



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۲
زمستان ۱۳۹۴، صفحات ۳۵-۱۷

آزاده زائری امیرانی^۱
علیرضا سفیانیان^۲

بررسی روند تغییرات سطوح نفوذ ناپذیر محدوده شهر اصفهان با استفاده از سنجش از دور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۰۱

چکیده

آشکارسازی تغییرات از نیازهای اساسی ارزیابی و مدیریت منابع طبیعی است. نقشه‌های تغییرات کاربری و پوشش اراضی را می‌توان بر اساس تصاویر چند زمانه سنجش از دور تهیه کرد. روش‌های گوناگونی برای آشکارسازی تغییر و تحولات کاربری‌ها ارائه شده است. موضوع این مطالعه بررسی تغییرات سطوح نفوذناپذیر در محدوده شهر اصفهان با تصاویر سنجنده MSS و AWiFS و با به‌کارگیری روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی طی بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۶۶ می‌باشد. بدین منظور، ابتدا تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های مناسب از لحاظ هندسی تصحیح شدند. RMSE حاصل از تصاویر MSS و AWiFS به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۵۶ پیکسل تعیین گردید که تمامی این مقادیر کم‌تر از یک پیکسل بود. سپس با تعیین نمونه‌های آموزشی، دو تصویر با استفاده از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه به پنج طبقه آب، مناطق مسکونی، اراضی بایر، پوشش گیاهی و جاده طبقه‌بندی گردید. صحت کلی به دست آمده از تصاویر MSS و AWiFS به ترتیب ۹۰/۷۹ و ۹۲/۸۶ بود. در مرحله بعد برای آشکارسازی تغییرات از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی استفاده شد و نقشه تغییرات به دست آمد. نتایج نشان می‌دهند طی این بازه زمانی مساحت سطوح

۱- E-mail: a.zaeri@na.iut.ac.ir

۱- کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- E-mail: soffianian@cc.iut.ac.ir

۲- استادیار محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

نفوذناپذیر، ۶۸۲۹ هکتار افزایش و پوشش گیاهی بیش از ۵۲۷ هکتار کاهش یافته است. از دلایل اصلی این تغییرات، رشد سریع جمعیت به میزان حدود ۶۲ درصد و رشد صنعت طی این دوره ۲۱ سال می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آشکارسازی تغییرات، پوشش اراضی، سطوح نفوذناپذیر، اصفهان.

مقدمه

پوشش اراضی و تغییرات آن، متغیرهای مهمی هستند که اثرات قابل توجهی بر محیط‌زیست و فرآیندهای آن می‌گذارند (فودی، ۲۰۰۰: ۴۳۵). افزایش جمعیت و توسعه فعالیت‌های انسانی در چند دهه اخیر، سطح زمین را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار داده است. امروزه با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تمایل به زندگی شهری، بیش‌ترین تغییرات پوشش اراضی در نواحی شهری به وقوع می‌پیوندد (اپیمی، ۲۰۰۶: ۲۵). طی چند دهه گذشته جمعیت شهری و به تبع آن، شهرها به‌سرعت رشد یافته‌اند به‌گونه‌ای که در سال ۱۹۲۰، جمعیت شهری ۱۴ درصد جهان را تشکیل می‌داد، این مقدار در سال ۱۹۵۰ به ۲۵ درصد رسید و بین ۱۹۵۰ و ۱۹۸۵، تقریباً سه برابر شد.

سطوح نفوذناپذیر از جمله مهم‌ترین پوشش‌های اراضی در مناطق شهری می‌باشند. این سطوح را می‌توان به دو دسته سطوح حمل‌ونقل و جاده‌ای و دسته دوم ساختمان‌ها تقسیم‌بندی کرد. سطوح نفوذناپذیر تأثیرات زیادی بر اکولوژی شهری همچون تأثیر جزیره گرمای شهری، افزایش سیلاب، تغییر در چرخه هیدرولوژیکی و ... خواهند داشت. در حال حاضر داده‌های ماهواره‌ای از قابلیت بالایی برای تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی خصوصاً در مناطق جغرافیایی وسیع برخوردار هستند (یان، ۲۰۰۵: ۳۲۱). علاوه بر اهمیت اطلاعات به روز از پوشش اراضی، آگاهی از تغییر و تحولات آن در طول یک دوره زمانی نیز برای برنامه‌ریزان و مدیران بسیار حایز اهمیت است (تاچیزوکا، ۲۰۰۲: ۵۸). به‌همین دلیل استفاده از روش‌های آشکارسازی تغییرات برای مشخص کردن روند تغییرات با گذشت زمان ضروری به‌نظر می‌رسد. آشکارسازی دقیق و به موقع تغییرات سیما و پستی و بلندی‌های سطح زمین، پایه‌ای برای فهم بهتر روابط و تعاملات انسان و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت و استفاده بهتر از منابع را فراهم می‌آورد و به‌طور کلی یکی از نیازهای اساسی در مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی است (ربیعی، ۱۳۸۴: ۲۵؛ رید و لیو، ۱۹۹۸: ۹۷).

تکنیک‌های مبتنی بر داده‌های چند طیفی و چند زمانی به دست آمده از سنجنده‌های ماهواره‌ای، از توان بالقوه‌ای برای آشکارسازی، شناسایی و پایش تغییرات اکوسیستم‌ها و پوشش اراضی مختلف برخوردارند. این روش‌ها خود به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول روش‌هایی هستند که اطلاعاتی از ماهیت تغییرات را در اختیار قرار نمی‌دهند و تصویر نهایی به دست آمده به صورت باینری بوده و تنها بخش‌های بدون تغییر را از تغییر یافته را از غیر تغییرات مشخص می‌نمایند و قادر به شناسایی ماهیت تغییرات نمی‌باشند. تفریق و نسبت تصاویر از جمله این روش‌ها به حساب می‌آید. دسته دیگر، روش‌هایی هستند که علاوه بر بزرگی تغییرات، ماهیت آن‌ها را نیز نشان می‌دهند. روش مقایسه پس از طبقه‌بندی از متداول‌ترین این روش‌ها به‌شمار می‌رود (جنسن، ۱۹۹۶: ۹۸).

اصفهان سومین شهر بزرگ ایران از نظر جمعیت (پس از تهران و مشهد) بوده و از مراکز مهم گردشگری، فرهنگی و اقتصادی به حساب می‌آید. حضور سرمایه‌گذاری‌های صنعتی و تجاری، زمین‌های کشاورزی مرغوب، باغات و جاذبه‌های توریستی و نیز وجود بخش قابل توجهی از جمعیت استان، تغییرات فراوانی را در این شهر طی سالیان گذشته ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین این تغییرات، رشد و توسعه فیزیکی شهر و افزایش سطوح نفوذناپذیر است. مطابق با تبصره ۲ ماده ۲ قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغ‌ها، وزارت مسکن و شهرسازی مکلف است جهات توسعه شهرها و شهرک‌ها (متصل و منفصل) را حتی‌المقدور در خارج از اراضی زراعی و باغ‌ها طراحی و از اراضی غیر زراعی و غیرقابل کشاورزی استفاده نماید و تغییر کاربری اراضی زراعی و باغ‌های موجود داخل محدوده قانونی شهرها را به حداقل ممکن برساند، همچنین بر اساس ضوابط ملی آمایش سرزمین، کاهش تمرکز و تراکم جمعیت و فعالیت در مناطق پرتراکم کشور، به‌ویژه تهران و اصفهان و مهار روند رو به رشد جمعیت و فعالیت‌ها در این مناطق، از طریق دگرگونی ساختار فعالیت‌های صنعتی و خدماتی آن‌ها در اولویت قرار دارد، لذا آشکارسازی تغییرات سطوح نفوذناپذیر به‌عنوان مقدمه‌ای برای ضرورت برنامه‌ریزی و مدیریت گسترده و همچنین اجرای اهداف آمایش سرزمین در این محدوده محسوب می‌شود.

در مطالعات مختلفی تغییرات کاربری و پوشش اراضی مناطق شهری طی سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته شده است. همچنین عوامل تاثیرگذار بر روند شهری سازی نیز مطالعه و بررسی شده است. مطالعه ربیعی و همکاران (۱۳۸۴) نیز روند تغییرات شهر اصفهان را طی سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۶۹ نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت بررسی سطوح نفوذناپذیر بخصوص در کلان‌شهرها و نیز تحقیقات محدود در این بخش، ضروری است مطالعه جداگانه‌ای در زمینه تغییرات این سطوح انجام گیرد. هدف اصلی این مطالعه، تهیه نقشه سطوح نفوذناپذیر و آشکارسازی تغییرات شهر اصفهان با استفاده از تصاویر MSS و AWiFS طی بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۷ و بررسی عوامل تاثیرگذار بر روند تغییرات آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

برای رسیدن به اهداف مطالعه از داده‌های زیر استفاده شد:

تصویر سنجنده MSS ماهواره لندست مربوط به سال ۱۳۶۶ و همچنین تصویر سنجنده AWiFS ماهواره IRS-1D مربوط به سال ۱۳۸۷ که در جدول ۱ مشخصات آن آمده است؛

نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه؛

مشاهدات میدانی.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در مطالعه

سنجنده	Row-Path	تاریخ (شمسی)	تاریخ (میلادی)
MSS	۱۶۴-۴۷	۱۳۶۶ / ۶ / ۱۸	۱۹۸۷ / ۰۹ / ۰۹
AWiFS	۱۶۴-۴۷	۱۳۸۷ / ۵ / ۲۶	۲۰۰۸ / ۰۸ / ۱۶

منطقه مورد مطالعه

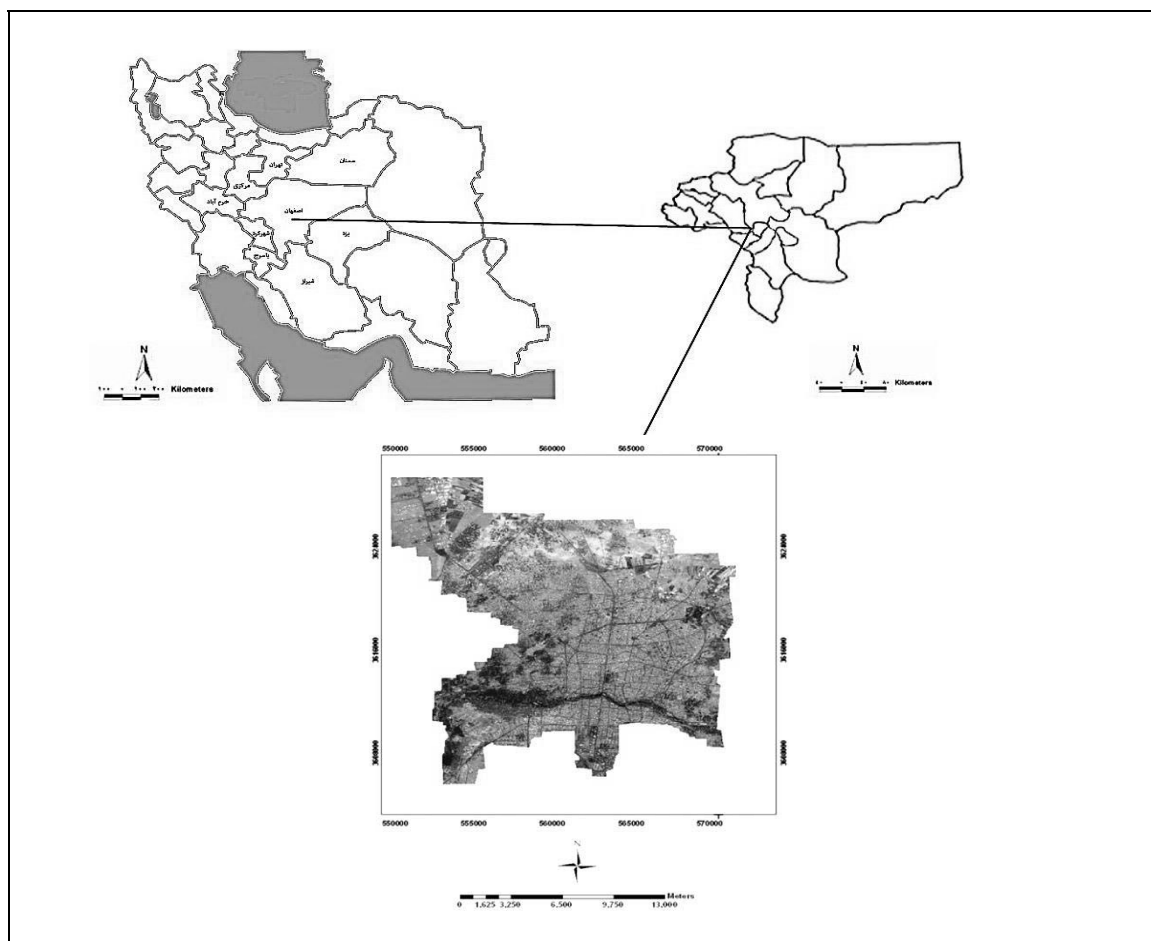
منطقه مطالعه شهر اصفهان می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی "۱۵' ۳۰" تا "۱۰' ۴۷" ۵۱° شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۲۰' ۳۰" تا "۱۰' ۴۸" ۳۲° شمالی و در شعاع ۳۰ تا ۵۰ کیلومتری مرکز استان اصفهان قرار داشته و مساحتی حدود ۳۴۵۰۰ هکتار که ۰/۳ درصد مساحت استان اصفهان است را در بر می‌گیرد (شکل ۱). حضور سرمایه‌گذاری‌های صنعتی و تجاری، زمین‌های کشاورزی مرغوب، باغات و جاذبه‌های توریستی و نیز وجود بخش قابل توجهی از جمعیت استان، باعث ایجاد تغییرات فراوانی در این شهر طی سالیان گذشته شده است. یکی از مهم‌ترین این تغییرات، رشد و توسعه فیزیکی شهر و تغییر در پوشش و کاربری اراضی است. با توجه به رشد سریع شهر اصفهان و تغییرات ایجاد شده در انواع پوشش اراضی، نیاز به بررسی تغییرات پوشش اراضی منطقه و برنامه‌ریزی صحیح جهت حفظ منابع موجود بیش از پیش لازم و ضروری است.

آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور زمین مرجع نمودن و انطباق تصاویر به یکدیگر، با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، ۲۵ نقطه کنترل زمینی با توزیع مناسب انتخاب گردید. سپس با استفاده از معادله درجه اول و عمل نمونه‌گیری مجدد و روش نزدیک‌ترین همسایه ابتدا جدیدترین تصویر (AWiFS سال ۱۳۸۰) در سطحی بزرگ‌تر از محدوده مطالعه زمین

مرجع گردید. در مرحله بعد با تعیین ۲۱ نقطه کنترل و روش نزدیک‌ترین همسایه، تصویر MSS سال ۱۳۶۶ به تصویر اول ثبت داده شد. پس از زمین مرجع شدن تصاویر، محدوده شهر اصفهان به وسعت مساحت حدود ۳۴۵۰۰ هکتار از هر دو تصویر جدا گردید.

همچنین به منظور افزایش وضوح تصویر و نمایان‌تر شدن پدیده‌ها و عوارض موجود، تصاویر رنگی کاذب ساخته شد. برای ساختن تصاویر رنگی کاذب در فضای RGB، از شاخص مطلوبیت استفاده گردید. با محاسبه فاکتور مطلوبیت، باندهایی انتخاب گردید که ضریب همبستگی کم‌تر و واریانس بالاتری داشتند.



شکل ۱: نمایی از موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان و بر روی تصویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصاویر

برای انجام طبقه‌بندی نظارت شده، با توجه به طبقه‌بندی نظارت نشده که بر روی تصویر اعمال گردید و نیز انتخاب نمونه‌های تعلیمی از تصاویر رنگی کاذب و انجام بازدیدهای میدانی، تعدادی نمونه تعلیمی از انواع پوشش‌های

مختلف منطقه به شرح جدول ۲ شناسایی گردید. همچنین به منظور بررسی تغییرات سطوح نفوذناپذیر، دو طبقه منطقه مسکونی و جاده به عنوان سطح نفوذناپذیر انتخاب گردید. برای ارزیابی کمی تفکیک پذیری طبقات در نمونه‌های آموزشی، از شاخص واگرایی تبدیل شده^۳ استفاده شد.

جدول ۲- طبقات پوشش اراضی و توصیف آن‌ها

نام طبقه	توصیف
آب	رودخانه زاینده‌رود
منطقه مسکونی	مناطق مسکونی، صنعتی و تجاری
اراضی بایر	مناطق بایر و دارای پوشش گیاهی بسیار اندک که به شکل خاک یا زمین برهنه هستند.
پوشش گیاهی	انواع پوشش گیاهی شامل کشاورزی، باغ و فضای سبز شهری
جاده	شامل کوچه، خیابان و جاده‌ها

سطح نفوذناپذیر (ISA)^۴

سطح نفوذناپذیر به هر سطحی که توانایی تصفیه و قابلیت نفوذ آب را در خود ندارد، گفته می‌شود. این سطوح به دودسته: سطوح حمل و نقل (خیابان‌ها، اتوبان‌ها، پارکینگ‌ها و پیاده‌روها) و ساختمان‌ها تقسیم می‌شوند که از مواد غیرقابل رسوخ مانند آسفالت، بتن‌ها، آجر و سنگ ساخته شده‌اند. اغلب سطوح نفوذناپذیر مربوط به مسیرهای حمل و نقل است.

از گذشته دور جاده‌ها و پشت‌بام‌ها وجود داشته‌اند ولی آنچه امروزه اتفاق افتاده، افزایش چشم‌گیر این سطوح به علت استفاده و تولید بالا از وسایل نقلیه و افزایش اتوبان‌های درون‌شهری و رشد حاشیه شهرها است. از این نقطه نظر می‌توان بین درصد سطوح نفوذناپذیر و بشر امروزی به‌ویژه در مناطقی که تراکم جمعیت بالا است، ارتباط برقرار کرد.

تأثیرات سطوح نفوذناپذیر بر محیط‌زیست منطقه

سطوح نفوذناپذیر اگرچه نشان‌دهنده درجه و میزان شهری شدن هستند، در عین حال از شاخص‌های مهم کیفیت محیط‌زیست شهری نیز به حساب می‌آیند. این سطوح ضمن این‌که بیانگر تشدید بهره‌برداری از زمین بوده،

3- Transformed Divergence

4 -Impervious surface area

نشان‌دهنده افزایش میزان آلودگی در نواحی شهری نیز می‌باشد. از پیامدهای بارز افزایش سطوح نفوذناپذیر، کاهش کیفیت منابع آبی است. سطوح نفوذناپذیر با تغییر در چرخه هیدرولوژیکی تأثیرات اکولوژیکی و فیزیکی فراوانی به همراه دارند. افزایش رواناب‌ها باعث افزایش فرسایش نواحی پایین‌دست رودخانه‌ها و نقاط کم ارتفاع و حاشیه‌های رودخانه می‌شوند. بنابراین یکی از گسترده‌ترین اثرات توسعه شهری، تغییر در چرخه هیدرولوژی و مورفولوژی جریان آب باران است، به طوری که شهر شدن درصد نفوذناپذیری سطوح آبخیز را نسبت به بارش افزایش می‌دهد. در نتیجه حجم رواناب و دبی اوج سیلاب افزایش خواهد یافت. افزایش رواناب‌ها منجر به افزایش انتقال مستقیم این آلاینده‌ها به مسیرهای آبی شده و منابع آلاینده غیرنقطه‌ای یا رواناب‌های آلوده را به وجود می‌آورند.

از دیگر تأثیرات نامطلوب این سطوح، تأثیر جزیره گرمای شهری است. عوامل مختلفی چون وجود گازهای گلخانه‌ای، جمعیت شهر، سرعت باد و... باعث اختلاف دمای شهر و حومه آن شده که پدیده جزیره گرمای شهر را به وجود می‌آورند؛ اما عامل مهم دیگر وجود ساختمان‌های فراوان و زمین‌هایی با سطوح نفوذناپذیر است که به عنوان جذب‌کننده‌های حرارت خورشید عمل می‌کنند. این مسئله منجر به افزایش دمای متوسط در مناطقی که سطوح نفوذناپذیر زیادی دارند، خواهد شد. تأثیر جزیره گرمایی می‌تواند در روزهای تابستان باعث گرم‌تر شدن دمای شهر نسبت به نواحی حومه آن به میزان ۶-۸ درجه فارنهایت شود. بعلاوه تأثیر جزیره گرمایی به معنی افزایش بیلان انرژی است که برای مقابله با این فرآیند، باید سطوح نفوذناپذیر را کاهش داد.

حضور پوشش‌های نفوذناپذیر در سطح شهر باعث می‌شود، شب هنگام که درجه حرارت کاهش می‌یابد، باز-تابش حرارت خورشید از سطح زمین به اتمسفر به تدریج صورت گیرد که نتیجه آن افت شدید دمای شهر نسبت به نواحی حاشیه آن خواهد بود (چستر، ۱۹۹۶: ۲۴۹).

شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

انواعی از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی وجود دارد که از میان آن‌ها شبکه عصبی پرسپترون چندلایه معمول‌ترین مدل مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور است. یک پرسپترون چندلایه معمولاً از یک‌لایه ورودی، یک یا چندلایه نهفته و یک‌لایه خروجی تشکیل شده است که به ترتیب اطلاعات را دریافت و پردازش کرده و در نهایت نمایش می‌دهند (شاه امیری، ۱۳۸۵: ۶۷).

به‌طور کلی ۳ مرحله در طبقه‌بندی شبکه عصبی وجود دارد. مرحله اول یک فرآیند آموزشی با استفاده از داده‌های ورودی و نمونه‌های تعلیمی است. مرحله دوم، مرحله اعتبارسنجی است که موفقیت مرحله آموزشی و صحت شبکه را تعیین می‌کند (سفیانیان، ۱۳۸۸: ۳۲). اعتبارسنجی و آزمون شبکه به وسیله بخشی از نمونه‌های تعلیمی انجام

می‌گیرد. مرحله آخر، مرحله طبقه‌بندی است که در آن، نقشه پوشش و کاربری اراضی منطقه بر اساس روابط آموزشی در طی فاز آموزشی تهیه می‌شود. شبکه‌های پرسپترون چندلایه معمولاً با روش پس انتشار آموزش داده می‌شوند. فرایند آموزش و یادگیری نیاز به مجموعه‌ای از الگوهای آموزشی با ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب دارد (شاه امیری، ۱۳۸۵: ۶۷). به‌طور کلی برای رسیدن به یک مدل مطلوب شبکه عصبی، انجام مراحل شامل پیش پردازش داده‌ها، انتخاب ساختار شبکه و آموزش شبکه ضرورت دارد (اسلام بنیاد و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۳۱).

طرح و ساختار شبکه بر روی طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی مؤثر است. در یک شبکه پرسپترون چندلایه، تعداد گره‌های ورودی برابر با تعداد متغیرهای ورودی یعنی باندهای طیفی و داده‌های کمکی است و تعداد گره‌های خروجی برابر با تعداد طبقات مورد نظر در طبقه‌بندی است. یک قانون و راهنمای کلی برای تعیین تعداد لایه‌ها و گره‌های نهفته وجود ندارد (سفیانیان، ۱۳۸۸: ۳۳) و معمولاً بر اساس آزمایش‌ها و تجربیات قبلی تعیین می‌شود (رضایی، مقدم و ثقفی، ۱۳۸۵: ۴۳). به‌طور کلی ساختار شبکه عصبی مصنوعی از طریق رابطه زیر معرفی می‌شود:

$$\text{net}_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} O_i$$

W_{ij} : وزن بین گره i و j

O_i : خروجی حاصل از گره i

در این روش از شبکه عصبی مصنوعی تعداد گره‌های لایه پنهان با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$N_h = \text{INT}(\sqrt{N_i \times N_o})$$

N_o ، N_i ، N_h به ترتیب تعداد گره‌های لایه پنهان، ورودی و خروجی هستند.

ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده

به‌منظور تعیین صحت طبقه‌بندی‌ها، برداشت زمینی با استفاده از GPS انجام گرفت. تعداد ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی (که حدود ۲ درصد از مساحت کل منطقه را شامل می‌شد) با استفاده از GPS برداشت گردید و به‌عنوان داده‌های مرجع برای مقایسه با نقشه‌های طبقه‌بندی شده به کار گرفته شدند. پس از برداشت و کنترل نقاط، برای تمامی نقشه‌های تولیدی ضریب کاپا، دقت کلی، خطای کمیسیون و خطای امیسیون محاسبه شد.

آشکارسازی تغییرات

آشکارسازی تغییرات، فرآیند شناسایی تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده به‌وسیله مشاهده آن در زمان‌های متفاوت است. آشکارسازی دقیق و به موقع تغییرات سیما و پستی و بلندی‌های سطح زمین، پایه‌ای برای فهم بهتر

روابط و تعاملات انسان و پدیده‌های طبیعی برای مدیریت و استفاده از بهتر از منابع را فراهم می‌آورد و به‌طور کلی یکی از نیازهای اساسی در مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی است (ربیعی و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۰؛ رید، ۱۹۹۸: ۹۸؛ لو، ۲۰۰۴: ۲۳۶۶). مقایسه بعد از طبقه‌بندی^۵، معمول‌ترین روش به‌کار رفته برای آشکارسازی تغییرات است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها و بحث

از جمله اعمالی که قبل از پردازش داده‌های ماهواره‌ای تصحیح هندسی است. $RMSE^6$ حاصل از تصحیح هندسی تصاویر MSS و AWiFS به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۵۶ پیکسل برآورد شد که رقم به‌دست آمده کم‌تر از یک پیکسل بود و این نشان‌دهنده دقت بالای عملیات تصحیح هندسی می‌باشد.

در این مطالعه به‌منظور انتخاب گروه بانندی سه‌تایی مناسب برای ترکیب بانندی RGB و تفسیر و طبقه‌بندی بهتر از شاخص مطلوبیت استفاده شد. بهترین ترکیب بانندی که دارای انحراف معیار بالا و همبستگی کم بین باندها بود، برای تصاویر MSS و AWiFS به ترتیب باندهای ۴-۲-۱ و ۳-۲-۱ تعیین شد و از آنها برای تهیه تصاویر رنگی کاذب استفاده گردید. این ترکیب‌های بانندی برای تهیه نمونه‌های تعلیمی، تفسیر و تهیه نقشه‌های پوشش اراضی مورد استفاده قرار گرفتند.

از روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. به‌منظور انتخاب شبکه بهینه و اجرای صحیح طبقه‌بندی، مقادیر متفاوتی برای پارامترهای شبکه نظیر یادگیری، گشتاور و میزان تکرار در نظر گرفته شد و صحت آنها مورد آزمون قرار گرفت تا مناسب‌ترین مقادیر برای این مطالعه شناسایی گردد. در نهایت، مقادیری برای این پارامترها انتخاب شد که موجب افزایش صحت و کاهش خطای طبقه‌بندی گردید (جدول ۳).

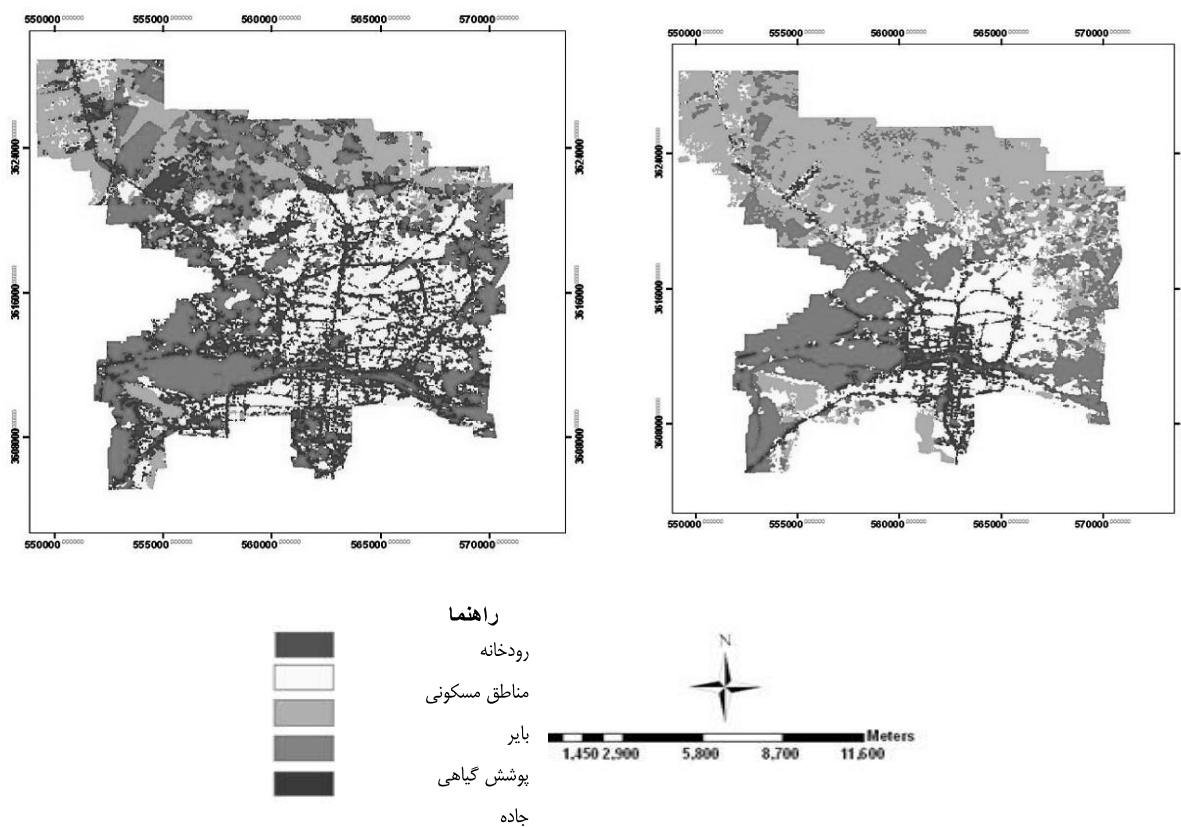
پس از انتخاب بهترین نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش شبکه پرسپترون چندلایه، بر روی باندهای تصویر MSS و AWiFS انجام گرفت و نقشه حاصله در ۵ طبقه از پوشش اراضی تهیه گردید (شکل ۲). به منظور تعیین صحت طبقه‌بندی از عکس‌های هوایی، تصاویر رنگی کاذب و GPS استفاده شد و صحت کلی طبقه‌بندی برای تصاویر MSS و AWiFS به ترتیب ۹۰/۷۹ و ۹۲/۸۶ درصد برآورد گردید.

5- Post- classification comparison

6- Root Mean Square Error

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در روش شبکه پرسپترون چندلایه

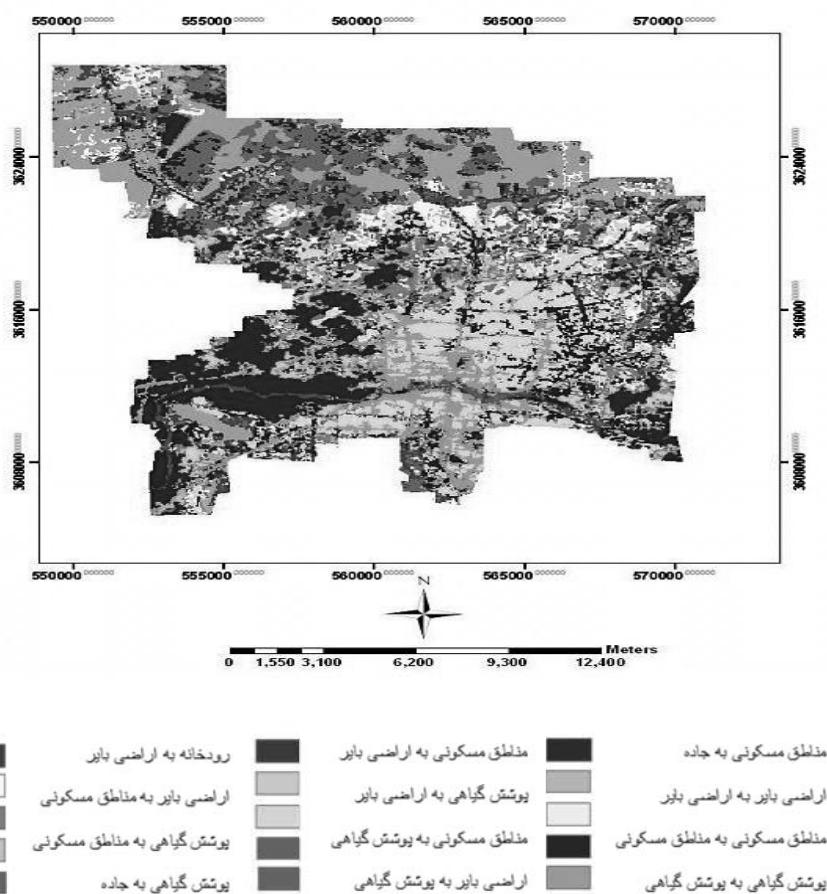
تصاویر	متوسط پیکسل‌های آموزشی	متوسط پیکسل‌های آزمایشی	تعداد لایه نهفته	گره‌های لایه نهفته ۱	گره‌های لایه نهفته ۲	سرعت یادگیری	گشتاور	میزان تکرار
MSS	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲	۶	۶	۰/۰۰۱	۰/۵	۱۰۰۰۰
AWiFS	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲	۶	۶	۰/۰۰۱	۰/۵	۱۰۰۰۰



شکل ۲: نقشه پوشش اراضی تهیه شده به روش شبکه پرسپترون چندلایه

با توجه به نقشه‌های پوشش اراضی به دست آمده مقدار تغییرات پوشش‌ها در دوره زمانی مورد مطالعه محاسبه گردید. نتایج حاصل در جدول ۴ و شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج ارائه شده، بین سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۷، مهم‌ترین تغییرات پوشش اراضی در منطقه شامل موارد زیر بود:

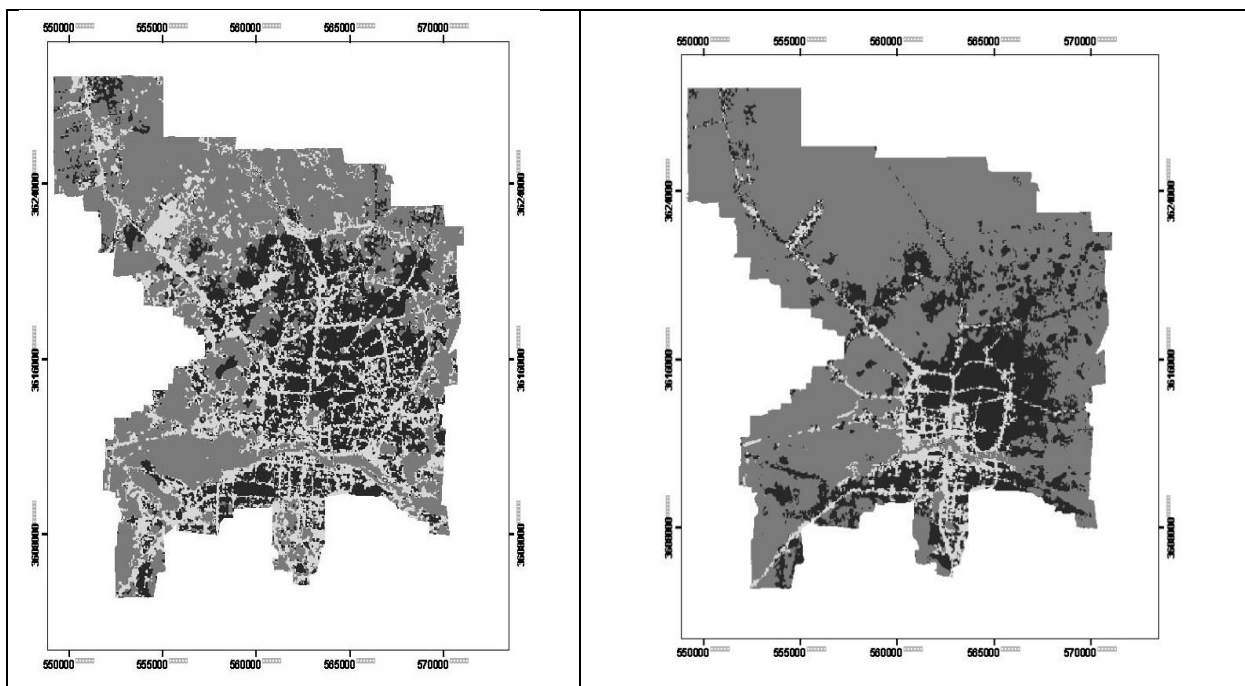
- کاهش پوشش گیاهی از مساحت ۹۷۵۰/۱۵ هکتار در سال ۱۳۶۶ به ۹۱۷۷/۷۳ هکتار در سال ۱۳۸۷، حدود ۵۷۲ هکتار از مساحت پوشش گیاهی در این دوره کاهش یافته است؛
 - مناطق مسکونی در سال ۱۳۶۶ مساحتی در حدود ۷۳۹۹ هکتار داشتند که در سال ۱۳۸۷ این طبقه از اراضی به ۷۸۲۳/۸۴ هکتار افزایش یافت؛
 - کاهش اراضی بایر در حدود ۶۰۶۱ هکتار؛
 - خیابان‌ها و جاده‌ها از مساحت ۲۴۵۲/۵ در سال ۱۳۶۶ به مساحت ۸۸۵۷ هکتار در سال ۱۳۸۷ توسعه یافتند.
- بر اساس نتایج به دست آمده در شکل ۴ و جدول ۵ در دوره زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۷ تغییرات عمده سطوح نفوذناپذیر به صورت زیر بوده است:
- توسعه مناطق مسکونی به میزان هکتار ۴۲۴
 - جاده و خیابان به میزان ۶۴۰۴ هکتار افزایش مساحت داشته‌اند.



شکل ۳: نقشه تغییرات پوشش اراضی اصفهان طی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۷

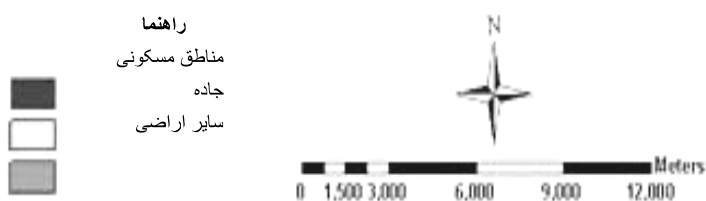
جدول ۴- روند تغییرات پوشش اراضی بین سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۷ بر حسب هکتار

۱۳۸۷						
جمع	جاده	پوشش گیاهی	اراضی بایر	مناطق مسکونی	آب	
۳۹۰/۲۹	۰	۱۹۵/۲۱	۰	۰	۱۹۵/۰۸	آب
۷۳۹۹/۷	۲۱۹۷/۸۶	۵۲۶/۲۲	۳۹۴/۹۰	۴۲۸۰/۷۲	۰	مناطق مسکونی ۱۳۶۶
۱۱۸۳۲/۲۸	۲۱۰۶/۶	۲۹۳۰/۵۱	۴۸۵۴/۰۷	۱۹۴۱/۱	۰	اراضی بایر
۹۷۵۰/۱۵	۲۱۰۰/۱۲	۵۵۲۵/۷۹	۵۲۲/۲۲	۱۶۰۲/۰۲	۰	پوشش گیاهی
۲۴۵۲/۵	۲۴۵۲/۵	۰	۰	۰	۰	جاده
۶۳۶۴۹/۸۴	۸۸۵۷/۰۸	۹۱۷۷/۷۳	۵۷۷۱/۱۹	۷۸۲۳/۸۴	۱۹۵/۰۸	جمع



تصویر AWiFS سال ۱۳۸۷

تصویر MSS سال ۱۳۶۶



شکل ۴: نقشه سطوح نفوذناپذیر سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۷

جدول ۵- مساحت سطوح نفوذناپذیر برحسب هکتار

تصاویر	سال	مناطق مسکونی	جاده
MSS	۱۳۶۶	۷۳۹۹/۷	۲۴۵۲/۵
AWiFS	۱۳۸۷	۷۸۲۳/۸۴	۸۸۵۷/۰۸

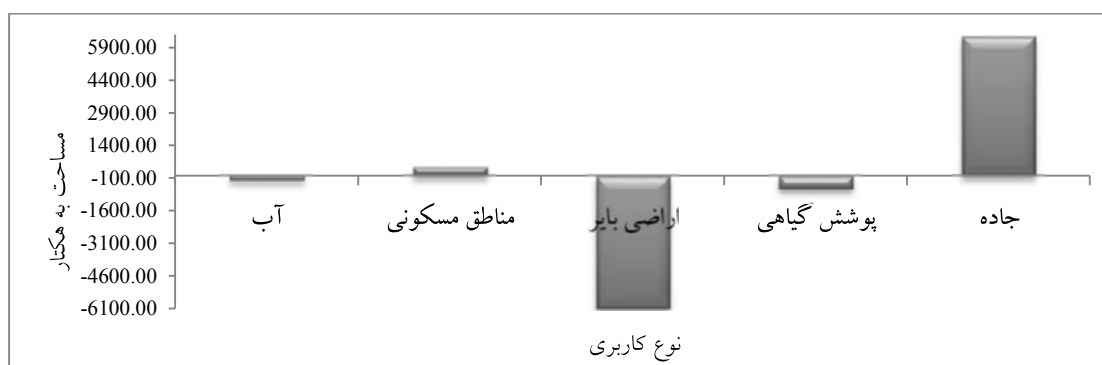
گسترش شهر و توسعه شهرنشینی یکی از مسایل و مشکلات تمدن بشری به‌شمار می‌رود. تخریب بی‌رویه اراضی کشاورزی، باغی، مراتع و تبدیل آن به مناطق مسکونی و مسیرهای حمل‌ونقل در شهرهای صنعتی ایران بخصوص اصفهان بسیار محسوس است. استفاده از روش‌های مدیریتی صحیح مانند آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین روند تغییرات پوشش اراضی شهر اصفهان بسیار مؤثر است.

انتخاب روش مناسب برای آشکارسازی تغییرات به هدف مطالعه، ویژگی‌های منطقه و داده‌های موجود و قابل دسترس بستگی داشته و بر نتایج حاصله تأثیرگذار است (لو، ۲۰۰۴: ۲۳۶۵). در این مطالعه با توجه به این‌که داده‌های ماهواره‌ای از سنجنده‌های مختلفی بودند و همچنین به‌منظور مشخص کردن ماهیت تغییرات در کنار بزرگی تغییرات از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای بررسی تغییرات استفاده شد. از مزایای این روش، فراهم کردن امکان استفاده از تصاویر سنجنده‌های گوناگون، به حداقل رساندن اثرات اتمسفری، تفاوت سنجنده‌ها و تفاوت‌های محیطی بین تصاویر چند زمانه و قابلیت تهیه اطلاعات مکانی و توصیفی برای تغییرات زمانی می‌باشد. همچنین این روش فاقد مشکلات مربوط به تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک بوده و در نتیجه از استقبال زیادی برای آشکارسازی تغییرات برخوردار است؛ اما از آن‌جا که در این روش نقشه‌های تولیدی، پیکسل به پیکسل باهم مورد مقایسه قرار می‌گیرند، انجام تصحیح هندسی درست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (فريتاس، ۲۰۰۵: ۳۵۳؛ کوپن، ۲۰۰۴: ۱۵۶۷). روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی جزء معدود روش‌های آشکارسازی تغییرات است که جهت تغییرات رخ داده در بین طبقات پوشش اراضی را به‌خوبی نشان می‌دهد (یان، ۲۰۰۵: ۳۲۷). درجه موفقیت این روش به میزان صحت و دقت نقشه‌های تولیدی وابسته است (سین، ۱۹۸۹: ۹۹۰).

بیش‌ترین تغییر ایجاد شده در پوشش اراضی طی این بازه زمانی تبدیل ۲۵ درصد از اراضی بایر به پوشش گیاهی می‌باشد. این تغییرات را می‌توان به دو بخش تقسیم نمود: گروه اول که بیش‌ترین آن در شمال شهر و بخصوص در شمال‌غربی مشاهده می‌شود، مربوط به توسعه در بخش کشاورزی است. گروه دوم مربوط به افزایش فضای سبز شهری است که همراه با توسعه شهر در قسمت‌های جنوبی و شمال‌شرقی شکل گرفته است. طی این بازه زمانی حدود ۱۸ درصد از اراضی بایر به جاده و خیابان تبدیل شده‌اند. تبدیل اراضی بایر به جاده و صنعت تقریباً در تمامی

جهت شهر (شمال، جنوب، شرق و غرب) صورت گرفته ولی در شمال و شمال غرب میزان آن چشم‌گیرتر است. تبدیل ۳۰ درصد از مناطق مسکونی به جاده و مناطق صنعتی، از دیگر تغییرات رخ داده در این بازه زمانی است که نشان‌دهنده، رشد عمودی شهرها و افزایش مناطق مسکونی به صورت آپارتمانی و همچنین توسعه شبکه جاده‌ای و صنعت به‌ویژه در مناطق مسکونی طی دوره زمانی ۲۱ ساله است. البته بخش محدودی از این تبدیل اراضی می‌تواند مربوط به خطای طبقه‌بندی تصاویر نیز باشد. ولی عدم وجود این نوع تغییرات در بخش‌های مرکزی شهر گویای این واقعیت است که میزان این خطا بسیار محدود است. پلوروسو و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه خود به منظور بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در استان ریتی در ایتالیا، تبدیل اراضی شهری به سایر طبقات پوشش و کاربری مانند اراضی کشاورزی، جنگل و باغ طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۰ را به ترتیب ۱۴۹، ۱۰۶ و ۱۷۲ هکتار گزارش کردند و آن را ناشی از خطا در طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۶۰، عنوان کردند (پلوروسو، ۲۰۰۹: ۳۸).

همچنین ۲۱/۵ درصد از پوشش گیاهی نیز در این دوره به شبکه جاده‌ای، خیابان و مناطق صنعتی تبدیل شده‌اند. تبدیل ۱۶/۵ درصد از اراضی بایر به مناطق مسکونی در طی این دوره مربوط به تبدیل اراضی بایر به بخش‌های مسکونی، اداری و آموزشی، بود که به‌ویژه در حواشی شمال و شمال شرقی شهر رخ داده و مناطق مسکونی جدید به وجود آمد. ژیانو و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه خود جهت بررسی کاربری و پوشش اراضی ناشی از گسترش شهری در ژوجیانگ چین طی سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۸۷ به تبدیل ۱۰/۴ درصد از اراضی کشاورزی و ۱۰/۳ درصد از اراضی بایر واقع در حومه شهر به اراضی شهری پی بردند (سیو، ۲۰۰۶: ۷۴).



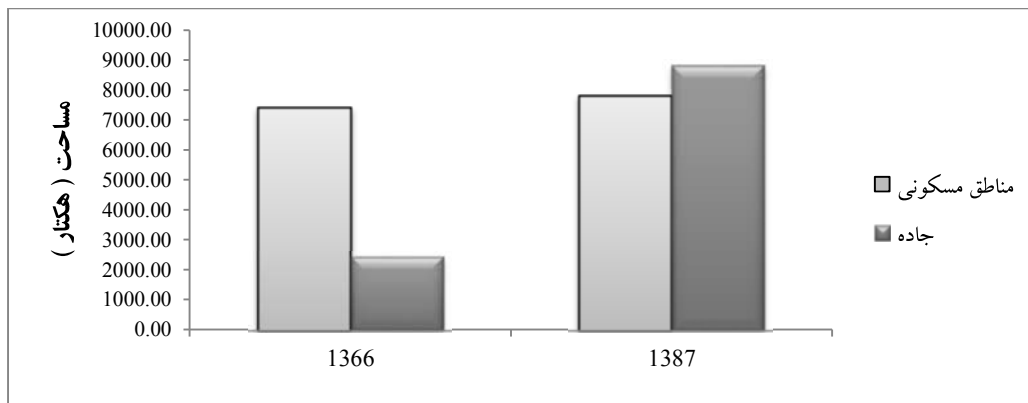
شکل ۵: میزان تغییرات کاربری اراضی طی دوره زمانی ۱۳۶۶-۱۳۸۷

۱۶/۵ درصد از پوشش گیاهی نیز به مناطق مسکونی تبدیل شده است. این سطح از تغییرات بازهم در بخش شمالی بیش از سایر قسمت‌ها بوده است. تل (۲۰۰۸) نیز در بررسی مناطق شهری و غیرشهری در منطقه GTA کانادا به گسترش شهری بالا در مناطق شهری و از دست رفتن سطح زیادی از مناطق مناسب برای پوشش گیاهی اشاره نمود

و عنوان کرد که از بین رفتن پوشش گیاهی در نتیجه رشد و گسترش شهری، پدیده‌ای است که در طی سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق جهان رخ داده است (تل، ۲۰۰۸: ۳۵۸).

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که سطوح نفوذناپذیر شاخص مناسبی از توسعه شهری است، با بررسی مساحت سطوح نفوذناپذیر طی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۷ می‌توان رشد سریع شهر در این بازه زمانی ۲۱ ساله را به‌خوبی نمایش داد (شکل ۶).

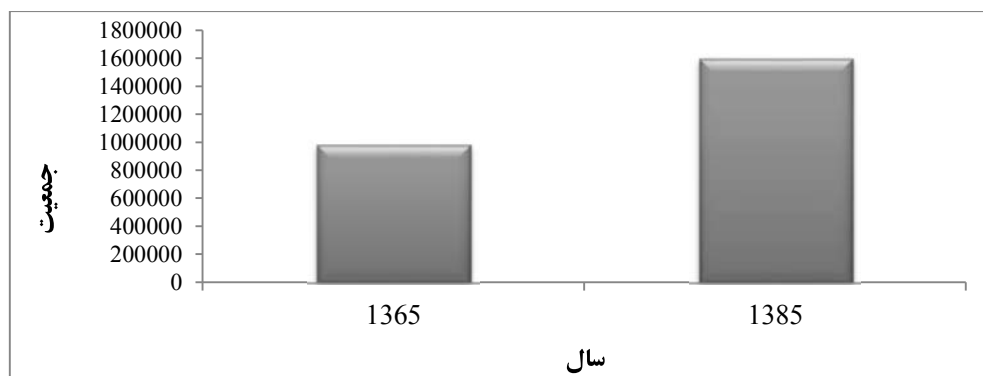


شکل ۶: مقایسه سطوح نفوذناپذیر در سال‌های مختلف

سطوح نفوذناپذیر در سال ۱۳۶۶ برابر ۹۸۵۲/۲ هکتار بوده که این مساحت در سال ۱۳۸۷ به بیش از ۱۶۶۸۰/۹۲ هکتار رسیده است؛ که بیانگر افزایش حدود ۶۹/۳۱ درصد سطح سطوح نفوذناپذیر طی ۱۲ سال است. با تفکیک سطوح نفوذناپذیر به طبقات آن مشخص گردید که طی این بازه زمانی مناطق مسکونی با حدود ۵/۷۳ درصد رشد، کم‌ترین میزان افزایش سطح نفوذناپذیری را به‌خود اختصاص می‌دهند و این موضوع نشان‌دهنده این واقعیت است که طی این بازه زمانی مناطق مسکونی (و تجاری) بیش‌تر توسعه عمودی داشته‌اند (دیوان، ۲۰۰۹: ۴۰۰). دیگر طبقات سطوح نفوذناپذیر یعنی شبکه جاده و مناطق صنعتی با ۲۶۱/۱۴ درصد رشد، بیش‌ترین میزان توسعه را به‌خود اختصاص داده‌اند. بنابراین در این مدت نه تنها میزان سطوح نفوذناپذیر تغییرات چشمگیری داشته بلکه نوع سطوح نفوذناپذیر و ترکیب آن نیز تغییر کرده است. احتمالاً شاخص‌ترین پیامد این تغییرات تاثیر بر رواناب‌های سطحی شهر اصفهان و همچنین جزیره گرمای شهری خواهد بود. همچنین الگوی توسعه سطوح نفوذناپذیر در تمامی نقاط شهر اصفهان یکسان نبوده و گسترش شهر در جهات شرق و شمال بیش از سایر قسمت‌ها است. که در این میان جاده‌ها و خیابان‌ها هم در داخل و هم در حاشیه شهر نسبت به گذشته رشد داشته‌اند. ولی بیش‌ترین افزایش شبکه جاده‌ای در

حاشیه شهر اتفاق افتاده که احتمالاً به دلیل فراهم بودن زمین کافی و توسعه بخش‌های مسکونی و صنعتی حاشیه هست. همچنین توسعه شهر بیش‌تر در اراضی بایر صورت گرفته و تخریب پوشش گیاهی را به همراه داشته که این می‌تواند بر محیط‌زیست منطقه تأثیرات زیادی داشته باشد (دیوان، ۲۰۰۹: ۳۹۸). همچنین مطالعه ربیعی و همکاران (۱۳۸۴) نیز نشان می‌دهد که طی هشت سال حدود ۲۲۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی اطراف شهر به مناطق مسکونی تبدیل گردیده و دلیل آن نیز رشد و توسعه شهرنشینی است (ربیعی، ۱۳۸۴: ۲۳).

از دیگر موضوعات قابل بحث در این مطالعه بررسی وضعیت جمعیتی منطقه است. با توجه به این‌که رشد جمعیت از عوامل مؤثر در گسترش شهرها می‌باشد، ضروری است تغییرات جمعیت نیز مورد بررسی قرار گیرد. در اواسط دهه ۶۰ با شروع توسعه صنایع ماشینی و کارخانجات مختلف در شهر اصفهان، جمعیت در حدود ۹۸۶۷۵۳ نفر بود و این تعداد طی ۲۰ سال به ۱۶۰۲۱۱۰ نفر رسید (شکل ۷). عوامل متعددی را می‌توان در افزایش جمعیت اصفهان دخیل دانست که مهم‌ترین آن رشد صنعتی بسیار سریع و گسترده بعد از دهه ۷۰ است. قرار گرفتن واحدهای صنعتی بزرگی مثل ذوب‌آهن، فولاد مبارکه، سیمان سپاهان و بسیاری از واحدهای صنعتی دیگر، این شهر را به یک قطب مهم صنعتی در کشور تبدیل کرده است و مهاجرت جمعیت بسیاری از سایر شهرها و روستاهای اطراف را به دنبال داشته است. ایجاد واحدهای دانشگاهی و نزدیکی این شهر به پایتخت را نیز می‌توان در افزایش جمعیت مؤثر دانست، گرچه سهم این عوامل در مقایسه با تأثیر رشد صنعت و ایجاد فرصت‌های شغلی متعدد، قابل توجه نیست.



شکل ۷: روند رشد جمعیت طی سال‌های ۱۳۶۵-۱۳۸۵

بررسی داده‌های جمعیت و مساحت، نشان‌دهنده همبستگی بالای روند گسترش شهر با افزایش جمعیت است، به این ترتیب که با افزایش جمعیت، مساحت شهر نیز افزایش یافته است و این نشان می‌دهد که رشد جمعیت یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده گسترش شهری و روند شهرسازی است (دیوان و یاماگوچی، ۲۰۰۹: ۳۹۸، جات، ۲۰۰۸: ۳۲).

ژیائو و همکاران (۲۰۰۶) نیز در مطالعه خود به منظور بررسی گسترش شهر ژوجیانگ در چین، عوامل محرک توسعه شهری مانند جمعیت را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش در مساحت مناطق توسعه یافته در شهر ژوجیانگ دارای همبستگی بالایی با رشد جمعیت است (سیو، ۲۰۰۶: ۷۴). همچنین فن و همکاران (۲۰۰۸) علت گسترش شهری دلتای رودخانه پیرل در چین طی سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۳ را توسعه صنعتی و رشد جمعیت طی این دوره بیان کردند (فن، ۲۰۰۸: ۱۳۱).

علاوه بر عامل جمعیت پارامترهایی چون شرایط اجتماعی-اقتصادی، سرمایه‌گذاری‌های دولتی در اشتغال‌زایی، اهداف و حوزه‌های صنعتی‌سازی، فعالیت‌های توریستی و فاصله با مکان‌های مهم مانند مسیرهای راه‌آهن در گسترش شهرها تأثیرگذار بوده و می‌تواند مدنظر قرار گیرند (جات، ۲۰۰۸: ۴۱). البته شایان ذکر است، عوامل زیادی نیز وجود دارند که به عنوان موانع توسعه شهر به شمار می‌آیند؛ از بین این عوامل می‌توان به وجود کوه و تپه در اطراف شهر اشاره کرد؛ که این پارامتر در جنوب و جنوب‌غرب شهر اصفهان دیده می‌شود و توسعه شهر را در این بخش محدود کرده است.

منابع

- سفیانیان، ع. ر (۱۳۸۸)، «بررسی تغییرات کاربری اراضی در محدوده شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷»، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۴۹، صص ۱۶۴-۱۵۳.
- شاه امیری، ر (۱۳۸۵)، «معرفی شبکه‌های عصبی مصنوعی»، *مجله پژوهشگاه اطلاعات و مدارک علمی ایران*، شماره ۶، صص ۶۷-۵۱.
- رفیعیان، ا؛ درویش صفت، ع.ا؛ نمیریان، م (۱۳۸۵)، «تعیین تغییرات گستره جنگل‌های شمال کشور بین سال‌های ۷۳ و ۸۰ با استفاده از تصاویرسنجنده ETM⁺ (مطالعه موردی در جنگل‌های بابل)»، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، شماره ۳، صص ۲۸۷-۲۷۷.
- اسلام بنیاد، ا؛ حاجی قادری، ط (۱۳۸۶)، «تهیه نقشه جنگل‌های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست ۷»، *مجله علوم و فنون کشاورزی*، شماره ۴۲، صص ۶۳۸-۶۲۷.
- رضایی مقدم، م.ح؛ ثقفی، م (۱۳۸۵)، «بررسی تحولات ژئومورفولوژیک پلایای کهک، استان خراسان جنوبی بر اساس روش‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و منطق فازی»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۴، صص ۶۰-۴۳.
- ربیعی، ح.ر؛ ضیائیان، پ؛ علی محمدی، ع (۱۳۸۴)، «کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی»، *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، شماره ۹، صص ۱۹-۳۲.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., (2004), "Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review", *International Journal of Remote Sensing*, 25: 1565-1596.
- Dewan, A.M., Yamaguchi, Y., (2009), "Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization", *Applied Geography*, 29: 390-401.
- Fan, F., Wang, Y., Wang, Z., (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 (1-3): 127-147.
- Foody, G. M., (2000), "Mapping Land Cover from Remote Sensed Data with a Softened Feed forward Neural Network Classification", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 29 (4): 433-440.

- Freitas, S.R., Mello, M.C.S., Cruz, C.B.M., (2005), "Relationship between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest", *Forest ecology and management*, 218: 353-362.
- Chester, L., Arnold, Jr.C., Gibbons, J., (1996), "Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator", *Journal of the American Planning Association*, 62: 243-258.
- Jat, M. K., Garg, P.K., Khare, D., (2008), "Monitoring and modelling of urban sprawl using remotesensing and GIS techniques", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10: 26-43.
- Jensen, J., (1996), "*Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*", 2nd edn, Prentice-Hall, New Jersey, pp. 98.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E., (2004), "Change detection techniques", *International Journal of Remote Sensing*, 25 (12): 2365-2401.
- Lu, D., Weng, Q., (2006), "Use of impervious surface in urban land-use classification", *Remote Sensing of Environment*, 102: 146-160.
- Opeyemi, Z. A., (2006), "Change detection in land use and land cover using remote sensing data and GIS, Master thesis", Department of Geography, University of Ibadan.
- Pelorosso, R., Leone, A., Boccia, L., (2009), "Land cover and land use change in the Italian central Apennines: A comparison of assessment methods", *Applied Geography*, 29(1): 35-48.
- Powell, S. L., Cohen, W. B., Yang, Z., Pierce, J. D., Alberti, M., (2006), "Quantification of impervious surface in the Snohomish Water Resources Inventory Area of Western Washington from 1972–2006", *Remote Sensing of Environment*, 112:1895-1908.
- Ridd, M.K., Liu, J., (1998), "A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment", *Remote Sensing of Environment*, 63 (2): 95-100.
- Singh, A., (1989), "Digital change detection techniques using remotely sensed data", *International journal of remote sensing*, 10: 989-1003.
- Tachizuka, S., Hung, T., Ochi, S., Yasuoka, Y., (2002), "Monitoring of Long-term Urban Expansion by the use of Remote Sensing Image from Different Sensor", Asian conference on Remote Sensing, Nepal.
- Tole, L., (2008), "Changes in the built vs. non-built environment in a rapidly urbanizing region: A case study of the Greater Toronto Area, Computers", *Environment and Urban Systems*, 32 (5): 355-364.
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, O., Tang, C., Liang, Y., Huang, Z., (2006), "Evaluating urban expansion and land use change in Shijazhuang, China, by using GIS and remote sensing", *Landscape and Urban Planning*, 75 (1-2): 69-80.
- Yuan, F., Sawaya, K. E., Leoffelholz, B. C., Bauer, M. E., (2005), "Land cover classification and change analysis of the Twin cities (Minnesota) metropolitan area by multitemporal landsat remote sensing", *Remote sensing of environment*, 98 (2-3): 317-328.