

آشکارسازی تغییرات فضای سبز تهران با استفاده از داده‌های سنجش از دور

مأنده صفری^۱، علیرضا شریفی^{۲*}، فرهاد حسینعلی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور - دانشکده عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
maedehsafari75@yahoo.com

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
a_sharifi@sru.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
f.hosseinali@sru.ac.ir

(تاریخ دریافت اسفند ۱۴۰۰، تاریخ تصویب خرداد ۱۴۰۱)

چکیده

فضای سبز یکی از کاربری‌های حیاتی شهر برای تداوم زندگی در شهرها به حساب می‌آید و بدون آن فعالیت سایر موجودات زنده از جمله انسان کاملاً و یا حتی غیر ممکن می‌گردد. بنابراین کمبود و کاستی در امر مدیریت این کاربری می‌تواند تأثیرات مخربی بر روح و روان شهروندان بگذارد. در دهه‌های اخیر، با توجه به رشد مهاجرت به سمت استان تهران و تقاضای هرچه بیشتر به مسکن و مناطق صنعتی در این استان کمبود فضای سبز بیش از پیش در این استان نمایان شده و باعث بروز مسائل عدیده‌ای همچون مسائل زیست-محیطی، تشدید آلودگی هوا و افزایش ساخت‌وسازهای بی‌رویه شده است. از این رو هدف از مقاله حاضر ارزیابی فضای سبز شهر تهران و مقایسه روند تغییرات فضای سبز با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱ و لندست-۸ با استفاده از طبقه‌بندی ماشین بردار و ناحیه اقلیمی محلی در منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۹ می‌باشد. به منظور آشکارسازی تغییرات، پس از پیش‌پردازش ماهواره‌ای برای پایش تغییرات به طبقه‌بندی با استفاده از روش اقلیمی محلی پرداخته شده که بر این اساس به منظور برآورد صحت نتایج نقشه‌های تولید شده با داده‌های آموزشی بررسی شده که دقت کلی طبقه‌بندی به روش ماشین بردار ۷۸ درصد و به روش طبقه‌بندی اقلیمی محلی ۸۱٫۳ درصد استخراج گردید که با توجه به نوع داده‌های مورد استفاده دقت کلی نشان‌دهنده تطابق خوب واقعیت و تصاویر ماهواره‌ای داشته و با استفاده از ویژگی‌های بافت ماهواره‌ای راداری، نشان داده شد که طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۹ تغییری در وسعت فضای سبز وجود نداشته و در برخی از مناطق شهر تهران سرانه‌ی فضای سبز رو به کاهش می‌باشد.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، فضای سبز، سنتینل-۱، لندست-۸، ماشین بردار، اقلیمی محلی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر با توجه به امکانات مختلف در شهرهای بزرگ که باعث گسترش شهرها و شهرنشینی و تمایل هرچه بیشتر شهروندان به زندگی ماشینی شده، همچنین این تغییر الگوی زندگی موجب افزایش آلودگی محیط‌زیست، شرایط دشواری برای زیست پذیری فضای زندگی انسان همچون (تخریب پوشش‌های گیاهی شهری و حومه شهر و از بین رفتن تعادل اکولوژیک ایجاد کرده است [۱]). گسترش جمعیت شهرها و تراکم بیش از حد جمعیت در شهرها، باعث از بین رفتن محیط طبیعی و ساخت و سازه‌های مصنوعی نیاز جسمی و روحی انسان به محیط‌زیست را بیشتر نمایان نموده‌است [۲]. ایران با توجه به آن که از جمله کشورهای در کمر بند خشک جهان واقع شده‌است، شهرها برای مقابله با آلودگی‌های صوتی و هوا، همچنین کاهش استرس‌های محیطی بیشتر از هر نقطه دیگری به فضای سبز نیاز دارند. با توجه به مشکلات فراوانی که در تغییر ساختار شهری امروز مشاهده می‌کنیم کمی‌سازی ناهمگن محیط زیست به عنوان یک هدف در بوم‌شناسی سیمای سرزمین^۱ تلقی شده به طوری که اخیراً تلاش‌هایی به منظور توسعه روش‌هایی جهت تعیین کمیت ناهمگنی فضایی (پیچیدگی و تغییرپذیری خصوصیات سیستم از جمله چیدمان فضایی موزائیک سیمای سرزمین در زمان و مکان) سیماهای سرزمین انجام گرفته‌است. سنجش‌های سیمای سرزمین ابزاری مفید جهت بیان الگوی موزائیک فضاهای سبز شهری و تغییرات آن در ارتباط با فرآیندهای توسعه شهری هستند که علاوه بر تفسیر اثر فرآیندهای مذکور بر خصوصیات اکولوژیکی محیط‌زیست، می‌توان از آن‌ها در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با رشد شهر، توزیع کاربری‌ها و برنامه‌ریزی توسعه فضای سبز شهری بهره برد [۳]. بنابراین با توجه به مشکلات موجود در تعریف و تعیین فضای سبز شهری، به کارگیری علم سنجش از دور که ابزاری توانمند در مدیریت منابع شهری محسوب می‌شود و با ارائه امکانات این علم جهت ارائه اطلاعات به‌روز، پردازش رقومی تصاویر و امکان مقایسه زمانی داده‌ها، متخصصان را در جهت پایش تغییرات فضای سبز در گذر زمان کمک شایانی نموده است [۴].

همچنین استفاده از سنجش از دور در ترکیب با سنجش‌های سیمای سرزمین^۲ می‌تواند سبب بهبود درک ساختار فضایی شهری و فرآیندهای تغییر شود. امروزه بالا بودن سرعت و وسعت تغییرات اعم از ساختاری و فرآیندی در سیمای سرزمین که از فعالیت‌های مخرب انسان ناشی می‌شود، برنامه‌ریزان را با مسائل و مشکلات عدیده‌ای مواجه ساخته است [۵].

اگرچه در ایران همچنان از روش‌های نقشه‌برداری زمینی و اندازه‌گیری‌های میدانی برای محاسبه مساحت فضای سبز استفاده می‌شود، اما این روش‌ها خطای زیادی داشته و اهمیت دستیابی به الگوریتم‌های مناسب را نمایان می‌کند [۶].

تهران یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور ایران و پایتخت سیاسی-اقتصادی می‌باشد که با توجه به نقش این شهر، پرجمعیت‌ترین شهر ایران محسوب می‌گردد. اما هر ساله به دلایل مختلفی چون توسعه‌ی شهرک‌های صنعتی و گسترش شهر شاهد تخریب فضاهای سبز شهری بوده که باتوجه به شرایط موجود جمعیت شهر و بحران فضای سبز در این منطقه، آگاهی از وضعیت موجود فضای سبز و آشکارسازی تغییرات فضای سبز این منطقه اولین و مهمترین گام در ساماندهی و مدیریت فضای سبز شهری می‌باشد.

پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای آشکارسازی و تهیه نقشه‌های فضای سبز در کشورهای مختلف دنیا و از جمله ایران انجام شده‌است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. در پژوهشی برای نمایش روند تغییرات در فضای سبز منطقه ۲ شهرداری تهران در بازه‌ی ۲۸ ساله، در آن ۳۰ قطعه عکس هوایی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شده و پس از پیاده‌سازی، نقاط کنترل زمینی به کمک نرم افزار Geomatica از نظر هندسی تصحیح شده و سپس موزائیک تصاویر ارتوفتو حاصل شده است و تفسیر بصری و مساحت فضای سبز در طی این سال-ها محاسبه شده‌است، نتایج این پژوهش حاکی بر آن است که سرانه‌ی فضای سبز منطقه ۲ شهرداری تهران از نصف میزان استاندارد جهانی نیز کم‌تر می‌باشد [۷].

در پژوهشی دیگر برای تعیین سرانه‌ی فضای سبز منطقه ۹ شهرداری تهران که برابر ۳/۶۷ مترمربع برای هر فرد بوده و اختلاف فاحشی با شاخص‌های استاندارد جهانی

^۲ Landscape Metrics^۱ Landscape Ecology

کاهش یافته است. همچنین، ناحیه ۲ شهرداری منطقه ۵ تهران دارای بیشترین مقدار افزایش وسعت اراضی فاقد پوشش گیاهی و شاهد حداکثر تغییرات در بازه‌ی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵ بوده است [۱۰].

در کشور چین گروهی از دانشمندان جهت بررسی روند تغییرات شهری و پایش تغییرات فضای سبز شهر هانگژو^۲ چین با استفاده از روش آنالیز اجزای اصلی^۳ و طبقه‌بندی کننده‌های ترکیبی با استفاده از تصاویر SPOT2-3-5 و سنتینل-۲ طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ به بررسی پرداختند. در این مطالعه ابتدا تصحیح طبقه‌بندی^۴ جهت تضمین دقت تصحیحات هندسی تبدیلات پلی نومیال شرطی بر روی تصاویر SPOT و سنتینل-۲ اعمال شده است. پس از اعمال پیش‌پردازش با استفاده از روش آنالیز PCA و طبقه‌بندی ترکیبی نسبت به استخراج تغییرات اقدام نموده‌اند. همچنین، برای ارزیابی دقت روش‌های نمونه-گیری تصادفی طبقه‌بندی شده و کاربر، از ۹۳۰ نقطه‌ی مبنا بهره گرفته‌اند که نتایج بیان‌کننده‌ی دقت بالای این روش می‌باشد [۱۱].

انواع روش‌ها و مشکلات موجود در به‌کارگیری روش‌های آشکارسازی فضای سبز در بالا مورد بررسی واقع شدند و کارایی پایین اکثر روش‌های مورد مطالعه‌ی دیگران، ایده اصلی این مقاله در به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۱ با استفاده از روش طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم یادگیری عمیق^۵، روش طبقه‌بندی ناحیه‌ی اقلیمی محلی و روش ماشین بردار پشتیبان است. استفاده از روش‌های یادگیری عمیق در تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های اخیر برای قطعه‌بندی تصاویر و حل مسائل پیچیده و همچنین داده‌های با حجم بسیار بالا به‌کار می‌رود و امکان طبقه‌بندی پیکسل اشتباه در این روش‌ها به شدت پایین است [۱۲].

در این مطالعه با استفاده از تصاویر اپتیکی لندست-۸ و سنتینل-۱ که در سال‌های مختلف اخذ گردیده و با استفاده از الگوریتم‌ها و از طرفی با استفاده از داده‌های آموزشی با دقت بالا که توسط سازمان فضای سبز شهرداری تهران جمع‌آوری گردیده‌اند و همچنین مقدار

دارد، پس از مطالعه‌ی وسعت، شعاع عملکرد و حدمطلوبیت پارک‌های شهری مشخص گردید که کمبود فضای سبز در زمینه‌ی پارک‌های شهری بزرگتر و در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای است. همچنین نتایج پرسشنامه نشان داد که ۲۸/۷ درصد پاسخ‌دهندگان برای استفاده از فضای سبز به خارج از منطقه مراجعه می‌کنند [۲]. همچنین، در منطقه ۱۲ شهرداری تهران، با استفاده از ویژگی‌های اقلیم محلی، کیفیت محیط زیست و تراکم نفر در واحد مسکونی، سرانه-ی فضای سبز این منطقه مورد ارزیابی واقع گردید، سپس با مقایسه‌ی سرانه‌ی استاندارد مشخص شده است که وضع سرانه‌ی فضای سبز موجود در منطقه ۱۲ شهرداری برای هر نفر معادل ۵/۱۲ مترمربع می‌باشد و در پایان با توجه به استاندارد وزارت مسکن و شهرسازی که سرانه‌ی استاندارد فضای سبز برای هر فرد حداکثر ۱۲ متر مربع تعیین شده است، منطقی ندانسته و پیشنهاد شده است که سرانه‌ی همه‌ی شهرها باید بر اساس معیارها و شرایط موجود آن شهر تعیین و محاسبه گردد [۸].

همچنین، در یک تحقیق به مطالعه خصوصیات کمی و کیفی فضای سبز در مناطق ۱۸، ۱۹ و ۲۱ شهرداری تهران پرداخته شده است. در این تحقیق با استفاده از شاخص NDVI و روش سنجش‌ازدور بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست-۱ در سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۸ نقشه‌ی تراکم فضای سبز و برای پیش‌بینی روند تغییرات در آینده از مدل زنجیره‌ای مارکوف استفاده کردند. نتایج نشان داد بیشترین تغییر کاربری‌ها مربوط به تبدیل فضای سبز به اراضی شهری بوده است. از مقایسه‌ی نتیجه‌ی تغییر کاربری‌ها با تقسیم‌بندی NDVI مشخص شد، ۱۲/۵ هکتار به وسعت اراضی شهری اضافه شده است. همچنین با توجه به نتایج حاکی از ارزیابی عوامل داخلی و خارجی تأثیرگذار از ماتریس SWOT نتیجه‌گیری شد که وضعیت فضای سبز در مناطق مطالعاتی در حالت تهاجمی قرار دارد [۹].

گروهی از پژوهشگران برای بررسی تغییرات فضای سبز در منطقه ۵ شهرداری تهران، با اعمال شاخص گیاهی نرمال‌شده^۱ طی سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵ با استفاده از علم سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای TM و IRS نشان دادند که پوشش گیاهی با درجه‌ی سربیزی متوسط و خوب در این منطقه به ترتیب ۶۸۴/۲۷ و ۲۳/۲۲ هکتار

^۲ Hangzhou

^۳ Principal Component Analysis (PCA)

^۴ Orthorectification

^۵ Deep learning

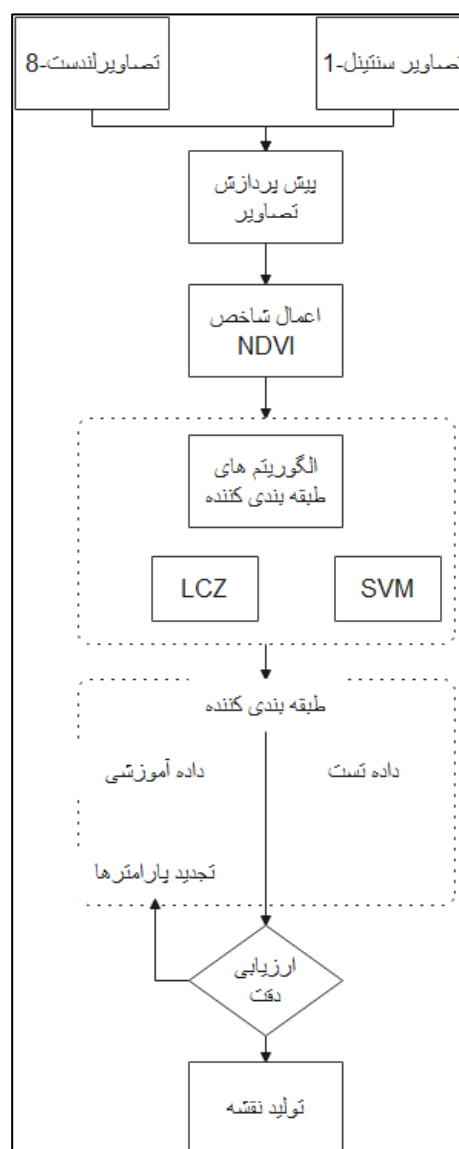
^۱ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

داده‌های آموزشی که فاکتور بسیار مهمی در تعیین دقت طبقه‌بندی و میزان تطابق نقشه‌های تولیدی با واقعیت زمین می‌باشد را در نظر گرفته‌ایم.

این مقاله در چهار بخش تدوین شده است: بخش اول مقدمه‌ای تحقیق است که پیشتر بیان گردید؛ در بخش دوم، مواد و روش‌ها در این تحقیق شرح داده می‌شود؛ در بخش سوم، منطقه و داده‌های مورد مطالعه معرفی شده و در بخش چهارم پیاده‌سازی و نتایج تحقیق ارائه می‌گردد.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش به تشریح جزئیات ساختار روش پیشنهادی پرداخته می‌شود. شکل (۱) به طور خلاصه ساختار کلی کار را نمایش می‌دهد.



شکل ۱- فلوچارت روش پیشنهادی

۲-۱- اعمال شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده و اختلاف ساختمان‌های نرمال شده

در این باندها می‌توان برای تشخیص پوشش‌های مختلف سطح زمین از آن‌ها بهره برد که یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها در این زمینه شاخص‌های NDVI و NDBI است که شاخص NDVI یک شاخص طیفی است که برای تعیین تراکم پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی یک منطقه، می‌توان از شاخص NDVI مطابق معادله (۱) بهره برد.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \quad (1)$$



شکل ۲- اعمال شاخص NDVI بر روی تصویر سال ۱۳۹۳



شکل ۳- اعمال شاخص NDVI بر روی تصویر سال ۱۳۹۹

این شاخص به طور گسترده بر مبنای ارزش‌های طیفی در شناسایی شرایط رشد پوشش گیاهی استفاده شده‌است. نسبت بازتابندگی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در بررسی شرایط و نمایش پوشش گیاهی مناطق به کار گرفته می‌شود. در این شاخص که دامنه آن بین ۱- تا ۱ می‌باشد، هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر پوشش گیاهی سالم‌تر می‌باشد.

سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ در شرق و مرکز شهر کاربری ساختمانی بیشتر بوده و در این مناطق بافتی منسجم‌تر پیدا کرده‌اند که این موضوع به تخریب گسترده فضاهای طبیعی جهت ساخت و ساز اشاره دارد. همچنین، تصاویر سال ۱۳۹۹ در شمال شهر تهران نیز میزان شاخص را با شدت رنگی بیشتری نشان می‌دهد که این موضوع حاکی از ساخت‌وسازهای بلند مرتبه در این مناطق می‌باشد.



شکل ۵- اعمال شاخص NDBI بر روی تصویر سال ۱۳۹۹

۲-۲- روش جنگل تصادفی

جنگل تصادفی در حال حاضر یکی از پرکاربردترین و معروف‌ترین روش‌های طبقه‌بندی می‌باشد [۱۴]. روش جنگل تصادفی یک نوع جدید از روش درخت پایه بوده که شامل انبوهی از درخت‌های کلاس‌بندی و رگرسیون می‌باشد [۱۵]. مهم‌ترین خصیصه‌ی روش جنگل تصادفی در سرعت بالای عملکرد در اندازه‌گیری متغیرها برای تعیین نقش هر متغیر در پیش‌بینی می‌باشد. الگوریتم جنگل تصادفی بر اساس میانگین‌گیری از نتایج حاصل از تمامی درخت‌های تصمیم مربوطه می‌باشد [۱۶]. الگوریتم تصادفی، بردار ورودی را گرفته و آن را با هر درخت در جنگل طبقه‌بندی کرده و خروجی الگوریتم، برچسب‌های کلاسی می‌باشد که اکثریت آرا دریافت شده‌است. طبقه‌بندی جنگل تصادفی با عبور دادن پیکسل از میان X درخت تصمیم انجام می‌شود به گونه‌ای که تعلق پیکسل به یکی از کلاس‌ها (تعداد کلاس‌ها $= Y$) میان درختان به رای گذاشته می‌شود و هر درخت تصمیم رای خود را در مورد انتخاب آن پیکسل و یا رد کردن آن و یا خارج از کیسه گذاشتن آن^۲ در میان گذاشته و جنگل

همانطور که در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده‌است، بیشترین تغییرات NDVI مربوط به زمین‌های کشاورزی اطراف شهر تهران می‌باشد و تغییرات در شاخص برای فضاهای سبز شهری بسیار ناچیز می‌باشد و این نشانگر آن است که وسعت فضای سبز شهری طی این سال‌ها بدون تغییر مانده‌است.

همچنین، در تصاویر لندست-۸ با استفاده از ترکیب باندی کاذب متشکل از باندهای (۳، ۴ و ۵) می‌توان پوشش سطح زمین اعم از مناطق ساخته‌شده (ساختمانی)، آب و گیاهان را نمایش داد. باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز مفیدترین باندها جهت آشکارسازی سطح زمین هستند زیرا برخی از پوشش‌های زمین به طور مثال (رودخانه‌ها و دریاچه‌ها) از نظر طیفی نسبت به هم متمایز می‌باشند. زمین‌های بایر و مناطق ساخته‌شده در باندهای ۴ و ۵ با افزایش شدید بازتاب مواجه می‌باشند در حالیکه گیاهان در این باند مقدار رقومی^۱ بزرگتر یا کوچکتر که قابل تشخیص نمی‌باشند دارند. این ویژگی باعث تمایز مناطق ساخته‌شده از سایر پوشش‌های زمینی می‌باشد. بنابراین مقادیر مثبت اختلاف نرمال‌شده در باندهای ۴ و ۵ حاکی از مناطق ساخته‌شده است [۱۳].

$$NDBI = \frac{(\rho_{MIR} - \rho_{NIR})}{(\rho_{MIR} + \rho_{NIR})} \quad (2)$$



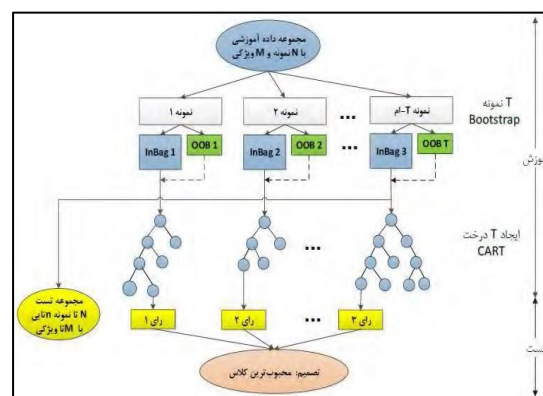
شکل ۴- اعمال شاخص NDBI بر روی تصویر سال ۱۳۹۳

شکل‌های (۴) و (۵) اعمال شاخص NDBI بر روی تصاویر لندست-۸ را نمایش می‌دهد. همانطور که شکل‌های زیر نشان می‌دهد مناطق ساخته‌شده در تهران دارای بافتی پراکنده در تمام شهر تهران است که طی

^۲ Out-Of-Bag (OOB)

^۱ Digital Number (DN)

پیکسلی که دارای بیشترین رای بوده را انتخاب می‌نماید. درختان تصمیم‌گیری به طور منفرد از مجموعه نمونه آموزشی (LS) رشد می‌کند. با N بار (N تعداد نمونه‌ها در مجموعه داده‌ی اصلی) نمونه‌گیری و جایگزینی دو سوم از مجموعه داده‌ی اصلی برای آموزش یک درخت استفاده می‌شود و بدین ترتیب یک سوم از باقی‌مانده‌ی داده‌ها کنار گذاشته می‌شوند تا برای صحت‌سنجی مورد ارزیابی قرار گیرند و همچنین روند طبقه‌بندی جنگل تصادفی در شکل (۶) و معادله‌ی زیر به نمایش گذاشته شده‌است.



شکل ۶- نحوه‌ی عملکرد جنگل تصادفی [۲۵]

$$RF(\hat{x}) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i(\hat{x}) \quad (1)$$

برای طبقه‌بندی علاوه بر رای اکثریت، برچسب منحصر به فرد جنگل تصادفی می‌تواند یک احتمال از هر کلاس باشد.

$$Pbj = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i = j, j \in [1, 2, \dots, C] \quad (2)$$

۲-۲-۱- طبقه‌بندی ناحیه‌ی اقلیمی محلی

طبقه‌بندی LCZ به عنوان یک طبقه‌بندی با ۱۷ کلاس طراحی شده که مناظر شهری را توصیف می‌کند. کلاس‌های این طبقه‌بندی براساس ساختار سطح و پوشش سطح تعریف می‌شوند که به خصوص ساختار ارتفاعی سطح و ساختار تراکم مکانی سطح و مواد پوشاننده سطح را توصیف می‌نماید. طبقه‌بندی در ۱۷ کلاس طراحی شده است که ۱۰ کلاس اول آن برای طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف شهری و انواع ساختمان‌ها و ۷ کلاس بعدی برای طبقه‌بندی پوشش

طبیعی زمین می‌باشد. طبقه‌بندی LCZ در این کار انتخاب شده‌است که یکی از دلایل انتخاب این روش به منظور طبقه‌بندی آن است که CCF جزئی از روش جنگل تصادفی^۳ است و همچنین یک الگوریتم غیر پارامتریک با هزینه محاسباتی کم بوده و امکان آنالیز ویژگی را فراهم می‌کند. به علاوه، ثابت شده است که CCF بهتر از بقیه طبقه‌بندی‌های کامپیوتری عمل می‌کند و همچنین بسیار موثر در طبقه‌بندی LCZ می‌باشد [۱۸].

برای طبقه‌بندی به روش CCF نمادها به صورت رابطه (۳) و (۴) می‌باشند:

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_N] T \in \mathbb{R}^{N \times P} \quad (3)$$

X نمونه‌های آموزشی را مشخص می‌کند که N نمونه و P ویژگی می‌باشد. Y برچسب داده‌ی آموزشی می‌باشد که C تعداد کلاس‌ها خواهد بود.

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_N] T \in \mathbb{Z}^{N \times C} \quad (4)$$

اگر y_i اندازه بردار $C \times 1$ باشد، نشان می‌دهد x_i متعلق به ۲ کلاس می‌باشد، المان دوم بردار y_i مساوی ۱ بوده و باقی المان‌ها صفر می‌باشد. مطابق مجموعه داده‌های آموزشی خواهیم داشت $D = \{X, Y\}$. همچنین، به طور مشابه $X^{\wedge} = [x^{\wedge}_1, x^{\wedge}_2, \dots, x^{\wedge}_N] T \in \mathbb{R}^{N \times P}$ برای داده‌های پیش‌بینی و $Y^{\wedge} = [y^{\wedge}_1, y^{\wedge}_2, \dots, y^{\wedge}_N] T \in \mathbb{Z}^{N \times C}$ که برچسب داده‌های پیش‌بینی را مشخص می‌کند. تفاوت برچسب‌ها در داده‌ی آموزشی آن است که همه المان‌ها در برچسب پیش‌بینی بردار $y^{\wedge}_i$ و در بازه $[0, 1]$ که احتمال هر کلاس کمتر از $x^{\wedge}_i$ را نشان می‌دهد.

۲-۳- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۴

این طبقه‌بندی‌کننده یکی از الگوریتم‌های نظارت‌شده و غیر پارامتریک می‌باشد [۱۹]. هدف اصلی این الگوریتم جدا کردن کلاس‌های مختلف و یافتن یک ابر صفحه‌ی بهینه به عنوان سطح تصمیم‌گیری می‌باشد.

غالباً کلاس‌ها به طور خطی جدا نمی‌شوند که در این مواقع این الگوریتم از توابع کرنل استفاده می‌کند. بنابراین

^۳ Random forest (RF)

^۴ Support Vector Machine (SVM)

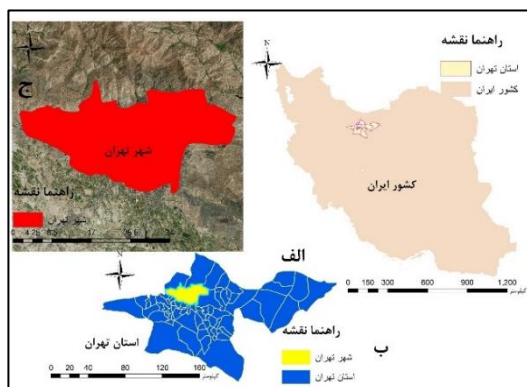
^۱ Learning Sample (LS)

^۲ Local Climate Zone

اداری ایران در تهران متمرکز شده و به ۲۲ منطقه و ۱۳۴ ناحیه (شامل ری و تجریش) و ۳۷۰ محله تقسیم شده است [۲۰]. شکل (۷-الف) موقعیت استان تهران را در نقشه ایران و شکل (۷-ب) تقسیمات شهرستان‌های استان تهران و شکل (۷-ج) موقعیت شهر تهران را در تصویر ماهواره لندست-۸ را نمایش می‌دهد.

۳-۲- داده‌های مطالعه

در این مطالعه، از داده‌های لندست-۸ سنجنده OLI/TIRS و سنتینل-۱ داده‌های دو پلاریزاسیون استفاده شده است. ماهواره‌ی لندست-۸ در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ عملیاتی شده‌است. این ماهواره محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) است. توان تفکیک مکانی تصاویر لندست ۳۰ متر بوده و عرض پوششی توسط هر تصویر ۱۸۵ کیلومتر است که با توان تفکیک زمانی ۱۶ روز تصویربرداری می‌کند. تصاویر لندست-۸ استفاده‌شده در مسیر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ و در سیستم جهانی WGS-84 قرار دارد. تصاویر لندست در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۹ که شامل ۱۱ باند می‌باشد استفاده شده‌است.



شکل ۷- موقعیت استان تهران

سنتینل-۱ از سال ۲۰۱۴ آغاز به کار کرده و مأموریت مشاهدات راداری پیوسته‌ای با بهبود تعداد تکرارها، پوشش وسیع‌تر و قابلیت اطمینان بالا برای کاربردهایی که نیاز به تصاویر سری زمانی دارند را تأمین می‌کند. هر دو ماهواره در باند C (۵,۴۰۵ گیگاهرتز) و در چهار حالت متفاوت تصویربرداری می‌کند. دوره‌ی بازدید در یک حالت ۵ روز است و در حالت‌های دیگر تا ۳ ماه هم می‌رسد. به علاوه دسترسی به داده سنتینل-۱ رایگان می‌باشد و سنجنده‌های ماهواره

در به‌کارگیری این الگوریتم تعیین پارامتر c و کرنل بسیار مهم می‌باشد. تعیین ابر صفحه‌ی بهینه مطابق رابطه (۵) مشخص می‌شود.

$$W^T \phi(x) + b = 0 \quad (5)$$

در رابطه فوق W بردار وزن و b بردار بایاس و ϕ تابع کرنل برای انتقال داده‌ها به فضای بالاتر می‌باشد. همچنین این نکته قابل ذکر است که بیشینه نمودن حاشیه بین دو کلاس، معادل با کمینه کردن اندازه w است که این موضوع منجر به حل مسئله کمینه‌سازی مطابق با رابطه (۶) می‌شود.

$$\text{Min}(\frac{1}{2}||w||^2 + c \sum_{i=1}^k \gamma_i) \quad (6)$$

۳- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

این بخش به جزئیات منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده به منظور ارزیابی الگوریتم‌ها جهت طبقه‌بندی فضای سبز شهری می‌پردازد.

۳-۱- معرفی محدوده‌ی مطالعه

تهران به عنوان پایتخت و پرجمعیت‌ترین شهر ایران و مرکز ثقل سیاسی اداری کشور است که بیش از ۲۰۰ سال از انتخاب آن می‌گذرد. مرکز این استان شهر تهران بوده و مساحت آن ۷۰۰ کیلومتر مربع بدون احتساب حریم (۱۴۰۰ کیلومتر مربع با احتساب حریم شهر) می‌باشد. این شهر بین موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده‌است همچنین ارتفاع متوسط این شهر از سطح دریا ۱۱۰۰ متر می‌باشد. این منطقه در فلات مرکزی، در دامنه‌ی جنوبی کوه‌های البرز و جهت شیب کلی از شمال به جنوب و در دشتی نسبتاً هموار واقع گردیده‌است. جمعیت شهر تهران با توجه به نتایج سرشماری سال ۹۸، بالغ بر ۹ میلیون و ۴۲۳ هزار و ۷۰۳ نفر می‌باشد. آب‌وهوای شهر تهران در تابستان گرم و خشک و در زمستان سرد می‌باشد و متوسط درجه‌ی حرارت سالانه‌ی شهر تهران ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد و حداکثر دمای آن ۴۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و حداقل آن ۸ درجه سانتی‌گراد گزارش شده‌است. ساختار

سنتینل-۱ در چهار مدل EW^2 ، IW^1 ، SM^1 و WV^4 اطلاعات جمع‌آوری می‌نمایند. در این مقاله از اطلاعات سطح یک تداخل سنجنی IW به دلیل پوشش زیاد و در دسترسی رایگان استفاده شده‌است. داده سطح یک تداخل سنجنی IW از نوع SLC شامل یک تصویر با سه زیر مجموعه برداشت باریکتر ($IW1$ ، $IW2$ و $IW3$) می‌باشد و هر کانال پلاریزاسیون شامل دو کانال VH و VV می‌باشد. جدول (۱) ویژگی IW سنتینل-۱ را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی‌های IW سنتینل-۱

مشخصات محصول	IW SLC
سیستم مختصات	در راستای برد
پلاریزاسیون	VH و VV
عرض گذر (کیلومتر)	۲۵۱٫۸
ENL^5	۱
رزولوشن رادیومتریک	۳
تعداد لوک (رنج $\times$ آزیموت)	۱*۱

۳-۳- داده آموزشی

پس از انتخاب تصاویر، نمونه‌های آموزشی با استفاده از بازدید میدانی و با GPS از سطح منطقه مورد مطالعه برداشت شده‌است. لازم به ذکر است که برای تبدیل داده‌ها به حالت رستر، ابتدا نمونه‌ها جمع‌آوری شده و مناطق مورد نظر برای هر نمونه آموزشی به صورت پلیگون استخراج گردیده و برای هر کلاس یک تصویر صفر و یک ایجاد گردیده‌است که تعداد نمونه‌های آموزشی در جدول (۲) نمایش داده می‌شود.

جدول ۲- تعداد داده‌های آموزشی

تعداد پیکسل‌های هر طبقه	نام طبقه بندی
۳۶۵۳۱۳	مناطق مسکونی
۱۲۹۳	پوشش گیاهی جنگلی
۱۰۴۴۷	پوشش گیاهی پراکنده
۱۳۲۳	مناطق کوهستانی و کویری
۷۱۶	آب

۴- پیاده‌سازی و ارائه نتایج

برای طبقه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه و ارزیابی دقت الگوریتم‌های پیشنهادی پیش از شروع پیاده‌سازی روش موردنظر با توجه به این‌که تصاویر در زمان‌های مختلف اخذ گردیده‌اند، نیاز به یک سری پیش‌پردازش بر روی تصاویر می‌باشد که در قسمت‌های بعدی جزئیات این کار شرح داده خواهد شد.

۴-۱- پیش‌پردازش داده

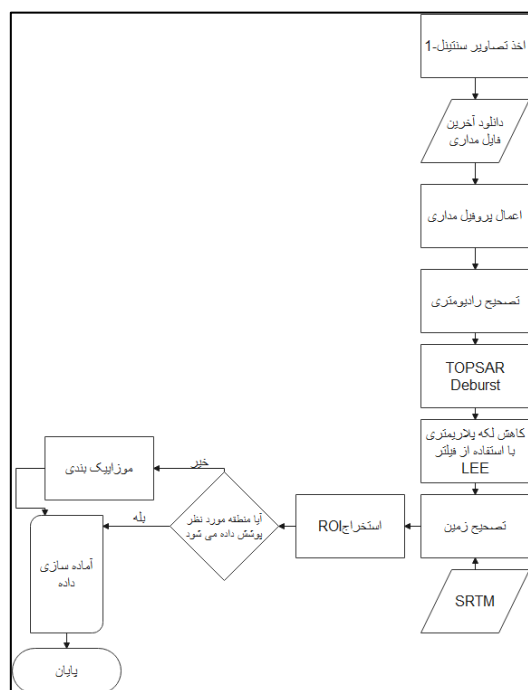
پیش از استخراج شاخص و طبقه‌بندی تصاویر نوری لندست-۸، برخی از مراحل پیش‌پردازش مانند تصحیحات هندسی، تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات اتمسفری بر روی داده‌های سنجنده لندست-۸ OLI/ TIRS صورت گرفته‌است.

مقادیر خام هر پیکسل تحت عنوان مقدار رقومی^۶ شناخته می‌شود که در باندهای چند طیفی به رادیانس طیفی بالای اتمسفر^۷ تبدیل می‌گردد. در این تحقیق، با استفاده از Radiometric Calibration موجود در نرم‌افزار ENVI، رادیانس را برای برشی از تصویر که شامل منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد محاسبه نموده و رادیانس محاسبه‌شده را تحت عنوان ورودی مدل تصحیح جوی آبی (QUAC) که روشی صحنه‌پایه و خودکار برای تصحیح جوی است. این روش نیازی به اطلاعات مطالعات میدانی نداشته و بر مبنای این واقعیت تجربی است که میانگین بازتابی هر مجموعه پیکسل مربوط به طیف مواد گوناگون اساساً مستقل از تصویر می‌باشد و سرعت محاسبه با این روش در مقایسه با روش‌های دیگر بالاتر می‌باشد و تصحیح اتمسفری اعمال می‌گردد.

مراحل پیش‌پردازش داده‌های سنتینل-۱ مطابق با شکل (۸) شامل مرحله‌ی چون به‌کارگیری فایل مداری، اعمال پروفیل مداری، تصحیح رادیومتریکی، TOPSAR Deburst، کاهش اسپیکل، تصحیح هندسی و به‌کارگیری مدل رقومی زمین SRTM انجام شده و سپس شاخص NDVI و NDBI از تصاویر استخراج می‌شود و با در نظر گرفتن داده‌ی آموزشی، الگوریتم‌ها اجرا و منطقه مورد

^۱ Strip map^۲ Interferometric Wide swath^۳ Extra Wide swath^۴ Wave^۵ Equivalent number of looks^۶ Digital Number^۷ Top of Atmosphere

پس از انجام پیش‌پردازش‌هایی که در بخش قبل شرح داده شد، شاخص NDBI و NDBI بر روی تصاویر اعمال شده و با در اختیار داشتن موقعیت‌های پیکسل‌های داده‌های آموزشی و آزمایشی شاخص‌ها استخراج شده‌است و از شاخص‌ها و داده‌های آموزشی به عنوان ورودی استفاده شده و تصاویر به روش‌های ماشین بردار پشتیبان و اقلیمی محلی طبقه‌بندی می‌شود. شکل (۹) و (۱۰) که با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شده است، در آن $C=500$ و پارامتر تابع کرنل معادل 0.0015 در نظر گرفته شده‌است.



شکل ۸- پیش‌پردازش داده سنجنیل-۱

نقشه‌های طبقه‌بندی در شکل (۹) و (۱۰) در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۹ با استفاده از روش اقلیمی محلی در ۹ کلاس طبقه‌بندی شده‌است و گویای آن است که قسمت وسیعی از فضای سبز شهری در شمال و شمال شرق شهر تهران قرار گرفته‌است. دقت طبقه‌بندی به روش اقلیمی محلی بالاتر از روش ماشین بردار می‌باشد و کلاس‌های نمایش داده‌شده نیز در این روش با جزئیات بیشتری بوده و توانایی شناسایی کاربری‌های مختلف با توجه به موقعیت و پیچیدگی منطقه مورد مطالعه بیشتر از روش ماشین بردار است. همچنین، به جهت بررسی کمی دو روش مورد مطالعه در این پژوهش از دو شاخص دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شده‌است که نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد.

مطالعه طبقه‌بندی می‌گردد. سپس برای بررسی دقت کار، نتایج الگوریتم‌ها مقایسه می‌گردد و در آخر به بررسی نقشه‌های تولید شده با استفاده از الگوریتم‌ها پرداخته می‌شود. مراحل پیش‌پردازش تصاویر سنجنیل-۱ به طور خلاصه در ذیل شرح داده می‌شود که عبارت است از به‌کارگیری پروفیل مداری، که این مازول آخرین مشخصات مداری منتشرشده را بارگیری می‌کند که دارای مختصات دقیق جغرافیایی می‌باشد.

در تصحیح رادیومتریکی، که هدف آن تبدیل DN به پس پراکنش رادیومتریکی کالیبره‌شده مرتبط با پراکنش راداری وابسته است، فاز نسبی و همبستگی بین VH و VV از محصول کالیبراسیون به عنوان مقادیر پیچیده تصویر انتخاب می‌شود.

TOPSAR Deburst، هرکانال پولاریزاسیون در تصویر سنجنیل-۱ با حالت IW دارای ۳ نوار می‌باشد که هر نوار تصویر شامل یک سری بخش می‌باشند، ادغام TOPSAR همه نوارها را در قالب یک تصویر SLC ادغام می‌کند. کاهش نویز اسپکل که این فرایند با ابعاد پنجره 7×7 توسط فیلتر Lee انجام می‌پذیرد.

در تصحیح هندسی، اعوجاج هندسی ناشی از عامل توپوگرافی زمین از بین می‌رود. به منظور تصحیح از مدل رقومی SRTM که اطلاعات ارتفاعی را فراهم می‌آورد بهره گرفته می‌شود و داده‌ها با فاصله نمونه‌برداری ۱۰ متر و توسط مدل نزدیک‌ترین همسایگی باز نمونه‌برداری می‌شود و همچنین از سیستم مختصات WGS84/UTM در این مرحله از پردازش بهره گرفته شده‌است.

۴-۲- پیاده‌سازی

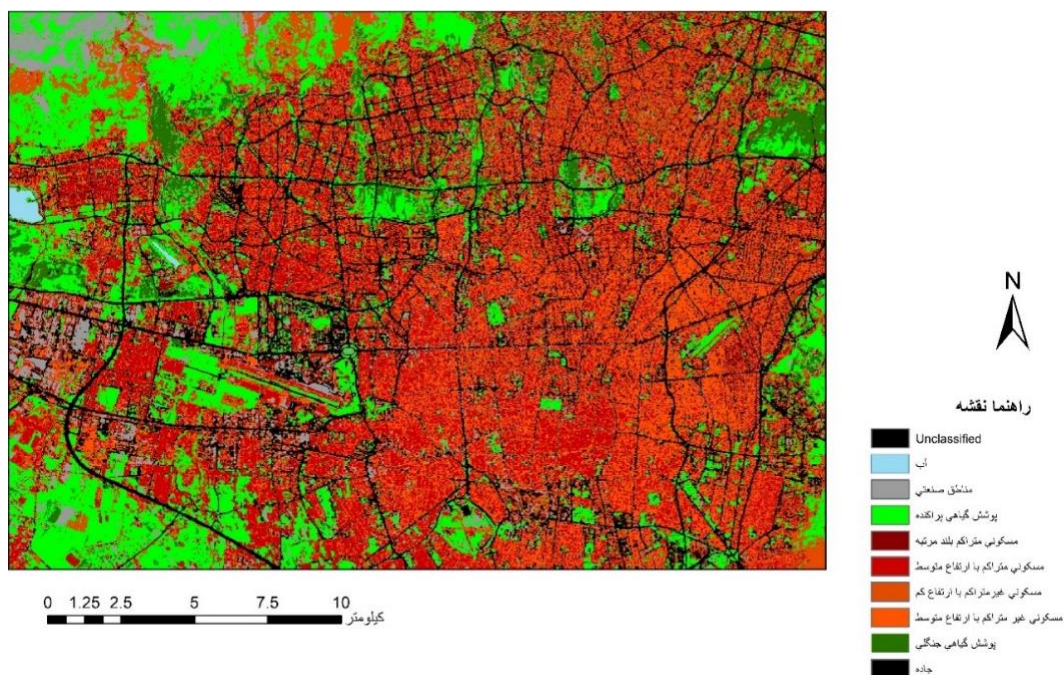
در این مطالعه از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و ناحیه‌ای اقلیمی محلی به منظور طبقه‌بندی و تولید نقشه کلاس‌های مختلف شهر تهران استفاده شد و به منظور ارزیابی دقت نقشه‌های تولیدی از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شده‌است. همچنین، با توجه به آن که روش طبقه‌بندی به صورت نظارت‌شده می‌باشد که نیاز به داده آموزشی دارد، در نتیجه داده‌های آموزشی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بر روی نتیجه‌ای طبقه‌بندی تأثیرگذار هستند. ارزیابی نتایج حاصل از داده‌های آموزشی پس از طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های آموزشی، آموزش داده‌ها و بهره‌گیری از پارامترهای مورد ارزیابی واقع می‌شوند.

جدول ۳- دقت روش‌های مختلف

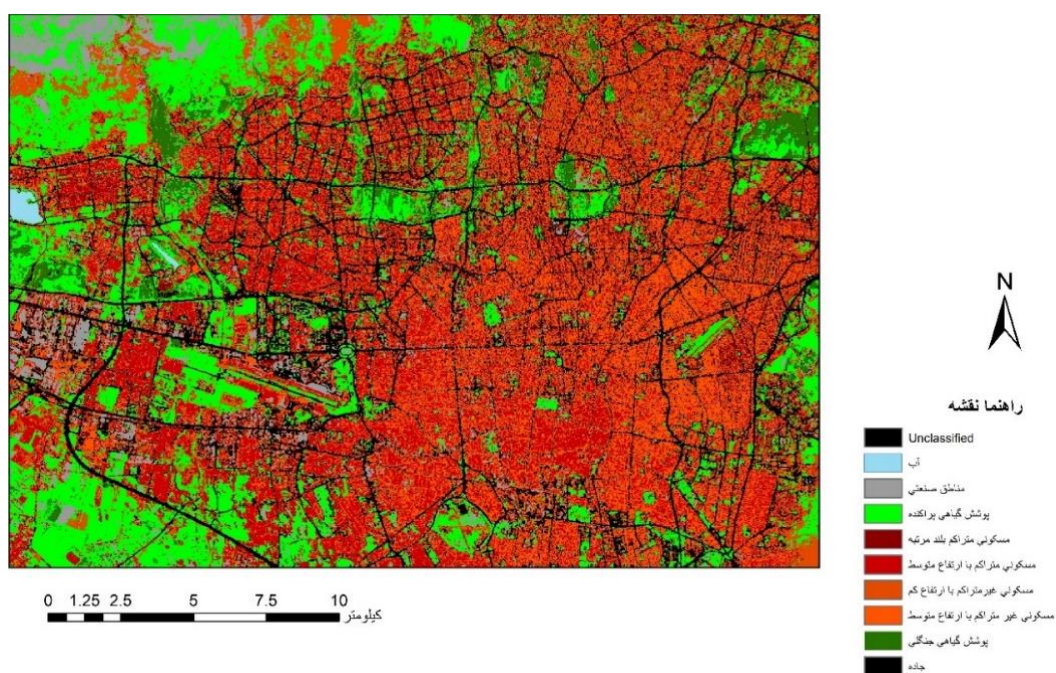
ضریب کاپا	دقت کلی	روش‌ها
۹۵,۷۶	۸۱,۳	اقلیمی محلی
۸۵,۸۹	۷۸	ماشین بردار

دقت طبقه‌بندی به روش اقلیمی محلی همان طور که در جدول نمایش داده می‌شود، ۸۱,۳ درصد و ضریب کاپا ۹۵,۷۶ است که نشان‌دهنده عملکرد بهتر نسبت به روش

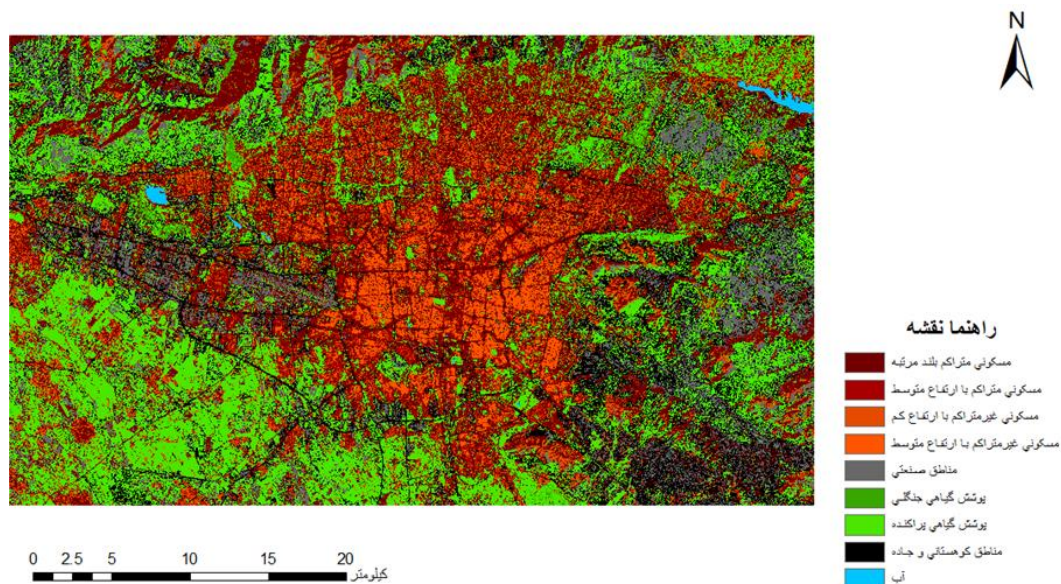
SVM است. بنابراین، هم نتایج کمی و هم نتایج کیفی کارایی بالای روش پیشنهادی به دلیل بهره‌مندی از ویژگی‌های تصاویر سنتینل-۱ و تصاویر لندست-۸ را مشخص است.



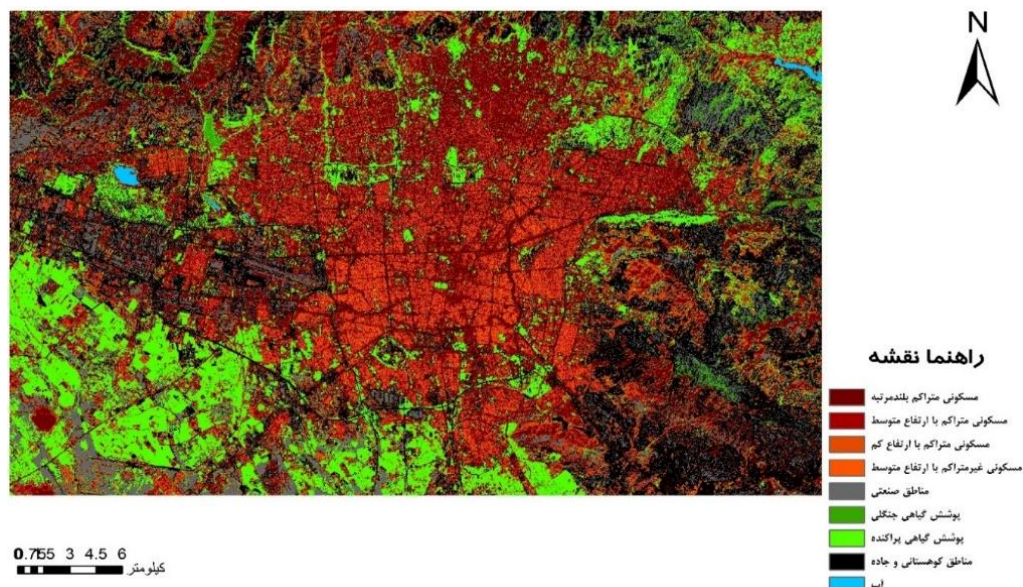
شکل ۹- نقشه‌ی طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی SVM سال ۱۳۹۳



شکل ۱۰- نقشه‌ی طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی SVM سال ۱۳۹۹



شکل ۱۱- نقشه‌ی طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی اقلیمی محلی سال ۱۳۹۳



شکل ۱۲- نقشه‌ی طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی اقلیمی محلی سال ۱۳۹۹

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی تولید نقشه با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱ و لندست-۸ با استفاده از روش اقلیمی محلی و ماشین بردار پشتیبان در کلان شهر تهران انجام شد. با استفاده از روش پیشنهادی مشخص شد که قسمت‌های مرکزی و جنوبی شهر تهران دارای بافت مسکونی بسیار متمرکزی بوده، به طوری که فضای سبز شهری به ندرت در میان بافت شهری ملاحظه می‌شود، درحالی‌که فضای سبز در شمال تهران به صورت پراکنده در میان بافت مسکونی می‌باشد که گویای وجود فضای سبز

خصوصی در این قسمت از شهر می‌باشد. همچنین در جنوب شهر به علت دارا بودن بافت ریزدانه‌ای در این منطقه به علت وجود مراکز مسکونی این نقاط نسبت به بافت مسکونی نقاط شمال شهر، در مناطق مرکزی و جنوبی فضای سبز خصوصی وجود نداشته و یا به ندرت وجود دارند و این هشدار افزایش جزایر گرمایی و دمای بالاتر در جنوب شهر می‌باشد. نقشه‌های تولیدشده با استفاده از سنجش‌از-دور می‌تواند زنگ خطری برای مدیران شهرداری باشد که با برنامه‌ریزی و مدیریت بتوانند مشکلات آبی را جلوگیری نمایند. همچنین، با توجه به نقش به‌سزای فضای سبز در

توجهی به این موضوع می‌تواند مشکلات غیر قابل جبرانی را
برای شهروندان پدید آورد.

روحیه شهروندان و کاهش جرم، ضروری است که مدیران
شهری توجه کافی به مسئله کاهش فضای سبز و عدم
توزیع مناسب کاربری در شهر تهران نمایند، چرا که بی

مراجع

- [1] M. Ostadi, H. Soltani fard, H. adab, Z. Ghelichipour, and A. Pahlavani, "Evaluation and ranking of urban areas with emphasis on the ecological quality of parks and green spaces using the TOPSIS method (case study: urban areas of Mashhad)," *Ecology*, Vol. 43, No. 2, pp. 329-347, 1396.
- [2] A. Pourahmad, M. Akbarpour, and S. Sotoudeh, "Management of urban green space in District 9 of Tehran Municipality," *Human Geography Researches*, Vol. 41, No. 69, pp. 29-50, 1388.
- [3] L. Soleimannejad, J. Feghhi, M. Makhdoum, and M. Namirian, "Investigating the spatial pattern of parks in twenty-two districts of Tehran by land surface measurements," *Environmental Research*, Vol. 6, No. 12, pp. 123-134, 1394.
- [4] B. Feyzizadeh, F. Jafari, and H. Nezamfar, "The application of remote sensing data in revealing the changes in urban land use) a case study of the green space of Tabriz city," *Fine Arts*, Vol. 10, No. 34, pp. 17-24, 1387.
- [5] L. Zebardast, A. Yavari, E. Salehi, and M. Makhdoum, "Using the metric of effective network size in the analysis of the fragmentation of forest covers in the area of road effect in Golestan National Park," *Ecology*, Vo. 34, No. 58, pp. 15-20, 1390.
- [6] P. Ziaieian, L. Sayad, and M. Eskandari, "MAPPING AND ACREAGE ESTIMATING OF RICE AGRICULTURAL LAND USING RADARSAT A SATELLITE IMAGES," *Natrural Geogrical Research.*, Vol. 41, No.68, pp. 45-58, 1388.
- [7] H. Domiri, S. Babaei, A. Metaji, and F. Rashidi, "Evaluation of green space changes in the 2nd district of Tehran using aerial photographs and satellite data," *Sciences and Techniques of Natural Resources*, Vol. 5, No. 2, pp. 13-24, 1389.
- [8] H. Hataminejad and B. Omranzadeh, "Investigation, evaluation and suggestion of urban green space per capita: a case study of Mashhad metropolis," Vol. 8, No. 25, 1389.
- [9] Y. Manlun, "Suitability Analysis of Urban Green Space System based on GIS," *Fac. Geo-Information Sci. Earth Obs.*, 2003.
- [10] M. Soroudi and S.A. Jouzi, "Investigation of qualitative changes in the green space of Tehran from 1369 to 1385," *Environmental Science and Technology*, Vol. 18, No. 4, pp. 335-344, 1395.
- [11] X. Deng, Z. Huang, and X. Cheng, "FinTech and sustainable development: Evidence from China based on P2P data," *Sustain.*, vol. 11, no. 22, 2019, doi: 10.3390/su11226434.
- [12] N. Kussul, M. Lavreniuk, S. Skakun, and A. Shelestov, "Deep Learning Classification of Land Cover and," *IEEE Geoscience Remote Sens. Lett.*, vol. 14, no. 5, pp. 778-782, 2017.
- [13] R. Assaye, K. V. Suryabagavan, M. Balakrishnan, and S. Hameed, "Geo-Spatial Approach for Urban Green Space and Environmental Quality Assessment: A Case Study in Addis Ababa City," *J. Geogr. Inf. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 191-206, 2017, doi: 10.4236/jgis.2017.92012.
- [14] A. Aboutalebi, S. Goudarzi, and H. Pourghasemi, "Investigating the possibility of preparing a landslide risk map using random forest algorithm (study area: Sardarabad watershed, Lorestan province)," *Natural Environment Hazards*, Vol. 7, No. 16, pp. 45-64, 1397.
- [15] L. Breiman, "Random forests," *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001, doi: 10.1023/A:1010933404324.
- [16] M. Farshad and J. Sadeh, "Location of short circuit fault in high voltage direct current transmission lines using generalized regression neural network and random forest algorithm," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 1-14, 1392.
- [17] T. Stewart, I.D.; Oke, "Local climate zones for urban temperature studies," *Am. Meteorol. Soc.*, no. Table 1, 2012, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.
- [18] T. K. Ho, "The random subspace method for constructing decision forests," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 20, no. 8, pp. 832-844, 1998, doi: 10.1109/34.709601.

- [19] F. Jahanbakhshi and M. R. Ekhtesasi, "Performance Evaluation of Three Image Classification Methods (Random Forest, Support Vector Machine and the Maximum Likelihood) in Land Use Mapping," J. Water Soil Sci., vol. 22, no. 4, pp. 235–247, 2019, doi: 10.29252/jstnar.22.4.235.
- [20] Municipality of Tehran, in tehran(IRAN)Statistics, 1st ed., tehran, 1397, p. 7.