نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.4, Winter 2020

۴۱ -۵۹

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و اثرات هیدرولوژیکی آن با استفاده از زنجیره مارکوف و مدل *SWAT* در حوضه آبریز سراب زاینده‌رود

مریم رشتبری[۱]، محمد طالعی[*۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد *GIS* دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه *GIS* دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱

چکیده

دسترسی به منابع آبی در حال حاضر و آینده، یکی از مسائل مورد توجه مدیران و سیاست‌گذاران در نقاط مختلف دنیاست. وجود ارتباط دو سویه بین منابع آبی و کاربری اراضی، این دو موضوع را در تحقیقات مختلف کنار هم قرار داده است. طراحی سناریو برای تغییرات کاربری اراضی یک منطقه، بر مبنای پارامترهای موثر بر این تغییرات در گذشته، می‌تواند اساس ارزیابی وضعیت منابع آبی در آینده و مدیریت صحیح این منابع باشد. در این تحقیق، به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، از ترکیب مدل زنجیره مارکوف و شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (*MLP*) و به منظور مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه، از مدل ارزیابی آب و خاک (*SWAT*) استفاده شده است. با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵، نقشه خاک، مدل ارتفاعی رقومی و داده‌های هواشناسی در دوره (۲۰۱۵-۱۹۸۷)، مدل هیدرولوژیکی منطقه تشکیل و واسنجی و اعتبارسنجی شده است. سه سناریو بر اساس تغییرات کاربری اراضی در سال‌های گذشته (۲۰۱۵-۱۹۸۷) تعریف و با مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و محاسبه ماتریس احتمال تبدیلات با استفاده از زنجیره مارکوف، سه نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز به سناریوی اول که در آن مراتع به اراضی زراعی آبی تبدیل شدند، به صورت افزایش ۰/۷ درصد متوسط سالانه رواناب سطحی و کاهش ۴ درصد دبی جریان رودخانه بود. در سناریوی دوم و سوم با تبدیل مراتع به اراضی زراعی دیم و اراضی بایر، رواناب سطحی به ترتیب ۱ و ۲/۵ درصد افزایش یافته است. تغییرات دبی جریان رودخانه در این دو سناریو، ۱/۸ درصد افزایش را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، در حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، مرتع‌زدایی و تبدیل آنها به اراضی بایر بیشترین تاثیر را بر منابع آبی زیرزمینی در آینده خواهد داشت. همچنین گسترش اراضی زراعی آبی با افزایش برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی، منجر به کاهش قابل توجه این منابع خواهد شد.

کلید واژه‌ها : زنجیره مارکوف، مدل *SWAT*، پیش‌بینی‌کاربری اراضی، شبکه عصبی *MLP*، رواناب سطحی.

[*] نویسنده مکاتبه کننده: خیابان ولیعصر-بالاتر از میدان ونک-تقاطع میرداماد-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی-دانشکده مهندسی نقشه‌برداری

تلفن: ۸۸۸۷۷۰۷۱

Email: taleai@kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

۱- مقدمه

به دلیل محدود بودن منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ذخیره آب و استفاده کارآمد و مدیریت صحیح آن، برای سیاست‌گذاران و مدیران بسیار مهم است. یکی از نگرانی‌های بزرگ در ایران در زمینه منابع آب، دسترسی و تخصیص این منابع در حال حاضر و آینده است. بنابراین نیاز به پیش‌بینی وضعیت منابع آب در آینده دور یا نزدیک برای اهدافی چون افزایش امنیت غذایی و دسترسی به آب برای مصارف کشاورزی و خانگی، احساس می‌شود.

منابع آبی ارتباط نزدیکی با فرآیندهای هیدرولوژیکی دارند. از سوی دیگر، تغییرات کاربری اراضی، به عنوان یکی از پارامترهای مهم که فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه آبریز را تحت تاثیر قرار می‌دهد، شناخته شده است [۱]. به عبارت دیگر تغییرات کاربری اراضی، سیستم هیدرولوژیکی را تغییر داده و در نتیجه تأثیر قابل‌توجهی بر منابع آبی مخصوصاً در مناطق خشک دارد [۲]. تغییر در کاربری اراضی، می‌تواند اثرات قابل‌توجهی در رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، میزان نفوذ آب در خاک و تغذیه آبهای زیرزمینی که نتیجه تغییرات بلندمدت در مقدار رواناب سطحی است، داشته باشد. طی ۴۰ سال گذشته، ایران تغییرات اساسی در کاربری اراضی را تجربه کرده است. این تغییرات عمدتا شامل جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد و تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی دیم بوده است. این تغییرات، چرخه هیدرولوژیکی و امنیت غذایی را تحت تاثیر قرار داده است [۳].

رویکرد مبتنی بر سناریو در برنامه‌ریزی منطقه‌ای زمین، اساسی برای تحلیل تصمیمات و فرصت‌ها در زمینه منابع عمومی موجود است. طراحی سناریو یک فناوری گسترده در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری است که فرصتی برای ارزیابی وضعیت حال و وضعیت ممکن آینده و همچنین کاهش سوء مدیریت را فراهم می‌کند. به دلیل پیچیده بودن فرآیند تغییر کاربری زمین، پیش‌بینی این تغییرات در آینده بر اساس دانش و اطلاعات موجود، دشوار است و همواره درصدی از عدم‌اطمینان در آن وجود دارد [۴]. بنابراین نظارت، تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری تغییرات کاربری اراضی، نیازمند مقدار قابل‌توجهی داده است. روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی (*GIS*) به عنوان ابزار موثر و قوی برای مدیریت زمین و منابع طبیعی دیگر شناخته شده‌اند. اطلاعات به روز کاربری اراضی که با استفاده از فناوری سنجش از دور تهیه شده، می‌تواند جهت استخراج و تجزیه و تحلیل روند تغییرات انواع کاربری‌ها در گذشته و حال و همچنین شبیه‌سازی آن در آینده مورد استفاده قرار گیرند [۵ و ۶].

مدل‌های تغییر کاربری اراضی، برای کشف مکان‌هایی که تغییرات اتفاق می‌افتد یا پتانسیل تغییرات را دارند، به کار می‌روند [۷]. این مدل‌ها با شناخت پارامترهایی که تغییر را هدایت می‌کنند، احتمال وقوع تغییرات در مکان‌های مختلف را پیش‌بینی می‌کنند [۸]. در سال‌های اخیر به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی سناریوهای کاربری اراضی در آینده، مدل‌های مکانی متعددی با ترکیب سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی توسعه داده شده‌اند. استفاده از این مدل‌ها در تحقیقات مختلف، نتایج دقیقی را در پی داشته است. مدل زنجیره مارکوف [۹]، رگرسیون لجستیک [۱۰]، شبکه عصبی مصنوعی، اتومیتای سلولی [۱۱] و مدل وزن شواهد [۱۲]، از مدل‌های پرکاربرد در این زمینه به شمار می‌آیند. در هر یک از این مدل‌ها، محدودیت‌هایی وجود دارد که جهت کاهش آنها، از ترکیب مدل‌ها استفاده می‌شود. به عنوان مثال با ادغام مدل زنجیره مارکوف با مدل شبکه عصبی چندلایه پرسپترون[۱] (*MLP*) [۱۳ و ۱۴] یا مدل رگرسیون لجستیک [۱۵] و یا مدل اتوماتای سلولی [۱۶ و ۱۷]، مشکل غیرمکانی بودن مدل زنجیره مارکوف مرتفع

[۱] *Multi Layer Perceptron*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

شده است. در این تحقیق به منظور بهره‌مندی از مزایای هر دو مدل زنجیره مارکوف و شبکه عصبی *MLP* در پیش‌یبنی تغییرات کاربری اراضی در آینده و مدل‌سازی تغییرات مکانی و زمانی انواع کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه، این دو مدل با هم ترکیب شده‌اند. ترکیب این دو مدل منجر به دستیابی به سطح بالایی از دقت در پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در آینده در مطالعات مختلف شده است[۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۱۹و۲۰].

ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای مختلف هیدرلوژیکی یک حوضه آبریز با روش مدل‌سازی میسر است. یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه آبریز مدل *SWAT*[۱] است که در حوضه‌هایی با خاک، کاربری زمین و شرایط مدیریتی متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش‌بینی میزان تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر منابع آبی با استفاده از مدل *SWAT* از موضوعات مورد علاقه محققان بسیاری در نقاط مختلف دنیا بوده است. به عنوان مثال پیکونیس و همکاران (۲۰۰۳) در حوضه آبریز پینیونس کشور یونان تأثیر سه سناریوی گسترش زمین‌های کشاورزی، جنگل‌زدایی و گسترش مناطق شهری بر رواناب سطحی را مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۱]. کومار و نواپان (۲۰۱۵) با تعریف سناریوهای مختلف برای گسترش کشت ذرت، اثرات تغییرات این کشت بر رواناب سطحی در حوضه آبریز رودخانه بیگسیوکس[۲] واقع در ایالات متحده آمریکا را مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۲۲]. چن و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه جنوب شرقی چین در حوضه آبریز جینگ یانگ، تغییرات رواناب سطحی تحت دو سناریوی کاهش جنگل‌ها و افزایش کاربری کشاورزی و مناطق شهری را مورد ارزیابی قرارداده‌اند [۲۳]. منگو و همکاران (۲۰۱۱) با تعریف سه سناریوی جنگل‌زدایی جزئی، تبدیل کامل جنگل‌ها به مراتع و تبدیل کامل جنگل‌ها به زمین‌های زراعی، حساسیت خروجی‌های مدل *SWAT* را نسبت به تغییرات کاربری زمین در یک زیرحوضه از حوضه رودخانه مارا در کنیا مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۴]. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند، واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز به تغییرات کاربری اراضی، به پارامترهای مختلف مانند به مقیاس مکانی، شرایط آب و هوایی، وضعیت توپوگرافی و خاک منطقه بستگی دارد و برای هر مکان ممکن است متفاوت باشد. شرایط اقلیمی خاص و تنوع کاربری اراضی در حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، از ویژگی‌های منحصر به فرد این حوضه است که تغییرات در آنها می‌تواند دسترسی به آب در مناطق پایین دست سد زاینده‌رود را تحت تاثیر قرار دهد. بررسی ظرفیت تغییر انواع کاربری‌ها در آینده که می‌تواند بر منابع آبی بسیار تأثیرگذار باشد، از موضوعات مهمی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل در این تحقیق با توجه به روند تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بلندمدت (۲۰۱۵-۱۹۸۷) وعوامل موثر بر آنها، سناریوهای مختلف تغییرات کاربری اراضی تعریف گردیده و واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز تحت این سناریوها مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور، پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش ترکیبی زنجیره مارکوف و شبکه عصبی چند لایه پرسپترون و مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز با استفاده از مدل *SWAT* انجام شده است. ترکیب فناوری سنجش از دور، *GIS* و مدل‌سازی هیدرولوژیکی، از ویژگی‌های اصلی این تحقیق است.

۲- داده‌ها و روش تحقیق

تحقیق حاضر شامل مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، سناریوسازی تغییرات کاربری اراضی در این حوضه آبریز و در نهایت پیش‌بینی اثر تغییرات کاربری اراضی تحت سناریوهای تعریف شده بر رواناب سطحی حوضه است. فلوچارت مراحل مختلف این تحقیق در شکل (۱) نمایش داده شده است.

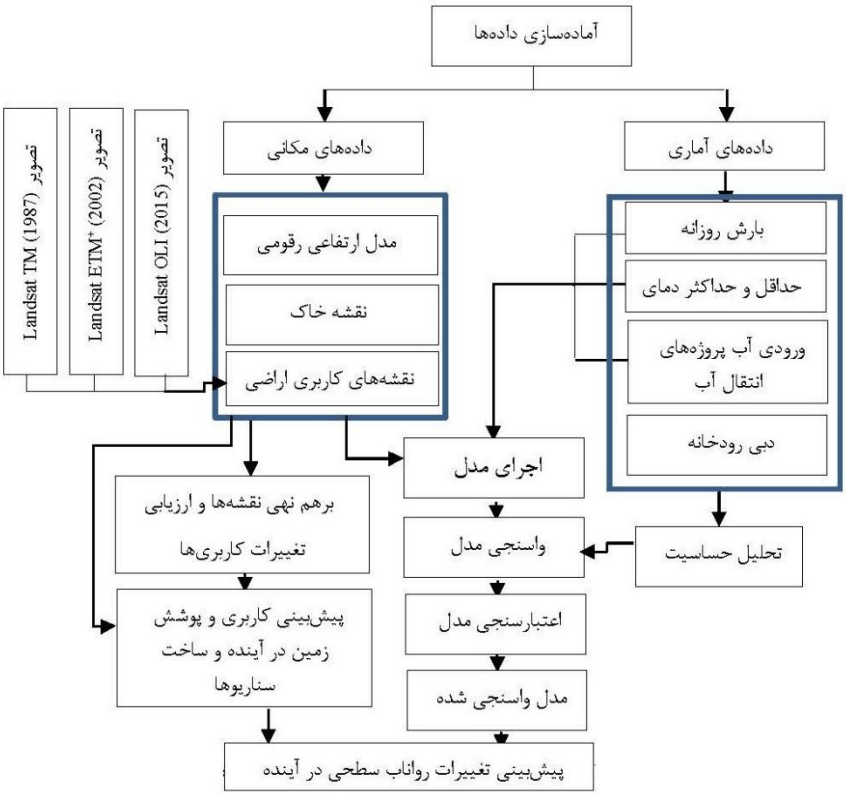
---

[۱] *Soil & Water Assessment Tool*

[2] *BigSioux*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

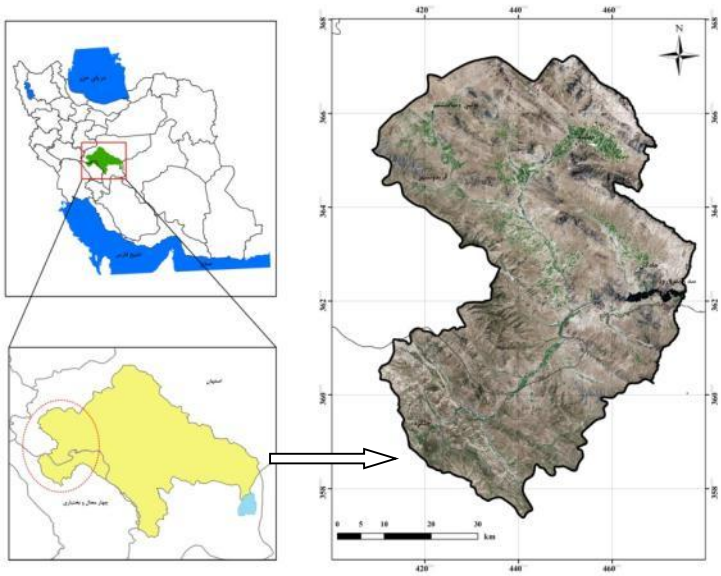


شکل ۱: مراحل انجام مدل‌سازی حوضه آبریز، سناریوسازی و ارزیابی واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز تحت سناریوهای تغییر کاربری اراضی

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه زاینده‌رود نقش مهمی در تأمین آب برای مصارف خانگی، صنعت و کشاورزی مناطق مرکزی ایران دارد. در سال‌های اخیر آثار کم آبی در این رودخانه به عنوان مهم‌ترین رودخانه حوضه آبریز زاینده‌رود، نمایان است. در این مطالعه حوضه آبریز سراب زاینده‌رود با مساحت ۴۱۰۰ کیلومتر مربع، برای شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی با استفاده از *SWAT* و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر رواناب سطحی، انتخاب شده است. این منطقه که از زیرحوضه‌های درجه چهار کشور و در محدوده شمال‌غربی حوضه آبریز زاینده‌رود است، در طول جغرافیایی "۴۱ '۰۲ º۵۰ تا "۴۵ '۴۶ º۵۰ شمالی و عرض جغرافیایی "۱۶ '۱۷ º۳۲ تا "۵۳ '۱۰ º۳۳ شرقی واقع شده است. شکل(۲) حوضه آبریز سراب زاینده‌رود را نمایش می‌دهد. این منطقه سردسیر و کوهستانی، از نظر شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی، از سایر مناطق حوضه آبریز زاینده‌رود، مجزاست. بارش ۱۴۰۰ میلی‌متری در این منطقه، باعث شده به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب حوضه آبریز زاینده‌رود شناخته شود. از طرفی در این منطقه تنوع بالای کاربری اراضی وجود دارد. میزان رواناب سطحی در این منطقه، تحت تأثیر آب‌های انتقالی از دز و کارون است که در ماه‌ها و سال‌های مختلف، متفاوت است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]



شکل ۲: حوضه آبریز سراب زاینده‌رود (منطقه مورد مطالعه)

۲-۲- مدل هیدرولوژیکی *SWAT*

مدل‌های هیدرولوژیکی، ابزار قوی برای شبیه‌سازی تأثیر فرآیندهای حوضه آبریز بر منابع آب و خاک هستند. بخش مهم در هر مدل حوضه آبریز، روند بارش- رواناب است که تلاش می‌کند اجزای مختلف رواناب را ارزیابی کند [۲۵]. در این تحقیق به منظور مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، از مدل ارزیابی هیدرولوژیکی آب و خاک (*SWAT*[1]) استفاده شده است. مدل نیمه‌توزیع‌یافته *SWAT*، در اوایل سال ۱۹۹۰ توسط مرکز تحقیقات کشاورزی آمریکا، برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است [۲۶]. این مدل با ادغام داده‌های مختلف مکانی، زمانی و توصیفی و بر اساس روابط بین این داده‌ها و با استفاده از الگوریتم‌های فیزیکی، رواناب سطحی را در سطح حوضه آبریز شبیه‌سازی می‌کند. اجرای این مدل هیدرولوژیکی توسط یک واسطه در *GIS* با عنوان *ArcSWAT* انجام می‌شود. توسعه این واسطه *GIS* مبنا که یک ابزار ساده برای تبدیل کاربری اراضی، داده‌های توپوگرافیک و خاک به ورودی‌های مدل را فراهم می کند، پیکربندی *SWAT* را برای یک حوضه آبریز تسهیل کرده و امکان استفاده از قابلیت‌های تجزیه و تحلیل موجود در محیط *GIS* را هم ایجاد می‌کند.

پارامترسازی مکانی در مدل *SWAT* با تقسیم حوضه آبریز به تعدادی زیرحوضه، با توجه به توپوگرافی منطقه انجام می‌شود. استفاده از زیرحوضه‌ها در شبیه‌سازی، به خصوص زمانی که مناطق مختلف حوضه دارای نوع خاک و کاربری‌های گوناگون هستند و ناهمگنی و تفاوت آنها می‌تواند در هیدرولوژی حوضه تأثیر داشته باشد، بسیار مفید است. در مرحله بعد، این زیرحوضه‌ها به واحدهای واکنش هیدرولوژیکی[2] تبدیل می‌شوند.

[1] *Soil and Water Assessment Tools*

[2] *Hydrologic Response Unit*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

این واحدها بر پایه ترکیب منحصر به فرد از ویژگی‌های کاربری اراضی، خاک و شیب هستند. رواناب در هر واحد واکنش هیدرولوژیکی به طور مستقل محاسبه و روندیابی شده و در نهایت مقدار کل رواناب حوضه برآورد می‌شود. این روش دقت محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه به دست می‌دهد. رابطه (۱) معادله بیلان آب که *SWAT* از آن استفاده می‌کند را نشان می‌دهد.

رابطه(۱)

$$SW_t = SW_0 + \sum_{n=1}^{t} \left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw} \right)$$

در این رابطه sw_t مقدار نهایی رطوبت خاک (میلی‌متر)، SW_0 مقدار اولیه رطوبت خاک (میلی‌متر)، t زمان (روز)، 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 نشت که در روز i ام (میلی‌متر) از نیمرخ خاک وارد منطقه غیراشباع می‌شود و Q_{gw} مقدار آب بازگشتی در روز i ام می‌باشد [۲۷].

یکی از روش‌های تخمین حجم رواناب سطحی در مدل *SWAT*، روش شماره منحنی است [۲۸]. این روش، توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا توسعه داده شده است. رابطه (۲) معادله رواناب سطحی با این روش است. در این رابطه، با کم شدن رطوبت خاک، شماره منحنی کاهش و با افزایش رطوبت خاک و رسیدن آن به حد اشباع، شماره منحنی به عدد ۱۰۰ نزدیک می‌شود.

$$Q_{surf} = \frac{R_{day} - I_a}{R_{day} - I_a + S}$$ رابطه(۲)

در رابطه (۲) Q_{SUR} رواناب سطحی تجمعی (میلی‌متر)، R_{day} مقدار عمق بارندگی، I_a جذب سطحی اولیه و S پارامتر نگهداشت است. پارامتر نگهداشت به علت تغییرات نوع خاک، کاربری اراضی، مدیریت زمین و شیب، دارای تغییرات مکانی و همچنین تغییرات زمانی مقدار آب موجود است.

جهت تحلیل حساسیت و واسنجی و اعتبارسنجی مدل *SWAT* الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از الگوریتم برازش عدم قطعیت زمانی *SUFI_2* [۲۹] و نرم‌افزار *SWAT CUP* [۳۰] استفاده شده است. در این الگوریتم عدم‌قطعیت در مدل‌سازی، شامل عدم‌قطعیت در ورودی‌ها (مثل بارش)، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده در نظر گرفته می‌شود. برای ارزیابی میزان انطباق مقادیر مشاهداتی پارامترها با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که در این تحقیق از دو شاخص R^2 و NS[1] بهره گرفته شده است. نحوه محاسبه این دو شاخص در رابطه (۳) و رابطه (۴) نشان داده شده است.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)(Q_{s,i} - \bar{Q}_s)\right]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2 \sum_i (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2}$$ رابطه(۳)

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)^2}{\sum_i (Q_{m,i} - \bar{Q}_m)^2}$$ رابطه(۴)

۲-۳- ورودی‌های مدل هیدرولوژیکی

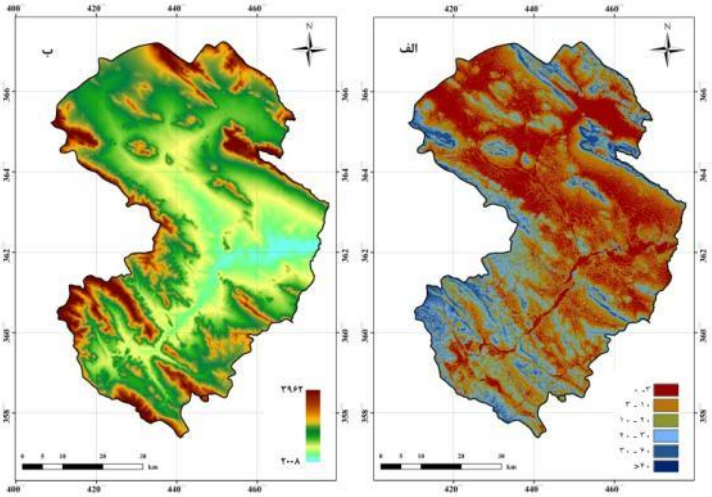
داده‌ها نقش مهمی در مدل‌سازی ایفا می‌کنند. استفاده از داده‌هایی با دقت و توزیع مکانی مناسب، منجر به شبیه‌سازی بهتر یک حوضه آبریز می‌شود. داده‌های مورداستفاده برای مدل‌سازی یک حوضه آبریز توسط مدل *SWAT* شامل نقشه رقومی کاربری اراضی، نقشه رقومی خاک، مدل ارتفاعی رقومی (*DEM*) و داده‌های هواشناسی می‌باشد. از تصاویر ماهواره‌ای *Landsat TM*, *ETM*$^+$, *OLI* و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ استفاده شده است (شکل (۴)). مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استخراج شده است. از نقشه خاک تهیه شده توسط دانشگاه صنعتی اصفهان و مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان، به عنوان یکی دیگر از ورودی‌های

[1] *Nash Sutcliffe*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

مدل *SWAT* استفاده شده است. در شکل (۳) نقشه شیب و مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

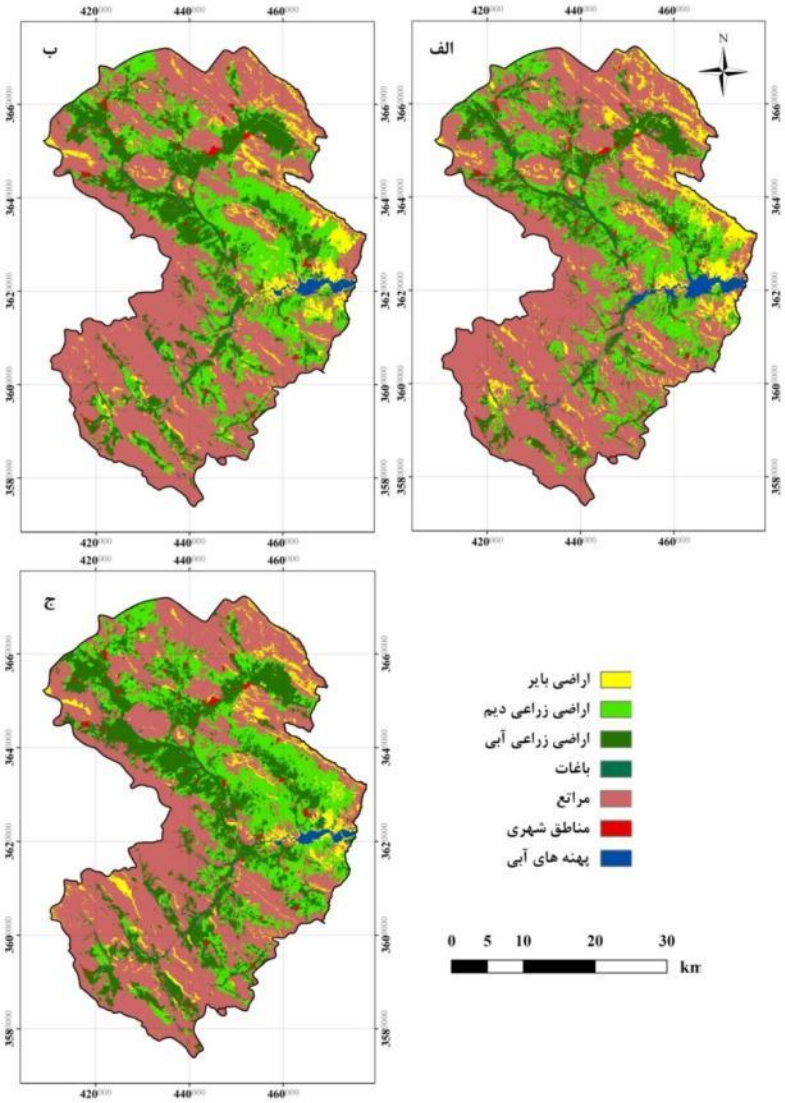
داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه و بارش روزانه در فاصله زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۷ و همچنین داده‌های ماهانه آب‌های انتقالی از بیرون حوضه آبریز که از طریق شرکت مدیریت منابع آب تهیه شده، از داده‌های آماری مورداستفاده برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز سراب زاینده‌رود می‌باشند. جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز، از داده‌های مشاهداتی دبی رودخانه در دو ایستگاه هیدرومتری واقع در منطقه و همچنین داده‌های ماهانه ورودی سد زاینده‌رود، استفاده شده است. معیار انتخاب این ایستگاه‌ها، وجود داده مشاهداتی در طول دوره مطالعاتی این تحقیق بوده است.



شکل ۳: نقشه شیب (الف) و مدل ارتفاعی رقومی (ب) حوضه آبریز سراب زاینده‌رود

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]



شکل ۴: نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز سراب زاینده‌رود در سالهای ۱۹۸۷ (الف)، ۲۰۰۲ (ب) و ۲۰۱۵ (ج)

۲-۴- سناریوسازی تغییرات کاربری اراضی

گروه‌های تحقیقاتی متعددی مدل‌های مختلف را برای استخراج و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی گسترش داده‌اند. تفاوت در مدل‌ها معمولاً به‌دلیل تفاوت در اهداف و وسعت منطقه مورد مطالعه است. در میان مدل‌های دینامیکی برای مدل‌سازی تغییرات، مدل زنجیره مارکوف[1] (مدل مورد استفاده در این تحقیق)، با توجه به انعطاف‌پذیری و سادگی در کاربرد و روابط نزدیک با داده‌های سنجش از دور و *GIS*، یکی از مؤثرترین روش‌ها در مدل‌سازی به شمار می‌آید[۱۴].

اساس زنجیره مارکوف، توسعه یک ماتریس احتمال انتقال برای یک پارامتر در یک دوره زمانی است. این ماتریس برای مدل‌سازی کاربری اراضی با استفاده از

[1] *Markov Chain*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

مدل زنجیره مارکوف، احتمال اینکه یک پیکسل در یک فاصله زمانی از یک کلاس خاص به یک کلاس دیگر انتقال یابد یا در همان کلاس باقی بماند را تخمین می‌زند. در این حالت، تغییرات کاربری اراضی، به عنوان فرآیندهای تصادفی و هر یک از کلاس‌ها حالت‌های یک زنجیره هستند. یک زنجیره به عنوان یک فرآیند تصادفی، دارای این خصوصیت است که مقدار یک فرآیند در زمان t که با X_t نشان داده می‌شود فقط بستگی به مقدار آن در زمان $t-1$ یعنی X_{t-1} دارد و نه به مجموعه‌ای از مقادیر X_{t-1} و X_{t-2} و ..... X_0 که فرآیند تا زمان رسیدن به X_{t-1} طی کرده است. مفهوم این مدل در رابطه (۵) بیان شده است.

علاوه برآن، در نظر گرفتن فرآیند تغییرات به عنوان یک فرآیند گسسته در زمان ($t=0,1,2,\ldots$)، مهم است. معادله $P\{X_t=a_j \mid X_{t-1}=a_i\}$ به عنوان یک گام از احتمال انتقال، احتمال اینکه یک فرآیند از حالت a_i به حالت a_j در یک دوره زمانی انتقال یابد را محاسبه می‌کند. زمانی که n گام نیاز است تا این انتقال انجام شود، $P\{X_t=a_j \mid X_{t-1}=a_i\}$ احتمال انتقال n مرحله نامیده می‌شود و به صورت Pn_{ij} نمایش داده می‌شود. رابطه (۶) زنجیره مارکوف همگن درجه یک را نمایش می‌دهد. در رابطه(۶)، P_{ij} ماتریس احتمال انتقال است.

$$P\{X_t = a_j \mid X_0 = a_0, X_1 = a_1, \ldots\ldots, X_{t-1} = a_i\} = P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_i\} \quad \text{رابطه(۵)}$$

$$P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_i\} = P_{ij} \quad \text{رابطه(۶)}$$

تحلیل زنجیره مارکوف به خودی خود، صریحاً مکانی نیست و توزیع مکانی تغییرات را مشخص نمی‌کند. در واقع دراین مدل با وجود دقت بالای احتمالات انتقال برای هریک از کلاس‌ها، هیچ دانشی در مورد توزیع مکانی آنها وجود ندارد [۳۱]. جهت رفع این مشکل، از ترکیب زنجیره مارکوف و مدل‌های دیگر مانند اتومیتای سلولی یا شبکه عصبی استفاده می‌شود. در این تحقیق، به منظور پیش‌بینی تغییرات مکانی کاربری اراضی، از مدل *MLP_MC* استفاده شده است. این مدل، ترکیبی از مدل شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (*MLP*) و مدل زنجیره مارکوف (*MC*) است. مدل *MLP_MC*، با بکارگیری مزایای هر دو روش، توانایی مدل‌سازی مکانی و زمانی تغییرات کاربری اراضی را دارد.

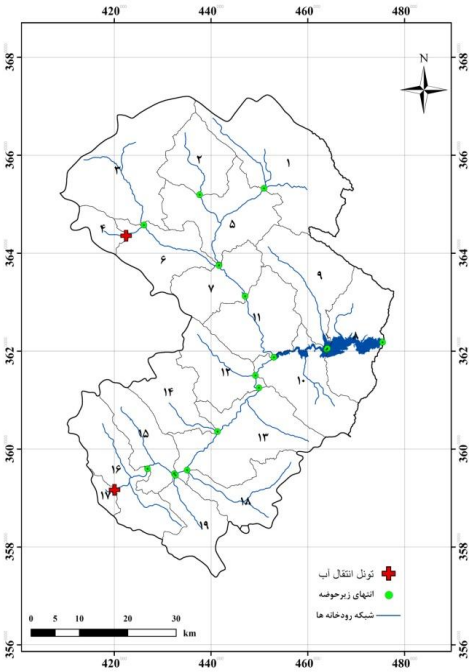
۳- نتایج

نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی تحقیق در منطقه مطالعه مورد، در ادامه تشریح شده است.

۳-۱- مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز

مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز، با استفاده از مدل *SWAT* و داده‌های ورودی و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵، برای دوره زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۷) اجرا شده است. پیکربندی مدل حوضه آبریز متشکل از ۱۹ زیرحوضه (شکل (۵)) و ۲۲۶۲ واحد واکنش هیدرولوژیکی است. نتایج واسنجی مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی متوسط جریان ماهانه در دوره زمانی (۲۰۰۴-۱۹۹۸) و بر اساس دو شاخص R^2 و *NS* برای ایستگاه پایین دست حوضه آبریز (سد زاینده‌رود)، به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۷۵ و نتایج اعتبارسنجی مدل در دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۷، به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۸۵ می‌باشد. این نتایج با توجه به توصیه‌های انجام شده در خصوص معیارهای مناسب برای ارزیابی دقت واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی بر اساس شاخص‌های مذکور توسط یک پژوهش [۳۲]، حاکی از واسنجی مناسب مدل برای حوضه آبریز می‌باشد. از مدل واسنجی شده جهت ارزیابی واکنش هیدرولوژیکی مدل تحت سناریوهای مختلف تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]



شکل ۵: پیکربندی حوضه آبریز سراب زاینده‌رود با استفاده از مدل *SWAT*

۳-۲- اجرای مدل *MLP_MC* و تعریف سناریوها

فرآیند سناریوسازی در واقع ایجاد نقشه‌های رقومی جدید بر اساس وضعیت کنونی و همچنین روند تغییرات رخ داده در گذشته است. بنابراین گام نخست در طراحی سناریوی تغییرات کاربری اراضی در آینده، آگاهی از روند این تغییرات در گذشته است. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی استخراج شده از تصاویر لندست در سالهای ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵، روند تغییرات کاربری اراضی در دوره مدل‌سازی، مورد ارزیابی قرار گرفت. درجدول (۱) مساحت کاربری‌ها و در شکل (۶)، تغییرات انواع کاربری اراضی در حوضه آبریز در گذشته نمایش داده شده است. با توجه شکل(۶)، کاهش مراتع و اراضی بایر و افزایش اراضی زراعی آبی و دیم، از تغییرات اساسی رخ داده در منطقه در طی یک دوره ۲۹ ساله می‌باشد. با توجه به اینکه درصد تغییرات کاربری‌ها نسبت به مساحت آن کاربری در حوضه آبریز، محاسبه شده است، تغییرات کاربری‌هایی مانند پهنه‌های آبی و مناطق شهری که مساحت کمی از حوضه آبریز را به خود اختصاص داده‌اند، چشمگیر نیست. با توجه به تغییرات بارز رخ داده در کاربری‌ها، سه سناریو برای تغییرات کاربری اراضی در آینده تعریف شد. این سناریوها با مدل‌سازی تبدیل مراتع به هریک از کاربری‌های اراضی بایر، اراضی زراعی دیم و اراضی زراعی آبی و ایجاد نقشه‌های پتانسیل انتقال برای کلاس‌ها با استفاده از شبکه عصبی *MLP* طراحی شده‌اند. به هر پیکسل از نقشه‌های پتانسیل انتقال، عددی بین ۰ تا ۱ تعلق می‌گیرد که بیان‌گر امکان رخ دادن یک تبدیل خاص در آن پیکسل است. احتمال انتقال هر کلاس کاربری به کلاس‌های دیگر، در قالب ماتریس احتمال تبدیلات و بر اساس مدل زنجیره مارکوف محاسبه می‌شود. سناریوهای تعریف شده در واقع پیش‌بینی تبدیلات ذکر شده در سال ۲۰۳۰ می‌باشند. در هر یک از این سناریوها یک نقشه رقومی جدید برای کاربری‌ها ایجاد شده است.

در این تحقیق، مدل‌سازی تبدیلات و محاسبه ماتریس

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

انتقال کاربری‌ها، با استفاده از نرم‌افزار *Terrset* انجام شده است. *Terrset* یک نرم‌افزار پایش و مدل‌سازی می‌باشد که شامل، ابزارهای پردازش تصویر و برنامه‌های کاربردی است که بر مدل‌سازی و پایش سیستم زمین در راستای توسعه پایدار متمرکز شده است. برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از ماژول مدل‌ساز تغییرات زمین[1] در این نرم‌افزار استفاده شده است. این ماژول، ابزاری قوی جهت تجزیه و تحلیل تغییرات زمین، پیش‌بینی تغییرات و برنامه‌ریزی سناریوهای مناسب در آینده می‌باشد. مراحل پیش‌بینی شامل تحلیل تغییرات کاربری اراضی در گذشته، محاسبه پتانسیل تغییرات و پیش‌بینی تغییرات در آینده می‌باشد. جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری‌ها در آینده، برخی از متغیرهای موثر در این تغییرات، قابل تعریف است. فاصله از جاده، فاصله از شهر، فاصله از رودخانه‌ها، ارتفاع و شیب، از جمله متغیرهای تعریف شده برای تغییرات کاربری‌ها در این تحقیق است. منطقی است که تغییرات و تبدیل سایر کاربری‌ها به کاربری مورد نظر در نزدیکی مناطق قبلی که درگذشته دچار این تغییر شده‌اند، اتفاق بیافتد که دلیل اصلی آن دسترسی آسان‌تر است. بنابراین از نقشه فاصله از هر یک از کاربری‌ها، می‌توان به عنوان یک متغیر در پیش‌بینی استفاده کرد. برخی از این متغیرها در شکل (۷) نشان داده شده است. جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری‌ها با استفاده از روش شبکه عصبی *MLP*، ابتدا مدل‌های فرعی و در نهایت تمام این مدل‌ها در یک مدل نهایی تعریف می‌شوند. از آنجا که در هر سناریو، فقط یکی از تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی شده‌اند، مدل نهایی هر سناریو، در واقع یک مدل فرعی است.

سناریوی اول با عنوان تبدیل مراتع به اراضی زراعی آبی تعریف شده است. در این سناریو با توجه به الگوی تبدیل مراتع به اراضی زراعی آبی در فاصله زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵، تغییرات این کاربری‌ها در سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است. متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی این تغییر، شامل ارتفاع، شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق شهری و فاصله از کاربری زراعی آبی در سال ۲۰۰۲ است. متغیر فاصله از کاربری زراعی آبی به صورت دینامیک تعریف شده است. برای یافتن پارامترهای بهینه و رسیدن به دقت مناسب، روند پیش‌بینی تغییرات، ابتدا با استفاده از نقشه‌های کاربری ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ انجام و دقت نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۱۵ بر اساس این سناریو و نقشه موجود از منطقه در این سال، مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت ارزیابی دقت از روش ماتریس تقاطع استفاده شده است. با استفاده از زنجیره مارکوف، میران قابل انتظار برای تغییر کاربری مرتع به کاربری زراعی آبی بر اساس نقشه پتانسیل تغییرات در این سناریو تعیین، و فایل احتمال انتقال تشکیل شد.

سناریوی دوم با عنوان تبدیل مراتع به اراضی زراعی دیم تعریف شده است. متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی این تغییر، شامل ارتفاع، شیب و فاصله از کاربری زراعی دیم در سال ۲۰۰۲ است. متغیر فاصله از کاربری زراعی دیم به صورت دینامیک تعریف شده است.

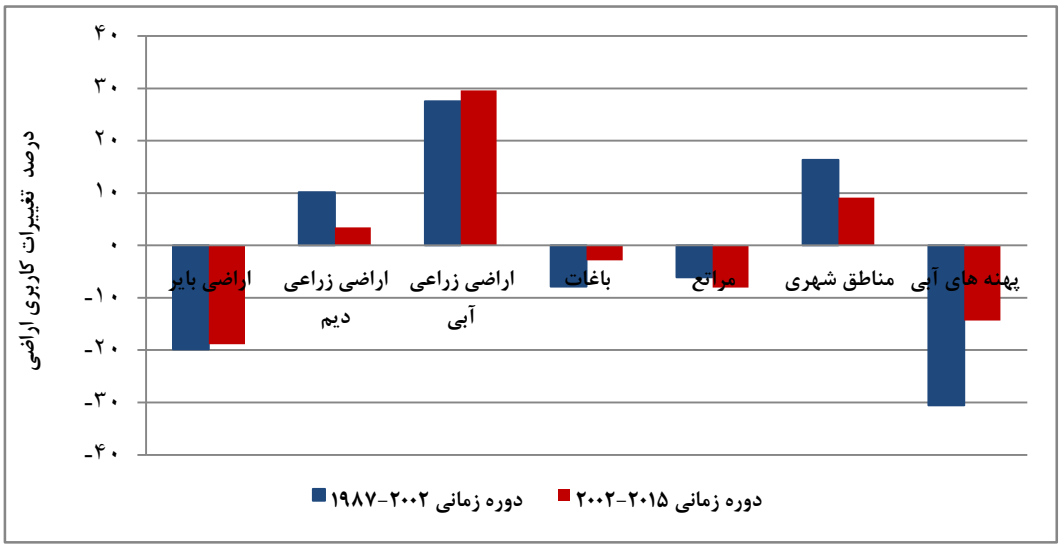
سناریوی سوم با عنوان تبدیل مراتع به اراضی بایر تعریف شده است. متغیرهای مورد استفاده در مدل‌سازی این تغییر، شامل ارتفاع، شیب و فاصله از کاربری زراعی بایر است. متغیر فاصله از کاربری بایر به صورت دینامیک تعریف شده است. پارامترهای شبکه عصبی برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی تحت سه سناریو، در جدول (۲) نمایش داده شده است. جدول (۳) تغییرات مساحت کاربری‌ها تحت سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد.

[1] *Land Change Modeler*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

جدول ۱: مساحت کاربری‌ها (۲۰۱۵-۱۹۸۷)

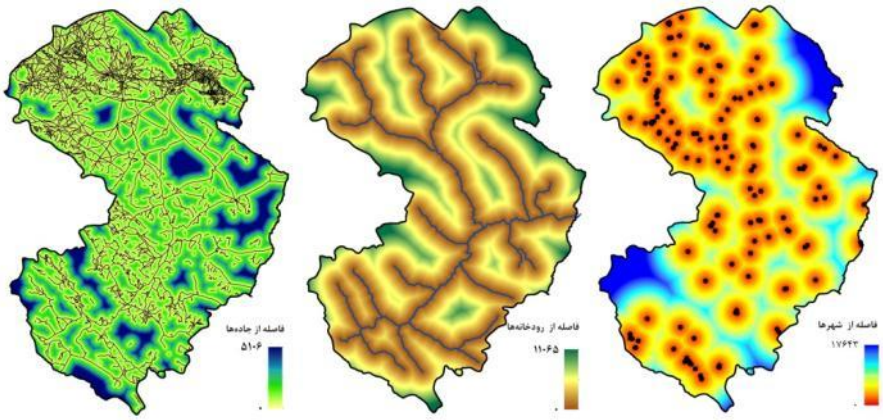
کاربری‌ها	سال ۱۹۸۷ (هکتار)	درصد	سال ۲۰۰۲ (هکتار)	درصد	سال ۲۰۱۵ (هکتار)	درصد
اراضی بایر	۳۳۱۰۶	٪۸	۲۶۵۱۵	٪۶	۲۱۵۳۰	٪۵
اراضی زراعی دیم	۷۴۷۰۳	٪۱۸	۸۲۴۵۸	٪۲۰	۸۵۱۲۵	٪۲۱
اراضی زراعی آبی	۵۴۳۷۱	٪۱۳	۶۹۳۳۰	٪۱۷	۸۹۸۴۲	٪۲۲
باغات	۳۹۷۹	٪۱	۳۶۵۲	٪۱	۳۵۶۴	٪۱
مراتع	۲۳۷۲۱۹	٪۵۸	۲۲۲۶۵۷	٪۵۴	۲۰۴۷۴۲	٪۴۹
مناطق مسکونی	۳۲۸۷	٪۱	۳۸۱۲	٪۱	۴۱۷۶	٪۱
پهنه‌های آبی	۵۷۱۸	٪۱	۳۹۵۷	٪۱	۳۴۰۳	٪۱



شکل ۶: درصد تغییرات کاربری‌ها (۲۰۱۵-۱۹۸۷)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]



شکل ۷: متغیرهای مورد استفاده جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری‌ها

جدول ۲: پارامترهای شبکه عصبی در سناریوها

سناریوها	نرخ شروع یادگیری	نرخ پایان یادگیری	ضریب *Momentum*	تعداد لایه‌های مخفی	تعداد تکرار	دقت
سناریوی اول	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۵	۶	۳۰۰۰۰	۰/۸۳
سناریوی دوم	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹	۰/۵	۳	۳۰۰۰۰	۰/۸۹
سناریوی سوم	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹	۰/۵	۳	۳۰۰۰۰	۰/۶۷

جدول ۳: تغییرات کاربری‌ها تحت سناریوهای مختلف

سناریوها	مراتع		اراضی زراعی دیم		اراضی زراعی آبی		اراضی بایر	
	مساحت هکتار	درصد	مساحت هکتار	درصد	مساحت هکتار	درصد	مساحت هکتار	درصد
سناریوی اول	-۱۵۱۱۶	٪۷			+۱۵۱۱۶	٪۱۷		
سناریوی دوم	-۱۲۹۴۰	٪۶	+۱۲۹۴۰	٪۱۵				
سناریوی سوم	-۷۵۵۰	۳/٪۷					+۷۵۵۰	٪۳۵

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

۳-۳- واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز به سناریوها

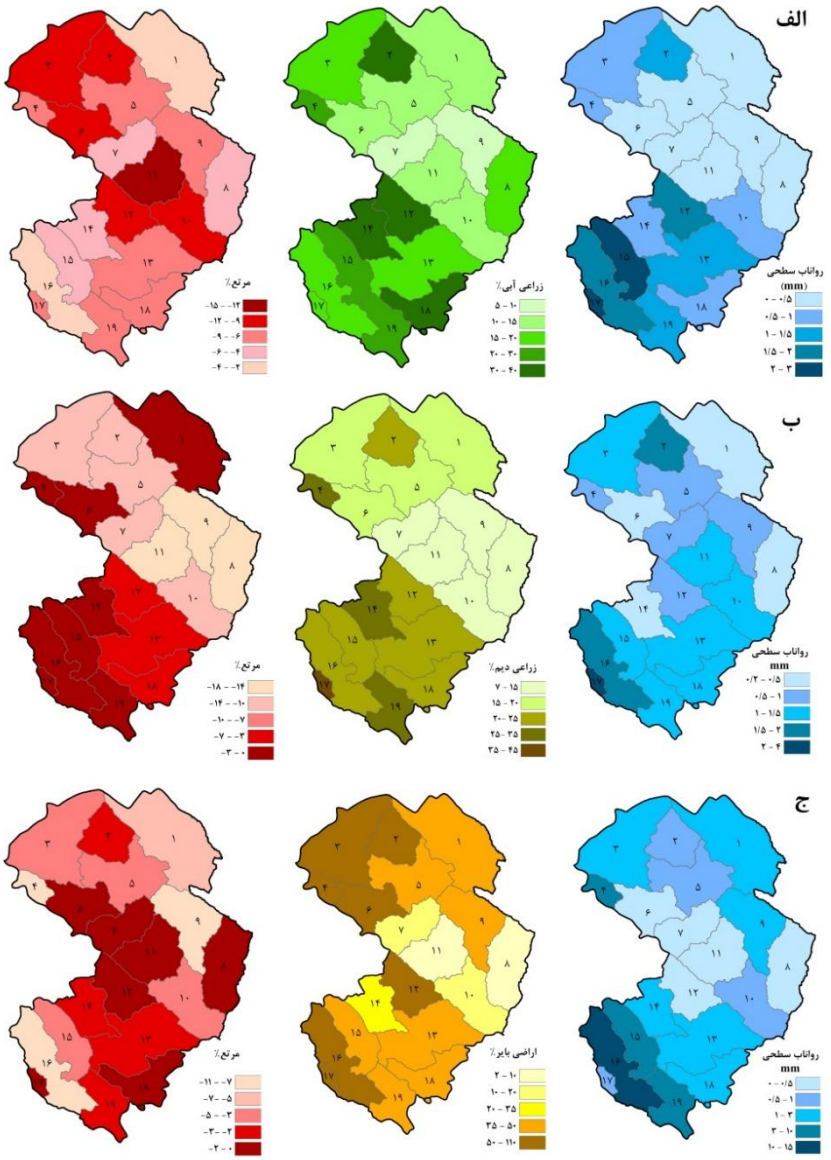
با وجود قابلیت بروزرسانی کاربری اراضی در *ArcSWAT* امکان تعریف تغییرات کاربری اراضی با توجه به مدل موجود از حوضه آبریز، وجود دارد. همان‌طور که اشاره شد، واحدهای واکنش هیدرولوژیکی در مدل *SWAT*، واحدهایی با ترکیب منحصر به فرد از نوع خاک، کاربری اراضی و شیب هستند. در مدل *SWAT* درصد هر یک از این واحدها در هر زیرحوضه محاسبه می‌شود. مجموع این درصدها در هر زیرحوضه برابر ۱ است. با توجه به سناریوهای مختلف، درصد جدید هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی محاسبه و مدل واسنجی شده با کاربری سال ۲۰۱۵ بر اساس درصدهای جدید کاربری‌ها، اجرا گردید. خروجی‌های این مدل‌ها برای ارزیابی تأثیر سناریوهای کاربری اراضی بر رواناب سطحی مورد بررسی قرار گرفت.

افزایش رواناب سطحی، نتیجه تبدیل مراتع به اراضی زراعی دیم و آبی و همچنین اراضی بایر در سناریوهای تعریف شده است. این نتایج در مطالعات مشابه در نقاط مختلف دنیا نیز مشاهده شده است [۳۳ ، ۳۴، ۳۵، ۳۶]. یکی از دلایل این افزایش را می‌توان در تفاوت ضریب CN_2 در این کاربری‌ها عنوان کرد. CN_2 یا شماره منحنی، یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در ایجاد رواناب سطحی توسط کاربری‌های مختلف به شمار می‌آید. افزایش این پارامتر منجر به کاهش جذب آب حاصل از بارش و افزایش رواناب سطحی می‌شود. نوع کاربری زمین، نوع پوشش گیاهی، شیب زمین و گروه هیدرولوژیکی خاک، از عوامل موثر در تغییر این پارامتر هستند. مقدار این پارامتر در مراتع نسبت به اراضی زراعی دیم و اراضی بایر، کمتر است *[۳۷]* در شکل (۸) تغییرات کاربری‌ها تحت سه سناریوی تعریف شده و همچنین تغییرات متوسط سالانه رواناب سطحی به تفکیک زیرحوضه‌ها نمایش داده شده است. در این شکل، درصدها به صورت مطلق و بر اساس مساحت هر زیرحوضه، محاسبه شده است. به عنوان مثال در زیرحوضه شماره ۳ بر اساس سناریوی اول، ۱۲-۹ درصد از اراضی مرتعی کاهش خواهد یافت. با تبدیل این مراتع به اراضی زراعی آبی، مساحت این اراضی به میزان ۲۰-۱۵ درصد افزایش خواهد یافت. با وجود این تغییرات، شاهد افزایش ۱/۵-۱ درصدی رواناب سطحی در این زیرحوضه خواهیم بود.

در سنایوی اول شاهد افزایش ۰/۸ میلیمتر (۰/۷درصد) در متوسط سالانه رواناب سطحی بودیم. حجم آب ناشی از این افزایش، ۳/۲ میلیون متر مکعب است. نتیجه تغییرات کاربری رخ داده در این سناریو، کاهش دبی رودخانه در انتهای حوضه آبریز به میزان ۲/۱ متر مکعب بر ثانیه خواهد شد. در اثر این تغییر، حجم آب ورودی به مخزن سد زاینده‌رود ۶۴ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت. علت اصلی کاهش جریان رودخانه را علی‌رغم افزایش رواناب سطحی، می‌توان افزایش برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی جهت آبیاری اراضی زراعی آبی، عنوان کرد. در زیرحوضه‌هایی که منبع اصلی آبیاری آنها، آب زیرزمینی است (زیرحوضه‌های ۱۱-۱)، کاهش ذخیره آب زیرزمینی و در نتیجه جریان پایه، علت اصلی تغییرات جریان رودخانه است. در زیرحوضه‌هایی که منبع اصلی آبیاری آنها رودخانه است (زیرحوضه‌های ۱۹-۱۳)، علت کاهش جریان رودخانه، افزایش برداشت‌ها است.

در سناریوی دوم، افزایش ۱/۱ میلیمتر (۱ درصد) در متوسط سالانه رواناب سطحی مشاهده شد. نتیجه این تغییرات، افزایش ۴/۵ میلیون متر مکعب در متوسط سالانه رواناب سطحی است. به دلیل عدم برداشت آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی جهت آبیاری، افزایش رواناب سطحی منجر به افزایش متوسط سالانه دبی رودخانه به میزان ۰/۹ متر مکعب بر ثانیه شده است. این تغییر در دبی رودخانه به طور متوسط افزایش سالانه ۲۸/۵ میلیون متر مکعب حجم آب ورودی به مخزن سد زاینده‌رود را در پی خواهد داشت.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]



شکل ۸: درصد تبدیل کاربری‌ها و تغییر رواناب سطحی تحت سناریوی اول (الف)، سناریوی دوم (ب) و سناریوی سوم (ج)

نتایج مدل اجرا شده بر اساس سناریوی سوم، نشان‌دهنده افزایش رواناب سطحی در حوضه آبریز به میزان ۲/۷ میلیمتر (۲/۵درصد) است. حجم رواناب سطحی ناشی از این تغییرات به میزان ۱۱ میلیون متر مکعب می‌باشد. تغییرات رخ داده در کاربری‌ها بر اساس این سناریو بیشترین تاثیر را بر رواناب سطحی داشته است. ضریب *CN2* در اراضی بایر به دلیل اینکه خالی از پوشش گیاهی هستند، بالا می‌باشد *[۳۷]*. از طرفی در منطقه مورد مطالعه اغلب این اراضی در شیب‌های بالای ۲۵ درصد واقع شده‌اند که باعث تشدید تولید رواناب سطحی می‌شود. علی‌رغم تولید رواناب بیشتر در این سناریو نسبت به سناریوی دوم، مقدار افزایش متوسط سالانه دبی رودخانه در این سناریو نیز ۰/۹ متر مکعب در ثانیه است. علت این تأثیر مشابه را می‌توان در متفاوت بودن میزان جریان پایه رودخانه در این دو کاربری دانست. در اراضی زراعی دیم، میزان جریان پایه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

رودخانه، که ناشی از نفوذ آب باران مورد استفاده جهت آبیاری این اراضی به آبخوان کم‌عمق است؛ نسبت به اراضی بایر بیشتر است.

۴- نتایج و پیشنهادها

در این تحقیق، با توجه به روند تغییرات کاربری اراضی در گذشته (۲۰۱۵-۱۹۸۷) در حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، سناریوهای مختلف تغییر کاربری‌ها در سال ۲۰۱۵ تعریف و واکنش هیدرولوژیکی منطقه تحت این سناریوها، مورد ارزیابی قرار گرفت. تغییرات اساسی رخ داده در چهار کاربری مراتع، اراضی بایر، اراضی زراعی دیم و اراضی زراعی آبی در غالب سه سناریو، مدل‌سازی شد. در هر یک از سناریوها، نقشه‌های پتانسیل انتقال کاربری‌ها، با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون (*MLP*) و ماتریس احتمال تبدیل با استفاده از روش زنجیره مارکوف محاسبه و در نهایت نقشه‌های کاربری اراضی پیش‌بینی شد. جهت کالیبره کردن مدل مورد استفاده جهت پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰، ابتدا با استخراج روند تغییرات کاربری‌ها در گذشته (۲۰۰۲-۱۹۸۷)، نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ پیش‌بینی و نقشه پیش‌بینی شده با نقشه موجود از این سال مقایسه و با استفاده از روش برهم‌نهی، دقت نقشه محاسبه گردید. با تغییر پارامترهای شبکه عصبی *MLP*، تا رسیدن به دقت مطلوب این روند تکرار شد. از مدل کالیبره شده جهت پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ استفاده شد. با استفاده از مدل *SWAT* و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ و همچنین نقشه خاک، مدل ارتفاعی رقومی و داده‌های هواشناسی، مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز ایجاد و واسنجی واعتبارسنجی شد. با توجه به نتایج قابل قبول واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز، می‌توان از این مدل جهت ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر پارامترهای مختلف منابع آبی، استفاده کرد. بنابراین با ورود نقشه‌های کاربری اراضی جدید تحت سناریوهای تعریف شده، مدل واسنجی شده و مجددا اجرا و خروجی‌های آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز به تغییرات کاربری اراضی تحت سناریوی اول با عنوان تبدیل مراتع به اراضی زراعی آبی، افزایش ۰/۷درصد متوسط سالانه رواناب سطحی و کاهش ۴ درصد دبی جریان رودخانه می‌باشد. تغییرات کاربری اراضی در سناریوی دوم به صورت تبدیل مراتع به اراضی زراعی دیم است. واکنش هیدرولوژیکی حوضه آبریز به این تغییرات به صورت افزایش رواناب سطحی و دبی جریان رودخانه به میزان ۱ و ۱/۸ درصد می‌باشد. اثر تغییرات کاربری اراضی در سناریوی سوم با عنوان تبدیل مراتع به اراضی بایر، به صورت افزایش ۲/۵ درصد رواناب سطحی و افزایش ۱/۸ درصد دبی جریان رودخانه مشاهده شد.

با توجه به نتایج این تحقیق و با بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در یک دوره ۲۹ ساله در حوضه آبریز سراب زاینده‌رود، تبدیل مراتع به اراضی بایر، با افزایش فرسایش و رسوب خاک و کاهش ذخیره آب زیرزمینی، بیشترین تأثیر را بر منابع آبی این منطقه خواهد داشت. گسترش اراضی زراعی آبی، با افزایش برداشت آب از منابع آبی سطحی و زیرزمینی همرا خواهد بود که نتیجه آن کاهش دبی رودخانه و ذخیره آب زیرمینی است.

به طور کلی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز، دسترسی به داده‌های آماری دقیق و بلندمدت، بسیار مهم است. از مزایای مدل *SWAT* این است که اساسا برای ارزیابی نقش توپوگرافی، خاک، کاربری زمین و اقلیم بر واکنش هیدرولوژیکی زیرحوضه‌های بزرگ که داده‌های آماری کافی ندارند؛ طراحی شده است [۳۸ و ۳۹]؛ بنابراین استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز در مناطقی مانند ایران که ایستگاههای مشاهداتی دارای توزیع مناسبی نیستند و داده‌های ثبت شده در آنها اغلب بلند مدت نیست، می‌تواند بسیار کارآمد باشد.

جهت پیش‌بینی دقیق تغییرات کاربری اراضی در آینده،

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

دستیابی به نقشه‌های کاربری در گذشته، ضروری است. عدم وجود سری زمانی نقشه‌های کاربری اراضی، یکی از مشکلات موجود در این زمینه می‌باشد. هر چند دسترسی رایگان به تصاویر ماهواره‌ای تا حدودی این مشکل را مرتفع می‌کند، ولی قدرت تفکیک مکانی پایین این تصاویر، باعث کاهش دقت نقشه‌های استخراجی از آنها می‌شود.

با وجود دقت مناسب روش به کار رفته در این تحقیق جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، مقایسه روش‌های دیگر از قبیل لجستیک و وزن شواهد با این روش در تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود. علاوه بر آن، مدل‌سازی تمام تغییرات کاربری اراضی در غالب مدل‌های فرعی و ترکیب آنها و تشکیل یک مدل نهایی، جهت پیش‌بینی نقشه کلی کاربری اراضی، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دکتر اشکان فرخ نیا به جهت راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مراجع

[1] S. Praskievicz and H. Chang, "Impacts of climate change and urban development on water resources in the Tualatin River Basin, Oregon," Ann. Assoc. Am. Geogr., vol. 101, no. 2, pp. 249–271, 2011.

[2] B. Güneralp, İ. Güneralp, C. R. Castillo, and A. M. Filippi, "Land change in the mission-aransas coastal region, texas: Implications for coastal vulnerability and protected areas," Sustainability, vol. 5, no. 10, pp. 4247–4267, 2013.

[3] M. Faramarzi, K. C. Abbaspour, H. Yang, and R. Schulin, "Application of SWAT to quantify internal renewable water resources in Iran," Hydrol. Sci. DOI, vol. 10, 2008.

[4] D. G. Brown, R. Aspinall, and D. A. Bennett, "Landscape models and explanation in landscape ecology—A space for generative landscape science?," Prof. Geogr., vol. 58, no. 4, pp. 369–382, 2006.

[5] H. B. Wakode, K. Baier, R. Jha, and R. Azzam, "Analysis of urban growth using Landsat TM/ETM data and GIS—a case study of Hyderabad, India," Arab. J. Geosci., vol. 7, no. 1, pp. 109–121, 2014.

[6] P. N. Dadhich and S. Hanaoka, "Spatio-temporal urban growth modeling of Jaipur, India," J. Urban Technol., vol. 18, no. 3, pp. 45–65, 2011.

[7] A. Veldkamp and E. F. Lambin, "Predicting land-use change," Agric. Ecosyst. Environ., vol. 85, no. 1, pp. 1–6, 2001.

[8] K. P. Overmars, G. H. J. De Koning, and A. Veldkamp, "Spatial autocorrelation in multi-scale land use models," Ecol. Modell., vol. 164, no. 2, pp. 257–270, 2003.

[9] S. Kumar, N. Radhakrishnan, and S. Mathew, "Land use change modelling using a Markov model and remote sensing," Geomatics, Nat. Hazards Risk, vol. 5, no. 2, pp. 145–156, 2014.

[10] S. Fang, G. Z. Gertner, and A. B. Anderson, "Prediction of multinomial probability of land use change using a bisection decomposition and logistic regression," Landsc. Ecol., vol. 22, no. 3, pp. 419–430, 2007.

[11] S. J. Walsh, B. Entwisle, R. R. Rindfuss, and P. H. Page, "Spatial simulation modelling of land use/land cover change scenarios in northeastern Thailand: a cellular automata approach," J. Land Use Sci., vol. 1, no. 1, pp. 5–28, 2006.

[12] S. Abdullahi and B. Pradhan, "Sustainable brownfields land use change modeling using GIS-Based weights-of-evidence approach," Appl. Spat. Anal. Policy, vol. 9, no. 1, pp. 21–38, 2016.

[13] V. N. Mishra and P. K. Rai, "A remote sensing aided multi-layer perceptron-

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India," Arab. J. Geosci., vol. 9, no. 4, p. 249, 2016.

[14] H. Fathizad, N. Rostami, and M. Faramarzi, "Detection and prediction of land cover changes using Markov chain model in semi-arid rangeland in western Iran," Environ. Monit. Assess., vol. 187, no. 10, pp. 1–12, 2015.

[15] R. Zhai, C. Zhang, W. Li, M. A. Boyer, and D. Hanink, "Prediction of Land Use Change in Long Island Sound Watersheds Using Nighttime Light Data," Land, vol. 5, no. 4, p. 44, 2016.

[16] J. Nouri, A. Gharagozlou, R. Arjmandi, S. Faryadi, and M. Adl, "Predicting Urban Land Use Changes Using a CA-Markov Model.," Arab. J. Sci. Eng. (Springer Sci. Bus. Media BV), vol. 39, no. 7, 2014.

[17] M. A. El-Hallaq and M. O. Habboub, "Using Cellular Automata-Markov Analysis and Multi Criteria Evaluation for Predicting the Shape of the Dead Sea," Adv. Remote Sens., vol. 4, no. 1, p. 83, 2015.

[18] C. Mozumder and N. K. Tripathi, "Geospatial scenario based modelling of urban and agricultural intrusions in Ramsar wetland Deepor Beel in Northeast India using a multi-layer perceptron neural network," Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., vol. 32, pp. 92–104, 2014.

[19] D. Ozturk, "Urban growth simulation of atakum (Samsun, Turkey) using cellular automata-Markov chain and multi-layer perceptron-markov chain models," Remote Sens., vol. 7, no. 5, p. 5918, 2015.

[20] P. N. Dadhich and S. Hanaoka, "Markov method integration with multi-layer perceptron classifier for simulation of urban growth of Jaipur city," in Selected topics in power systems and remote sensing, 10th WSEAS/IASME international conference on electric power systems, high voltages, electric machines (power '10) and 6th Wseas international conference on remote sensing (remote '10), Iwate Prefectural, 2010, pp. 118–123.

[21] M. Pikounis, E. Varanou, E. Baltas, A. Dassaklis, and M. Mimikou, "Application of the SWAT model in the Pinios river basin under different land-use scenarios," Glob. Nest Int. J, vol. 5, no. 2, pp. 71–79, 2003.

[22] R. P. Neupane and S. Kumar, "Estimating the effects of potential climate and land use changes on hydrologic processes of a large agriculture dominated watershed," J. Hydrol., vol. 529, pp. 418–429, 2015.

[23] B. Lin et al., "Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model," Ecol. Indic., vol. 58, pp. 55–63, 2015.

[24] L. M. Mango, A. M. Melesse, M. E. McClain, D. Gann, and S. G. Setegn, "Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management," Hydrol. Earth Syst. Sci., vol. 15, no. 7, p. 2245, 2011.

[25] D. Randall, J. Curry, D. Battisti, and G. Flato, "Status of and outlook for large-scale modeling of atmosphere-ice-ocean interactions in the Arctic," Bull. Am. Meteorol. Soc., vol. 79, no. 2, p. 197, 1998.

[26] S. L. Neitsch, J. R. Williams, J. G. Arnold, and J. R. Kiniry, "Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009," Texas Water Resources Institute, 2011.

[27] J. G. Arnold, R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams, "Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1." Wiley Online Library, 1998.

[28] K. C. Abbaspour, "User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs," Swiss Fed. Inst. Aquat. Sci. Technol. Eawag, Duebendorf, Switz., 2007.

[29] K. C. Abbaspour et al., "Modelling hydrology and water quality in the pre-

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

alpine/alpine Thur watershed using SWAT," J. Hydrol., vol. 333, no. 2, pp. 413–430, 2007.

[30] K. C. Abbaspour, "SWAT-CUP4: SWAT calibration and uncertainty programs–a user manual," Swiss Fed. Inst. Aquat. Sci. Technol. Eawag, 2011.

[31] K. C. Clarke, S. Hoppen, and L. Gaydos, "A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area," Environ. Plan. B Plan. Des., vol. 24, no. 2, pp. 247–261, 1997.

[32] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith, "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations," Trans. ASABE, vol. 50, no. 3, pp. 885–900, 2007.

[33] G. Ghaffari, S. Keesstra, J. Ghodousi, and H. Ahmadi, "SWAT-simulated hydrological impact of land-use change in the Zanjanrood basin, Northwest Iran," Hydrol. Process., vol. 24, no. 7, pp. 892–903, 2010.

[34] P. D. N. Verma and S. P. Aggarwal, "EFFECT OF LAND USE CHANGE ON SURFACE RUNOFF IN AN UNGAUGED BASIN IN WESTERN HIMALAYA, INDIA."

[35] N. R. Alibuyog, V. B. Ella, M. R. Reyes, R. Srinivasan, C. Heatwole, and T. Dillaha, "Predicting the effects of land use change on runoff and sediment yield in Manupali River subwatersheds using the SWAT model," Int. Agric. Eng. J., vol. 18, no. 1, p. 15, 2009.

[36] D. N. Khoi and T. Suetsugi, "The responses of hydrological processes and sediment yield to land-use and climate change in the Be River Catchment, Vietnam," Hydrol. Process., vol. 28, no. 3, pp. 640–652, 2014.

[37] Alizadeh, "Surface Runoff", in Principle of Hydrology. Mashhad: Emam Reza university, 2009, 872.

[38] J. G. Arnold and P. M. Allen, "Estimating hydrologic budgets for three Illinois watersheds," J. Hydrol., vol. 176, no. 1–4, pp. 57–77, 1996.

[39] R. Srinivasan, X. Zhang, and J. Arnold, "SWAT ungauged: hydrological budget and crop yield predictions in the Upper Mississippi River Basin," Trans. ASABE, vol. 53, no. 5, pp. 1533–1546, 2010.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.4, Winter 2020

Research Paper

Prediction of Land Use Change and its Hydrological Effects Using Markov Chain Model and SWAT Model

Maryam Rashtbari [1], Mohammad Taleai [2]*

1- MSc student, Faculty of geodesy and geomatic, K. N. Toosi University of Technology
2- Associate Professor in GIS Department, K. N. Toosi University of technology

Abstract

Access to current and future water resources is one of the concerned problems for managers and policymakers around the world. Because of the communication between water resources and land use, these two topics had come together in different researches. Scenarios designed in regional land planning provide the basis for analyzing the existing opportunities and making the right decisions for managing these natural resources. In this research, a combination of the Markov Chain model and multilayer perceptron network (MLP) were used for predicting the land-use changes in Sarab watershed and the SWAT model was used for hydrological modeling of the watershed area. Using the land use map in 2015, soil map, digital elevation model and meteorological data during the period (1987-2015), the hydrological model of the area is formed and also calibrated. According to the land-use changes in the past (1987-2015), three scenarios defined and three land use maps have been predicted for 2030 by modeling the land-use changes and calculating the conversion probability matrix using the Markov chain model. The watershed hydrological response to the first scenario with the title of conversion of grassland to the irrigated agriculture was observed an increase of 0.7% of the annual average run-off and a 4% decrease in the river flow. In the second and the third scenarios, the surface run-off has been increased by 1% and 2.5% respectively by conversion of the grassland to the rain-fed agriculture and bare lands. Flow changes in these two scenarios show an increase of 1.8%. According to the results of this research, grazing and conversion grassland to bare lands will have the greatest impact on underground water resources in the Sarab basin. Furthermore, the expansion of irrigated agriculture lands, by increasing the harvesting of surface water and underground water resources will result in a significant reduction of these resources.

Key words: *Markov chain, SWAT Model, land use predict, MLP Neural Network, Surface Runoff.*

Correspondence Address: *Department of GIS, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, No.1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Cross, Tehran, IRAN.*
Tel : *+98 9912310981*
Email*: taleai@kntu.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-06]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.41]