فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۵

نفیسه رمضانی، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
رضا جعفری، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

N. Ramezani
R. Jafari, Ph.D

E-mail: nafiseh.ramezani@yahoo.com

شماره مقاله: ۹۸۶ صص: ۹۶-۸۳
وصول: ۹۲/۱۲/۱۸ پذیرش: ۹۳/۶/۲

آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف (مطالعه موردی: اسفراین)

چکیده

مدل‌های پیش‌بینی کاربری و پوشش اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین در کشوری مثل ایران که بهره‌برداری از زمین با سرعت در حال تغییر است، یک نیاز ضروری است. این مطالعه با هدف مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۴ که افق چشم‌انداز توسعه ایران اسلامی است، با استفاده از مدل مارکوف و CA مارکوف و تصاویر ماهواره لندست در شهرستان اسفراین، استان خراسان شمالی انجام شده است. نتایج این مطالعه کاهش ۵۰۰۰ و ۴۰۰ هکتاری را به ترتیب در سطح مراتع و اراضی کشاورزی نشان داد. به علاوه، مدل پیش‌بینی کرد که سطح مراتع فقیر ۳۰ هکتار و اراضی مسکونی ۴۵۰ هکتار در ۱۳ سال آینده (۱۴۰۴-۱۳۸۸) افزایش دارد. با توجه به نتایج این مطالعه، اگر راهبرد فعلی استفاده از زمین در این منطقه بدون توجه به ملاحظات توسعه پایدار تا سال ۱۴۰۴ ادامه داشته باشد، تخریب شدید اراضی منطقه در آینده اجتناب ناپذیر است. به طور کلی، مطالعه حاضر کارایی بالای داده‌های سنجش از دور در تلفیق با مدل مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی نشان داد و نقشه‌های حاصله می‌تواند مدیران اجرایی را برای تصمیم‌گیری بهتر در رابطه با آینده منطقه مورد مطالعه یاری نماید.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی تغییرات، سنجش از دور، مدل‌سازی، آنالیز زنجیره‌ای مارکوف

مقدمه

مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین یک نیاز ضروری است (کاموسوکو۱ و همکاران، ۲۰۰۹، ۱؛ سول و کلاگت۲، ۲۰۱۳، ۱؛ مس۳ و همکاران، ۲۰۱۴، ۱). این مسأله به ویژه در کشورهای در حال توسعه که فعالیت‌هایی، نظیر: جنگل‌زدایی، توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی و تخریب مراتع موجب شدت بخشیدن به پدیده بیابان‌زایی شده، مورد نیاز است (آپادی یای۴ و همکاران، ۲۰۰۶، ۲؛ امیر اسلانی و دراگوویچ۵، ۲۰۱۱، ۲). به علاوه، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و برقراری ارتباط بین این تغییرات با عواقب اقتصادی- اجتماعی حاصل از آن اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت پایدار اراضی دارد (ویتفورد۶ و همکاران، ۲۰۱۰، D). بدین منظور، مدل‌سازی به عنوان یک موضوع علمی، در حال رشد سریع است و

1- Kamusoko
2- Sohl and Claggett
3- Mas
4- Upadhyay
5- Amiraslani and Dragovich
6- Whitford

بیش از یک دهه است که موضوع تحقیقات علمی شده است (پونتیوس و چن۱، ۲۰۰۶: ۱؛ رشمی و لل۲، ۲۰۱۰: ۲). دانستن اینکه چگونه و کجا تغییر کاربری اراضی رخ داده است، مفیدترین اطلاعات برای مدیران منطقه‌ای نیست، بلکه سرعت و دلیل تغییر و عوامل کنترل کننده آن نیز باید مشخص گردد. برای پاسخ به چنین سؤال‌هایی باید به یک مدل کارا از فرایند تغییر کاربری و پوشش اراضی که هدف آن پیش‌بینی توزیع مکانی کلاس‌های خاص از کاربری اراضی در آینده با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از گذشته است، متکی بود (لوپز۳ و همکاران، ۲۰۰۱: ۳؛ مینت و وانگ۴، ۲۰۰۶: ۲). مدل‌های مختلفی در این زمینه توسعه پیدا کرده است؛ اما مقایسه عملکرد این مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، به علت ماهیت کاملاً متفاوت آن‌ها دشوار است؛ برای مثال، مدل ژئومد۵ در نرم‌افزار IDRISI Kilimanjaro تنها تغییرات بین دو کلاس کاربری را شبیه‌سازی می‌کند، در حالی‌که مدل CA مارکوف۶ نرم‌افزار فوق توانایی پیش‌بینی تغییرات تمام کلاس‌های کاربری را داراست (پونتیوس و چن، ۲۰۰۱: ۱؛ رشمی و لل، ۲۰۱۰: ۲). مدل زنجیره‌ای مارکوف به صورت یک فرایند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آینده یک پیکسل تنها به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و بر اساس آن پیش‌بینی می‌شود. نتیجه مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال۷ است؛ اما در این مدل هیچ درک جغرافیایی به‌دست نمی‌آید و در پایان مدل‌سازی نقشه واحدی که نشان‌دهنده توزیع مکانی کلاس‌ها باشد، تولید نمی‌گردد. برای رفع این مشکل در دهه ۱۹۵۰ مدل CA مارکوف توسط جان وان نیومن۸ برای اضافه کردن مشخصه مکانی به مدل مارکوف طراحی شد (فان۹ و همکاران، ۲۰۰۸: ۷).

در میان محققان، علاقه خاصی برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجش از دور۱۰ به علت تکراری بودن، داشتن دید وسیع و فرمت رقومی مناسب برای تجزیه و تحلیل رایانه‌ای در پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی، از گذشته تا به امروز وجود داشته است. در این میان، تصاویر ماهواره لندست۱۱ سنجنده‌های TM۱۲ و MSS۱۳ به علت داشتن قدرت تفکیک مکانی مناسب و بایگانی طولانی مدت تصاویر، توان بالقوه‌ای برای شناسایی تغییرات کاربری و پوشش اراضی و مدل‌سازی دارند (وو۱۴ و همکاران، ۲۰۰۶: ۳؛ مندوزا۱۵ و همکاران، ۲۰۱۱: ۲). با بررسی منابع موجود در این زمینه ملاحظه می‌گردد که مدل زنجیره‌ای CA مارکوف در ترکیب با تصاویر سنجش از دور برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی به طور گسترده در محیط‌های شهری و غیرشهری در مقیاس‌های بزرگ در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است. گوان۱۶ و همکاران (۲۰۱۱، ۱) تغییرات کاربری اراضی ساگا در ژاپن را برای سال‌های ۲۰۴۲-۲۰۱۵ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف مدل‌سازی کردند. نتایج این مطالعه، افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی طبیعی و کشاورزی را نشان داد. این مطالعه بیان کرد که فرایند مدل‌سازی، درک بهتر سیستم‌های پیچیده کاربری اراضی، توسعه و بهبود ابزارهای مدیریتی و در نتیجه

1- Pontius and Chen
2- Rashmi and Lele
3- Lopez
4- Myint and Wang
5- Geomod
6- Cellular Automata Markov (CA Markov)
7- Transition probability matrix
8- John Von Neumann
9- Fan
10- Remote Sensing (RS)
11- Landsat satellite
12- Thematic Mapper
13- Multi Spectral Scanner
14- Wu
15- Mendoza
16- Guan

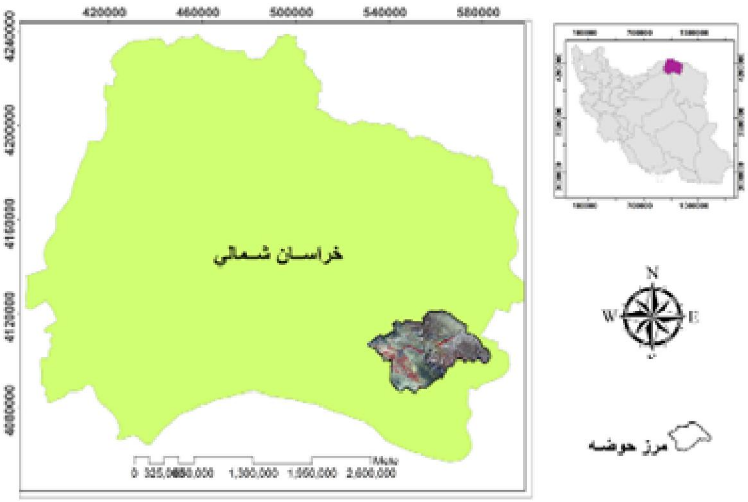
تعادل بین توسعه شهری و حفاظت از محیط زیست را برای مدیران منطقه‌ای فراهم می‌کند. وانگ۱ و همکاران (۲۰۱۲: ۱) تغییرات کاربری اراضی منطقه Changping در پکن را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست برای سال ۲۰۰۰ پیش‌بینی کردند. پیکوئر۲ و همکاران نیز (۲۰۱۲، ۳۹) در مطالعه‌ای اثرهای تغییرات کاربری اراضی در گذشته و آینده را بر روی منطقه حفاظت شده‌ای در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف بررسی کردند. نتایج این مطالعه در منطقه توسعه کشاورزی و مناطق شهری و رهاسازی کاربری‌های گذشته را نشان داد. در این مطالعات و مطالعات مشابه دیگر، علاوه بر مشخص شدن وضعیت تغییرات کاربری اراضی در زمان مورد نظر با استفاده از مدل کارکوف، کارایی این مدل در مطالعات پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در تمام این مطالعات از گذشته تا کنون تأیید شده است (سول و کلاگت، ۲۰۱۳: ۱؛ مس و همکاران، ۲۰۱۴: ۱).

ایران کشوری است که بیش از دو سوم مساحت آن دارای شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک است و به طور طبیعی دارای اکوسیستم شکننده است. با وجود این، در بسیاری از مناطق کشور تخریب منابع طبیعی و بیابان‌زایی به دلیل عواملی، نظیر: افزایش جمعیت، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، چرای مفرط و توسعه صنعتی مزید بر علت شده و موجب به مخاطره افتادن پایداری این نواحی شده است که با روند افزایشی نیز ادامه دارد. مدیریت صحیح این مناطق، عزم ملی و برنامه‌ریزی‌های دقیق و جامع را می‌طلبد (ویتفورد، ۲۰۰۸، Z؛ امیر اسلانی و دراگوویچ، ۲۰۱۱: ۲؛ خواجه‌الدین، ۱۳۸۵: ۴). از جمله راهکارهای مدیریتی که اجرای آن در کشور زمینه‌ساز تدوین برنامه‌های مدیریتی مناسب می‌شود، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی است، که به فرایند تصمیم‌گیری کمک می‌کند. بعلاوه، برای برنامه‌ریزان و سیاستگذاران جهت معرفی مناطق مهم مفید است (راجیتا۳ و همکاران، ۲۰۱۰: ۴). در این رابطه مطالعاتی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در شهرستان‌های تهران، اصفهان و اراک انجام شده است (خوش گفتار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱؛ احمدی ندوشن، ۱۳۸۷: ۸۹؛ فلاحتکار و همکاران، ۱۳۸۸: ۹)؛ اما ضرورت اجرای این تحقیق برای سایر استان‌های خشک و نیمه‌خشک کشور وجود دارد. استان خراسان شمالی از این جمله است که با توجه به روند رو به رشد تغییرات کاربری و پوشش اراضی در آن، مطالعه مدل‌سازی به منظور جلوگیری از گسترش بیابان‌زایی اجتناب‌ناپذیر است (گریوانی، ۱۳۸۵: ۱؛ رمضانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲). هدف مطالعه حاضر، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی به‌کمک فناوری سنجش از دور در استان خراسان شمالی شهرستان اسفراین برای سال ۱۴۰۴ است که افق چشم‌انداز توسعه ایران اسلامی نامگذاری شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند راهگشای برنامه‌ریزی و جلوگیری از ادامه فرایند تخریب در این منطقه باشد.

داده‌ها و روش پژوهش

استان خراسان شمالی با وسعتی معادل ۲۸۱۸۲/۴۱ کیلومترمربع در شمال شرق ایران واقع شده است. این استان از نظر موقعیت جغرافیایی، از شمال با کشور ترکمنستان، از شرق و جنوب با استان خراسان رضوی، از جنوب غربی با استان سمنان و از غرب با استان گلستان هم‌مرز است. شهرستان اسفراین در جنوب این استان در دامنهٔ جنوبی کوه‌های آلاداغ و جنوب و غرب کوه شاه‌جهان قرار گرفته است. در این تحقیق، شهر اسفراین و اراضی اطراف آن به وسعت۹۸۶۹۷ هکتار به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. در شکل (۱) نمایی از موقعیت منطقه نشان داده شده است.

1- Wang
2- Piquer
3- Rajitha



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری داده‌ها و طبقه‌بندی

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه با تکنولوژی سنجش از دور از تصاویر ماهواره لندست از چهار دوره زمانی و سنجنده‌های MSS (سال ۱۳۵۲)، TM (سال ۱۳۶۶)، ETM+۱ (سال ۱۳۸۱) و TM (۱۳۸۸) استفاده شد. مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. ابتدا خطای مکانی تصاویر مذکور با استفاده از روش نزدیکترین همسایه و نمونه‌برداری مجدد در سیستم مختصات (UTM zone 40N) با دقت کمتر از ۰/۵ پیکسل برطرف شد و کلیه تصاویر زمین مرجع شدند. سپس با استفاده از دو روش شاخص‌های گیاهی و روش طبقه‌بندی فازی نقشه‌های کاربری اراضی برای منطقه تهیه گردید. ابتدا با استفاده از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده۲، باغ‌ها و اراضی کشاورزی با خطای کم از یکدیگر تفکیک شدند؛ سپس الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی فازی برای مشخص کردن سایر کاربری‌های موجود در منطقه استفاده شد.

جدول ۱) مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره سکو	تاریخ جمع‌آوری	WRS۳ (Pass/Row)	قدرت تفکیک زمینی (متر)
لندست MSS۱	۱۸/مرداد/۱۳۵۲	۱۷۳/۳۴	۷۹*
لندست ۵ TM	۲۶/خرداد/۱۳۶۶	۱۶۱/۳۴	۳۰
لندست ۷ ETM+	۱۳/مرداد/۱۳۸۱	۱۶۱/۳۴	۳۰
لندست ۵ TM	۱۰/مهر/۱۳۸۸	۱۶۱/۳۴	۳۰
* اندازه پیکسل این تصویر با عملیات نمونه برداری مجدد به ۳۰ متر تبدیل شد			

در روش طبقه‌بندی فازی که استخراج اطلاعات در آن بر فرضیه یک پیکسل- چند کلاس۱ قرار دارد، برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی به همگن بودن منطقه اهمیت کمتری نیاز دارد؛ زیرا استخراج اطلاعات در این روش بر اساس درجه عضویت اجزای طیفی

۱- Enhanced Thematic Mapper Plus

۲- Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI)

۳- World Wide Reference System

تشکیل‌دهنده هر پیکسل صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، در روش فازی برای هر پیکسل درجه عضویت به هر کلاس وجود دارد که میزان تعلق پیکسل به هر کلاس را نشان می‌دهد. بنابراین، اطلاعات بیشتری از تصاویر به‌دست می‌آید (لیو و ونگ۲، ۲۰۰۷: ۱۵). عملیات طبقه‌بندی در نرم‌افزار Erdas Imagine 9.1 انجام گرفت و نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۵۲، ۱۳۶۶، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ به‌دست آمد.

مدل‌سازی کلاس‌های کاربری در سال ۱۴۰۴

احتمال تغییرات پوشش اراضی یک سیستم به یک وضعیت در یک زمان خاص (t2) از اطلاعات مربوط به همان سیستم در زمان گذشته (t1) به‌دست می‌آید و به اطلاعات زمان‌های قبل از t1 بستگی ندارد که آن را یک فرایند یک مرتبه‌ای۳ گویند. در مدل مارکوف تغییرات کاربری و پوشش اراضی در زمان دوم با استفاده از توزیع آن در زمان اول با محاسبه ماتریس انتقال به‌دست می‌آید. زنجیره مارکوف به صورت زیر نشان داده می‌شود (رونالد استمان۴، ۲۰۰۳: ۱۰۰؛ راجیتا و همکاران، ۲۰۱۰: ۸).

$$vt2=Mvt1 \tag{1}$$

vt1: بردار پوشش زمین در زمان اول

vt2: بردار پوشش زمین در زمان دوم

M: ماتریس احتمال انتقال m×m برای فاصله زمانی Δt= t2-t1

احتمال انتقال بین دو وضعیت (Pij) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \tag{2}$$

که ni برابر است با:

$$n_i = \sum_{j=1}^{q} n_{ij} \tag{3}$$

nij: تعداد پیکسل‌های کلاس i از زمان اول که به کلاس j در زمان دوم تبدیل شده‌اند.

q: کل تعداد کلاس‌ها

زنجیره مارکوف سه خروجی دارد که عبارتند از: ماتریس احتمال انتقال که در آن احتمال تغییر هر کلاس به سایر کلاس‌های موجود مشخص شده است، ماتریس مساحت انتقال که نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌هایی از هر کلاس که محتمل است به کلاس‌های دیگر تبدیل شوند. مدل مارکوف همچنین موقعیت هر کاربری را با تولید مجموعه‌ای از تصاویر احتمال وضعیت از ماتریس احتمال انتقال نشان می‌دهد. در مرحله آخر از مدل‌سازی با استفاده از ماتریس مساحت انتقال در مدل CA مارکوف می‌توان نقشه شبیه‌سازی شده از کاربری اراضی در آینده را به‌دست آورد (پونتیوس، ۲۰۰۰: ۱؛ فان و همکاران، ۲۰۰۸: ۷). در این مطالعه پیش‌بینی وضعیت هشت کلاس کاربری اراضی، شامل: اراضی بدون پوشش و برونزد سنگی، زراعت آبی، زراعت آبی- باغ‌ها، زراعت دیم، مرتع، مرتع فقیر، مرتع مشجر و منطقه مسکونی در منطقه مورد مطالعه برای سال ۱۴۰۴ بر اساس نقشه‌های کاربری حاصل از طبقه‌بندی فازی در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ انجام گرفت؛ بدین صورت که در مرحله اول در مدل مارکوف نقشه کاربری

۱- one pixel- several classes

۲- Lu and Weng

۳- First-Order

۴- Ronald Eastman

سال ۱۳۸۱ به عنوان نقشه قدیمی و نقشه کاربری سال ۱۳۸۸ به عنوان نقشه جدید معرفی و ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مساحت انتقال برای ۱۳ سال آینده با خطای ۰/۱۵ محاسبه گردید. با اتمام این مرحله، عملگر CA مارکوف در نرم‌افزار با لحاظ نقشه کاربری سال ۱۳۸۸ به عنوان نقشه پایه و معرفی فایل مساحت انتقال حاصل از مرحله قبل اجرا و نقشه کاربری در سال ۱۴۰۴ از مدل پیش‌بینی شد.

تعیین اعتبار و ارزیابی الگوسازی

تعیین اعتبار و ارزیابی خروجی مدل بسیار مهم است و تفسیر آن می‌تواند نتایج گمراه کننده را مشخص کند. دو روش برای ارزیابی مدل‌سازی وجود دارد: یک روش چشمی و دو روش آماری. در روش چشمی یک ارزیابی سریع از مدل‌سازی فراهم می‌شود. این روش سلیقه‌ای است و نتایج گمراه‌کننده‌ای را نشان می‌دهد. برای به‌دست آوردن اطلاعات دقیق از نتایج مدل‌سازی آنالیز آماری مورد نیاز است. تعداد نامحدودی روش برای مقایسه آماری نقشه‌ها موجود است. اما چالش اساسی یافتن روشی است که: ۱- تفسیر آن آسان باشد؛ ۲- اطلاعاتی ارائه دهد که به بهبود مدل کمک کند و ۳- به سؤال اساسی در مورد اینکه چه میزان شباهت بین نقشه‌ها وجود دارد، پاسخ دهد. روش Validate در نرم‌افزار ادریسی از جمله این روش‌هاست و توافق و عدم توافق بین دو نقشه را بررسی می‌کند. در این مدل، یک آنالیز مقایسه‌ای آماری برای پاسخ به دو سؤال عمده زیر صورت می‌گیرد و نتیجه آن محاسبه شاخص‌های کاپای گوناگون از توافق و ارتباط آماری بین دو تصویر است (پونتیوس، ۲۰۰۰، ۲).

چه میزان توافق بین تعداد سلول‌های هر کلاس در دو تصویر وجود دارد؟

به چه میزان سلول‌های هر کلاس در دو تصویر از لحاظ مکانی با یکدیگر توافق دارند؟

از جمله روش‌های دیگر، آزمون کای اسکور است که برای بررسی اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار به کار می‌رود (پونتیوس و چن، ۲۰۰۶: ۶).

برای ارزیابی اعتبار مدل‌سازی نقشه حاصل از آن در یک زمان خاص معمولاً با نقشه واقعی مربوط به همان زمان مقایسه می‌شود (رشمی و لل، ۲۰۰۶: ۶).

بدین منظور، در این مطالعه نیز در مرحله اول نقشه هشت کلاس کاربری برای تصاویر سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ که نقشه واقعی آن‌ها نیز با استفاده از روش فازی تهیه شده بود، با استفاده از عملگر مارکوف در نرم‌افزار بر اساس نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۳۵۲ و ۱۳۶۶ مدل‌سازی گردید. در مرحله بعد نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی در سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ با نقشه واقعی کاربری حاصل از روش طبقه‌بندی فازی در این دو سال با استفاده از سه روش محاسبه توافق و عدم توافق، محاسبه ماتریس خطا و آزمون کای اسکور برای ارزیابی اعتبار مدل بررسی شد.

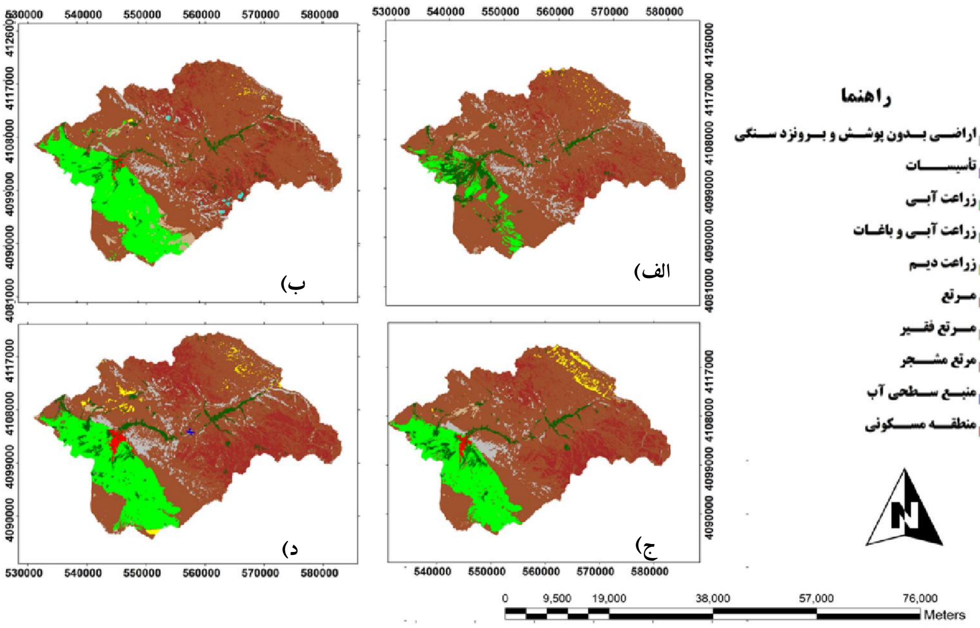
یافته‌های پژوهش

نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی در این مطالعه با صحت کلی بالاتر از ۸۰٪ و ضریب کاپای بالاتر از ۰/۸ از محاسبه ماتریس خطا ارزیابی گردید. این مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بالای ۸۰ درصد، نشان‌دهنده این است که به طور کلی توافق خوبی بین طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری موجود در زمین وجود دارد (لاندیس و کوچ[1]، ۱۹۷۷: ۱).

یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی صحت طبقه‌بندی، محاسبه ماتریس خطای طبقه‌بندی است که در مطالعات زیادی استفاده شده است. تورس[2] و همکاران (۲۰۰۹، ۱) ارزیابی صحت طبقه‌بندی را برای تصاویر (MSS، +ETM و TM) با استفاده از

1- Landis and Koch
2- Torres-Vera

روش ماتریس خطا انجام دادند و صحت کلی را برای تصاویر به ترتیب ۹۳٪، ۸۸٪ و ۸۷٪ گزارش کردند. دویدار[1] (۲۰۰۴: ۷). نقشه کاربری اراضی شمال شرقی دلتای نیل در مصر را با تصاویر TM ماهواره لندست با صحت کلی ۷۸٪ و ۸۰٪ گزارش کرد. یعقوب و کولان (۲۰۰۶، ۵) در تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه ساحلی ابوظبی سه تصویر ماهواره لندست (MSS، TM و+ETM) را استفاده کردند و برای کلیه تصاویر صحتی بالای ۸۰٪ را به‌دست آوردند. نقشه‌های مطالعه حاضر در شکل (۲) نشان داده شده است.

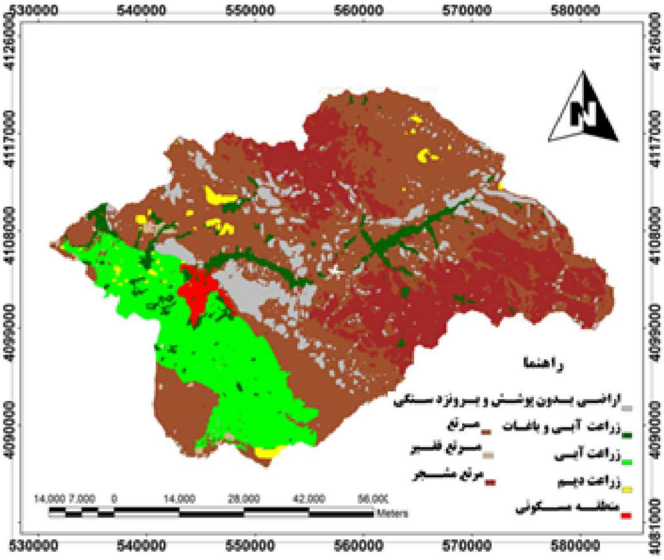


شکل ۲) نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی برای سال‌های: الف) ۱۳۵۲، ب)۱۳۶۶، ج) ۱۳۸۱ و د) ۱۳۸۸

مدل‌سازی کلاس‌های کاربری در سال ۱۴۰۴

پیش‌بینی وضعیت هشت کلاس کاربری اراضی شامل: اراضی بدون پوشش و برونزد سنگی، زراعت آبی، زراعت آبی- باغ‌ها، زراعت دیم، مرتع، مرتع فقیر، مرتع مشجر و منطقه مسکونی در منطقه مورد مطالعه در سال ۱۴۰۴ در شکل(۳) نشان داده شده است.

1- Dewidar



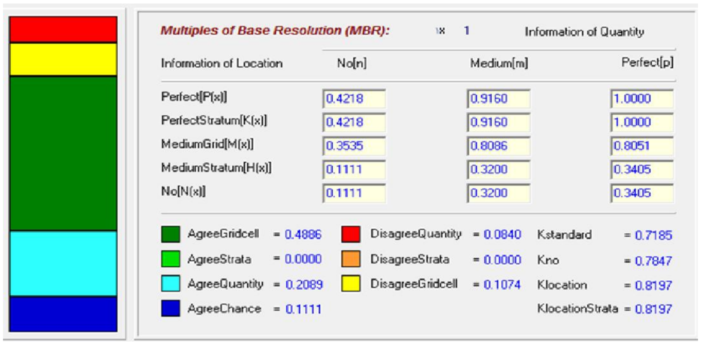
شکل ۳) نقشه مدلسازی کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۴

تعیین اعتبار مدل‌سازی

محاسبه توافق و عدم توافق نقشه‌های واقعی و نقشه‌های حاصل از مدل‌سازی

در این روش نقشه واقعی و نقشه پیش‌بینی شده با یکدیگر از نظر تعداد سلول‌ها برای هر کلاس و همچنین، موقعیت مکانی سلول‌ها در دو تصویر مقایسه می‌شوند و شاخص کاپا در فاصله ۱-۰ برای تفسیر نتایج استفاده می‌گردد (پونتیوس، ۲۰۰۰: ۱). پونتیوس و چن (۲۰۰۶: ۱۰) در مطالعه دیگری در منطقه شمال شرقی ماساچوست آمریکا محاسبه شاخص کاپا برای ارزیابی اعتبار مدل‌سازی را تأیید کردند. وانگ و همکاران (۲۰۱۲: ۱) نیز استفاده از شاخص کاپا را مناسبترین روش برای تعیین اعتبار مدل‌سازی با روش CA مارکوف معرفی کرده‌اند.

بدین منظور، در این مطالعه نیز شاخص کاپا برای پاسخ به دو سؤال فوق در دستور Validate نرم‌افزار Idrisi Kilimanjaro با مقایسه نقشه‌های واقعی و مدل‌سازی شده برای سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ محاسبه شد. نتایج ارزیابی مدل در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ در اشکال (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل۴) توافق و عدم‌توافق نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۸۱

با توجه به شکل فوق، این نتایج برای سال ۱۳۸۱ استنباط می‌گردد. توافق بین نقشه واقعی و پیش‌بینی شده [M(m)] برابر ۰/۸۰ است؛ عدم توافق بین دو نقشه نیز با توجه به رابطه [M(m)]-۱ برابر ۰/۲۰ است؛ توافق ناشی از شانس [N (n)] که بدون داشتن هیچ اطلاعاتی از موقعیت و کمیت به‌دست می‌آید، برابر ۰/۱۱ است؛ توافق ناشی از کمیت (تعداد سلول‌ها برای هر کلاس در دو نقشه) که از رابطه زیر محاسبه می‌شود، برابر ۰/۲۰ است [N (m)] - [N (n)]؛ عدم توافق ناشی از کمیت نیز با توجه به فرمول

[P(p)] – [P(m)] برابر ۰/۰۸ و همین‌طور توافق و عدم‌توافق مکانی (مکان کلاس‌ها در دو نقشه واقعی و پیش‌بینی شده) به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۱۰ برآورد شده است. از شاخص‌های کاپا Klocation که توانایی مدل در پیش‌بینی مکان پیکسل‌ها را نشان می‌دهد، برابر ۰/۸۱ است و Kquantity که توانایی مدل در پیش‌بینی تعداد پیکسل‌ها را نشان می‌دهد، از فرمول زیر ۱ به‌دست آمد.

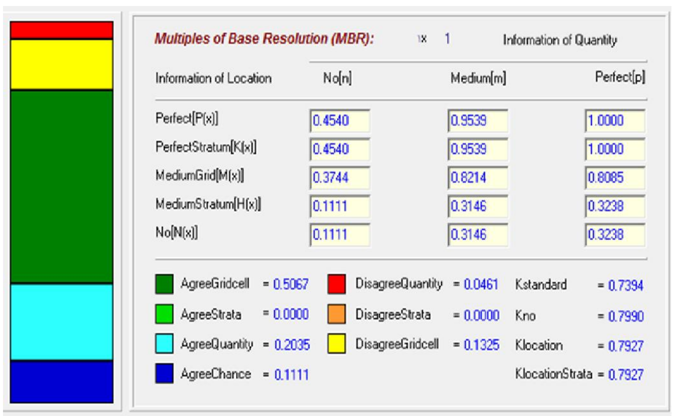
$$Kquantity = \frac{M(m) - NQML}{PQML - NQML} = \frac{0.8086 - 0.3535}{0.8051 - 0.3535} = \frac{0.4551}{0.4516} = 1 \quad (۴)$$

با توجه به مقادیر توافق کلی(بالای ۸۰٪) برای هر دو سال نتیجه گرفته می‌شود که بین دو نقشه توافق خوبی وجود دارد و مدل توانایی بالا در پیش‌بینی کلاس‌ها داشته است. همچنین، با توجه به مقدار Klocation (۸۰٪) و Kquantity (۱) می‌توان گفت مدل مکان و تعداد پیکسل‌ها را نیز به خوبی پیش‌بینی کرده است.

جدول ۲) مقادیر توافق و عدم توافق نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۸۸

فراسنج	مقدار (درصد)
توافق کلی [M(m)]	۸۲
عدم‌توافق کلی (۱-[M(m)])	۱۸
توافق مکانی	۵۰
عدم‌توافق مکانی	۱۳
توافق ناشی از شانس [N (n)]	۱۱
توافق ناشی از کمیت ([N (m)] – [N (n)])	۲۰
عدم‌توافق ناشی از کمیت ([P(p)] – [P(m)])	۰/۰۴

شکل (۵) نیز مؤلفه‌های توافق و عدم‌توافق را برای نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. از شاخص‌های کاپا نیز Klocation چنانچه در شکل مشخص است، ۰/۸۰ است و Kquantity برای این سال نیز از رابطه فوق ۱ به‌دست آمد.



شکل ۵) توافق و عدم‌توافق نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۸۸

آزمون کای اسکور (χ^2)

برای انجام این آزمون، مساحت پیش‌بینی شده برای کلاس‌های کاربری به وسیله مدل در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ و مساحت واقعی آن‌ها استفاده و میزان کای اسکور برای هر طبقه و کای اسکور کل از مجموع آن‌ها برای هر سال به طور جداگانه محاسبه شد. در نهایت، با کای اسکور جدول در سطح ۰/۰۵ و درجه آزادی ۷ (تعداد کلاس -۱) مقایسه شد. در این مطالعه میزان کای اسکور برای سال ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ به ترتیب ۱۲۵۵۰ و ۳۰۳۵ به‌دست آمد. چون این مقادیر از کای اسکور جدول بزرگتر است، فرض صفر (توافق بین مقادیر مشاهده شده و مورد انتظار) رد می‌شود و نتیجه گرفته می‌شود که بین مساحت به‌دست آمده به وسیله دو روش تفاوت معنادار وجود دارد و مدل پیش‌بینی خوبی انجام نداده است. استفاده از روش کای اسکوئر برای اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی در مطالعات دیگری نیز استفاده شده است که در تمامی این مطالعات فرض صفر آزمون رد شده‌است. بنابراین، برای تعیین اعتبار مدل‌سازی استفاده از شاخص‌های کاپا و ارزیابی صحت روش‌های مناسبتری هستند (آپادای و همکاران، ۲۰۰۶: ۱؛ وو و همکاران، ۲۰۰۶: ۱؛ احمدی ندوشن، ۱۳۸۷: ۹۸؛ فلاحتکار و همکاران، ۱۳۸۸: ۹).

محاسبه ماتریس خطا

در این روش ارزیابی صحت نقشه‌های پیش‌بینی شده در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۸ بر اساس نقشه‌های واقعی آنها با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام گرفت و نتایج با توجه به مقدار صحت کلی، در هر دو تصویر (بالای ۷۰ درصد) نشان‌دهنده این است که ترکیب مدل‌های مارکوف و CA مارکوف برای پیش‌بینی کلاس‌های کاربری اراضی در ۱۳ سال مفید است.

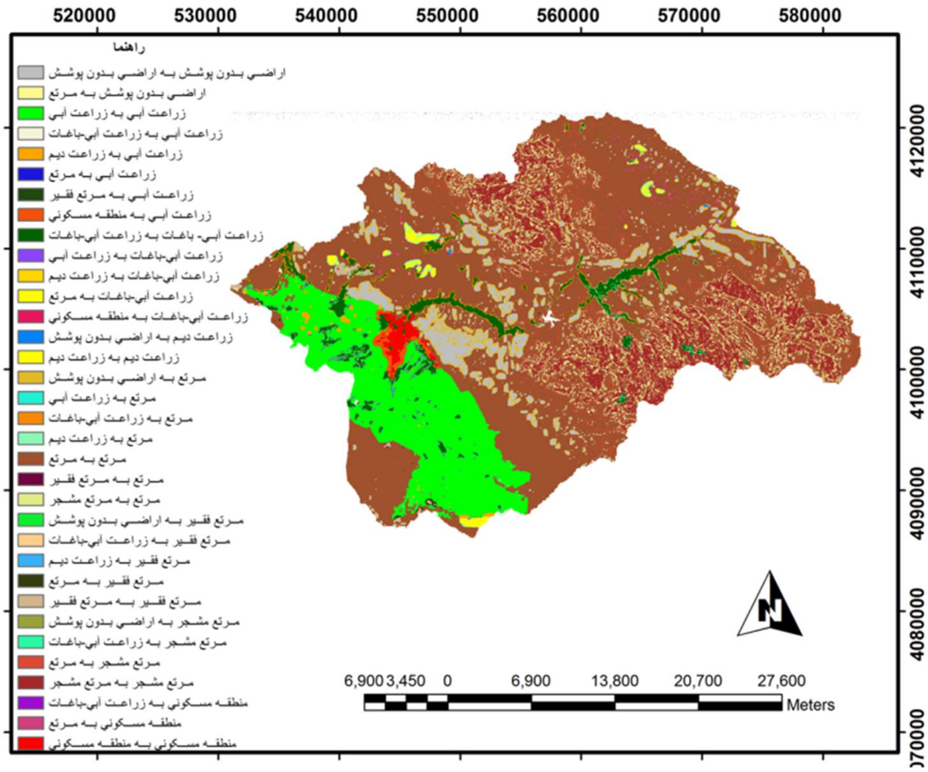
جدول ۳) نتایج محاسبه ماتریس خطا

	سال ۱۳۸۱		سال ۱۳۸۸	
نوع کاربری	صحت کاربر	ضریب کاپا	صحت کاربر	ضریب کاپا
زراعت آبی و باغ‌ها	٪۹۱	۰/۹۱	٪۸۶	۰/۹۸
زراعت آبی	٪۶۱	۰/۸۴	٪۹۵	۰/۹۱
مرتع	٪۹۱	۰/۳۵	٪۹۶	۰/۸۸
اراضی بدون پوشش و برونزد سنگی	٪۹۸	۰/۳۵	٪۹۶	۰/۸۵
منطقه مسکونی	٪۱۰۰	۰/۸۵	٪۱۰۰	۰/۹۵
زراعت دیم	٪۸۵	۰/۰۸	۸/۵۱	۰/۰۳
مرتع مشجر	٪۳۰	۰/۷۴	۳/۵	۰/۷۹
مرتع فقیر	٪۷۴	۰/۷۱	۹۴/۸۳	۰/۳۳
صحت کلی ٪۷۶/۴۳		کاپای کلی ٪۶۰	صحت کلی ٪۹۱/۸۳	کاپای کلی ٪۸۶

آشکارسازی تغییرات محتمل در کاربری اراضی در سال ۱۴۰۴

برای مشخص کردن اینکه چه نوع تغییراتی در طبقات کاربری اراضی در سال ۱۴۰۴ نسبت به سال ۱۳۸۱ رخ می‌دهد نقشه تغییرات برای هشت کلاس کاربری با دستور CroosTab در نرم‌افزار Idrisi kilimanjaroo به‌دست آمد. این نقشه در شکل (۶) نشان

داده شده است. تغییرات کلاس‌های کاربری به صورت زیر در سال ۱۴۰۴ محتمل است. کلاس زراعت آبی – باغ‌ها به میزان ۱۰۰۰ هکتار افزایش می‌یابد. کاربری زراعت آبی حدود ۴۰۰ هکتار کاهش می‌یابد که بخش عمده این کاربری بر اثر توسعه شهری از بین می‌رود. در مورد کاربری مرتع حدود ۵۰۰۰ هکتار از مراتع تخریب و به اراضی بدون پوشش و مرتع فقیر تبدیل می‌شود و یا به زیر کشت دیم می‌رود. مساحت شهر اسفراین افزایش و تقریباً دو برابر خواهد شد. در نهایت، می‌توان برای کاربری مرتع مشجر که دربرگیرنده منطقه حفاظت شده ساریگل است، بر اساس مدل‌سازی مساحتی معادل ۲۰۲۰۴/۵۵ هکتار را بر اثر احیای مراتع پیش‌بینی کرد. مینت و وانگ (۲۰۰۶، ۱) برای پیش‌بینی هفت کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی در سال ۲۰۰۰ در اوکلاهاما از ترکیب مدل‌های مارکوف و CA مارکوف با صحت کلی ۸۶٪ استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که ترکیب مدل‌های مارکوف و CA مارکوف برای پیش‌بینی کلاس‌های کاربری اراضی می‌تواند مؤثر باشد. نتایج مطالعه راجیتا و همکاران (۲۰۱۰، ۶) یک روند صعودی برای آبزی‌پروری را از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف نشان داد و همچنین، این آنالیز پیش‌بینی کرد که اراضی کشاورزی از ۵۰۱۲۲ به ۴۶۹۷۸ هکتار در طی سال‌های ۲۰۱۰ – ۲۰۰۵ کاهش می‌یابد. البکری[۱] و همکاران (۲۰۱۳، ۱) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و مدل مارکوف، تغییرات کاربری اراضی عمان را برای سال ۲۰۴۳ مدل‌سازی کردند. نتایج این مطالعه با صحت بالا نشان‌دهنده تغییرات اراضی طبیعی به مسکونی است. این مطالعه مدل‌سازی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی را ابزار مهمی برای طرح‌های مدیریتی و سیاست‌های کاربری اراضی نشان داد.



شکل۶) نقشه تغییرات محتمل در کاربری اراضی در سال ۱۴۰۴

۱- Al-Bakri

نتیجه‌گیری

از مهمترین عوامل تأثیرگذار در بیابان‌زایی استان خراسان شمالی، تغییرات کاربری و پوشش اراضی است. از این رو، تهیه نقشه‌های مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای مشخص کردن این مسأله که کجا، چگونه و چه وقت تغییرات رخ داده، غلط و ناقص است، از نظر کمک به فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مدیران حائز اهمیت است. با توجه به کارایی بالای روش مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، پروژه حاضر با هدف مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استان خراسان شمالی، شهرستان اسفراین با استفاده از روش فوق تعریف شد. نتایج حاصل از این مطالعه به طور کلی نشان‌دهنده کاهش سطح زراعت آبی و مراتع و همچنین، توسعه شهر اسفراین از ۶۶۴ هکتار به ۱۱۱۴ در سال ۱۴۰۴ است که بر اثر از بین رفتن اراضی کشاورزی و باغ‌ها حاصل شده است. همان‌طور که مشخص است، اگر راهبرد فعلی استفاده از زمین در این منطقه در جهت کاهش اراضی طبیعی و افزایش اراضی شهری بدون توجه به ملاحظات توسعه پایدار تا سال ۱۴۰۴ ادامه داشته باشد، مشکلات زیست- محیطی مهمی، از جمله تخریب ۵۰۰۰ هکتار از مراتع منطقه، کاهش تولید محصولات کشاورزی عمده منطقه، از جمله گندم و جو را موجب می‌گردد که تهدیدی جدی برای اکوسیستم منطقه در آینده خواهد بود. همچنین، اقتصاد منطقه که بر مبنای تولیدات کشاورزی و دامی قرار دارد، با وضعیت بهره‌وری کنونی در سال ۱۴۰۴ با تهدید جدی روبه‌رو خواهد شد. بنابراین، این تحقیق استفاده از نقشه‌های حاصله را برای شناسایی مناطق حساس، به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر به دستگاه‌های اجرایی توصیه می‌نماید.

منابع

۱- احمدی ندوشن، مژگان. (۱۳۸۷). آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی شهر اراک با استفاده ازRS& GIS ، استاد راهنما دکتر علیرضا سفیانیان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، "گروه محیط زیست.

۲- خوش گفتار، محمد مهدی؛ طالعی، محمد و ملک پور، پیمان.(۱۳۸۹). مدل‌سازی زمانی-مکانی رشد شهری: روشی مبتنی بر تلفیق Cellular Automata و زنجیره مارکوف، همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور.

۳- فلاحتکار، سامره؛ سفیانیان، علیرضا؛ خواجه‌الدین، سید جمال الدین و ضیایی، حمید رضا.(۱۳۸۸). بررسی توانایی مدل مارکوف در پیش بینی نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: شهر اصفهان)، همایش ملی ژئوماتیک.

4- Al-Bakri, Javad. T., Duqqah, Mohmmad, and Brewer, Tim., 2013, Application of Remote Sensing and GIS for Modeling and Assessment of Land Use/Cover Change in Amman/Jordan, Journal of Geographic Information System, 5 (5), 509-519.

5- Amiraslani, Farshad, and Dragovich, Deirdre, 2011, Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches, Journal of Environmental Management, 92, 1-13.

6- Dewidar, Khalid M., 2004, Detection of land use land cover changes for the northern part of the Nile delta (Burullus region), Egypt, International Journal of Remote Sensing, 25 (20), 4079-4089.

7- Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, and Wang, Zhishi, 2008, Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images, Environmental Monitoring and Assessment, 137 (1), 127-147.

8- Garivani, Gol Mohamad, 2003, Desertification status of North Khorasan, Iranian Journal of range and desert research, 10 (3), 263-288.

9- Guan, DongJie, Li, HaiFeng, Inohae, Takuro, Su Weici, Nagaie, Tadashi, and Hokao, Kazunori, 2011, Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, Ecological Modelling, 222 (20–22), 3761-3772.
10- Kamusoko, Courage, Aniya, Masamu, Adi, Bongo and Manjoro, Munyaradzi, 2009, Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model, Applied Geography, 29 (3), 435-447.
11- Khajeddin, Jamalealdin, 2007, Desertification trend in Iran, Jangal-o-Marta, 74, 42-45.
12- Landis, J. Richard, and Koch, Gary G., 1977, The measurment of observer agreement for categorical data, Biometrics, 33, 159-174.
13- Lopez, Erna, Gerardo, Bocco, Manuel, Mendoza, and Emilio, Duhau, 2001, Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe - A case in Morelia city, Mexico, Landscape and Urban Planning, 55 (4), 271-285.
14- Lu, Dan, and Weng, Qihao, 2007, A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, International Journal of Remote Sensing, 28 (5), 823 - 870.
15- Mas, Jean-François, Melanie, Kolb, Martin, Paegelow, María Teresa, Camacho Olmedo, and Thoma, Houet, 2014, Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages, Environmental Modelling & Software, 51 (0), 94-111.
16- Mendoza, Manuel E. , Erna Lopez, Davide, Geneletti, Diego R., Pérez-Salicrup, and Vicente, Salinas, 2011, Analysing land cover and land use change processes at watershed level: Aآ multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003), Applied Geography, 31 (1), 237-250.
17- Myint, Soe W. and Wang, Lee, 2006, Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach, Canadian Journal of Remote Sensing, 32 (6), 390-404.
18- Piquer-Rodríguez, Maria, Tobias, Kuemmerle, Domingo, Alcaraz-Segura, Raul, Zurita-Milla, and Javier, Cabello, 2012, Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain, Journal for Nature Conservation, 20 (6), 326-336.
19- Pontius Jr., Robert Gilmore, 2000, Quantification error versus location error in comparison of categorical maps, Engineering and Remote Sensing, 66 (8), 1011-1016.
20- Pontius, Robert. Gilmore. and Chen, Hao, 2006, Geomod Modeling, USA: Clark University. P. 44.
21- Rajitha, K., C. K. Mukherjee, Vinu R. Chandran, and M. M. Prakash Mohan, 2010, Land-cover change dynamics and coastal aquaculture development: a case study in the East Godavari delta, Andhra Pradesh, India using multi-temporal satellite data, International Journal of Remote Sensing, 31 (16), 4423 - 4442.
22- Ramezani, Nafiseh, Jafari, Reza, and Izanloo, Esmaiel., 2011, Land use change detection in Esfarayen region, Northern Khorasan in past four decades, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 3 (2), 20-37.
23- Rashmi, Mahajan, and Lele, Nikhil, 2010, Spatial modeling and validation of forest cover change in Kanakapura region using GEOMOD, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 38 (1), 45-54.
24- Ronald Eastman, J., 2003, IDRISI Kilimanjaro Tutorial, USA: Clark University. P. 328.
25- Sohl, Terry L. and Claggett, Peter R., 2013, Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers, Journal of Environmental Management, 129, 235-243.

26- Torres-Vera, M. A., Prol-Ledesma, Rosa Ma., and Garcia-Lopez, Diego, 2009, Three decades of land use variations in Mexico City, International Journal of Remote Sensing, 30 (1), 117-138.
27- Upadhyay, Thakur, Solberg, Birger, and Sankhayan, Prem Lall, 2006, Use of models to analyse land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis, Forest Policy and Economics, 9 (4), 349-371.
28- Wang, Shi Qing, Zheng, Xizinqi, and Zang, X. B., 2012, Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model, Procedia Environmental Sciences, 13, 1238-1245.
29- Whitford, Walter G., Translated by, Azarnivand, Hossein, and Malekian, Arash, 2008, Ecology of desert systems, Tehran: University of Tehran. P. 340.
30- Wu, Qiong, Hong Qing, Li, Ru Song, Wang, Juergen, Paulussen, Yong He, Min, Wang, Bi Hui, Wang, and Zhen. Wang, 2006, Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS, Landscape and Urban Planning, 78 (4), 322-333.
31- Yagoub, Mohamed, and Kolan, Giridhar Reddy, 2006, Monitoring coastal zone land use and land cover changes of Abu Dhabi using remote sensing, Photonirvachak-Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 34 (1), 57-68.