مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶
ص ۸۳۵-۸۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۰۳
تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳

شبیه‌سازی زمانی- مکانی تغییرات کاربری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق روش‌های تحلیل زنجیرهٔ مارکف و ژئومد با تأکید بر کاربری باغ (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ صوفی‌چای مراغه)

- **صغری اندریانی***؛ دانشجوی دکتری مدیریت محیطی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران
- **محمدحسین رضایی مقدم؛** استاد دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران
- **خلیل ولیزاده کامران؛** دانشیار دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، ایران
- **فرهاد الماس پور**؛ کارشناس مسئول RS & GIS در سازمان آب‌منطقه‌ای آذربایجان شرقی

چکیده

مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی منبعی مهم برای مدیران و تصمیم‌گیران به‌منظور توسعهٔ یک برنامهٔ مدیریت پایدار زمین است. تغییر در کاربری باغ می‌تواند باعث تغییر در منابع آب و همچنین تغییر در میزان نفوذپذیری خاک گردد. شبیه‌سازی این نوع کاربری می‌تواند، در مناطقی که با کمبود منابع آب روبه‌رو هستند، برنامه‌ریزان محیطی را از تغییرات روی‌داده در صورت ادامهٔ مدیریت اعمال شده در یک بازهٔ زمانی آگاه سازد. تحقیق حاضر نیز به‌منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی کاربری باغ تا سال ۲۰۲۶ صورت گرفته است. بدین منظور از روش ژئومد برای شبیه‌سازی مکانی تغییرات کاربری باغ استفاده گردید و به دلیل عدم قابلیت این مدل در شبیه‌سازی تغییرات زمانی، روش تحلیل زنجیرهٔ مارکف برای رفع نقیصهٔ مذکور با خطای تناسب ۰/۰۱۲ مورد استفاده قرار گرفت. به طوری که ابتدا کاربری باغ در سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ بعد از تصحیحات لازم و روش ماشین بردار پشتیبان استخراج گردید. سپس برای آگاهی از میزان تأثیر هریک از معیارهای مورداستفاده در تغییر این نوع کاربری، به‌جای روش‌های دلفی از روش آماری رگرسیون لجستیک، استانداردسازی فازی و در نهایت ترکیب خطی وزن‌دار استفاده گردید. برای اعتبارسنجی مدل از شاخص ROC بهره گرفته شد. شاخص مذکور با سطح زیرمنحنی ۰/۹۱ در هر دو شبیه‌سازی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ نشان‌دهندهٔ کارایی خوب مدل ژئومد در شبیه‌سازی تغییرات مکانی می‌باشد. در بازه ۲۶ سال ۲۹۴ هکتار توسعه باغات وجود دارد و مدل ترکیبی، افزایش ۳۰۴ هکتار کاربری باغ را تا سال ۲۰۲۶ و برای ۱۳ سال آینده در صورت ادامهٔ روش مدیریتی اعمال شده تا به حال، نشان می‌دهد و این احتمال وجود دارد که رودخانهٔ دائمی صوفی‌چای با مصرف بیش از اندازهٔ آب برای آبیاری درختان مثمر مثل سیب، تبدیل به رودخانهٔ فصلی گردد.

کلید واژگان: شبیه‌سازی، رگرسیون لجستیک، ترکیب خطی وزن‌دار، ژئومد، صوفی‌چای.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۹۸۹۱۴۸۱۳۷۲۰۶+
Email: s.andaryani@gmail.com

۱. مقدمه

با توجه به تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر منابع آب و از طرفی نقش حیاتی آب در زندگی انسان‌ها و وابستگی توسعه به آن، همچنین توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن و رشد روزافزون جمعیت موجب شده است که ارزیابی این تغییرات در گذشته و حال، همچنین پیش‌بینی آن برای آینده از دغدغه‌های اصلی تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران بخش آب باشد. تغییرات کاربری و پوشش اراضی دلیل عمدهٔ تغییرات حوزه‌های آبریز می‌باشد به‌گونه‌ای که تغییرات آن منجر به تغییر در رژیم هیدرولوژیکی و جریان رودخانه‌ها شده و این تغییر ایجاد شده به صورت بازخورد بر روی محیط و کاربری اراضی تأثیر می‌گذارد. تغییرات کاربری و پوشش اراضی می‌تواند چهار تأثیر مستقیم بر روی چرخهٔ هیدرولوژی و کیفیت آب داشته باشد که عبارت است از: سیل، خشکسالی، تغییر رژیم رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی و همچنین تأثیر بر روی کیفیت آب [۲۵]. به عبارت دیگر تغییرات مذکور بر روی اکوسیستم و تنوع زیستی تأثیر مستقیم دارد [۳، ۳۲]. از طرف دیگر نیز افزایش مکانی در یک نوع کاربری مانند باغ یا دیگر کاربری‌هایی که نیاز به آبیاری دارند، می‌تواند بر کاهش آب‌های سطحی تأثیر منفی داشته باشد [۳۶] به‌ویژه در منطقهٔ مورد مطالعه که یکی از زیرحوزه‌های حوزهٔ بزرگ دریاچهٔ ارومیه می‌باشد.

برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران در امر محیط زیست روز به روز وابستگی خود را به مدل‌های پیش‌بینی اعلام می‌دارند [۱۵، ۲۳، ۲۴]. این مدل‌ها بر پایهٔ مدل‌های تغییرات زمانی کاربری و پوشش اراضی و دست‌یابی به الگوی مکانی در طول زمان و عوامل مؤثر در تغییرات رخ‌داده، تأکید دارند [۱۰]. در تحقیق حاضر برای پیش‌بینی تغییرات مکانی به وجود آمده تا سال ۲۰۲۶ از روش ژئومد استفاده گردید. مدل ژئومد روشی بر پایهٔ اطلاعات مکانی همچنین بر پایهٔ سیستم اطلاعات جغرافیایی بوده و توزیع مکانی کاربری را در زمان رو به آینده و یا گذشته پیش‌بینی می‌کند [۱۳، ۲۱، ۲۳]. این مدل یکی از مدل‌های شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در یک توزیع مکانی، به صورت تغییر در حالت یک نوع کاربری می‌باشد [۲۱، ۲۲]. به عبارت دیگر این مدل توان پیش‌بینی یک نوع کاربری مانند جنگل به حالت دیگر یعنی غیر جنگل را دارد. پنتیوس و همکاران با استفاده از مدل ژئومد به شبیه‌سازی الگوی مکانی تغییرات کاربری پرداختند و کاربرد و اعتبارسنجی آن را در کاستاریکا بررسی نمودند [۲۱]. با استفاده از مدل ژئومد تغییرات سطح جنگل‌های کاناکاپور به صورت مکانی مدل‌سازی و با استفاده از مدل ROC اعتبارسنجی گردید [۲۶]. چشم‌انداز تغییرات کاربری جنگل در مناطق مدیترانه‌ای از لحاظ مکانی [۱۲] و تغییرات جنگل‌های حاره [۳۱] با استفاده از مدل ژئومد و حرکت رو به جلو در زمان پیش‌بینی گردید. همچنین با استفاده از روش ژئومد و دو سناریو، رشد و توسعهٔ شهری بجنورد تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی گردید [۳۴]. هر پنج محقق در کارا بودن این مدل اتفاق نظر داشتند. آنچه باعث گردید تحقیق حاضر صورت بگیرد این بود که در اکثر مطالعات قبلی الگوی تغییرات مکانی بر اساس درون‌یابی در نقاط مختلف یک تصویر ماهواره‌ای صورت گرفته بود ولی تحقیق حاضر بر اساس سه دورهٔ زمانی تصاویر ماهواره‌ای و تغییرات رخ داده در طول زمان تحت تأثیر فاکتورهای مورد استفاده مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، لیتولوژی و... با مدل‌های آماری و تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره به‌منظور بهبود نتیجهٔ شبیه‌سازی و در نهایت پیش‌بینی تغییرات الگوی زمانی با استفاده از مدل تحلیل زنجیرهٔ مارکف صورت گرفت. بنابراین هدف از مطالعهٔ حاضر شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی کاربری باغ تا سال ۲۰۲۶ می‌باشد و همچنین رفع محدودیت پیش‌بینی زمانی روش ژئومد با استفاده از تحلیل زنجیرهٔ مارکف می‌باشد. همچنین علت شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی کاربری باغ در منطقهٔ مورد مطالعه، تأثیر این نوع کاربری در کاهش رابطهٔ بین بارش و دبی حاصل از آن می‌باشد [۲].

با توجه به اینکه حوزهٔ مورد بررسی به‌عنوان یکی از

سرشاخه‌های مهم حوزهٔ دریاچهٔ ارومیه می‌باشد. همچنین هزینه‌های هنگفتی برای احداث و بهره‌برداری سد علویان خرج شده است تا تأمین‌کنندهٔ آب اراضی پایین‌دست این حوزه بوده و به تأمین حقابهٔ زیست‌محیطی رودخانه کمک کند، لذا بررسی عوامل مؤثر بر کاهش دبی این رودخانه از جمله کاربری باغ ضروری به نظر می‌رسد. پایهٔ اولیهٔ مدل ژئومد نقشهٔ کاربری می‌باشد که در مطالعهٔ حاضر سه دورهٔ زمانی ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ کاربری باغ در منطقهٔ صوفی‌چای با استفاده از روش نظارت شدهٔ غیرپارامتریک پیکسل پایهٔ ماشین بردار پشتیبان با کرنل پنج جمله‌ای به دلیل دقت زیاد آن در طبقه‌بندی استفاده گردید [۲، ۱۷، ۲۷، ۳۷]. این طبقه‌بندی‌کننده به صورت باینری عمل کرده و دو کلاس را با استفاده از یک فراصفحه[1] از هم جدا می‌کند.

۲. روش شناسی

۲.۱. منطقهٔ مورد مطالعه

حوزه آبریز صوفی چای از زیرحوزه‌های دریاچهٔ ارومیه بوده و در قسمت جنوب غربی استان آذربایجان شرقی قرار دارد. منطقهٔ مورد مطالعه یکی از زیرحوزه‌های صوفی‌چای در بالادست سد علویان دارای موقعیت جغرافیایی ″۳۰ ′۱۲ °۴۶ تا ′۲۷ °۴۶ شرقی و ″۳۰ ′۲۵ °۳۷ تا ″۰۵ ′۴۵ °۳۷ شمالی، شامل مساحتی حدود ۳۱۳ کیلومترمربع و محدودهٔ ارتفاعی بین ۳۴۲۷ – ۱۵۲۵ متر می‌باشد. شکل شمارهٔ ۱ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های زیر استفاده گردید:

از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ به ترتیب سنجنده‌های TM[2]، +ETM[3] و OLI/TIR[4] [۱۴] طبق جدول شماره ۱، همچنین مدل رقومی ارتفاعی استر با اندازهٔ پیکسل ۳۰ متری برای استخراج لایهٔ ارتفاع، شیب، جهت شیب و رودخانه و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت‌های مراغه و اسکو مربوط به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای تهیهٔ لایهٔ لیتولوژی استفاده گردید. در ضمن، دستگاه موقعیت‌یاب جهانی[5] و سامانهٔ گوگل ارث برای برداشت مکانی نقاط تعلیمی و سکونتگاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

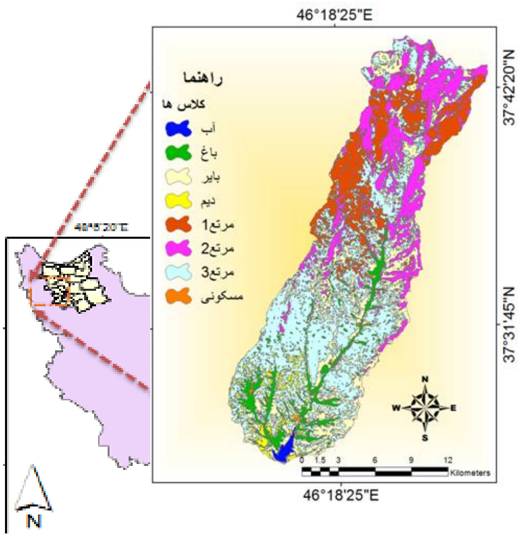
۳.۲. روش‌های مورد استفاده

شکل شمارهٔ ۲ مراحل انجام تحقیق در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

۱.۳.۲. پیش‌پردازش تصاویر

برای انجام تصحیح رادیومتریک تصویر لندست ۸ روش پیشنهادی USGS EROS استفاده گردید. در تصحیح اتمسفری تصاویر به دلیل وجود منابع آبی از روش کاهش عددی پیکسل‌ها [۹] و برای تصحیح هندسی از تصاویر اسپات ۲۰۰۵ و از روش تثبیت هندسی تصویر به تصویر با مبنا قرار دادن تصویر لندست ۸، تصاویر نسبت به هم تثبیت هندسی گردیدند. در این تصحیح تقاطع جاده‌ها به‌عنوان نقاط آموزشی به تعداد ۱۵ نقطه برای تصحیح انتخاب و برای نمونه‌گیری مجدد از روش نزدیکترین همسایگی[6] استفاده گردید. جدول شماره ۲ میزان خطای جذر میانگین مربعات حاصل از تصحیح هندسی تصاویر را نشان می‌دهد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه (میانگین ارتفاع منطقه ۲۴۷۸ متر) برای از بین بردن تأثیر عامل توپوگرافی بر روی تصاویر مورد استفاده، در نتیجه تفاوت در زاویهٔ انرژی رسیده به سطح کوهستان از روش انعکاسی لامبرتی[7] [۷] [۷] و لایه رقومی ارتفاعی استفاده گردید.

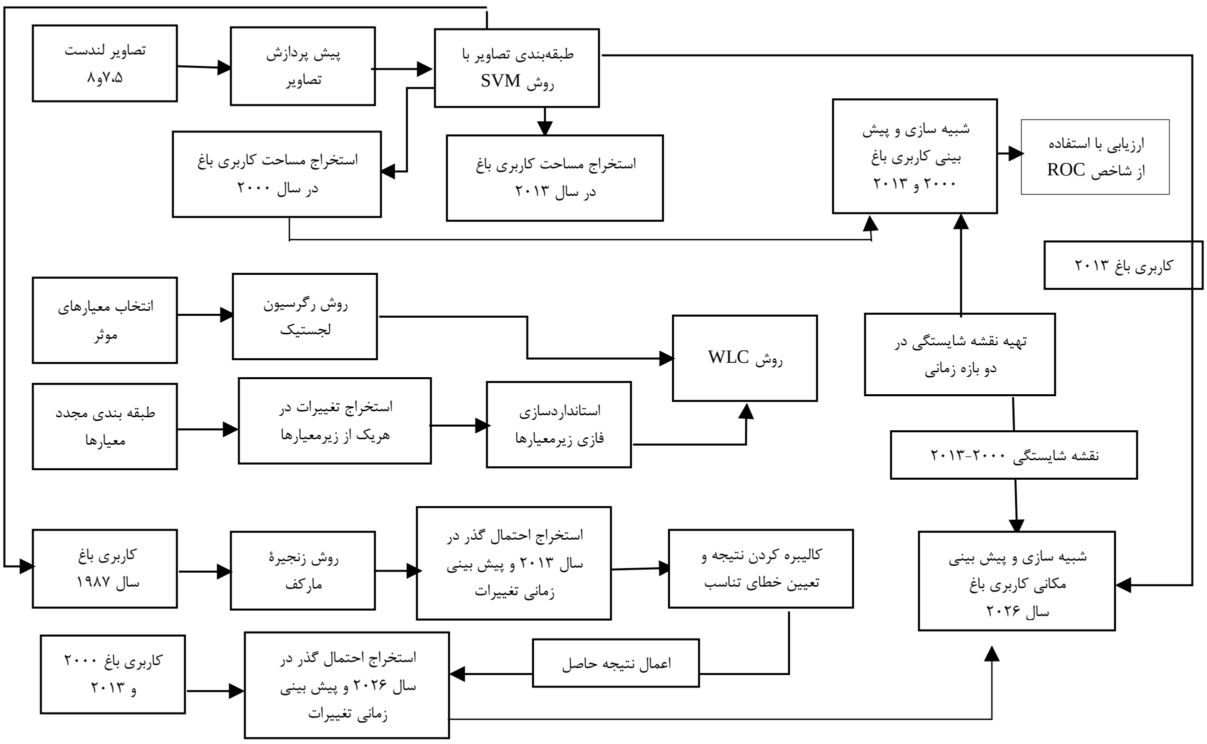
[1] Hyper plane
[2] Thematic Mapper
[3] Enhanced Thematic Mapper Plus
[4] Operational Land Imager &Thermal Infrared Sensor
[5] Global Positioning System
[6] Nearest Neighbor
[7] Lambertian Reflectance Mode



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و کاربری‌های موجود در منطقهٔ ۲۰۱۳

جدول ۱. دورهٔ مطالعه و تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق حاضر

دورهٔ مطالعه (سال میلادی)	دورهٔ مطالعه (سال شمسی)	نوع سنجنده
1987/16/07	۱۳۶۶/۴/۲۵	TM
2000/14/07	۱۳۷۹/۴/۲۴	ETM+
2013/10/07	۱۳۹۲/۴/۱۹	OLI / TIR



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

جدول ۲. خطای جذر میانگین مربعات حاصل از تصحیح هندسی تصاویر

تصویر	TM	ETM+	OLI / TIR
RMS	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۰

۲.۳.۲. طبقه بندی تصاویر با روش ماشین بردار پشتیبان

این طبقه‌بندی کننده به صورت باینری عمل کرده و دو کلاس را با استفاده از یک فرا صفحه از هم جدا می‌کند [۳۳]. نقاط آموزشی که کمترین فاصله یا حتی در روی صفحه‌های موازی قرار می‌گیرند به‌عنوان بردارهای پشتیبان در نظر گرفته می‌شوند و فراصفحه‌ای که حداکثر حاشیه را بین دو کلاس فراهم می‌نماید فراصفحهٔ بهینه نامیده می‌شود. وقتی نزدیک‌ترین نمونه‌های تعلیمی دو کلاس به مرزها محاسبه می‌شود بهینه‌ترین شرایط قرارگیری فراصفحهٔ بهینه، به‌شرط داشتن بیشترین حاشیه مشخص می‌گردد طوری که بیشترین فاصلهٔ مساوی بین دو صفحهٔ موازی ایجاد گردد تا دقت طبقه‌بندی بیشتر شود [۲۷]. در جداسازی خطی برای تعیین بهترین مکان قرارگیری فراصفحه، از دو کمیت ثابت استفاده گردید. به‌گونه‌ای که داده‌های آموزشی با N تعداد که به صورت $\{xi , yi\}, i = 1, \ldots, N$ بودند. به طوری‌که x عضو اعداد حقیقی در فضای N بعدی و $y \in \{-1, +1\}$ به‌عنوان برچسب کلاس‌ها در نظر گرفته شد [۱۹]. در این الگوی آموزش که به صورت جداسازی خطی می‌باشد یک بردار جهت قرارگیری را تعیین کرده و یک مقدار بایاس مقدار فاصله‌گیری صفحه از مبدأ را مشخص کرد و به صورت روابط ۱و۲ معرفی گردید.

رابطهٔ (۱)
$$w.\, xi + b \geq +1 \quad \forall xi \in class\ 1 \quad \text{for all } y = +1$$

رابطهٔ (۲)
$$w.\, xi + b \leq -1 \quad \forall xi \in class\ 2 \quad \text{for all } y = -1$$

در تعریف نحوهٔ قرارگیری فراصفحه از کرنل چندجمله‌ای به دلیل دقت زیاد آن به‌شرط استفاده از باندهای زیاد در تصاویر چندطیفی [۲۷] به صورت رابطه ۳ استفاده گردید.

رابطهٔ (۳)
$$K(x_i,x_j) = (g x_i^T x_j + r)^d,\ g > 0$$

x_i, x: مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی، g گاما یک پارامتر تعریف شده توسط کاربر به‌عنوان عرض کرنل، d درجهٔ چندجمله‌ای، r اریب یا تمایل و T ماتریس واحد.

در کرنل چندجمله‌ای از پارامتری به‌عنوان پارامتر جریمه[۱] برای بهبود خطای طبقه‌بندی و همچنین از یک مقدار به‌عنوان آستانهٔ تحریک نیز استفاده گردید (جدول شماره ۳) [۱۹].

۳.۳.۲. شبیه‌سازی مکانی تغییرات کاربری باغ با استفاده از روش ژئومد

در تحقیق حاضر این مدل بر اساس نزدیک‌ترین همسایگی برای در نظر گرفتن رشد تغییرات در فضای بیرونی کاربری باغ مورد استفاده قرار گرفت. نقشهٔ کاربری باغ در سال ۱۹۸۷ به صورت طبقات ۱ و ۲ که طبقهٔ ۱ به‌منزلهٔ وجود کاربری باغ و طبقهٔ ۲ به‌منزلهٔ عدم وجود کاربری باغ یا به عبارت دیگر وجود دیگر کاربری‌های موجود در منطقه (شکل ۱)، میزان مساحت باغ در سال ۲۰۰۰ و ویژگی‌های طبیعی و زیستی منطقه تحت عنوان نقشه‌های تناسب[۲] به مدل معرفی گردید. لازم به ذکر است که خروجی این مدل به صورت نقشهٔ باینری می‌باشد.

[1] Penalty Parameter
[2] Suitability Map

جدول ۳. مقدار پارامترهای مورد استفاده در روش ماشین بردار پشتیبان

پارامتر	آستانهٔ تحریک	پنالتی	گاما	کرنل	درجه
مقدار	۱۰	۱۰۰	۰/۳۳	چندجمله‌ای	۵

۴.۳.۲. روش‌های استفاده شده در تولید نقشهٔ تناسب[1] کاربری باغ

۱.۴.۳.۲. روش ترکیب خطی وزن‌دار[2]

در تحقیق حاضر برای تولید نقشهٔ تناسب کاربری باغ از انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از روش ترکیب خطی وزن‌دار استفاده گردید. هدف از ارزیابی چندمعیاره، انتخاب بهترین جایگزین بر مبنای رتبه‌بندی آنها از طریق ارزیابی چند معیار اصلی است. در این ارزیابی برای دستیابی به هدف، معیارها تعریف و معین گردید. معیارها به صورت عامل دسته‌بندی گردیدند [۱۱، ۱۶] که در تحقیق حاضر از فاکتورهای زیست‌محیطی و اجتماعی ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، لیتولوژی، فاصله از پوشش گیاهی به عبارتی کاربری باغ و فاصله از روستا استفاده گردید و هر کدام از آنها مورد طبقه‌بندی مجدد قرار گرفتند و با روش فازی استانداردسازی شدند که مبنای این استانداردسازی تغییرات رخ داده در هرکدام از طبقات فاکتورها است و مشخصات زیرمعیارهای هریک از این عوامل در جدول ۴ ذکر گردیده است. در این روش و قاعدهٔ تصمیم‌گیری، مقدار هر جایگزین بر اساس رابطهٔ ۴ محاسبه گردید [۱۱، ۲۱، ۲۰].

$$Sw = \sum_{i=1}^{n} Wi * Si$$

رابطهٔ (۴)

در رابطهٔ (۴): SW = میزان مطلوبیت، Wi = وزن هر معیار، Si = ارزش استانداردشدهٔ هر معیار

۲.۴.۳.۲. روش رگرسیون لجستیک

در مطالعهٔ حاضر روش مذکور برای مشخص کردن میزان تأثیر هر یک از فاکتورها یا متغیرهای موجود در تغییرات کاربری باغ استفاده گردید. برای اعتبارسنجی آن از شاخص‌های کای‌دو[4]، شبه ضریب تبیین[5] و ویژگیهای منحنی گیرنده عامل[6] استفاده گردید [۴، ۸]. در ضمن لازم به ذکر است برای بررسی عملکرد رگرسیون لجستیک و به منظور اعتبارسنجی مدل رگرسیونی ۱۰ درصد از کل پیکسل‌های تصویر که به صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب شده‌اند در برازش این مدل مورد استفاده قرار گرفت. برای به دست آوردن وزن هر کدام از فاکتورهای زیست‌محیطی و اجتماعی، فاکتورها به‌عنوان عامل مستقل و لایهٔ تغییر کاربری دیگر کاربری‌ها به کاربری باغ به‌عنوان لایهٔ وابسته به مدل رگرسیون لجستیک معرفی گردیدند.

۳.۴.۳.۲. تعریف زیرمعیارها

در تحقیق حاضر به منظور استانداردسازی فاکتورهای پیوسته از مجموعه‌های فازی و از توابع عضویت سیگموئیدی[7] و جی‌شیپ[8] افزایشی و کاهشی استفاده گردید [۵، ۳۰]. با توجه به اینکه در این مجموعه‌ها مرز کاملاً مشخصی وجود ندارد، به عبارت دیگر تبدیل آنها بین عضویت و عدم عضویت در یک مجموعه به صورت

[1] Suitability Map
[2] Weighted Linear Combination
[3] Logistic Regression
[4] Chi Square (C^2)
[5] Pseudo R^2 (PR^2)
[6] Receiver Operating characteristic Curve (ROC)
[7] Sigmoidal
[8] J-Shaped

تدریجی است، بنابراین مجموعۀ فازی به وسیلۀ درجۀ عضویت فازی آن مشخص شده و دامنه‌ای بین ۰ تا ۲۵۵ به آنها تعلق گرفت که این دامنه نشانگر افزایش پیوسته از عدم عضویت به سمت عضویت کامل می‌باشد. به عبارت دیگر وزن ۲۵۵ به زیرمعیار دارای تناسب بیشتر با تغییر کاربری باغ و وزن صفر به عدم تناسب در تغییر کاربری باغ داده شده است. بدین منظور با استفاده از روش هیستوگرام و تحلیل مکانی، تک‌تک کلاس‌های معیارها با کاربری باغ قطع داده شدند (جدول ۴).

جدول ۴. تعریف زیرمعیارهای هر معیار، تغییرات رخ داده در هر طبقه در واحد هکتار و استانداردسازی فازی آنها

معیار	زیرمعیار	تغییر ۲۰۰۰-۱۹۸۷	تغییر ۲۰۱۳-۲۰۰۰	نام تابع فازی	حد آستانه
ارتفاع (متر)	۱۸۰۰-۱۵۲۹	۱۲۱-[۱]	۶۷	سیگموئید کاهشی	b
	۲۱۰۰-۱۸۰۰	۹۸/۵	۲۳۸/۱		a
	۲۷۰۰-۲۴۰۰	۰/۵	۶/۵		c
	۳۴۲۸-۲۷۰۰	۰	۰		d
جهت شیب[۲]	۱	۸۶/۴	۲۵۷/۵	سیگموئید افزایشی	d
	۲	۳۳	۴۳/۷		C
	۳	۴/۱۴	۸/۶		b
	۴	۲۷/۲	۲/۱		a
شیب (درصد)	۲۰-۰	۵۵/۱-	۱۲۱/۶	سیگموئید افزایشی	d
	۳۰-۲۰	۱۱/۲-	۹۳/۸		c
	۶۰-۳۰	۱۰/۵	۱۰۷/۷		b
	۶۰<	۳۳/۸	۱۱/۱-		a
لیتولوژی	توف	۳۱/۲	۱۱۹/۸	فاکتور گسسته	۲۵۵
	رسوبات رودخانه‌ای	۱۴۰/۴-	۱۲/۶		۲۵۰
	برشهای ولکانیکی	۹۰/۳	۹۱/۷		۲۴۰
	ولکانیکهای جوان	۳/۱-	۸۷/۹		۲۳۰
	بقیه[۳]	۰	۰		۰
فاصله از رودخانه (متر)	۳۰۰-۳۰	۱۸/۲-	۲۷۵/۲	سیگموئید کاهشی	a
	۶۰۰-۳۰	۵/۳-	۳۲/۶		b
	۹۰۰ – ۶۰۰	۱/۶	۳/۶		c
	۲۰۰۰-۹۰۰	۰	۰		d
فاصله از باغ (متر)	۵۰۰-۰	۴۱/۷	۲۲۹/۴	جی شیپ افزایشی	a
	۱۰۰۰-۵۰۰	۶۲/۵-	۵۷/۲		b
	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۱/۱-	۱۶/۷		c
	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۰	۶/۵		d
فاصله از روستا (متر)	۱۵۰۰-۲۰۰	۳۶/۲-	۲۱۹/۸	جی شیپ افزایشی	a
	۲۵۰۰۰-۱۵۰۰	۲۵-	۷۰/۰۲		b
	۳۵۰۰-۲۵۰۰	۱۲/۳	۱۶/۷		c
	۴۵۰۰-۳۵۰۰	۲۷	۴/۳		d

۱: علت تغییر کاهشی به دلیل احداث سد می‌باشد. که در تحلیل‌ها این مسئله مدنظر قرار گرفته است.

۲: طبقه ۱: شیب مسطح۱- ، طبقه ۲: ۲۲/۵ -۰ و ۳۳۷/۵ -۳۶۰ ، طبقه۳: و ۲۹۲/۵ – ۲۴۷/۵ همچنین طبقه ۴: ۲۴۷/۵ – ۶۷/۵ .

۳: لازم به ذکر است که برای این معیار در سال ۲۰۰۰-۱۹۸۷ از جی شیپ کاهشی استفاده شده است.

۲.۳.۴.۴. تحلیل زنجیرهٔ مارکف

در روش مذکور و در بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، یک فرض پایه مبنی بر احتمال تغییر هر نوع کاربری به کاربری دیگر وجود دارد که به صورت St بوده و در حرکت به سمت زمان به صورت St+1 طبق رابطهٔ ۱۲ در نظر گرفته شد [۲۰].

رابطهٔ (۵)
$$S_t + _1 = P * S_t$$

در رابطهٔ (۵): S و St + 1، t مساحت‌های مختلف کلاس‌ها در زمان t و t+1 می‌باشد و P احتمال گذار از یک وضعیت به وضعیت دیگر بوده و به صورت ماتریس احتمال رابطهٔ ۶ بیان می‌شود:

رابطهٔ (۶)
$$P = \begin{bmatrix} p11\ p12 \ldots p1n \\ p21\ p22 \ldots p2n \\ \ldots\ \ \ldots\ \ pij\ \ \ldots \\ pn1\ pn2 \ldots pnn \end{bmatrix}$$

$$0 \le p_{ij} < \text{ and } \sum_{j=1}^{n} pij = 1$$

در رابطهٔ (۶): pij احتمال تغییر کاربری و پوشش اراضی i به کاربری اراضی ij از زمان t تا t+1 در n کلاس را نشان می‌دهد [۶، ۳۵].

۳. نتایج

استفاده از روش رگرسیون لجستیک نشان داد فاکتور ارتفاع و لیتولوژی منطقه بیشترین تأثیر را در تغییر کاربری‌های دیگر به کاربری باغ دارند و تأثیر این دو فاکتور در هر دو بازهٔ مورد تحقیق به صورت ثابت و سیستماتیک بوده ولی بقیهٔ فاکتورها دارای نوسان در مقدار عددی تأثیرشان در تغییرات دو بازهٔ زمانی هستند (جدول ۵). نتیجهٔ حاصل از برازش مدل رگرسیونی در حد قابل قبول بوده و نتیجهٔ همبستگی بین انتقال و کل متغیرها در دامنهٔ ۰/۹۰ تا ۰/۹۱ می‌باشد (جدول ۶). به عبارتی دیگر، عدد شاخص ROC نزدیک به عدد ۱ بوده که نشان‌دهندهٔ برازش تصادفی می‌باشد. شاخص C^2 از مقدار عدد ۱۴/۱ بزرگتر می‌باشد در نتیجه فرض صفر دال بر صفر بودن همه ضرایب به غیر از عرض از مبدأ رد می‌شود. با توجه به بزرگتر بودن شاخص PR^2 از مقدار عددی ۰/۲ می‌توان گفت برازش بالایی صورت گرفته است.

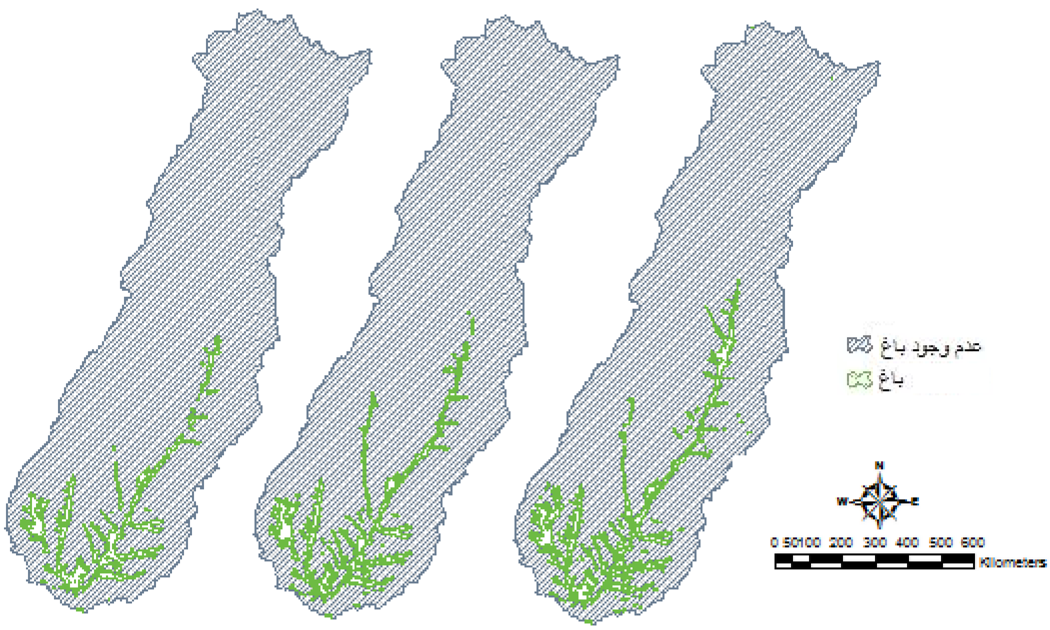
شکل شمارهٔ ۳ نشان می‌دهد کاربری باغ در طول ۲۶ سال مورد مطالعه از مساحت ۱۳۵۲ هکتار در سال ۱۹۸۷ به مساحت ۱۶۴۵ هکتار رسیده است.

جدول ۵. تأثیر عوامل مؤثر در تغییرات کاربری باغ در بازه‌های زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۷ و ۲۰۰۰-۲۰۱۳

متغیر	ارتفاع	فاصله از کلاس باغ	فاصله از روستا	جهت شیب	لیتولوژی	شیب	فاصله از رودخانه	عرض از مبدأ
ضریب ۱۹۸۷-۲۰۰۰	-۱/۷۳۹۰	-۰/۱۹۲۳	۰/۵۳۶۱	۰/۵۸۸۶	۱/۴۳۷۴	۰/۲۴۴۸	-۰/۴۲۹۱	-۶/۸۴۴۳
ضریب ۲۰۰۰-۲۰۱۳	-۱/۸۶۰۹	۰/۱۱۸۷	۰/۲۴۲۰	۰/۰۷۸۲	۲/۰۲۶۴	۰/۰۱۸۹	-۰/۲۹۱۹	-۶/۱۷۴۵

جدول ۶. نتیجهٔ شاخص‌های برازش مدل رگرسیونی

بازهٔ زمانی	PR^2	C^2	ROC
۱۹۸۷-۲۰۰۰	۰/۳۱	۸۵۴	۰/۹۱
۲۰۱۳-۲۰۰۰	۰/۳۱	۱۳۷۷	۰/۹۰



شکل ۲. لایهٔ کاربری باغ به ترتیب از سمت چپ به راست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳

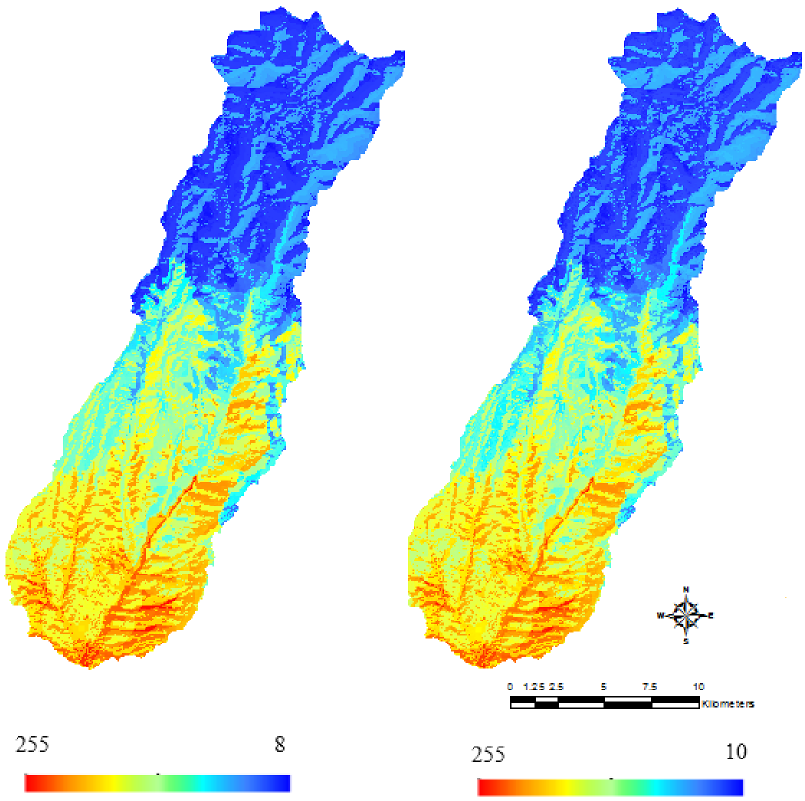
هر چند این تغییر در سال ۲۰۰۰ به صورت ۱۸ هکتار کاهش یافته بود و این می‌تواند ناشی از خشکسالی شدید در منطقه در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ باشد که با بررسی داده‌های هواشناسی ایستگاه مراغه به دست آمد و این کاهش در ارتفاعات پایین و شیب کم رخ داده است. جدول شمارهٔ ۴ تغییرات کاربری باغ را در طبقات مختلف فاکتورها نشان می‌دهد.

شکل شمارهٔ ۴ نتیجهٔ حاصل از روش ترکیب خطی وزن‌دار در تهیهٔ نقشهٔ تناسب کاربری باغ بازه‌های زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. روش مذکور خود با استفاده از روش‌های لجستیک و استانداردسازی فازی زیرمعیارها (جدول ۳) صورت گرفته است و مکان‌های مستعد برای افزایش و توسعهٔ باغات را در سال‌های آتی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

آنچه که در تحقیق حاضر مدنظر قرار گرفته است محدودیت مدل ژئومد در پیش‌بینی مساحت تغییرات کاربری و همچنین تهیهٔ نقشهٔ تناسب کاربری باغ با استفاده از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره بر اساس مدل‌های رگرسیون لجستیک و هیستوگرام می‌باشد. به عبارت دیگر این مدل فقط توانایی شبیه‌سازی تغییرات مکانی را داشته و نمی‌تواند تغییرات ایجاد شده از لحاظ مساحت را در بازه‌های زمانی پیش‌بینی کند. برای رفع این محدودیت در تحقیق حاضر از روش تحلیل زنجیرهٔ مارکف با نسبت خطای ۰/۰۱۲، که بعد از کالیبره کردن محاسبه گردید، صورت گرفت. جدول شمارهٔ ۷ احتمال تغییرات از کاربری باغ به دیگر کاربری‌ها و برعکس را نشان می‌دهد.

بر طبق جدول ۷ در سال ۲۰۱۳ مقدار کاربری باغ به میزان ۱۶ درصد به دیگر کاربری‌ها و دیگر کاربری‌های موجود نیز به میزان ۲ درصد به کاربری باغ تبدیل خواهد گردید. بر این اساس با توجه به مساحت کاربری باغ در سال ۲۰۰۰ به میزان ۱۳۳۴ هکتار و مساحت دیگر کاربری‌ها به مساحت ۲۹۹۶۶ هکتار درصدهای به دست آمده بر میزان مساحت‌ها اعمال گردید. به عبارتی میزان احتمال در تغییر مساحت دیگر کاربری‌ها به کاربری باغ حدود ۵۹۹ هکتار و میزان احتمال در تغییر کاربری باغ

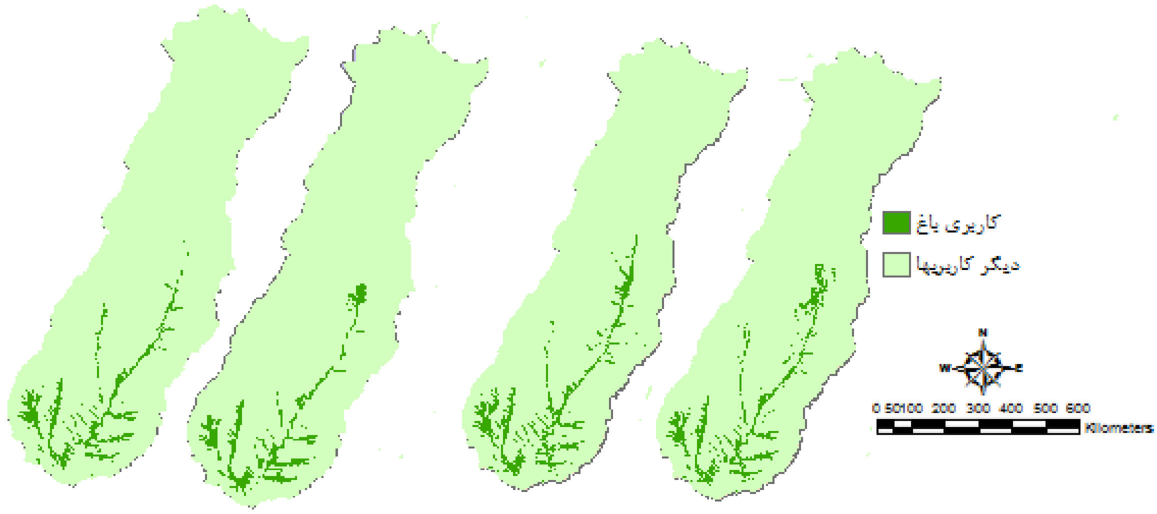
به دیگر کاربری‌های موجود در منطقه حدود ۲۱۳ هکتار می‌باشد، لذا بر روی مقدار مساحت موجود در سال ۲۰۰۰ به میزان ۱۳۳۴ هکتار، مقدار مساحت ۳۸۶ هکتار اضافه گردید که مقداری برابر ۱۷۲۱ هکتار برای کاربری باغ به دست آمد که با توجه به مقدار واقعی آن یعنی ۱۶۴۶ هکتار در سال ۲۰۱۳، مقدار ۷۵ هکتار برای تطابق و اصلاح خطای مدل از آن کسر گردید. این مقدار کسر و خطا در نتیجهٔ پیش‌بینی سال ۲۰۲۶ (شکل شمارهٔ ۵) نیز اعمال گردید. نتیجه این پیش‌بینی در تغییر مساحت حاکی از آن است که اگر روش مدیریتی حال حاضر در منطقه اعمال شود شاهد افزایش حدود ۳۰۰ هکتاری در کاربری باغ خواهیم بود که این مقدار در چنین منطقهٔ کوهستانی با روش آبیاری سنتی خسارت جبران‌ناپذیری را بر منابع آب موجود خواهد زد.



شکل ۳. نقشهٔ تناسب منطقه، شکل سمت راست بازهٔ زمانی ۱۹۸۷-۲۰۰۰ و شکل سمت چپ بازهٔ زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۳

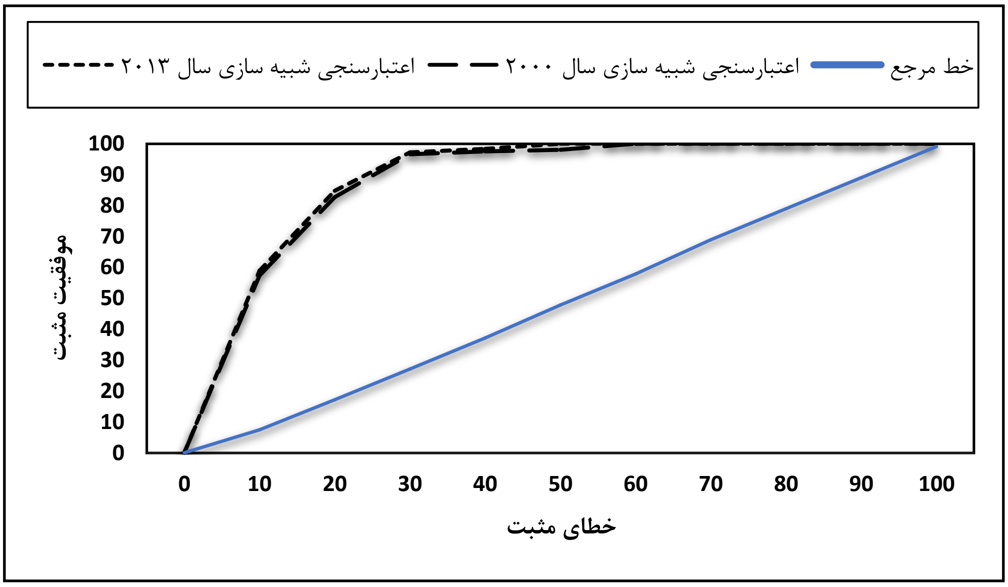
جدول ۷. ماتریس احتمال تغییر محاسبه شده با استفاده از تحلیل زنجیرهٔ مارکف

احتمال تغییر در سال	کاربری	باغ	دیگر کاربری‌ها
۲۰۱۳	باغ	۰/۸۳۹	۰/۱۶۰
	دیگر کاربری‌ها	۰/۰۲۰	۰/۹۷۹
۲۰۲۶	باغ	۰/۸۶۰	۰/۱۳۹
	دیگر کاربری‌ها	۰/۰۲۷	۰/۹۷۲



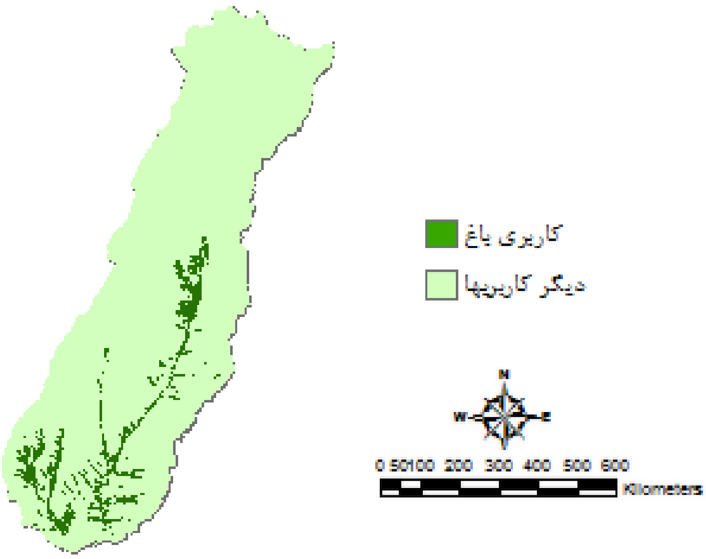
شکل ۴. نقشهٔ شبیه‌سازی تغییرات مکانی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳، به ترتیب از چپ به راست نقشهٔ مشاهداتی کاربری باغ سال ۲۰۰۰، نقشهٔ شبیه‌سازی کاربری باغ سال ۲۰۰۰ و نقشهٔ مشاهداتی کاربری باغ سال ۲۰۱۳، نقشهٔ شبیه‌سازی کاربری باغ سال ۲۰۱۳

برای اطمینان از دقت مدل در شبیه‌سازی، لایه‌های شبیه‌سازی شده مورد اعتبارسنجی با استفاده از مدل ROC قرار گرفت تا بتوان تغییرات کاربری باغ را از لحاظ مکانی در سال ۲۰۲۶ با این مدل شبیه‌سازی نمود. برای اینکه تأثیر این شاخص مشخص گردد لایه‌های کاربری باغ مشاهداتی و شبیه‌سازی شدهٔ سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ به صورت مجزا برای سال‌های مذکور اعتبارسنجی گردیدند. شکل شمارهٔ ۶ نتیجه دقت مدل برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. شکل ۶ نشان‌دهندهٔ بیشتر بودن سطح زیر منحنی در هر دو شبیه‌سازی با میانگین عددی برابر با ۰/۹۱ می‌باشد.

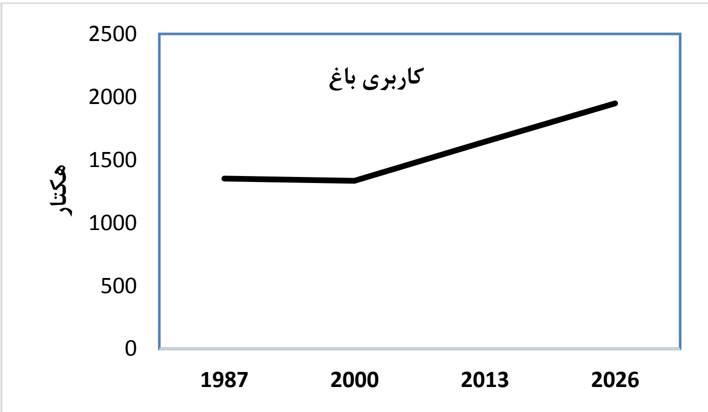


شکل ۵. نمودار منحنی ROC برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی تغییرات کاربری باغ در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳

با توجه به جدول شمارۀ ۶ شبیه‌سازی مکانی برای سال ۲۰۲۶ با روش ژئومد می‌تواند نتیجه خوبی ارائه دهد. همچنین از لحاظ زمانی و تعیین مساحت که شرح آن در بالا ذکر شد، با روش زنجیرۀ مارکف می‌توان این نقص مدل ژئومد را رفع نمود و به مدل اعمال کرد. شکل شمارۀ ۷ نتیجۀ شبیه‌سازی صورت گرفته با استفاده از مدل‌های ژئومد و زنجیرۀ مارکف را نشان می‌دهد. همچنین شکل شمارۀ ۸ روند تغییرات کاربری باغ را در بازۀ زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۶. نقشۀ شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۲۶



شکل ۷. روند تغییرات کاربری باغ از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۶

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف از مطالعۀ حاضر استفاده از روش ژئومد برای شبیه‌سازی تغییرات مکانی و استفاده از نتایج حاصل از تحلیل زنجیرۀ مارکف برای پیش‌بینی تغییرات زمانی کاربری باغ می‌باشد. با توجه به اینکه حوزۀ صوفی‌چای یکی از زیرحوزه‌های دریاچۀ ارومیه می‌باشد که دارای رود دائمی است لذا کاربری باغ به‌عنوان یکی از کلاس‌هایی که مصرف زیاد آب را می‌طلبد انتخاب گردید تا افزایش

این کاربری (که اغلب درخت سیب می‌باشد و دارای نیاز آبی بسیار بالایی در فصل آبیاری است) در آینده بررسی گردد. از طرفی در منطقهٔ مورد مطالعهٔ کشاورزان از روش آبیاری سنتی استفاده می‌کنند و این پرواضح است که علاوه بر نیاز آبی بالای درخت سیب مقدار قابل توجهی از حجم آب نیز اتلاف می‌گردد. به دلیل بررسی یک نوع کاربری (باغ)، اهمیت توسعهٔ این کاربری از لحاظ پرمصرف بودن و به دلیل برتری مدل ژئومد نسبت به مدل‌های پیش‌بینی مثل سلول‌های خودکار مارکف (با داشتن یک لایهٔ کاربری می‌توان شبیه‌سازی انجام داد) از این مدل استفاده گردید تا بتوان تغییرات یک نوع کاربری را بررسی کرد. در مطالعهٔ حاضر از کاربری‌های زمان‌های مختلف استفاده گردید (۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳) تا اعتبارسنجی دقیقی صورت گیرد. به نظر می‌آید در روش ژئومد تهیهٔ نقشهٔ تناسب از اهمیت خاصی برخوردار است لذا در استفاده از تحلیل‌های چندمعیاره و روش‌های وزن-دهی بایستی دقت بیشتری به خرج داد. شرط اول در تحلیل‌های چندمعیاره، تهیهٔ معیارها بوده که بر اساس هدف تحقیق انتخاب می‌شود. معیارهای مؤثر در تغییرات کاربری باغ بر اساس هدف تحقیق و همچنین وجود داده انتخاب گردید. به عبارت دیگر لایهٔ تراز آب‌های زیرزمینی در تغییرات کاربری باغ اهمیت ویژه‌ای دارد ولی در منطقهٔ مورد مطالعه چنین داده‌ای به دلیل کوهستانی بودن منطقه وجود ندارد، لذا این لایه در بررسی‌ها مدنظر قرار نگرفت و از فاکتورهای لیتولوژی، شیب، ارتفاع، جهت شیب، فاصله از روستا، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه استفاده گردید. این فاکتورها در مدل رگرسیون لجستیک به‌عنوان لایه مستقل و لایه تغییرات کاربری باغ بین دو بازه، به‌عنوان لایه وابسته در نظر گرفته شد. ضرایب حاصل نشان‌دهنده اهمیت زیاد فاکتور ارتفاع و شیب در تغییرات رخداده در کاربری باغ است. با قطع دادن زیرمعیارهای هر فاکتور با تغییرات ایجاد شده می‌توان نتیجه گرفت که ارتفاع‌های بالاتر ۱۸۰۰ – ۲۲۰۰ متر، شیب‌های ۰ - ۶۰ درصد، نزدیکی به رودخانه، نزدیکی به روستا و جهت شیب مسطح نقش مهمی در افزایش وسعت کاربری باغ داشته‌اند و کشاورزان بدون توجه به شیب منطقه اقدام به توسعه باغات نمودند. بازدیدهای میدانی نشان‌دهنده استفاده از تراس‌بندی برای گسترش و توسعه باغات توسط کشاورزان و باغداران در شیب‌های تند است. همچنین در مدل زنجیرهٔ مارکف می‌توان با استفاده از مقدار خطای تناسب در تصمیم‌گیری این مدل مداخله کرد و با داشتن لایه کاربری در سه بازه زمانی می‌توان توسط لایه‌های کاربری در دو بازه اول، سومین بازه زمانی را پیش‌بینی کرده و با اصلاح خطای موجود، نتیجه به دست آمده را برای بازه چهارم به عبارتی مدلسازی برای آینده استفاده نمود. در این تحقیق با اعمال خطای تناسب ۰/۰۱۲ نتیجهٔ رضایت‌بخشی برای مدلسازی زمانی تغییرات کاربری باغ به دست آمد. در تحقیق‌های پیشین انجام گرفته با مدل ژئومد، پیش‌بینی زمانی تغییرات با استفاده از روش‌های درون‌یابی صورت گرفته است این در حالی است که در روش حاضر پیش‌بینی زمانی با روش تحلیل مارکف و اعتبارسنجی آن با نقشهٔ کاربری باغ آخرین بازه صورت گرفت. به عبارت دیگر تحقیق‌های پیشین از جمله تحقیقات Pontius و همکاران [۲۱، ۲۲] که آنها با داشتن یک زمان کاربری و نهایتاً یک بازهٔ کاربری، شبیه‌سازی مکانی با مدل مذکور انجام دادند این در حالی است که در تحقیق حاضر با سه دورهٔ زمانی ۱۹۸۷، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ شبیه‌سازی تغییرات صورت گرفت. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل ROC شبیه‌سازی تغییرات کاربری باغ را برای سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۳ به دلیل بالا بودن مقدار آن از ۰/۹ موفقیت‌آمیز نشان می‌دهد که همسو با تحقیقات گری و همکاران، سیلوان و پلیتیر [۳۱، ۱۲] می‌باشد. در نهایت با استفاده از روش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر و نتایج به دست آمده و با توجه به اینکه پیش‌بینی‌های صورت گرفته بر اساس مدیریت‌های اعمال شده در گذشته است [۱] لذا می‌توان گفت، در صورت ادامهٔ مدیریت اعمال شده تا به حال در منطقهٔ مورد مطالعه، به مقدار ۳۰۴

هکتار تا سال ۲۰۲۶ به کاربری باغ افزوده خواهد شد. این افزایش باعث کمتر شدن پیش از پیش رابطهٔ بین بارش و دبی حاصل از آن خواهد شد [۲] و باعث هدررفت سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته در پایین دست سد مخزنی خواهد شد و این احتمال وجود دارد که رودخانهٔ دائمی صوفی‌چای با مصرف بیش از اندازهٔ آب برای آبیاری درختان مثمر مثل سیب، تبدیل به رودخانهٔ فصلی گردد.

References

[1] Amini Parsa, V. and Salehi, E. (2016). Spatio-temporal analysis and simulation pattern of land use/cover changes, case study: Naghadeh, Iran. Urban Management, 5(2), 43-51.

[2] Andaryani, S. (2014). Remote sensing and GIS techniques application in the study of Land use changes and their effects on stream discharge (Case study: Sofichay basin). Master Thesis, University of Tabriz.

[3] Antrop, M. (2004). Landscape change and the urbanization process in Europe. Landscape and Urban Planning, 67, 9-26.

[4] Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2005). Slope failures in the Blue Nile basin, as seen from landscape evolution perspective. Geomorphology, 57, 95-116.

[5] Burrough, P.A. (1989). Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation. Soil Science, 40, 477-492.

[6] Batty, M., Xie, Y. and Sun, Z. (1999). Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. Computers. Environment and Urban Systems, 23, 205–233.

[7] Colby, J.D. (1991). Topographic Normalization in Rugged Terrain. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 57, 531-537.

[8] Clark, W.A. and Hosking, P.L. (1986). Statistical Methods for Geographers (Chapter 13), New York: John Wiley & Sons.

[9] Chavez, p. (1996). Image-based atmospheric corrections - Revisited and improved. Photogram Engineering & Remote Sensing, 62, 1025–1036.

[10] Echeverria, C., Coomes, D. A., Hall, M. and Newton, A. C. (2008). Spatially explicit models to analyze forest loss and fragmentation between 1976 and 2020 in southern Chile. Ecological Modelling, 212, 439-449.

[11] Eastman, R.J. (2012). IDRISI for Windows: IDRISI Selva Manual, Clark University, New York.

[12] Geri, F., Amici, V. and Rocchini, D. (2011). Spatially-based accuracy assessment of forestation prediction in a complex Mediterranean landscape. Applied Geography, 31, 881-890.

[13] Hall, C.A.S., Tian, H., Qi, Y., Pontius, G. and Cornell, J. (1995). Modelling spatial and temporal patterns of tropical land use change. Journal of Biogeography, 22, 753-757.

[14] http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php (2013/02/10).

[15] Klijn, J. and Vos, W. (2000). A new identity for landscape ecology in Europe: a research strategy for next decade, from landscape ecology to landscape science, Wageningen: Kluwer Academic Publishers.

[16] Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiely and sons, New york. USA.

[17] Mantero, P., Moser, G. and Serpico, S.B. (2005). Partially supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation. Geoscience and Remote Sensing, 43, 559-570.

[18] Mondal, P. and Southworth, J. (2010). Evaluation of conservation interventions using a cellular automata-Markov model. Forest Ecol Manag, 260, 1716-25.

[19] Osuna, E.E. Freund, R. and Girosi, F. (1997). Support vector machines: training and applications. A.I. Memo 1602, Artificial Intelligence, Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, ftp.

[20] Oruc, I., Maloney, L.T. and Landy, M.S. (2003). Weighted linear cue combination with possibly correlated error. Vision Research, 43, 2451–2468.

[21] Pontius, R.G., Cornell, G.D. and Hall, C.A. (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. Agriculture, Ecosystems & Environment, 85, 191-203.

[22] Pontius, R.G. and Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. Geographical Information Science, 19, 243-265.

[23] Pontius, R.G. and Chen, H. (2006). Land change modeling with GEOMOD. Worcester: Clark University.

[24] Pocewicz, A., Nielsen-Pincus, M., Goldberg, C. S., Johnson, M. H., Morgan, P. and Force, J. E. (2008). Predicting land use change: comparison of models based on landowner surveys and historical land cover trends. Landscape Ecology, 23, 195 -210.

[25] Rogers, P. (1994). Hydrology and water quality, changes in land use and land cover: A global perspective. Cambridge University. Press, Cambridge, 231-258.

[26] Roshmi, M.K. and Lele, N. (2010). Spatial modeling and validation of forest cover change in Kanakapura region using GEOMOD. Indian Soc. Remote Sensing, 38, 45-54.

[27] Rezaei Moghadam, M.H., Valizadeh Kamran, K., Andaryani, S. and Almaspour, F. (2015). Comparison of ANN and SVM methods in extraction Land Use/ Land Cover maps from Landsat 8 satellite image (Case Study: Sufi Chay Basin). Geography and Planning, 52, 163-183.

[28] Saaty,T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structure. Mathematical Psychology, 15, 234-281.

[29] Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (1991). Prediction Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 251.

[30] Schmucker, K.J. (1982). Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis. Computer Science Press. Rockville.

[31] Sloan, S., and Pelletier, J. (2012). How accurately may we project tropical forest-cover change? A validation of a forward-looking baseline for REDD. Global Environmental Change, 22, 440–453.

[32] Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J. and Rey Benayas, J. M. (2010). Monitoring land cover change of the dry land forest landscape of Central Chile (1975 -2008). Applied Geography, 30(3), 436 -447.

[33] Srivastava, D.K. and Bhambhu, L. (2009). Data classification using support vector machine. Theoretical and Applied Information Technology, 1–7.

[34] Saadat Novin, M. and Khosravi, F. (2017). Simulating urban growth by emphasis on connective routes network (case study: Bojnourd city). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20, 31-40.

[35] Takada, T., Miyamoto, A. and Hasegawa, S.F. (2010). Derivation of a yearly transition probability matrix for land-use dynamics and its applications. Landscape Ecology, 25, 561–572.

[36] Tourian, M.J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S. and Sneeuw, N. (2015). A space borne multisensory approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. Remote Sensing of Environment, 156, 349-360, 10.1016/j.rse.2014.10.006.

[37] Vapnik, V.N. (1999). The Nature of Statistical Learning Theory, 2th. (New York: Springer-Verlag), 1-339.