

بکارگیری روش‌های سنجش ازدوری در شناسایی و برآورد تغییرات کاربری شهری مطالعه موردی: منطقه شهری کرج

میثم ارگانی^{۱*}، دکتر محمدرضا سراجیان^۲، دکتر سعید همایونی^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۲ دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^۳ استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۲/۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۸/۹/۲۱)

چکیده:

کمبود اطلاعات شهری برنامه‌ریزی‌ها و نتایج مسائل شهری را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و بعضاً موجب اتلاف سرمایه‌های ملی انسانی و اقتصادی می‌گردد. در این میان شاید بتوان گفت که نقش اطلاعات مکانی و به خصوص کاربری‌های شهری بسیار مهم و تعیین‌کننده است. سنجش از دور یکی از فناوری‌های نوینی است که می‌توان از آن برای گردآوری و تحلیل اطلاعات مکانی شهرها و پیگیری روند توسعه آنها بهره‌فراوان برد. در این مقاله روشی برای کشف و ارزیابی تغییرات کاربری شهری در اثر رشد و توسعه شهری در یک بازه زمانی خاص ارائه و بررسی شده است. ایده اصلی این تحقیق بر پایه جداسازی طیفی عوارض و پدیده‌های شهری که توسط سنجنده ماهواره‌ای تصویربرداری شده، استوار است. مزیت این روش دستیابی به دقت‌های بالاتر و در حد زیر-پیکسل از تصاویر ماهواره‌ای برای تغییرات کاربری شهری است. این روش بر روی دو سری از تصاویر ماهواره‌ای که در سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹ توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای TM و ETM+ از منطقه شهری کرج اخذ شده بود به صورت زنجیره‌ای از پردازش‌ها پیاده‌سازی شد و نتایج آن با مشاهدات میدانی و نقشه‌های موجود ارزیابی شد. نتایج این تحقیق بیانگر رشد شهری ۸۶ درصد و تغییرات کاربری اراضی این منطقه در بازه زمانی فوق هستند.

واژه‌های کلیدی:

توسعه شهری، تغییرات کاربری اراضی، کشف تغییرات، تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های سنجش از دوری.

مقدمه

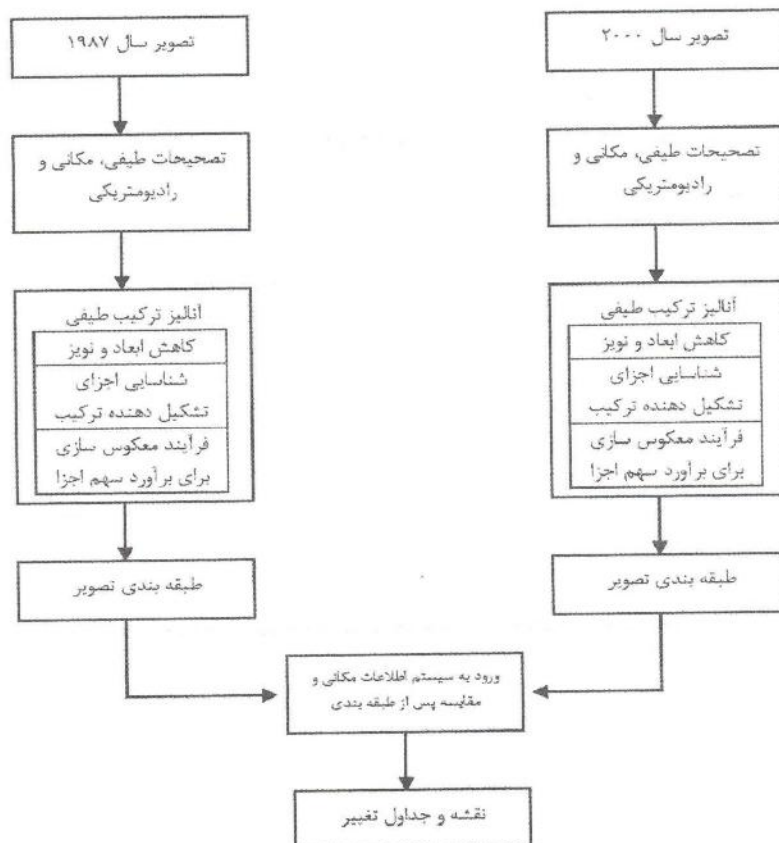
خصوصیات پدیده مورد بررسی می باشد.

هدف از این تحقیق عبارت است از بررسی تصاویر ماهواره‌ای لندست به جهت نظارت بر توسعه شهر کرج در یک بازه زمانی ۱۳ ساله از ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ میلادی. این نوع تصاویر به دلیل ابعاد طیفی و پیکسلی، برای چنین مطالعاتی مناسب هستند. به دلیل پیچیدگی‌های ذکر شده در منطقه شهری، باید پیکسل‌های تصویر که به علت ابعاد بزرگشان روی زمین به صورت مخلوطی از چند عارضه هستند، با استفاده از روش آنالیز ترکیب طیفی به اجزای تشکیل دهنده خود تجزیه شوند. در آنالیز ترکیب طیفی سه مرحله دنبال می شود؛ هدف مرحله اول رسیدن به ابعاد بهینه داده‌های طیفی و کاهش نویز احتمالی موجود در آنها است. در مرحله دوم اجزای اصلی تشکیل دهنده ترکیب فضای طیفی منطقه مورد مطالعه که شامل عناصر خالص موجود در تصویر که سایر عناصر مرکب؛ ترکیبی از آنها می باشند به دست آمده و نهایتاً در مرحله سوم فراوانی اجزای فوق در تصویر با استفاده از الگوریتم‌های معکوس گیری به دست می آید. به این ترتیب فضای طیفی موجود به فضایی با خصوصیات فیزیکی تبدیل می شود که می تواند مبنای طبقه بندی قرار گیرد.

سپس بر اساس طبقه بندی تصاویر در فضای فیزیکی ایجاد شده، نقشه‌های کاربری زمین استخراج و با یکدیگر مقایسه می گردند. نتیجه این پردازش‌ها، نقشه‌ها و جداول تغییرات خواهد بود که تفسیر آنها پاسخ گوی بسیاری از مسائل شهری خواهد بود.

یک محیط شهری در واقع مجموعه‌ای از عوارض و پدیده‌هاست با ویژگی‌های گوناگون. این پدیده‌ها شامل پدیده‌های طبیعی و عوارض ساخت دست بشر هستند. در این میان بسیاری از خدمات و مسائل شهری نیازمند مدیریت جامع و کارا، مستقیم و یا غیر مستقیم به این پدیده‌ها مرتبط می شوند. آنچه در مدیریت شهری کمی پیچیده‌تر به نظر می رسد، بررسی پیشینه و آینده مسائل شهری به منظور ارائه یک برنامه مدون با در نظر الگوی توسعه و پیشرفت یک محیط شهری است. برای یک چنین برنامه ریزی قطعاً اطلاعاتی از چگونگی این تغییرات و مدل توسعه مکانی شهر در اثر گذشت زمان نقش حیاتی دارد. یکی از کاربردهای مهم تجزیه و تحلیل آشکارسازی تغییرات، پیش بینی وضعیت آینده بر مبنای روند تغییرات انجام شده در گذشته می باشد (یاالله، ۱۳۸۲، ۲۰). بنابراین اگر پدیده‌ها در مقاطع مختلف زمانی بررسی شده و مدل سازی گردند، می توان مدل فوق را برای بازه‌های زمانی در آینده به کار برد و برخی مسائل که ممکن است به بحران تبدیل شوند را پیش بینی نمود.

آشکارسازی تغییرات عبارتست از فرآیند تعیین تفاوت‌ها و اختلاف‌ها در حالت یک شیء یا یک عارضه بوسیله مشاهده آن شیء یا عارضه در زمان‌های مختلف (Singh, 1989, 989). به کمک آشکارسازی تغییرات در یک محیط می توان رابطه‌ای منطقی بین انسان و محیط و تأثیرات هر یک بر دیگری یافت و به این ترتیب منابع و محیط زیست را مدیریت نمود. یکی از عوامل مهم در تشخیص تغییرات، شناسایی



نمودار ۱- مراحل اجرایی تحقیق.
(ماخذ: نگارندگان)

و مکانی بیشینه باشند تا امکان کشف تغییرات ناشی از گذر زمان و توسعه محیط شهری قابل استخراج باشد. اما اختلاف زمانی در اخذ تصاویر که مبنای کار برای چنین کاربردی است موجب ایجاد ناهمسانی در داده‌های تصویری می‌شود. لذا مرحله پیش پردازش تصاویر سنجش از دوری اهمیت نسبتاً زیادی پیدا می‌کند. این مرحله شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و طیفی هر تصویر به صورت مستقل و سپس همسان سازی مجموعه تصاویر از لحاظ مکانی و طیفی می‌باشند.

تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی به منظور حذف اثرات ناخواسته ناشی از تفاوت در حساسیت سنجنده‌های مختلف و یا اثرات محیطی و طبیعی موجود روی انرژی گسیل شده از مواد سطح زمین اعمال می‌شود. روش‌های متفاوتی جهت حذف این خطاها وجود دارد. به عنوان نمونه روش‌های کالیبراسیون یا نرمالیزاسیون به فراوانی بروی داده‌های سنجش از دوری به کار گرفته شده‌اند (Barker et al, 1985, 47) در مورد تصاویر Landsat، می‌توان به کمک دو مقدار رادیانس طیفی محاسبه شده توسط سنجنده (با استفاده از تنظیم کننده‌های داخلی Internal Calibrator که بین تلسکوپ و آشکارسازهای سنجنده قرار دارند و در پایان هر اسکن محاسبه و ثبت می‌شوند)، مقادیر عددی اولیه را به مقادیر کالیبره شده تبدیل کرد. این مقادیر برای تمام صحنه کامل یک تصویر و برای هرپاند به صورت مجزا ثابت هستند (Markham & Barker, 1985, 697). تبدیل مقادیر عددی ارسال شده از سنجنده به مقادیر رادیانس طیفی برای داده‌های ماهواره لندست توسط رابطه (۱) و با فرض معلوم بودن حدود بالایی و پائینی رادیانس در هر پاند بدست می‌آید (Barker et al, 1985, 47):

$$L_{\lambda} = L_{\min_{\lambda}} + \left(\frac{L_{\max_{\lambda}} - L_{\min_{\lambda}}}{Q_{cal, \max}} \right) Q_{cal} \quad (1)$$

در این رابطه Q_{cal} عبارت است از مقادیر عددی هر پیکسل از تصویر (DN)

$L_{\min_{\lambda}}$ عبارت است از رادیانس طیفی در کمترین مقدار عددی یعنی $Q_{cal} = 0$

$L_{\max_{\lambda}}$ عبارت است از رادیانس طیفی در بیشترین مقدار عددی یعنی $Q_{cal} = Q_{cal, \max}$

$Q_{cal, \max}$ عبارت است از بزرگترین مقدار ممکنه در دامنه مقادیر عددی پیکسل‌های تصویر

و L_{λ} عبارتست از رادیانس طیفی، واحد رادیانس طیفی ارائه شده در این رابطه عبارتست از میلی وات بر سانتی متر مربع بر استرادیان بر میکرومتر ($mW \cdot cm^{-2} \cdot ster^{-1} \cdot \mu m^{-1}$).

برای تصحیح تصاویر مورد استفاده در این مطالعه، مقادیر DN

تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ با استفاده از رابطه فوق به رادیانس تبدیل شده‌اند. مقادیر $L_{\min_{\lambda}}$ و $L_{\max_{\lambda}}$ از اطلاعات تکمیلی همراه تصاویر که توسط Goddard Space Flight Center (GSFC) NASA'S محاسبه شده‌اند، استخراج شده و مورد استفاده قرار گرفت.

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه جغرافیایی مورد مطالعه در این تحقیق عبارتست از محدوده مرکزی شهرستان کرج، رجائی‌شهر، مهرشهر و قسمتی از منطقه فردیس که در ۳۰ کیلومتری غرب تهران واقع شده است. این محدوده بین طولهای ۵۴°۵۰' و ۵۱°۰۲' شرقی و عرض‌های ۲۵°۴۶' و ۲۵°۵۳' شمالی واقع شده که مساحتی در حدود ۱۶۴۵۰ هکتار را دربرمی‌گیرد. بافت منطقه بیشتر به صورت مسکونی و صنعتی است که به دلیل سابقه فضای سبز تاریخی آن می‌توان مناطق زراعی و باغات را نیز در کنار فضای سبز طبیعی مشاهده کرد. داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده شامل دو تصویر از ماهواره Landsat 5 & 7 است. تصویر اول توسط سنجنده TM در تاریخ ۱۳۶۶/۴/۷ و تصویر دوم توسط سنجنده ETM+ در تاریخ ۱۳۷۹/۵/۳ از همین منطقه برداشت شده است. نگاره ۱ یک پنجره ۴۵۰ در ۴۵۰ پیکسلی از تصاویر ترکیب رنگی طبیعی حاصل از باندهای ۳، ۲ و ۱ در تاریخ اول و دوم را نمایش می‌دهد.



نگاره ۱ - تصویر ترکیب رنگی ۱، ۲، ۳ منطقه کرج،
ناخذ: (پالا: سال ۱۹۸۷: Landsat 5-TM،
پایین: سال ۲۰۰۰، Landsat 7-ETM+)

پیش پردازش داده‌ها

یکی از عواملی که دستیابی به نتایج دقیق و قابل اطمینان در فرآیند کشف تغییرات را فراهم می‌کند، کیفیت و ویژگی داده‌های تصویری مورد استفاده است. این داده‌ها باید دارای همسانی طیفی

با تقریب بسیار خوبی می توان رفتار آنها را خطی در نظر گرفت. به این ترتیب سهم هر یک از اجزای تشکیل دهنده ترکیب در پاسخ طیفی برای هر پیکسل بدست می آید. تصاویر حاصل از جداسازی طیفی در فضای طیفی جدید در برگیرنده فراوانی های عوارض و کلاس های طیفی موجود در تصویر است و تعداد باندهای آن متناسب با تعداد اجزای تشکیل دهنده ترکیب خواهد بود.

در این تحقیق از مدل ترکیب خطی برای جداسازی طیفی استفاده شده است. به عبارت دیگر، فرض بر این بوده که سطح هر پیکسل به صورت خطی بر اساس نسبت پدیده های موجود به چند قسمت تبدیل شده و در مقابل نور تابیده شده به پدیده ها به صورت خطی پاسخ انعکاسی داده است. رابطه در نظر گرفته شده برای این مدل رابطه خطی زیر بوده و هدف یافتن نسبت اجزا یا مقادیر در آن است (کشوا و همکاران، ۲۰۰۰، ۴۲):

$$x = a_1 s_1 + a_2 s_2 + \dots + a_M s_M + w \quad (3)$$

$$= \sum_{i=1}^M a_i s_i + w = Sa + w$$

که در اینجا M تعداد اجزای تشکیل دهنده ترکیب، S ماتریس اجزای تشکیل دهنده ترکیب و w عبارتست از خطای بوجود آمده در اثر نویز ناشی از سنجنده، خطای مقادیر عددی در نظر گرفته شده برای اجزای ترکیب و سایر مواردی که در مدل در نظر گرفته نشده اند. در این مدل خطی ترکیب، اگر به مسأله بصورت فیزیکی توجه شود مقادیر بدست آمده برای a_i ها که همان نسبت اجزا هستند نباید عددی منفی باشد و مجموع آنها باید عدد یک گردد.

کاهش ابعاد و نویز

هدف این مرحله کاهش ابعاد طیفی داده ها و تبدیل داده ها به یک فضای طیفی جدید با ابعاد کمتر و با حفظ ویژگی های طیفی داده های اصلی است. برای این منظور از الگوریتم کسر بیشترین نویز (Maximum Noise Fraction (MNF) استفاده شده است. روش MNF یک الگوریتم آماری غیر پارامتریک است که نسبت سیگنال به نویز را در داده ها بهینه می سازد. مقادیر ورودی این الگوریتم تمام داده های موجود در تصویر و مقادیر خروجی آن بردارها و باندهای غیر متعامد می باشد (Eklundh & Singh, 1993, 1359). این تبدیل در عمل با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و ماتریس همبستگی انجام می شود.

به صورت خلاصه، پیاده سازی تبدیل MNF از دو تبدیل تحلیل مؤلفه اصلی تشکیل شده است. تبدیل اول بر اساس تخمین ماتریس همبستگی نویز، نویز موجود در اطلاعات را به صورت غیرهمبسته بازسازی نموده و همبستگی بین نویز موجود در باندهای تصویر را از بین می برد. نتایج به دست آمده از این روش مقادیر تبدیل یافته ای هستند که نویز در آنها واریانس واحد داشته و بین اطلاعات موجود در باندها هیچ همبستگی وجود

در کاربردهای آشکارسازی تغییرات لازم است اثرات اتمسفری از تصاویر حذف شده و تغییرپذیری بین باندها بوسیله عادی سازی (normalization) تابش خورشیدی کاهش یابد. این کار با استفاده از تبدیل مقادیر تابش طیفی ثبت شده به مقادیر بازتاب طیفی با استفاده از معادله زیر امکان پذیر است (et al, 1985, 47):

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{sun_\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (2)$$

که در آن:

ρ_p عبارتست از رفلکتانس کلی موثر که کمیتی بدون بعد می باشد. L_λ عبارتست از تابش طیفی با واحد که از رابطه (۱) به دست آمده است.

d عبارتست از فاصله بین زمین تا خورشید در واحد نجومی E_{sun_λ} عبارتست از تابش خورشیدی متوسط، مقادیر E_{sun_λ} با استفاده از جداولی که به همین منظور تهیه شده اند استخراج می شود θ_s عبارتست از زاویه خورشیدی به درجه.

تجزیه و تحلیل جداسازی طیفی

از آنجا که ابعاد پیکسل ها عموماً به اندازه ای هستند که چند عارضه مختلف را شامل می شوند، بنابراین ابتدا با استفاده از روش تحلیل ترکیب طیفی سعی می شود تا اجزای تشکیل دهنده ترکیب در پیکسل ها و یا به عبارت دیگر نسبت هر یک از کلاس های طیفی پیکسل برآورد گردد. این اجزا می توانند شامل عوارض و اشیای موجود در طبیعت نظیر آب، خاک، گیاه و عوارض مصنوعی ساخت بشر باشند. فرآیند جداسازی طیفی سه مرحله کلی زیر را دنبال می کند:

۱- کاهش ابعاد

۲- شناسایی اجزای تشکیل دهنده

۳- فرآیند معکوس سازی برای برآورد سهم اجزا

در مرحله کاهش ابعاد سعی می شود ابعاد طیفی داده های تصویری کاهش یابد تا حجم داده های مورد پردازش، حجم محاسبات و میزان فضای مورد نیاز جهت ذخیره سازی داده ها کمینه شود. اصولاً در داده های چند طیفی همبستگی بالایی بین باندها مختلف وجود دارد و ابعاد طیفی واقعی پدیده ها با آنچه اطلاعات چند طیفی در اختیار می گذارند تفاوت می کند. در مرحله دوم اجزای تشکیل دهنده ترکیب تعیین می گردند. موضوع مهم در این مرحله شناسایی پیکسل های خالص تصویر می باشد که نماینده هر یک از عوارض موجود هستند و فرض می شود تمامی سطح آنها پوشیده از عارضه یا کلاس طیفی خاصی می باشد. در مرحله سوم، فرآیند معکوس سازی برای رابطه خطی یا غیرخطی در نظر گرفته شده برای ترکیب پیاده سازی می شود. از آنجا که پدیده ها در این مطالعه پدیده هایی با مقیاس ماکروسکوپی هستند



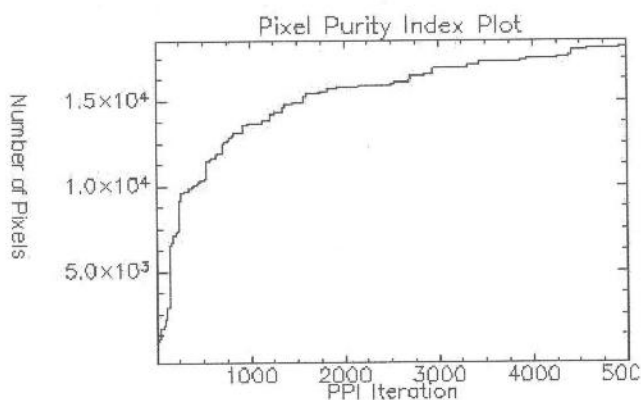
دو مرحله زیر پیاده سازی می‌گردد.

مرحله اول شامل یافتن تعداد محدودی پیکسل از میان تمام پیکسل‌های موجود در تصویر است که نمایش دهنده تنوع طیفی عناصر موجود در تصویر هم هست. این مرحله، در فضای ویژگی‌ها، منجر به تشکیل ابر داده‌ها می‌گردد که علاوه بر منحصر به فرد بودن، بیانگر توزیع و پراکندگی طیفی آن تصویر نیز هست. مرحله دوم، برآزش یک سطح هندسی بر ابر داده‌ها است که به بهترین شکل ممکن آن را در بر بگیرد. بر خلاف مرحله قبل یافتن چنین شکل هندسی منحصر به فرد نبوده و بسته به روش مورد استفاده، در سطوح مختلفی تعریف می‌شود و لذا یافتن بهترین سطح کمی مشکل به نظر می‌رسد. چنین سطح فضایی که قرار است بر اطلاعات پیکسل‌ها با ابعاد طیفی n بعدی محیط شود دارای $n+1$ راس خواهد بود. سطح فضایی فوق می‌تواند خیلی بزرگ باشد، ولی در صورتی که با استفاده از الگوریتم‌های کاهش حجم به کوچکترین حالت خود برسد می‌تواند نمایش دهنده اجزای خالص تشکیل دهنده ترکیب باشد به نحوی که این پیکسل‌های خالص در رئوس شکل هندسی فضایی فوق قرار خواهند گرفت. در عمل برای پیاده سازی این مرحله از مفهومی به نام اندیس خلوص پیکسل (Pixel Purity Index-PPI) استفاده می‌شود. در این روش به صورت تکراری عملیات تصویر کردن پیکسل‌ها به فضای S انجام شده و تعداد دفعاتی که هر پیکسل به عنوان پیکسل خالص در رأس سطح هندسی فوق قرار می‌گیرد به عنوان اندیس خلوص ذکر می‌شود. در آخر پیکسل‌هایی که بیشترین تعداد حضور در رئوس سطح را داشته‌اند به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده ترکیب معرفی می‌شوند (Craig, 1994, 99). نگاره‌های ۳ و ۴ نمایش دهنده منحنی‌های تعداد پیکسل شرکت کننده در اندیس PPI، به همراه تعداد تکرار الگوریتم برای تصاویر مورد مطالعه در سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ هستند. همان‌طور که دیده می‌شود منحنی حالت صعودی دارد، یعنی با افزایش تعداد دفعات اجرای الگوریتم، پیکسل‌های خالص در نوبت‌های بیشتری به عنوان اجزای اصلی تشکیل دهنده ترکیب ظاهر شده‌اند و زمانی که شیب منحنی به سمت خط افقی میل می‌کند، نشان دهنده کافی بودن تعداد تکرارها است.

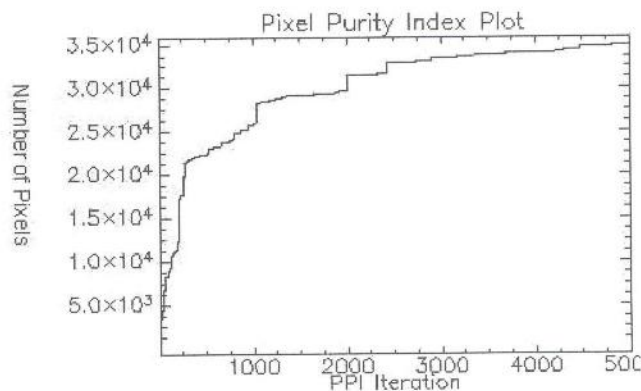
تبدیل دوم به صورت یک تبدیل مؤلفه اصلی استاندارد روی داده‌های تبدیل یافته از مرحله قبل انجام می‌گیرد و نتایج استخراج شده در این مرحله به صورت باندهایی که ترتیب قرارگیری آنها از باند با کمترین نویز تا باند آخر با بیشترین نویز می‌باشد. در واقع باندهای ابتدایی بیشترین انحراف معیار از نویز و باندهای انتهایی کمترین انحراف معیار را خواهند داشت و ممکن است تماماً نویز و بدون وضوح تصویر باشند (1993, 1359 Eklundh & Singh). نگاره ۲ نتایج پیاده سازی الگوریتم MNF را بر روی تصاویر ۶ باندهای ETM+ سال ۲۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه نمایش می‌دهد (نگاره ۲).

شناسایی اجزای تشکیل دهنده ترکیب

هدف این مرحله شناسایی عناصر خالص موجود در تصویر (Endmembers) در منطقه مورد مطالعه است. این اجزا به عنوان ستون‌های ماتریس S در رابطه (۲) استفاده می‌شوند که عناصر تشکیل دهنده پاسخ طیفی هر پیکسل هستند. یکی از روش‌هایی که برای شناسایی اجزای تشکیل دهنده ترکیب مورد استفاده قرار می‌گیرد، روشی مبتنی بر شناسایی هندسی اجزا است. در الگوریتم‌های هندسی، فرض بر این است که عناصر خالص سازنده ترکیب طیفی در منتهی الیه احجام به وجود آمده از ابر نقاط قرار دارند. لذا می‌توان با برآزش یک سطح هندسی بر ابر نقاط، عناصر خالص را در رئوس شکل هندسی فوق جستجو کرد (Craig, 1994, 99). در واقع یافتن تعداد عناصر خالص موجود در تصویر امری بسیار پیچیده و دشوار است. معمولاً ابعاد طیفی به دست آمده به وسیله الگوریتم‌های کاهش ابعاد، با توجه به الگوریتم‌های هندسی برآزش سطوح بر ابر نقاط، بیانگر تعداد اجزای تشکیل دهنده ترکیبی است. منتهی برای در نظرگرفتن پدیده‌های ناشناخته و نویزهای احتمالی، به این تعداد عدد یک افزوده می‌شود و بعد واقعی فضای طیفی برآورد می‌شود (2007 Chang). در عمل، داده‌های فراطیفی در فضای چند بعدی اولیه، داخل یک حجم چند وجهی فرض می‌شوند. اجزای خالص ترکیب طیفی در این داده‌ها یعنی پیکسل‌هایی با بیشترین درجه خلوص در پاسخ طیفی نسبت به مواد متشکله موجود در سطح پیکسل هستند. برای شناسایی این اجزای خالص در روش‌های هندسی،



نگاره ۴ - منحنی تعداد پیکسل‌های شرکت کننده در اندیس PPI مربوط به تصویر سال ۲۰۰۰. (ماخذ: نگارندگان)



نگاره ۳ - منحنی تعداد پیکسل‌های شرکت کننده در اندیس PPI مربوط به تصویر سال ۱۹۸۷. (ماخذ: نگارندگان)

نواحی اطراف آن می‌باشد. در میان مؤلفه‌های حاصل برای این منطقه؛ چند جزء تشکیل دهنده ترکیب در منطقه که بیانگر حضور عناصری چون خاک، اراضی زراعتی، پوشش گیاهی و مناطق شهری هستند؛ به خوبی قابل تفسیر می‌باشند. به عنوان مثال مؤلفه چهارم نشاندهنده فراوانی عناصری با پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است.

طبقه‌بندی تصاویر

در این مرحله اطلاعات و نتایج به دست آمده از تجزیه طیفی، به کلاس‌های مورد نظر طبقه‌بندی می‌شوند. برای طبقه‌بندی با نظارت از الگوریتم طبقه‌بندی بیشترین شباهت (MLC - Classification Maximum Likelihood) استفاده شده است.

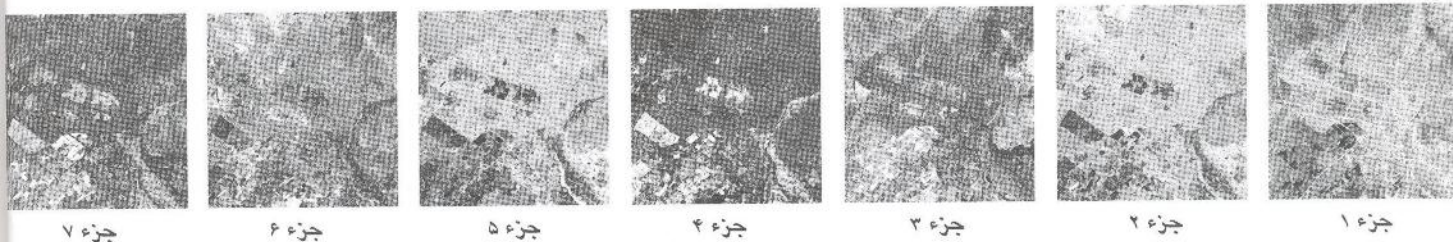
در مرحله معرفی داده‌های آموزشی سعی شده تا از نتایج مرحله آنالیز ترکیب طیفی جهت شناسایی پیکسل‌ها با درجه خلوص بیشتر برای دسته‌های مورد نظر در طرح طبقه‌بندی بیشترین استفاده صورت پذیرد و کلاس‌های آموزشی به بهترین شکل معرفی گردند. در این مرحله نتایج حاصل از اجرای الگوریتم آنالیز ترکیب طیفی، یعنی باندهای فراوانی اجزای تشکیل دهنده ترکیب طیفی، به عنوان داده‌های ورودی طبقه‌بندی MLC استفاده شده‌اند و فضای مرسوم طبقه‌بندی که فضای طیفی می‌باشد، تبدیل به فضایی با مفهوم فیزیکی برای طبقه‌بندی گردیده است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی در نگاره ۶ و هیستوگرام تصاویر طبقه‌بندی شده به روش با نظارت در نگاره‌های ۷ و ۸ نشان داده شده‌اند.

اجزای تشکیل دهنده ترکیب حاصل، می‌تواند به صورت مستقیم در کاربردهایی چون تناظر یابی طیفی برای مقایسه امضای طیفی مواد و پدیده‌های زمینی جمع آوری شده در کتابخانه‌های طیفی، و به منظور تولید نقشه پراکندگی مواد یا نقشه پوشش کاربری بکار رود. در این تحقیق از این اجزاء برای شناسایی عناصر خالص تشکیل دهنده ترکیب طیفی استفاده شد.

فراوانی اجزای ترکیب

در این مرحله خروجی اصلی فرآیند جداسازی ترکیب، یعنی سهم اجزای تشکیل دهنده ترکیب در هر پیکسل تعیین می‌شود. به عبارت دیگر مقادیر در رابطه خطی ارائه شده جهت مدل نمودن ترکیب، به دست می‌آیند. این کار از طریق حل مسئله معکوس برای مدل ترکیب خطی به روش غیر آماری و غیر پارامتریک کمترین مربعات بدون قید (Unconstrained Least Squares - ULS) با فرض شرط فیزیکی جمع‌پذیری (ULS with full additivity) پیاده‌سازی می‌شود. شرط جمع‌پذیری تضمین کننده مجموع مقادیر ماتریس a یعنی مجموع سهم‌ها برابر مقدار یک است ($\sum_{i=1}^M a_i = 1$).

نگاره ۵ نتایج به دست آمده برای تصویر سال ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. این نگاره شامل هفت باند تبدیل یافته از تصویر اصلی می‌باشد که در آنها مقادیر عددی پیکسل‌های هر مؤلفه نماینده نسبت یکی از اجزای تشکیل دهنده ترکیب یا فراوانی آنها در تصویر اولیه است. در این مؤلفه‌ها مقادیر روشن‌تر بیانگر فراوانی بزرگتر و یا حضور بیشتر یک عنصر در پیکسل‌های آن ناحیه نسبت به



نگاره ۵ - فراوانی اجزای تشکیل دهنده ترکیب در تصویر سال ۲۰۰۰. (ماخذ: نگارندگان)



پوشش گیاهی مناطق مسکونی



مناطق صنعتی و تجاری اراضی مزروعی اراضی بایر

نگاره ۶ - تصویر طبقه‌بندی شده (راست: سال ۱۹۸۷ و چپ: سال ۲۰۰۰). (ماخذ: نگارندگان)

ایجاد نقشه تغییر با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی

دو تصویر طبقه‌بندی شده پیکسل به پیکسل یا یکدیگر مقایسه گردند. نتیجه این مقایسه نقشه و ماتریس تغییر می‌باشد. در نقشه تغییر اطلاعات مربوط به نوع و محل تغییرات و در ماتریس تغییرات، اطلاعات آماری تغییرات، یا اصطلاحاً اطلاعات from-to گنجانده شده است.

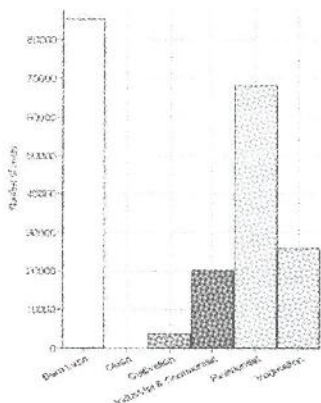
مرحله بعدی پس از پایان طبقه‌بندی تصاویر، ایجاد نقشه تغییر به روش مقایسه پس از طبقه‌بندی می‌باشد. به این منظور لازم است

نتیجه

افزون به مهاجرت به مناطق صنعتی و به ویژه پایتخت یعنی تهران می‌باشد. از طرفی با رشد جمعیت و عوامل کمبود و گرانی مسکن توجه افراد مهاجر به منطقه خوش آب و هوای کرج بیشتر گردید. طی سال‌های یاد شده اقبال عمومی به زندگی در این منطقه باعث رشد سریع جمعیت این ناحیه و تخریب پوشش گیاهی و اشغال مناطق کشاورزی و اراضی بایر اطراف این شهرستان گردیده است. اصولاً کرج از گذشته شهری غیرصنعتی و منطقه‌ای بیلاقی و مناسب جهت فعالیت‌های کشاورزی بوده است. اما با رشد سریع مناطق صنعتی در تهران و انتقال این صنایع به خارج شهر و بزرگراه‌های حد فاصل تهران و کرج، این شهرستان تبدیل به محل اسکان و زندگی کارگران و کارمندان صنایع فوق شده است. گواه این موضوع درصدهای رشد به‌دست آمده برای افزایش

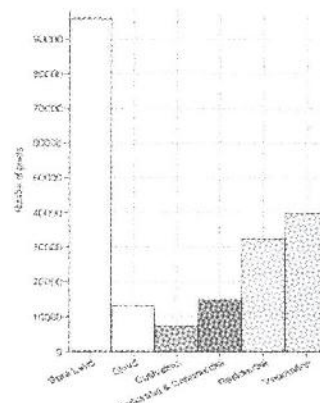
پس از استخراج نقشه و جدول تغییرات می‌توان به تفسیر نتایج استخراج شده پرداخت. با توجه به ماهیت رقومی نتایج به‌دست آمده و بر اساس مناطق و نوع تغییرات مشخص شده در نقشه و مقادیر آماری موجود در ماتریس تغییرات به بسیاری از پرسش‌های شهری در رابطه با نحوه تغییر، کمیت و کیفیت و محل وقوع آنها پاسخ داده می‌شود. از آنجا که چنین اظهار نظرهایی بر پایه اطلاعات و آمار مستند صورت گرفته‌اند، می‌توانند مبنای برنامه‌ریزی‌های بعدی و اتخاذ تصمیمات خرد و کلان شهری قرار گیرند.

درصد تغییرات و رشد مناطق مسکونی با توجه به آنچه در جدول ۲ آمده است مجموع دو مقدار ۱۷/۵۶ درصد رشد برای مناطق مسکونی و ۲/۵۷ درصد رشد برای مناطق صنعتی و تجاری یعنی تقریباً ۲۰ درصد رشد می‌باشد. این امر به دلیل توجه روز



نوع کاربری	تعداد پیکسل	درصد	مساحت (ha)
اراضی بایر	۸۵۵۷۱	۴۲۱۰۷	۶۹۵۰۱۵
گیاه	۲۵۷۸۲	۱۲/۶۸	۲۰۹۴/۱
زراعت	۳۷۱۰	۱/۸۲	۲۰۱/۳
تجاری	۲۰۲۲۵	۹/۹۴	۱۶۴۲/۸
مسکونی	۶۸۱۱۲	۳۳/۴۹	۵۵۲۲/۵
آبر	۰	۰/۰۰	۰

نگاره ۸ - هیستوگرام و جدول متناظر تصویر طبقه‌بندی شده سال ۲۰۰۰. (ماخذ: نگارندگان)



نوع کاربری	تعداد پیکسل	درصد	مساحت (ha)
اراضی بایر	۹۵۷۸۲	۴۷۰۰۹	۷۷۸۰/۰
گیاه	۳۹۲۹۷	۱۹/۵۷	۳۲۳۲/۵
زراعت	۷۳۰۱	۳/۵۹	۵۹۲۰
تجاری	۱۴۹۸۲	۷/۳۷	۱۲۱۶/۹
مسکونی	۲۲۳۹۹	۱۵/۹۳	۲۶۳۱/۶
آبر	۱۳۱۳۹	۶/۴۶	۱۰۶۷/۲

نگاره ۷ - هیستوگرام و جدول متناظر تصویر طبقه‌بندی شده سال ۱۹۸۷. (ماخذ: نگارندگان)



- مناطق شهری در سال ۱۹۸۷
- مناطق شهری توسعه یافته در سال ۲۰۰۰
- مناطق بدون تغییر

نگاره ۹- نقشه توسعه شهر از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰.
(مأخذ: نگارندگان)

بایر به مناطق مسکونی، معادل ۱۲/۵۶ درصد، تبدیل مناطق دارای پوشش گیاهی به مناطق مسکونی، معادل ۶/۰۲ درصد و تبدیل مناطق مزروعی به مسکونی، معادل ۰/۸۹ درصد بوده است. میزان گسترش شهر کرج ظرف مدت ۱۳ سال ۸۶ درصد یعنی

مناطق مسکونی نسبت به مناطق صنعتی طی سنوات مورد بررسی می باشد که تقریباً هفت برابر بوده است. نکته دیگر توجه به تخریب مناطق پوشش گیاهی به میزان ۶/۸۹ درصد و مناطق زیرکشت محصولات کشاورزی به میزان ۱/۷۷ درصد می باشد. بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۴ تبدیل اراضی

جدول ۱- اطلاعات کاربری زمین در سال های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰.

۲۰۰۰		۱۹۸۷		کاربری زمین
درصد	هکتار	درصد	هکتار	
۳۳/۴۹	۵۵۳۲/۵	۱۵/۹۳	۲۶۲۱/۶	مسکونی
۹/۹۴	۱۶۴۲/۸	۷/۳۷	۱۲۱۶/۹	صنعتی و تجاری
۴۳/۴۳	۷۱۷۵/۳	۲۳/۳	۳۸۴۸/۵	مجموع شهری
۴۳/۴۳	۷۱۷۵/۳	۲۳/۳	۳۸۴۸/۵	شهری
۴۲/۰۷	۶۹۵۰/۵	۴۷/۰۹	۷۷۸۰/۱۰	اراضی بایر
۱/۸۲	۳۰۱/۳	۳/۵۹	۵۹۳/۰	مزروعی
۱۲/۶۸	۲۰۹۴/۱	۱۹/۵۷	۳۳۳۲/۵	پوشش گیاهی
۰/۰	۰/۰	۶/۴۶	۱۰۶۷/۲	آبر
۱۰۰	۱۶۵۲۱/۲	۱۰۰	۱۶۵۲۱/۲	مجموع منطقه مورد مطالعه

(مأخذ: نگارندگان)

جدول ۲- رشد مناطق شهری.

دوره زمانی	متوسط حسابی رشد		مدت زمان (سال)	رشد		مساحت مناطق شهری (ha)	سال
	(سال / هکتار)	(سال / درصد)		درصد	هکتار		
۱۹۸۷-۲۰۰۰	۶/۶۵	۲۵۵/۹۱	۱۳	۸۶/۴۴	۳۳۲۶/۸	۳۸۴۸/۵	۱۹۸۷
						۷۱۷۵/۳	۲۰۰۰

(مأخذ: نگارندگان)

جدول ۳- درصد تغییرات کلاس ها.

کلاس	تغییر به درصد
مسکونی	+۱۷/۵۶
صنعتی و تجاری	+۲/۵۷
پوشش گیاهی	-۶/۸۹
اراضی بایر	-۵/۰۲
مزروعی	-۱/۷۷

(مأخذ: نگارندگان)

جدول ۴- تغییرات از کلاس‌های غیر شهری به کلاس‌های شهری.

مساحت کلاس‌های کاربری زمین به هکتار			از ↓ به ←	دوره زمانی
مجموع مناطق جدید شهری	صنعتی و تجاری	مسکونی		
۲۵۸۷/۰	۵۱۲/۰	۲۰۷۵/۰	اراضی بایر	۱۹۸۷
۱۶۷/۰	۲۰/۰	۱۴۷/۰	مرزوعی	-
۱۲۲۴/۷	۲۸۰/۸	۹۹۲/۹	پوشش گیاهی	-
۴۰۲۸/۷	۸۱۲/۸	۲۲۱۵/۹	مجموع	۲۰۰۰

(مأخذ: نگارندگان)

می‌شود و اگر چنین روندی را با سرعت مشابهی برای تهران در نظر بگیریم، دیری نمی‌پاید که دو ابر شهر تهران و کرج به یکدیگر بپیوندند. در این بین مسلماً آنچه تخریب شده و به شهر تبدیل می‌شود، بر اساس مطالعات صورت گرفته، منابع و اراضی طبیعی و پوشش گیاهی می‌باشد. لذا به برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت اصولی در خصوص کنترل شرایط حاضر به وسیله برنامه‌ریزان و مدیران شهری نیاز خواهد بود.

تقریباً دو برابر بوده است و بنابراین متوسط حسابی تغییر برای هر سال ۶/۶۵ درصد خواهد بود. اگر فرض خطی بودن گسترش شهر را همچنان در نظر بگیریم و نتایج به دست آمده تا سال ۲۰۰۰ را برای سال ۲۰۰۸ تعمیم دهیم به این نتیجه خواهیم رسید که نسبت به سال ۱۹۸۷، بعد از گذشت ۲۱ سال از نقطه آغازین مطالعه، گسترش شهر به چیزی در حدود ۳ برابر رسیده است. بنابراین هر ۷ سال یک برابر به مساحت شهر کرج اضافه

فهرست منابع:

ارگانی، میثم (۱۳۸۵)، نظارت بر توسعه مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به روش آنالیز ترکیب طیفی و مقایسه پس از طبقه‌بندی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
یاالله، سید محمد (۱۳۸۲)، استخراج تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

- ADAMS, J. B., SABOL, D., KAPOV, V., FILHO, R. A., ROBERTS, D. A., SMITH, M. O., and GILLESPIE, A. R. (1995), Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazoⁿ. *Remote Sensing of Environment*, 52, 137-154.
- BARKER, J. L., ABRAMS, R. B., BALL, D. L. and LEUNG, K. C. (1985a), Radiometric calibration and processing procedure for reflective bands on Landsat-4 protoflight thematic mapper. *Landsat-4 science characterization early results: NASA Conf. Pub.* 2355. Greenbelt, MD (available NTIS, Acc. #N85-20508 [Vol. II]) 47-86.
- CHANG, C. (2007), *Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications*, Wiley-Interscience Publication
- CHEN, X. (2002), Using remote sensing and GIS to analyze land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 107-124.
- CRAIG, M. D. (1994), "Minimum-volume transforms for remotely sensed data," *IEEE Trans. Geosci. and Rem. Sens.* 32, pp. 99-109.
- EKLUNDH, L., and SINGH, A. (1993), A comparative analysis of standardized and unstandardized principal component analysis in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1359-1370.
- KESHAVA, N., KEREKES, J., MANOLAKIS, D. and SHAW, G. (2000), An algorithm taxonomy for hyperspectral Unmixing. *Proceeding of SPIE*, Vol. 4049, 42-63
- MARKHAM, B. L., and BARKER, J. L. (1985), Spectral Characterization of the Landsat Thematic Mapper Sensors. *Int. J. Remote Sensing*. 6(5):697-716.
- SETO, K. C., WOODCOCK, C. E., SONG, C., HUANG, X., LU, J., and KAUFMANN, R. K. (2002), Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 1985-2004.
- SILAPASWAN, C. S., VERBYLA, D. L., and MCGUIRE, A. D. (2001), Land cover change on the Seward Peninsula: the use of remote sensing to evaluate the potential influences of climate warming on historical vegetation dynamics. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27, 542-554.
- SINGH, A. (1989), Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 989-1003.
- TAYLOR, J. C., BREWER, T. R., and BIRD, A. C. (2000), Monitoring landscape change in the national parks of England and Wales using aerial photo interpretation and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 2737-2752.

- TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C. O., GURNEY, C., and MCMANUS, J. (1992), The effect of image misregistration on the detection of vegetation change. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30, 1054-1060.
- TOMPKINS, S., MUSTARD, J. F., PIETERS, C. M., and FORSYTH, D. W. (1997), Optimization of endmembers for spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, 59, 472-489.
- ZHANG, Q., WANG, J., PENG, X., GONG, P., and SHI, P. (2002), Urban build-up land change detection with road density and spectral information from multitemporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 3057-3078.