بررسی و ارزیابی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل زنجیره مارکوف

(مطالعه موردی زیدآباد ، شهرستان سیرجان)

عبدالرضا کاظمی نیا کرانی [۱] و ابوالفضل نژادخراسانی

مربی دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه صنعتی سیرجان ، ایران.

kazeminia@sirjantech.ac.ir

دانشجوی کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران.

a.n.khorasani@gmail.com

دریافت: آبان ۱۳۹۹ و پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

سنجش از دور فناوری کلیدی برای ارزیابی وسعت و مقدار تغییرات پوشش اراضی است که اطلاع از این تغییرات به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف اهمیت ویژه‌ای دارد . در این بررسی تغییرات سطح زیر کشت پوشش گیاهی پسته بررسی‌شده است و امکان پیش‌بینی آن در آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف برای منطقه زیدآباد ، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش ، تصاویر سنجنده ETM^+ لندست ۷ و OLI لندست ۸ به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۹ ، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ ، استفاده شده است. تصاویر هر سه مقطع زمانی به دو طبقه کاربری اراضی : پوشش گیاهی (محصول پسته) و فاقد پوشش گیاهی (مسکونی ، بستر رودخانه ، بایر ، مرتع) ، طبقه‌بندی‌شده است. بنا بر نتایج ، کشاورزی و لزوماً سطح زیر کشت پسته که پویاترین کاربری موجود در منطقه است و وسعت آن طی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ روندی صعودی داشته است ، به‌طوری‌که مقدار۱۸۸۸/۸۳ هکتار (۱۵/۰۴درصد) به این اراضی اضافه‌شده است. روند تغییرات سطح زیر کشت محصول پسته نیز طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نیز روندی صعودی بوده ، به‌طوری‌که مقدار۱۶۸۵/۰۷ هکتار (۱۱/۶۶ درصد) به این اراضی افزوده‌شده است. نتایج حاصل از آنالیز زنجیره مارکوف در دوره ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۴۰۸ استفاده‌شده است. که نتایج حاصل از افزایش سالانه سطح زیرکشت پسته در این منطقه خبر می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پسته ، تغییرات اراضی، تصاویر ماهواره‌ای ، زنجیره مارکوف ، سیرجان

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی عمران،دانشگاه صنعتی سیرجان، سبرجان، ایران.

مقدمه

با توجه به تغییرات روزافزون کاربری اراضی و ضرورت آگاهی مدیران و کارشناسان از چگونگی تغییر و تحولات رخ داده برای سیاست‌گذاری و چاره‌اندیشی برای رفع مشکل موجود، آشکارسازی تغییرات برای مشخص کردن روند تغییرات در طول زمان ضروری به نظر می‌رسد (پارکر و همکاران، ۲۰۰۳). ارزیابی روند تغییرات در منابع و شرایط اکولوژیک چنین مناطقی، مدیران را در اتخاذ تصمیمات مورد نیاز کمک می‌کند (وانگ و همکاران ،۲۰۰۹) . سنجش از دور یک فن‌آوری کلیدی، جهت ارزیابی وسعت و میزان تغییرات پوشش اراضی است(لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴). از طریق این فن می‌توان با استفاده از مجموعه تصاویر چند زمانه و پردازش آن‌ها با یکی از روش‌های مناسب موجود و با سرعت و دقت بالا نسبت به آشکارسازی تغییرات مورد نظر در منطقه اقدام کرد. با به کارگیری داده‌های سنجش از دور می‌توان به شیوه‌ای علمی و کارآمد به مدیریت منابع حساس پرداخت (گروس،۲۰۰۶). در دهه‌های اخیر، استفاده از فن سنجش از دور به‌منظور پایش تغییرات موردتوجه قرار گرفته و تحقیقات متعددی در این زمینه در ایران و جهان انجام‌شده است. به عنوان مثال، در تحقیقی با استفاده از تصاویر ETM و TM طی سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ در جنگل‌های تایلند اقدام به تهیه نقشه پوشش گیاهی شد و نتایج نشان داد که مهم‌ترین تغییرات در منطقه کاربری جنگل به اراضی کشاورزی بوده است (دونیتری، ۲۰۰۳). از طرفی دیگر پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات احتمالی آینده برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی اهمیت دارد (وفائی و همکاران، ۲۰۱۳)؛ بنابراین آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات، لازمه یک اکوسیستم به‌ویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای در حال توسعه است. از جمله مدل‌هایی که برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود، می‌توان به مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و تحلیل زنجیره مارکوف اشاره کرد (لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴). در سال ۲۰۰۶ در پژوهشی با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و نیز با استفاده از مدل پیش‌بینی مارکوف به بررسی تغییر ساختار سرزمین منطقه‌ای در اندونزی پرداخته شد و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تعداد بسیار زیادی از لکه‌های جنگل در حال کاهش و تبدیل به دو طبقه شالیزار و مناطق مسکونی هستند(ویجانارتو، ۲۰۰۶). بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پایش، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده سنجش از دور انجام‌شده است. آنچه مسلم است، نیاز است تا با انجام پژوهش‌های علمی بیشتر روند تغییرات و پیش‌بینی این تغییرات در سایر نقاط ایران مورد ارزیابی قرار گیرد (کریمی وهم کاران،۱۳۹۵). پسته، درخت کوچکی است که مبدأ آن خاورمیانه و آسیای مرکزی است. در کشورهایی مانند ایران، سوریه، ترکمنستان و غرب افغانستان رشد می‌کند. تولید پسته در ایران در سال ۲۰۱۷ میلادی، معادل ۵۷۴/۹۷۸ تن بوده است که ایران را در مقام اول جهان قرار داده است؛ و بعد از ایران، ایالات متحده آمریکا با تولید ۲۷۲/۲۹۱ تن و سپس چین با تولید ۹۵/۲۹۴ تن در جایگاه‌های دوم و سوم قرار دارند(الصغیر و پارتر، ۲۰۱۲). در ایران تولید پسته بیشتر در شهرستان‌های رفسنجان، سیرجان، دامغان، نی‌ریز، مرودشت، انار، شهربابک، راور و نائین صورت می‌گیرد. ایران و ایالات متحده آمریکا، دو کشور اصلی در زمینه تولید و صادرات پسته در جهان به شمار می‌روند. بیش از ۹۰ درصد پسته آمریکا در ایالت کالیفرنیا تولید می‌شود و در ایران شهرستان رفسنجان بیشترین تولید پسته را به خود اختصاص داده است. تولید پسته در ایران پیشینه چند هزارساله دارد، اما پسته‌کاری در آمریکا در دهه ۱۹۳۰ میلادی با کاشت بذر پسته ایرانی آغاز شده است. میزان تولید پسته در ایران سالانه حدود ۲۰۰ هزار تن است و تنها ۱۰ درصد از این محصول مصرف داخلی دارد و ۹۰ درصد دیگر صادراتی است. صادرات پسته ایرانی، سالانه حدود ۱/۴ تا ۱/۷ میلیارد دلار برای ایران درآمدزایی می‌کند. استان کرمان (شهرستان‌های رفسنجان، سیرجان، زرند، کشکوییه و انار)

مراکز اصلی تولید پسته در ایران به شمار می‌آیند. در میانه دهه ۸۰ خورشیدی تولیدات پسته بیش از ۲۵۰ هزار تن بوده است اما این میزان در ابتدای دهه ۹۰ خورشیدی به ۱۵۰ هزار تن کاهش‌یافته است (الصغیر و پارتر، ۲۰۱۲). بزرگترین مشکل کنونی در تولید پسته را می‌توان خشکسالی‌های پی‌درپی نام برد. عدم برنامه‌ریزی برای تأمین آب مورد نیاز باغ‌های پسته و نیز قوانین و مقررات دست‌وپا گیر صادراتی باعث شده است که میزان صادرات پسته ایران، افت چشمگیری را در سال‌های اخیر تجربه کند؛ و در همین زمان با افزایش تولید پسته در ایالت کالیفرنیا آمریکا، این کشور در حال تبدیل‌شده به اولین صادرکننده این محصول در سطح جهان شده است (لو د، ونگ س، ۲۰۰۷)؛ بنابراین با توجه به اهمیت محصول پسته این طلای سبز در کشور، این مطالعه به بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته برای دوره ۲۰ ساله و پیش‌بینی تغییرات برای ۱۰ سال آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف پرداخته است.

تاکنون، مطالعات گسترده‌ای در زمینهٔ شناسایی پوشش‌های مختلف اراضی و ارزیابی تغییرات اراضی و مخصوصاً" درخت پسته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام‌شده است که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره گردیده است:

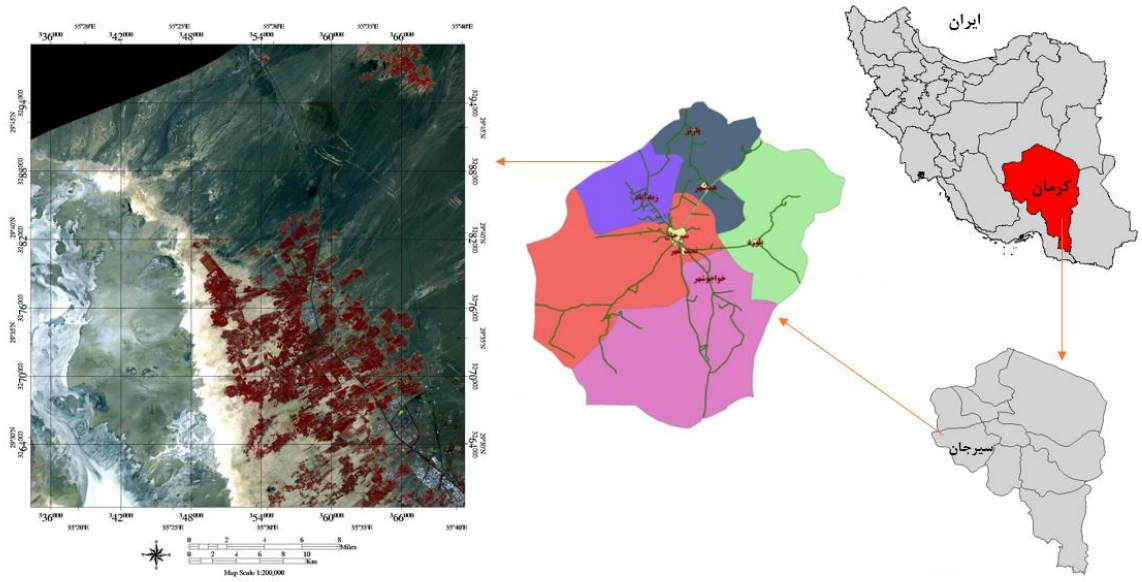
ویجانارتو در سال ۲۰۰۶ در پژوهشی با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و نیز با استفاده از مدل پیش‌بینی مارکوف به بررسی تغییر ساختار سرزمین منطقه‌ای در اندونزی پرداخت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تعداد بسیار زیادی از لکه‌های جنگل در حال کاهش و تبدیل به دو طبقه شالیزار و مناطق مسکونی هستند. ریزوی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام به تهیهٔ نقشهٔ تغییرات پوشش اراضی در کشور پاکستان کردند. ریمال و همکاران (۲۰۱۸) به مدل‌سازی روند تغییرات اراضی شهری در کشور نپال با استفاده از زنجیره مارکوف پرداختند. در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست استفاده شد که به منظور تجزیه و تحلیل بهتر، اطلاعات تغییرات اراضی و پوشش زمین از دوره‌های زمانی مختلف، این تصاویر را به روش ماشین بردار طبقه‌بندی کردند. تراور و همکاران در سال ۲۰۱۸ به کمک روش زنجیره مارکوف در سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور، تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی روند تغییرات اراضی در کشور گینه را انجام دادند. ژولیو و همکاران (۲۰۱۹) در کشور ازبکستان اقدام به بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه، نمودند. میراخورلوورحیم آزادگان (۱۳۹۶) با استفاده از روش مارکوف- اتوماتای سلولی و تصمیم‌گیری چندمعیاره تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیر تالار را مدل‌سازی کردند. جعفر زاده و همکاران (۱۳۹۷) با هدف رسیدن به توسعه پایدار شهری در قائم‌شهر به مدل‌سازی تغییرات اراضی با استفاده از روش مارکوف پرداختند. در این مطالعه مدل‌سازی نیروی انتقال به کمک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه انجام گرفت. رایگانی و همکاران (۱۳۹۷) مطالعه‌ای را در مورد پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از سنجش از دور برای اراضی شهر مشهد انجام دادند. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) به مطالعه‌ای بر اساس روش زنجیره مارکوف و مدل‌های سلولی خودکار پرداختند و در پایان، روند تغییرات کاربری اراضی را برای حوزه آبخیز صفارود رامسر، پیش‌بینی کردند. همچنین مطالعاتی که در مورد درختان پسته صورت گرفته بدین شرح است: قدیری معصوم و حجی پور (۱۳۹۴) آمایش اکولوژیکی مکان در راستای پیشبرد توسعه پایدار کشاورزی را با بررسی کاشت پسته در شهرستان نهبندان را انجام دادند. آن‌ها با استفاده از عملگر گامای فازی مناطق مستعد کشت پسته را تحلیل نمودند و پیشنهاد کردند که می‌توان بهره اقتصادی مناسبی از آن برای کمک به وضعیت اقتصادی خانوارهای روستایی و توسعه پایدار کشاورزی برد. رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶) از روش‌های مختلفی دمای پوشش گیاهی درختان پسته در بهاباد شهر یزد را به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست ارزیابی کردند. زارع و غفاریان (۱۳۹۹) با بهره‌گیری از سنجش از دور در حاشیه کویر ابرکوه یزد ضریب گیاهی

گیاه پسته را تخمین زدند. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد پژوهش‌های زیادی در زمینه پایش، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی انجام‌شده است. آنچه مسلم است، نیاز است تا با انجام پژوهش‌های علمی بیشتر روند تغییرات و پیش‌بینی این تغییرات در سایر نقاط ایران مورد ارزیابی قرار گیرد (کریمی و همکاران،۱۳۹۵). درعین‌حال، ازآنجاکه عوامل مؤثر در تغییر اراضی پیچیده است و احتمالاً" عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در این فرآیند دخیل باشد، شبیه‌سازی آن مشکل است (وربورگ و همکاران،۲۰۰۲). به همین دلیل، محققان مدل‌های مختلفی را اصلاح و توسعه داده‌اند تا پیچیدگی و پویایی اراضی را شبیه‌سازی کنند (سین،۲۰۰۳). زنجیره مارکوف، روشی مناسب برای مدل‌سازی تغییرات اراضی در جایی است که توصیف تغییرات و فرآیندهای تحول سیمای سرزمین مشکل باشد. تجزیه و تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات اراضی از دوره‌ای به دوره دیگر را توصیف نموده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند (استمان،۲۰۱۲)؛ بنابراین هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت پسته برای دوره ۲۰ ساله و پیش‌بینی تغییرات برای ۱۰ سال آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف است.

روش تحقیق

معرفی منطقه موردمطالعه

شهرستان سیرجان با اقلیم نیمه بیابانی، رطوبت متوسط ۳۶ درصد و میانگین بارندگی سالانه ۱۶۰ میلی‌متر است. تابستان‌های نسبتاً گرم با شب‌های تابستانی خنک و زمستان‌های نسبتاً سرد دارد. منطقه موردمطالعه با وسعت حدود ۶۶۵۴۱/۵ هکتار در شهرستان سیرجان، استان کرمان واقع‌شده است و در جاده سیرجان به شهربابک قرارگرفته است. کویر نمک سیرجان نیز در باختر زیدآباد واقع‌شده و به فاصله ۲۵ کیلومتری از شهرستان سیرجان و ۲۱۰ کیلومتری از کرمان قرار دارد. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه، ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی، است و در ارتفاع ۱۷۱۸ متر از سطح دریا واقع است. درآمد مردم شهر زیدآباد بشتر از راه پسته‌کاری تأمین می‌شود و رونق کشاورزی منطقه باعث مهاجرپذیری آن شده است. همچنین منطقه مورد مطالعه دارای خاک‌های عمیق همراه با بافت یکنواخت و نسبتاً" سبک تا متوسط است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه موردمطالعه استخراج‌شده از ترکیب رنگی کاذب ماهواره لندست

تصاویر ماهواره‌ای

به‌منظور دستیابی به تغییرات کمی و کیفی رخ داده در منطقه مورد بررسی، از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سنجنده‌های ETM^+ و OLI مورد استفاده قرار گرفته است که به ترتیب مربوط به سه دوره زمانی ۱۳۷۹ (۲۰۰۰ میلادی) ، ۱۳۸ (۲۰۱۰ میلادی) و ۱۳۹۸ (۲۰۱۹میلادی می‌باشند که تصاویر در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده
۲۰۰۰/July/۳۱	۱۰/مرداد/۱۳۷۹	لندست ۷	ETM^+
۲۰۱۰/July/۳۱	۹/مرداد/۱۳۸۹	لندست ۷	ETM^+
۲۰۱۹/July/۳۱	۹/مرداد/۱۳۹۸	لندست ۸	OLI

پیش‌پردازش و بررسی کیفیت تصاویر

قبل از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی، پرتوسنجی مانند راه راه شدگی، زیر هم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های تکراری، خطاهای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر مورد بررسی قرار خواهند گرفت؛ و تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری

لازمه اجرای این تحقیق، در اختیار داشتن نقشه کاربری اراضی صحیح از سه مقطع زمانی است. با توجه به نبود این نقشه‌ها، برنامه‌ریزی لازم برای تهیه هر چه دقیق‌تر این اطلاعات انجام‌گرفته است. به‌این‌ترتیب که با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، اهداف تحقیق و قابلیت‌های کم و بیش شناخته‌شده تصاویر مورد استفاده در استخراج اطلاعات مفید به‌ویژه نقشه کاربری اراضی/پوشش زمین، دو کاربری شامل پوشش گیاهی (سطح زیر کشت پسته) و فاقد پوشش گیاهی (مسکونی، بستر رودخانه، بایر و تپه ماهور، مرتع) مد نظر قرار گرفته است. برای روش طبقه‌بندی از الگوریتم بیشترین شباهت ($Maximum\ Likelihood$) در محیط نرم افزار $ENVI$ 5.3 استفاده شده است. که نسبت به سایر رو؛ که طبقه‌بندی از دقت بالاتری برخوردار است. برای انجام این کار از داده‌های آموزشی و آزمایشی ، برای هر کدام از کس‌ها به‌صورت طبقه‌بندی تصادفی از سطح منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردیده است. پس از پیاده‌سازی نمونه‌ها و داده‌های آموزشی و آزمایشی بر سطح تصویر ، با استفاده از نرم‌افزار $ENVI$ 5.3، دقت کلی و شاخص کاپا برای هر کدام از کلاس‌ها تعیین می‌گردد(کریمی و همکاران ، ۱۳۹۵).

ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی‌شده

برای ارزیابی صحت نقشه تهیه‌شده با واقعیت زمینی، با حضور در منطقه موردمطالعه و دید میدانی و سپس از نرم‌افزار Google Earth استفاده‌شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

پیش‌بینی تغییرات کاربری برای آینده

در این تحقیق از ماتریس تغییرات کاربری و مدل زنجیره‌ای مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده‌شده است. زنجیره مارکوف مدلی تصادفی برای توصیف یک توالی از رویدادهای احتمالی است که در آن احتمال هر رویداد فقط به حالت رویداد قبلی بستگی دارد. زنجیره مارکوف به افتخار اندی مارکوف ریاضی‌دان اهل روسیه نام‌گذاری شده است. زنجیره مارکوف یک حالت فرایند تصادفی بدون حافظه است، بدین معنی که توزیع احتمال شرطی حالت بعد تنها به حالت فعلی بستگی دارد

و مستقل از گذشته آن است. این نوع بدون حافظه بودن، خاصیت مارکوف نام دارد. زنجیره مارکوف در مدل‌سازی دنیای واقعی کاربردهای زیادی دارد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵, نظری و همکاران ۱۳۸۹) ؛ بنابراین از جمله مدل‌هایی که برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شود، می‌توان به تحلیل زنجیره مارکوف اشاره کرد (لیلسند و کیفر، ۱۹۹۴). زنجیره مارکوف یک ابزار مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در جایی است که توصیف تغییرات و فرایندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. هر فرآیند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به‌صورت کلی بر اساس وضعیت ماقبل آن سیستم مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری اراضی از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان یک به زمان دو انجام می‌گیرد که به‌عنوان پایه‌ای برای نقشه سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. آشکارسازی تغییرات و همچنین پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، در دادن دید کلی برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و حفاظت اراضی کشاورزی اطراف مناطق شهری و اتخاذ تدابیر سیاست‌های درازمدت مؤثر است. با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود. در مارکوف، با شناخت کاربری زمین در دو دوره زمانی مختلف کار شروع‌شده و سپس از آن‌ها برای نقشه سازی و مدل کردن تغییرات برای آینده استفاده خواهد شد. خروجی مارکوف دارای دو ماتریس با فرمت .txt در مسیر ذخیره‌شده است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵). زنجیره مارکوف طبق رابطه (۱) مدلی است که احتمال تغییر از یک حالت در زمان t_1 به حالت دیگر در زمان t_2 را با استفاده از ماتریس انتقال بیان می‌کند. ویژگی این روش این است که حالت بعدی فقط به حالت فعلی وابسته بوده و به حالت‌های پیشین و همسایه‌ها وابسته نیست.

$$M_{LC} \times M_t = M_{t+1} \quad (۱)$$

MLC ، اتریس انتقال ، M_{t+1} و M_t تعداد پیکسل هر کاربری در دو زمان t و $t+1$ می‌باشند. به‌عبارت‌دیگر می‌توان رابطه زنجیره مارکوف را به شکل دیگر بیان نمود(رابطه۲).

$$\begin{bmatrix} LC_{AA} & LC_{AB} & LC_{AP} & LC_{AO} \\ LC_{BA} & LC_{BB} & LC_{BP} & LC_{BO} \\ LC_{PA} & LC_{PB} & LC_{PP} & LC_{PO} \\ LC_{OA} & LC_{OB} & LC_{OP} & LC_{OO} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_t \\ B_t \\ P_t \\ O_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{t+1} \\ B_{t+1} \\ P_{t+1} \\ O_{t+1} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

در این رابطه LC_{AB} نشان‌دهنده احتمال تغییر از کاربری A در زمان t به کاربری B در زمان $t+1$ ، LC_{AB} نشان‌دهنده احتمال تغییر از کاربری Bدر زمان t به کاربری A در زمان Ot و Pt، At، Bt، t+1 نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های موجود در کاربری‌های O و P، B، A در زمان t است .ماتریس احتمال انتقال، احتمال انتقال کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق نقشه‌های دو تصویر است که توسط خطای نسبی، اصلاح می‌گردد. ماتریس مساحت انتقال‌یافته[۲]، تعداد پیکسل‌هایی را که برای تغییر از یک پوشش اراضی به نوع دیگر در دوره زمانی آینده مورد انتظار هستند ثبت می‌کند(وانگ و همکاران،۲۰۰۹). این ماتریس با ضرب هر ستون از ماتریس احتمال انتقال در تعداد پیکسل‌های کاربری اراضی مربوط به آن در تصویر دوم ایجادشده و خروجی مارکوف شامل چند تصویر احتمال از نمونه‌های تعلیمی است که در منطقه موردمطالعه دارای دو نمونه بوده و خروجی این دو نمونه تهیه‌شده است. این تصاویر که از ماتریس احتمال انتقال به‌دست‌آمده‌اند، احتمال این‌که هر نوع از پوشش اراضی در هر موقعیت مکانی در

[۲] -Transition-areas

آینده پیدا شود را بیان می‌کند که بر اساس دو تصویر پوشش زمینی معرفی‌شده ایجاد می‌گردند(آرخی و اصفهانی ، ۱۳۹۳).

نتایج

نتایج بررسی کیفیت رادیومتری و کنترل هندسی تصاویر نشان داد که تصاویر هر سه سال از کیفیت مطلوب برخوردار بوده و هیچ یک از خطاهای شناخته شده رادیومتری را ندارند. همچنین تصاویر با لایه‌های وکتوری جاده‌ها و آبراهه‌ها کاملاً همخوانی مکانی دارند و به تصحیح هندسی مجدد نیاز ندارند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵).

دقت طبقه‌بندی

برآورد دقت برای درک نتایج به‌دست‌آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری خیلی مهم هستند. معمول‌ترین پارامترهای برآورد دقت شامل، دقت کلی، دقت تولیدکننده و ضریب کاپا می‌باشند که معادلات این معیارها به ترتیب روابط (۳)، (۴) و (۵) خواهند بود. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم‌بر کل پیکسل‌ها طبق رابطه‌ی دلاپیلان و اسمیت، به دست می‌آید. نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه‌بندی‌ها در جدول (۲) نشان داده‌شده‌اند. دقت طبقه‌بندی‌ها به‌طورکلی بیش از ۸۷ درصد برای استفاده از مدل زنجیره مارکوف مناسب است. در اینجا جهت ارزیابی ضریب کاپا و دقت کلی از گزینه $Post\ Classification$ در نرم افزار $ENVI\ 5.3$ استفاده‌شده است(کریمی و همکاران ، ۱۳۹) کریمی و همکاران ۱۳۸۹) .

$$\emptyset_1 = {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} pii \qquad (۳)$$

$$K = \frac{\emptyset_1 - \emptyset_2}{1 - \emptyset_2} \qquad (۴)$$

$$\emptyset_2 = {}^{1}/_{n^2} \sum_{i=1}^{n} pix\ pi \qquad (۵)$$

جدول ۲- نتایج مربوط به برآورد دقت طبقه‌بندی‌ها

سال	نقشه کاربری تهیه‌شده	
	شاخص کاپا	دقت کلی
۱۳۷۹	۹۸/۳۰ درصد	۹۹/۹۸ درصد
۱۳۸۹	۶۰/۸۹ درصد	۹۹/۲۷ درصد
۱۳۹۸	۶۴/۲۲ درصد	۹۶/۴۲ درصد

آشکارسازی تغییرات

میزان تغییرات کاربری‌های مختلف طی دوره‌های موردبررسی و در جداول (۳) الی (۵) نشان داده‌شده است. نتایج تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ را نیز در شکل‌های (۲) الی (۴) آمده است. برای درک تغییرات منطقه گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها طی دوره ۲۰ ساله، نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده به محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.6.1 وارد گردیده است. با مقایسه این نقشه‌ها و جداول تقاطعی به‌دست‌آمده، نقشه و درصد تغییرات هر کلاس مشخص و محاسبه‌شده است. نمودار میزان سطح هر کلاس را نیز می‌توان در سال‌های موردمطالعه در شکل (۵) مشاهده کرد؛ و در شکل (۶)، روند تغییرات کلاس‌ها را در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸، می‌توان مشاهده کرد. نتایج حاصل را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد که در سال ۱۳۷۹ هجری شمسی میزان سطح زیر کشت پسته ۱۲۵۵۷/۷ هکتار بوده است که این میزان در سال ۱۳۸۹ هجری شمسی با رشد ۱۵/۰۴ درصد، به‌اندازه ۱۸۸۸/۸۳ هکتار، به مساحت ۱۴۴۴۶/۵۳ هکتار رسیده است. در سال ۱۳۹۸ هجری شمسی، سطح زیر کشت پسته به مقدار ۱۶۱۳۱/۶ هکتار رسیده است که رشدی ۱۱/۶۶ درصدی به مقدار ۱۶۸۵/۰۷ هکتار نسبت به سال ۱۳۸۹ هجری شمسی رسیده است.

روند تغییرات کاربری‌ها را نیز می‌توان به‌صورت بصری در شکل‌های شماره (۷) و (۸) مشاهده کرد.

جدول ۳- میزان تغییرات کاربری‌ها، حاصل از تصویر طبقه‌بندی سال ۱۳۷۹ هجری شمسی

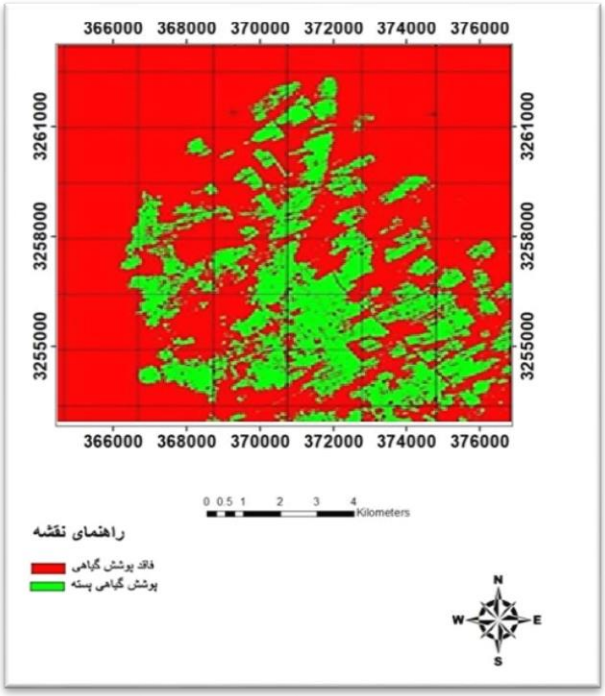
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
پوشش گیاهی پسته	۱۲۵۵۷/۷
فاقد پوشش گیاهی	۵۳۹۸۳/۸
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۲۳۶۹/۱۶
کوچک‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۰/۰۹

جدول ۴- میزان تغییرات کاربری‌ها، حاصل از تصویر طبقه‌بندی سال ۱۳۸۹ هجری شمسی

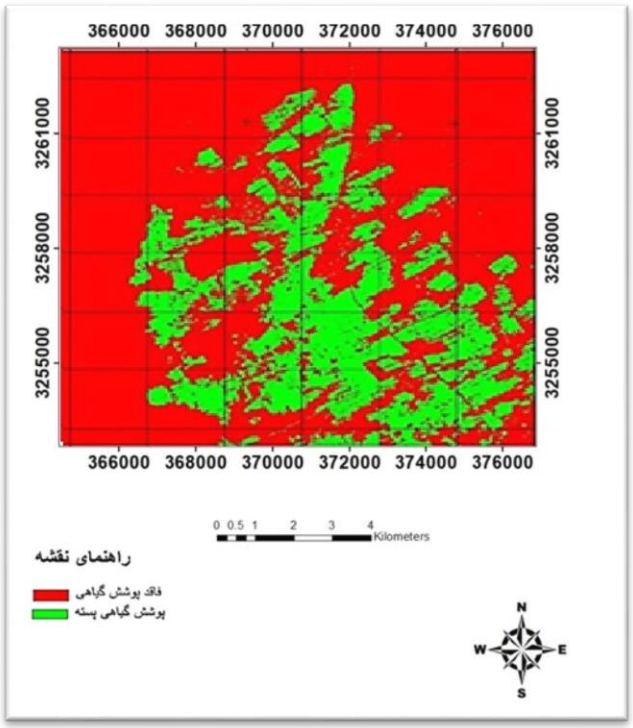
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
پوشش گیاهی پسته	۱۴۴۴۶/۵۳
فاقد پوشش گیاهی	۵۲۰۹۴/۹۷
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۴۵۸۷/۴۸
کوچک‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۰/۰۹

جدول ۵- میزان تغییرات کاربری‌ها، حاصل از تصویر طبقه‌بندی سال ۱۳۹۸ هجری شمسی

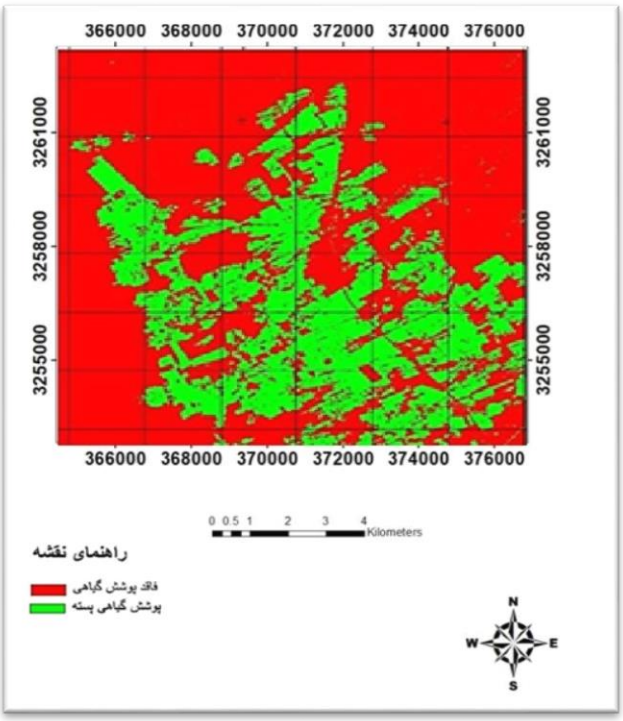
نوع کاربری	مساحت (هکتار)
پوشش گیاهی پسته	۱۶۱۳۱/۶
فاقد پوشش گیاهی	۵۰۴۰۹/۹
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۷۱۹۵/۱۴
بزرگ‌ترین وسعت تحت پوشش گیاهی پسته	۰/۰۹



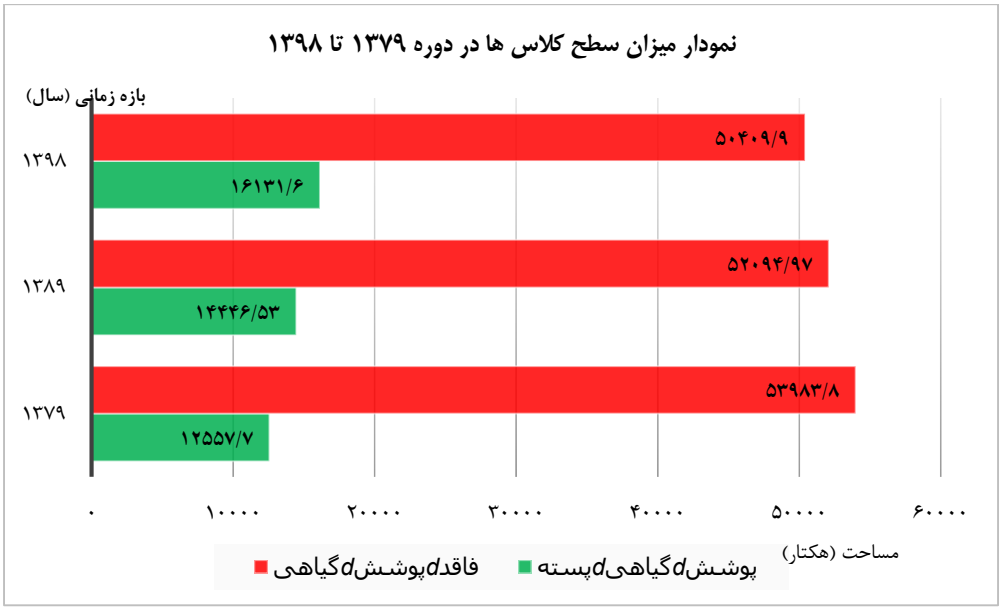
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده ETM^+ در سال ۱۳۷۹



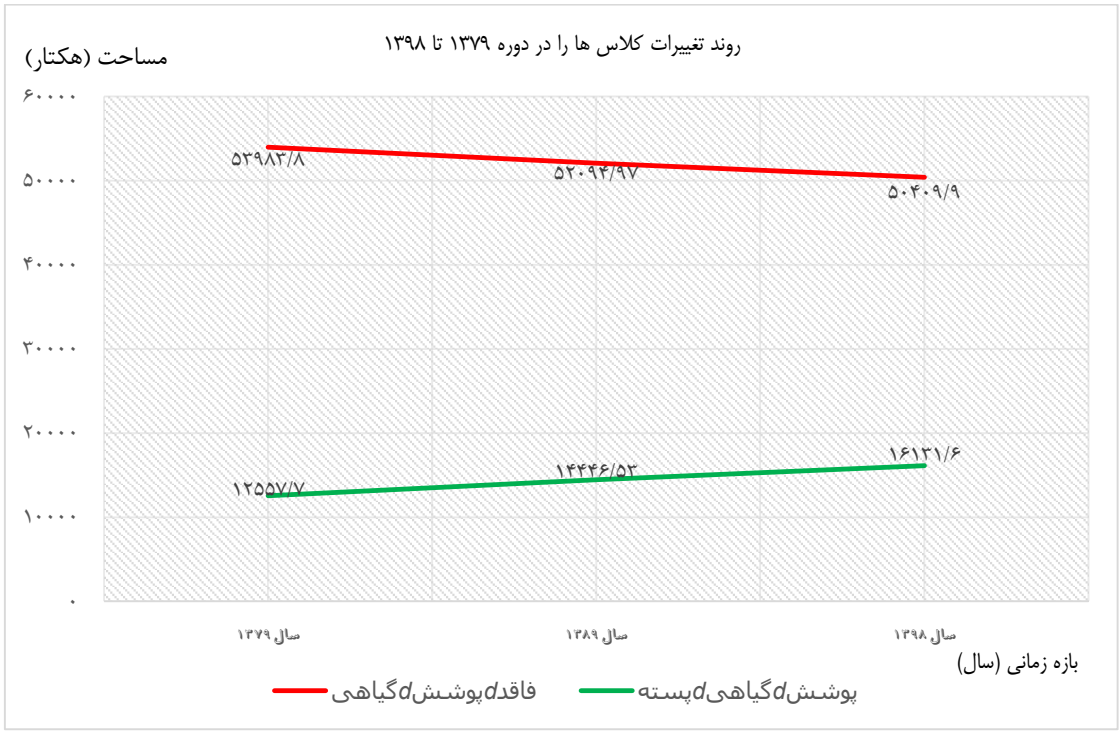
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده ETM^+ در سال ۱۳۸۹



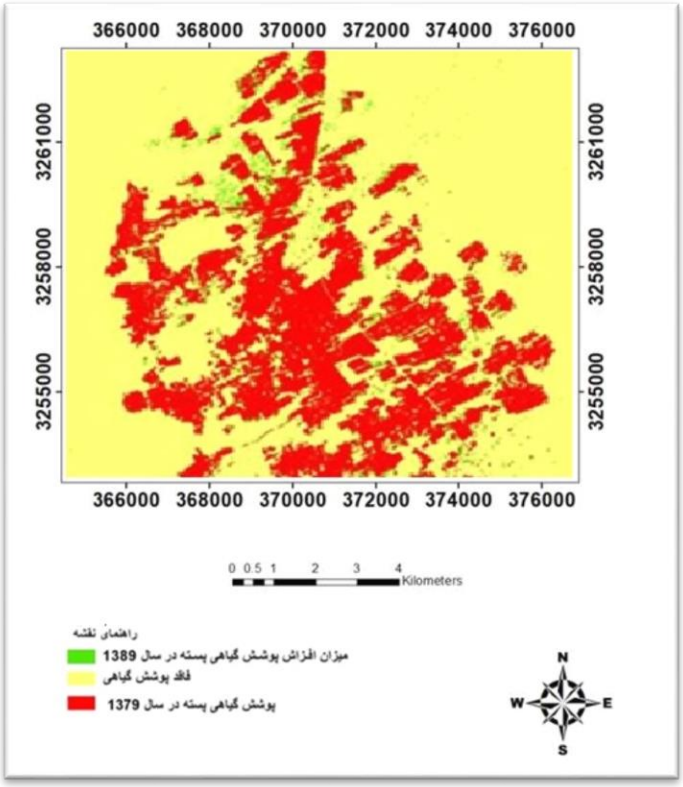
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حاصل از پردازش تصاویر سنجنده OLI در سال ۱۳۹۸



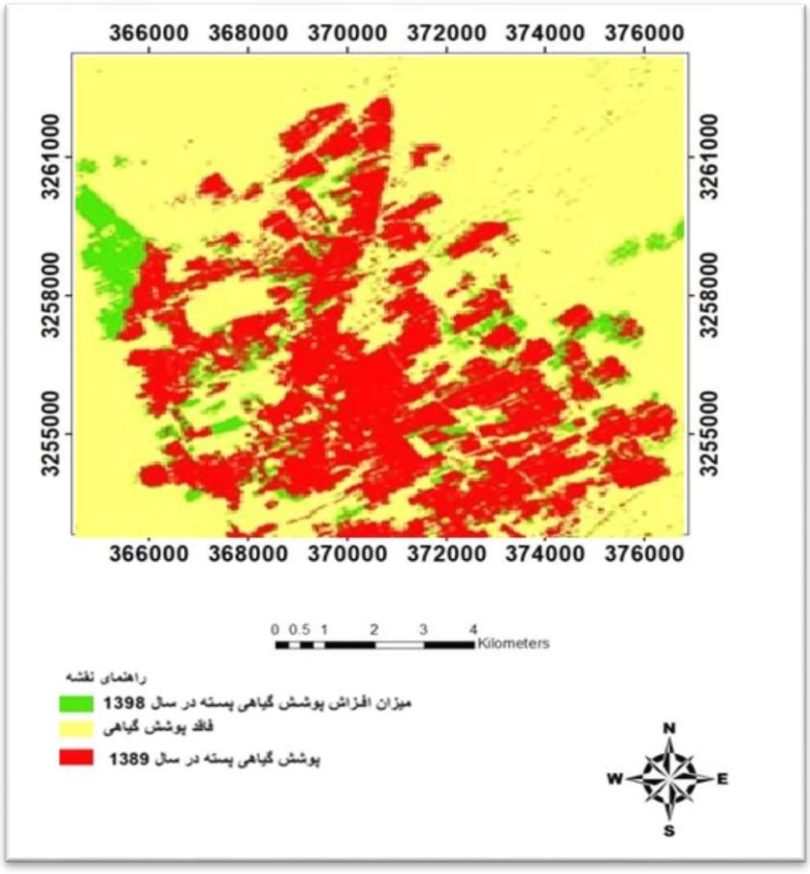
شکل ۵- نمودار میزان سطح کلاس‌ها در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸



شکل ۶- روند تغییرات کلاس‌ها را در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸



شکل ۷- میزان تغییرات سطح زیر کشت پسته بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹



شکل ۸- میزان تغییرات سطح زیر کشت پسته بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸

تحلیل زنجیره مارکوف

در این تحقیق مدت زمان ۱۰ سال مدنظر قرار گرفته است و نتایج حاصل مربوط به سال ۱۴۰۸ است. مقادیر ماتریس‌های فوق بر اساس کلاس‌های موجود، به ترتیب در جداول (۶) و (۷) بیان‌شده است؛ بنابراین نقشه نهایی سطح اراضی زیر کشت درختان پسته برای ده سال آینده پیش‌بینی‌شده حاصل از ماتریس‌های موجود در دو کلاس، در شکل (۹) تهیه‌شده است. قابل ذکر است، احتمال وقوع هر کلاس در مدت ۱۰ سال آینده (سال ۱۴۰۸ شمسی)، براساس واحد هکتار نشان داده‌شده است.

جدول ۶- ماتریس احتمال انتقال

	کلاس اول	کلاس دوم
کلاس اول	۰/۸۹۷۴	۰/۱۰۲۶
کلاس دوم	۰/۲۲۵۷	۰/۷۷۴۳

کلاس اول: اراضی فاقد زیر کشت پسته

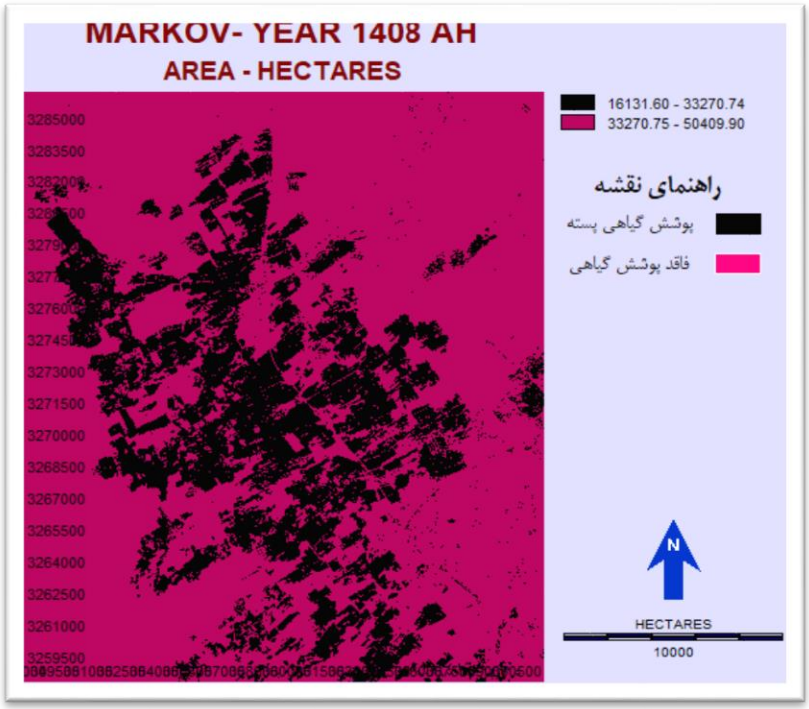
کلاس دوم: اراضی زیر کشت پسته

جدول ۷- ماتریس مساحت انتقال

	کلاس اول	کلاس دوم
کلاس اول	۵۰۲۶۶۵	۵۷۴۴۵
کلاس دوم	۴۰۴۵۲	۱۳۸۷۸۸

کلاس اول: اراضی فاقد زیر کشت پسته

کلاس دوم: اراضی زیر کشت پسته



شکل ۹- نقشه پیش‌بینی سطح اراضی زیر کشت درختان پسته منطقه موردمطالعه بر اساس روش مارکوف در سال ۱۴۰۸

بنابراین می‌توان از نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل زنجیره مارکوف، دریافت سطح اراضی زیر کشت درختان پسته، از ۱۶۱۳۱/۶۰ هکتار در سال ۱۳۹۸ به ۳۳۲۷۰/۷۴ هکتار در سال ۱۴۰۸، خواهد رسید؛ اما آنچه بایست در نظر داشت منطقه زیدآباد به‌عنوان منطقه موردمطالعه پژوهش حاضر، به‌عنوان یک قطب تولید پسته در سال‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی با افت شدید سطح ایستابی و افزایش سریع شوری آب و عوارض تبعی آن‌ها در توسعه کشاورزی روبرو شده است. چنانچه این افت سطح ایستابی ادامه داشته باشد کیفیت آب مورد نیاز پسته در منطقه کاهش‌یافته و نامناسب برای رشد این گیاه می‌شود. همچنین از سویی آب‌های آبیاری این محدوده به دلیل مجاورت با کفه نمک خیرآباد، بهره‌برداری بیش از حد منابع آب‌های زیرزمینی در سال‌های اخیر سبب شده که جهت حرکت آب‌های زیرزمینی برعکس شده و از سمت کفه نمک به سمت اراضی بالادست حرکت نماید و این امر باعث شور شدن منابع آب مورداستفاده کشاورزی در منطقه گریده و کشاورزی را در این اراضی مشکل ساخته است. همچنین آبیاری موجب شوری و سدیمی شدن خاک شده و شوری و نسب جذب سدیم از پارامترهای مؤثر بر کاهش تولید پسته هستند؛ بنابراین کشت بیش ازحد در دهه‌های اخیر و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی دارای کیفی نامطلوب شده‌اند و آبیاری با آب‌های خیلی شور سبب تشکیل افق سالیک شده و بر تحول خاک نیز تأثیر زیادی گذاشته و به‌تبع آن سطح زیر کشت پسته در اراضی منطقه را دستخوش تغییرات قرار می‌دهد؛ بنابراین با توجه به دلایل بیان‌شده، به احتمال زیاد سطح پیش‌بینی‌شده اراضی زیر کشت پسته حاصل از مدل زنجیره مارکوف برای سال ۱۴۰۸ منطقه موردمطالعه در پژوهش پیش رو، تغییر خواهد کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان جهت تهیه نقشه کاربری اراضی/پوشش زمین است. تجزیه و تحلیل این داده‌ها می‌تواند بینش‌های صحیحی جهت تعامل انسان با محیط طبیعی فراهم کند، به‌خصوص استفاده از تجزیه‌وتحلیل تصاویر چند طیفی می‌تواند جهت شناسایی پوشش زمین و شبیه‌سازی آن در آینده به مدیران و استفاده‌کنندگان برای مدیریت و برنامه‌ریزی و کاربرد سیاست‌های توسعه پایدار کمک کند. همچنین داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری‌های موجود، لازمه مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی و اراضی کشاورزی است. یکی از مبانی مدیریت اراضی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. در تحقیق حاضر، تغییرات سطح اراضی زیر کشت باغات پسته در منطقه‌ای به وسعت حدوداً ۶۶۵۴۱/۵ هکتار در بخشی از شهرستان سیرجان در دوره زمانی (۱۳۷۹-۱۳۸۹ هجری شمسی) و (۱۳۸۹-۱۳۹۸ هجری شمسی) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و همچنین توانایی پیش‌بینی کاربری بر اساس رویکرد مدل زنجیره مارکوف، وضعیت طبقه‌بندی کاربری اراضی ۱۰ سال آینده (۱۴۰۸ هجری شمسی) مورد پیش‌بینی قرارگرفته و اندازه تغییرات و متغیرهای مؤثر در آن از طریق داده‌های سنجش از دور بررسی شد.

در طول دوره مورد نظر کاربری‌های (مسکونی، بستر رودخانه، بایر و تپه‌ماهور، مرتع) که در طبقه فاقد زیر کشت درختان پسته و کاربری اراضی زیر کشت محصول پسته مورد بررسی قرار گرفتند. میزان سطح زیر کشت پسته از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ با رشدی ۱۵/۰۴ درصدی همراه بوده و این مقدار در بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ نیز با رشدی ۱۱/۶۶ درصدی همراه بوده است. استفاده از مدل مارکوف در پیش‌بینی تغییرات اراضی زیر کشت پسته و تهیه نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی زیر کشت باغات پسته از جنبه‌های مهم نوآوری این مطالعه محسوب می‌شود. با در اختیار داشتن نقشه موقعیت مکانی-احتمالی (طول و عرض جغرافیایی) تمام پیکسل‌های هر یک از کاربری‌ها، می‌توان از این مسئله در برنامه‌ریزی‌های آتی کمک گرفت. با توجه به اینکه اغلب هدف پیش‌بینی تغییر کاربری، ارزیابی

پیامدهای سناریوهای مختلف به‌ویژه ادامه روند موجود است، نتایج این پیش‌بینی به‌رغم اختلاف نسبت به آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشداری برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد.

فهرست منابع

۱. جعفرزاده، ک. سبزقبایی، غ. یوسفی،ش و سلطانیان،س(۱۳۹۷). مدل سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری(مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه عیمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی،۲۷(۱۰۷)،۲۲۲-۲۰۹.

۲. صالحی، ن. اختصاصی، م و طالبی،ع (۱۳۹۸). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری(مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه عیمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی،۲۷(۱۰۷)،۲۲۲-۲۰۹.

۳. میراخورلو، م.س و رحیم زادگان،م(۱۳۹۶). سبزقبایی، غ. یوسفی،ش و سلطانیان،س(۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری(مطالعه موردی: شهر قائم‌شهر)، فصلنامه عیمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی،۲۷(۱۰۷)،۲۲۲-۲۰۹.

۴. رایگانی، ب. جهانی، ع. ستاری راد،ا و شوقی،ن(۱۳۹۷). مدل‌سازی تغییرات ساختار شهری با رویکرد برنامه‌ریزی فضایی برای رسیدن به توسعه پایدار شهری(مطالعه موردی: شهر قائم شهر)، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی،۲۷(۱۰۷)،۲۲۲-۲۰۹.

۵. رحیمیان، م.ح، شایان نژاد، م. اسلامیان ،س. جعفری. ر، قیصری. م و تقواییان،ص.(۱۳۹۶). ارزیابی روش‌های مختلف تعیین دمای پوشش گیاهی درختان پسته به کمک تصاویر ماهواره ای لندست۸، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی،۲،۹۸-۷۹.

۶. زارع خورمیزی، ه و غفاریان مالمیری ، ح. (۱۳۹۹). تخمین ضریب گیاهی و رابطه Kc- NDVI گیاه پسته با بهره گیری از سنجش ازدور در حاشیه کویر ابرکوه یزد، نشریه مدیریت بیابان،۱۵، ۱۲۰ -۱۰۱.

۷. قدیری معصوم،م وحجی پور، م.(۱۳۹۵). آمایش اکولوژیکی مکان در راستای پیشبرد توسعه پایدار کشاورزی، مطالعه موردی: کاشت پسته در شهرستان نهبندان، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۲۲، ۱۲۴-۱۰۹.

۸. کریمی،ک.،غ .ر .زهتابیان،م .فرامرزیوح .خسروی (۱۳۹۵). پایش و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره مارکوف به منظور پیش بینی آن (بررسی م.ردی: دشت عباس)، مجله مرتع و آبخیزداری، ۶۹(۳)، ۷۲۴-۷۱۱.

۹. نظری سامانی، ع . ا.، م. قربانی و ح. ر . کوهبانی ۱۳۸۹. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰ . مرتع (۳)۴ : ۴۵۱-۴۴۲

۱۰. آرخی ،ص . و اصفهانی،م. (۱۳۹۳). آموزش تصویری نرم افزار ایدریسی سلوا، انتشارات دانشگاه گلستان،ص۱-۳۳۶.

11. AL-saghir,m.g, and D.M porter(2012) Taxonomic revusion of the genus pistacia l, (plant sciences).
12. Dontree, S., 2003. Land use dynamics from multi temporal remotely - sensed date: a case study Northern Thailand,Proceedings of Map Asia, Malaysia.
13. Eastman, J.R. 2012. *IDRISI Selva Tutorial*. *IDRISI Production*. Worcester: Clark Labs-Clark University.
14. Gross,J. E., 2006. Remote sensing for the national parks. Park Science, 24, 30-36.

15. Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation, John Wiley and Sons, New York, 750 pp.
16. Juliev, M., Pulatov, A., Fuchs, S., and Hubl, J. 2019. Analysis of Land Use Land Cover Change Detection of Bostanlik District, Uzbekistan. Polish Journal of Environmental Studies, 28(5), 3235–3242.
17. Lu D, Weng Q.2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. Internatial journal of remote sensing 28(5); 523-870.
18. Parker, D.C., Manson Hoffmann, S.M. and Deadman, .MJ. 2003. Multi agent systems for the simulation of landuse and land cover change: a Review. Annals of the Association of American Geographers, 43, 314-337.
19. Traore, Arafan; Mawenda, John; Komba, Atupelye W.2018. Land-Cover Change Analysis and Simulation in Conakry (Guinea), Using Hybrid Cellular-Automata and Markov Model. *Urban Sci*. Volume 2, Issue2.
20. Rimal, B.; Zhang, L.; Keshtkar, H.; Haack, B.N.; Rijal, S.; Zhang, P 2018. Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration.
21. Rizvi, R., Newaj, R., Karmakar, P. S., Saxena, A., and Dhyani, S. 2016. Remote Sensing Analysis of Agroforestry in Bathinda and Patiala Districts of Punjab using Sub-pixel Method and Medium Resolution Data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 44(4), 657–664.
22. Singh, A.K. Modeling Land use/ Land cover Changes Using Cellular Automata in Geo-Spatial Environment, MSC Theses. Netherland.2003; 58 P.
23. Vafai, S., Darvishsefat, A.A., Pirbavachar, M. 2013. Monitor and predict changes in spatial land-use by usingLCM model (Case Study: Marivan region). Iranian Journal of Forest, Forest Society of Iran, Fifth Year, 3, 336.323.
24. Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R. and Espaldon, V .2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. Environ. Manage. 30(1): 391-405.
25. Wang, Y.Q., et al. 2009. Remote sensing of land-cover change and landscape context of the national parks: A casestudy of the Northeast Temperate Network. Remote Sensing of Environment.
26. Wijanarto AB. 2006. Application of Markov Change Detection Technique for Detecting Landsat ETM Derived*Land Cover Change Over Banten Bay. Journal of IlmiahGeomatika, 12(1), 11-21.*

Using the Markov chain model to predict variations in pistachio plantations (A case study of Zeidabad, Sirjan Town)

A. Kazeminia Korrani[1] and A. Nezhad Khorasani
Instructor of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Iran. **kazeminia@sirjantech.ac.ir**
Undergraduate student of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Iran. **a.n.khorasani@gmail.com**

Received: November 2020, and Accepted: July 2021

Abstract

Remote sensing is the key technology used to assess land use changes that serve as basic information in all planning. The current study uses the Markov chain model to investigate changes in the area under pistachio cultivation and explores its potential for predicting future variations in land use in Zeidabad, Sirjan. For this purpose, use is made of ETM^+ Landsat 7 and OLI Landsat 8 sensor images taken in the years 2000, 2010, and 2019, all of which are classified into the two land use classes of vegetation (pistachio plantations) and non-vegetation (residential areas, riverbeds, barren land, and pastures). The results obtained indicate an upward trend in agricultural development, particularly in pistachio cultivation as the most dynamic land use, in the study region so that an increase of 1888.83 hectares (15.04%) is recorded for the total cultivated land. Similarly, an upward trend is recorded for changes in pistachio plantations during the years 2010 to 2019 so that 1685.07 hectares (11.66%) of land is shown to be added to the total land area under pistachio cultivation. Markov chain analysis of the period from 2010 to 2019 indicates a steady increase in pistachio cultivation in the study region by 2029.

Keywords: Pistachio, Land change, Satellite imaging, Markov chain, Sirjan

[1]. Corresponding author: Faculty of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Iran.