

آشکارسازی تغییرات پوششی و کاربری اراضی با رویکرد به مجموعه‌های فازی (مطالعه‌ی موردی: شهر گرگان)

جعفر میرکتولی* - استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه گلستان
علی حسینی - کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران
حسن رضایی‌نیا - کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران
عبدالحمید نشاط - کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۱/۳۱

چکیده

توسعه‌ی ارتباطات جهانی در ابعاد مختلف و گسترش شهرها، شرایطی را به وجود آورده است که انسان خواسته یا ناخواسته، یا را از چارچوب مجاز بهره‌برداری ضابطه‌مند از محیط زیست فراتر گذاشته است که سبب افزایش روند تغییرات غیراصولی در کاربری زمین شده است. در تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف شهرها و روستاهای مجاور، عوامل خارجی، مانند تصمیمات سیاسی، تغییر در استانداردهای زندگی و فن‌آوری، آثار نیروهای بازار و فشار توسعه‌ی شهر، بسیار مؤثر است و آثار عمیق و پُرشتابی در نابودی زمین‌های کشاورزی بر جای می‌گذارد. در این پژوهش برآنیم تا به تأثیر گسترش افقی شهر گرگان بر تغییر کاربری کشاورزی و جنگلی، پیش‌بینی روند تغییرات و تعیین مناطق جنگلی و کشاورزی مهم، از نظر خطر تبدیل به شهر بپردازیم. برای پی‌بردن به شدت و میزان تغییرات کاربری در محدوده‌ی شهر گرگان تصاویر LISS III سال ۲۰۰۷ ماهواره، IRS-ID و TM سال ۱۹۹۱ ماهواره لندست منطقه، مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌ی تغییرات کاربری و پوشش منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای ERDAS و ENVI به‌عنوان نرم‌افزارهای پردازش تصاویر ماهواره و Arc GIS به‌عنوان نرم‌افزارهای سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. با استفاده از الگوریتم‌های مناسب از لحاظ هندسی و رادومتریک، بازنگری‌های لازم انجام شد. برای تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری از ترکیب روش‌های تفریق تصاویر، همچنین تقسیم تصاویر و تحلیل مؤلفه‌های اصلی با استفاده از رویکرد فازی، احتمال تبدیل کاربری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های حاصل از پژوهش نشان داد که مناطق جنوبی شهر گرگان، از نظر میزان تغییر کاربری در رده‌ی اول بوده و در رده‌های بعدی، بیشترین تغییرات مربوط به زمین‌های هموار و دشت شهر گرگان در شمال و شمال‌شرق است و به‌کارگیری امور حفاظتی برای کنترل تبدیل اراضی مرغوب کشاورزی و چشم‌اندازهای زیبای جنگلی ناهارخوران به شهر در این مناطق، اهمیت بیشتری دارد.

کلیدواژه‌ها: تغییر کاربری اراضی، مجموعه‌های فازی، تصاویر IRS-ID گسترش افقی، شهر گرگان.

مقدمه

زمین، منبع کمیابی است. اراضی مرغوب کشاورزی در همه‌جا یافت نمی‌شود؛ اما نیاز انسان به غذا، نیازی ثابت و دائمی است. رشد شهری که مسبب تغییرات کاربری زمین است، نتیجه‌ای از برهم‌کنش‌های پیچیده، میان عوامل رفتاری و ساختاری است؛ و زمانی که با تقاضا، ظرفیت فن‌آوری و ارتباطات اجتماعی همراه می‌گردد، موجب محدودیت محیط زیست می‌شود (Mallinis & et al, 2011, 312; Thapa & Murayama; 2010, 74). سرعت رشد شهرنشینی موجب تغییرات چشمگیری در شیوه‌ی استفاده از اراضی شده است. این رشد و گسترش، نه تنها موجب تخریب فضاهای پیرامون می‌شود، بلکه شهر را از شکل متقارن خود خارج می‌کند (Hosseini & et al, 2010, 10; Yu & et al, 2011, 600). ناسازگاری موجود در مقدار زمین میان ساکنان مناطق مزروعی اطراف شهر و ساکنان محدوده‌ی شهری از نتایج بارز این مسئله است (Mottet & et al, 2006, 297; Street, 2007, 133).

اراضی کشاورزی شهرها، نقش مهمی را در تأمین امنیت غذایی و کسب درآمد برای جمعیت شهری با رشد شتابان دارد (Mougeot, 2006, 2; Diaz-Caravantes & Sanchez-Flores, 2010, 413). این امر ردپای اکولوژیکی شهرها را به فاصله‌های دورتر از شهر می‌کشاند و بنیان‌های لازم برای توسعه‌ی پایدار را به چالش می‌کشد. نقش کشاورزی در کشورهای رو به پیشرفت، واقعیتی انکارناپذیر است؛ بنابراین، کشاورزی شهری، راهکاری عملی برای بهبود نواحی شهری و تأمین غذا و حتی مدیریت پسماندهای خوب جامد شهری است. اما کشاورزی شهری، از یک مسئله‌ی تصویری رنج می‌برد و آن این که به‌ندرت، به‌عنوان یک کاربری زمین با ارزش پذیرفته می‌شود (Mougeot, 2006, 65). تغییر کاربری اراضی و پوششی در توسعه‌ی اجتماعی، اقتصادی و منطقه‌ای (Wyman & Stein, 2010, 332) و همچنین تغییرات محیطی نقش مهمی دارد (Schulz & et al, 2010, 437; Ayala-Silva & et al, 2009, 565; Nagendra & et al, 2006, 98). بر این مبنای مدیریت شهری ناگزیر به توسعه‌ی فضایی اندیشیده‌ی شهرهاست تا بتواند منافع و مصلحت‌های عمومی نسل کنونی و آینده‌ی ساکن در شهرها و پیرامون آنها را فراهم کند. در این راستا باید، ابزار لازم برای کنترل فضایی شهرها را در اختیار داشته باشد. استفاده از روش‌های سنتی و نقشه‌برداری زمینی، به‌علت زمان‌بر بودن و هزینه‌ی زیاد مناسب نبوده و به‌کارگیری ابزار و روش‌های جدید و مؤثر در این مورد ضرورت دارد. سنجش از دور، منبع اصلی داده‌ها و اطلاعاتی است که در زمینه‌های مختلف، از جمله مسائل شهری یا انسان‌ساخت، چشم‌اندازها و محیط‌های طبیعی استفاده می‌شود و ترکیب آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌هایی همچون مجموعه‌های فازی، ابزار مناسبی برای نظارت بر توسعه‌ی فضایی خردمندانانه فراهم می‌آورد تا ضمن شناخت روند کنونی توسعه، بتوان مسیر گسترش شهر را در آینده تخمین زد و برای آن تدابیر لازم را اندیشه کرد (El-Kawy & et al, 2011, 483; Szuster & et al, 2011, 525; Rozenstein and Karnieli, 2011, 636; Bhatta & et al, 2010, 96; Gandaseca & et al, 2009, 167; Dewan & Yamaguchi 2009, 391; Hui-Mei & Zhi-Yuan, 2009, 92; Pelorosso & et al, 2009, 36; Tayyebi, 2008, 1037; Rahdary & et al, 2008, 113; Serra & et al, 2008, 197; Shalaby & Tateishi, 2007, 28; Firouzabadi & Ghanavati, 2007, 135; Kelarestaghi & et al, 2006, 34; Rasul & et al, 2004, 220). به این منظور با تعیین عوامل مؤثر در تغییرات

کاربری، می‌توان به تهیه نقشه‌ی مناطق مهم از نظر تغییر کاربری و تدوین راهکارهای مناسب برای هدایت و مدیریت تغییرات کاربری اقدام کرد.

بررسی رابطه‌ی تبدیل اراضی مرغوب کشاورزی و چشم‌اندازهای زیبای جنگلی، بر اساس اندازه و فاصله از اراضی ساخته‌شده‌ی شهری و تغییرات غیراصولی در پوشش گیاهی و کاربری زمین در اطراف منطقه‌ی مورد مطالعه در سال‌های گذشته، به‌ویژه، کسب مرکزیت استان از سال ۱۳۷۶ به بعد، به لزوم بررسی رابطه‌ی تغییرات کاربری‌ها در منطقه و ارزیابی آثار توسعه‌ی شهر بر روی اراضی یاد شده، اهمیت داده است.

مبانی نظری

برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، ساماندهی مکانی و فضایی فعالیت‌ها و عملکردهای شهری بر اساس خواست‌ها و نیازهای جامعه شهری است و هسته‌ی اصلی برنامه‌ریزی شهری را تشکیل می‌دهد. به بیان دیگر، منظور از نظام کاربری اراضی شهری، مشخص کردن نوع مصرف زمین در شهر، هدایت ساماندهی فضایی شهر، تعیین ساخت‌ها و چگونگی انطباق آنها با یکدیگر و با نظام‌های شهری است (زیاری، ۱۳۸۸، ۳).

تغییرات پوششی و کاربری اراضی، از جمله مهم‌ترین تغییرات در اراضی سطح زمین هستند (Pelorosso & et al, 2009, 53). در سطح شهرها نیز، تغییر پوششی و کاربری زمین - ناشی از فرآیندهای شهرنشینی - یکی از مؤثرترین عوامل تغییر در وضعیت محیط زیست است (Rolando & et al, 2010, 414) که به‌آهستگی انجام می‌شود و در صورت کنترل نشدن، به تخریب و اختلال در عملکرد کلی محیط زیست شهر منجر خواهد شد. از این رو، یکی از مهم‌ترین روش‌ها، در مورد چگونگی استفاده‌ی بهینه از اراضی و کنترل توسعه‌ی افقی شهر، استفاده از روش‌های ارزیابی کاربری اراضی است و مهم‌ترین آنها در ارتباط با برنامه‌ریزی فضاهای شهری، ارزیابی‌های زیست‌محیطی و پراکندگی است.

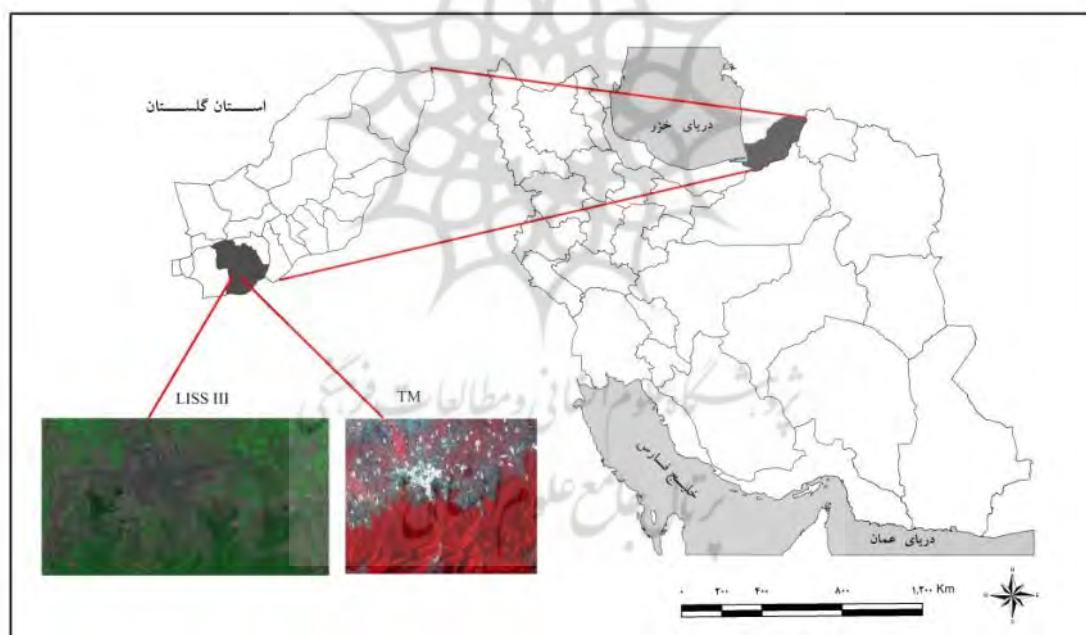
ارزیابی زیست‌محیطی، به دلیل آثار گسترده‌ای که پروژه‌های توسعه‌ی شهری بر محیط زیست دارند و به‌طور عمده جنبه‌ی قانونی و الزامی پیدا کرده است، بیشتر مورد توجه است. این نوع ارزیابی برای ارتقای کیفیت برنامه‌های زیست‌محیطی و به‌کارگیری راهبردی مناسب، درباره‌ی تخصیص معقولانه‌ی منابع اراضی برای کاربردهای مختلف به‌کار می‌رود. گرچه تا کنون در مورد ارزیابی زیست‌محیطی در پروژه‌های شهری - ناحیه‌ای و ملی کمابیش کار اندکی صورت گرفته است، اما به دلیل اصول علمی و منطقی بسیار مفید است. این نوع ارزیابی باید توان پیش‌بینی نمایش آثار زیست‌محیطی ناشی از استقرار کاربری‌ها بر محیط شهر و ناحیه را داشته باشد (ابراهیم زاده و مجیر اردکانی، ۱۳۸۵، ۴۸).

ارزیابی پراکندگی می‌تواند در مقیاس‌های نسبی و مطلق اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری مطلق، قادر به تمایز سیاه و سفید (یا همان منطق صفر و یک) بین شهری با توسعه‌ی افقی پراکنده و یک شهر فشرده است. در مقابل، ارزیابی نسبی مقایسه‌ی کمی چندین ویژگی از رشد شهری است که این ویژگی‌ها می‌توانند در میان شهرها، مناطق مختلف در داخل یک شهر، یا در زمان‌های مختلف برای یک شهر با یکدیگر مقایسه شوند (Bhatta & et al, 2010, 732).

منطقه‌ی مورد مطالعه

شهر گرگان، مرکز استان گلستان، از مراکز مهم اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استان و منطقه شمرده می‌شود. بر اساس بررسی‌های نوشته شده در گزارش طرح کالبدی ملی، نظام شبکه‌ی شهری کشور، در دهه‌های گذشته، پذیرای جمعیت بوده و فراروی آن، گسترش بی‌رویه‌ی فضای شهری است (میرعلی کتولی، ۱۳۸۱، ۴۳).

شهر گرگان، در بخش غربی استان، در ارتفاع متوسط ۱۵۵ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهر در محدوده‌ی طول و عرض جغرافیایی (۲۴' ۵۴" طول شرقی و ۳۶' ۴۹" عرض شمالی) در دامنه‌ی شمالی رشته‌کوه البرز قرار گرفته است. بخش جنوبی شهر گرگان، مشرف به ارتفاعات پوشیده از جنگل است که در مجاورت جاده‌ی سراسری شمال قرار دارد. رشد و گسترش شهر در امتداد این جاده بیشتر بوده و ارتفاعات بخش‌های جنوبی و جنوب‌غربی شهر از موانع فیزیکی مهم برای توسعه‌ی شهر در این جهات محسوب می‌شود (شکل شماره‌ی ۱) (وارسته مرادی، ۱۳۷۶، ۱۶۳).



شکل ۱. نقشه‌ی موقعیت شهر گرگان در پهنه‌ی سرزمینی جمهوری اسلامی ایران ۱۳۸۹، تصاویر IRS-1D LISS III سال ۲۰۰۷ و TM سال ۱۹۹۱ ماهواره لندست (منبع نقشه‌ی پایه: وزارت کشور، ۱۳۸۵ و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۹)

بررسی نتایج طرح خاک‌شناسی دشت گرگان و گنبد نشان می‌دهد که این شهر از دید فعالیت‌های زراعی و کشاورزی بر بستری بارور و مستعد بر پا شده و گسترش یافته است (شاهکویی، ۱۳۷۸، ۱۷). بر اساس مطالعات انجام شده‌ی طرح جامع (مهندسان مشاور طرح و معمار، ۱۳۷۵)، شهر گرگان در سال ۱۳۵۳ در حدود ۷۴۱۶۴ نفر جمعیت و در سال ۱۳۷۳ شمار جمعیت شهر به ۱۸۰۷۲۶ نفر رسیده است. جمعیت این شهر در سال

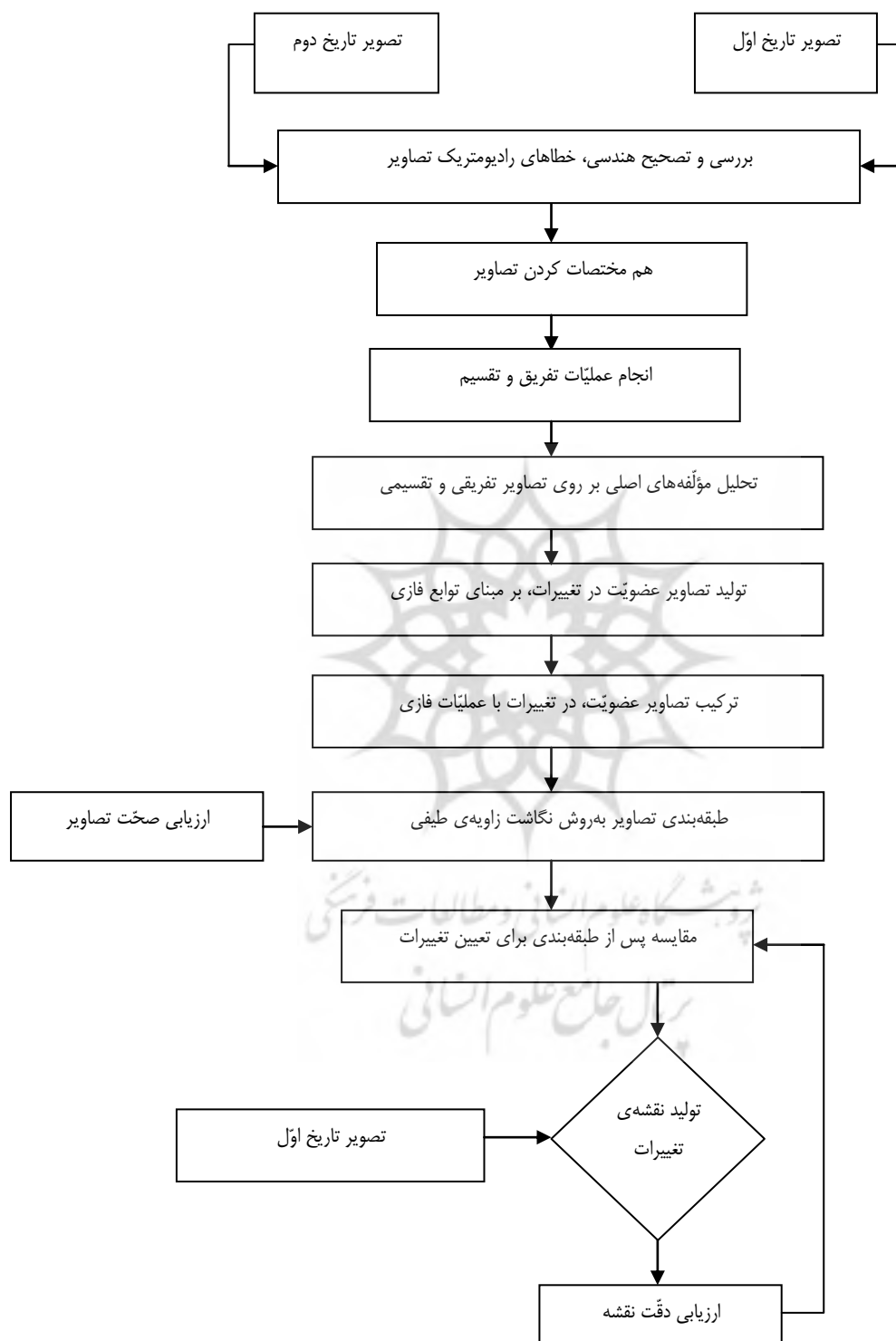
۱۳۵۵، در حدود ۸۸۰۳۳ نفر بوده و طی سال‌های ۷۵-۱۳۶۵ به ۱۳۹۴۳۰ نفر و ۱۸۸۷۱۰ نفر رسیده است (میرعلی کتولی، ۱۳۸۱، ۱۲۷)، افزایش جمعیت در سال ۱۳۸۵ ادامه یافته و به بیش از ۲۶۹۲۲۶ نفر رسیده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶). بررسی تحولات جمعیت این شهر نشان می‌دهد، از مجموع ۸۰۵۱۶ نفر افزایش جمعیت بین سال‌های ۸۵-۱۳۷۵، تعداد ۵۸۲۱۹ نفر را مهاجران تشکیل می‌دهند. طبق برآوردهای موجود، روند افزایش جمعیت شهر گرگان طی سال‌های آتی ادامه یافته و با برآوردی واقع‌گرایانه به رقم ۳۴۱۸۵۸ نفر در سال ۱۴۰۰ خواهد رسید (حسام، ۱۳۸۹، ۱۰۸-۱۱۸). روشن است با افزایش این چنین جمعیتی، حجم وسیعی از تقاضای جدید برای زمین شهری شکل گیرد.

روش تحقیق

استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، همانند ابزاری توانمند و کارساز، به‌طور گسترده در بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین متداول است (Meaille & Wald, 1990, 449; Treitz & et al., 1992, 445; Yeh & Li, 1996, 81; Weng, 2002, 277).

در این پژوهش، آنالیزهای پردازش داده‌های ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات کاربری اراضی (Gupta & Jain, 2005, 1806; Banzhaf & Netzband, 2000, 2; عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۴۷)، در محدوده‌ی شهر گرگان، از راه فرایند ادغام باندهای TM سال ۱۹۹۱ ماهواره‌ی لندست با باندهای IRS-1D LISS III سال ۲۰۰۷ انجام شد. نقشه‌ی تغییرات کاربری و پوشش منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای ERDAS و ENVI که نرم‌افزارهای پردازش تصاویر ماهواره است و Arc GIS به‌عنوان نرم‌افزار سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، آماده شد. با استفاده از الگوریتم‌های مناسب از لحاظ هندسی و رادیومتریک، بازنگری‌های لازم انجام شد که حدود ۰/۳ پیکسل زمینی به‌دست آمد.

برای پی بردن به میزان تغییر انواع کاربری و پوشش زمین، به‌ویژه سکونتگاه‌ها و اراضی ساخته شده، از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد و برای این کار، کاربری‌ها در شش کلاس (کشاورزی، جنگل، جنگل دست‌کاشت، شهر، زمین خالی، کاربری‌های دیگر) طبقه‌بندی شدند. ویژگی این روش این است که آثار جوّی سنجنده و زیست‌محیطی بین تصاویر چندزمانه را به کمترین مقدار رسانده و یک ماتریس کامل از اطلاعات تغییر را فراهم می‌کند. در این پژوهش برای بررسی تغییر کاربری‌ها، ترکیبی از روش‌های تفریق تصاویر و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نیز تقسیم تصاویر و تحلیل مؤلفه‌های اصلی با رویکرد به مجموعه‌های فازی، استفاده شد تا نتایج دقیقی از آن به‌دست آید که فرآیند آن در مدل مفهومی (شکل شماره‌ی ۲) نشان داده شده است و درنهایت، نقشه‌ی تغییرات کاربری اراضی از ترکیب و عملیات روی هم‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی مختلف به‌دست آمد.

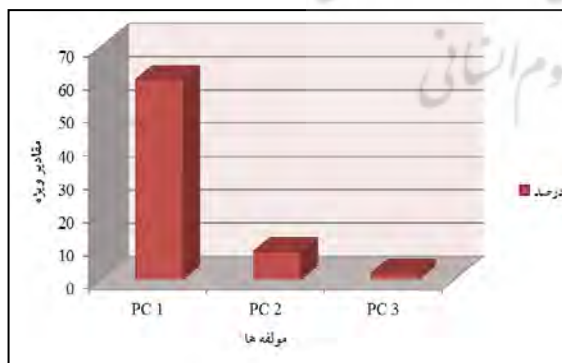


شکل ۲. مدل مفهومی بررسی تغییرات با رویکرد به مجموعه‌های فازی

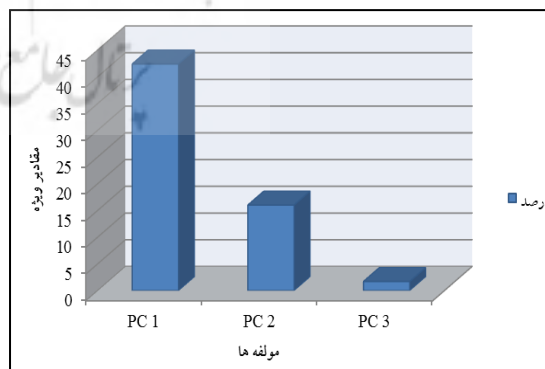
بحث و یافته‌ها

متداول‌ترین روش غیرپارامتری انجام تطابق هندسی، استفاده از نقاط کنترل زمینی است (Mobasheri, & Sadeghi- Naeini, 2008, 620; Moradi, 2008, 5; Naeini, 2008, 620; Moradi, 2008, 5; فرخی، ۱۳۷۵، ۳۲۹؛ رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۴۸) با استفاده از نرم‌افزار ERDAS عملیات بهبود کنتراست تصاویر انجام شده و با انتخاب ۲۶ نقطه‌ی کنترل، تصویر سال ۲۰۰۷ زمین مرجع شد؛ سپس از طریق تصویر به تصویر، تصویر سال ۱۹۹۱ با مبنا قرار دادن تصویر سال ۲۰۰۷ زمین مرجع شد. برای تبدیل مختصات تصویر از معادله‌های پلی‌نومیال درجه اول و روش درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه برای بازنویسی درجه‌های روشنایی پیکسل‌ها در تصاویر هم‌مختصات شده استفاده شد که RMSE^۱ حدود ۰/۳ پیکسل زمینی، به‌دست آمد. پیش از هم‌مختصات‌سازی تصاویر، تصحیحات اتمسفری هر دو تصویر با استفاده از روش ATCOR3 (Coppin & et al, 2004; Tan & et al, 2010, 718) انجام شد.

در اثر اعمال عملیات تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر کل داده‌های تصویر چندزمانه، با تفریق و تقسیم تصاویر، مؤلفه‌ها به‌دست می‌آیند که هر یک بخشی از تغییرات را نشان می‌دهند. در مراحل تحلیل مؤلفه‌های اصلی ماتریس وارینانس - کوواریانس، هم برای مناطقی که تغییرات داشته‌اند و هم مناطقی که بدون تغییر مانده‌اند محاسبه شدند. در شکل شماره‌ی ۳ و ۴ که مبین مقادیر ویژه در مؤلفه‌های حاصل از تصاویر تفریقی و تقسیمی است، دیده می‌شود که به‌ترتیب دو مؤلفه‌ی اول بیش از ۹۶ و ۹۷ درصد اطلاعات را دارند، به‌گونه‌ای که می‌تواند بیانگر وجود بیشتر اطلاعات باشد و مؤلفه‌ی دیگر، اطلاعات چندانی از تغییرات ارائه نمی‌دهد؛ بر اساس روابط آماری در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مؤلفه‌های اول در ارتباط با اطلاعاتی هستند که بیشترین وارینانس را دارند. طبق توضیحات مؤلفه‌های اول و دوم از تصاویر تفریق و تقسیم بیشترین اطلاعات تغییرات را نمایش می‌دهند.



شکل ۴. مقادیر ویژه در مؤلفه‌های حاصل از تصاویر تقسیم



شکل ۳. مقادیر ویژه در مؤلفه‌های حاصل از تصاویر تفریق

سپس با توجه به توابع عضویت فازی^۱، تغییرات تعیین می‌شود (Parra & et al, 1996, 1753; Hedge, 2003, 22). از آنجاکه تابع عضویت در تغییرات فازی اشکال متفاوتی دارد، از توابع پیچیده‌تر بر اساس دانش و اطلاعات موجود درباره‌ی انواع گوناگون تغییرات استفاده می‌شود (Jha & Unni, 2004, 2547; Gong, 1993, 24). تابع عضویت تغییرات می‌تواند مطابق رابطه‌ی شماره‌ی ۱ تعریف شود.

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x_i < Ls \\ (x_i - ave)/(Ls - ave) & \text{if } : Ls < Xi < ave \\ (x_i - ave)/(Hs - ave) & \text{if } : ave < xi < Hs \\ 1 & \text{if } : Hs < Xi \leq 255 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

ave و Ls, Hs: پارامترهایی که مطابق هیستوگرام مؤلفه‌ها تعریف می‌شوند.

$\mu(x_i)$: درجه (مقدار) عضویت پیکسل Xi در تغییرات (بین صفر و یک)

برای ترکیب اطلاعات موجود در مؤلفه‌های اول و دوم تصاویر تفریق و تقسیم، از قوانین و تئوری مجموعه‌های فازی استفاده شده است که در آن تعریف تابع عضویت ضروری است. تابع عضویت در تغییرات، در مؤلفه‌های اول و دوم با توجه به هیستوگرام تصاویر مؤلفه‌های اول و دوم تعیین شد. از آنجاکه اطلاعات تغییرات در مؤلفه‌های حاصل، در دنباله‌ی هیستوگرام قرار دارند، تابع عضویت در تغییراتی بیشتر می‌شود که شکل مثلثی وارونه برای تعیین و تعریف تابع عضویت فازی مناسب باشد که در آن، اعداد تابع یاد شده با توجه به ارزش‌های حداقل، حداکثر و میانگین هیستوگرام مؤلفه‌های مربوط به تصاویر تفریقی و تقسیمی، تابع عضویت تغییرات است که طبق هیستوگرام تصاویر مؤلفه‌های تفریق و تقسیم تعیین شدند.

$$\mu_{(xi)} = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_i \leq 97 \\ (x_i - 127)/(97 - 127) & 97 \leq x_i \leq 127 \\ (x_i - 127)/(165 - 127) & 127 \leq x_i \leq 165 \\ 1 & 165 \leq x_i \leq 225 \end{cases} \quad \text{مؤلفه‌ی اول تفریق}$$

$$\mu_{(xi)} = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_i \leq 115 \\ (x_i - 130)/(115 - 130) & 115 \leq x_i \leq 130 \\ (x_i - 130)/(145 - 130) & 130 \leq x_i \leq 145 \\ 1 & 145 \leq x_i \leq 225 \end{cases} \quad \text{مؤلفه‌ی دوم تفریق}$$

اعداد ۹۷ و ۱۱۵ بیانگر حداقل، ۱۲۷ و ۱۳۰ بیانگر میانگین و ۱۴۵ و ۱۶۵ حداکثر مقدار تابع عضویت در تغییرات با توجه به آستانه‌ی انتخاب شده است. به همین ترتیب، تابع عضویت فازی در تغییرات با توجه به هیستوگرام مؤلفه‌های مربوط به تصاویر تقسیم شده، به گونه‌ی زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_{(xi)} = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_i \leq 73 \\ (x_i - 132)/(73 - 132) & 73 \leq x_i \leq 132 \\ (x_i - 132)/(188 - 132) & 132 \leq x_i \leq 188 \\ 1 & 188 \leq x_i \leq 225 \end{cases} \quad \text{مؤلفه‌ی اول تقسیم}$$

$$\mu_{(xi)} = \begin{cases} 1 & 0 \leq x_i \leq 100 \\ (x_i - 132)/(100 - 132) & 106 \leq x_i \leq 132 \\ (x_i - 132)/(156 - 132) & 132 \leq x_i \leq 156 \\ 1 & 156 \leq x_i \leq 225 \end{cases} \quad \text{مؤلفه‌ی دوم تقسیم}$$

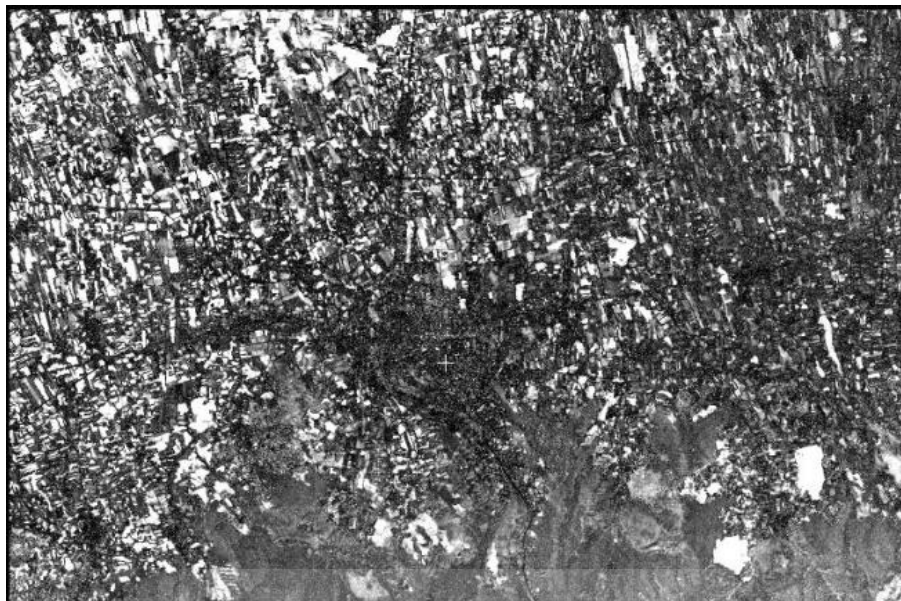
بعد از تعیین مقدار عضویت در تغییرات، لایه‌های عضویت در تغییرات^۱ ایجاد می‌شوند که از ترکیب چند مؤلفه‌ی اول به‌وجود می‌آیند (رابطه‌ی شماره‌ی ۲)؛ این‌گونه که تصاویر عضویت مربوط به تغییرات در دو مؤلفه‌ی اول حاصل از مرحله‌ی پیش، برای نمایش تغییرات در یک تصویر با توجه به قوانین ترکیب در مجموعه‌های فازی استفاده شد که نشان‌دهنده‌ی مقدار ترکیب شده عضویت در تغییرات هستند و تصویر حاصله را به اصطلاح، ترکیب‌شده‌ی تصاویر عضویت^۲ می‌گویند (شکل‌های شماره‌ی ۵ و ۶).

$$CM_{i,j} = [\mu_i(X_i) | i=1,2] \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$



شکل ۵. نقشه‌ی تغییرات حاصل از ترکیب تصاویر عضویت مؤلفه‌های اصلی تصاویر تفریق

1. Change Membership
2. Fuzzy Combined Change Membership Image



شکل ۶. نقشه‌ی تغییرات حاصل از ترکیب تصاویر عضویت مؤلفه‌های اصلی تصاویر تقسیم

از آنجا که قوانین عضویت ریاضیات کلاسیک تنها در مورد گزاره‌هایی که ارزش درستی آنها صفر یا یک است، به کار می‌رود و در مورد گزاره‌هایی که ارزش درستی یا نادرستی آنها مقداری بین صفر و یک دارد، صدق نمی‌کند (Wang, 1990, 196; Hedge, 2003, 22-25; Hansen, 2003, 2) بنابراین در این موارد می‌توان از قوانین ترکیب مجموعه‌های فازی کمک گرفت که بعضی از این قوانین عبارت‌اند از (رابطه‌ی شماره‌ی ۳ و ۴):

$$\mu_C = \text{Min}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \text{ AND} \quad \text{۱- عملکرد فازی} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

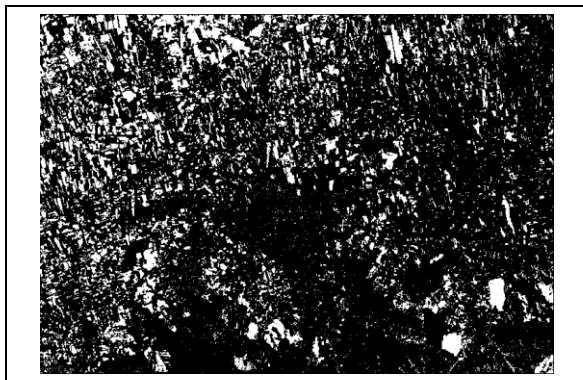
$$\mu_C = \text{Mix}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \text{ OR} \quad \text{۲- عملکرد فازی} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

μ_A : مقدار عضویت برای نقشه یا تصویر A

μ_B : مقدار عضویت برای نقشه یا تصویر B

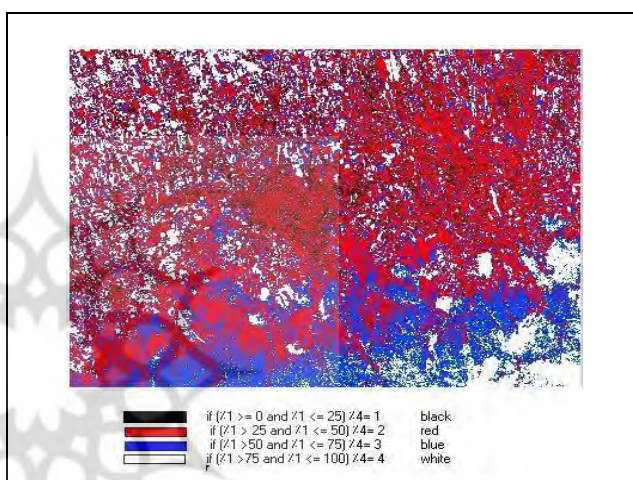
در این پژوهش، تبدیل اطلاعات تغییرات به تصاویر عضویت، در تغییراتی که مقادیر عددی بین صفر و یک را دارند از قوانین ترکیب AND استفاده شد.

شکل‌های شماره‌ی ۷ و ۸ به ترتیب نقشه‌ی تغییرات حاصل از اجرای PCA بر تصاویر تفریق و تقسیم باندها را نشان می‌دهد که در آنها دامنه‌ی درجه‌های روشنایی پیکسل‌ها بین صفر و یک متغیر است. مقادیر صفر و نزدیک به آن مربوط به نقاطی است که تغییرات نداشته یا کمترین تغییرات را دارند و مقادیر نزدیک به یک مربوط به نقاطی است که بیشترین تغییرات را داشته است.



شکل ۷. نقشه‌ی تغییرات حاصل از ترکیب روش‌های تفریق و تقسیم و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

شکل ۸. نقشه‌ی تغییرات نهایی با اعمال ماسک بر شکل (۵) و شکل (۶) با قوانین ترکیب AND فازی



شکل شماره‌ی ۸، نقشه‌ی تغییرات به‌دست آمده از ترکیب اطلاعات تغییرات حاصل از دو مؤلفه‌ی اول تصاویر تفریق و تقسیم را نشان می‌دهد. علت ترکیب دو مؤلفه، استفاده از اطلاعات غیرمشترکی است که از بررسی و مقایسه‌ی هیستوگرام توزیع درجه‌های روشنایی و بررسی همبستگی باندهای نظیر به نظیر روش‌های تفریق با تقسیم و تحلیل مؤلفه‌های اصلی به‌دست آمده است. استفاده از این اطلاعات غیرمشترک، می‌تواند به بازسازی اطلاعات تغییرات بیشتر کمک کند. برای نمایش بهتر اطلاعات تغییرات حاصله در این شکل، چهار دامنه (۰-۲۵) و (۲۵-۵۰) و (۵۰-۷۵) و (۷۵-۱۰۰) در چهار رنگ، به‌ترتیب شامل سیاه، قرمز، آبی و سفید نشان داده شده است. در این شکل بیشترین تغییرات در شمال و شمال شرق در زمین‌های هموار و دشت شهر گرگان مربوط به زمین‌های کشاورزی و در جنوب شهر مربوط به تغییرات کاربردی جنگل است.

در این پژوهش برای اطلاع از انواع پوشش و شیوه‌ی استفاده از زمین به‌عنوان پایه، از طبقه‌بندی نگاشت زاویه‌ی طیفی (SAM)^۱ استفاده شد. این روش، برخلاف روش طبقه‌بندی (MLC)^۲ - که بر اساس مدل توزیع نرمال احتمال درجه‌های روشنایی کلاس‌ها عمل می‌کند - بر اساس زاویه‌ی بین مؤلفه‌ها یا اعضای طیفی طبقه‌بندی می‌کند و زاویه‌ی

1. Spectral Angle Mapper
2. Maximum Likelihood Classification

تک تک پیکسل‌ها، نسبت به موقعیت پیکسل‌های نمونه‌های آموزشی مورد نظر، سنجیده می‌شود (رابطه‌ی ۵).

$$\cos\theta = \frac{\sum_i r_i p_i}{\sqrt{\sum_i r_i^2 \sum_i p_i^2}} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

= زاویه‌ی بین عضو طیفی مرجع و عضو طیفی مورد نظر

r = ارزش طیفی مرجع

p = ارزش طیفی پیکسل (Richards, 1993, 315; Lillesand & Kiefer, 1994, 750; Jensen, 1996,)

(283; Foody, 2001).

طبقه‌بندی نگاشت زاویه‌ی طیفی، تشابه طیف‌ها را ارزیابی می‌کند تا اثر سایه را کاهش دهد. سپس به طیف تصویر، یک ضریب همبستگی بین صفر و یک اختصاص می‌یابد و با یک کتابخانه‌ی طیفی یا عضو آخر مقایسه می‌شود. با استفاده از طبقه‌بندی نگاشت زاویه، داده‌ها به بازتابش ظاهری تبدیل می‌شوند که با به‌دست آوردن ضرایبی که بر اساس شرایط نوردهی و پدیده‌ها تعریف می‌شوند، می‌توان آن را قابلیت بازتاب صحیح دانست (پورنگیسر و همکاران، ۱۳۸۹، ۷۶). از آنجاکه نقشه‌ی تغییرات به‌دست آمده، در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها دربارہی انجام پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، لازم است که صحت و دقت نقشه‌ی تغییرات تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه مورد ارزیابی قرار گیرد (Lu & et al, 2004, 2391؛ علوی‌پناه، ۱۳۸۵، ۳۵۴)، بنابراین اعتماد به صحت و دقت اطلاعات کسب شده، نقش مهمی در کاربردهای آن دارد. برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌ی تغییرات حاصل از تصاویر در دو سال گفته شده از منطقه‌ی مورد مطالعه، نمونه‌های تغییرات و عدم تغییرات استخراج و ارزیابی دقت انجام شد (جدول شماره‌ی ۱ و ۲). از انجام پردازش‌های یاد شده از شش لایه‌ی کاربری اراضی، شامل جنگل، کشاورزی، اراضی شهری و ساخته شده، کاربری‌های دیگر، اراضی بایر و جنگل‌های دست‌کاشت، ضریب کاپا ۰/۸۶۹ به‌دست آمد.

جدول ۱. ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر TM سال ۱۹۹۱

کلاس‌ها	شهر	کشاورزی	جنگل دست‌کاشت	جنگل	زمین خالی	کاربری‌های دیگر	کل	صحت کاربر
شهر	۲۹	۱۱	۳	۲	۱	-	۴۶	۶۳/۰۴
کشاورزی	۳	۱۲۶	-	۱۲	۳	-	۱۴۴	۸۷/۵۰
جنگل دست‌کاشت	-	-	۳۲	۸	-	-	۴۰	۸۰
جنگل	۱۰	۵	-	۵۲۰	-	-	۵۴۵	۹۷/۲۵
زمین خالی	۶	-	-	-	۱۸	-	۲۴	۷۵
کاربری‌های دیگر	-	-	-	-	-	۵۶	۵۶	۱۰۰
کل	۴۸	۱۴۲	۳۵	۵۵۲	۲۲	۵۶	۸۵۵	-
صحت تولیدکننده	۶۰/۶۱	۸۸/۷۳	۹۱/۴۲	۹۶/۰۱	۸۱/۸۱	۱۰۰	-	-

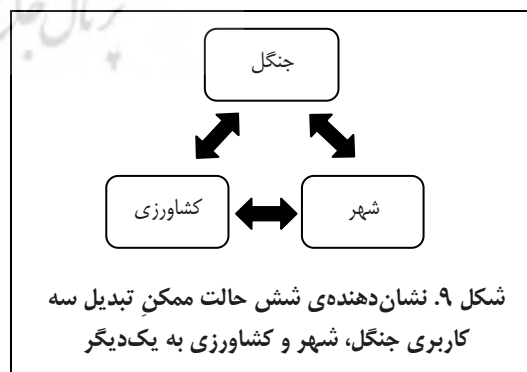
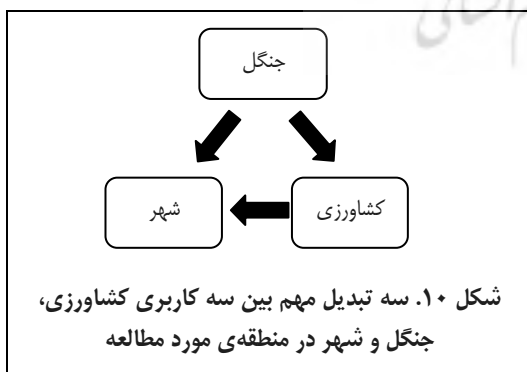
منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹

جدول ۲. ماتریس خطای طبقه‌بندی تصویر IRS-1D سال ۲۰۰۷

کلاس‌ها	شهر	کشاورزی	جنگل دست‌کاشت	جنگل	زمین خالی	کاربری‌های دیگر	کل	صحت کاربر
شهر	۱۴۰	-	۴	۱۲	۴	-	۱۶۰	۸۸
کشاورزی	۲۴	۲۱۰	۶	-	-	-	۲۴۰	۸۸
جنگل دست‌کاشت	۲	-	۳۴	۴	-	-	۴۰	۸۵
جنگل	-	-	۱۰	۱۹۰	-	-	۲۰۰	۹۵
زمین خالی	-	-	-	۱۰	۷۰	-	۸۰	۸۸
کاربری‌های دیگر	۳	-	۳	۶	۳	۱۰۵	۱۲۰	۸۸
کل	۱۶۹	۲۱۰	۵۷	۲۲۲	۷۷	۱۰۵	۸۴۰	-
صحت تولیدکننده	۸۳	۱۰۰	۶۰	۸۶	۹۱	۱۰۰	-	-

منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹

با توجه به این که نوع کاربری و پوشش اراضی در یک منطقه در حال تحول و تبدیل است، بنابراین با توجه به ثبات تقریبی مساحت کل کاربری‌ها، کاهش یا افزایش مساحت در یکی از کاربری‌ها، منجر به افزایش یا کاهش در کاربری‌های دیگر خواهد شد. انواع تبدیل‌های ممکنه میان سه کاربری مهم مورد بررسی در منطقه‌ی مورد مطالعه (جنگل، کشاورزی و شهر) در شکل شماره ۹ نشان داده شده است که شامل حالت مختلف تبدیل جنگل به شهر، جنگل به کشاورزی، کشاورزی به شهر، کشاورزی به جنگل، شهر به کشاورزی و شهر به جنگل هستند. به‌هرحال، در عمل، برخی از این تبدیل‌ها مانند تبدیل کاربری شهر به کشاورزی یا کاربری شهر به جنگل کمتر اتفاق می‌افتد، بنابراین با توجه به اهداف موجود در این پژوهش، سه حالت غالب و مهم در تبدیل و انتقالات میان کاربری‌ها که بسیار معمول بوده و از نظر زیست‌محیطی نیز نگران‌کننده هستند و نیاز به بررسی دارند، شامل تبدیل جنگل به شهر، جنگل به کشاورزی و کشاورزی به شهر مطابق شکل شماره ۱۰ مورد بررسی قرار گرفتند.



جدول شماره ۳، جدول تقاطعی است که از روی هم‌انداختن دو نقشه‌ی طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۱۹۹۱ و ۲۰۰۷ با استفاده از عملگر Crosstab به‌دست آمده است. این عملگر، تکثیر رخ دادن تمام ترکیب‌های ممکن حاصل از دو نقشه را به‌صورت جدول دوبعدی نمایش می‌دهد.

کاربری جنگل از سطح ۲۰۶۴/۰۲ هکتار، مقدار ۲۱۶/۵۴ هکتار به کاربری کشاورزی و ۴۹/۸۲ هکتار به شهر تبدیل شده، همچنین از سطح ۶۴۱۴/۳۱ هکتار کاربری کشاورزی مقدار ۷۲۵/۳۴ هکتار به کاربری شهری تغییر یافته است.

جدول ۳. مقایسه‌ی تصاویر پس از طبقه‌بندی در سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۰۷

جمع کل به هکتار	جنگل دست‌کاشت	زمین خالی	شهر	کشاورزی	جنگل	کاربری‌های دیگر	۱۹۹۱
							۲۰۰۷
۸۶۹۴.۵	۰/۷۸	۸/۱۲	۰	۴/۳۱	۰/۶۲	۸۶۸۰/۶۷	کاربری‌های دیگر
۲۰۶۴.۰۲	۰	۵/۰۶	۱/۰۶	۵/۳۵	۲۰۵۱/۹۷	۰/۵۸	جنگل
۶۴۱۴.۳۱	۹/۸۴	۱۷۳۵/۱۶	۰	۲۶۵۰/۰۲	۲۱۶/۵۴	۲/۷۵	کشاورزی
۴۷۳۳.۲۴	۱۰/۶۸	۲۱۲۳/۴۸	۱۸۱۲/۲۵	۷۲۵/۳۴	۴۹/۸۲	۱۱/۶۷	شهر
۱۹۰۲.۰۷	۰	۸۴۴/۸۹	۰	۵۸۱/۶۷	۴۷۳/۱۴	۲/۳۷	زمین خالی
۱۳۱.۵۳	۲۴/۶۴	۶۳/۸۱	۰/۷۲	۸/۳۶	۳۲/۱۶	۱/۸۴	جنگل دست‌کاشت
۲۲۱۳۹.۶۷	۴۵/۹۴	۴۷۸۰/۵۲	۱۸۱۴/۰۳	۳۹۷۵/۰۵	۲۸۲۴/۲۵	۸۶۹۹/۸۸	جمع کل به هکتار

منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹

با توجه به محاسبه‌ی میانگین فاصله از کاربری شهر به عنوان معیاری برای ارزیابی روند تغییرات کاربری‌های کشاورزی و جنگلی در دوره‌ی زمانی (۱۹۹۱-۲۰۰۷)، منطقه‌ی مورد مطالعه در شش کلاس طبقه‌بندی شد که نتایج آن در شکل‌های شماره‌ی ۱۱ تا ۱۳ نشان داده شده است.

مقایسه‌ی جدول شماره‌ی ۴، نشان می‌دهد که در کلاس یک، کاربری کشاورزی کوچک‌ترین اندازه، یعنی ۱۱۲/۶۴ واحد پیکسل معادل ۵۴/۳۵ درصد تغییرات است. کلاس ششم با بزرگ‌ترین اندازه، معادل ۷/۲۱ درصد تغییر بوده است. همچنین در کاربری جنگلی کوچک‌ترین اندازه ۶۲/۱۹ واحد پیکسل معادل ۹۳/۲۲ درصد تغییرات و بزرگ‌ترین اندازه ۲۸۴۲/۱۷ واحد پیکسل معادل ۹/۳۴ درصد تغییرات بوده است که از نظر مکانی بیشتر این تغییرات در بخش جنوبی شهر گرگان رخ داده است.

نتیجه‌ی بررسی رابطه بین تبدیل کاربری‌های کشاورزی، جنگلی و فاصله از شهر با توجه به جدول شماره‌ی ۵ در کلاس‌های مختلف نشان می‌دهد که در فاصله‌ی متوسط ۴۲۴/۳۶ متری از شهر، مقدار تبدیل کاربری کشاورزی ۱۹۴۷ واحد پیکسل و کاربری جنگلی ۴۵۰۸ واحد پیکسل در کلاس یک بوده است و به همین ترتیب در کلاس دو برابر ۱۵۶۷ و ۲۷۶۱ واحد پیکسل است که روند کاهشی مشاهده می‌شود. همچنین مقدار همبستگی از ارزیابی فاصله و میزان تغییر کاربری‌های کشاورزی و جنگلی به ضریب تبیین ۰/۹۳ و ۰/۸۲ رابطه‌ی معناداری را بین این دو متغیر نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقدار درصد تبدیل اراضی کشاورزی و جنگلی با اندازه‌ی قطعات

کلاس‌ها	اندازه‌ی کاربری کشاورزی	درصد تغییرات کشاورزی	اندازه‌ی کاربری جنگلی	درصد تغییرات جنگلی
۱	۱۱۲/۶۴	۵۴/۳۵	۶۲/۱۹	۹۳/۲۲
۲	۶۲۴/۰۹	۴۸/۸۲	۳۲۶/۴۱	۸۵/۳۶
۳	۱۳۳۸/۷۶	۴۱/۱۸	۷۶۴/۷۴	۴۰/۱۴
۴	۲۹۰۷/۴۳	۳۶/۹۷	۹۵۲/۴۹	۳۴/۰۸
۵	۴۷۸۱/۵۱	۲۷/۴۸	۱۳۲۶/۰۵	۳۰/۸۹
۶	۸۸۶۱/۶۵	۷/۲۱	۲۸۴۲/۱۷	۹/۳۴

منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹

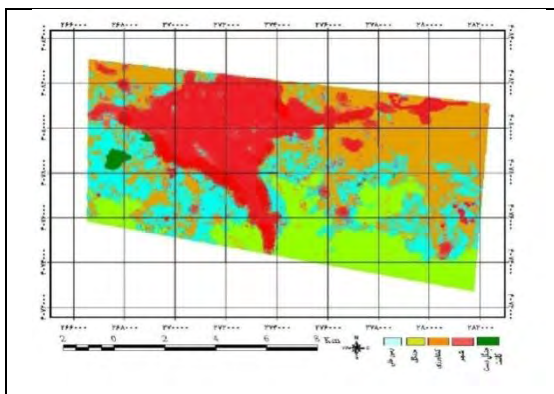
جدول ۵. مقدار تغییر کاربری‌های کشاورزی، جنگلی و فاصله از کاربری شهر

کلاس‌ها	فاصله از کاربری شهر	تغییر کاربری کشاورزی	تغییر کاربری جنگلی
۱	۴۲۴/۳۶	۱۹۴۷	۴۵۰۸
۲	۱۳۹۲/۱۸	۱۵۶۷	۲۷۶۱
۳	۲۳۰۹/۶۵	۸۳۷	۱۳۴۳
۴	۲۸۳۶/۸۳	۷۵۹	۸۷۳
۵	۳۰۱۹/۷۶	۵۱۶	۷۰۹
۶	۴۳۵۱/۴۰	۱۲	۱۴

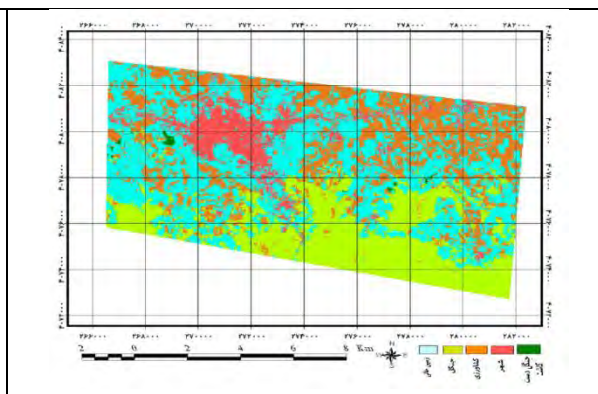
منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹

بررسی یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل کاربری‌ها با استفاده از توابع مجاورت، اندازه‌ی کاربری و فاصله از شهر نشان داد که میزان تخریب و تبدیل اراضی کشاورزی و جنگل بر اساس نزدیکی به سکونتگاه‌ها و اراضی ساخته شده، افزایش می‌یابد و با فاصله گرفتن از سکونتگاه‌ها و اراضی ساخته شده، از میزان این تبدیل‌ها کاسته می‌شود. همچنین تغییرات کاربری کشاورزی و جنگلی برحسب اندازه‌ی قطعات، مؤید تغییر بیشتر در اندازه‌ی قطعات کوچک است (شکل‌های شماره‌ی ۱۴ و ۱۵).

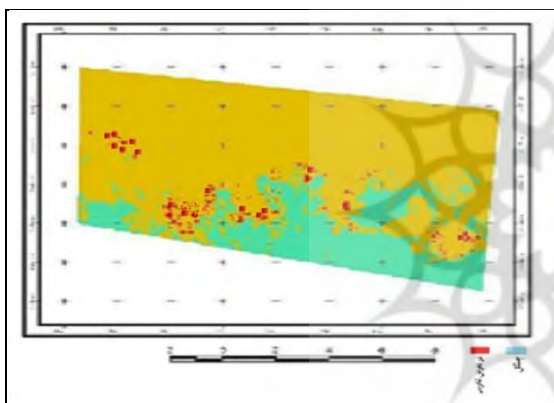
بر اساس یافته‌های حاصل از تحلیل مجموعه‌های فازی در صورت ثابت بودن شرایط دیگر و ادامه‌ی روند کنونی، سهم انتقال بین کاربری‌های شهر، کشاورزی و جنگل برای سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۷ و ۲۰۲۰ به ترتیب (۱۸/۷، ۳۹، ۴۲/۳) و (۳۳/۷، ۳۴/۹، ۳۶/۲) و (۳۷/۳، ۲۹/۴ و ۲۸/۸) محاسبه شد که نشان‌دهنده‌ی افزایش سطح شهر و کاهش سطح کاربری‌های کشاورزی و جنگل طی دوره‌های آینده به ترتیب به میزان ۵/۱ و ۳/۶ است (شکل شماره‌ی ۱۶).



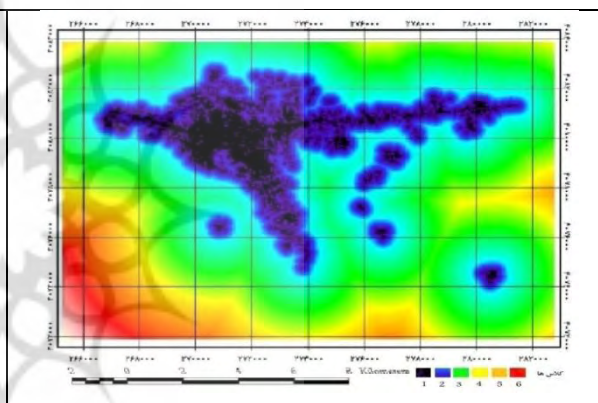
شکل ۱۲. نقشه‌ی کاربری طبقه‌بندی شده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه (سال ۲۰۰۷)



شکل ۱۱. نقشه‌ی کاربری طبقه‌بندی شده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه (سال ۱۹۹۱)

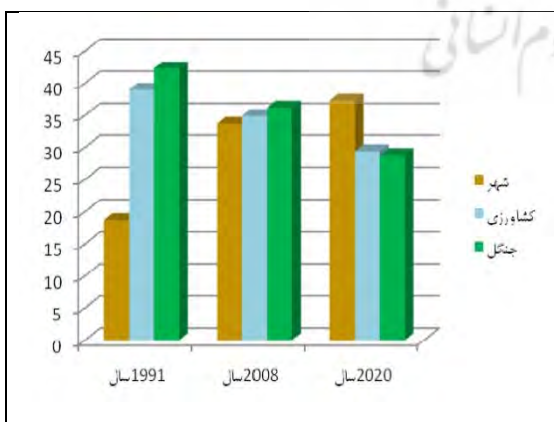


شکل ۱۴. مناطق جنگلی مهم از نظر خطر تبدیل به شهر تا سال ۲۰۲۰

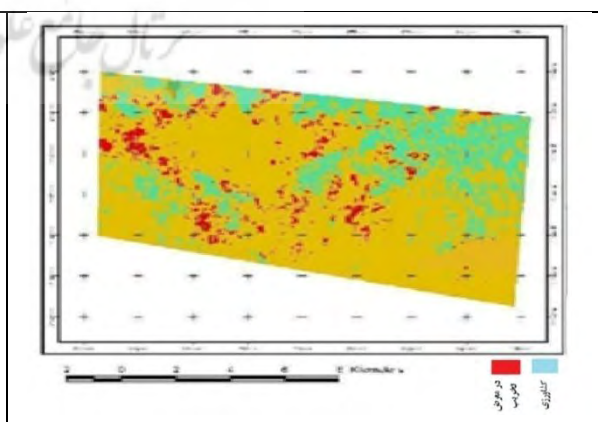


شکل ۱۳. لایه‌ی نشان‌دهنده‌ی فاصله از شهر گرگان در شش کلاس

منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۱۶. مقایسه‌ی روند درصد مساحت مناطق جنگلی، کشاورزی و شهر در سه دوره‌ی زمانی



شکل ۱۵. مناطق کشاورزی مهم از نظر خطر تبدیل به شهر تا سال ۲۰۲۰

منبع: نگارندگان، ۱۳۸۹

رشد شهری در کنار رشد جمعیتی که بیشتر ماهیت روستایی دارد، موجب شده که توسعه‌ی مناطق کشاورزی و جنگلی به سوی شهری شدن پیش‌روی کند. همچنین، وجود مناطق شهری در اطراف منطقه و نزدیکی منطقه به مراکز تجاری از عوامل دیگر مؤثر بر توسعه‌ی شهری گرگان در دوره‌ی زمانی مورد بررسی بوده است. با توجه به وجود زمین‌های مرغوب کشاورزی، منابع و چشم‌اندازهای جنگلی زیبا، روند تبدیل کاربری‌های کشاورزی و جنگلی در اطراف مرکز استان، به هیچ روی در راستای شاخص‌های توسعه‌ی پایدار شهری نیست.

با توجه به سناریوی تاریخی و سناریوی شهر فشرده، مساحت شهر گرگان تا سال ۲۰۲۰، به ترتیب ۵۱/۳۵ هکتار و ۴۳/۷۹ هکتار افزایش را نشان خواهد داد؛ اما به علت خطی نبودن عوامل ناشی از رشد و تمرکز جمعیت در توسعه‌ی مناطق شهری، ارقام واقعی آمار مربوط به تبدیل اراضی کشاورزی و جنگلی به اراضی ساخته شده در سال‌های آینده به مراتب بیش از ارقام برآوردی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

با فراگیر شدن آثار گسترش افقی شهرها، مفهوم اسپرال^۱، در بیشتر کشورهای جهان با ماهیت شاخص‌ها و نتایج مختلفی به کار برده می‌شود. افزایش زمین‌های بایر، افزایش سهم فضاهای باز، کاهش تراکم جمعیت، گسستگی بخش‌های شهری و جدایی‌گزینی اجتماعی، از جمله نتایجی است که گسترش افقی شهرها به همراه داشت. در مورد گسترش افقی شهر گرگان می‌توان به عواملی از جمله، کاربری نظامی اشاره کرد، به گونه‌ای که وسعت این کاربری در سال ۱۳۵۵، در حدود ۲۸۴۵۰۰ مترمربع بوده و در سال ۱۳۸۵ به ۴۱۹۵۲۳/۶ مترمربع افزایش یافته است. از موارد دیگر گسترش افقی شهر گرگان، راهکارهای واگذاری زمین و مسکن در حاشیه‌ی جنوبی شهر بعد از انقلاب اسلامی و ابهام در قوانین و مقررات شهری است؛ به گونه‌ای که براساس مصوباتی که در کمیسیون ماده‌ی پنج، درباره‌ی شهر گرگان از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ به دست آمده است، بیش از ۴۵۵ هکتار از اراضی شهر با توجه به این مصوبات، تغییرات ساختاری یافته که بیشتر آن در نیمه‌ی جنوبی و نزدیک به مناطق جنگلی روی داده است، همچنین می‌توان به مدیریت نادرست مسئولان در پروژه‌های توریستی در ناهارخوران، مهاجرت بی‌رویه، بالا بودن سرانه‌ی کاربری‌های غیر ضروری شهری، مانند زمین‌های بایر و ادغام روستا و آبادی‌ها در گسترش افقی شهر گرگان اشاره کرد.

استفاده از روش‌های بارزسازی تغییرات به کمک تصاویر ماهواره‌ای، توابع تحلیلی فاصله، اندازه‌ی قطعات کاربری و مجموعه‌های فازی در محیط GIS، برای بررسی و تعیین روند و الگوی تغییرات مهم و معنادار کاربری‌ها، مانند جنگل‌زدایی و تبدیل زمین‌های کشاورزی به عوارض انسان‌ساخت بسیار مفید است. این روش‌ها در نظارت و مدیریت توسعه‌ی شهرها اهمیتی همه‌جانبه دارد و در اتخاذ تدابیر و تعیین راهکارهای اصولی آمایش سرزمین و استفاده‌ی اصولی از قابلیت‌های اراضی، می‌تواند نقش پایه‌ای داشته باشد.

این مطالعه، نقطه‌ی آغاز برای انجام مطالعات گسترده در این زمینه شمرده می‌شود و با ترکیب عوامل دیگر و متغیرهای کارساز در تغییر کاربری، از جمله متغیرهای اقتصادی - اجتماعی و ویژگی‌های دیگر مکانی، می‌توان مدل‌هایی با کارایی بالاتری را توسعه داد.

در پایان می‌توان پیشنهادهایی را برای گسترش منطقی و برنامه‌ریزی شده شهر گرگان ارائه کرد:

- از آنجاکه شهر گرگان به‌عنوان مرکز استان با داشتن جاذبه‌های اجتماعی، توریستی، اقتصادی و صنعتی در منطقه مطرح است، برای توسعه‌ی برنامه‌ریزی شده و سامانمند شهر، تدوین برنامه‌ی نظارتی بر کلیه‌ی اقدامات در زمینه‌ی بهره‌برداری از جنگل و ساخت‌وساز در آن، به‌ویژه در منطقه‌ی سیاحتی و تفریحی ناهارخوران، ضرورت اساسی دارد و برنامه‌ریزی استفاده از اراضی متناسب با قابلیت آنها باید مورد توجه قرار گیرد. برای جلوگیری از روند تخریب اراضی کشاورزی و مناطق جنگلی محدوده‌ی شهرها که قابلیت مناسبی از نظر فرآوری محصولات کشاورزی، تولید چوب، تفریح و تفرج هستند، پیشنهاد می‌شود تا اقدامات نظارتی مربوط به پروژه‌های توسعه‌ی شهری و سکونتگاه‌ها براساس برنامه‌ریزی‌های سازگار و دقیق انجام گیرد.

- برای ارائه‌ی الگوی بهینه برای توسعه‌ی کالبدی شهر و به حداقل رساندن آثار نامطلوب زیست‌محیطی در اثر دخالت‌های انسان، لازم است تا در مطالعات آینده، افزون بر عوامل زمینی چون شیب، قابلیت اراضی، فاصله از خطوط و شبکه‌های ارتباطی و گسل بر عوامل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی نیز توجه شود.

منابع

- Alavipanah, S.K., 2007, **Application of Remote Sensing in the Earth Sciences: Soil**, University of Tehran Press, Tehran. *(In Persian)*
- Ayala-Silva, T., Gordon, G. and Heath, R., 2009, **Use of Satellite Data to Study the Impact of Land-Cover/Land-Use Change in Madison County Alabama**, American Journal of Applied Sciences, Vol. 6, No. 4, PP. 656-660.
- Azizi, Z., Najafi, A., Fatehi, P. and Pirehbavaghar, M., 2010, **Survey Estimation of Standing Volume of Forests Using Data from Sensors LISS IV Satellite IRS P6 (Case Study: LiraSar Tonekabon)**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, Vol. 18, No. 1, PP. 143-151. *(In Persian)*
- Banzhaf, E. and Netzband, M., 2000, **Analysis and Evaluation of Nature Space Potential in Peri-Urban Spaces Using Remote Sensing Data and GIS**, ISPRS, Vol. 33, Amsterdam.
- Bhatta, B., Saraswati, S. and Bandyopadhyay, D., 2010, **Quantifying the Degree-of-freedom, Degree-of-sprawl, and Degree-of-goodness of Urban Growth from Remote Sensing Data**, Applied Geography, Vol. 30, No. 1, PP. 96-111.
- Bhatta, B., Saraswati, S. and Bandyopadhyay, D., 2010, **Urban Sprawl Measurement from Remote Sensing Data**, Applied Geography, Vol. 30, No. 4, PP. 731° 740.
- Borengasser, M., Hungate, W.S. and Watkins, R.L., 2010, **Hyperspectral Remote Sensing Principles and Applications**, Translated by: Alavipanah, S. K., Minaei, M. and Nasiri, H., Noorbakhsh Publication, Tehran. *(In Persian)*

- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. and Lambin, E., 2004, **Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring**, a Review, International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 9, PP. 1565-1596.
- Department of Agriculture, 1991, **Guideline of Land-use Maps Preparation Using Interpretation of Satellite Data**, First Edition, Tehran. (*In Persian*)
- Dewan, A. M., and Yamaguchi, Y., 2009, **Land Use and Land Cover Change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing to Promote Sustainable Urbanization**, Applied Geography, Vol. 29, No. 3, PP. 390-401.
- Diaz-Caravantes, R. E. and Sanchez-Flores, E., 2011, **Water Transfer Effects on Peri-urban Land Use/Land Cover: A case Study in a Semi-arid Region of Mexico**, Applied Geography, Vol. 31, No. 2, PP. 413-425.
- Ebrahimzadeh, I. and Mojir-Ardakani, A.R., 2006, **Urban Land Use Evaluation in Ardakan-Fars**, Geography and Development Iranian Journal, Vol. 4, No. 7, PP. 43-68. (*In Persian*)
- El-Kawy, A. O. R., Rød, J. K., Ismail, H. A. and Suliman, A.S., 2011, **Land Use and Land Cover Change Detection in the Western Nile Delta of Egypt Using Remote Sensing Data**, Applied Geography, Vol. 31, No. 2, PP. 483-494.
- Firouzabadi, P. Z. and Ghanavati, E., 2007, **Digital Approaches for Change Detection in Urban Environment**, Journal of Geographical Research, Vol. 21, No. 1, PP. 132-145.
- Foody, G. M., 2001, **Monitoring the Magnitude of Land-cover Change Around the Southern Limits of the Sahara**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 67, No. 7, PP. 841° 847.
- Force Arm Geography Organization, 2009, **Map Topography: Scale 1:50000 and Image Satellite**, Tehran. (*In Persian*)
- Gandaseca, S., Sabang, J., Ahmed, O. H. and Majid, N. M. A., 2009, **Vegetation Assessment of Peat Swamp Forest Using Remote Sensing**, American Journal of Agricultural and Biological Sciences, Vol. 4, No. 2, PP. 167-172.
- Gong, P., 1993, **Change Detection Using Principal Component Analysis and Fuzzy Set Theory**, Canadian, Journal Remote Sensing, Vol. 19, No. 1, PP. 22-29.
- Gupta, K. and Jain, S., 2005, **Enhanced Capabilities of IRS P6 LISS IV Sensor for Urban Mapping**, Current Science, Vol. 89, No. 11, PP. 1805-1812
- Hansen, H. S., 2003, **A Fuzzy Logic Approach to Urban Land-use Mapping**, URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.100.9030>.
- Hedge, S., 2003, **Modeling Land Cover Change: A Fuzzy Approach**, Thesis M.S in Geoinformatics, International Institute Geo-information Science and Earth Observation Enschede, Netherlands.
- Hesam, M., 2010, **Environmental Impacts Sprawl in the City of Gorgan**, Thesis of Master Degree, Tehran of University, Tehran. (*In Persian*)
- Hosseini, A., Shabanifard, M., Rashidi, M. and Saiydzade, M. R., 2010, **Distribution and Determining of Urban Sprawl in Kerman with Emphasis on Kariz Water System**, Physics International, Vol. 1, No.1, PP. 9-15.

- Hui-Mei, H.A.O. and Zhi-Yuan, R.E.N., 2009, **Land Use/Land Cover Change (LUCC) and Ecoenvironment Response to LUCC in Farming-Pastoral Zone**, China, *Agricultural Sciences in China*, Vol. 8, No. 1, PP. 91-97.
- Iran Statistical Center, 2007, **Golestan Province Statistic Books**, Iran. (*In Persian*)
- Jensen, J. R., 1996, **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, New Jersey.
- Jha, C.S. and Unni, N.V.M., 1994, **Digital Change Detection of Forest Conversion of a Dry Tropical Indian Forest Region**, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, No. 13, PP. 2543-2552.
- Kelarestaghi, A., Ahmadi, H. and Jafari, M., 2006, **Land Use Changes Detection and Spatial Distribution Using Digital and Satellite Data, Case Study: Farim Drainage Basin**, Northern of Iran, *Biaban (Desert Journal)*, Vol. 11, No. 2, PP. 33-47.
- Lillesand, T. M. and Kiefer, R. W., 1994, **Remote Sensing and Image Interpretation**, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E., 2004, **Change Detection Techniques**, *INT. J. Remote Sensing*, Vol. 25, No. 12, PP. 2365-2407.
- Mallinis, G., Emmanoloudis, D., Giannakopoulos, V. and Maris, F., 2011, **Mapping and Interpreting Historical Land Cover/Land Use Changes in a Natura 2000 Site Using Earth Observational Data: The Case of Nestos Delta**, Greece, *Applied Geography*, Vol. 31, No. 1, PP. 312-320.
- Meaille, R. and Wald, L., 1990, **Using Geographic Information System and Satellite Imagery Within a Numerical Simulation of Regional Urban Growth**, *International Journal of Geographic Information Systems*, Vol. 4, PP. 445-456.
- Mirali Katuoli, J., 2002, **The Process of Supply and its Role in Iran Urban Development Case: Gorgan**, Tarbiat Modares University, Tehran. (*In Persian*)
- Mobasheri, M.R. and Sadeghi-Naeini, A., 2008, **Using IRS Products to Recover 7ETM+ Defective Images**, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. 5, No. 6, PP. 618-625.
- Moradi, H. R., Fazelpor, M. R., Sadeghi, H. R. and Hossini, Z., 2008, **The Study of Land Use Change on Desertification Using Remote Sensing in Ardakan Area**, *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, Vol. 15, No. 1, PP. 1-12. (*In Persian*)
- Mottet, A., Ladet, S., Coque, N. and Gibon, A., 2006, **Agricultural Land-use Change and its Drivers in Mountain Landscapes: A case Study in the Pyrenees**, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 114, No. 2-4, PP. 296° 310.
- Mougeot, L., 2006, **Growing Better Cities: Urban Agriculture for Sustainable Development**, International Development Research Centre Publication, Ottawa.
- Nagendra, H., Pareeth, S. and Ghate, R., 2006, **People Within Parks-forest Villages**, Land-cover Change and Landscape Fragmentation in the Tadoba Andhari Tiger Reserve, India, *Applied Geography*, Vol. 26, No. 2, PP. 96-112.
- Parra, G. A., Mouchot, M. C. and Roux, C., 1996, **A Multitemporal Land-cover Change Analysis Tool Using Change Vector and Principal Components Analysis**, *Proceedings of IGARSS 96 Symposium*, Lincoln, Nebraska, Piscataway, NJ: IEEE, Vol.1, PP. 1753° 1755.

- Pelorusso, R., Leone, A. and Boccia, L., 2009, **Land Cover and Land Use Change in the Italian Central Apennines: A Comparison of Assessment Methods**, Applied Geography, Vol. 29, No. 1, PP. 35-48.
- Plan and Architect Iran Consulting Engineers, 2006, **Comprehensive Plan of Gorgan City**, Tehran. (*In Persian*)
- Rahdary, V., Soffianian, A., Maleki Najfابدای, S., Khajeddin, S. J. and Pahlavanravi, 2008, **Land Use and Land Cover Change Detection of Mouteh Wildlife Refuge Using Remotely Sensed Data and Geographic Information System**, World Applied Sciences Journal, Vol. 3, No. 1, PP. 113-118.
- Rasul, G., Thapa, G. B. and Zoebisch, M. A., 2004, **Determinants of Land Use Changes in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh**, Applied Geography, 24 (3), PP. 217-240.
- Rezai Banafsheh, M., Rostamzahed, H. and Fiyzizadeh, B., 2007, **The Study and Evaluation of the Trend of Forest Surface Changes Using the Remote Sensing and GIS, A Case Study of Arasbaran Forests (1987-2005)**, Geography Research Journal, Vol. 62, PP.143-159. (*In Persian*)
- Richards, J.A., 1993, **Remote Sensing Digital Image Analysis an Introduction**, Germany.
- Rolando, E., Caravantes, D. and Sánchez-Flores, E., 2010, **Water Transfer Effects on Peri-Urban Land Use/Land Cover: A Case Study in a Semi-Arid Region of Mexico**, Applied Geography, Vol. 31, No. 2, PP. 413-425.
- Rozenstein, O. and Karnieli, A., 2011, **Comparison of Methods for Land-use Classification Incorporating Remote Sensing and GIS Inputs**, Applied Geography, Vol. 31, No. 2, PP. 533-544.
- Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J. and Benayas, J. M. R., 2010, **Monitoring Land Cover Change of the Dryland Forest Landscape of Central Chile (1975–2008)**, Applied Geography, Vol. 30, No. 3, PP. 436-447.
- Serra, P., Pons, X. and Sauri, D., 2008, **Land-cover and Land-use Change in a Mediterranean Landscape, a Spatial Analysis of Driving Forces Integrating Biophysical and Human Factors**, Applied Geography, Vol. 28, No. 3, PP. 189-209.
- Shahkahi, I., 1999, **A Look at Natural Outlook of Golestan Province**, Sepehr Journal, Vol. 10 No. 37, PP. 15-23. (*In Persian*)
- Shalaby, A. and Tateishi, R., 2007, **Remote Sensing and GIS for Mapping and Monitoring Land Cover and Land-use Changes in the Northwestern Coastal Zone of Egypt**, Applied Geography, Vol. 27, No. 1, PP. 28-41.
- Street, P., 2007, **Land Market Forces and Government's Role in Sprawl: The Case of China**, Cities, Vol. 17, No. 2, PP. 123-135.
- Szuster, B. W., Chen, Q., and Michael Borger, M., 2011, **A Comparison of Classification Techniques to Support Land Cover and Land Use Analysis in Tropical Coastal Zones**, Applied Geography, Vol. 31, No. 2, PP. 525-532.
- Tan, K.C., Lim, H.S., MatJafri M.Z. and Abdullah, K., 2010, **Land Surface Temperature Retrieval by Using ATCOR3_T and Normalized Difference Vegetation Index Methods in Penang Island**, American Journal of Applied Sciences, Vol. 7, No. 5, PP. 717-723.

- Tayyebi, A., Delavar, M. R., Saeedi, S., Amini, J. and Alinia, H., 2008, **Monitoring Land Use Change by Multi-temporal Landsat Remote Sensing Imagery**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37, No. 7, PP. 1037-1042.
- Thapa, R. B. and Murayama, Y., 2010, **Drivers of Urban Growth in the Kathmandu Valley, Nepal: Examining the efficacy of the Analytic Hierarchy Process**, Applied Geography, Vol. 30, No. 1, PP. 70-83.
- The Country Ministry of I.R. Iran, 2005, **Basic Map Political Divisions**, Tehran. (*In Persian*)
- Treitz, P. M., Howard, P. J. and Gong, P., 1992, **Application of Satellite and GIS Technologies for Land-cover and Land-Use Mapping at the Rural-Urban Fringe: a Case Study**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 58, PP. 439-448.
- Varaste Moradi, M., 1997, **Modeling of Land Use Changes Making Use of Multi-epoch Images and GIS**, Tarbiat Modares University Press, Tehran. (*In Persian*)
- Wang, F., 1990, **Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images**, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, Vol. 28, No. 2, PP. 194-201.
- Weng, Q., 2002, **Land Use Change Analysis in the Zhujiang Delta of China Using Satellite Remote Sensing, GIS and Stochastic Modeling**, Journal of Environmental Management, Vol. 64, PP. 273-284.
- Wyman, M.S. and Stein, T. V., 2010, **Modeling Social and Land-Use/Land-Cover Change Data to Assess Drivers of Smallholder Deforestation in Belize**, Applied Geography, Vol. 30, No. 3, PP. 329-342.
- Yeh, A.G.O. and Li, X., 1996, **Urban Growth Management in the Pearl River Delta, an Integrated Remote Sensing and GIS Approach**, The ITC Journal, Vol. 1, PP. 77-85.
- Yu, W., Zang, Sh., Wu, Ch., Liu, W. and Na, X., 2011, **Analyzing and Modeling Land Use Land Cover Change (LUCC) in the Daqing City, China**, Applied Geography, Vol. 31, No. 2, PP. 600-608.
- Ziari, K., 2009, **Urban Land Use Planning**, University of Tehran Press, Tehran. (*In Persian*)