تهیه نقشه سطوح نفوذناپذیر به عنوان یک شاخص زیست محیطی

آزاده زائری امیرانی
کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر علیرضا سفیانیان
استادیار محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت شهری خصوصاً در راستای نیل به توسعه پایدار در نواحی شهری و استفاده بهینه از سرزمین، دسترسی به اطلاعات صحیح و به هنگام از وضعیت کاربری و پوشش اراضی شهری بسیار ضروری است. سطوح نفوذناپذیر یکی از اجزاء پوشش شهری به شمار می‌روند که نقش مؤثری در تغییر سیمای سرزمین و کیفیت محیط زیست شهری دارند. با توجه به اهمیت این سطوح، روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پوشش نفوذناپذیر و بررسی تغییرات آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. این روش‌ها را می‌توان در پنج گروه کلی: طبقه‌بندی زیرپیکسل، طبقه‌بندی شبکه عصبی، طبقه‌بندی با استفاده از مدل VIS، مدل رگرسیون درختی، آنالیز ترکیب طیفی خلاصه کرد. به طور کلی هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خود را داشته ولی اکثراً از آنها برای طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات سطوح نفوذناپذیر استفاده می‌شود. در این بررسی ضمن تشریح سطوح نفوذناپذیر و اهمیت آن، روش‌های مختلف نقشه‌سازی این سطوح به اختصار شرح داده شده است.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، سطوح نفوذناپذیر، طبقه‌بندی، آشکارسازی تغییرات.

مقدمه

توسعه فیزیکی شهرها فرآیندی پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضاهای کالبدی آن در جهات عمودی و افقی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابد، اگر این روند سریع و بی‌برنامه باشد، ترکیب فیزیکی مناسبی برای فضاهای شهری بوجود نخواهد آمد. بنابراین بدون برنامه‌ریزی کاربری اراضی نمی‌توان به الگوی بهینه زیست در شهرها دست یافت.[۵]

سطوح نفوذناپذیر به عنوان یکی از پوشش‌های اراضی، از گذشته به عنوان شاخصی از نواحی شهری به شمار می‌رفتند. امروزه میزان سطوح نفوذناپذیر و توزیع و تراکم آن در سیمای سرزمین شهری به عنوان یک شاخص مهم زیست محیطی و کیفیت سکونتگاه در نواحی شهری به حساب می‌آید. مطالعات بسیار زیادی در خصوص پیامدهای زیست محیطی سطوح نفوذناپذیر انجام شده است. بطوری که رابطه قوی میان میزان سطح نفوذناپذیر در مناطق مختلف شهری و درجه حرارت سطح زمین یا تأثیر جزیره گرمایی وجود دارد. همچنین آقای اسلونکر و همکاران (۲۰۰۱) طی مطالعه خود نشان دادند که می‌توان سطوح نفوذناپذیر را به عنوان شاخصی از منابع آلاینده غیرنقطه‌ای یا رواناب‌های سطحی آلوده در نظر گرفت. [۱۰] ایجاد تغییرات در سطح اراضی (شهرسازی)، تعادل بین رواناب، نفوذ، تبخیر و تعرق را بر هم می‌زند. مهمترین اثر توسعه شهری افزایش شدید رواناب سطحی است. گسترش سطوح نفوذناپذیر از جمله احداث ساختمان، سنگفرش پیاده‌روها، جاده و پارکینگ‌ها مقدار نفوذ را کاهش و رواناب را افزایش می‌دهد که این مسئله تأثیرات زیادی بر حجم سیلاب‌ها، کیفیت آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، آبهای زیرزمینی و کیفیت زیستگاه‌های آبی در نواحی شهری می‌گذارد. امروزه یکی از مشکلات اساسی مدیریت شهری خصوصاً در شهرهای بزرگ، کاهش و کنترل رواناب‌های سطحی می‌باشد.

در حال حاضر گسترش سطوح نفوذناپذیر یکی از مشکلات توسعه فیزیکی شهرها خصوصاً در شهرهای بزرگ است که تأثیرات زیادی بر چرخه هیدرولوژی و خرداقلیم منطقه دارند.[۳] در همین راستا طراحی نواحی و برنامه‌ریزی منطقه‌ای به منظور کاهش و فشرده کردن سطوح نفوذناپذیر می‌تواند به کم کردن تأثیرات منفی این سطوح تا حد زیادی کمک کند.

۱-سطح نفوذ ناپذیر چیست؟

سطح نفوذناپذیر (ISA)[1] به هرسطحی که توانایی تصفیه و قابلیت نفوذ آب را در خود ندارد، گفته می‌شود.[٦] این سطوح به دو دسته: 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. [۹] اغلب سطوح نفوذناپذیر مربوط به مسیرهای حمل و نقل است(نگاره۱).

نگاره۱: سهم سطوح نفوذناپذیر در دو بخش جاده‌ای و ساختمانی

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

۲- تأثیرات سطوح نفوذناپذیر بر محیط زیست منطقه

سطوح نفوذناپذیر اگرچه نشان دهنده درجه و میزان شهری شدن هستند، در عین حال از شاخص‌های مهم کیفیت محیط زیست شهری نیز بحساب می‌آیند. این سطوح ضمن اینکه بیانگر تشدید بهره‌برداری از زمین بوده‌اند، نشان دهنده افزایش میزان آلودگی در نواحی شهری نیز می‌باشند. از پیامدهای بارز افزایش سطوح نفوذناپذیر، کاهش کیفیت منابع آبی است. سطوح نفوذناپذیر با تغییر در چرخه هیدرولوژیکی تأثیرات اکولوژیکی و فیزیکی به همراه دارد. افزایش رواناب‌ها باعث افزایش فرسایش نواحی پایین دست رودخانه‌ها و نقاط کم ارتفاع و حاشیه‌های رودخانه می‌شود. بنابراین یکی از گسترده‌ترین اثرات توسعه شهری، تغییر در چرخه هیدرولوژی و مورفولوژی جریان آب باران است به طوری که شهرسازی درصد نفوذناپذیری سطوح آبخیز را نسبت به بارش افزایش می‌دهد. در نتیجه حجم رواناب و دبی اوج سیلاب افزایش می‌یابد.

مهندسان برای کنترل جریان‌های سیلابی با اقداماتی نظیر: تقسیم رودخانه‌ها، کانال‌زنی، سدسازی و لوله‌گذاری‌های متعدد، باعث افزایش تخریب بسترهای رودخانه و زیستگاه‌های مرتبط نظیر تالابها و باتلاق‌ها شده‌اند. نهایتاً، با افزایش شدت بهره‌برداری از زمین، آلودگی‌ها نیز گسترش می‌یابند. افزایش رواناب‌ها منجر به افزایش انتقال مستقیم این آلاینده‌ها به مسیرهای آبی شده و منابع آلاینده غیرنقطه‌ای یا رواناب‌های آلوده را بوجود می‌آورند.[۹]

آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) با مطالعات زیادی که در حوزه‌های آبخیز مختلف به عنوان واحدکار ارزیابی و طراحی با هدف مطالعه سطوح نفوذناپذیر انجام داد،[۱] سرانجام در سال ۲۰۰٤ نشان داد که تأثیرات تجمعی سطوح نفوذناپذیر با افزایش بیش از ۱۰% نفوذناپذیری ایجاد شده و حفظ آستانه ۱۰% اقدامی در جهت حفاظت از حوزه‌های آبخیز خواهد بود.[۲]

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 بوجود می‌آورند. اما عامل مهم دیگر وجود ساختمان‌های فراوان و زمین‌هایی با پوشش نفوذناپذیر است که به عنوان جذب کننده‌های حرارت خورشید عمل می‌کنند. مصالحی نظیر بتن، آسفالت و سنگ که در کف‌سازی خیابان‌ها، پشت‌بام‌ها، پارکینگ‌ها و ساخت بناهای شهری استفاده می‌شوند، در طول روز انرژی خورشید را به شدت جذب می‌کنند. این مسئله منجر به افزایش درجه حرارت 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 ۸-٦ درجه فارنهایت شود. بعلاوه تأثیر جزیره گرمایی به معنی افزایش بیلان انرژی است که برای مقابله با این فرایند، 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.

۳- روش‌های تخمین میزان نفوذناپذیری

روش‌های مختلفی در تخمین سطح آستانه به منظور ارزیابی پوشش نفوذناپذیر وجود دارد، اما دو دسته کلی آن شامل:

۱- اندازه‌گیری درصد متوسط نفوذناپذیری که هر طبقه از کاربری زمین را پوشش می‌دهد، I_{LU}. این روش را می‌توان با استفاده از حضور شبکه جاده‌ای، اندازه‌گیری‌های مستقیم در هر کاربری و یا استفاده از عکس‌های هوایی با بزرگنمایی بالا انجام داد.

۲- اندازه‌گیری‌های طیفی با استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای با بزرگنمایی متوسط صورت گرفته و با درصد ارزش بین ۰ تا ۱۰۰ تعیین می‌شوند که برای نمایش نفوذناپذیر در هر واحد پوشش زمینی (پیکسل) به کاربرده می‌شوند، L_{LC} .

٤- روش‌های آشکار سازی سطوح نفوذناپذیر با استفاده از داده‌های سنجش از دور.

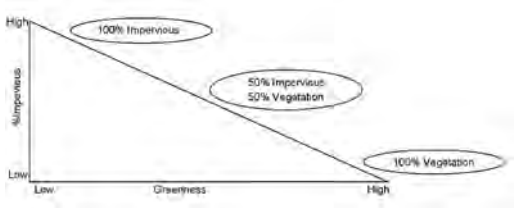
اندازه‌گیری و تهیه نقشه سطوح نفوذناپذیر می‌تواند بهترین گزینه در بهبود برنامه‌ریزی‌ها و طراحی جوامع باشد. این تکنیک محدوده وسیعی از نرم‌افزارهای کامپیوتری و آنالیز تصاویر ماهواره‌ای را در برمی‌گیرد.

روش‌های متعددی برای نقشه‌سازی و کمّی کردن سطوح نفوذناپذیر وجود دارد که مهمترین آنها شامل:

- طبقه‌بندی زیرپیکسل[۲](Subpixel classification)
- طبقه‌بندی شبکه عصبی[۳]
- طبقه‌بندی با استفاده از مدل VIS[٤]
- مدل رگرسیون درختی[٥]
- آنالیز ترکیب طیفی[٦]

٤-۱- نقشه‌برداری نواحی نفوذناپذیر با استفاده از آنالیز زیر پیکسل تصاویر لندست

در نواحی شهری، داده‌های ماهواره‌ای با بزرگنمایی متوسط نظیر تصاویر لندست اطلاعات ذخیره شده در پیکسل‌ها را به صورت ترکیبی از پوشش گیاهی (علفزار و پوشش درختی)، آب و سطوح نفوذناپذیر نمایش می‌دهند. لذا احتمال مشخص کردن پیکسل‌ها با نفوذناپذیری صددرصد، پایین است. بنابراین ضرورت دارد نفوذناپذیری را به عنوان یک متغیر پیوسته در نظر گرفت. به این ترتیب برای نمایش پیکسل‌های ترکیبی به صورت طبقات اسمی منفرد باید مقادیر نفوذناپذیری را در یک محدوده‌ای که نشان دهنده متوسط میزان نفوذناپذیری در هر طبقه از کاربری است، مشخص نمود. براساس این روش طبقه‌بندی سطوح نفوذناپذیر در محدوده ۰ تا ۱۰۰% قرار می‌گیرد. [۱۰]



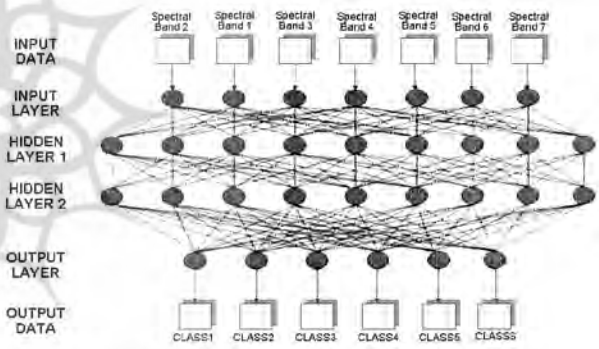
نگاره۲: مدل تخمین درصد نواحی دارای سطوح نفوذناپذیر در سطح پیکسل

با مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده سطوح نفوذناپذیر در سال‌های مختلف می‌توان نقشه تغییرات در یک یا چند منطقه را بدست آورده و مقایسه نمود.

٤-٢- تخمین سطح نفوذناپذیری با استفاده از روش شبکه عصبی (Neural Network)

شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای ظرفیتی بالا برای بررسی ارتباطات غیرخطی و پیچیده می‌باشند. در این مدل پردازشگرهایی به طور جداگانه حضور دارند (واحد) که به موازات هم عمل می‌کنند. این پردازشگرها با کانال‌هایی به یکدیگر متصل هستند که اغلب دارای داده‌های عددی می‌باشند (وزن). این وزن‌ها که با استفاده از الگوریتم آموزشی بدست می‌آید، بین گره‌های مختلف ارتباط برقرار می‌کنند. پردازشگرها لایه‌های متعددی را تشکیل می‌دهند که شامل لایه ورودی، لایه پنهان، لایه خروجی است.

لایه خروجی، طی عملیات فعال‌سازی[٧] که بر روی لایه ورودی اعمال می‌شود، محاسبه خواهد شد. داده‌ها با اعمال چندین وزن که از گره‌ای به گره دیگر منتقل می‌شوند، در نهایت به لایه خروجی راه می‌یابند.



نگاره۳: نمونه‌ای از مدل شبکه عصبی با یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی

شبکه عصبی با دیگر مدل‌های الگوریتم آماری متفاوت است. یکی از این تفاوت‌ها عدم نیاز به فرمول‌سازی ریاضی خاص برای این تکنیک است، بطوری که با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری رابطه بین ورودی و خروجی‌ها برقرار و تعیین می‌شود.

رابطه مقابل توضیحی است از مدل شبکه عصبی: $Oj=f_{(netj)}$

J(Oj): گره‌های دریافت شده (لایه خروجی در شبکه عصبی) و

f: تابع پیچیده غیرخطی

با استفاده از روش‌های ترکیبی قوی نظیر شبکه عصبی مصنوعی(ANN_S) می‌توان در نقشه‌برداری و طبقه‌بندی متغیرهایی با ارتباطات غیرخطی و در محیط‌های شهری ترکیبی، نتایج بهتری به دست آورد. این روش حتی برای تصاویری مانند TM و ETM+ ماهواره لندست با بزرگنمایی متوسط نیز نتایج خوبی به دنبال دارد.

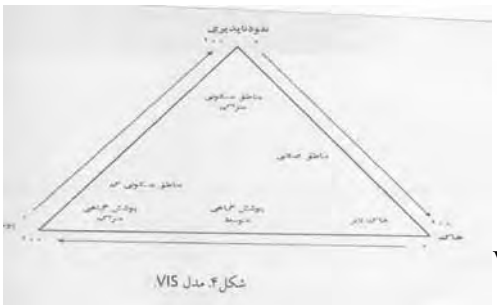
این روش توسط سوگوماران (۲۰۰۱) به همراه روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال بر روی تصاویر ماهواره‌ای LISS-III سنجنده IRS-1C در نواحی جنگلی سلسله کوه‌های غربی هند انجام شد. ساختار طبقه‌بندی شبکه عصبی در این مطالعه شامل سه باند ۱، ۲ و ۳ IRS به عنوان داده ورودی و ۹ لایه پنهان به همراه ۹ لایه خروجی بود. نتایج نهایی نشان داد که طبقه‌بندی شبکه عصبی در نواحی جنگلی دست کاشت و طبقه آب عملکرد مناسب‌تری نسبت به روش حداکثر احتمال داشت.[۱۱]

٤-٣- تخمین سطح نفوذناپذیر با استفاده از روش V-I-S

اکوسیستم‌های شهری از جلوه‌های بارز اثر انسان بر محیط زیست هستند که شامل آرایش وسیعی از مواد غیرمتجانس با خصوصیات متنوع و روابط پیچیده می‌باشند. اگر پوشش آب را نادیده بگیریم، سطوح نفوذناپذیر، پوشش گیاهی و خاک را می‌توان سه جزء اساسی اکوسیستم‌های شهری دانست که در تضاد با محیط اطرافشان هستند. طبیعت متفاوت این سه ماده اثر مهمی بر روی پویایی و توزیع انرژی و رطوبت در محیط شهری دارد. همزمان با رشد اماکن شهری به سمت اطراف، تغییرات محیطی نیز در ترکیب پوشش گیاهی- سطوح نفوذناپذیر- خاک لخت و در نتیجه در جریان انرژی و رطوبت و واکنش‌های انسانی صورت می‌گیرد. تشخیص و نقشه‌برداری این سه ماده در شهر و محیط اطرافشان می‌تواند پایه و اساس مفیدی برای تحقیقات اکولوژیکی شهری فراهم کند.[۵]

یکی از روش‌های برآورد میزان نفوذناپذیری، استفاده از روش VIS است.[۸] این مدل پوشش سطح زمین را به سه جزء خاک، سطح نفوذناپذیر و پوشش سبز تفکیک می‌کند.

در طول محور V-I یک توالی مشخصی از مناطق مسکونی برای بسیاری از شهرهای توسعه یافته جهان وجود دارد. مناطق صنعتی نزدیک محور I-S و محور S-V در پایین نه تنها مناطقی را که شهری شده نشان می‌دهد بلکه نشان دهنده مناطق شهری که در حال تغییر مداوم است نیز می‌باشد.



نگاره۴: مدل VIS

بنابراین با در نظر گرفتن مناطق شهری در مدل VIS و با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر، می‌توان به تعریفی از ترکیب شهر دست یافت تا بتوان انواع مختلف پوشش اراضی شهری را مشخص نموده و بررسی‌ها و تحقیقات اکولوژیکی شهری را از طریق تکنولوژی سنجش از دور انجام داد.

فاضلی و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Aster نقشه کاربری اراضی شهر اصفهان را با استفاده از روش VIS تهیه نمودند. در این

مطالعه چهار طبقه: مسکونی، مناطق بایر، پوشش گیاهی و آب تعریف شد. نقشه حاصله دارای صحت کلی ۹۵/۷% بود. [۵]

٤-٤- نقشه‌برداری سطوح نفوذناپذیر با استفاده از طبقه‌بندی و الگوریتم درخت رگرسیون

روش طبقه‌بندی براساس تصمیم‌گیری درختی زمانی استفاده می‌شود که لایه‌های اطلاعاتی زیاد و ناهمگن باشند. [٤] داده ورودی می‌تواند فرمت‌های مختلفی (اسمی و رتبه‌ای) داشته باشد. در این روش علاوه بر گروه‌بندی داده‌ها امکان ادامه طبقه‌بندی و تشخیص زیر طبقات (زیرگروه‌ها) نیز وجود دارد.[۱۳] در ساختار درختی هر شاخه یک قانون ویژه‌ای را برای تصمیم‌گیری مشخص می‌کند که ممکن است از یک یا بیش از یک ترکیب از داده‌های ورودی را شامل شود. هر قانون شامل سه بخش: مفاهیم آماری قانون، شرایطی که تعیین کننده زمان اجرای هر قانون است و مدل خطی، می‌باشد.

– مفاهیم آماری قانون: متوسط محدوده هر متغیر و ساختار ارزیابی خطا را بررسی می‌کند.

– شرایطی که تعیین کننده زمان اجرای هر قانون است: توسط آستانه‌های مختلف مشخص می‌شود.

– مدل خطی: به منظور تنظیم رابطه‌ای بین داده‌های آموزشی بدست آمده با قوانین به کار برده می‌شود.

در این روش هر گره از یک تصمیم‌گیری دو دویی[۸] که هر طبقه را از دیگر طبقات جدا می‌کند، تشکیل شده است. در ابتدا داده ورودی از گره اصلی به سمت شاخه‌های هدف یا گره‌های انتهایی[۹] حرکت کرده تا در نهایت به طبقه هدف منتهی شود.

شکل ۵. قسمتی از رگرسیون درختی.

نگاره۵: قسمتی از رگرسیون درختی

در تصمیم‌گیری رگرسیون درختی با این فرض که روابط بین باندها و اجزاء هدف (سهم طبقات) خطی است یا غیرخطی (مانند لگاریتمی)، نتیجه‌گیری صورت می‌گیرد. بنابراین می‌توان روابط غیرخطی پیچیده‌ای را بین باندهای طیفی و طبقات بدست آمده از پیکسل‌های ترکیبی در تصاویر ماهواره‌ای به کاربرد.

نتایج بدست آمده در تصمیم‌گیری درختی، اشکالی از داده (مانند باندها) هستند که به پیش‌بینی مکان متغیرها می‌پردازند و نقشه نهایی متغیر هدف تعیین می‌شود. در این روش می‌توان تغییرات زمانی پوشش اراضی (سطوح نفوذناپذیر) را در هر طبقه از آن بررسی کرد. مزیت طبقه‌بندی درختی نسبت به دیگر روش‌های آماری دستی، سادگی آن است. با تصحیح یافته‌های بدست آمده از این روش می‌توان صحت داده‌های نهایی را بهبود بخشید.[۷]

زو و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تصمیم‌گیری رگرسیون درختی (DTR) و تصاویر ماهواره‌ای ETM+ لندست در سال ۱۹۹۹، پوشش اراضی منطقه Syracuse آمریکا را به پنج طبقه پوشش درختی، پوشش علفی، خاک بایر، آب و پوشش نفوذناپذیر تقسیم کردند. آنها پی بردند که روش رگرسیون درختی قادر به استخراج ارتباطات پیچیده بین باندها و طبقات اراضی بوده و براحتی می‌تواند طبقات مختلف را از تصاویر ماهواره‌ای جدا کند.

٤-٥- نقشه‌برداری پوشش نفوذناپذیر شهری با استفاده از تصاویر چند طیفی با بزرگنمایی متوسط

دما مرتباً از مقادیر بالا در نواحی صنعتی و نواحی مسکونی تا کمترین میزان در نواحی غیرشهری مثل جنگل و آب، کاهش می‌یابد. به همین علت حضور بالای پوشش نفوذناپذیر در نواحی شهری منجر به تأثیر جزیره گرمایی شهری می‌شود. در این روش سطوح نفوذناپذیر با استفاده از تصاویر لندست از طریق انتگرال درجه حرارت سطح زمین (LST) بدست می‌آیند. ترکیب LST و قسمت‌هایی که آلبیدوی پایینی دارند، برای استخراج و نمایش سطوح نفوذناپذیر تیره به کار برده می‌شوند. LST با استفاده از باند گرمایی تصاویر لندست استخراج می‌شود.[۱۰]

در این روش می‌توان با استفاده از آنالیز ترکیب طیفی(SMA)، بازتاب‌های طیفی و شکل فضایی را بدست آورده و سپس با به حداقل رساندن خطای بخش‌های فضایی(MNF) می‌توان اجزاء تصویر[۱۰] را استخراج نمود.

مدل ریاضی SMA به شرح زیر است:

$$Ril=\sum_{k=1}^{n} f_{kl} R_{ik}+\varepsilon_{il}$$

i: ۱،...، m (تعداد باندهای طیفی)

k: ۱،...، n (تعداد endmembers)

l: ۱،...، p (تعداد پیکسل‌ها)

R_{il}: بازتاب طیفی باند i از پیکسلی که یک یا بیش از یک endmembers دارد.

F_{kl}: سهم k endmembers در پیکسل

R_{ik}: بازتاب طیفی endmembers در پیکسل باند i

e_{il}: خطای باند i در پیکسل l

F_{kl}: از رابطه مقابل پیروی می‌کند:

$$\sum_{k=1}^{n} f_{kl}=1 \text{ and } 0\le f_{kl}\le 1$$

به عنوان مثال می‌توان چهار جزء تصویر: پوشش گیاهی، آلبیدوی بالا، آلبیدوی پایین و خاک را تعیین کرد. بخش‌هایی با آلبیدوی بالا نشان دهنده سطوح نفوذناپذیر روشن و درخشان در چشم‌انداز شهری بوده و بخش‌هایی از تصویر با آلبیدوی پایین می‌توانند نشان دهنده اجزاء متفاوتی مثل آب، سایه ساختمان‌ها در محیط شهری و یا سایه تاج پوشش گیاهان در نواحی جنگلی و سطوح نفوذناپذیر تیره باشند. سپس اجزاء بدست آمده از آنالیز ترکیب طیفی شش باند بازتابی تصویر لندست را با دمای سطح زمین که از باند گرمایی تصویر لندست استخراج شده، ترکیب کرده و به این ترتیب سطوح مختلف نفوذناپذیر مشخص می‌گردند.[۱۲]

ونگ و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر شهری شدن بر درجه حرارت سطح زمین (LST) و اثر متقابل آن بر سطوح نفوذناپذیر و پوشش گیاهی را در شهر ایندیانا در آمریکا بررسی کردند. آنها از تصاویر ماهواره‌ای TM/ETM به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ استفاده و سه جزء طیفی سطوح غیرقابل نفوذ، فضای سبز و سایه‌ها را تعیین نمودند.[۱۲]

۵- پیشنهادات

با توجه به اهمیت بالای سطوح نفوذناپذیر بر محیط زیست شهری و لزوم کنترل این سطوح با بکارگیری اقدامات مدیریتی، لازم است مطالعات بیشتری در زمینه چگونگی ایجاد، تراکم و توزیع مکانی آنها به منظور کاهش اثرات سیلاب‌ها، آلودگی‌ها و تأثیر جزیره گرمای شهری و نیز استفاده بیشتر از روش‌های مؤثر در جهت کاهش اثرات تجمعی نامطلوب این سطوح انجام پذیرد. همچنین در راستای استفاده بهینه از سودمندی‌های چند جانبه سرزمین خصوصاً در مناطق شهری که بیشترین تغییر در سیمای سرزمین و رشد سطوح نفوذناپذیر را شاهد هستیم، توصیه می‌شود به منظور بررسی رشد و گسترش مناطق شهری و برنامه‌ریزی‌های استفاده سرزمین با نگرش حفاظتی، سطوح نفوذناپذیر و تغییرات آن با استفاده از قابلیت داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های پردازش تصویر نقشه‌سازی شوند تا بهتر بتوان پیامدهای این سطوح را کمّی و اقدامات اصلاحی مناسب را پیشنهاد کرد.

منابع و مآخذ

1- Agency USEP(1993) The Watershed protection approach: Annual report 1992 (#EPA840-S-93-001).Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water.

2- Agency USEP (2004) Protecting Water resources With smart growth (#EPA231-R-04-002). Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of policy, Economics, and Innovation.

3- Arnold C. A., Gibbons, C.J. (1996) Impervious surface: the emergence of a key urban environmental indicator. American Planning Association Journal. 62:243-258.

4- Breiman L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J.(1984) Classification and regression trees. The Wadsworth Statistics/Probability Series Wadsworth International group California, USA.358 pp.

5- Fazeli R; Soffianian, A.R.(2008) Urban land cover mapping using Aster Terra satellite images, a case study: Isfahan city, Iran. International conference on cartography and GIS.

6- Gibbons C.(1996) Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. Journal of the American Planning Association. 62:2:243-258.

7- Min X., Pramod K.V. and Manoj K.A.(2005) Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. Remote Sensing of Environment. 97:322-336.

8- Ridd M.K.(1995) Exploring a V-I-S(Vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis thorough remote sensing: comparative anatomy for cities. International Journal of Remote Sensing. 88:170-186.

9- Schueler T.R.(1994) The Importance of Imperviousness. Watershed Protection Techniques 1:100-111.

10- Slonecker E.T.,JENNINGS, D.B., and Garofalo, D.(2001) Remote sensing of impervious surfaces: A review. Remote Sensing Review 20:227.

11- Sugumaran R.(2001) Forest Land Cover Classification Using Statistical and Artificial Neural Network. Approaches Applied to IRS LISS-III Sensor. Geocarto International.16:39-44.

12- Weng Q., Lu D.(2005) A sub-pixel analysis of urbanization effect on Land surface Temperature and its interplay with impervious surface and Vegetation coverage in Indianapolis, United States. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 10:68-83.

13- Yang L., Huang, C., Homer, C.G., Wylie B.K. and Coan M.J.(2003) An approach for mapping Large-area impervious surfaces: Synergistic use of Landsat 7 ETM+ and high spatial resolution imagery. Canadian Journal of Remote Sensing. 29:230-240.

پی‌نوشت

1- Impervious surface area
2- Subpixel classification
3- Neural network classification
4- Vegetation- impervious surface-soil
5- Regression tree modeling
6- Spectral mixture analysis
7- Activation function
8- Binary
9- Terminal
10- Endmembers