی زمان (میلی‌متر)، $RG_i(t)$ نفوذ عمقی سلول در



شکل ۳- ساختار مدل WetSpa (De Smedt و Liu, ۲۰۰۴)



شکل ۴- نقشه‌های پایه مورد استفاده در مدل WetSpa

که در آن، Q دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه) در زمان t (ثانیه) و موقعیت x (متر)، c_i سرعت موج سینماتیکی سلول i (متر بر ثانیه)، d_i ضریب پخش سلول i (مترمربع بر ثانیه) می‌باشد. با در نظر گرفتن یک سامانه محدود بین یک منبع ارسال‌کننده در بالا-دست و یک منبع جذب‌کننده در پایین‌دست، راه حل معادله (۵) در خروجی سلول را می‌توان با استفاده از تابع چگالی احتمال معکوس گوس به صورت زیر بیان نمود.

$$u_i(t) = \frac{l_i}{2\sqrt{\pi d_i t^3}} \exp\left[-\frac{(c_i t - l_i)^2}{4d_i t}\right] \quad (۶)$$

که در آن، $u_i(t)$ تابع پاسخ آنی سلول (l/s) و l_i اندازه سلول (متر) است. دو پارامتر c_i و d_i برای تعیین

روندیابی جریان فوقانی و جریان کانالی در مدل به وسیله روش معادلات موج پخشی خطی انجام می‌شود. این روش برای شبیه‌سازی جریان صفحه‌ای و جریان کانالی بسیار مناسب است. توانایی تجزیه و تحلیل و شناسایی دقیق شرایط مرزی و اجتناب از محاسبات زیاد عددی از مهمترین مزایای این روش است. در معادله موج پخشی سنتونانت فرض می‌شود که سلول بازه‌ای تک‌بعدی است که دارای جریان غیرماندگار است. فرایند جریان در سلول با استفاده از معادله موج پخشی به صورت زیر است (Miller و Cunge, ۱۹۷۵).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c_i \frac{\partial Q}{\partial x} - d_i \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad (۵)$$

برای جریان‌های زیاد سازگار شده است. به این صورت که وزن بیشتری به جریان‌های بیشتر (زیادتر) اختصاص می‌دهد. بهترین معیار این مقدار نیز یک است.

$$NSH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Qo_i + \bar{Qo})(Qs_i - Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Qo_i + \bar{Qo})(Qo_i - \bar{Qo})^2} \quad (10)$$

مراحل انجام تحقیق: شکل ۵ مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از اجرای مدل Clue-s: بعد از تجزیه و تحیل بر روی تصاویر سنجنده لندست ۸، نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۴ تهیه شد. برای ارزیابی دقت نقشه از ضریب کاپا و دقت کلی استفاده شد (Hudson و Ramm، ۱۹۸۷؛ Foody، ۲۰۰۲؛ Schmitt، ۲۰۱۳) که میزان ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۶ می‌باشد. شکل ۶، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۴ منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

ارزیابی مدل Clue-s: به منظور ارزیابی مدل از مقایسه نقشه به دست آمده از شبیه‌سازی و نقشه موجود سال ۲۰۱۴ استفاده شد که مقدار بالای ضریب کاپا (۰/۸۸) نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن شبیه‌سازی مدل برای آینده است. بعد از اتمام مراحل و اجرای مدل، کاربری برای سال ۲۰۲۵ شبیه‌سازی شد که نتایج آن در شکل ۷ قابل مشاهده است. کاربری شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که بر میزان زراعت افزوده می‌شود و میزان جنگل و مرتع کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از اجرای مدل WetSpa برای شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه برای کاربری سال ۲۰۰۰: در این مطالعه، به منظور شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه، ابتدا تمامی مؤلفه‌های بیلان آبی نظیر بارش، ذوب برف، ذخیره برگابی، ذخیره چالابی، رواناب سطحی، نفوذپذیری، تبخیر و تعرق، نفوذ عمقی، جریان زیرسطحی و جریان آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده و بعد از روندیابی جریان از تک تک سلول‌ها تا خروجی حوضه، دبی روزانه رودخانه در

تابع پاسخ سلول مورد نیازند که با استفاده از رابطه مانینگ محاسبه می‌شوند. در نهایت برای هر ورودی دلخواه می‌توان هیدروگراف جریان خروجی را به صورت زیر تعیین کرد.

$$Q_i(t) = \sum_{\tau=0}^{t-\tau} V_i(\tau) U_i(t-\tau) \quad (7)$$

که در آن، $Q_i(t)$ جریان خروجی در پایین مسیر جریان با ورودی دلخواه از سلول i (مترمکعب بر ثانیه)، $U_i(t-\tau)$ تابع پاسخ مسیر جریان (l/s) ، τ زمان تأخیر (ثانیه)، $V_i(\tau)$ حجم جریان ورودی در سلول i و زمان τ (مترمکعب) شامل رواناب سطحی و جریان زیرسطحی می‌باشد.

روش‌های ارزیابی مدل WetSpa: در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، عملکرد مدل به وسیله معیارهای آماری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مدل می‌توان از معیارهای آماری زیر برای ارزیابی عملکرد استفاده نمود (Mirzaie، ۲۰۱۴).

معیار ناش-ساتکلیف (NS): این معیار نشان‌دهنده دقت شبیه‌سازی مدل بوده و شامل استاندارد واریانس باقی‌مانده‌ها می‌شود. این معیار از مقادیر منفی تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک شود، نشان‌دهنده تناسب بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشد.

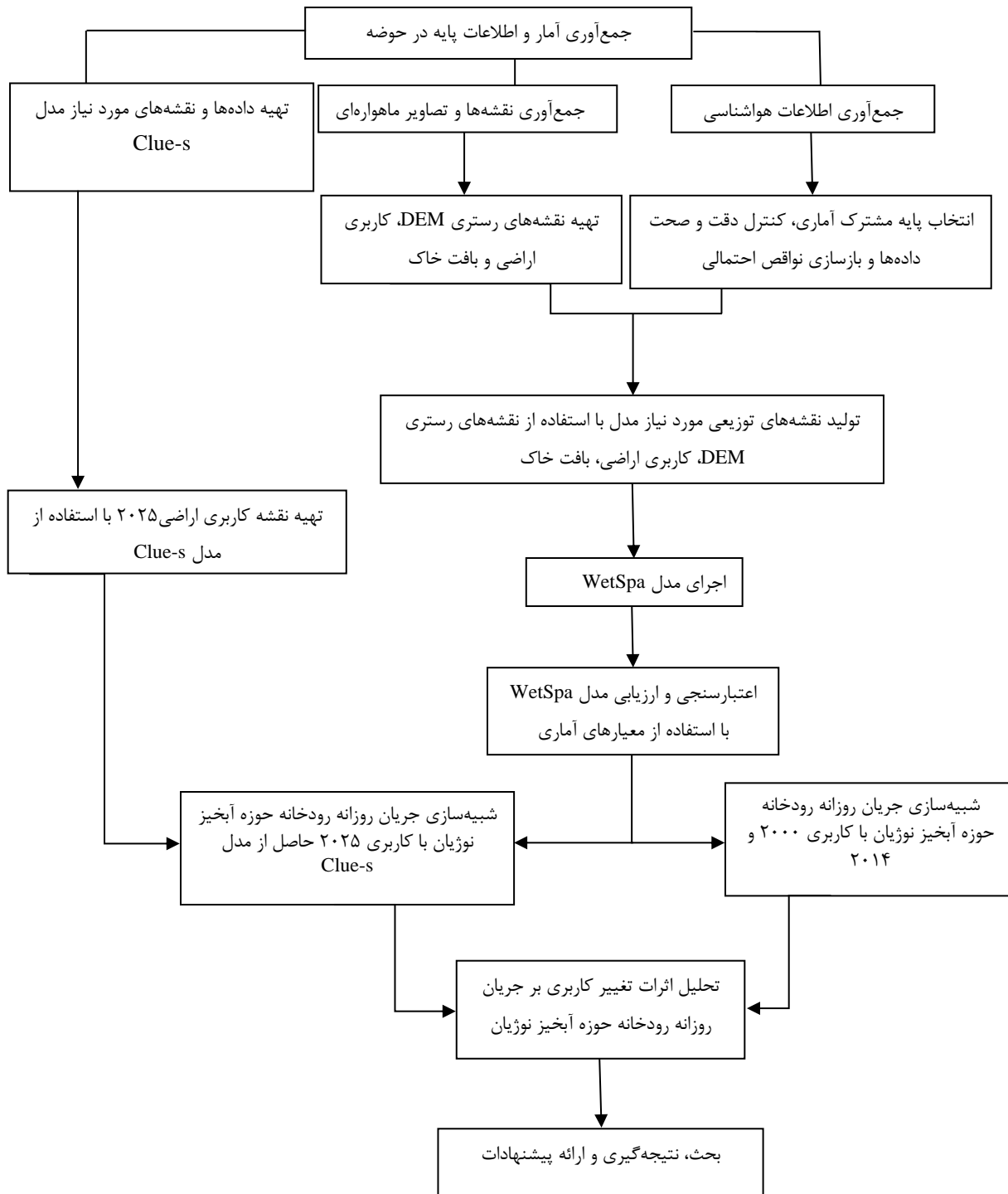
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Qs_i - Qo_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Qo_i - \bar{Qo})^2} \quad (8)$$

معیار ناش-ساتکلیف برای جریان‌های کم (NSL): این معیار لگاریتم ناش-ساتکلیف است که برای جریان‌های کم مناسب است. در واقع با این معیار کیفیت شبیه‌سازی جریان‌های کم ارزیابی می‌شود و بهترین مقدار آن یک است.

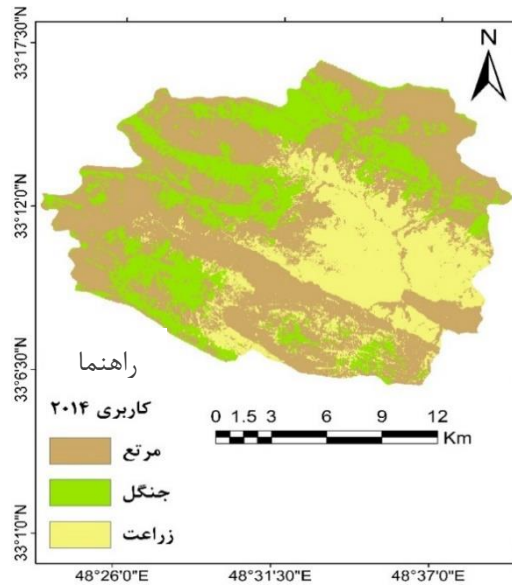
$$NSL = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [\ln(Qs_i + \varepsilon) - \ln(Qo_i + \varepsilon)]^2}{\sum_{i=1}^N [\ln(Qo_i + \varepsilon) - \ln(\bar{Qo} + \varepsilon)]^2} \quad (9)$$

معیار ناش-ساتکلیف برای جریان‌های زیاد (NSH): این معیار نیز همان ناش-ساتکلیف است که

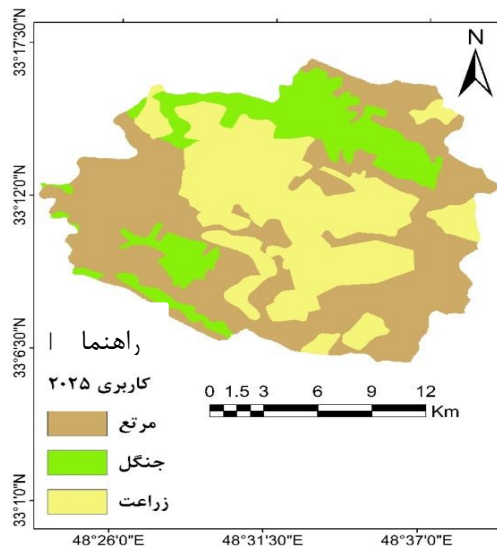
خروجی تمام زیرحوضه‌ها و خروجی کل حوضه در گام زمانی روزانه به دست آمد. برای نمونه، هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی دبی در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در شکل ۸ نشان داده شده است.



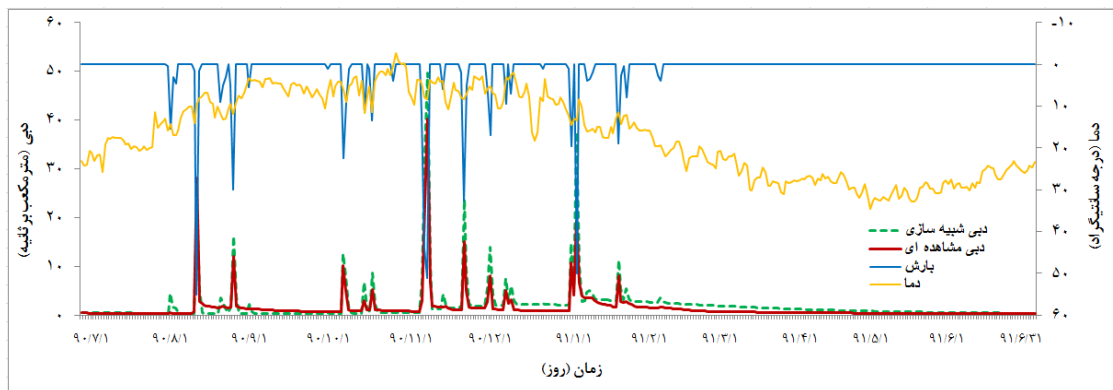
شکل ۵- مراحل انجام تحقیق



شکل ۶- نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۱۴ حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۷- کاربری شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل Clue-s برای سال ۲۰۲۵ حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۸- مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دبی از طریق مدل WetSpa در سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱

نتیجه‌گیری

مدل Clue-s: همان‌گونه که در نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ مشخص است، در صورتی که تغییرات در این سال، بر مبنای تغییرات سال‌های قبلی باشد، بیشتر منطقه از حالت مرتع به کشاورزی تبدیل می‌شود که با توجه به عدم وجود عمق مناسب از خاک و شیب نامناسب برای کشاورزی ممکن است این مسئله در آینده به معضلی تبدیل شود، به طوری که اراضی کشاورزی به اراضی رها شده تبدیل و بلااستفاده شوند که این تغییر به افزایش میزان رواناب و خارج شدن آب از حوضه منجر می‌شود. در بیشتر نقاط ایران تغییر کاربری اراضی بیشتر شامل تغییر از کاربری جنگل و مرتع به کشاورزی یا به مسکونی می‌باشد که این واقعه در حوضه مورد مطالعه قابل تأیید است. با توجه به وسعت زیاد اراضی مرتعی در حوضه مورد مطالعه، تغییر آن بسیار محتمل‌تر است. تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به کشاورزی در کشورهای دیگر و در ایران نیز گزارش شده است که می‌توان به Mendoza و همکاران (۲۰۰۶)، همکاران (۲۰۰۶)، Wu و همکاران (۲۰۱۲)، Brinkmann و همکاران (۲۰۱۲) اشاره نمود. نقشه کاربری اراضی منطقه با ضریب کاپا و صحت کلی برابر ۰/۸۸ و ۰/۸۶ درصد به دست آمده در این پژوهش، بالاتر از میزان استاندارد (۸۵ درصد) است. در حالی که بسیاری از محققین به میزان کمتری رسیده‌اند (Foody, ۲۰۰۲; Wilkinson, ۲۰۰۵; Rozenstein و Karnieli, ۲۰۱۰; Liu و همکاران, ۲۰۱۱).

نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل

WetSpa: از آمار سال‌های ۱ مهر ۱۳۸۳ تا ۳۱ شهریور ۱۳۸۸ برای واسنجی مدل و از آمارهای ۱ مهر ۱۳۸۸ تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۱ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در این مرحله با تغییر دادن مؤلفه‌های اصلی مدل اقدام به اجرای مدل به دفعات متعدد شد. در پایان هر دوره اجرای مدل، اگر نتایج رضایت بخش نبود، یعنی دبی، بر اساس معیارها و شاخص‌های آماری به صورت مناسبی شبیه‌سازی نشده بود، دوباره اقدام به بهینه‌سازی ۱۱ مؤلفه اصلی مدل شده و مجدداً مدل واسنجی شد تا به نتیجه قابل قبول دست یافت. سپس با استفاده از مابقی آمار که در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار نگرفته، اقدام به شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه به‌عنوان دوره اعتبارسنجی شد. میزان شاخص‌های ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج حاصل از اجرای مدل با تغییر نقشه کاربری

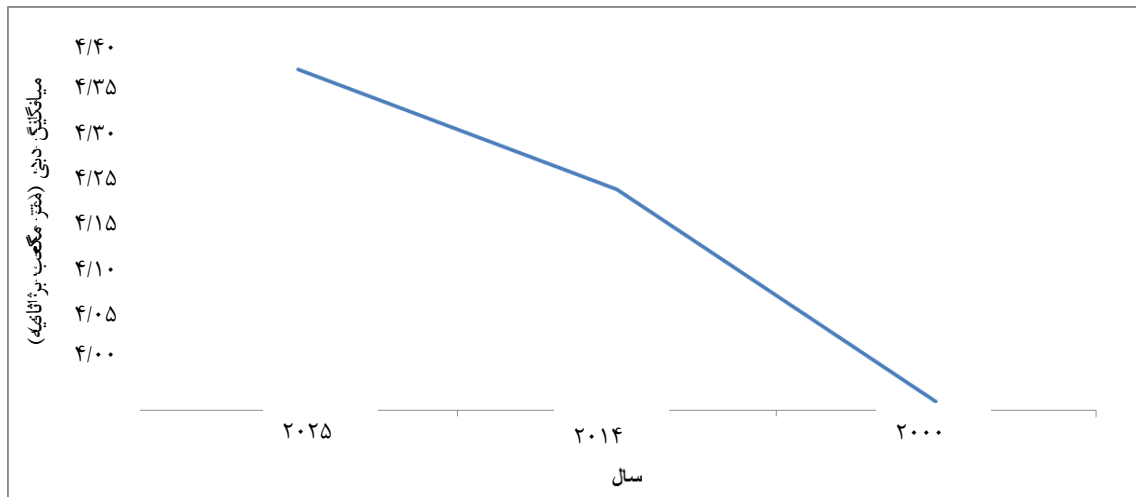
جهت شبیه‌سازی دبی: در ابتدا برای اجرای مدل و صحت آن از نقشه کاربری سال ۲۰۰۰ استفاده شد. در این مرحله با تغییر نقشه کاربری و ثابت گرفتن سایر پارامترها، اقدام به اجرای مدل و مشاهده نتایج شد.

نتایج حاصل از اثر تغییر کاربری اراضی از کاربری

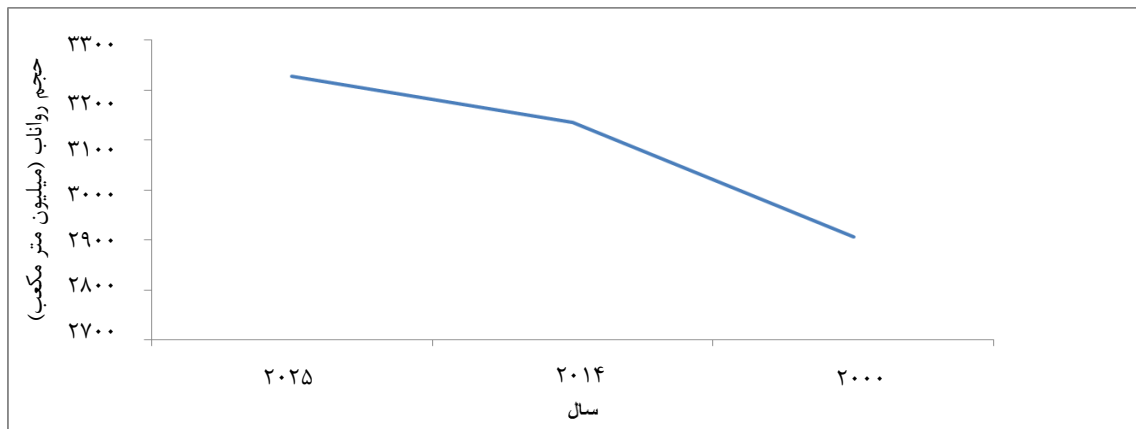
۲۰۰۰ به کاربری ۲۰۲۵ بر روی جریان روزانه: شکل ۱۱، هیدروگراف شبیه‌سازی جریان روزانه را در دو کاربری ۲۰۰۰ و ۲۰۲۵ نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی مدل WetSpa در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی دبی

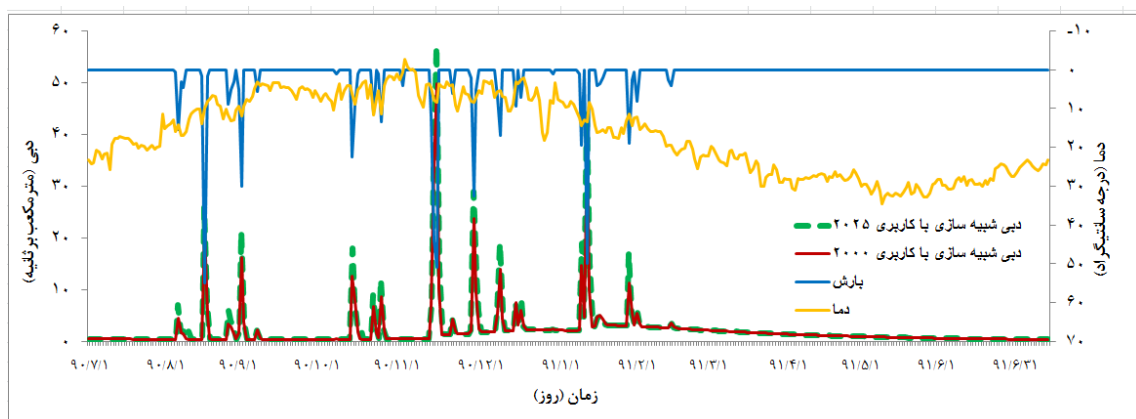
اعتبارسنجی (درصد)	واسنجی (درصد)	معیار ارزیابی
۶۶/۷۵	۶۸/۲۶	ناش-ساتکلیف (NS)
۶۸/۵۹	۵۴/۶۴	ناش-ساتکلیف برای جریان‌های کم (NSL)
۷۸/۶۷	۸۷/۴۳	ناش-ساتکلیف برای جریان‌های زیاد (NSH)
۵۴/۱۵	۶۴	معیار تجمعی (AM)



شکل ۹- تغییرات میانگین دبی روزانه در انواع کاربری سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۱۰- تغییرات حجم رواناب برای انواع کاربری سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۱۱- مقایسه هیدروگراف دبی شبیه‌سازی با کاربری ۲۰۰۰ و ۲۰۲۵ از طریق مدل WetSpa در سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۰

و ۸۷/۴۳ درصد می‌باشد. معیار تجمعی در اجرای مدل نیز ۶۴ درصد به‌دست آمد که در طبقه خوب قرار می‌گیرد. مدل‌های یکپارچه تغییرات زمانی کوتاه مدت را در نظر نمی‌گیرند و از تغییرات میانگین‌گیری می‌کنند، همچنین، در مرحله شبیه‌سازی تغییرات هم از

تحلیل نتایج حاصل از اجرای مدل WetSpa
(صحت مدل برای شبیه‌سازی جریان): با اجرای مدل در مرحله واسنجی شبیه‌سازی جریان روزانه حوضه مورد مطالعه، معیار نش-ساتکلیف برای کل جریان، جریان‌های کم و زیاد به‌ترتیب ۶۸/۲۶، ۵۴/۶۴

کاهش رواناب است. Farley و همکاران (۲۰۰۵) نقش جنگل در افزایش تبخیر و تعرق را ۴۰ درصد بیان نمودند. محققین دیگری نیز بر نقش جنگل‌ها در کاهش رواناب تاکید دارند و بیان کردند که برگاب زیاد در جنگل‌ها موجب کاهش بارش رسیده به سطح خاک و در نتیجه کاهش رواناب می‌شود. Saghafian و همکاران (۲۰۰۸)، Lyon و همکاران (۲۰۱۲) و Vandervelde و همکاران (۲۰۱۳) نیز به افزایش میزان رواناب در اثر تخریب جنگل‌ها تأکید داشته‌اند. تغییرات کاربری در حوضه مورد مطالعه زیاد است و بیشتر تغییرات منطقه مربوط به کشاورزی در پایین-دست با توپوگرافی هموارتر رخ داده است.

همچنین، حجم رواناب سالانه به‌طور کلی روند افزایشی دارد که مقدار آن برای کاربری سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۵ به ترتیب برابر با ۲۹۰۶، ۳۱۳۶ و ۳۲۲۷ میلیون متر مکعب می‌باشد، یعنی تقریباً سه میلیون متر مکعب در طول دوره مطالعاتی به حجم رواناب خروجی اضافه شده است. با توجه به پیشینه تحقیق، این نتایج با مطالعات Cornelissen و همکاران (۲۰۱۳)، Nugroho و همکاران (۲۰۱۳) و Abbasi و همکاران (۲۰۱۱) که به بررسی تاثیر تغییر کاربری بر تغییرات رواناب پرداخته‌اند، مطابقت دارد. علت این افزایش رواناب خروجی را می‌توان از بین رفتن پوشش جنگلی حافظ خاک که رواناب‌های سطحی را با ریشه خود در خاک نفوذ می‌دهند، دانست. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سطح وسیعی از اراضی جنگل و مرتع به اراضی کشاورزی تبدیل می‌شود. بدون تردید تخریب منابع طبیعی در آینده‌ای نه چندان دور باعث ایجاد مشکلاتی برای منطقه خواهد شد. در واقع پیامدهایی از جمله افزایش سیلاب، فرسایش و رسوب و حرکات توده‌ای زمین را به دنبال خواهد داشت. بنابراین باید مدیران و برنامه‌ریزان را از شرایط آینده منطقه آگاه کرد تا با مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییر کاربری اراضی را کنترل و در جهت احیا، اصلاح و توسعه منابع طبیعی گام بردارند.

میانگین داده‌های مشاهداتی استفاده می‌کنند و طبیعی است که دقت شبیه‌سازی در آن‌ها بالا به‌نظر برسد. اما، در مدل‌های توزیعی-مکانی مانند مدل WetSpa که تغییرات متغیرها را در گام‌های زمانی روزانه، ساعتی و حتی کمتر و با دقت اندازه سلولی شبیه‌سازی می‌کنند، رسیدن به دقت بالای ۵۵ درصد می‌تواند بسیار رضایت‌بخش باشد. به این دلیل که دقت زمانی و توزیعی-مکانی بسیار سختگیرانه‌تر از مدل‌های یکپارچه است و نیز تعداد پارامترهای موثر در برآورد شبیه‌سازی بیشتر است (Safari و همکاران، ۲۰۰۹؛ Baiat، ۲۰۱۱؛ Khaleghi و همکاران، ۲۰۱۲؛ Mirzaie و همکاران، ۲۰۱۴؛ Karimi و همکاران، ۲۰۱۴). معیار نش-ساتکلیف برای کل جریان، جریان-های کم و زیاد در مرحله اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی جریان روزانه به ترتیب ۶۶/۷۵، ۶۸/۵۹ و ۷۸/۶۷ درصد به‌دست آمد و معیار تجمعی هم ۵۴/۱۵ درصد به‌دست آمد، همانند مرحله واسنجی نشان از دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه دارد.

تحلیل نتایج حاصل از اجرای مدل با تغییر نقشه کاربری برای شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه: میانگین دبی برای کاربری سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۴ و ۲۰۲۵ به ترتیب ۴/۰۱، ۴/۲۴۴ و ۴/۳۷۷ متر مکعب در ثانیه می‌باشد که در کل روند افزایشی را نشان می‌دهد. می‌توان علت آن را در تخریب جنگل و افزایش اراضی دیم دانست که موجب افزایش فرسایش، هدر رفت خاک، تغییر در بیلان آبی و افزایش خطر سیل می‌شوند. این نتیجه نشان می‌دهد، این میزان از آب قبلاً به‌وسیله جنگل نفوذ داده شده و به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک می‌کرده اما اینک به‌دلیل تخریب جنگل و افزایش دیم‌زار به‌صورت هرزآب از دسترس خارج می‌شود که با توجه به پیشینه تحقیق با یافته-های Nugroho و همکاران (۲۰۱۲) و Wijesekara و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد. میزان بالای تبخیر و تعرق از جنگل‌ها به‌دلیل داشتن پوشش برگی بیشتر و همچنین وجود ریشه‌های عمیق و تسهیل در میزان نفوذ و جریان آب در لایه‌های پایین‌تر خاک از دلایل

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, M., M. Mohseni, M. Kheirkhah, Sh. Khalighi, Gh. Rostamizad and M. Hoseyni. 2011. Investigation of watershed management effects in concentration time and curve number by HEC-HMS model in Kan basin of Tehran. *Natural Recourses Journal of Iran*, 63: 375-385 (in Persian).
2. Babaie aghdam. F. and A.H. Ebrahim zadeh. 2013. Land use changes modeling in Ardebil by CLUE-S model. *Geography and Development*, 26: 21-34 (in Persian).
3. Brinkmann, K., J. Schumacher, A. Dittrich, I. Kadaore and A. Buerkert. 2012. Analysis of landscape transformation processes in and around four West African cities over the last 50 years. *Landscape and Urban Planning*, 105: 94-105.
4. Cornelissen, T., B. Diekkrüger and S. Giertz. 2013. A comparison of hydrological models for assessing the impact of land use and climate change on discharge in a tropical catchment. *Journal of Hydrology*, 21: 23-33.
5. Erdogan, N., E. Nurlu and U. Erdem. 2011. Modelling land use changes in Karaburun by using CLUE-S. *AJZ ITU Journal of Faculty of Architecture*, 8(2): 91- 102
6. Farley, K.A., E.G. Jobbagy and R.B. Jackson. 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, 11: 1565-1576.
7. Foody, G.M. 2002. Status of land covers classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 185-201.
8. Gibreel, T.M., S. Herrmann, K. Berkhoff, E.A. Nuppenau and A. Rinn. 2014. Farm types as an interface between an agroecological model and CLUE-Naban land change model: application for scenario modeling. *Ecological Indicators*, 36: 766- 778.
9. Hudson, W. and C. Ramm. 1987. Correct formula of the kappa coefficient of agreement photogram. *Engineering Remote Sensing*, 53(4): 421-422.
10. Jaroslaw, C. and O. Batelaan. 2011. Application of the WetSpa distributed hydrological model for catchment with signify can't contribution of organic soil. Upper Biebrza case study. *Annals of Warsaw University of Life*, 43: 25-35.
11. Karimi, H. 2014. Comparison between SRM and Wetspa models efficiency in simulation of Snow Belt runoff and assessment of Snow Belt experimental equation results by Wetspa model in Hero-Dehno. MSc Thesis, Lorestan University, 123 pages (in Persian).
12. Khaleghi, M. 2012. Sensitivity analysis and uncertainty of Wetspa model parameters in estimation of daily mean discharge and sediment yield, case study: the river in Khoram abad. MSc Thesis, Lorestan University, 124 pages (in Persian).
13. Lambin, E.F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3): 375-393.
14. Liu, Y.B., F. De Smedt, L. Hoffmann and L. Pfister. 2004. Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and Modeling approach, Luxembourg. *Environmental Modeling and Assessment*, 9: 227-235.
15. Liu, K., W. Shi and H. Zhang. 2011. A fuzzy topology-based maximum likelihood classification. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(1): 103-114.
16. Luo, G., Ch. Yin, X. Chen, W. Xu and L. Lu. 2010. Combining system dynamic model and CLUE-S model to improve land use scenario analyses at regional scale: a case study of Sangong Watershed in Xinjiang, China. *Ecological Complexity*, 7: 198-207.
17. Lyon, S.W., H. Laudon, J. Seibert, M. Mörth, D. Tetzlaff and K. Bishop. 2010. Controls on snowmelt water mean transit times in northern boreal catchments. *Hydrological Process*, 24(12): 1672-1684.
18. Mendoza, L., E. Pena, M. Ramirez, J. Prieto and L. Galicia. 2006. Projecting land use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Applied Geography*, 26: 276-290.
19. Mirzaie, S. 2014. Simulation of soil erosion and sediment yield transport and assessment at land use effects on it by Wetspa model. MSc Thesis, Lorestan University, 145 pages (in Persian).
20. Nugroho, P., D. Marsono, P. Sudira and H. Suryatmojo. 2013. Impact of land-use changes on water balance. *Procedia Environmental Sciences*, 17: 256-262.
21. Rojas, C., J. Pino, C. basnou and M. Vivanco. 2013. Assessing land-use and cover changes in relation to geographic factors and urban planning in the metropolitan area of Concepcion (Chile): Implications for Biodiversity Conservation. *Applied Geography*, 3: 93-103.
22. Rozenstein, O. and A. Karnieli. 2010. Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs. *Applied Geography*, 31: 533-544.
23. Safari, A., F. De Smedt and F. Moreda. 2009. WetSpa model application in the Distributed Model Intercomparison Project (DMIP2). *Journal of Hydrology*, 12: 24-36.

24. Saghafian, B., H. Farazjoo, B. Bozorgi and F. Yazdandoost. 2008. Flood intensification due to change in land use. *Water Resources Management*, 22: 1051-1067 (in Persian).
25. Schmitt, M. 2013. Landscape change in Guatemala driving forces of forest and coffee agroforest expansion and contraction from 1990 to 2010. *Applied Geography*, 40: 40-50.
26. Vanderveelde, Y., S.W. Lyon and G. Destouni. 2013. Data-driven regionalization of river discharges and emergent land cover-evapotranspiration relationships across Sweden. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 118: 2576–2587.
27. Vansteenkiste, T., M. Tavakoli, N.V. Steenbergen, F. De Smedt, O. Batelaan, F. Pereira and P. Willems. 2014. Intercomparison of five lumped and distributed models for catchment runoff and extreme flow simulation. *Journal of Hydrology*, 511: 335–349.
28. Verburg, P.H., K.P. Overmars, M.G.A. Huigen, W.T. de Groot and A. Veldkamp. 2006. Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines. *Applied Geography*, 26: 153–173.
29. Wijesekara, G.N., A. Gupta, C. Valeo, J.G. Hasbani, Y. Qiao, P. Delaney and D.J. Marceau. 2012. Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta Canada. *Journal of Hydrology*, 412: 220–232.
30. Wilkinson, G.G. 2005. Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments. *IEEE Geosciences and Remote Sensing*, 43: 433-440.
31. Wu, Q., H. Li, R. Wang, J. Paulussen, Y. He, M. Wang, B. Wang and Z. Wang. 2006. Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 78: 322-333.
32. Zeinivand, H. and F. De Smedt. 2009. Prediction of snowmelt floods with a distributed hydrological model using a physical snow mass and energy balance approach. *Natural Hazards Journal*, 12: 23-34.
33. Zhang, P., Y. Pan and Zh. Yu. 2011. Land use pattern optimization based on CLUE-S and SWAT models for agricultural non-point source pollution control. *Mathematical and Computer Modelling*, 58: 588–595.
34. Zhang, M., J. Zhao and L. Yuan. 2013. Simulation of land-use policies on spatial layout with the CLUE-S model international archives of the photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2: 185-190.