

شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۶ با استفاده از مدل CLUE-s در حوزه آبخیز رحیم‌آباد

علی سیف^۱، هدی قاسمیه^{۲*}، حسین زینی‌وند^۳ و مهران زند^۴

^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، آ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان،
^۲ دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان و ^۴ دانشیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات،
آموزش و ترویج کشاورزی تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۶

چکیده

امروزه با افزایش جمعیت، کاربری اراضی به‌منظور برآورد نیازها تغییر کرده است که همین موضوع، اطلاع از وضعیت آینده کاربری اراضی را با اهمیت‌تر کرده است. بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقش اساسی در مطالعات زیست‌محیطی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی و مدیریت منابع آب داشته، مدیران را در برنامه‌ریزی بهتر کاربری اراضی یاری می‌دهد. لذا در این پژوهش، ابتدا نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز رحیم‌آباد برای سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶ به‌ترتیب با استفاده از سنجنده‌های ETM⁺ و Landsat 8 در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 استخراج شد که ضریب کاپا برابر ۹۵ درصد و صحت کلی برابر ۹۷ درصد، حاکی از دقت بالای نقشه کاربری ۲۰۱۶ بود. سپس، نقشه‌های عوامل مؤثر بر تغییر کاربری اراضی شامل نقشه‌های فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از شهر، فاصله از روستا، فاصله از گسل، زمین‌شناسی، بافت خاک، بارش، تبخیر، مدل رقومی ارتفاع، شیب، سطح آب زیرزمینی و مقدار تابش خورشیدی در محیط ArcGIS 10.6 تهیه شدند. آن‌گاه، با استفاده از رگرسیون لجیستیک، نقش عوامل مؤثر بر کاربری اراضی تعیین شد و برای ارزیابی رگرسیون لجیستیک، از منحنی ROC استفاده شد. در نهایت، نقشه کاربری اراضی حوضه مطالعاتی برای سال ۲۰۲۶ با استفاده از مدل CLUE-s شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر، نشان داد که میزان سطح زیر منحنی ROC برای کاربری‌های مرتع، اراضی دیم، اراضی آبی، پهنه آبی و مسکونی به‌ترتیب برابر ۰/۸۸، ۰/۹۲، ۰/۹۱ و ۰/۹۱ است که بیان‌گر دقت قابل‌قبول روش رگرسیون در بررسی عوامل مؤثر بر کاربری اراضی است. همچنین، بیشترین تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۶، مربوط به تبدیل کاربری مرتع به کاربری دیم خواهد بود و ۶/۴۷ درصد کاربری مرتع، کاهش و ۱۸ درصد کاربری دیم افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: استان لرستان، رگرسیون لجیستیک، مدیریت منابع آب، نرم‌افزار ENVI5.3، ROC

مقدمه

جوامع بشری و فعالیت‌های کشاورزی، تخریب اراضی جنگلی و مرتعی و تبدیل آن‌ها به زمین‌های زراعی و مسکونی بسیار محسوس بوده است. این موضوع، موجب افزایش دبی اوج و حجم رواناب حوزه‌های

افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش نیازهای جوامع بشری، موجب استفاده بی‌رویه و نادرست از منابع طبیعی شده است؛ به‌طوری که در اثر توسعه

* مسئول مکاتبات: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

برای آینده را شبه‌سازی کردند و بر اساس رابطه اصلاح‌شده، میزان تبخیر و تعرق را به‌دست آوردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تبخیر و تعرق تخمین زده شده با این روش با مقدار به‌دست آمده از رابطه بیلان آب، اختلاف کمی داشته، این روش، مناسب است. همچنین، نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق سالانه در کاربری شبه‌سازی شده منطقه، تفاوت زیادی ندارد و تفاوت اصلی در توزیع مکانی تبخیر و تعرق است. Zhang و همکاران (۲۰۱۲) برای شبه‌سازی کاربری اراضی در بخشی از چین، از مدل‌های دینامیکی کاربری اراضی (SD model²) و CLUE-s استفاده کردند. در پژوهش آن‌ها، میزان تقاضا و تغییرات زمانی با استفاده از مدل SD بررسی و شبه‌سازی برای سال ۲۰۲۰ و تخصیص مکانی هر کاربری با استفاده از مدل CLUE-s در سه سناریو انجام شد. سناریوها بر اساس رشد شهری و در شرایط رشد کند، متوسط و سریع طراحی شد. سپس، به‌منظور تعیین نقش عوامل مؤثر بر کاربری‌های مختلف، عوامل ارتفاع، فاصله تا جاده و شهر، تراکم جمعیت و شیب در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مهمترین تغییر کاربری در منطقه، تبدیل زمین‌های قابل کشت، باغ‌ها، جنگل و زمین‌های غیرقابل استفاده اطراف شهرها به مناطق مسکونی بود. Yecui و همکاران (۲۰۱۳)، کاربری اراضی سال ۲۰۰۵ را با استفاده از داده‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ با استفاده از زنجیره مارکوف و مدل CLUE-s در منطقه‌ای از پکن به مساحت ۶۴۱۰ کیلومتر مربع شبه‌سازی کرده، برای ارزیابی و مقایسه نقشه شبه‌سازی شده و واقعی، از ضریب کاپا³ استفاده کردند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، ضریب کاپای ۰/۸۸، کارایی مدل را تأیید کرد. سپس، تقاضای محاسبه‌شده با زنجیره مارکوف به مدل وارد شد و سناریوهای کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۵ شبه‌سازی شد. یک سناریو، شامل رشد شهری بر اساس روند موجود و سناریو دیگر، با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی در مزارع کشاورزی طراحی شد که در هر دو حالت، افزایش مناطق مسکونی مشهود بود.

آبخیز شده است (Pappas و همکاران، ۲۰۰۸) و تغییرات کاربری اراضی به‌منظور تأمین غذا و افزایش مناطق مسکونی، یکی از مهمترین تأثیرات انسان در محیط‌زیست جهانی و همچنین، تغییرات در چرخه آب و هوا و فرایندهای هیدرولوژیکی منطقه است (Luo و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، با توجه به اثرات تغییرات کاربری اراضی در زندگی انسان و محیط زیست، شناخت کامل از کاربری اراضی، تغییرات گذشته آن و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده، نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع و مطالعات زیست‌محیطی دارد (Hietal و همکاران، ۲۰۰۴).

عوامل زیادی در تغییرات کاربری اراضی دخالت دارند که در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به عوامل جمعیتی، عوامل اقتصادی، عوامل بیوفیزیکی، عوامل اجتماعی و عوامل فرهنگی تقسیم کرد (Geist و همکاران، ۲۰۰۶). در چند دهه اخیر، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با توجه به اهمیت آن، مورد توجه محققان زیادی در سراسر جهان قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، Fox و همکاران (۲۰۱۲)، تغییرات کاربری اراضی در کوهستان‌های میانی جنوب آسیا را با استفاده از مدل CLUE-s¹ شبه‌سازی کردند.

شبه‌سازی آن‌ها نشان داد که منطقه مورد مطالعه، بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۵ و ۲۰۰۱ تا ۲۰۵۰ به‌ترتیب نه و ۱۶ درصد تغییر خواهد داشت. به‌گونه‌ای که قسمت‌هایی از کاربری فعلی شامل گونه‌های درختی طبیعی، بوته‌زار و مراتع به مناطق درخت‌کاری، مزارع چای و بوته‌زارهای همیشه سبز تبدیل خواهد شد. بخش زیادی از این درخت‌کاری شامل درخت کائوچو بوده، به‌دلیل مصرف زیاد آب، نقش زیادی در فرایندهای هیدرولوژیکی فصل خشک دارد. Huixia و همکاران (۲۰۱۲)، تبخیر و تعرق سالانه در بخشی از چین را برای سال‌های آینده با استفاده از مدل CLUE-s تخمین زدند. آن‌ها ابتدا، رابطه موجود برای تبخیر و تعرق سالانه را بر اساس شاخص درجه حرارت پوشش گیاهی اصلاح کردند. سپس، با استفاده از مدل CLUE-s، کاربری اراضی

² System Dynamics

³ Kappa coefficient

¹ Conversion of Land Use and its Effects in Small regional extend

شده و زراعی افزایش یافته، در حالی که وسعت سایر اراضی کاهش یافته است. تحت سناریوی GS نیز، مناطق مسکونی، جنگلی، شخم‌خورده و پهنه آبی افزایش یافته و وسعت سایر اراضی کاهش یافته است. Huang و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهشی، از مدل CLUE-s برای محدود کردن مرزهای شهری با مرزهای اداری روستاها در کلان‌شهر شن‌یانگ^۵ واقع در شمال شرقی چین استفاده کردند و الگوی مکانی کاربری اراضی را بر اساس مدل مذکور و ارزیابی مناسب توسعه اراضی در سال ۲۰۳۰ شبیه‌سازی کردند. آن‌ها برای این منظور، پنج شاخص طبیعی، اجتماعی، اکوسیستم‌محیطی، خط مشی و سیاسی را به کار بردند. همچنین، داده‌های کاربری اراضی ۲۰۰۹ را به منظور شبیه‌سازی الگوی مکانی اراضی در سال ۲۰۱۲ استفاده کردند و نتایج شبیه‌سازی را با نقشه کاربری اراضی واقعی ۲۰۱۲ مقایسه کردند که ضریب کاپا برابر ۰/۹۵ به دست آمد. سایر نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که گسترش شهری و کوچک شدن اراضی زراعی، دو ویژگی اصلی تغییر کاربری اراضی آینده در منطقه مطالعاتی است، به گونه‌ای که بیشترین رشد اراضی شهری در شهر مرکزی به‌ویژه در بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی رخ می‌دهد. همچنین، با وجود تغییرات اندک در نرخ رشد، جهت‌های غالب، منابع اصلی و اثرات زیست‌محیطی و اکولوژیکی، توسعه شهری در این منطقه الگوهای کاملاً مشابهی را تحت سناریوهای مختلف توسعه نشان می‌دهد. بنابراین، مرزهای رشد شهری^۶ بر اساس این سناریوها در طرح کلی تقریباً یکسان هستند و تنها در مناطق حاشیه‌ای، تغییراتی ایجاد می‌شود. Asghari Zamani و همکاران (۲۰۱۱) در شهر زنجان، اقدام به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CLUE-s کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که به شرط وجود پایگاه اطلاعاتی جامع و مناسب برای دوره‌های زمانی مختلف می‌توان از فناوری‌های جدید در شبیه‌سازی، برآورد و پیش‌بینی رویدادهای احتمالی که ممکن است، در ادوار آتی شهرها و مدیریت و برنامه‌ریزی آن‌ها با آن روبرو شوند، استفاده کرد. Babaei Aghdam (۲۰۱۱c)

همچنین، بر اساس نقشه‌های شبیه‌سازی شده، مناطق در معرض خطر و نیازمند به مدیریت بیشتر شناسایی شدند. Gibreel و همکاران (۲۰۱۴) برای شبیه‌سازی کاربری اراضی از مدل تلفیقی CLUE-s و VFHM^۱ در بخشی از چین استفاده کردند، بدین صورت که از مدل VFHM با توجه به تقاضای انواع کاربری اراضی برای طراحی سناریوها استفاده شد. سپس، با استفاده از مدل CLUE-s، تخصیص مکانی صورت گرفت و کاربری اراضی برای آینده شبیه‌سازی شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش آن‌ها نشان داد که در مناطق پایین‌دست، درخت‌کاری گونه کائوچو و در مناطق بالادست، کشت گیاهان زودبازده تا سال ۲۰۲۵ رو به افزایش است. مناطق با بیشترین تغییر شامل تبدیل کشت‌های پراکنده به کشاورزی متراکم نیز تشخیص داده شد. در نهایت، این روش به دلیل در نظر گرفتن خصوصیات مکانی کاربری اراضی و همچنین، بررسی مناسب عوامل مؤثر به‌عنوان ابزای مفید برای مدیریت کاربری منطقه معرفی شد. در پژوهشی دیگر، Liu و همکاران (۲۰۱۷) به تجزیه و تحلیل تأثیر عوامل سیاسی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور و مدل CLUE-s در حوضه رودخانه‌ای لیجیانگ^۲ واقع در جنوب چین پرداختند. آن‌ها برای این منظور، تمایل و گرایش تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از تصاویر سنجش از دور لندست، مدل CLUE-s و رگرسیون لجستیک از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۲۰ تحت دو سناریو (سناریوی رشد طبیعی (NS)^۳ و سناریوی مداخله دولت (GS)^۴) بررسی کردند. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۵، وسعت ساخت و ساز و اراضی زراعی افزایش یافته است. در حالی که مساحت مناطق آبی و مناطق جنگلی از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ کاهش و از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته‌اند. همچنین، مناطق بوت‌ه‌زار نیز از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ افزایش و از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ اندکی کاهش یافته‌اند. در نهایت، نتایج پیش‌بینی الگوی مکانی کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ نشان داد که تحت سناریوی NS، مناطق ساخت‌وساز

¹ Village Farm Household Model

² Lijiang River Basin

³ Natural growth Scenario

⁴ Government intervention Scenario

⁵ Shenyang

⁶ Urban Growth Boundary (UGB)

کاربری مرتع، ۲۸/۱۲ و کاربری جنگل، ۸۲/۲۰ درصد، کاهش و کاربری کشاورزی، ۱۰/۳۳ درصد افزایش می‌یابد. Mohammady و همکاران (۲۰۱۸) نیز در پژوهشی دیگر، به مدل‌سازی و ارزیابی تأثیر کاربری اراضی روی میزان رواناب تولیدی با استفاده از مدل‌های WetSpa و CLUE-s در حوزه آبخیز سالیان استان گلستان واقع در ایران پرداختند. آن‌ها بدین‌منظور، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۲ را تهیه کردند. سپس، شبه‌سازی را بر اساس تغییرات کاربری اراضی در دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۲ انجام دادند. در نهایت، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ را با استفاده از مدل CLUE-s تهیه کردند و مدل WetSpa را برای شبه‌سازی رواناب در مقیاس روزانه با نقشه‌های کاربری اراضی ۱۹۸۶، ۲۰۱۲ و ۲۰۳۰ به کار بردند و حجم کل رواناب، دبی پیک و رواناب سطحی را مقایسه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که دقت شبه‌سازی مدل WetSpa با ضریب نش‌ساتکلیف برای داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۶۱ و ۰/۵۶ و با معیار تجمعی به ترتیب برابر ۰/۶۴ و ۰/۶۲ به دست آمد. همچنین، تغییرات عمده کاربری اراضی در این حوضه بین سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۱۲ و ۲۰۳۰، تبدیل جنگل و اراضی مرتعی به کاربری‌های کشاورزی و مسکونی بود و به دلیل همین تبدیل، کل حجم رواناب شبه‌سازی شده افزایش یافت و نیز نرخ افزایش رواناب سطحی بزرگ‌تر از نرخ افزایش رواناب زیرسطحی بود. علاوه بر این، رواناب سطحی و زیرسطحی در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۳۰ در مقایسه با نقشه کاربری اراضی ۱۹۸۶ افزایش یافت. اما نرخ افزایش رواناب زیرسطحی کمتر از رواناب سطحی بود. با توجه به مسائل مطرح‌شده، در این پژوهش تلاش می‌شود که شبه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور، سامانه اطلاعات مکانی و مدل CLUE-s در حوزه آبخیز رحیم‌آباد با خروجی رودخانه رحیم‌آباد در شمال استان لرستان صورت گیرد. این حوضه، یکی از حاصلخیزترین مناطق کشور است که به دلیل تغییر کاربری اراضی در معرض خطر است. همچنین، با توجه به سیل‌های اخیر به وقوع پیوسته در استان لرستان و از جمله در این حوضه، ضرورت اتخاذ تدابیر لازم به‌منظور جلوگیری از تغییر

در منطقه شهری اردبیل، اقدام به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی بایر به سطوح ساخته‌شده با استفاده از مدل CLUE-s کرد. نتایج پژوهش آن‌ها، حاکی از وقوع تغییرات کاربری در مکان‌هایی با بالاترین درجه مطلوبیت مکانی برای نوع خاصی از کاربری اراضی بود، به‌نحوی که بیشترین میزان از تغییرات در مناطق جنوبی و جنوب غربی شهر به وقوع خواهد پیوست. Babaei Aghdam (۲۰۱۱b)، در منطقه شهر سرعین اقدام به بررسی مدل الگوسازی فضائی کاربری اراضی در افق ۱۴۰۰ با استفاده از مدل CLUE-s کرد و به این نتیجه رسید که مدل، ابزار مفیدی برای الگوسازی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه است. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه حوزه آبخیز باغ سالیان در استان گلستان، اقدام به شبه‌سازی کاربری اراضی در سال‌های آینده با استفاده از مدل CLUE-s به‌منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی کرد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بیشترین تغییرات مربوط به تخریب منابع طبیعی و تبدیل به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی بوده است. Ghasemianin و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی در حوزه آبخیز نوژبان به شبه‌سازی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۵ با استفاده از مدل CLUE-s در محیط GIS و RS پرداختند. آن‌ها در این پژوهش، ابتدا نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۴ را با استفاده از سنجش از دور تهیه کردند که این نقشه با توجه به ضریب کاپا برابر ۰/۸۸ و صحت کلی برابر ۰/۸۶ دارای دقت خیلی خوبی بود. در این پژوهش، در مدل CLUE-s برای بررسی اثرات هر کدام از عوامل مؤثر بر کاربری از رگرسیون لجیستیک^۱ و برای ارزیابی رگرسیون لجیستیک، از منحنی ROC^۲ استفاده شد. پس از تعیین میزان تقاضا بر اساس تغییرات گذشته، نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۵ تهیه شد که ارزیابی مدل CLUE-s، دقت بالای مدل را با توجه به ضریب کاپا برابر ۰/۸۸ نشان داد. همچنین، نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بیشترین تغییر کاربری اراضی، تبدیل کاربری جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی خواهد بود، به‌طوری‌که تا سال ۲۰۲۵،

¹ Logistic Regression

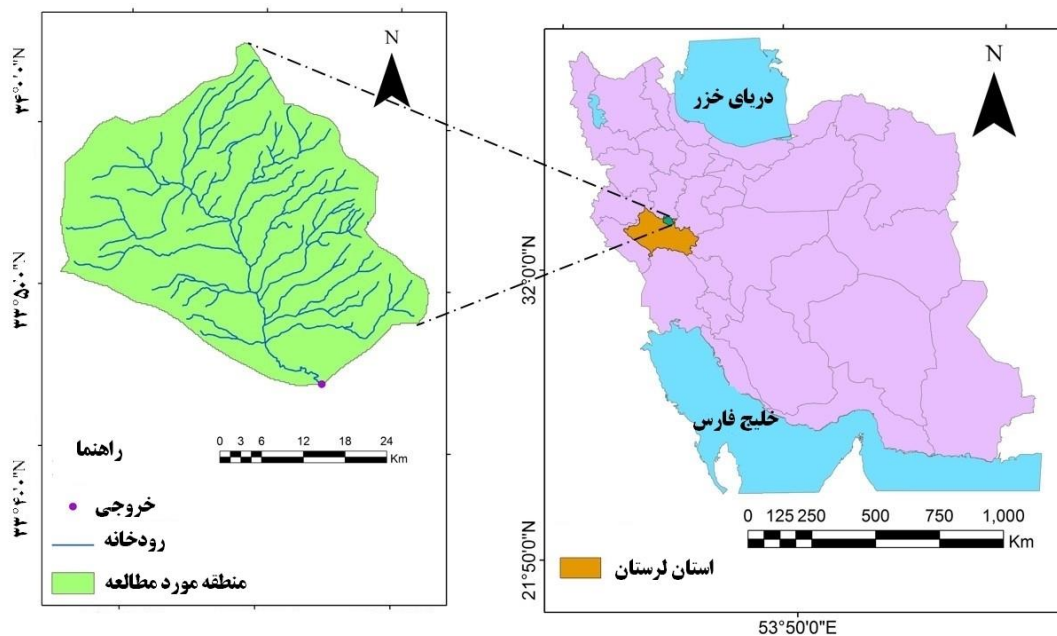
² Relative Operating Characteristics (ROC)

دور می‌تواند از نوآوری‌های این پژوهش نسبت به پژوهش‌های دیگر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز رحیم‌آباد با خروجی رودخانه رحیم‌آباد در شمال استان لرستان قرار دارد که شهر بروجرد، داخل حوضه قرار می‌گیرد. مساحت این حوضه ۹۹۹/۰۲ کیلومتر مربع، بیشینه و کمینه ارتفاع در منطقه به ترتیب ۳۴۷۴ و ۱۴۷۵ متر و شیب متوسط حوضه ۳۵ درصد است. میانگین بارندگی سالانه طی یک دوره آماری ۳۰ ساله، ۳۹۷/۳ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۱۷۱۸/۲ میلی‌متر است. همچنین، منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، دارای اقلیم نیمه‌خشک و کاربری غالب منطقه، اراضی دیم و مرتع است (شکل ۱).

غیراصولی کاربری اراضی بسیار لازم و ضروری است. بنابراین، نتایج این شبیه‌سازی می‌تواند ابزار مفیدی برای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و مقایسه اجرای سیاست‌های مختلف در این منطقه باشد و امکان تغییر روند کنونی به منظور کاهش خسارات احتمالی و اقدامات پیشگیرانه وجود خواهد داشت. همچنین، تحلیل تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به‌عنوان گام مهمی در شناخت میزان تأثیرگذاری شهر و زندگی شهری در شکل‌گیری الگوی خاصی از کاربری اراضی تلقی شود. با توجه به موارد ذکر شده در این پژوهش تلاش می‌شود، الف- عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی در منطقه مشخص شوند. ب- الگوی آبی کاربری اراضی در منطقه تعیین شود. بنابراین، استفاده از تعداد زیادی از عوامل مؤثر در تعیین میزان تغییرات و نیز استفاده از سنجش از



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز رحیم‌آباد در ایران و استان لرستان

نقشه‌های سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶ با استفاده از مناطقی که به‌طور قطعی، جزء اراضی مشخصه بوده‌اند، تعیین شد و به‌منظور تفکیک درست و دقیق اراضی دیم و آبی از تصاویر Google Earth استفاده شد. همچنین، بازدید میدانی در سراسر منطقه مطالعاتی صورت گرفت. آن‌گاه با استفاده از مدل CLUE-s، نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۶ شبیه‌سازی و

روش پژوهش: در این پژوهش، ابتدا نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۹ (تصاویر ETM⁺) و ۲۰۱۶ (تهیه شده به‌وسیله محققان پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و همچنین، استفاده از دانش فنی کارشناسی نسبت به منطقه) در محیط نرم‌افزار GIS آماده شدند. لازم به ذکر است که نمونه تعلیمی برای

فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، فاصله از شهر، فاصله از روستا، توزیع بارش، تبخیر، تراز آب زیرزمینی، شیب، تابش خورشیدی، خاک و زمین‌شناسی به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در محیط نرم-افزار Arc GIS 10.6 تهیه شدند و سپس، برای یکسان‌سازی داده‌ها به فرمت ASCII برای استفاده در مدل تبدیل شدند. صحت نقشه‌ها با استفاده از تطبیق عارضه روی نقشه با عارضه روی زمین ارزیابی شد. لازم به ذکر است که نقشه شیب (درجه)، نقشه تابش خورشیدی (کیلووات بر متر مربع) و نقشه‌های فاصله از شهر، فاصله از روستا، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل و تراز آب زیرزمینی (متر) و نقشه‌های بارش و تبخیر (میلی‌متر) آماده شدند و نقشه زمین‌شناسی در ۱۱ گروه طبقه‌بندی شد.

پس از آماده‌سازی نقشه‌ها، از روش رگرسیون لجیستیک استفاده شد. علت این موضوع این است که مدل CLUE-s قادر است با استفاده از مفهوم رگرسیون لجیستیک، انواع مختلف عوامل تعیین‌کننده و تأثیر متفاوت آن‌ها در تغییرات کاربری اراضی را در مدل‌سازی وارد کند. انتظار می‌رود، تغییرات کاربری اراضی در مکان‌هایی اتفاق افتد که در دوره زمانی مشخص، بیشترین ارجحیت یک مکان به‌صورت تجربی و با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از عوامل که بر اساس تفاهم تصمیم‌گیران تعیین می‌شوند، برآورد شوند (Ghasemiamin و همکاران، ۲۰۱۸). لذا، ارجحیت به‌صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$R_{ki} = a_k \cdot X_{1i} + b_k \cdot X_{2i} + \dots \quad (1)$$

که در آن، R ارجحیت اختصاص مکان i به کاربری نوع k ، ... و X_1 و X_2 ویژگی‌های بیوفیزیکی یا اقتصادی-اجتماعی مکان i ، a_k و b_k تأثیر نسبی این ویژگی‌ها بر ارجحیت نوع k است.

از آنجایی که ارجحیت یا مطلوبیت یک مکان برای هر نوع کاربری، نمی‌تواند مستقیماً مشاهده یا اندازه‌گیری شود، به‌صورت یک احتمال برآورد می‌شود و تابعی که این احتمال را شرح می‌دهد، به‌صورت مدل لجیستیک (رابطه ۲) تعریف می‌شود.

طراحی شد که نمودار کلی روش پژوهش به‌صورت شکل ۲ است. لازم به ذکر است که برنامه‌ریزی کاربری اراضی در میان‌مدت و بلندمدت به‌صورت ۱۰ ساله است. همچنین، نیاز به کمتر رسانیدن خطا و نیز کاهش تأثیر تغییر اقلیم دلیل انتخاب این افق زمانی است.

مدل CLUE-s: این مدل برای اولین بار به‌وسیله گروه مطالعات محیط زیست دانشگاه واخنینگن^۱ هلند در سال ۱۹۹۶ طراحی شد (Babaei Aghdam و همکاران، ۲۰۱۱a). مدل CLUE-s، یک مدل شبه‌سازی تخصیص مکانی کاربری اراضی است که بر اساس تحلیل تجربی تناسب اراضی، تغییرات زمانی و مکانی کاربری و عوامل مؤثر بر کاربری اراضی استوار است. این مدل، به دو مدول شامل مدول تقاضای غیرمکانی^۲ و فرایند تخصیص صریح مکانی^۳ تقسیم می‌شود. مدول غیرمکانی، تغییرات مساحت برای همه انواع کاربری اراضی را در سطح کلان محاسبه می‌کند. در بخش دوم مدل، این تقاضاها با استفاده از سامانه مبتنی بر رستر به تغییرات کاربری اراضی در موقعیت‌های مختلف در محدوده منطقه مطالعاتی ترجمه می‌شود (شکل ۳). همچنین، اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل CLUE-s به چهار مرحله به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند که این اطلاعات با همدیگر، یک سری شرایط و امکانات را برای مدل ایجاد می‌کند تا بهترین راه‌حل را محاسبه کند. این چهار مرحله شامل، الف- خط مشی‌ها و محدودیت‌های مکانی و بررسی عوامل مؤثر با استفاده از رگرسیون لجیستیک، ب- ماتریس تبدیل و برگشت‌پذیری کاربری‌ها، ج- محاسبه تقاضا برای هر کاربری و د- فرایند تخصیص و شبه‌سازی مکانی (Verburg، ۲۰۱۰) است.

بررسی عوامل مؤثر با استفاده از رگرسیون لجیستیک: به‌منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی، داده‌های نسبتاً فراوانی مورد نیاز است. لذا در این پژوهش، ابتدا، با مرور منابع و همچنین، بررسی موجود بودن داده‌ها، نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع،

¹ Wageningen University

² Non-spatial demand module

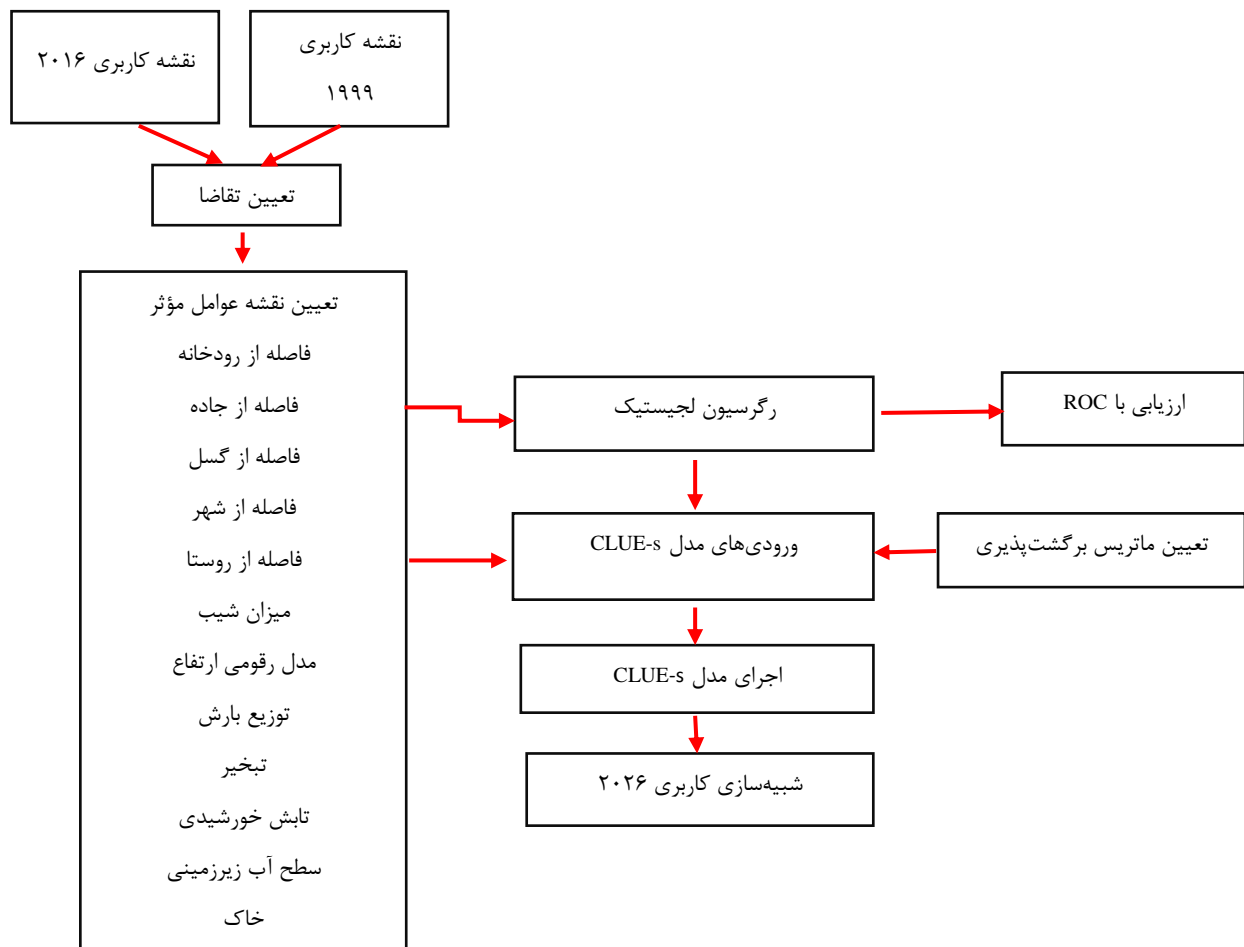
³ Spatially explicit allocation procedure

به عبارت دیگر روش مذکور، این امکان را به کاربر می‌دهد تا یک متغیر وابسته اسمی را بر اساس تعدادی متغیر یا مستقل پیش‌بینی کند. متغیرهای مستقل می‌توانند هم در سطح کیفی (اسمی/ ترتیبی) و هم در سطح کمی (فاصله‌ای/ نسبتی) باشند. همچنین، در رگرسیون لجیستیک، احتمال وقوع یک پدیده در داخل طیف صفر تا یک قرار دارد و رعایت پیش‌فرض نرمال بودن متغیرهای پیش‌بین لازم نیست. اما چنانچه این متغیرها دارای توزیع نرمال چندمتغیره باشند، در آن صورت برازش مدل بهتر خواهد شد. چندخطی نبودن متغیرهای مستقل، از دیگر مفروضات رگرسیون لجیستیک است، چرا که در صورت چندخطی بودن این متغیرها، برآوردها دارای اربب بوده و خطاهای استاندارد نیز نوسان زیادی خواهد داشت (Hosmer، ۲۰۰۰؛ Lemeshow و Hosmer، ۲۰۰۰).

$$\text{Log} \left(\frac{P_i}{1 - P_i} \right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

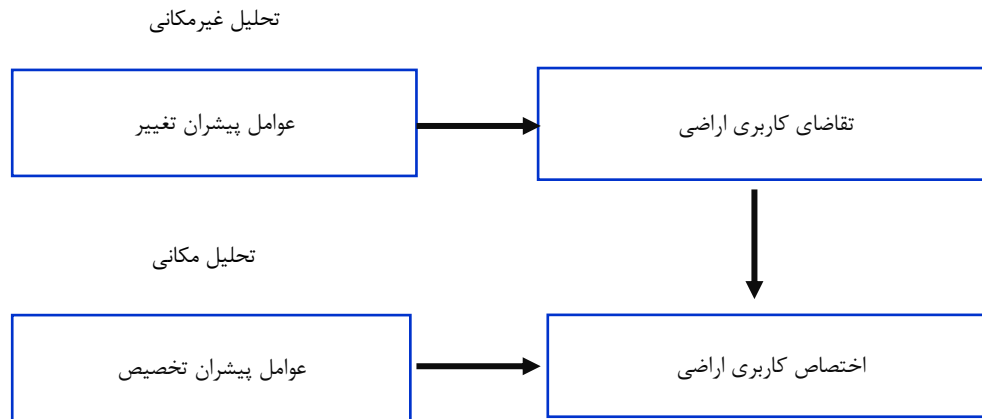
که در آن، P_i احتمال یک سلول برای وقوع یک نوع کاربری در یک شبکه سلولی با موقعیت i و X_i ها، عوامل مؤثر هستند. ضرایب β نیز از طریق رگرسیون لجیستیک برآورد می‌شوند (Veldkamp و Verburg، ۲۰۰۴؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۹). در این برآورد، الگوی واقعی کاربری اراضی به صورت متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود (Ghasemiamin و همکاران، ۲۰۱۸).

به طور کلی، روش رگرسیون لجیستیک برای پیش‌بینی عضویت طبقه برای مواردی که از قبل عضویت در آن مشخص نیست، استفاده می‌شود.



شکل ۲- نمودار جریان^۱ مراحل پژوهش

^۱ Flowchart



شکل ۳- مدول‌های مدل CLUE-s

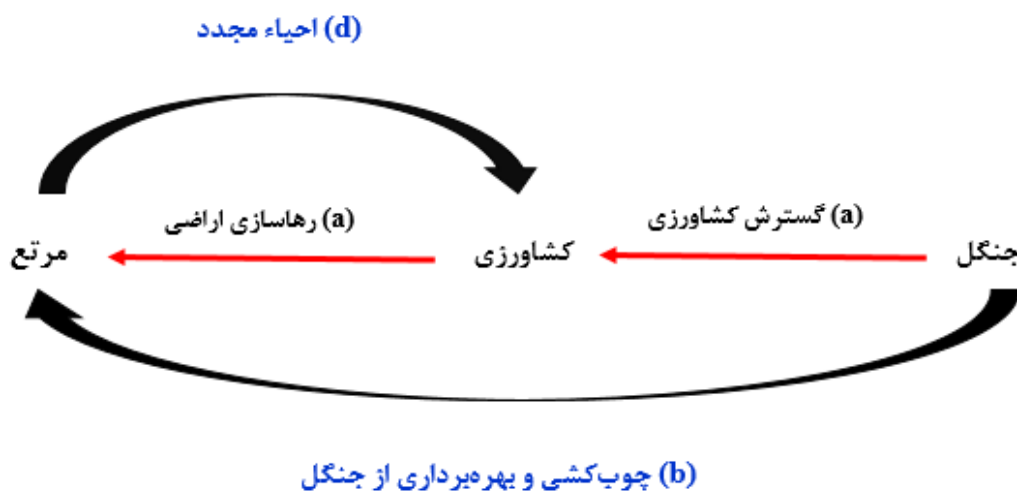
همچنین، برای ارزیابی مدل رگرسیون از منحنی ROC استفاده شد. سطح زیر منحنی، نشان‌دهنده مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخ داده و عدم وقوع رخداد است. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد، دقت مدل بیشتر است. به‌طور کلی، برای بیان دقت مدل از تقسیم‌بندی ۱-۰/۹ (عالی)، ۰/۸-۰/۹ (خیلی خوب)، ۰/۷-۰/۸ (خوب)، ۰/۶-۰/۷ (متوسط) و ۰/۵-۰/۶ (ضعیف) استفاده شد (Nefeslioglu و همکاران، ۲۰۰۸). در این پژوهش، برای تمامی کاربری‌ها، رابطه رگرسیونی و ضریب مربوط به هر عامل محاسبه و در نهایت در یک فایل متنی با نام alloc1 ذخیره و به نرم‌افزار CLUE-s وارد شد. در فایل متنی برای هر کاربری، تعداد عوامل مورد استفاده، ضریب ثابت و ضرایب مربوط به هر عامل نمایش داده شد. لازم به ذکر است، شماره کاربری‌ها در فایل متنی از صفر شروع شد (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۳).

ماتریس تبدیل و برگشت‌پذیری کاربری‌ها: در این مرحله، ماتریس تبدیل و برگشت‌پذیری برای کاربری‌های مختلف تهیه شد. در این ماتریس مشخص شد که کاربری‌های مختلف چگونه به یکدیگر تبدیل می‌شوند و وضعیت برگشت‌پذیری کاربری‌ها به چه صورت است (شکل ۴). 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. در ماتریس تبدیل، وزن بین یک (با قابلیت تبدیل) و صفر (بدون تبدیل) در نظر

در این مرحله از پژوهش، پس از تهیه نقشه‌ها برای استفاده از رگرسیون لجیستیک، ابتدا، تعدادی نقطه با وزن یک به مفهوم وجود و تعدادی نقطه با وزن صفر به معنی عدم وجود یک پدیده (نوع کاربری اراضی) در نظر گرفته شد. برای انتخاب نقاط به‌صورت تصادفی، از فایل الحاقی HawthTools در محیط ArcGIS استفاده شد. روش کار بدین‌صورت بود که ابتدا در هر کاربری، نقاطی به‌عنوان وزن یک (به معنی وجود نوع کاربری اراضی) در نظر گرفته شد و تعدادی نقطه به‌صورت تصادفی در مناطق دیگر، انتخاب و به آن وزن صفر (تمامی کاربری‌ها جز کاربری مورد نظر) داده شد. در مرحله بعد، وزن مربوط به هر یک از نقاط (وزن صفر و یک) در نقشه عوامل مؤثر استخراج و در فرمت اکسل ذخیره شد. این داده‌ها به نرم‌افزار SPSS منتقل شدند تا وزن آن‌ها محاسبه شود. در واقع، در مدل CLUE-s، باید با توجه به نوع کاربری (مثلاً مرتع)، وزن پارامترهای مؤثر (شامل شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، و غیره) محاسبه شود. نقشه‌ای که تهیه می‌شود، فقط دارای دو نوع کاربری، یکی کاربری مد نظر، مثلاً کاربری مرتع و دیگری کاربری غیر مرتع است. به محدوده مرتع با استفاده از الحاقیه، تعدادی نقطه با توجه به مساحت آن داده می‌شود که مقدار صفر به معنی عدم وجود کاربری مرتع و یک به معنی وجود کاربری مرتع است. سپس در محیط GIS، مقدار هر پارامتر استخراج می‌شود. برای هر کاربری، باید عملیات تکرار شود (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۳).

گرفته می‌شود. همچنین، بر اساس نظر کارشناسی، برای هر کاربری، وزنی بین صفر و یک برای مشخص شدن میزان برگشت‌پذیری تعیین می‌شود

(Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۳؛ Luo و همکاران، ۲۰۱۰).



مرتع	کشاورزی	جنگل	کاربری اراضی آینده	
			←	↓
+(b)	+(a)	+	جنگل	
+(d)	+	-	کشاورزی	
+	+(e)	-	مرتع	

+ تبدیل، امکان‌پذیر است.

- تبدیل، امکان‌پذیر نیست.

شکل ۴- مثالی از ماتریس بازگشت‌پذیری کاربری اراضی

مرحله، فایل‌های متنی مربوط به معادلات رگرسیون، ماتریس تبدیل و تقاضای کاربری و نیز نقشه‌های عوامل مؤثر در پوشه مربوط به نرم‌افزار CLUE-s قرار داده شد (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۳). لازم به ذکر است که شبیه‌سازی کاربری به صورت سالانه انجام می‌شود، به طوری که براساس بیشینه احتمال به دست آمده از رگرسیون لجیستیک، هر پیکسل به کاربری مربوطه اختصاص داده می‌شود و نقشه کاربری شبیه‌سازی می‌شود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۲). این مرحله، بر اساس رابطه رگرسیونی برای تمام کاربری‌ها و در تمام سطر و ستون‌ها (پیکسل‌ها) انجام شد. در

محاسبه تقاضا برای کاربری: روش‌های مختلفی برای تعیین میزان تقاضای کاربری وجود دارد که انتخاب هر کدام، 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 (Babaei و Aghdam و همکاران، ۲۰۱۳). در این پژوهش، شرایط تغییرات کاربری نسبتاً ثابت فرض شد و تقاضا برای سال ۲۰۲۶ براساس روند واقعی سال‌های قبل (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۶) محاسبه شد. فرایند تخصیص و شبیه‌سازی کاربری: در این

مرکز حوضه، میزان تبخیر افزایش می‌یابد. میزان بارندگی در مناطق غربی دشت بیشتر است، به طوری که به ۱۰۳۰/۴۱ میلی‌متر می‌رسد. تراز آب زیرزمینی تقریباً در مرکز حوضه بیشتر از سایر بخش‌ها است. براساس نقشه فاصله از شهر نیز، مناطق مسکونی در مرکز حوضه واقع شده‌اند. فاصله از گسل، در مناطق غربی، شمال غربی و جنوب شرقی از همه جا کمتر است. همچنین بیشینه شیب، بیشینه فاصله از جاده، بیشینه فاصله از رودخانه و بیشینه فاصله از روستا نیز در بخش غربی حوضه قابل مشاهده است. همچنین بخش عمده‌ای از وسعت حوضه نیز دارای بافت سیلتی-رسی است.

در این پژوهش، ضریب برگشت‌پذیری در اولین مرحله برای کاربری‌های مسکونی، کشاورزی، جنگل و مرتع به ترتیب ۱، ۰/۷، ۰/۶ و ۰/۶ به دست آمد.

تجزیه و تحلیل نقشه‌های کاربری ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶:

بعد از تجزیه و تحلیل روی تصاویر سنجنده ETM⁺ و لندست ۸، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۹ (۲۱ مرداد) و ۲۰۱۶ (۲۰ مرداد) تهیه گردید که نتایج آن در شکل ۹، قابل مشاهده است. سپس برای ارزیابی دقت نقشه‌ها از ضریب کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی در نرم‌افزار ENVI استفاده شد که در پژوهش‌های گذشته به مناسب بودن آن‌ها اشاره شده است (Foody، ۲۰۰۲؛ Schmitt-harsh، ۲۰۱۳؛ Ghasemiamin و همکاران، ۲۰۱۸). لذا ضریب کاپا و دقت کلی برای نقشه سال ۲۰۱۶ به ترتیب برابر ۹۵ و ۹۷ درصد به دست آمد که نتیجه به دست آمده، حاکی از دقت بالای مدل است.

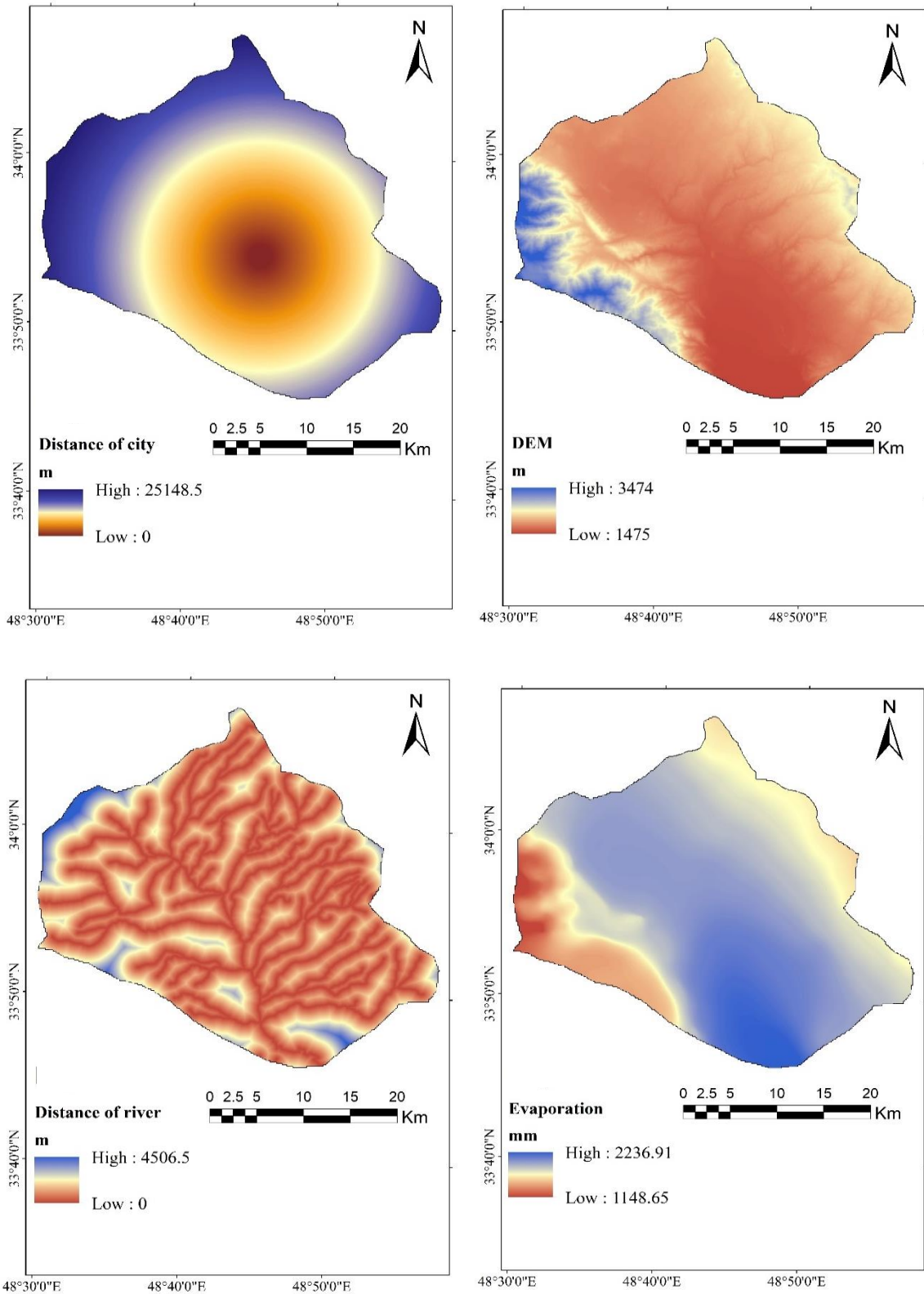
نتایج این بخش از پژوهش با نتایج Yecui (۲۰۱۳) در پکن، Gibreel و همکاران (۲۰۱۴) در چین، Liu و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه لیجیانگ چین، Huang و همکاران (۲۰۱۹) در کلان‌شهر شن-یانگ چین، Asghari Zamani و همکاران (۲۰۱۱) در زنجان، Babaei Aghdam (۲۰۱۱) در سرعین و Ghasemiamin و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه نوژیان مینی بر بالا بودن ضریب کاپا مطابقت دارد.

هر مرحله، پیکسل‌های اختصاص داده شده با میزان تقاضا کنترل شده و تا جایی ادامه یافت که میزان تقاضا و پیکسل‌های اختصاص داده شده برای کاربری‌ها برابر شوند. پس از این مرحله، شبه‌سازی و اختصاص کاربری‌ها برای سال بعد آغاز شد و تا رسیدن به سال ۲۰۲۶ ادامه یافت. در صورتی که تا ۲۰۰۰ تکرار، میزان تقاضا و پیکسل‌های اختصاص داده شده برابر نشوند، مدل خطا داده و باید تنظیمات مربوط به آن کنترل شود (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۳).

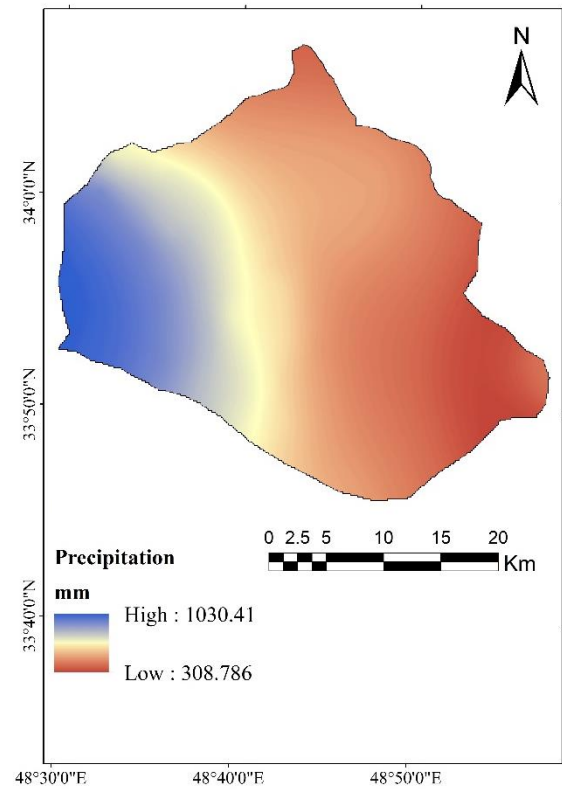
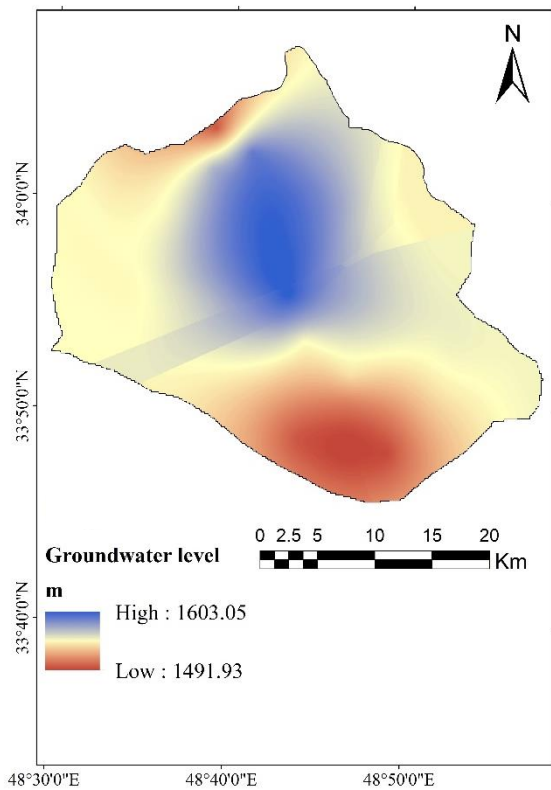
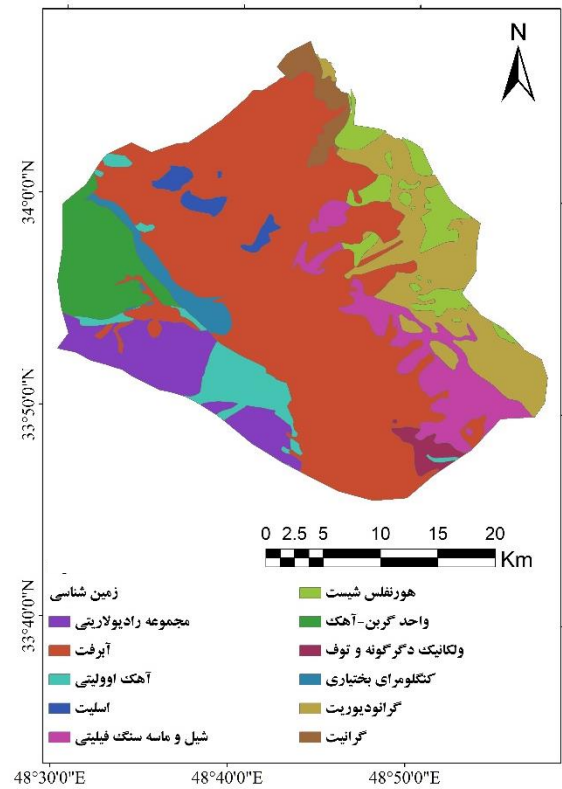
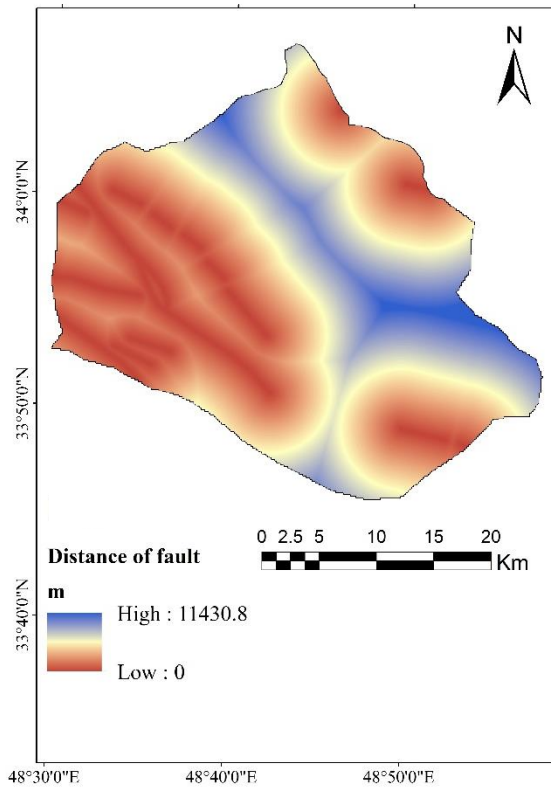
ارزیابی مدل CLUE-s: معمولاً برای ارزیابی مدل کاربری اراضی سال دارای نقشه واقعی شبه‌سازی شده و این دو نقشه با هم مقایسه می‌شوند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، در این پژوهش، شرایط تغییرات کاربری نسبتاً ثابت فرض شد و مدل از نظر تخصیص مکانی و شباهت دو نقشه در موقعیت کاربری‌ها واسنجی شد. به منظور واسنجی، پارامترهای برگشت‌پذیری و ماتریس تبدیل تغییر داده شد (Mohammadi و همکاران، ۲۰۱۳) و نقشه شبه‌سازی شده با نقشه واقعی ۲۰۱۶ مقایسه شد. برای ارزیابی دقت شبه‌سازی نیز از ضریب کاپا برای تمام پیکسل‌ها در نرم‌افزار ENVI استفاده شد.

نتایج و بحث

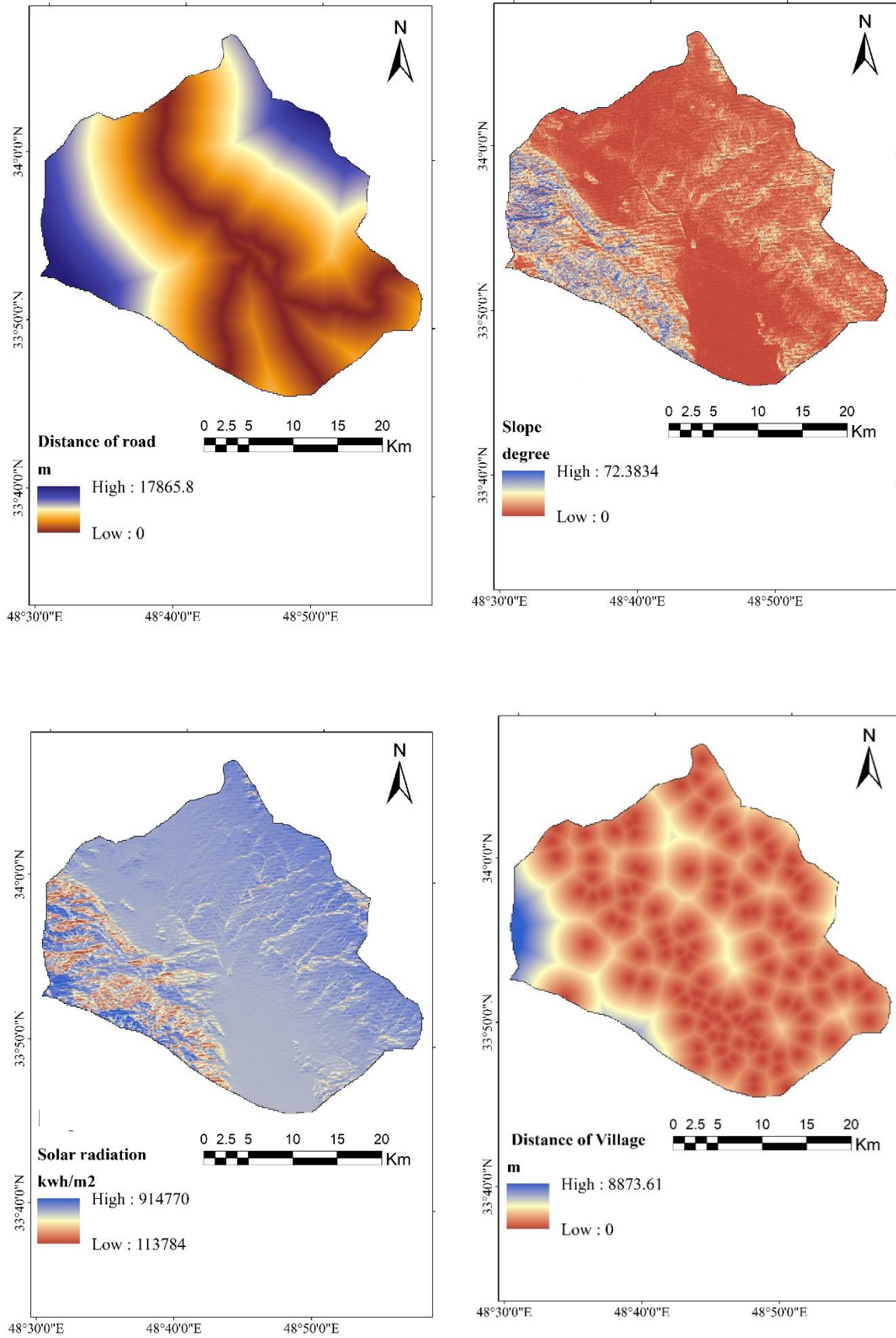
تجزیه و تحلیل نقشه‌های عوامل تأثیرگذار بر کاربری اراضی: عوامل تأثیرگذار بر کاربری اراضی، شامل نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، فاصله از شهر، تبخیر، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، بارش، تراز آب زیرزمینی، شیب، فاصله از جاده، فاصله از روستا، تابش خورشیدی و بافت خاک در محیط GIS تهیه شدند (شکل‌های ۵ تا ۸) و سپس به منظور استفاده در مدل CLUE-S به فرمت ASCII تبدیل شدند. با توجه به نقشه‌های تهیه شده، کمینه و بیشینه ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۴۷۵ و ۳۴۷۵ متر از سطح دریا است و مرتفع‌ترین مناطق در بخش غربی حوضه واقع شده‌اند. کمینه تبخیر در بخش غربی منطقه مطالعاتی است که با حرکت از غرب حوضه به سمت



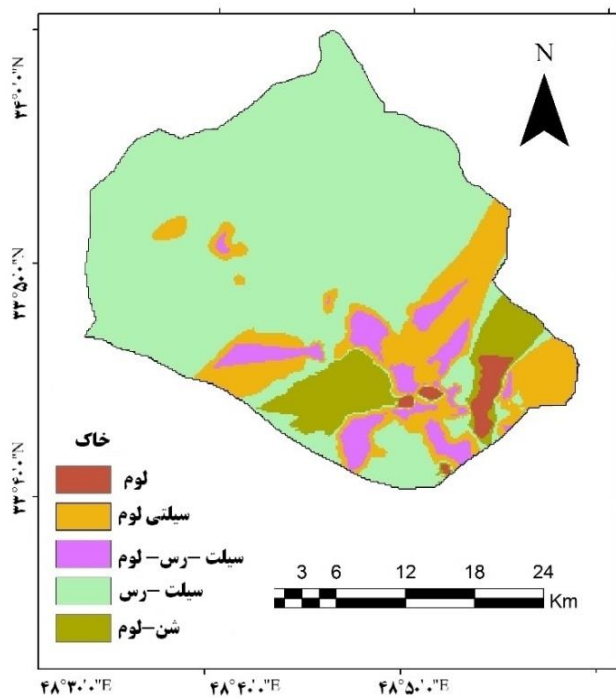
شکل ۵- الف- نقشه مدل رقمی ارتفاع، ب- نقشه فاصله از شهر، ج- نقشه تبخیر و د- نقشه فاصله از رودخانه



شکل ۶- الف- نقشه زمین‌شناسی، ب- نقشه فاصله از گسل، ج- نقشه بارش و د- نقشه تراز آب زیرزمینی



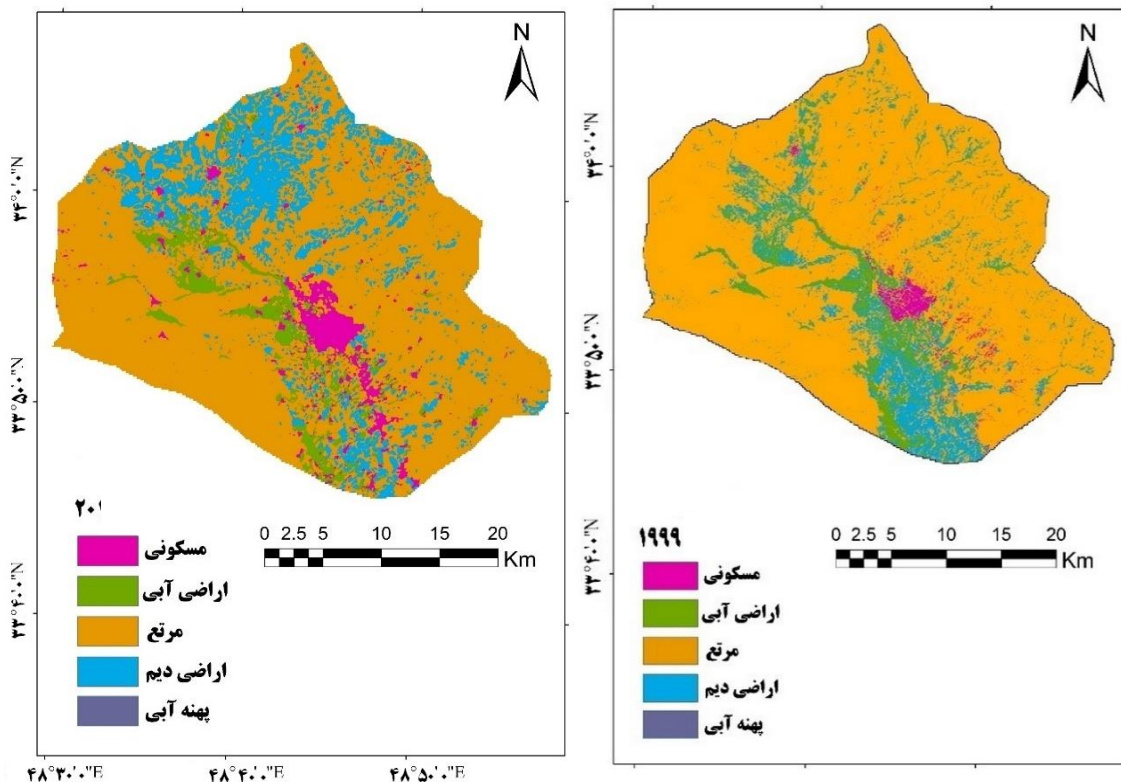
شکل ۷- الف- نقشه شیب، ب- نقشه فاصله از جاده، ج- نقشه فاصله از روستا و د- نقشه تابش خورشیدی



شکل ۸- نقشه بافت خاک

کاربری اراضی براساس برون‌یابی تغییرات گذشته بررسی شد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

همچنین در محیط GIS، مساحت کاربری‌ها و میزان تغییرات آن‌ها به‌منظور تعیین میزان تقاضای



شکل ۹- نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶

جدول ۱- مساحت و میزان تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز رحیم‌آباد

نوع کاربری	مساحت (هکتار)		میزان تغییرات (افزایش یا کاهش کاربری طی دوره (هکتار))
	سال ۱۹۹۹	سال ۲۰۱۶	
مسکونی	۱۶۰۵	۴۴۶۴/۵	۲۸۵۹/۵
مرتع	۸۰۸۶۶	۷۲۸۴۶	-۸۰۲۰
اراضی آبی	۶۰۴۳	۶۱۳۷	۹۴
اراضی دیم	۱۱۳۸۸	۱۶۴۵۰	۵۰۶۲
پهنه آبی	۰	۴/۵	۴/۵
مساحت کل	۹۹۹۰۲	۹۹۹۰۲	...

از مدل CLUE-S انجام شد و نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۶ مطابق شکل ۱۱ تهیه شد.

همان‌طور که در نقشه کاربری ۲۰۲۶ می‌مشاهده شود، در صورتی‌که روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز رحیم‌آباد ادامه یابد، وسعت مناطق مسکونی افزایش می‌یابد. در این سال، مراتع قسمت‌های شمالی به کشاورزی تبدیل شده و با توجه به این که در مدل، تقاضای مشخصی برای کشاورزی تعیین شده، پس از تبدیل تمام مراتع شمالی به کشاورزی در قسمت‌های غربی و شرقی نیز زمین‌های کشاورزی توسعه یافته و کاربری مرتع تخریب شده است.

نتایج مربوط به مساحت و میزان تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۶، در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به جدول مذکور، وسعت همه کاربری‌ها به جز کاربری مرتع در سال ۲۰۲۶ نسبت به سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶ افزایش یافته است. همچنین، میزان افزایش کاربری اراضی مسکونی بیشتر از سایر کاربری‌ها است، به‌گونه‌ای که میزان این افزایش در سال ۲۰۲۶ نسبت به سال ۱۹۹۹، ۲۸۲/۹۳ درصد و نسبت به سال ۲۰۱۶ برابر ۳۷/۶۶ درصد به‌دست آمده است. افزایش وسعت اراضی مسکونی در سال‌های آتی در پژوهش‌های Zhang و همکاران (۲۰۱۲) در چین، Yecui و همکاران (۲۰۱۳) در چین، Liu و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه لیجیانگ، Huang و همکاران (۲۰۱۹) در شن‌یانگ و نیز Mohammady و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه باغ سالیان در نتیجه پیش‌بینی الگوی مکانی با استفاده از مدل CLUE-S به اثبات رسیده است.

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، با مقایسه سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶، مقدار اراضی مرتعی کاهش و اراضی دیم، آبی، مسکونی و پهنه آبی افزایش یافته است. همچنین میزان تقاضای سالانه برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۶ برای هر کاربری در جدول ۲ آورده شده که نتایج به‌دست آمده برای هر سال مورد بررسی نیز مانند نتایج به‌دست آمده از مقایسه دو نقشه کاربری در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۶ است. با توجه به جدول تقاضای سالانه مشخص شد که کاربری مرتع کاهش یافته و به وسعت کاربری‌های دیگر اضافه شده است.

منحنی ROC: با بررسی دقت روش رگرسیون لجیستیک با استفاده از منحنی ROC، میزان سطح زیر منحنی‌ها برای کاربری‌های مرتع، اراضی دیم، اراضی آبی، پهنه آبی و مسکونی به‌ترتیب برابر ۰/۹، ۰/۸۸، ۰/۹۲، ۰/۹۱ و ۰/۹۱ به‌دست آمد (شکل ۱۰) که بیان‌گر دقت قابل قبول روش رگرسیون در بررسی عوامل مؤثر بر کاربری اراضی است (Nefeslioglu و همکاران، ۲۰۰۸).

ارزیابی مدل CLUE-S و تهیه نقشه کاربری اراضی ۲۰۲۶: به‌منظور ارزیابی مدل، از مقایسه نقشه به‌دست آمده از شبیه‌سازی و نقشه کاربری سال ۲۰۱۶ استفاده شد که مقدار ضریب کاپای برابر ۹۵ درصد، نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن شبیه‌سازی مدل برای آینده بود. علت به‌دست آمدن این میزان دقت، تکرار بالای مدل در برازش و نیز تهیه نقشه‌های عوامل تعیین‌کننده به‌صورت دقیق است. لذا، پس از وارد کردن فایل‌های مربوط به رگرسیون، ماتریس تبدیل و تقاضای کاربری به مدل، مدل‌سازی کاربری با استفاده

جدول ۲- میزان تقاضای سالانه (برحسب هکتار) برای هر کاربری در حوضه مطالعاتی

کاربری اراضی				سال
اراضی دیوم	اراضی آبی	مرتع	مسکونی	
۱۱۳۸۸	۶۰۴۳	۸۰۸۶۶	۱۶۰۵	۱۹۹۹
۱۱۶۸۶	۶۰۴۹	۸۰۳۹۴	۱۷۷۳	۲۰۰۰
۱۱۹۸۴	۶۰۵۴	۷۹۹۲۲	۱۹۴۱	۲۰۰۱
۱۲۲۸۱	۶۰۶۰	۷۹۴۵۱	۲۱۱۰	۲۰۰۲
۱۲۵۷۹	۶۰۶۵	۷۸۹۷۹	۲۲۷۸	۲۰۰۳
۱۲۸۷۷	۶۰۷۱	۷۸۵۰۷	۲۴۴۶	۲۰۰۴
۱۳۱۷۵	۶۰۷۶	۷۸۰۳۵	۲۶۱۴	۲۰۰۵
۱۳۴۷۲	۶۰۸۲	۷۷۵۶۴	۲۷۸۲	۲۰۰۶
۱۳۷۷۰	۶۰۸۷	۷۷۰۹۲	۲۹۵۰	۲۰۰۷
۱۴۰۶۸	۶۰۹۳	۷۶۶۲۰	۳۱۱۹	۲۰۰۸
۱۴۳۶۶	۶۰۹۸	۷۶۱۴۸	۳۲۸۷	۲۰۰۹
۱۴۶۶۳	۶۱۰۴	۷۵۶۷۷	۳۴۵۵	۲۰۱۰
۱۴۹۶۱	۶۱۰۹	۷۵۲۰۵	۳۶۲۳	۲۰۱۱
۱۵۲۵۹	۶۱۱۵	۷۴۷۳۳	۳۷۹۱	۲۰۱۲
۱۵۵۵۷	۶۱۲۰	۷۴۲۶۱	۳۹۵۹	۲۰۱۳
۱۵۸۵۴	۶۱۲۶	۷۳۷۹۰	۴۱۲۸	۲۰۱۴
۱۶۱۵۲	۶۱۳۱	۷۳۳۱۸	۴۲۹۶	۲۰۱۵
۱۶۴۵۰	۶۱۳۷	۷۲۸۴۶	۴۴۶۴	۲۰۱۶
۱۶۷۴۸	۶۱۴۲	۷۲۳۷۴	۴۶۳۲	۲۰۱۷
۱۷۰۴۵	۶۱۴۸	۷۱۹۰۳	۴۸۰۰	۲۰۱۸
۱۷۳۴۳	۶۱۵۳	۷۱۴۳۱	۴۹۶۹	۲۰۱۹
۱۷۶۴۱	۶۱۵۹	۷۰۹۵۹	۵۱۳۷	۲۰۲۰
۱۷۹۳۹	۶۱۶۴	۷۰۴۸۷	۵۳۰۵	۲۰۲۱
۱۸۲۳۶	۶۱۷۰	۷۰۰۱۶	۵۴۷۳	۲۰۲۲
۱۸۵۳۴	۶۱۷۵	۶۹۵۴۴	۵۶۴۱	۲۰۲۳
۱۸۸۳۲	۶۱۸۱	۶۹۰۷۲	۵۸۰۹	۲۰۲۴
۱۹۱۳۰	۶۱۸۶	۶۸۶۰۰	۵۹۷۸	۲۰۲۵
۱۹۴۲۷	۶۱۹۲	۶۸۱۲۹	۶۱۴۶	۲۰۲۶

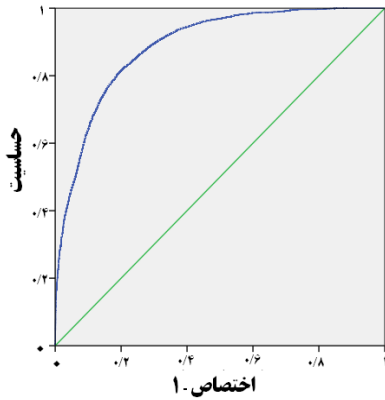
نتیجه‌گیری

روش رگرسیون از سطح زیر منحنی ROC استفاده شد که ارزیابی روش رگرسیون، دقت بالایی را نشان داد که مهمترین دلیل آن، تعداد زیاد نقاط انتخابی بود. به‌عنوان مثال برای کاربری مرتع که مساحت ۸۰۸۶۶ هکتار از حوضه را شامل می‌شود، تعداد ۴۰۰۰۰ نقطه با وزن یک و تعداد ۲۰۰۰۰ نقطه با وزن صفر انتخاب شد، همچنین، در صورتی که تغییرات کاربری اراضی بر اساس روند گذشته باشد، از سطح مراتع حوضه

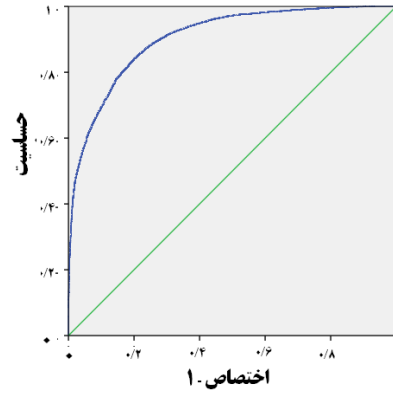
کاربری اراضی، نقش مهمی در حفاظت خاک، میزان آلودگی محیط زیست و تولید رواناب دارد که توجه به آن ضروری است. افزایش رواناب از جمله اثرات مهم تغییر کاربری به‌ویژه تخریب منابع طبیعی و تبدیل به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی است (Brinkmann و همکاران، ۲۰۱۲؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۹). در این پژوهش، برای بررسی دقت

کاسته و بر مساحت کاربری شهری و کاربری اراضی افزوده می‌شود. با توجه به خشکسالی‌های رخ داده در سال‌های اخیر، مهاجرت از شهرهای دیگر به شهر

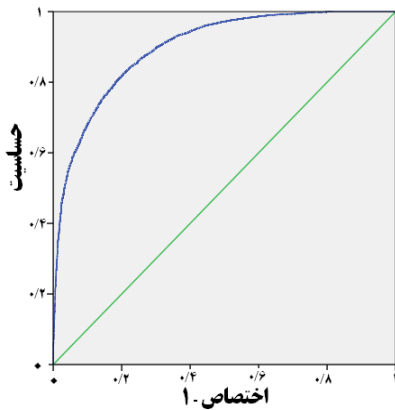
بروگرد موجب شده که وسعت منطقه مسکونی افزوده شود.



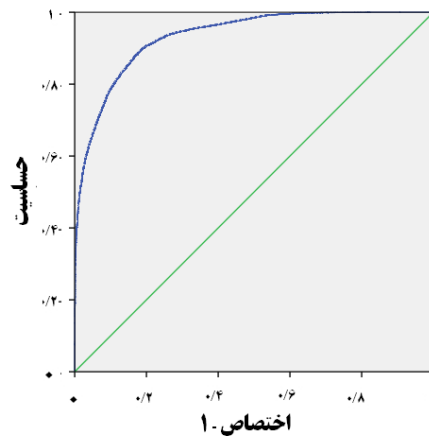
کاربری اراضی دیم (۰/۸۸)



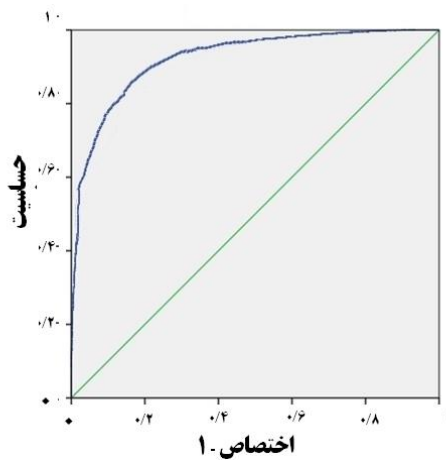
کاربری مرتع (۰/۹)



کاربری اراضی آبی (۰/۹)

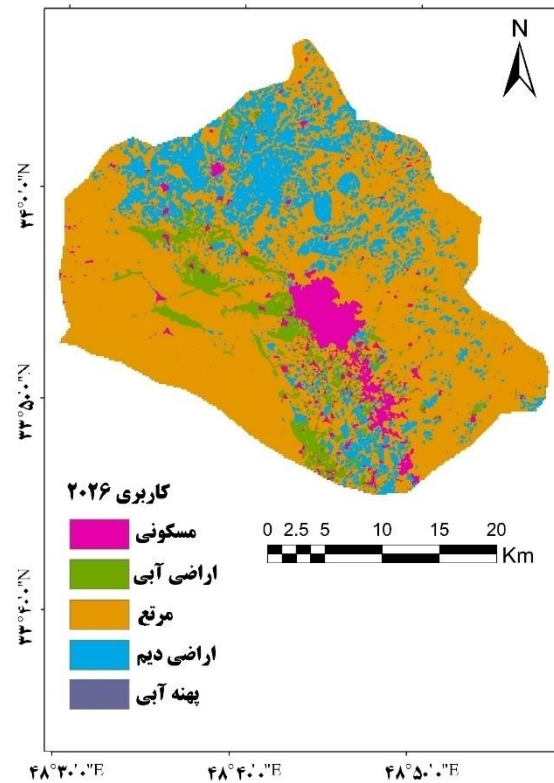


کاربری پهنه آبی (۰/۹۲)



کاربری مسکونی (۰/۹۱)

شکل ۱۰- منحنی ROC مربوط به روابط رگرسیونی کاربری مرتع (سمت راست، بالا)، کاربری اراضی دیم (سمت چپ، بالا)، کاربری پهنه آبی (سمت راست، پایین)، کاربری اراضی دیم (سمت چپ، پایین)، کاربری مسکونی (وسط، پایین)



شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۶ حوزه آبخیز رحیم‌آباد

جدول ۳- مساحت و میزان تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز مطالعاتی

نوع کاربری	تغییرات ۲۰۲۶ نسبت به ۱۹۹۹			تغییرات ۲۰۲۶ نسبت به ۲۰۱۶		
	سال ۱۹۹۹	سال ۲۰۱۶	سال ۲۰۲۶	سال ۲۰۱۶	سال ۲۰۲۶	مساحت (هکتار)
مسکونی	۱۶۰۵	۴۴۶۴/۵	۶۱۴۶	۴۴۶۴/۵	۶۱۴۶	۱۶۰۵
مرتع	۸۰۸۶۶	۷۲۸۴۶	۶۸۱۲۹	۷۲۸۴۶	۶۸۱۲۹	۸۰۸۶۶
اراضی آبی	۶۰۴۳	۶۱۳۷	۶۱۹۲	۶۱۳۷	۶۱۹۲	۶۰۴۳
اراضی دیم	۱۱۳۸۸	۱۶۴۵۰	۱۹۴۲۷	۱۶۴۵۰	۱۹۴۲۷	۱۱۳۸۸
پهنه آبی	۰	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۰
مساحت کل	۹۹۹۰۲	۹۹۹۰۲	۹۹۹۰۲	۹۹۹۰۲	۹۹۹۰۲	۹۹۹۰۲

جمله فرسایش خاک و تولید رسوب، آلودگی‌های کشاورزی، حرکات توده‌ای زمین و افزایش سیلاب را به‌دنبال خواهد داشت که مدل CLUE-s به خوبی می‌تواند کاربری اراضی منطقه مطالعاتی را برای سال‌های آینده شبیه‌سازی کند و یک ابزار بسیار مفید و کارآمد در تجزیه و تحلیل کاربری‌های شهری و غیرشهری باشد. اما نکته حائز اهمیت این است که

بنابراین، اطلاع از وضعیت کاربری اراضی در سال‌های آینده، نقش زیادی در مدیریت کاربری اراضی دارد و می‌تواند نقشی حیاتی در گسترش آینده شهر و کاهش مشکلات آن داشته باشد. بدون تردید تخریب منابع طبیعی و تبدیل به مناطق مسکونی و کشاورزی در آینده‌ای نه چندان دور، حوزه آبخیز رحیم‌آباد را در معرض بحران قرار داده و پیامدهایی از

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آینده، به مدیران اجرایی در تصمیم‌گیری کمک بیشتری می‌کند و با آگاهی از شرایط آینده می‌تواند تغییرات کاربری اراضی را کنترل کنند و اقداماتی برای اصلاح و توسعه منابع طبیعی انجام دهند.

قبل از مدل‌سازی، متغیرها و شاخص‌های اثرگذار بر تغییرات کاربری اراضی به درستی و به‌صورت جامع تعیین شوند، چرا که این عوامل در مناطق مطالعاتی گوناگون، متفاوت است. همچنین، در نظر گرفتن سناریوهای مختلف (مانند سناریوهای مداخله دولت)

منابع مورد استفاده

1. Asghari Zamani, A., S. Maleki and A. Movahhed. 2011. Predicting land use changes using CLUE_s software package: the case of Zanjan. *Journal of Geography and Regional Development*, 15: 39-64 (in Persian).
2. Babaei Aghdam, F., N. Azimi and I. Hosseini. 2011a. Modeling land use patterns using with CLUE_s model, a case study of Meshkinshahr City. *Journal of Studies of Human Settlements Planning*, 6(14): 1-18 (in Persian).
3. Babaei Aghdam, F., U. Esmaili and A. Heidari Sarban. 2011b. Modeling the land use pattern of Sarein City at the horizon of 1400 using the CLUE-s model. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 26(4): 17595-17619 (in Persian).
4. Babaei Aghdam, F. and H. Ebraheemzade Asmin. 2011c. Modeling agricultural and arid land use changes into built-up in Ardabil urban region using CLUE-s model. *Geography and Development Iranian Journal*, 10(26): 21-34 (in Persian).
5. Brinkmann, K., J. Schumacher, A. Dittich, 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.
6. Chen, Y., Y. Xu and Y. Yin. 2009. Impacts of land use change scenarios on storm runoff generation in Xitiao Basin, China. *Quaternary International*, 208: 121-128.
7. Foody, G.M. 2002. Status of land covers classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 185-201.
8. Fox, J., J.B. Vogler, O.L. Sen, T.W. Giambelluca and A.D. Ziegler. 2012. Simulating land cover change in montane mainland Southeast Asia. *Environmental Management*, 49: 968-979.
9. Geist, H., W. McConnell, E.F. Lambin, E. Moran, D. Alves and T. Rudel. 2006. Causes and trajectories of land-use/cover change. *Land-use and land-cover change*, 2: 41-70.
10. Ghasemiamin, N., N. Arman and H. Zeinivand. 2018. Simulation of land use map related to years of 2025 by CLUE-s, GIS and RS models in Nojian Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(3): 294-303 (in Persian).
11. Gibreel, T.M., S. Herrmann, K. Berkhoff, E.A. Nuppenau and A. Rinn. 2014. Farm types as an interface between an agro-economical model and Clue-Naban land change model: application for scenario modeling. *Ecological Indicators*, 36: 766-778.
12. Hietel, E., R. Waldhardt and A. Otte. 2004. Analyzing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse Germany. *Landscape Ecology*, 19: 473-489.
13. Hosmer, D.W. and S. Lemeshow. 2000. *Applied logistic regression*. John Wiley and Sons, New York, 511 pages.
14. Hosmer, D. 2000. *Applied logistic regression*. Wiley Intercedence Publication, 396 pages.
15. Huang, D., J. Huang and T. Liu. 2019. Delimiting urban growth boundaries using the CLUE-s model with village administrative boundaries. *Land Use Policy*, 82: 422-435.
16. Huixia, L., L. Guohua and F. Bojie. 2012. Estimation of regional evapotranspiration in Alpine area and its response to land use change, a case study in three-river headwaters region of Qinghai-Tibet Plateau. *China Geographical Sciences*, 22(4): 437-449.
17. Liu, G., Q. Jin, J. Li, L. Li, Ch. He, Y. Huang and Y. Yao. 2017. Policy factors impact analysis based on remote sensing data and the CLUE-S model in the Lijiang River Basin, China. *Catena*, 158: 286-297.
18. 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.
19. Mohammadi, M., H. Moradi and H. Zainiwand. 2013. Simulation of land use in Salahian Basin in future years using CLUE-s model to optimize land use. *Proceedings of the First National Conference on Natural Resources Management*, March 8, Gonbad-e-Kavos University.
20. Mohammady, M., H.R. Moradi, H. Zeinivand, A.J.A.M. Temme and M.R. Yazdani. 2018. Modeling and assessing the effects of land use changes on runoff generation with the CLUE-s and WetSpa

- models. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(1-2): 459-471.
21. Nefeslioglu, H.A., T.Y. Duman and S. Durmaz. 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.
 22. Pappas, E.A., D.R. Smith, C. Huang, W.C. Shuster and J.V. Bonta. 2008. Impervious surface impacts to runoff and sediment discharge under laboratory rainfall simulation. *Catena*, 72(1): 146-152.
 23. Schmitt-harsh, 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.
 24. Verburg, P.H. and A. Veldkamp. 2004. Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landscape Ecology*, 19: 77-98.
 25. Verburg, P. 2010. CLUE model. University Amesterdam, IVM Institute for Environmental Studies, 53 pages.
 26. Yecui, H., Z. Yunmei and Z. Xinqi. 2013. Simulation of land-use scenarios for Beijing using CLUE-s and Markov composite models. *China Geographical Sciences*, 23(1): 92-100.
 27. Zhang, X.Q., L. Zhao, W.N. Xiang, N. Li, L.N. Lv and X. Yang. 2012. Coupled model for simulating spatio-temporal dynamics of land-use change, a case study in changing Jinan China. *Landscape and Urban Planning*, 106: 51-61.