نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۳، پاییز۱۳۹۵
صفحات ۹۸- ۸۱

مدل‌سازی تاثیرات پسروی دریاچه ارومیه بر روستاهای ساحل شرقی دریاچه ارومیه با پردازش شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای

میثم محرمی[1]، کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، ایران.
علی‌اکبر رسولی، استاد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، ایران.
هاشم رستم زاده، استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳

چکیده

بررسی نوسانات سطح آب دریاچه‌ها به لحاظ اهمیت، ماهیت و موقعیت این مجموعه‌های آبی در سال‌های اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی ایران می‌باشد. متاسفانه در سال‌های اخیر به دلایل مختلف، از حجم آب و وسعت این دریاچه کاسته شده است. هدف از این پژوهش، مدل‌سازی تاثیرات پسروی دریاچه ارومیه بر روستاهای ساحل شرقی با پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای لندست بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ میلادی به صورت دوره‌ای، مدل رقومی ارتفاع و لایه وکتور موقعیت روستاها استفاده شده است. جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های شیء گرا استفاده شده و کاربری‌های مورد نظر استخراج گردیدند، در ادامه نیز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف به پیش‌بینی وضعیت آتی در منطقه پرداخته شده است. نتایج نشان دهنده افزایش سطح باغات، نمک‌های مرطوب، پهنه‌های گلی-نمکی(خاک‌های نمکی)، اراضی کشاورزی، نمک جدید و کاهش مساحت دریاچه ارومیه طی بازه مورد مطالعه می‌باشد، نتایج مدل پیش‌بینی زنجیره مارکوف نشان می‌دهد در سال ۲۰۲۰ میلادی کاربری باغات، پهنه‌های گلی-نمکی(خاک‌های نمکی) و اراضی کشاورزی افزایش خواهند یافت و کاربری نمک مرطوب، نمک جدید و دریاچه ارومیه کاهش خواهند یافت، همچنین روستاهای شهرستان شبستر بیشترین افزایش در باغات، اراضی کشاورزی، نمک جدید و پهنه‌های گلی-نمکی(خاک‌های نمکی) را به ترتیب با ۱۳/۴، ۲/۷، ۰/۶۹ و ۱۰/۶ درصد افزایش خواهند داشت و روستاهای شهرستان اسکو بیشترین افزایش در نمک‌های مرطوب را با ۰/۷ درصد افزایش خواهند داشت.

واژگان کلیدی: تغییرات محیطی، پردازش شیء گرا، دریاچه ارومیه، روستاهای ساحل شرقی، زنجیره مارکوف

[1]. نویسنده مسئول
Email: a.moharramimeisam@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

مقدمه

دریاچه ارومیه به عنوان بزرگترین دریاچه داخلی ایران و بیستمین دریاچه جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (رسولی و عباسیان،۱۳۸۶). و به عنوان یکی از مهمترین زیستگاه‌های طبیعی در سطح منطقه مطرح بوده و به عنوان مناسب‌ترین محیط‌زیست برای میگوی آرتیمیا محسوب می‌شود (رسولی و همکاران، ۱۳۸۷). دریاچه ارومیه یک دریاچه تکتونیکی است که در یک حوزه بسته قرار گرفته است (شایان و جنتی،۱۳۸۶). این دریاچه در سطح ملی یک پارک ملی محسوب شده و در سطح بین المللی در فهرست یونسکو به ثبت رسیده است (آل‌شیخ و همکاران، ۱۳۸۴). دریاچه ارومیه طی سال‌های گذشته بر اثر یک دوره خشکسالی و طرح‌های احداث سد که همزمان به وقوع پیوسته‌اند، زمینه تبخیر بیش از پیش آب دریاچه فراهم گردیده و تفاوت‌های قابل توجهی در سطوح آب دریاچه به وجود آمده است (زمانی‌اکبری و ملکی، ۱۳۸۹). نتایج تحقیقات در مورد انتشار ذرات نمک از دریاچه ارومیه به محیط پیرامون نشان می‌دهد که این جریانات جنوب‌غربی و جنوبی می‌باشد (پوراصغر و همکاران، ۱۳۹۱). یکی از ابزارهای مفید در زمینه مطالعات محیط‌زیست و علوم زمین استفاده از فناوری دورسنجی است، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس اطلاعات طیفی دارای محدودیت‌هایی است بنابراین برای افزایش دقت طبقه‌بندی باید از منابع اطلاعاتی دیگری استفاده شود (Chen et al, ۲۰۰۹). در میان روش‌های پردازش تصویر به منظور استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، پردازش شیء گرای تصاویر به علت استفاده از اطلاعات طیفی و اطلاعات مربوط به بافت و محتوا در فرآیند طبقه‌بندی از دقت بالاتری برخوردار است (Yan, ۲۰۰۳). به صورت تئوری قسمت معینی از زمین ممکن است در هر زمان از یک گروه کاربری زمین به هر گروه دیگر تبدیل شود، تحلیل زنجیره مارکوف یک ابزار مفید برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، مخصوصا زمانی که تشریح تغییرات در چشم انداز مشکل باشد می‌باشد (Benito et al, ۲۰۱۰).

رسولی و عباسیان (۱۳۸۶) به تحلیل تراز آب دریاچه ارومیه پرداختند نتایج این تحقیق نشان دهنده تغییرات و نوسانات معنی‌داری در تراز سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد. رسولی و همکاران (۱۳۸۷) به پایش نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ میلادی پرداختند. نتایج نشان دهنده کاهش ۲۳درصدی سطوح آب دریاچه در طی دوره مورد مطالعه می‌باشد. فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) به طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری اراضی استان آذربایجان غربی با تکنیک‌های پردازش شیء گرا پرداختند. نتایج نشان دهنده دقت بالای طبقه‌بندی شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. اکبری‌مهین و کرمی (۱۳۹۲) به بررسی تغییرات سطح دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج تحقیق نشان دهنده کاهش آب به خصوص در نواحی شرقی و جنوب‌شرقی دریاچه می‌باشد. ضیائیان فیروزآبادی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی تغییرات سطح آب و شوری جنوب‌شرق دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۴ میلادی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان دهنده کاهش سطح آب دریاچه و بالا رفتن شوری آب دریاچه است. آل‌شیخ و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تغییرات خطوط ساحلی دریاچه ارومیه بین سال-های ۱۹۹۸تا ۲۰۰۱ میلادی پرداختند، نتایج نشان دهنده کاهش ۱۰۴۰کیلومتر مربعی خطوط ساحلی دریاچه ارومیه در این دوره می‌باشد. فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی الگوریتم‌های مختلف فازی جهت پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای پرداختند، نتایج نشان دهنده دقت بالای الگوریتم‌های فازی در پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

پنتیوس و مالانسن (Pontius and Malanson, ۲۰۰۵) به مقایسه مدل‌های CA-Markov[۱] و Geomod و ارزیابی دقت پیش-بینی هر یک در تغییرات پوشش زمین ماساچوست مرکزی آمریکا پرداختند.کاموسوکو و همکاران (Kamusoko et al, ۲۰۰۹) با استفاده از مدلCA-Markov تغییرات پوشش/کاربری زمین را در مناطق روستایی واقع در شمال‌شرقی ایالت مرکزی ماشونالند کشور زیمبابوه را شبیه‌سازی نمودند. پترسن و همکاران (Peterson et al, ۲۰۰۹) با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و CA-Markov به بررسی روند و الگوهای تغییرات پوشش جنگلی جهت مدیریت جنگلها در ناحیه دریاچه بایکال در جنوب سیبری پرداختند. در نهایت نتیجه گرفتند که برخی انواع درختان که روند توسعه‌شان با نرخ کاهش شدیدی پیش-بینی شده است، نیازمند مدیریت صحیح و پایدار جنگلداری می‌باشند. واساهوا (Wassahua, ۲۰۱۰) با استفاده از مدل CA-Markov به پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگلی کشور اندونزی پرداخت. این محقق تغییرات مکانی و زمانی پوشش جنگل را با دقت کلی ۶۸/۵ درصد پیش‌بینی نمود. پژوهش‌های پیشین، نشان دهنده اهمیت دریاچه ارومیه به عنوان یکی از مهمترین زیستگاه‌های طبیعی در سطح منطقه می‌باشد که متاسفانه در سال‌های اخیر از حجم و وسعت آن کاسته شده است، فناوری سنجش از دور و تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یکی از روش‌های مربوط به مطالعات محیطی از جمله در بحث مربوط به تغییرات دریاچه ارومیه به کار گرفته شده است. تکنیک‌های پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یکی از روش‌های مدرن پردازش تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های اخیر برای موضوعات مختلف طبقه‌بندی کاربری اراضی به کار گرفته شده است، همچنین به منظور مدل‌سازی برای پیش‌بینی شرایط آتی پوشش زمین، مدل پیش‌بینی زنجیره مارکوف برای موضوعات مختلف مربوط به پوشش زمین به کار رفته است. با توجه به مطالب فوق، هدف از این پژوهش بررسی تغییرات رخ داده در وسعت دریاچه ارومیه و کاربری‌های ساحل شرقی آن طی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ میلادی با استفاده از روش‌های شیء گرای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین مدل‌سازی و پیش‌بینی شرایط آتی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و در نهایت مدل‌سازی این تاثیرات بر روستاهای ساحل شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد.

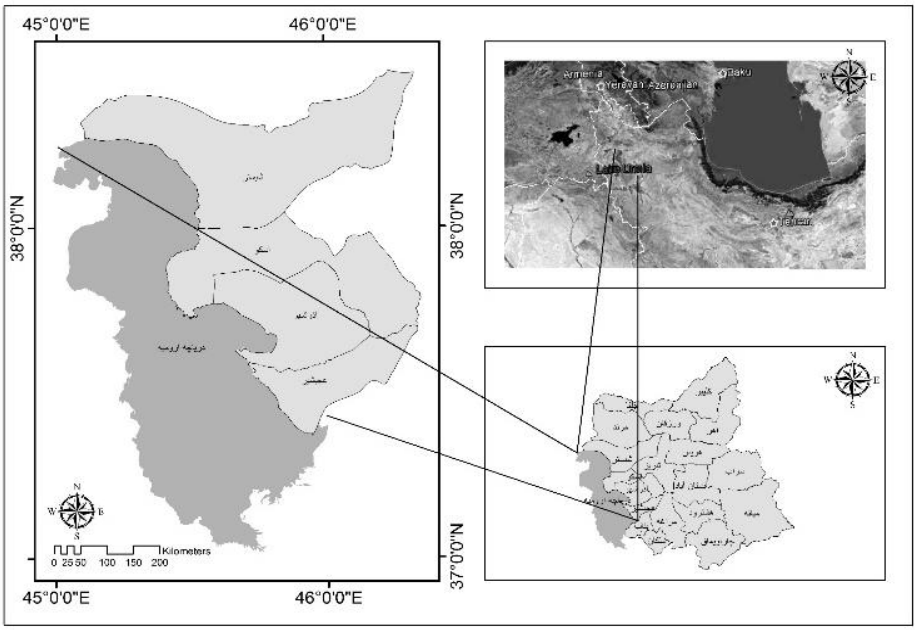
داده‌ها و روش کار

همانطور که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود، منطقه مورد مطالعه، ساحل شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد و از نظر جغرافیایی، بین ۳۷ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. ارتفاع منطقه مورد مطالعه از ۱۲۶۰ متر از سطح دریا در مناطق شرقی دریاچه ارومیه تا ۳۴۶۰ متر از سطح دریا در مناطق جنوب‌شرقی نزدیک به کوه سهند متغیر می‌باشد.

[۱]- Cellular Automata Markov

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]



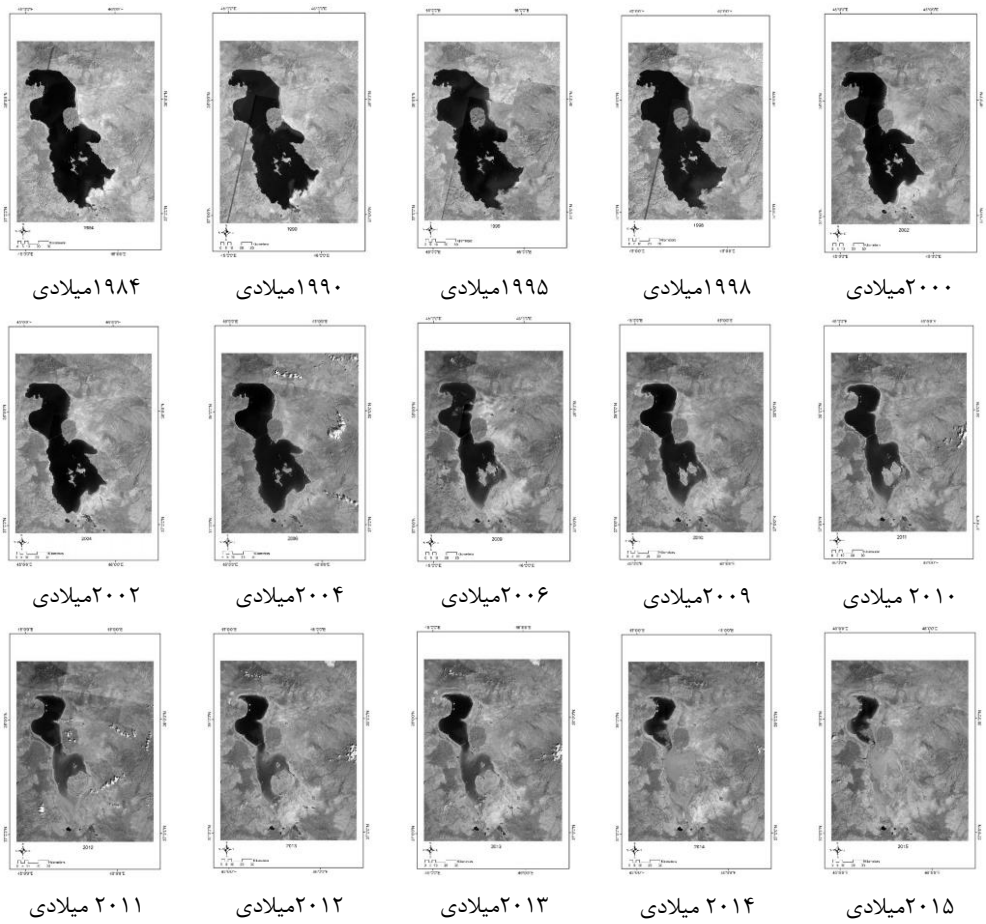
شکل ۱: نقشه منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵،۷،۸ ردیف ۳۳ و ۳۴ و گذر ۱۶۸ و ۱۶۹ می‌باشد، همچنین از مدل رقومی ارتفاعی (DEM[۱]) مربوط به سنجنده ASTER و لایه وکتور موقعیت شهرستان‌ها، دهستان‌ها و روستاهای منطقه مورد مطالعه نیز در این تحقیق استفاده شده است و به منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی داده-های به دست آمده از GPS مدل Vista Garmin طی عملیات میدانی مورد استفاده قرار گرفته است. در طی مراحل آماده-سازی و تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش حاضر از نرم‌افزارهای ERDAS IMAGINE ۲۰۱٤, eCognition ۸.۷, ArcGIS ۱۰.۳, IDRISI Seleva ۱۷ استفاده شده است. در شکل شماره ۲ مجموعه تصاویر منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

[۱]- Digital Elevation Model

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]



شکل ۲: تصاویر ماهواره‌ای دریاچه ارومیه طی سال‌های گذشته

به طور کلی، تصحیح‌های رادیومتریک زمانی انجام می‌شود که داده‌های تصویری در روند ثبت مقادیر روشنایی مربوط به پیکسل‌ها دارای خطاهایی باشند که می‌تواند ناشی از عواملی نظیر عدم کارایی تجهیزات ثبات و تاثیرهای اتمسفری باشد. (رسولی، ۱۳۸۷: ۱۳۰). تصحیح رادیومتریک در تصاویر لندست ۵،۷،۸ از طریق تبدیل DN به Reflectance در باندهای انعکاسی در محیط نرم‌افزار ERDAS IMAGINE ۲۰۱۴ انجام شد.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس اطلاعات طیفی دارای محدودیت‌هایی است بنابراین برای افزایش دقت طبقه-بندی باید از منابع اطلاعاتی دیگری استفاده شود (Chen et al, ۲۰۰۹). برای این منظور در این پژوهش از پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده. در این روش تصویر بر اساس پارامترهای طیفی، فیزیکی و هندسی پدیده‌های زمینی ثبت شده بر روی تصویر، سگمنت‌سازی شده و واحدهای پردازش تصاویر از پیکسل به پدیده‌های تصویری یا سگمنت‌ها تغییر می‌یابد و در نتیجه آن با پردازش جامع‌تر این اطلاعات، اشیا و پدیده‌های دنیای واقعی را با دقت بالاتری می‌توان استخراج نمود. فرآیند این نوع از تحلیل تصاویر، در سه بخش قابل تقسیم است که عبارتند از: سگمنت‌سازی، طبقه‌بندی فازی و ارزیابی صحت.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

سگمنت‌سازی[۱] اولین و مهمترین مرحله، در ریز طبقه‌بندی تصویر به واحدهای تصویری مجزا می‌باشد (Huang and NI, ۲۰۰۸). سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهمترین معیار مشترک آنها است (فیضی‌زاده، ۱۳۸۶: ۱۰۳-۹۷). برای سگمنت‌سازی از الگوریتم Multiresolution Segmentation استفاده شد، این الگوریتم با به حداقل رساندن میانگین مکانی ناهمگنی‌ها در تصویر اقدام به ایجاد سگمنت‌ها می‌کند. پارامترهای به کار رفته در سگمنت‌سازی در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: پارامترهای به کار رفته جهت سگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵،۷،۸

پارامتر	ماهواره	آستانه به کار رفته	پارامتر	ماهواره	آستانه به کار رفته
مقیاس	لندست ۵،۷	۱۰۰	مقیاس	لندست ۸	۱۰۰
ضریب شکل		۰/۲	ضریب شکل		۰/۲
ضریب فشردگی		۰/۴	ضریب فشردگی		۰/۴
ترکیب وزنی باندی		باند ۱=۱ باند۲=۱ باند ۳=۱ باند ۴=۱ باند ۵=۱ باند ۷=۱	ترکیب وزنی باندی		باند ۲=۱ باند ۳=۱ باند ۴=۱ باند ۵=۱ باند ۶=۱ باند ۷=۱

طبقه‌بندی فازی در محیط نرم‌افزار eCognition ۸.۷ متناسب با شرایطی است که مفسر برای هر کلاس تعیین می‌کند. در تعریف شرایط طبقه‌بندی مفسر می‌تواند از پارامترهای طیفی و بصری (شامل بافت، شکل و تن رنگ) استفاده کند، این شرایط به وسیله توابعی که برای کلاس‌ها بیان می‌گردد، تعریف می‌شود که می‌تواند به صورت تابع عضویت، شبیه‌سازی کلاس‌ها یا نزدیک‌ترین همسایه باشد. در طی فرآیند پردازش تصویر، می‌توان از عملگرهای منطق فازی شامل Or عملگری با حداکثر ارزش بازگشتی از ارزش فازی، و And عملگر بازگشتی به عنوان حاصل ضربی از ارزش فازی استفاده نموده و شرایط مناسب برای طبقه‌بندی را تعریف نمود.

شاخص‌های به کار رفته جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در جدول شماره ۲ آورده شده است همچنین کلاس‌های مورد نظر جهت طبقه‌بندی عبارت است از: باغ، زمین کشاورزی، آب، نمک مرطوب، پهنه‌های گلی-نمکی(خاک‌های نمکی) و نمک جدید.

جدول ۲: شاخص‌های به کار رفته جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

شاخص	فرمول	شاخص	فرمول
NDVI[۲]	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	BI[۳]	$BI = \sqrt{Red^{۲} + NIR^{۲}}$
SI[۴]	$SI = \sqrt{Blue \times Red}$	SI۳[۵]	$SI۳ = \sqrt{\text{Green}^{۲} + \text{Red}^{۲}}$
SI۶[۶]	$SI۶ = \frac{Red \times NIR}{Green}$	SI۵[۷]	$SI۵ = \frac{Blue \times Red}{Green}$
SI ۱[۸]	$SI۱ = \sqrt{Green \times Red}$		

منبع: (علوی‌پناه، ۱۳۹۰: ۳۵۲ ؛ Allbed et al, ۲۰۱٤)

[۱]- Segmentation
[۲]- Normalized Difference Vegetation Index
[۳]- Brightness Index
[٤]- Salinity Index
[٥]- Salinity Index ۳
[٦]- Salinity Index ٦
[۷]- Salinity Index ٥
[۸]- Salinity Index ۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

از چند پارامتر از پیش تعریف شده در نرم‌افزار eCognition ۸.۷ نیز در طبقه‌بندی استفاده شد که عبارت است از: Slope، Rectangular Fit. به شاخص‌ها و آستانه‌های به کار رفته جهت طبقه‌بندی تصاویر در جدول شماره ۳ اشاره شده است.

جدول ۳: شاخص‌ها و پارامترهای به کار رفته جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

شاخص	آستانه		عملگر فازی	طبقه
NDVI	بزرگتر از ۰/۱۷		And(min)	زمین کشاورزی
Rectangular Fit	۰/۴ – ۰/۶			
Slope	کمتر از ۵ درصد			
NDVI	بزرگتر از ۰/۳		Or(max)	باغ
Slope	کمتر از ۵ درصد			
Rectangular Fit	۰/۴ – ۰/۶			
NDVI	کوچکتر از ۰/۱۷-		Mean(arithm)	آب
SI۵	بزرگتر از ۲۰۰ و کوچکتر از ۳۰۰		And(min)	نمک جدید
SI۳	بزرگتر از ۱۲۰ و کوچکتر از ۱۴۰		Mean(geom)	پهنه‌های گلی - نمکی (خاک‌های نمکی)
SI۶	بزرگتر از ۰/۷۴			
SI	بزرگتر از ۱۴۰۰۰ و کوچکتر از ۱۶۰۰۰			
BI	بزرگتر از ۰/۲۹	فیلتر نمک جدید	Or(max)	نمک مرطوب
SI ۱	بزرگتر از ۱۳۰			

در طبقه‌بندی صورت گرفته منظور از نمک مرطوب مناطقی می‌باشند که در آنجا دریاچه پسروی کرده و نمک‌ها همراه با مقداری اندکی از آب دریاچه به صورت سطحی پوشیده شده‌اند و منظور از نمک جدید مناطقی می‌باشد که در آنجا دریاچه کاملا پسروی کرده و نمک‌ها بدون اختلاط با آب می‌باشند.

آستانه‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، بر اساس اعداد متناظر با سگمنت‌های منطبق بر هر کلاس و مطابقت آنها با کاربری مورد نظر در تصویر ماهواره‌ای و واقعیت زمینی و مشخص کردن بهترین آستانه جهت طبقه‌بندی تصویر انتخاب گردیدند.

هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است تکمیل نیست و برای کسب اطمینان از نسبت صحت تصویر طبقه‌بندی شده دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد (Lillesand, ۲۰۰۱: ۲۱۰). دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به تصویر طبقه‌بندی شده می‌باشد (Anderson, ۱۹۷۶: ۵). ارزیابی دقت طبقه‌بندی بر اساس مقایسه تصویر طبقه-بندی شده با واقعیت زمینی صورت می‌گیرد، بنابراین در این مرحله از پژوهش برای کسب اطمینان از صحت طبقه‌بندی، طی عملیات میدانی به طور تصادفی نقاط کنترل با GPS از سطح منطقه برداشت گردید و بر اساس آن شاخص‌های دقت طبقه‌بندی محاسبه شدند. همانطور که در جدول شماره ۴ آورده شده است، دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از دقت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا محاسبه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

جدول ۴: دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

سال	ماهواره	سنجنده	ضریب کاپا	دقت کلی (درصد)	سال	ماهواره	سنجنده	ضریب کاپا	دقت کلی (درصد)
۱۹۸۴	لندست ۵	TM	۰/۸۸	۹۰/۲	۲۰۰۹	لندست ۵	TM	۰/۹۳	۹۴/۸
۱۹۹۰	لندست ۵	TM	۰/۸۹	۹۱/۵	۲۰۱۰	لندست ۵	TM	۰/۹۲	۹۳/۹
۱۹۹۵	لندست ۵	TM	۰/۹۰	۹۲/۴	۲۰۱۱	لندست ۵	TM	۰/۹۳	۹۳/۴
۱۹۹۸	لندست ۵	TM	۰/۸۷	۹۰/۷	۲۰۱۲	لندست ۷	ETM+	۰/۹۱	۹۲/۵
۲۰۰۰	لندست ۵	TM	۰/۹۲	۹۳/۶	۲۰۱۳	لندست ۸	OLI	۰/۹۲	۹۳/۲
۲۰۰۲	لندست ۷	ETM+	۰/۹۱	۹۲/۲	۲۰۱۴	لندست ۸	OLI	۰/۹۳	۹۳/۱
۲۰۰۴	لندست ۷	ETM+	۰/۹۰	۹۰/۵	۲۰۱۵	لندست ۸	OLI	۰/۹۱	۹۲/۵
۲۰۰۶	لندست ۷	ETM+	۰/۸۸	۹۰/۶					

یکی از روش‌ها به منظور پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری زمین، روش زنجیرهٔ مارکوف می‌باشد، زنجیرهٔ مارکوف یکسری از مقادیر تصادفی است که احتمالات در یک فاصله زمانی به تعداد آن مقدار در زمان گذشته بستگی دارد. به صورت تئوری قسمت معینی از زمین ممکن است در هر زمان از یک گروه کاربری زمین به هر گروه دیگر تبدیل شود. تحلیل زنجیره مارکوف یک ابزار مفید برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، مخصوصا زمانی که تشریح تغییرات در چشم انداز مشکل باشد، به کار می‌رود (Benito et al, ۲۰۱۰). این عمل به وسیله ماتریس احتمالات انتقال و ماتریس مساحت‌های انتقال صورت می‌پذیرد. ماتریس احتمالات انتقال بیان کننده احتمالی است که هر پیکسل در کلاس مشخص بر طبق وضعیت پیشین خود، در طی دوره زمانی معین به کلاس‌های دیگر تبدیل شود، بیان ریاضیاتی ماتریس احتمالات انتقال به صورت رابطه شماره ۱ می‌باشد.

$$p = \begin{bmatrix} p_{۰۰} & p_{۰۱} & \cdots & p_{۰m} \\ p_{۱۰} & p_{۱۱} & \cdots & p_{۱m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n۰} & p_{n۱} & \cdots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در ماتریس بالا، Pij احتمال تبدیل i امین نوع کاربری به j امین نوع از حالت اولیه به حالت نهایی می‌باشد و n تعداد انواع کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. البته Pij باید شرایط زیر را داشته باشد:

$$۰ \leq p_{ij} \leq ۱ (i.j = ۱.۲.۳. \ldots . n)$$

$$\sum_{i=۱}^{n} p_{ij} = ۱ (i.j = ۱.۲.۳. \ldots . n)$$

و در نهایت پیش‌ینی مدل زنجیره مارکوف بر اساس رابطه شماره ۲ صورت می‌پذیرد:

$$P_{(n)} = P_{(n-۱)} P_{ij} \quad (۲)$$

که در این فرمول P(n) احتمال وضعیت هر کدام از کاربری‌ها در هر زمان و P(n - ۱) احتمال وضعیت اولیه هر کاربری می‌باشد و P_{ij} ماتریس مساحت‌های انتقال بیانگر کل مساحت‌های مورد انتظار برای تغییر در زمان بعدی می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

$$A = (A_{ij}) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

در این معادله A ماتریس مساحتی انتقال می‌باشد و Aij مجموع مساحت‌های حاصل شده از وضعیت i ام به وضعیت j ام در طی سال‌های شروع تا هدف و n تعداد انواع کاربری‌ها می‌باشد (Yang et al, ۲۰۱۲).

یکی از عناصر فضایی بنیادی که زمینه دینامیک بسیاری از رخدادهای تغییر است، مجاورت می‌باشد، یعنی مناطقی تمایل بیشتری برای تغییر به یک کلاس دارند زمانی که آنها در نزدیکی مناطق موجود در همان کلاس باشند (Schatten, ۱۹۹۹). CA، یک سیستم دینامیک گسسته است که حالت هر سلول در زمان t+۱ به وسیله حالت سلول‌های همسایگی در زمان t و مطابق قوانین تبدیل از پیش تعریف شده، تعیین می‌گردد. CA به عنوان مدل تحلیلی با دینامیک‌های زمانی مکانی می‌تواند تغییرات را در فضای دو بعدی با قدرت تفکیک بالا شبیه‌سازی کند (Stevens et al, ۲۰۰۷). در میان مدل‌های دینامیکی،CA یکی از مؤثرترین روش‌ها در مدل‌سازی با توجه به انعطاف‌پذیری و سادگی در کاربرد و روابط نزدیک با داده-های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، به شمار می‌آید (Torrens, ۲۰۰۰). تلفیق GIS و مدل CA برای شبیه-سازی دینامیک تغییرات پوشش و کاربری زمین می‌تواند شبیه‌سازی‌های واقعی از الگوهای پوشش و کاربری زمین و ساختار مکانی آن، تولید کند (Gar-on Yeh and Li, ۲۰۰۳). CA در پیش‌بینی تغییرات از نظر مکانی به دلیل در نظر گرفتن وضعیت سلول‌های همسایه بهتر عمل می‌کنند (Esatman, ۲۰۰۹).

مدل CA-Markov روشی مناسب در مدل‌سازی دینامیک زمانی و مکانی تغییرات پوشش و کاربری زمین است و داده-های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌توانند به طور موثری در آن مشارکت داده شوند (Li and Reylonds, ۱۹۹۷). در مدل CA-Markov، پروسه زنجیره مارکوف تغییرات زمانی را میان کلاس پوشش/کاربری زمین بر اساس احتمالات تبدیل می‌کند، در حالی‌که تغییرات مکانی به وسیله قوانین محلی تعیین شده از طریق فیلتر مکانی CA کنترل می‌گردند (Esatman et al, ۲۰۰۵). برای پایش الگوهای مکانی پوشش و کاربری اراضی محدوده ساحل شرقی دریاچه ارومیه، یک مدل شبیه‌سازی تغییرات پوشش و کاربری زمین توسعه داده شد، که شامل سه مرحله می‌باشد:

الف- محاسبه احتمالات تبدیل با استفاده از آنالیز زنجیره مارکوف، ب- محاسبه نقشه‌های شایستگی پوشش و کاربری زمین بر اساس ارزیابی چند معیاره، ج- اختصاص مکانی پوشش و کاربری زمین شبیه‌سازی شده بر اساس عملگر مکانی CA

در مرحله دوم این مدل از روش ارزیابی چند معیاره (MCE) جهت ارزیابی شایستگی پوشش و کاربری زمین و تولید نقشه-های شایستگی، استفاده خواهد شد. در روش MCE فاکتورها و محدودیتهای مکانی تأثیرگذار بر روی مدل در نظر گرفته می-شود. سپس تحلیل چند معیاره با مشارکت محدودیت‌های فوق و فاکتورهای وزن‌دهی شده، اجرا می‌شود (Schneider and Pontius, ۲۰۰۱). در نهایت یک فیلتر CA جهت تغییر حالت سلول‌ها بر اساس همسایگی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فیلتر، یک فیلتر مجاورت ۵ × ۵ می‌باشد (Jokar arsanjani, ۲۰۱۰).

در این پژوهش جهت ارزیابی نتایج مدل‌های پیش‌بینی تولید شده، از ضریب کاپا استفاده شده است. با توجه به نقشه پوشش/کاربری زمین به دست آمده از اجرای مدل برای سال ۲۰۱۵، کلاس‌های موجود در نقشه شبیه‌سازی شده، با کلاس-های متناظر در نقشه پوشش/کاربری زمین مرجع در سال ۲۰۱۵ مقایسه می‌شوند و ضریب کاپای مدل استخراج می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

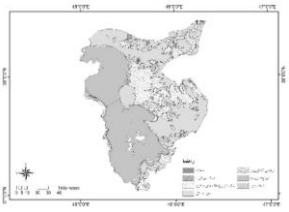
شرح و تفسیر نتایج

نتایج نهایی پردازش تصاویر ماهواره‌ای نقشه‌های طبقه‌بندی شده از پوشش زمین و یا کاربری اراضی می‌باشد (شکل شماره ۳). برای این منظور پس از انجام طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، لایه‌های طبقه‌بندی شده را به فرمت وکتور تبدیل کرده تا در محیط نرم‌افزار ۱۰.۳ ArcGIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند و روند تغییرات بررسی شود. نتایج تحقیق (جدول شماره ۵) نشان می‌دهد که مساحت دریاچه ارومیه از ۴۹۰۴/۵۱ کیلومترمربع به ۶۷۶/۷۹ کیلومترمربع کاهش یافته است، مساحت اراضی کشاورزی از ۱۷۷/۷۲ کیلومترمربع به ۵۴۲/۳۷ کیلومترمربع افزایش یافته است، مساحت باغات از ۸۳/۷۱ کیلومترمربع به ۲۲۷/۲۸ کیلومترمربع افزایش یافته است، مساحت نمک‌های مرطوب از ۱۱۱/۸۹ کیلومترمربع به ۹۴۵ کیلومترمربع افزایش یافته است، مساحت پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) از ۸۵۹/۰۱ کیلومترمربع به ۲۹۸۶/۵ کیلومترمربع افزایش یافته و مساحت نمک‌های تازه تشکیل شده از ۱۷۱/۲۷ کیلومترمربع به ۹۲۱/۹۹ کیلومترمربع افزایش یافته است.

تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۵

تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۰

تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۸۴

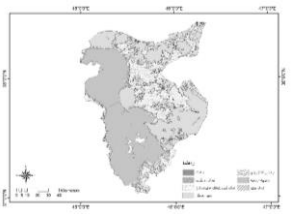

تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۲

تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۰

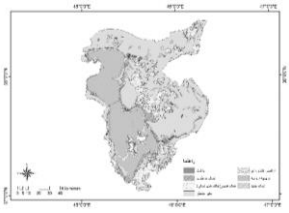
تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۸

تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۹

تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۶


تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۰۴

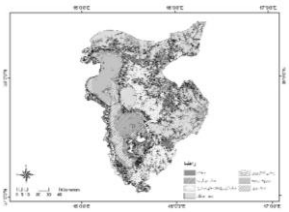
تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۲


تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۱

تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۰

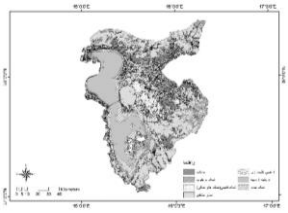
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]



تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۵

تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۴



تصویر طبقه بندی شده سال ۲۰۱۳

شکل ۳: نقشه تغییرات محیطی ایجاد شده در ساحل شرقی دریاچه ارومیه

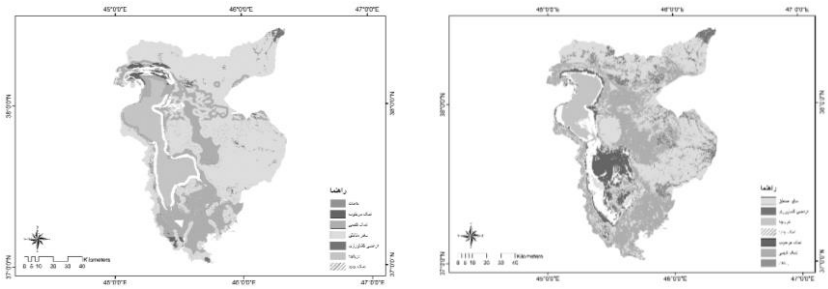
جدول ۵: مساحت تغییرات محیطی ایجاد شده در ساحل شرقی دریاچه ارومیه (کیلومترمربع)

سال	ماهواره	سنجنده	طبقات						ضریب کاپا	دقت کلی (درصد)
			باغات	نمک مرطوب	پهنه‌های گلی - نمکی	اراضی کشاورزی	آب	نمک جدید		
۱۹۸۴	لندست۵	TM	۸۳/۷۱	۱۱۱/۸۹	۸۵۹/۰۱	۱۷۷/۷۲	۴۹۰۴/۵۱	۱۷۱/۲۷	۰/۸۸	۹۰/۲
۱۹۹۰	لندست۵	TM	۶۷/۱۲	۱۰۹/۱۹	۹۱۹/۷۹	۱۷۱/۳۶	۴۹۹۰/۹۷	۹۶/۹۶	۰/۸۹	۹۱/۵
۱۹۹۵	لندست۵	TM	۸۵/۰۸	۰/۱۶	۵۱۰/۲۷	۱۶۱/۸۶	۵۵۱۲/۹۹	۱۹/۵۲	۰/۹	۹۲/۴
۱۹۹۸	لندست۵	TM	۴۵/۱۶	۴/۴۴	۴۸۱/۲۵	۱۲۸/۸۹	۵۳۹۳/۴۳	۳/۵۱	۰/۸۷	۹۰/۷
۲۰۰۰	لندست۵	TM	۱۲/۶۲	۱۲۷/۶۸	۱۳۷۹/۹۲	۱۷۴/۱۳	۴۶۹۸/۵۳	۲۳۵/۶۴	۰/۹۲	۹۳/۶
۲۰۰۲	لندست۷	ETM +	۱۸/۹۶	۷۰/۲۳	۲۶۱۳/۱۷	۱۱۲/۷۲	۴۲۰۴/۹۳	۷۷/۶۷	۰/۹۱	۹۲/۲
۲۰۰۴	لندست۷	ETM +	۲۳/۵	۱۸/۶۶	۲۷۹۴/۳۵	۱۴۳/۷۶	۴۲۲۴/۷۵	۹۲/۰۶	۰/۹	۹۰/۵
۲۰۰۶	لندست۷	ETM +	۳۳/۰۴	۰/۳۲	۲۷۱۷/۳۶	۱۲۷/۳۵	۳۹۶۲/۰۹	۲۱۲/۸۹	۰/۸۸	۹۰/۶
۲۰۰۹	لندست۵	TM	۷۴/۵۲	۴۱۸/۷۷	۱۱۱۲/۱۹	۲۰۷/۸۶	۲۸۴۱/۶۲	۹۷۳/۳۷	۰/۹۳	۹۴/۸
۲۰۱۰	لندست۵	TM	۱۱۸/۸۵	۷۸/۷۸	۱۲۰۹/۲۱	۱۸۱/۴	۲۸۶۰/۸۱	۲۶۰/۲۲	۰/۹۲	۹۳/۹
۲۰۱۱	لندست۵	TM	۸۹/۶۲	۳۶۱/۶۱	۱۵۲۸/۶۹	۲۳۵/۲۹	۲۸۲۴/۰۳	۱۸۰/۰۵	۰/۹۳	۹۳/۴
۲۰۱۲	لندست۷	ETM +	۲۳/۹۵	۲۳۸/۷۸	۲۶۷۶/۵۶	۱۸۴/۳۴	۱۸۷۴/۷۴	۷۲۲/۷۴	۰/۹۱	۹۲/۵
۲۰۱۳	لندست۸	OLI	۲۱۳/۶	۴۳۸/۸۲	۱۸۵۹/۶۰	۴۸۶/۱۴	۱۷۹۱/۳	۸۷۹/۸۶	۰/۹۲	۹۳/۲
۲۰۱۴	لندست۸	OLI	۱۹۲/۹۲	۱۳۴۳۰/۵	۱۹۶۲/۴۶	۳۵۲/۸۹	۸۳۱/۴۶	۵۵۸/۵۹	۰/۹۳	۹۳/۱
۲۰۱۵	لندست۸	OLI	۲۲۷/۲۸	۹۴۵	۲۹۸۶/۵	۵۴۲/۳۷	۶۷۶/۷۹	۹۲۱/۹۹	۰/۹۱	۹۲/۵

سه مجموعه داده‌ها، ۱) نقشه پوشش / کاربری اراضی سال ۲۰۱۲ به عنوان نقشه مبنا، ۲) نقشه‌های شایستگی سال ۲۰۱۲ و ۳) ماتریس مناطق تبدیل ۲۰۰۹-۲۰۱۲، با استفاده از عملگر مکانی CA برای پیش بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ در محیط نرم‌افزار IDRISI Selva ۱۷ با یکدیگر تلفیق شدند.۳ بار تکرار برای مدل CA به دلیل فاصله زمانی ۲۰۱۲ و ۲۰۱۵ اختصاص داده شد. بدین ترتیب در پایان هر تکرار، نقشه پوشش و کاربری اراضی جدیدی (شکل شماره ۴) به وسیله همپوشانی تمامی نتایج به دست آمده از مراحل پیشین تولید گردید.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

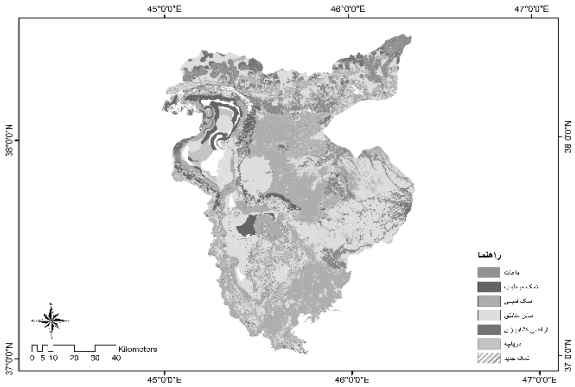


الف- نقشه مرجع سال ۲۰۱۵ ب- نقشه شبیه سازی شده سال ۲۰۱۵

شکل ۴: نقشه پوشش/کاربری اراضی شبیه‌سازی شده در مقابل مرجع در سال ۲۰۱۵

با توجه به نقشه پوشش/ کاربری به دست آمده از اجرای معدل برای سال ۲۰۱۵، کلاس‌های موجود در نقشه شبیه‌سازی شده، با کلاس‌های متناظر در نقشه پوشش/ کاربری اراضی مرجع در سال ۲۰۱۵ نسبتا مشابه‌اند. دقت کلی این مدل ۸۶/۷ درصد حاصل گشته است. به طوری که خطای نسبی کاربری باغات برابر ۶/۲ درصد کاربری نمک مرطوب ۳/۰۴ درصد کاربری پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) ۷/۸ درصد کاربری سایر مناطق ۱۸/۱ درصد کاربری اراضی کشاورزی ۲/۵ درصد کاربری دریاچه ارومیه ۲/۴ درصد و کاربری نمک جدید ۰/۹۹ درصد به دست آمده است.

با استفاده از مدل CA-Markov پیش‌بینی تغییرات اراضی منطقه در سال ۲۰۲۰ انجام شد(شکل شماره ۵). در صورتی که سرعت تغییرات کاربری همچون سال‌های گذشته باشد کاربری باغات از ۲۲۷/۲۸ کیلومتر مربع به ۶۳۸ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت کلاس نمک مرطوب از ۹۴۵ کیلومترمربع به ۷۱۷ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت کلاس پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) از ۲۹۸۶/۵ کیلومترمربع به ۴۱۲۷ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت کلاس سایر مناطق از ۴۸۹۲/۰۷ کیلومترمربع به ۴۵۸۵ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت کاربری اراضی کشاورزی از ۵۴۲/۳۷ کیلومترمربع به ۶۴۴ افزایش خواهد یافت کلاس دریاچه ارومیه از ۶۷۶/۷۹ کیلومترمربع به ۱۱۸ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت و کلاس نمک جدید از ۹۲۱/۹۹ کیلومترمربع به ۳۶۳ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت.



شکل ۵: نقشه شبیه‌سازی شده پوشش / کاربری منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۰

در جدول شماره ۶ وضعیت هر یک از شهرستان‌ها و دهستان‌ها از لحاظ سطح باغات، اراضی کشاورزی، نمک جدید، نمک مرطوب و پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ بررسی شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

جدول ۶: بررسی وضعیت محیطی شهرستان‌ها و دهستان‌ها در سال ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ میلادی (مساحت بر حسب کیلومترمربع)

نام(وضعیت)	۲۰۱۵ میلادی								۲۰۲۰ میلادی						
	تعداد روستا	باغات	اراضی کشاورزی	نمک جدید	نمک مرطوب	پهنه‌های گلی - نمکی	سایر مناطق		باغات	اراضی کشاورزی	نمک جدید	نمک مرطوب	پهنه‌های گلی - نمکی	سایر مناطق	
									درصد تغییرات						
شبستر (شهرستان)	۸۱	۷۴	۲۷۶	۰	۰	۶۱۱	۱۶۷۰		۴۲۷	۳۴۷	۱۸	۹	۸۹۱	۹۳۹	
									۱۳/۴	۲/۷	۰/۶۹	۰/۳۴	۱۰/۶	-۲۷/۷۸	
چهرگان (دهستان)	۷	۷	۱۶	۰	۰	۱۳	۲۷۳		۸۲	۵۴	۰	۰	۱۶	۱۵۷	
									۲۴/۳	۱۲/۳	۰	۰	۰/۹۷	-۳۷/۵۴	
گونی غربی (دهستان)	۹	۱۳	۴۹	۰	۰	۵۷	۲۳۲		۶۱	۷۴	۱	۴	۸۹	۱۲۰	
									۱۳/۷۵	۷/۲	۰/۲۹	۱/۱۵	۹/۱۷	-۳۲/۰۹	
گونی مرکزی (دهستان)	۷	۲۶	۳۷	۰	۰	۱۸۶	۱۹۱		۴۶	۳۴	۰	۵	۲۳۴	۱۲۱	
									۴/۵	-۰/۶۸	۰	۱/۱۴	۱۰/۹	-۱۵/۹	
گونی شرقی (دهستان)	۶	۴	۲۲	۰	۰	۱۰۴	۱۶۶		۱۶	۲۶	۱	۰	۱۵۹	۹۵	
									۴	۱/۳۵	۰/۳۴	۰	۱۸/۵	-۲۳/۹	
سیس(دهستان)	۱۰	۶	۳۶	۰	۰	۶۳	۱۷۰		۲۴	۳۲	۲	۰	۱۲۴	۹۳	
									۶/۵	-۱/۴۵	۰/۷۳	۰	۲۲/۱۸	-۲۸	
میشو جنوبی (دهستان)	۱۰	۱	۲۲	۰	۰	۴۶	۱۲۰		۱۴	۲۷	۰	۰	۶۲	۸۷	
									۶/۸	۲/۶	۰	۰	۸/۴	-۱۷/۳۷	
چله خانه (دهستان)	۱۲	۰	۱۰	۰	۰	۱۱۰	۱۹۴		۱۲	۴۳	۱۴	۰	۱۱۶	۱۲۸	
									۳/۸	۱۰/۵	۴/۴۷	۰	۱/۹	-۲۱/۰۸	
رودقات (دهستان)	۲۰	۱۷	۸۵	۰	۰	۳۱	۳۲۴		۱۷۲	۵۷	۰	۰	۹۱	۱۳۷	
									۳۳/۹	-۶/۱۳	۰	۰	۱۳/۱۳	-۴۰/۹	
اسکو (شهرستان)	۴۷	۲۸	۸۸	۲	۰	۴۰۳	۱۰۱۷		۷۵	۹۱	۱	۱۱	۵۰۵	۸۵۶	
									۳/۰۶	۰/۲	-۰/۰۶۵	۰/۷	۶/۶	-۱۰/۴۷	
جزیره (دهستان)	۷	۱	۳	۲	۰	۲۱۶	۲۹۰		۳	۵	۱	۱۱	۲۲۸	۲۶۴	
									۰/۳۹	۰/۳۹	-۰/۲	۲/۱۵	۲/۳	-۵/۰۸	
شورکات جنوبی (دهستان)	۱۷	۶	۳۶	۰	۰	۱۲۲	۲۸۱		۲۷	۳۷	۰	۰	۱۹۲	۱۸۹	
									۴/۷۲	۰/۲۲	۰	۰	۱۵/۷۳	-۲۰/۶۸	
باویل(دهستان)	۶	۴	۳	۰	۰	۱۹	۵۸		۶	۳	۰	۰	۲۶	۵۰	
									۳/۳۸	۰	۰	۰	۸/۳۳	-۹/۵	
گنبر(دهستان)	۱۱	۵	۲۴	۰	۰	۲۰	۲۱۳		۱۳	۲۷	۰	۰	۲۵	۱۹۷	
									۳/۰۵	۱/۱۴	۰	۰	۱/۹۱	-۶/۱۱	
سهند(دهستان)	۶	۱۳	۲۲	۰	۰	۲۷	۱۷۵		۲۶	۲۰	۰	۰	۳۵	۱۵۵	
									۵/۴۸	-۰/۸۴	۰	۰	۳/۳۸	-۸/۴۴	
آذرشهر (شهرستان)	۴۷	۲۶	۴۷	۰	۰	۴۳۵	۵۶۰		۵۲	۴۹	۰	۶	۴۲۶	۵۳۵	
									۲/۴	۰/۱۸۷	۰	۰/۵۶	-۰/۸۴	-۲/۳۴	
تیمورلو (دهستان)	۴	۳	۶	۰	۰	۸۷	۵۹		۶	۶	۰	۱	۸۶	۵۵	
									۱/۹۳	۰	۰	۰/۶۴	-۰/۶۵	-۲/۵۸	
شهرک (دهستان)	۲	۱	۶	۰	۰	۵۳	۳۸		۴	۵	۰	۳	۴۹	۳۷	
									۳/۰۶۱	-۱/۰۲	۰	۳/۰۶	-۴/۰۸	-۱/۰۲	
قاضی جهان(دهستان)	۴	۱۱	۱۱	۰	۰	۱۱	۱۹		۱۹	۹	۰	۰	۱۰	۱۴	
									۱۵/۳۸	-۳/۸۵	۰	۰	-۱/۹۲	-۹/۶۲	
دستجرد (دهستان)	۶	۵	۷	۰	۰	۸۰	۱۶		۱۰	۵	۰	۰	۷۸	۱۶	
									۴/۶۳	-۱/۸۵	۰	۰	-۱/۸۵	۰	
ینگجه (دهستان)	۱۰	۳	۶	۰	۰	۱۵	۹۴		۷	۷	۰	۰	۱۵	۹۰	
									۳/۳۹	۰/۸۵	۰	۰	۰	-۳/۳۹	
قبله داغی (دهستان)	۱۲	۲	۷	۰	۰	۱۵۲	۱۶۹		۵	۱۰	۰	۱	۱۵۱	۱۶۴	
									۰/۹	۰/۹	۰	۰/۳	-۰/۳	-۱/۵۱	
شیرامین (دهستان)	۹	۱	۴	۰	۰	۳۷	۱۶۳		۱	۷	۰	۱	۳۷	۱۵۹	
									۰	۱/۴۶	۰	۰/۴۹	۰	-۱/۹۵	
عجب شیر (شهرستان)	۴۹	۴۹	۶۶	۰	۰	۵۴	۵۷۶		۶۵	۸۵	۰	۰	۵۷	۵۳۷	
									۲/۱۵	۲/۵۵	۰	۰	۰/۴	-۵/۲۳	
دیزج رود غربی (دهستان)	۱۹	۱۸	۱۳	۰	۰	۱۸	۱۵۱		۲۲	۱۴	۰	۰	۱۹	۱۴۵	
									۲	۰/۵	۰	۰	۰/۵	-۳	
دیزج رود شرقی (دهستان)	۱۵	۱۳	۸	۰	۰	۸	۱۶۸		۱۶	۱۱	۰	۰	۱۰	۱۵۹	
									۱/۵۲	۱/۵۲	۰	۰	۱/۰۱۵	-۴/۵۷	
کوهستان (دهستان)	۸	۹	۳۳	۰	۰	۲	۲۲۱		۱۳	۴۵	۰	۰	۲	۲۰۴	
									۱/۵۱	۴/۵۳	۰	۰	۰	-۶/۴۱	
خضرلو (دهستان)	۷	۹	۱۳	۰	۰	۲۷	۳۶		۱۳	۱۵	۰	۰	۲۶	۲۹	
									۴/۷۱	۲/۳۵	۰	۰	-۱/۱۸	-۸/۲۳	

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

بر این اساس بیشترین افزایش در باغات در روستاهای شهرستان شبستر با ۱۳/۴ درصد افزایش رخ خواهد داد، بیشترین میزان افزایش اراضی کشاورزی نیز در روستاهای شهرستان شبستر با ۲/۷ درصد افزایش رخ خواهد داد، بیشترین نمک جدید نیز در روستاهای شهرستان شبستر با ۰/۶۹ درصد افزایش رخ خواهد داد، بیشترین میزان در افزایش نمک مرطوب نیز در روستاهای شهرستان اسکو با ۰/۷ درصد افزایش رخ خواهد داد و بیشترین میزان در افزایش پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) نیز در روستاهای شهرستان شبستر با ۱۰/۶ درصد افزایش رخ خواهد داد در نتیجه شهرستان شبستر علی رغم افزایش باغات و زمین‌های کشاورزی با افزایش زمین‌های نمکی نیز رو به رو خواهد شد. در میان دهستان‌های منطقه بیشترین میزان افزایش باغات در دهستان رودقات شهرستان شبستر با ۳۳/۹ درصد افزایش رخ خواهد داد، بیشترین افزایش اراضی کشاورزی در دهستان چهرگان شهرستان شبستر با ۱۲/۳ درصد افزایش رخ خواهد داد، بیشترین افزایش در نمک جدید در دهستان چله‌خانه شهرستان شبستر با ۴/۴۷ درصد افزایش رخ خواهد داد، بیشترین افزایش در نمک مرطوب در دهستان شهرک شهرستان آذرشهر با ۳/۰۶ درصد افزایش رخ خواهد داد و بیشترین میزان در افزایش پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) در دهستان سیس شهرستان شبستر با ۲۲/۱۸ درصد افزایش رخ خواهد داد.

نتیجه گیری

در این مطالعه، تغییرات سطح دریاچه ارومیه و کاربری‌های ساحل شرقی آن که شامل شهرستان‌های شبستر، اسکو، آذرشهر و عجب‌شیر می‌باشد طی بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و تکنیک‌های پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای بررسی گردید. نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بررسی دقت طبقه‌بندی نشان‌دهنده دقت مناسب تکنیک‌های شیء گرای پردازش تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی کاربری اراضی می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده افزایش سطح باغات، نمک‌های مرطوب، پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی)، اراضی کشاورزی، نمک جدید و کاهش مساحت دریاچه ارومیه طی بازه مورد مطالعه (۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ میلادی) می‌باشد که نشان دهنده وضعیت نابسامان زیست‌محیطی در سطح منطقه می‌باشد. البته این روند در همه کاربری‌ها و سال‌های مختلف به صورت خطی نمی‌باشد بلکه در بعضی موارد نوساناتی داشته است ولی روند کلی تغییرات اینگونه می‌باشد، البته این تغییرات در تمامی ساحل شرقی و شامل هر چهار شهرستان مورد مطالعه می‌باشد به طوری که با پسروی دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر به پوشش‌های نمکی مختلف در حاشیه شرقی دریاچه افزوده شده است و با فاصله گرفتن از پوشش‌های نمکی، بر پوشش‌های گیاهی اعم از باغات و اراضی کشاورزی افزوده شده است، افزایش پوشش‌های گیاهی از طرفی دارای جنبه مثبت می‌باشد و در صورت استفاده کشاورزان و باغداران از روش‌های مکانیزه آبیاری می‌تواند از گسترش اراضی نمکی و ریزگردهای حاصل از آن جلوگیری کند ولی در صورت عدم استفاده از روش‌های مکانیزه و استفاده از منابع آب زیرزمینی و سطحی به صورت نامتعارف، خود عاملی خواهد شد در جهت پسروی بیشتر دریاچه ارومیه و گسترش زمین‌های نمکی. در ادامه با استفاده از مدل زنجیره مارکوف که یک ابزار مفید برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد به پیش‌بینی شرایط آتی منطقه از لحاظ تغییرات کاربری‌های مختلف پرداخته شد و شرایط منطقه برای سال ۲۰۲۰ میلادی مدل‌سازی گردید. این مدل شامل سه مرحله: ۱- محاسبه احتمالات تبدیل با استفاده از آنالیز زنجیره مارکوف ۲- محاسبه نقشه‌های شایستگی پوشش و کاربری زمین بر اساس ارزیابی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

چند معیاره ۳- اختصاص مکانی پوشش و کاربری زمین شبیه‌سازی شده بر اساس عملگر مکانی CA می‌باشد. این مدل بر اساس تغییرات صورت گرفته در سال‌های گذشته و بررسی تمامی سال‌ها و کاربری‌ها به محاسبه احتمال تغییرات در آینده و تخصیص مکانی این تغییرات می‌پردازد و صرفا روند کلی تغییرات را در نظر نمی‌گیرد بلکه روند تمامی سال‌ها را در نظر گرفته و ممکن است یک کاربری علی رغم کاهش طی روند کلی، در آینده دچار افزایش گردد. نتایج مدل زنجیره مارکوف نشان می‌دهد با توجه به روند تغییرات سال‌های گذشته و محاسبه احتمالات تغییرات، در سال ۲۰۲۰ کاربری باغات از ۲۲۷/۲۸ کیلومتر مربع به ۶۳۸ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت، کلاس نمک مرطوب از ۹۴۵ کیلومترمربع به ۷۱۷ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت، کلاس پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) از ۲۹۸۶/۵ کیلومترمربع به ۴۱۲۷ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت، کلاس سایر مناطق از ۴۸۹۲/۰۷ کیلومترمربع به ۴۵۸۵ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت، کاربری اراضی کشاورزی از ۵۴۲/۳۷ کیلومترمربع به ۶۴۴ افزایش خواهد یافت، کلاس دریاچه ارومیه از ۶۷۶/۷۹ کیلومترمربع به ۱۱۸ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت و کلاس نمک جدید از ۹۲۱/۹۹ کیلومترمربع به ۳۶۳ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت. در ادامه با مدل‌سازی این تاثیرات بر روستاهای ساحل شرقی دریاچه مشخص گردید در سال ۲۰۲۰ بیشترین افزایش در باغات در روستاهای شهرستان شبستر با ۱۳/۴ درصد افزایش، بیشترین میزان افزایش اراضی کشاورزی نیز در روستاهای شهرستان شبستر با ۲/۷ درصد افزایش، بیشترین نمک جدید نیز در روستاهای شهرستان شبستر با ۰/۶۹ درصد افزایش، بیشترین میزان در افزایش نمک مرطوب نیز در روستاهای شهرستان اسکو با ۰/۷ درصد افزایش و بیشترین میزان در افزایش پهنه‌های گلی-نمکی (خاک‌های نمکی) نیز در روستاهای شهرستان شبستر با ۱۰/۶ درصد افزایش رخ خواهد داد. به طور یقین، پردازش تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند: SPOT و Sentinel و انتقال لایه‌های اطلاعاتی به محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، همراه با پایش به هنگام و دقیق تغییرات پارامترهای محیطی-اقلیمی دریاچه ارومیه به منظور حفظ این مجموعه آبی به عنوان یک میراث طبیعی با ارزش ضرورتی اجتناب ناپذیر و پژوهشی در سطح ملی تلقی خواهد شد.

منابع

اکبری‌مهین، مهدی و جلال کرمی. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات سطح دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. *سومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست*، دانشگاه تهران، ۲۶۳-۲۵۶.

آل شیخ، علی اصغر؛ عباس علی‌محمدی و علی قربانعلی. ۱۳۸۴. پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه با استفاده از سنجش از دور. *نشریه علوم جغرافیایی*، **۴**: ۲۵-۹.

پوراصغر، فرناز؛ امیرشاهرخ حسنعلیزاده؛ یونس اکبرزاده و مجید سلطانی. ۱۳۹۱. بررسی انتشار ذرات نمک به محیط پیرامون در اثرخشک شدن دریاچه ارومیه. *همایش ملی جریان و آلودگی هوا*، موسسه آب دانشگاه تهران، ۱۳۷-۱۲۹.

رسولی، علی‌اکبر و شیرزاد عباسیان. ۱۳۸۶. تحلیل مقدماتی سری های زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، **۲۸**: ۱۶۵-۱۳۷.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

رسولی، علی‌اکبر. ۱۳۸۷. *اصول سنجش از دور کاربردی با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای*، چاپ اول. دانشگاه تبریز، تبریز.

رسولی، علی‌اکبر؛ شیرزاد عباسیان و سعید جهانبخش. ۱۳۸۷. پایش نوسانهای سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند سنجنده‌ای و چند زمانه‌ای. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، **۲**: ۷۱-۵۳.

زمانی‌اکبری، اصغر و سعید ملکی ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه طی دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۵ با استفاده از داده های RS و GIS، *همایش ملی ژئوماتیک ۱۳۸۹*، سازمان نقشه برداری کشور، ۲۵۰-۲۴۲.

شایان، سیاوش و مهدی جنتی. ۱۳۸۶. شناسنایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های LISSIII,TM&ETM . *نشریه پژوهش های جغرافیایی*، **۶۲**: ۳۹-۲۵.

ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ خدیجه کریمی و پرستو دارویی. ۱۳۹۳. ارزیابی تغییرات جنوب شرق دریاچه ارومیه در دوره-های زمانی ۱۹۸۴ و۲۰۰۴ با استفاده GIS، *اولین همایش ملی محیط زیست*، دانشگاه پیام نور واحد دهاقان، ۹۸-۹۰.

علوی‌پناه، سیدکاظم. ۱۳۹۰. *اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی*، چاپ دوم. دانشگاه تهران، تهران.

فیضی‌زاده، بختیار. ۱۳۸۶. *مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شیء گرا در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی*، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.

فیضی‌زاده، بختیار؛ محمدحسین رضایی مقدم؛ مجید رضایی‌بنفشه و حسین نظم فر. ۱۳۸۹. طبقه‌بندی پوشش اراضی / کاربری اراضی بر اساس تکنیک شیء گرا و تصاویر ماهواره‌ای مطالعه موردی استان آذربایجان غربی. *پژوهش‌های آبخیزداری*، **۸۷**: ۳۲-۱۹.

محرمی، میثم. ۱۳۹۵. *مدل‌سازی تاثیرات پسروی دریاچه ارومیه بر روستاهای ساحل شرقی با پردازش شیء گرای تصاویر ماهواره‌ای*، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.

Ale sheikh, A.A.; Ali, G.A. and Nahal, N. ۲۰۰۷. Coastline change detection using remote sensing. international Journal of Environmental Science & Technology, **۴**: ۶۱-۶۶.

Allbed, A.; Lalit, K. and Yousef, Y.A. ۲۰۱۴. Assessing soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. Geoderma, **۲۳۰-۲۳۱**: ۱-۸.

Anderson, J.R.; Ernest, H.; John, R. and Richard, W. ۱۹۷۶. A Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. United States Government Printing Office, Washington.

Benito, P.R.; Cuevas, J.A.; Delaparra, R.B.; Prieto, F.; Delbarrio, J.M.G. and Zavala, M.A. ۲۰۱۰. Land use change in a Mediterranean metropolitan region and its periphery: assessment of conservation policies through CORINE Land Cover data and Markov models. Forest Systems, **۱۹**: ۳۱۵–۳۲۸.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

Chen, M.; Wei, S.; Li, L.; Chao, Zh.; Anzhi, Y. and Haixia, L. ۲۰۰۹. Comparison of pixel-based and object-oriented knowledge- based classification methods using spot۵ imagery. wseas transactions on information science and applications, **۶**: ۴۷۷- ۴۸۹.

Eastman, J.R. ۲۰۰۹. IDRISI Selva Manual Accessed in IDRISI *۱۷*. Clark University, Worcester.

Eastman, J.R.; Van fossen, M.E. and Solarzano, L.A. ۲۰۰۵. Transition Potential Modeling for Land-Cover Change in GIS, Spatial Analysis and Modeling. ESRI Press, California.

Feizizadeh, B.; Majid, Sh.R.; Piotr, J. and Thomas, B. ۲۰۱۴. A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. Computers & Geosciences, **۷۳**: ۲۰۸-۲۲۱.

Gar-On Yeh, A. and Xia, L. ۲۰۰۳. Simulation of development alternatives using neural networks, cellular automata, and GIS for urban planning. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, **۶۹**: ۱۰۴۳-۱۰۵۲.

Hathout, S. ۲۰۰۲. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Maintoba, Canada. Journal of Environmental Management, **۶۶**: ۲۲۹-۲۳۸.

Huang, L. and Ling, N. ۲۰۰۸. Object-oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy. Proceedings of the *۸*th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, ۲۱۱-۲۱۸.

Jokar arsanjani, J. ۲۰۱۲. Dynamic land use/cover change modeling: Geosimulation and multiagent-based modeling, Springer Theses, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Kamusoko, C.; Masamu, A.; Bongo, Adi. and Munyaradzi, M. ۲۰۰۹. Rural Sustainability under Threat in Zimbabwe – Simulation of Future Land Use/cover Changes in the Markov- Cellular Automata Model, Applied Geography, **۲۹**: ۴۳۵-۴۴۷.

Li, H. and Reynolds, J.F. ۱۹۹۷. Modeling Effects of Spatial Pattern, Durought, and Grazing on Rates of Rangeland Degradation: A Combined Markov and Cellular Automaton Approach, Lewis Publishers, Florida.

Lillesand, T.; Ralph, K. and Jonathan, Ch. ۲۰۰۱. Remote sensing and image interpretation, ۶th Edition, Wiley Publication, Washington.

Muller, M.R. and John, M. ۱۹۹۴. A Markov model of land use change dynamics in the Niagara Region Ontario Canada. Landscape Ecology, **۹**: ۱۵۱-۱۵۷.

Peterson, L.K.; Bergen, K.M.; Brown, D.G.; Vashchuk, L. and Blam, Y. ۲۰۰۹. Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region. Forest Ecology and Management, **۲۵۷**: ۹۱۱-۹۲۲.

Pontius JR, R.G. and Jeffrey, M. ۲۰۰۵. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. International Journal of Geographical Information Science, **۱۹**: ۲۴۳-۲۶۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]

Schatten, A. ۱۹۹۹. Cellular automata: Digital worlds. Retrieved February ۱۳, ۲۰۰۴, from http://www.ifs.tuwien.ac.at/~aschatt/info/ca/ ca_ print.html.

Schneider, L.C. and Robert Gilmore, P.J.R. ۲۰۰۱. Modeling land-use change in the Ipswich watershed Massachusetts USA Agriculture. Ecosystems and Environment, **۸۵**: ۸۳-۹۴.

Stevens, D.; Dragicevic, S. and Rothley, K. ۲۰۰۷. iCity: A GIS- CA modelling tool for urban planning and decision making. Environmental Modelling & Software, **۲۲**: ۷۶۱-۷۷۳.

Torrens, P.M. ۲۰۰۰. How Cellular Models of Urban Systems Work, University College London, London.

Wassahua, Z. ۲۰۱۰. The Use of Markov Cellular Automata Technique for Predicting Forest Cover Change in Rokan Hulu Riau Province Indonesia, Master Thesis. Bogor Agricultural University.

Yan, Gao. ۲۰۰۳. Pixel based and object oriented image analysis for coal fire research, Master Thesis. International institude for geo-information science and earth observation.

Yang, X.; Xin-Qi, Zh. And Li-Na, L. ۲۰۱۲. A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization Markov chain and cellular automata. Ecological Modelling, **۲۳۳**: ۱۱– ۱۹.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.3.81]