

بررسی توانایی مدل Dyna-CLUE در تحلیل و پیش‌بینی الگوهای آبی کاربری اراضی در حوضه آبخیز سیمینه‌رود

سهیلا یونس‌زاده^۱، علی سلاجقه^{۲*}، طیبه مصباح‌زاده^۳، مسعود تجریشی^۴، شهرام خلیقی سیگارودی^۵، حمید طاهری شهرائینی^۶

۱. دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

۴. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۵. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

۶. پژوهشگر، مؤسسه Meteorologie, Freie Universität, برلین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۶؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰)

چکیده

تغییر کاربری اراضی، نتیجه تعامل پیچیده بین بسیاری از فرایندها هستند. به‌منظور درک این پویایی‌ها، مدل‌های بسیاری در دهه‌های اخیر تولید شده‌اند. مطالعه حاضر با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای Landsat و استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال، به بررسی الگوی کاربری اراضی حوضه آبخیز سیمینه‌رود در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ پرداخته و سیر تبدیلات تاریخی آنها را مشخص می‌کند. در نهایت، سناریوهای مختلف تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۱۹، با بهره‌گیری از آخرین نسخه موجود مدل Dyna-CLUE بررسی شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی بیانگر کارایی مدل Dyna-CLUE در تحلیل و پیش‌بینی الگوهای کاربری اراضی در سطح حوضه‌ای بوده و ضرایب واسنجی و اعتبارسنجی آن در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹ به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۶۹ است. تحلیل تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ نشان داده که بیشترین تغییر، تبدیل اراضی مرتعی به کشت آبی است؛ به طوری که حدود ۳۴۳ کیلومترمربع از اراضی مرتعی (معادل ۱۳ درصد) کاهش یافته و اراضی کشاورزی آبی حدود ۱۲۷ درصد رشد داشته است. همچنین، آرایش مکانی کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۱۴۱۹ در قالب سه سناریوی خوش‌بینانه، بدبینانه و ادامه روند گذشته بررسی و خروجی‌های آن نشان داده است که الگوی آبی غالب کلاس‌های کاربری اراضی منطقه نسبت به الگوهای فضایی تاریخی تغییر زیادی نکرده و پیشروی به‌صورت مجاورتی بوده است. نتایج مطالعه حاضر می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد، برنامه‌ریزان محیط زیست را در تجهیز مدیریتی زیرساخت‌های آبی حوضه سیمینه‌رود یاری دهد.

کلیدواژگان: الگوریتم حداکثر احتمال، اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی آبی، مدل‌سازی کاربری اراضی.

مقدمه

مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز متکی بر دانش عمیق از آرایش کاربری اراضی آنها است. به‌منظور ارزیابی تأثیر توسعه احتمالی بر محیط زیست، اقتصاد و جامعه در آینده، درک عمیق‌تر عوامل تعیین‌کننده پیکربندی مکانی کاربری اراضی ضروری است. سیستم کاربری اراضی نتیجه تعامل و بازخوردهای پیچیده است که در ارتباط بین چندین سیستم اجتماعی و زیست‌محیطی قرار دارد؛ کاربری اراضی و تغییرات کاربری اراضی تابعی از ساختارهای اکولوژیکی، اجتماعی، نهادی و غیره هستند [۱]. تولید نقشه‌های کاربری اراضی و بررسی سیر تغییرات تاریخی آنها بر اساس روش‌های سنتی و مشاهدات زمینی، پرهزینه و زمان‌بر است. امروزه برای حل این چالش در بیشتر مطالعات از فناوری سنجش‌از‌دور استفاده می‌شود.

داده‌های حاصل از سنجش‌از‌دور به دلیل قدرت تفکیک زیاد، پوشش مکانی وسیع، ارزانی و آرشو زمانی غنی بسیار پر استفاده هستند. در این زمینه، نقشه‌های کاربری اراضی از دو شیوه کلی شیء پایه و پیکسل پایه تولید می‌شوند؛ روش پیکسل پایه خود به دو گروه نظارت‌شده و نظارت‌نشده تقسیم می‌شود [۲]. روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، مرسوم‌ترین شیوه تفکیک کاربری اراضی در منابع موجود است. همچنین، تا کنون روش حداکثر احتمال پر استفاده‌ترین و دقیق‌ترین روش از بین روش‌های نظارت‌شده است [۳]. با استفاده از آرشو بلندمدت تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های استخراج اطلاعات آن، امکان تحلیل تغییرات تاریخی الگوی کاربری اراضی فراهم می‌شود؛ اما بررسی گسترش فضایی کلاس‌های کاربری اراضی در آینده و پیش‌بینی الگوهای آتی آن، منوط به استفاده از مدل‌های کاربری اراضی است.

تا کنون چندین مدل بر اساس فعالیت‌های انسانی و محرک‌های اجتماعی-اقتصادی برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی ساخته شده‌اند، از جمله: مدل تبدیل کاربری اراضی و تأثیرات آن^۱ (CLUE) [۴]، مدل اتوماتای سلولی^۲ (CA) [۵] و تغییرات پوشش کاربری اراضی^۳ (LUCC) [۶]. دو روش آخر به ترتیب به دلیل عدم کفایت برای

طراحی کاربری اراضی و سیاست‌گذاری و ضعف در توضیح رفتارهای انسانی، کمتر موفقیت‌آمیز بوده‌اند. به همین دلیل، به‌تازگی روش‌های مدل‌سازی و تبدیل کاربری اراضی و تأثیرات آن (CLUE) تکمیل‌تر شده و بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. Dyna-CLUE یک مدل ترکیبی است که متشکل از پارامترهای کاملاً مبتنی بر GIS و همچنین، پارامترهایی مانند تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری، سناریوها و روندها، محرک‌های تغییر و... است. پارامترهای مدل می‌توانند مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف و پیش‌بینی روابط و بازخوردهای مربوط به پیچیدگی فرایندهای تغییر کاربری اراضی را امکان‌پذیر سازند [۷] و [۸]. این مدل ابتدا در سال ۱۹۹۶ توسط ولد کامپ و فرسکو ساخته شد. سپس، به‌منظور متناسب شدن با شبیه‌سازی‌های مقیاس کوچک، توسط پیتر وربورگ و دانشگاه واخنینگن بهبود یافت و اصلاح شد [۹ و ۱۰]. نسخه‌های جدیدتر این نرم‌افزار نیز مدل‌های Dyna-CLUE و CLUE-Scanner بوده که از لحاظ روش‌شناسی به‌روزرسانی شده‌اند.

به منظور بررسی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سرتاسر دنیا مطالعات متعددی صورت گرفته، اما بررسی مطالعات قبلی داخلی نشان می‌دهد در حوزه محیط زیست و منابع طبیعی کمتر از مدل Dyna-CLUE استفاده شده و بیشتر در گروه علوم انسانی و برای بررسی گستردگی شهری از آن استفاده شده است. بابایی اقدام و ابراهیم‌زاده آسمین (۲۰۱۲) به تبیین میزان و چگونگی تبدیل کاربری‌های زراعی و بایر موجود در منطقه شهری اردبیل به سطوح ساخته‌شده و در وهله بعدی، مدل‌سازی الگوی آتی این تغییرات تا افق ۱۴۰۰ با استفاده از مدل CLUE-S پرداختند. در این مطالعه نه عامل محرک جنس زمین، شیب زمین، قیمت زمین، ارتفاع زمین، تراکم جمعیت، جهات شیب، فاصله از مرکز شهر، فاصله از راه‌ها و تیپ اراضی استفاده شده و تحلیل آماری میزان و نوع روابط بین متغیرهای وابسته و مستقل تحقیق با استفاده از رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار SPSS صورت گرفته است. نویسندگان این مطالعه بر توانایی مدل CIUE در پیش‌بینی الگوی آتی کاربری اراضی در سطوح قاره‌ای، ملی و محلی تأکید کرده‌اند [۱۰]. فتحیان و همکاران (۲۰۱۳) روند تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از

1. Conversion of Land-Use & its Effects
2. Automata Cellular
3. Land-use Cover Changes

است. هدف از پژوهش یادشده، پیش‌بینی سری نقشه‌های کاربری اراضی در حوضه آبخیز مطالعه‌شده طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ میلادی بوده که با استفاده از الگوریتم تخصیص کاربری اراضی مدل Dyna-CLUE انجام شده و سه سناریوی مختلف برای توسعه آینده منطقه با شرایط اولیه و محدودیت‌های متفاوت در نظر گرفته شده است. برخی از نتایج مطالعه یادشده نشان داده این مدل، ابزاری ارزشمند برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در سطح محلی و ایجاد یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار کاربری اراضی در حوضه آبخیز است. در دسترس بودن داده‌ها و کیفیت آنها، اصلی‌ترین موانع پیش روی تحقیق یادشده بوده است [۸]. تیزورا (۲۰۱۸) یک مدل ترکیبی با ترکیب مفاهیم Dyna-CLUE و Markov را در استان کیپ غربی^۱ به منظور درک محرک‌های تغییر کاربری اراضی و چگونگی تأثیر عوامل مختلف بر آن، به کار گرفته است. در مطالعه یادشده بررسی تغییرات در کاربری اراضی با استناد به مطالعات موجود، استفاده از مجموعه داده‌های ملی کاربری اراضی آفریقای جنوبی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳-۲۰۱۴ میلادی و نظر متخصصان در قالب مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با برنامه‌ریزان شهرداری صورت پذیرفته است. مدل ترکیبی، نقشه‌های احتمال و نقشه‌های شبیه‌سازی را طی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۴ میلادی تولید کرده است. اعتبارسنجی نقشه‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از تجزیه و تحلیل بصری و آماری انجام شده و نتایج نشان داده است که نقشه‌های شبیه‌سازی شده با نقشه اعتبارسنجی مطابقت خوبی دارند [۱۴].

بررسی سوابق پژوهشی، حکایت از این مسئله دارد که در تحقیقات انجام شده با استفاده از این مدل در خارج از کشور، کارایی مدل در پیش‌بینی انواع کلاس‌های کاربری اثبات شده است. در بیشتر مطالعات صورت گرفته در ایران، از مدل Dyna-CLUE در پیش‌بینی گسترش فضاهای شهری استفاده شده و کاربرد این مدل در عرصه مطالعات مربوط به منابع طبیعی به قدر کافی بررسی نشده است. مطالعه حاضر به همراه مطالعه شیرمحمدی و همکاران (۲۰۲۰) گویای نتایج خوب این مدل در انواع کاربری‌های

فناوری سنجش‌ازدور در قسمت شرقی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه برای سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۶۸، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۰ با استفاده از ماهواره لندست بررسی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد از میان روش‌های طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف، روش حداکثر شباهت با دقت کلی بیش از ۸۵ درصد و ضریب کاپای بیش از ۰/۸ مناسب‌ترین روش برای اجرای مطالعه است [۱۱]. شهبان (۲۰۱۴) به تبیین میزان و چگونگی تبدیل کاربری‌های زراعی و بایر موجود در منطقه ۱۴ شهر اصفهان به کاربری سطوح ساخته‌شده و در گام بعدی، به مدل‌سازی الگوی آبی این تغییرات تا سال ۱۴۰۵ با به‌کارگیری مدل CLUE-S پرداخته است. در مطالعه یادشده نه عامل محرک جنس زمین، شیب زمین، قیمت زمین، تراکم جمعیت، فاصله از بزرگراه، فاصله از تأسیسات و تجهیزات شهری، فاصله از کاربری آموزشی و فاصله از کاربری درمانی در نظر گرفته شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و تبیین علل ایجاد تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تحلیل رگرسیون لجستیکی در محیط نرم‌افزار SPSS صورت پذیرفته است. بر اساس دیدگاه نویسندگان پژوهش یادشده، مدل Dyna-CLUE در کنار بسته‌های نرم‌افزاری جی‌آی‌اس، قابلیت تحلیل و ارزش‌یابی، پیش‌بینی و شبیه‌سازی الگوهای رشد و گسترش فضایی - کالبدی شهرها و تغییرات کاربری اراضی را دارد و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارآمد در تحلیل کاربری‌های زمین اعم از شهری و غیرشهری، به کار گرفته شود [۱۲]. شیرمحمدی و همکاران (۲۰۲۰) به منظور نیل به اهداف مدیریت جامع و همچنین، درک تأثیر تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در تولید آب حوضه آبخیز مردق چای، از مدل InVEST تحت سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده کردند. برای این منظور، ابتدا تغییرات ایجادشده در کاربری اراضی منطقه طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۵ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره ای بررسی شد. سپس، تغییرات احتمالی آنها از طریق مدل Dyna-CLUE برای سال ۱۴۰۹ تحت چهار سناریوی تغییر کاربری اراضی شبیه‌سازی شد. نویسندگان مقاله یادشده بر توانایی مدل Dyna-CLUE در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تأکید داشته‌اند [۱۳]. الخوری (۲۰۱۲) به بررسی کاربری اراضی در حوضه آبخیز South Nation در شرق انتاریو پرداخته

1. The Western Cape Province

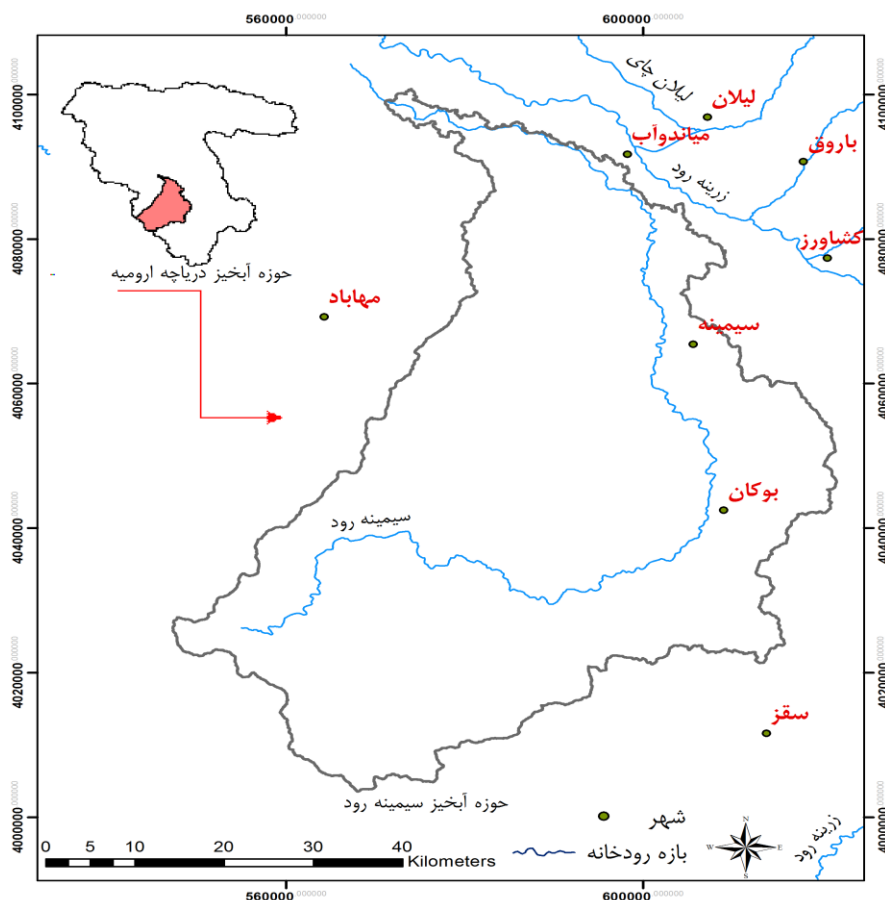
میلی‌متر و میانگین دمای حداقل و حداکثر سالانه به ترتیب معادل $۶/۹$ و $۱۹/۳$ درجه سانتی‌گراد است. سیمینه‌رود از رودخانه‌های مهم حوضه آبخیز دریاچه ارومیه است. حوضه سیمینه‌رود (شکل ۱) در قسمت‌هایی از شهرستان‌های مهاباد، سقز، بوکان و میاندوآب قرار دارد و از تلاقی دو شاخه عمده آن به نام‌های تاتائو و زاوه کوه تشکیل می‌شود. شاخه‌های اولیه سیمینه‌رود، به نام چم سوناس از دامنه‌های جنوبی و شرقی کوه نیستان به ارتفاع ۲۴۱۰ متر واقع در ۲۲ کیلومتری شمال غربی سردشت سرچشمه می‌گیرند. این رود در نهایت در منطقه سلدوز با تشکیل دلتایی وسیع به باتلاق‌های حاشیه جنوبی دریاچه ارومیه فرو می‌رود [۱۵]. افزایش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی آبی و تغییر الگوی کشت از سمت محصولات کم‌مصرف به محصولاتی با نیاز آبی زیاد همگی نمونه‌هایی از تأثیرات تغییرات کاربری اراضی در بحران به‌وجودآمده در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه و زیرحوضه سیمینه‌رود هستند.

شهری و غیرشهری در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز دریاچه ارومیه است، اما کم‌تعداد بودن مطالعات داخلی مدل Dyna-CLUE در عرصه کاربری‌های غیرشهری، تعریف پژوهش‌های بیشتری را در این زمینه می‌طلبد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی الگوی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ و بررسی سناریوهای مختلف تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۱۹ در حوضه آبخیز سیمینه‌رود است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز سیمینه‌رود در مختصات جغرافیایی بین ۴۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی به مساحت ۳۷۷۸۹۹ هکتار واقع شده است. تغییرات ارتفاعی در حوضه از ارتفاع ۱۲۵۸ تا ۲۸۰۰ متر متغیر است. میانگین بارش سالانه این منطقه حدود ۴۳۰



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده

جدول ۱. مشخصات و تاریخ تصاویر ماهواره‌اندست، اخذشده در مطالعه حاضر

ماهواره	شماره	وضوح تصویر (m)	ردیف و ستون	تاریخ اخذ تصویر	حس‌گر
Landsat 5 TM	۱	۳۰	۱۶۸-۳۴	۲۰۰۰/۰۷/۰۶	LT05_L1TP
	۲	۳۰	۱۶۸-۳۵	۲۰۰۰/۰۷/۲۲	LT05_L1TP
	۳	۳۰	۱۶۸-۳۴	۲۰۰۵/۰۷/۲۰	LT05_L1TP
	۴	۳۰	۱۶۸-۳۵	۲۰۰۵/۰۷/۰۴	LT05_L1TP
	۵	۳۰	۱۶۸-۳۴	۲۰۱۰/۰۷/۰۲	LT05_L1TP
	۶	۳۰	۱۶۸-۳۵	۲۰۱۰/۰۷/۰۲	LT05_L1TP
Landsat 8	۷	۳۰	۱۶۸-۳۴	۲۰۱۷/۰۷/۲۱	LC08_L1TP
	۸	۳۰	۱۶۸-۳۵	۲۰۱۷/۰۷/۲۱	LC08_L1TP

روش پژوهش

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

صحت‌سنجی نتایج از طریق ۵۰۰ نقطه کنترل Google Earth صورت گرفت. ضرایب صحت‌سنجی با استفاده از نرم‌افزار GIS 10.5، دستور Confusion matrix و روش نمونه‌گیری Equalized-standard-random محاسبه شد. در گام بعدی، برای بررسی سیر اجمالی تغییرات کاربری اراضی در گذشته و بهره‌گیری از آن در تعریف الگوهای آبی کاربری حوضه، از نرم‌افزار Map comparison 3 KIT استفاده شده است. در مطالعه حاضر چگونگی بررسی تغییرات طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ به روش Per category comparison method یا مقایسه در هر کلاس کاربری به صورت پیکسل به پیکسل است. در این روش به ازای هر کلاس کاربری و در هر پیکسل، نوع تغییرات در قالب وجود داشتن یا نداشتن آن کلاس در نقشه‌های سال اول و آخر دوره زمانی بررسی می‌شود.

اصول شبیه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از DYNACLUE

مدل Dyna-CLUE به دو ماژول فضایی تخصیص و غیر فضایی تقاضا تقسیم می‌شود. ماژول غیر فضایی، مساحت تغییرات همه انواع کاربری اراضی را در سطح کل محاسبه می‌کند و در ماژول فضایی این تقاضاها به تغییرات کاربری در موقعیت‌های مکانی ترجمه می‌شود. در واقع نتایج ماژول تقاضا، مساحت پوشیده‌شده توسط هر کاربری را در مقیاس سالانه تعیین می‌کند و به‌عنوان ورودی مستقیم تحویل ماژول تخصیص می‌دهد. در ماژول تقاضا گزینه‌های مختلف از برون‌یابی ساده روندها تا مدل‌های پیچیده اقتصادی قابل بررسی بوده و تنظیم آنها بستگی به ماهیت مهم‌ترین نوع تغییرات کاربری رخ داده در منطقه مطالعه‌شده و سناریوهای تعریف‌شده دارد. تحلیل‌های

با در نظر گرفتن توان تفکیک مکانی، توان تفکیک طیفی، توان تفکیک رادیومتریک، آرشیو تاریخی تصاویر ماهواره‌ای مختلف و هدف مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای Landsat OLI 8 و Landsat TM5 مربوط به حوضه سیمینه‌رود در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ انتخاب شد. سپس، تصاویر یادشده از سرور USGS Global Visualization Viewer (<http://earthexplorer.usgs.gov>) با اعمال فیلتر درصد پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد دریافت شد (جدول ۱). قدرت تفکیک مکانی تصاویر یادشده ۳۰ متر بوده که در مرحله آخر برای هم‌خوانی با لایه‌های ورودی مدل dyna-CLUE به ۲۵۰ متر افزایش یافته است. خلاصه مراحل تولید نقشه‌های کاربری اراضی شامل موارد زیر می‌شود:

۱. تصحیح رادیومتریک؛
۲. تصحیح اتمسفریک FLAASH^۱؛
۳. آماده‌سازی تصاویر برای حوضه مطالعه‌شده شامل موزاییک، برش مرز؛
۴. ادغام باندهای NDVI^۲ و PCI^۳ به باندهای تصویر؛
۵. تهیه نقشه کاربری بر اساس روش طبقه‌بندی نظارت‌شده^۴؛
۶. انجام اصلاحات و اعمال تصحیحات محلی.

سپس، برای ارزیابی نقشه‌های تولیدشده نیاز به تعدادی نقطه مرجع است. نقاط مرجع از راه‌های پیمایش‌های زمینی و یا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بهتر انتخاب می‌شوند. در این پژوهش

1. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Principal Component Analysis
4. Maximum Likelihood

تبدیل سخت) متغیر هستند. به بیان دیگر، هرچه مقادیر به صفر نزدیک تر شوند، تبدیل کاربری اراضی آسان تر است و تبدیل کاربری اراضی در مقادیر نزدیک تر به ۱ سخت تر است [۱ و ۹].

تقاضای زمین (سناریوها)

فایل تقاضا در واقع سناریوهای تغییرات کمی تعریف شده برای مدل، به منظور تخصیص مکانی کلاس‌های کاربری اراضی هستند. در مطالعه حاضر سناریوها در راستای سیاست‌های صرف‌جویی مصرف آب در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه [۱۷] و در راستای سه حالت خوش‌بینانه، بدبینانه و ادامه روند گذشته مربوط به سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد،^۱ FAO [۱۸] طراحی شده است.

سناریوی به سمت پایداری (MTSS^۲): این سناریو آینده پایدار مبتنی بر حکمرانی و نظارت را نمایش می‌دهد و برای درک تغییرات مورد نیاز به منظور ساختن سیستم‌های پایدار مواد غذایی و کشاورزی طراحی شده است. در این سناریو سرمایه‌گذاری‌های درخور توجهی برای افزایش پایداری زیست‌محیطی، غذایی و کشاورزی و سایر بخش‌های اقتصاد انجام سیستم‌های شده که منجر به افزایش کارایی در استفاده از منابع طبیعی و کاهش تلفات پس از برداشت می‌شود [۱۸]. در این سناریو در سال ۱۴۱۹ سطح اراضی کشت آبی به ۲۵۵۱۲ هکتار می‌رسد و کاهش سطوح کشت آبی از مسیر تغییر از اراضی کشت آبی به کشت دیم صورت می‌پذیرد (در شرایط فعلی بعید است).

سناریوهای جوامع طبقه‌بندی شده (MSSS^۳): در این سناریو آینده ناپایدار مبتنی بر عدم حکمرانی و نظارت شکل گرفته و سرمایه‌گذاری برای افزایش پایداری سیستم‌های غذایی و کشاورزی صورت نگرفته یا بسیار محدود است. همچنین، در نتیجه ناپایداری ایجاد شده، استفاده از منابع طبیعی ناکارآمدتر می‌شود و مقدار آن کاهش می‌یابد [۱۸]. در این سناریو سطح اراضی کشت آبی در سال ۱۴۱۹ به ۵۱۵۰۰ هکتار خواهد رسید و افزایش سطوح کشت آبی از طریق مسیر تغییرات کاربری از اراضی کشت دیم به آبی صورت خواهد گرفت.

سناریوی ادامه روند تغییرات گذشته (MBAU)^۴:

آماري و قواعد دستوري تركيب و رابطه بين تغييرات کاربري و علل ايجاد تغيير از طريق رگرسيون لجستیک ارزیابی می‌شود [۱۶].

ورودی‌های مدل

به منظور اجرای مدل Dyna-CLUE نقشه مبنای کاربری اراضی در سال پایه، عوامل محرک، محدودیت‌ها، ماتریس تبدیل کاربری اراضی، ضرایب الاستیسیته، تقاضای زمین (سناریوها) و فایل نتایج رگرسیون بین عوامل محرک و وقوع کلاس‌های کاربری اراضی مورد نیاز است. در مطالعه حاضر، مناطق دارای محدودیت تغییر (مناطق حفاظت شده و...) تعریف نشده‌اند و سایر ورودی‌ها در ادامه تشریح خواهند شد. نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۷۹ به عنوان سال شروع بررسی تغییرات به مدل معرفی شده است. عوامل محرک در واقع مجموعه متغیرهایی هستند که در استقرار انواع کلاس‌های کاربری اراضی در یک مکان مشخص نقش دارند [۷ و ۸]. مجموعه عوامل محرک (مؤثر بر ایجاد یک نوع کاربری خاص) استفاده شده در مطالعه حاضر شامل تراکم متوسط جمعیت، نوع خاک، زمین‌شناسی، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله تا جاده اصلی، فاصله تا شهر و روستا، فاصله تا آبراه و رودخانه، فاصله تا چاه، فاصله تا آبخوان، متوسط بلندمدت دما و بارش و مقدار سبزی‌نگی بوده که بر اساس جمع‌بندی مطالعاتی نظیر [۷، ۸، ۱۴ و ۱۶] انتخاب و به صورت نقشه و یا تعریف فاصله اقلیدسی به مدل معرفی شده‌اند. متغیرهای انتخاب شده با وضوح فضایی مشابه نقشه کاربری اراضی پایه (۲۵۰ متر) پردازش شدند. در گام بعدی، ماتریس تبدیل و ضرایب الاستیسیته برای مدل تعریف می‌شود. ماتریس تبدیل، یک ماتریس $A * A$ بوده که A برابر با تعداد کلاس‌های کاربری اراضی موجود در منطقه مطالعه شده است. این ماتریس، پویایی زمانی شبیه‌سازی‌ها را تعیین می‌کند و توالی تبدیل‌های ممکن و غیرممکن بین کلاس‌های کاربری اراضی را نشان می‌دهد. اگر تبدیل مجاز باشد، مقدار «۱» به سلول مربوطه اختصاص می‌یابد؛ در حالی که اگر تبدیل مجاز نباشد، از مقدار صفر استفاده می‌شود [۷ و ۸]. ضرایب الاستیسیته مقادیری هستند که توسط کاربر برای کلاس‌های کاربری اراضی تعیین شده‌اند تا مقاومت هر کلاس در برابر تبدیل‌ها را نشان دهند. این ضرایب مقیاسی بوده که از صفر (نشان‌دهنده تبدیل آسان) تا ۱ (نشان‌دهنده

1. The Food & Agriculture Organization
2. Modified Towards Sustainability Scenario
3. Modified Stratified Societies Scenario
4. Modified Business as Usual (MBAU)

۲. محاسبه احتمال کل $TPROB_{i,u}$ برای هر سلول شبکه (i) و برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی (u)، که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود [۹]:

$$TPROB_{i,u} = P_{i,u} + ELAS_u + ITER_u \quad (1)$$

در این معادله $P_{i,u}$ مناسب بودن مکان (i) برای کلاس کاربری اراضی (u) بر اساس مدل «لوجیت»؛ $ELAS_u$: الاستیسیته تبدیل برای کاربری اراضی (u) و $ITER_u$: پارامتر تکرار است.

۳. با اختصاص کلاس کاربری اراضی با بیشترین احتمال کل برای سلول در نظر گرفته شده، تخصیص اولیه برای کلیه کلاس‌های کاربری اراضی انجام می‌شود. این فرایند تخصیص سبب تغییر کاربری تعداد مشخصی از سلول‌های شبکه خواهد شد. سپس، کل مساحت اختصاص یافته برای هر کاربری زمین با مناطق مورد نیاز کاربری اراضی ارائه شده در فایل تقاضا مقایسه می‌شود. هنگامی که تخصیص پیش‌بینی شده توسط مدل با مساحت تقاضای مورد نیاز برای هر کلاس کاربری اراضی برابر باشد، نقشه نهایی سال مورد نظر تولید شده و در پوشه نصب مدل ذخیره می‌شود؛ و اگر برابر نباشند، مراحل ۲ و ۳ تا زمانی که تقاضا به درستی تخصیص یابد، تکرار می‌شوند. پس از آن مدل سازی تا گام زمانی بعدی شبیه‌سازی سالانه، ادامه می‌یابد.

واسنجی

واسنجی مدل Dyna-CLUE با چندین بار اجرای مدل با استفاده از پارامترهای مختلف (اختصاص یافته توسط کاربر) انجام می‌شود. فرایند واسنجی توسط مدل به طور خودکار انجام نشده و بیشتر به قضاوت، دانش و تجربه کاربر متکی است. در مطالعه حاضر از تغییر گام به گام ضرایب الاستیسیته و ماتریس تبدیلات اولیه در ۶۵ اجرای مختلف مدل استفاده شد؛ تا در نهایت بیشترین شباهت به نقشه‌های مشاهداتی مربوط به سال ۱۳۸۴ حاصل شود. شباهت به نقشه‌های موجود و عملکرد مدل با استفاده از فن‌های اعتبارسنجی بصری و آماری ارزیابی شد. بعد از تغییرات پارامترهای الاستیسیته و ضرایب تبدیل، در نهایت این مقادیر بر اساس بهترین اجرای مدل که بیشترین

تغییر سطوح کاربری اراضی در سال‌های ۱۴۰۹ و ۱۴۱۹ متناسب با میزان تغییرات گذشته آنها (۱۳۸۴-۱۳۹۶) و بدون اعمال مداخلات مدیریتی و پیش‌بینی سطوح جمعیت و پیشرفت علوم کشاورزی در آینده خواهد بود. در این سناریو سطح اراضی کشت آبی در سال ۱۴۱۹، به حدود ۷۶۸۵۰ هکتار خواهد رسید. افزایش سطوح کشت آبی بر مبنای الگوی تغییرات تاریخی صورت خواهد گرفت (هیچ محدودیتی برای استفاده از آب وجود ندارد و الگوی کشت به صورت تاریخی حفظ می‌شود).

بررسی ارتباطات مکانی بین عوامل محرک و کلاس‌های کاربری اراضی

در این مرحله ابتدا بین کلاس‌های نقشه کاربری اراضی سال پایه (۱۳۷۹) و عوامل محرک در تغییر کاربری اراضی، رگرسیون لجستیک اعمال شده و در صورت مناسب بودن نتیجه، ضرایب رگرسیون تولیدی به مدل معرفی می‌شود [۱، ۷، ۸، ۱۶]. نتایج این بخش را می‌توان با استفاده از روش «منحنی ROC» (مشخصه عملکرد نسبی) ارزیابی کرد. منحنی ROC نموداری از بخش مثبت درست بوده که در برابر محور y یعنی بخش مثبت نادرست آن ترسیم شده است. مساحت زیرمنحنی مقدار ROC نشان‌دهنده دقت تشخیصی است. مقدار ROC از نیم (۰/۵) در خط مورب (نشان‌دهنده یک مدل کاملاً تصادفی) تا یک (نشان‌دهنده یک مدل کامل) تغییر می‌کند [۱۹]. مقادیر بیش از ۰/۷ برای ROC نشان‌دهنده تناسب خوب و منطقی و مقادیر بیشتر از ۰/۹ برای آن نشان‌دهنده تناسب عالی هستند [۲۰]. با انجام این روش آماری عوامل محرک با بیشترین تأثیر شناسایی شده و در تعیین الگوهای مکانی آبی کاربری اراضی به کار می‌روند [۱ و ۱۶].

روش تخصیص در مدل Dyna-CLUE

هنگامی که اولویت‌های مکانی برای هر کلاس کاربری اراضی محاسبه می‌شود، مراحل زیر برای اختصاص تغییرات کاربری اراضی مناسب در نظر گرفته می‌شوند:

۱. تعیین کلیه سلول‌های شبکه‌ای که مجاز به تغییر هستند به استثنای سلول‌هایی که بخشی از مناطق حفاظت شده هستند.

همخوانی و اختلاف بین نقشه‌ها کارایی چندانی ندارد [۲۱]. بنابراین، برای ارزیابی واقع‌بینانه‌تر از عملکرد مدل، بهتر است به روش‌های اعتبارسنجی آماری نظیر ضرایب کاپا و صحت‌سنجی اعتماد کرد. اعتبارسنجی در مطالعه حاضر مربوط به سال ۱۳۸۹ است.

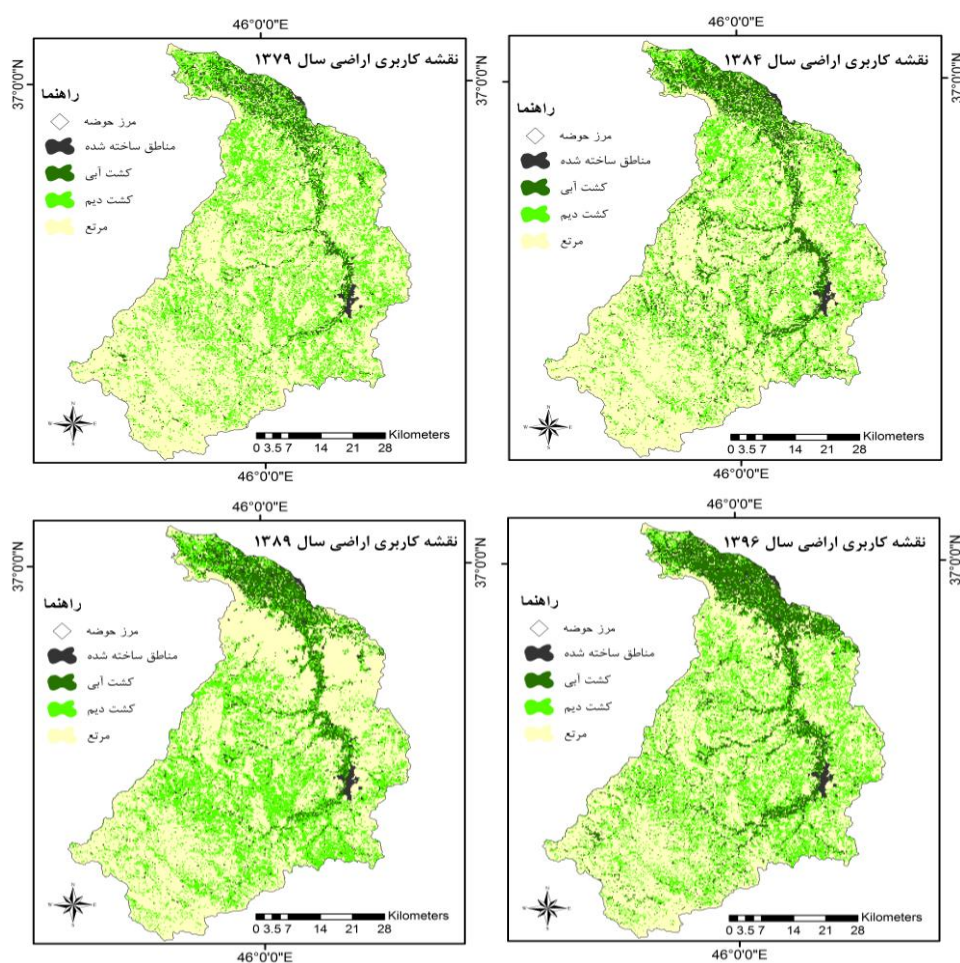
یافته‌ها

نقشه‌های کاربری اراضی

شکل ۲ نقشه‌های کاربری اراضی تولیدشده در مطالعه حاضر و جدول ۳ ضرایب صحت‌سنجی آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ماتریس امکان و یا عدم امکان تبدیل انواع کلاس‌های کاربری اراضی به یکدیگر

مناطق ساخته‌شده	کشت آبی	کشت دیم	مرتع	
۱	۰	۰	۰	مناطق ساخته‌شده
۱	۱	۱	۱	کشت آبی
۱	۱	۱	۱	کشت دیم
۱	۱	۱	۱	مرتع



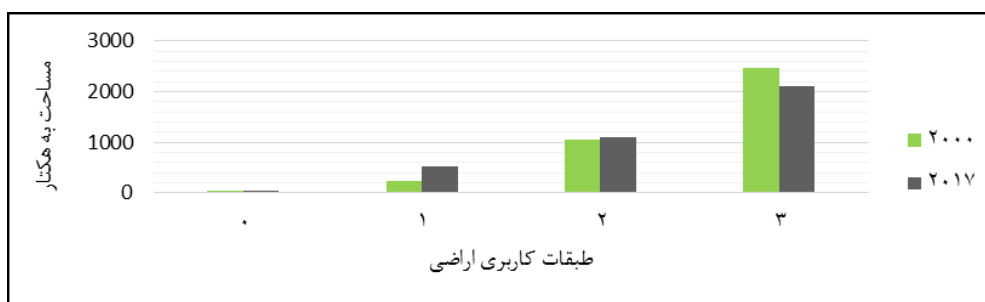
شکل ۲. نقشه‌های کاربری اراضی تولیدشده مربوط به سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۴، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶

جدول ۳. ضرایب صحت‌سنجی نقشه‌های کاربری اراضی مطالعه حاضر

سال ۱۳۹۶		سال ۱۳۸۹		سال ۱۳۸۴		سال ۱۳۷۹		کلاس کاربری
P_Accuracy	U_Accuracy	P_Accuracy	U_Accuracy	P_Accuracy	U_Accuracy	P_Accuracy	U_Accuracy	
۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۱	۱	۰/۸۷	مناطق ساخته‌شده
۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۸۹	کشت آبی
۰/۹۳	۰/۹۲	۱	۰/۹۸	۱	۰/۸۴	۱	۰/۹۳	کشت دیم
۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۹۶	۰/۸	۱	مرتع
۰/۹		۰/۹۳		۰/۸۹		۰/۸۶		Kappa

صورت پذیرفته که در تعریف ضرایب تبدیل مدل dyna-CLUE در مراحل بعدی استفاده می‌شود. نکته درخور تأمل دیگر، کاهش چشمگیر سطح مرتعی به نفع کاربری‌های کشاورزی و شهری است. بر اساس جدول ۴ سطح اراضی مرتعی، اراضی کشاورزی آبی، دیم و مناطق ساخته‌شده به ترتیب در سال ۱۳۷۹ معادل ۲۳۱۳۷، ۲۴۵۸۳۱، ۱۰۵۶۰۶ و ۳۳۲۵ هکتار و در سال ۱۳۹۶ معادل ۲۱۱۴۶۸، ۵۲۴۶۸، ۱۰۹۱۶۲ و ۴۸۰۰ هکتار بوده است.

جدول ۳ نشان می‌دهد نقشه‌های تولیدی با نقاط زمینی همخوانی خوبی دارد. بر اساس شکل ۳، طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ سطح زیر کشت اراضی آبی افزایش درخور توجهی داشته که بیشتر از مسیر تغییر اراضی مرتعی به کشت آبی صورت گرفته است. سطح اراضی کشت دیم طی این دوره زمانی تغییر چندانی نکرده و در هر سال بر اساس بارندگی آن گسترده یا محدود شده است. همچنین، بر اساس بررسی‌های تاریخی، در منطقه مطالعه‌شده تبدیل همه انواع کاربری اراضی به یکدیگر



شکل ۳. مقدار تغییر کلاس‌های کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ (۰: مناطق ساخته‌شده، ۱: اراضی کشت آبی، ۲: اراضی کشت دیم و ۳: اراضی مرتعی)

جدول ۴. مساحت (به هکتار) کلاس‌های کاربری اراضی در نقشه‌های تولیدشده مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶

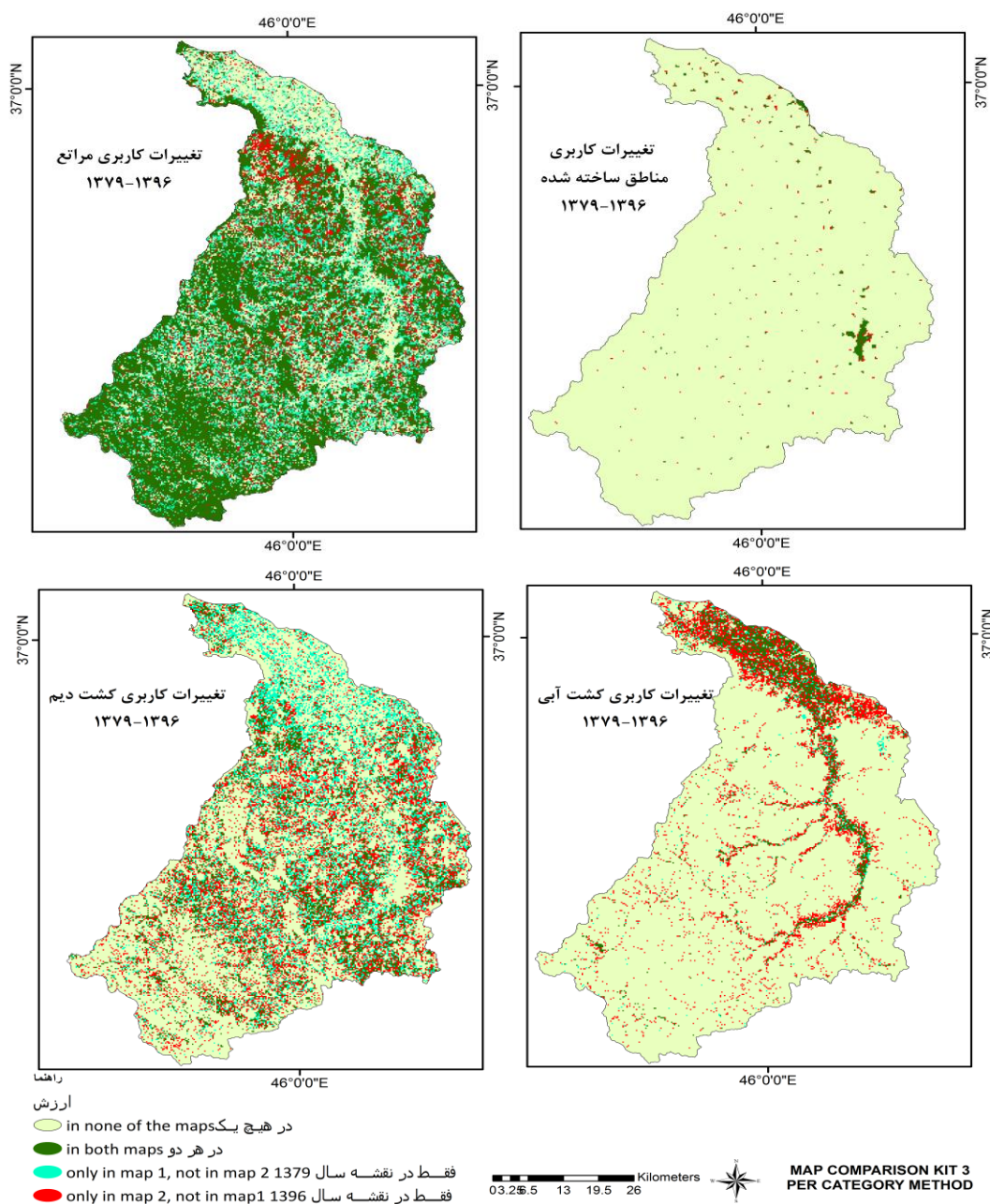
ردیف	کلاس کاربری	۱۳۷۹	۱۳۸۴	۱۳۸۹	۱۳۹۶
۰	مناطق ساخته‌شده	۳۳۲۵	۴۶۵۰	۴۷۳۷	۴۸۰۰
۱	اراضی کشت آبی	۲۳۱۳۷	۴۲۲۱۸	۳۴۹۸۱	۵۲۴۶۸
۲	اراضی کشت دیم	۱۰۵۶۰۶	۸۹۶۲۵	۱۰۹۹۰۰	۱۰۹۱۶۲
۳	اراضی مرتعی	۲۴۵۸۳۱	۲۴۱۴۰۶	۲۲۸۲۸۰	۲۱۱۴۶۸

پیکسل‌های قرمز فقط در نقشه کاربری سال ۱۳۹۶ و رنگ آبی به مفهوم حضور پیکسل‌های آبی فقط در سال ۱۳۷۹ است. شکل ۴ نشان می‌دهد کلاس کاربری کشت آبی بیشترین تعداد پیکسل‌های قرمز را دارد و به این معناست که این کاربری طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ بیشترین رشد

شکل ۴ خروجی نرم‌افزار 3 KIT بوده و چگونگی تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. در شکل ۴ رنگ سبز به معنای حضور پیکسل‌های مربوطه در هر دو سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۶، رنگ کرم به معنای عدم حضور در هر دو سال، رنگ قرمز حضور

مناطق ساخته شده بیانگر رقابت شدید بر سرزمین در این نواحی است؛ طی این سال‌ها هم تعدادی نقاط قرمز شهری در سطح حوضه اضافه شده و هم نواری از پیکسل‌های قرمز به دور پیکسل‌های سبز نشان‌دهنده رشد حاشیه شهرها بوده است. پیکسل‌های آبی در کلاس مرتعی اغلب مربوط به اراضی طبیعی است که طی دوره بررسی شده به زیر کشت رفته است. حضور تعدادی از پیکسل‌های قرمز کلونی در این کاربری احتمالاً به دلیل رها کردن زمین‌های کشاورزی در پی گسترش گسترش شوره‌زارها است.

و گسترش فضایی را داشته است. بررسی تغییرات کاربری اراضی در کلاس دیم نیز بیان داشته که این کلاس تعداد زیاد پیکسل قرمز دارد، اما مجاورت آنها با پیکسل‌های آبی بیانگر مفهوم تغییر مکان و مهاجرت فضایی این کلاس است. به بیان دیگر، این کلاس از نظر الگوی پراکنش به سمت جنوب حوضه مهاجرت داشته و قسمت‌های شمالی‌تر به کشت آبی اختصاص یافته است. از دلایل محتمل برای این موضوع، پیشرفت ادوات کشاورزی بوده که امکان کشت در شیب‌های بالاتر را فراهم کرده است. تغییرات مکانی کاربری



شکل ۴. چگونگی تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶، خروجی مدل MCK

۱۴۱۹ اجرا شد. شبیه‌سازی کاربری اراضی برای هریک از سناریوها به طور مجزا انجام و از این طریق تأثیرات آنها به تفکیک تجزیه و تحلیل شد. شکل‌های ۵-۷ نتایج اجرای مدل تحت سناریوهای مختلف و تغییرات ایجاد شده در سطح هریک از کاربری‌های موجود در منطقه را به تفکیک سناریوی مربوطه نشان می‌دهد. در سناریوی اول بر اساس مدیریت اعمال شده، کسری از سطح اراضی کشت آبی به کشت دیم اختصاص یافته و به این ترتیب، در مصرف آب حوضه صرفه‌جویی خواهد شد؛ احتمال وقوع این سناریو به‌جز در حالت اعمال مدیریت قوی امکان‌پذیر نیست. در سناریوی دوم سطح اراضی کشت آبی همچنان گسترش یافته و به قیمت کاهش دیمزارها تمام خواهد شد. سناریوی سوم بر اساس سناریو ادامه روند تغییرات گذشته است. در سناریوی اول مساحت طبقه مناطق ساخته شده معادل ۴۷/۸۱، کشت آبی معادل ۲۵۵/۱۲، کشت دیم معادل ۱۱۹۲/۴۳ و اراضی مرتعی معادل ۱۹۹۳/۸۷ کیلومتر مربع است. این مقادیر در سناریوی دوم به ترتیب ۴۹/۱۲، ۵۱۵، ۹۳۲/۵۶ و ۱۹۹۲/۵۶ کیلومتر مربع است. همچنین، در سناریوی سوم مساحت کلاس‌های کاربری اراضی مناطق ساخته شده، کشت آبی، کشت دیم و مرتع به ترتیب معادل ۵۹/۳۷، ۷۶۸/۵، ۱۰۵۶/۸۱ و ۱۶۰۴/۵۶ کیلومتر مربع هستند.

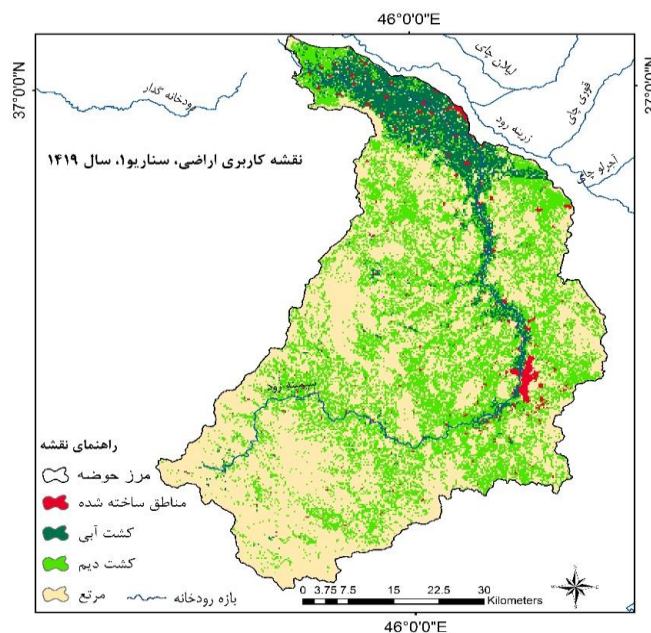
شبیه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از مدل Dyna-CLUE

ضریب واسنجی مدل Dyna-CLUE در سال ۱۳۸۴ به روش صحت کلی^۱ (مقایسه همه پیکسل‌های متناظر) ۰/۸۴ و به روش کاپا با ۵۰۰ نقطه ارزیابی معادل ۰/۹۳ به دست آمد. نتایج صحت‌سنجی مدل در سال ۱۳۸۹ به روش صحت‌سنجی کلی و کاپا به ترتیب معادل ۰/۶۹ و ۰/۸۱ است. همچنین، بر اساس جدول ۵ مقادیر ROC به دست آمده از مطالعه حاضر بیانگر عملکرد مناسب مدل و پارامترهای پیش‌بینی کننده است. علت کمتر بودن این عدد در کاربری مرتع احتمالاً به دلیل ادغام سایر انواع کاربری اراضی در کلاس کاربری مرتع است؛ این عدد همچنان از نظر آماری نشان‌دهنده یک پیش‌بینی قابل قبول است.

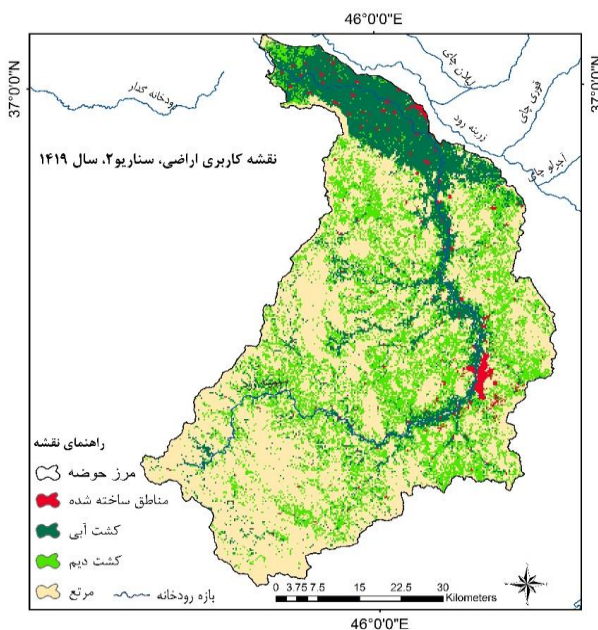
جدول ۵. مقادیر ROC در مطالعه حاضر

مقدار ROC	کلاس کاربری
۰/۹۲۲	مناطق ساخته شده
۰/۸۹۸	کشت آبی
۰/۸۰۸	کشت دیم
۰/۷۶۰	مرتع

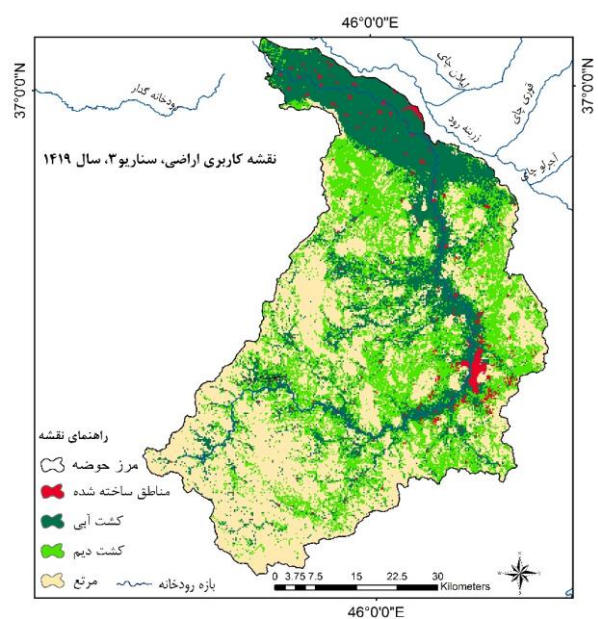
پس از اتمام فرایند شبیه‌سازی کاربری اراضی مدل یادشده تحت ۳ سناریوی تغییر کاربری اراضی برای سال



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۹ مربوط به حوضه سیمینه رود بر اساس سناریوی ۱



شکل ۶. نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۹ مربوط به حوضه سیمینه رود بر اساس سناریوی ۲



شکل ۷. نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۹ مربوط به حوضه سیمینه رود بر اساس سناریوی ۳

آب و زمین، رشد جمعیت و محرک‌های اقتصادی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در گسترش اراضی کشت آبی بوده است. بر اساس نتایج مطالعه حاضر طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶، اراضی کشاورزی آبی در حوضه سیمینه رود حدود ۱۲۷ درصد رشد داشته است.

بررسی این نکته که گسترش اراضی کشت آبی از مجرای کدامیک از انواع تبدیل کاربری شکل گرفته، اهمیت زیادی دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان داده است که

بحث و نتیجه‌گیری

جمع‌بندی سیر تبدیل‌های تاریخی کاربری اراضی در منطقه مطالعه شده بیانگر تغییراتی بوده که از مهم‌ترین آنها گسترش اراضی کشاورزی آبی است. افزایش جمعیت، افزایش نیاز به فرآورده‌های کشاورزی و سیاست‌های خودکفایی دولت در تولیدات کشاورزی از دلایل محتمل برای گسترش این اراضی هستند. به صورت کلی، طی سال‌های اخیر و در غیاب الزامات قانونی مرتبط با مدیریت

به منظور برآورد نسبی از رخدادهای محتمل آینده مرتبط با تغییرات کاربری اراضی، شبیه‌سازی‌ها با رمزگشایی از تغییرات تاریخی و ترجمه این تحولات برای مدل Dyna-CLUE در قالب سه سناریوی کاربری اراضی بررسی شده است. نتایج مدل‌سازی بیانگر توانایی مدل Dyna-CLUE در تحلیل و پیش‌بینی الگوهای کاربری اراضی در سطح حوضه‌ای بوده و ضرایب واسنجی و اعتبارسنجی آن در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۹ به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۶۹ است. پیش‌تر نیز در مطالعات پژوهشگرانی نظیر سویر (۲۰۰۱)، انگلسمن (۲۰۰۲)، پیازا و همکاران (۲۰۱۶)، تیزورا (۲۰۱۸) و هو (۲۰۲۰) کارایی این مدل نشان داده شده است [۷، ۱۴، ۲۲، ۲۳، ۲۴]. خروجی آینده‌های محتمل حوضه در قالب سناریوهای یادشده نشان داده که چینش مکانی و الگوی فضایی کلاس‌های کاربری اراضی منطقه تغییر زیادی نکرده است. گسترش کلاس‌های کاربری اراضی به صورت مجاورتی بوده که این موضوع برای برنامه‌ریزان محیط زیست و شهری درخور توجه است. همچنین، بررسی آرایش مکانی نقشه‌های آبی داده که گسترش اراضی کشت آبی در سناریوهای دوم و سوم خروجی مدل Dyna-CLUE به صورت عمده در دشت میاندوآب صورت گرفته است. تعریف رابطه بین حضور کلاس‌های کاربری اراضی و عوامل پیشران در استقرار آنها در مدل Dyna-CLUE، این شکل گسترش را توجیه می‌کند. در مناطق دشتی عوامل محرک سبب توسعه بیشتر کاربری‌هایی نظیر مناطق ساخته‌شده و کشت آبی می‌شوند؛ از دلایل درخور توجه کمتر بودن شیب، کمتر بودن فاصله از جاده‌های اصلی، کمتر بودن فاصله از منابع آب سطحی و آبخوان‌ها و تمرکز بیشتر جمعیت است. در سناریوی سوم سطح اراضی مرتعی مطابق با آهنگ تاریخی خود کاهش سطح چشمگیری داشته است؛ این موضوع سبب کاهش کیفیت خاک، افزایش میزان فرسایش و سیلاب‌های فصلی خواهد شد. از سناریوهای مدل انتظار نداشته که واقعیت را به‌طور کامل نشان دهند؛ زیرا ترکیب همه متغیرها چندین عدم قطعیت را به همراه می‌آورد. با این حال، با تأکید بر وجود این عدم قطعیت‌ها، مدیریت جامع باید به تدوین قوانین محدودکننده و الزام‌آور منجر شود تا بتوان ابزارهای مؤثر بر مدیریت استفاده از اراضی را طراحی کرد.

گسترش اراضی کشاورزی در حوضه سیمینه‌رود بیشتر از مسیر به زیر کشت رفتن مراتع حوضه صورت گرفته است. دلایل زیادی برای این شکل اصلی تغییر در منطقه وجود دارد. رقابت شدید بر سر اراضی کشاورزی و ملی بودن اراضی مرتعی از دلایل احتمالی است. مراتع در حسابداری آب در گروه قابل مدیریت قرار داشته که به معنای استفاده حداقلی از منابع آب سطحی و زیرزمینی است. بنابراین، این نوع تغییر از کلاس مدیریت شده به قابل مدیریت در حوضه‌های دارای محدودیت منابع آبی در کنار سایر چالش‌های زیست‌محیطی، به مفهوم ایجاد چالش اساسی در مدیریت آبی منابع و مصارف حوضه است.

بر اساس نتایج مطالعه حاضر، طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ حدود ۳۴۳ کیلومترمربع از اراضی مرتعی در حوضه سیمینه‌رود تغییر کاربری داده (معادل ۱۳ درصد کاهش) و پیش‌بینی می‌شود گسترش فیزیکی (بدون مدیریت) بیشتر اراضی کشاورزی و شهری در آینده نیز، از محل مراتع حوضه تأمین شود. در ادامه، بررسی سیر تاریخی تحولات سطح اراضی کشت دیم نشان داد سطح این اراضی با توجه به دانش بومی، فناوری و ابزار کشاورزی در دسترس، پتانسیل زمین قابل کشت و بارندگی سالانه تغییر کرده است؛ اما نوسانات کلی آن نه برای تغییر سطح زیر کشت بلکه به منظور تغییر آرایش فضایی و مهاجرت به بخش‌های جنوبی‌تر حوضه بوده است. از سایر دلایل احتمالی این مهاجرت، می‌توان به تغییرات اقلیمی و گرم‌تر شدن دمای حوضه اشاره کرد. در شرایط بحران کمبود منابع آبی و افزایش جمعیت، گسترش اراضی دیم از راهکارهای بهینه برای تولید محصول در کنار حفظ منابع آبی حوضه است.

در حوضه مطالعه‌شده سطح کل اراضی شهری کمتر از یک درصد حوضه بوده و به دلیل قرارگیری در مرز حوضه‌های آبخیز سیمینه‌رود و زرینه‌رود، فقط می‌توان از گسترش اقماری شهرها و مناطق ساخته‌شده بحث کرد. به صورت کلی، اراضی موجود در خروجی حوضه بیشتر دست‌خوش تغییرات کاربری اراضی است که احتمالاً به دلیل کمتر بودن شیب، غنی‌تر بودن پروفیل خاک، مدیریت آسان‌تر منابع آبی و قابلیت بیشتر برای تغییر کاربری آن است. نتایج بخش کاربری اراضی از تحقیق حاضر با مطالعه شیرمحمدی و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد [۱۳].

منابع

- [1]. Verburg PH, Soepboer W, Veldkamp A, Limpiada R, Espaldon V, Mastura SS. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*. 2002; 30(3): 391-405.
- [2]. Al-Ahmadi F, Hames A. Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas, kingdom of Saudi Arabia. *Earth*. 2009; 20(1):167-191.
- [3]. Liu X H, Skidmore A, Van Oosten H. Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2002; 56(4):257-268.
- [4]. Veldkamp A, Fresco L. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological modelling*. 1996; 85(2): 253-270.
- [5]. White R, Engelen G, Uljee I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1997; 24(3):323-343.
- [6]. Geist HJ, Lambin EF. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*. 2002; 52(2):143-150.
- [7]. Piazza G, Thaler T, Fuchs S. Influence of land-use dynamics on natural hazard risk. 2016. Thesis
- [8]. El Khoury A. Modeling Land-Use Changes in the South Nation Watershed using Dyna-CLUE. Université d'Ottawa/University of Ottawa. 2012. Thesis
- [9]. Verburg PH, Overmars KP. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape ecology* KP. 2009; 24(9): 11-16.
- [10]. Babaei Agdam F, Ebraheemzade Asmin H. Modeling Agricultural and Arid Land use Changes Into Built-up in Ardail Urban Region Using CLUE-S Model. *Geography And Development Iranian Journal*. 2012; 10(26):21-34. PERSIAN
- [11]. Fathian F, Morid S, Arshad S. Trend Assessment of Land Use Changes Using Remote Sensing Technique and its Relationship with Streamflows Trend (Case Study: The East Sub-Basins of Urmia Lake). *Journal of Water and Soil*. 2013; 27(3): 642-655. PERSIAN
- [12]. Shahabian P, Tarhani H, Habibi NK. Modeling the land use change of agricultural and barren lands to the levels built using the CLUE-S model (studied: Isfahan's 14th district). *Land use planning*. 2014; 6(2):259-282. PERSIAN
- [13]. Shirmohammadi B, Malekian A, Salajegheh A, Taheri B, Azarnivand H, Malek Z, et al. Impacts of future climate and land use change on water yield in a semiarid basin in Iran. *Land Degradation & Development*. 2020; 8(10):14-22
- [14]. Tizora PC. Modelling land use and land cover change in the Western Cape Province, University of Pretoria. 2018. Thesis
- [15]. Rezaizaman M, Morid S, Delavar M. Impact of Climate Change on Water Resources on Simineh Rud Basin and Its Inflows to Lake Urmia. *Journal of Water and Soil*. 2014; 27(6):1247-1259. PERSIAN
- [16]. Verburg PH. The Clue Modelling Framework. 2010. Course material.
- [17]. Ministry of Energy, First Consulting Engineers. Implementing solutions to reduce agricultural water consumption by 40% in Zarrinehroud and Siminehroud basins (Saein Qala and Miandoab study areas). Current status of agriculture and proposed program. 2015. Report.
- [18]. The future of food and agriculture - Alternative pathways to 2050. FAO Report. 2018. Available at: <http://www.fao.org/global-perspectives-studies/resources/detail/en/c/1157074/>
- [19]. Dodd LE, Pepe MS. Semiparametric regression for the area under the receiver operating characteristic curve. *Journal of the American Statistical Association*. 2003; 98(462): 409-417.
- [20]. Fagerland MW, Hosmer DW. A generalized Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test for multinomial logistic regression models. *The Stata Journal*. 2012; 12(3): 447-453.
- [21]. Pontius RG, Boersma W, Castella JC, Clarke K, de Nijs T, Dietzel C, et al. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *The annals of regional science*. 2008; 42(1): 11-37.
- [22]. Engelsman W. Simulating Land Use Changes in an Urbanising Area in Malaysia: An Application of the CLUE-S Model in the Selangor River Basin. 2002. MANUAL.

[23]. Soepboer W. The conversion of land use and its effects at small regional extent: CLUE-S: an application for Sibuyan Island, The Philippines. 2001. MANUAL.

How to balance ecosystem services and economic benefits?—A case study in the Pearl River Delta, China. *Journal of Environmental Management*. 2020; 271:110917.

[24]. Hu M, Wang Y, Xia B, Jiao M, Huang G.