



سنجش از دور

GIS ایران



سال دوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۹
Vol.2, No.3, Autumn 2010

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۱۰۳-۱۱۶

شمارش خودکار درختان در تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا به کمک عملگرهای مورفولوژیک

سیدباقر فاطمی*^۱، محمدرضا مباشری^۲، مسعود ورشوساز^۳

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور، گروه مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار گروه مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار گروه مهندسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۶/۷

چکیده

مدیریت فضای سبز شهری از مهم‌ترین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالاست. در مدیریت فضای شهری تعداد درختان و خصوصیات آنها معمولاً در زمره اطلاعات پایه به شمار می‌روند. شمارش دستی تعداد درختان علاوه بر نیاز به نیرو و هزینه و زمان بالا، احتمال خطای زیادی را نیز به خاطر اشتباه‌های انسانی به همراه دارد. علاوه بر این، بسیاری از اوقات هیچ‌گونه اطلاعات مکان‌مند نظیر نقشه پراکندگی درختان در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار نمی‌گیرد و یا در صورت امکان، هزینه‌های زیادی را برای نقشه‌برداری زمین و برداشت تک‌تک درختان می‌طلبد. در مقاله حاضر فرایندی برای شمارش خودکار درختان طراحی شده است که در آن از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا استفاده می‌شود. تصویر مورد نظر از منطقه‌ای در شهر بندرعباس انتخاب شد که در آن انواع درختان مناطق شهری که به صورت مجزا و گروهی و ردیفی در کنار یکدیگر استقرار یافته‌اند، به چشم می‌خورند. از زمان کاشت اکثر درختان موجود در منطقه بیش از ده سال می‌گذرد. در این روش در مرحله نخست تصویری چندطیفی با تصویری پانکروماتیک از سنجنده Quickbird ادغام شدند. سپس از تصویر به دست آمده، نقشه NDVI تهیه گردید. آن‌گاه با اعمال دو عملگر مورفولوژیک (Erosion, RegionalMax) هسته‌های اولیه درختان به دست آمد. نتایج با حذف نقاط اضافه در مناطق غیرپوشش گیاهی، نقاط تکراری و پوشش‌های گیاهی غیردرخت اصلاح شدند. نتایج الگوریتم در مقایسه با داده‌های زمینی دقت خوب و مناسبی، که در حدود ۹۰ درصد به دست آمده است، دارند.

کلیدواژه‌ها: شمارش درختان، عملگر مورفولوژیک، سنجش از دور.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری، تلفن: ۰۹۱۲۱۰۹۱۰۶۴

۱- مقدمه

با فزونی گرفتن تعداد تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا برای مناطق شهری، امروزه کاربردهای بسیاری برای این نوع تصاویر در زمینه‌های مربوط به شهرها پیدا شده است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا (نظیر Ikonos, QuickBird, Geoeye) در مدیریت فضای سبز شهری است. در شهرها انواع فضاهای سبز وجود دارد که از جمله آنها فضاهای مشجرند. تعداد درختان و شناسنامه آنها معمولاً جزو اطلاعات پایه برای مدیریت فضای سبز شهری، زیباسازی شهری و مدیریت امور مالی شهرداری‌ها به‌شمار می‌رود. در زمان حاضر این امر به صورت دستی انجام می‌گیرد که علاوه بر نیاز به نیروی کار و نیز هزینه و زمان بالا، احتمال خطای زیادی به همراه دارد؛ ضمن اینکه بدون نقشه‌برداری‌های زمینی پرهزینه، هیچ‌گونه اطلاعات مکان‌مند معنی‌داری - نظیر نقشه پراکندگی درختان - در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار نمی‌گیرد.

به خاطر این مشکلات، تلاش‌های زیادی برای استخراج خودکار تعداد درختان از تصاویر ماهواره‌ای و هوایی انجام شده است. در پژوهش پولاک^۱ (1994) در این زمینه، وی با مدل‌سازی سه‌بعدی درختان در عکس‌های هوایی، به استخراج و شمارش خودکار درختان پرداخته است. در این تحقیق سطح بیضوی سه‌بعدی ساده‌ای به عنوان مدلی از تاج درختان به کار رفته است. محققان دیگری در ادامه کار وی سعی در بهبود این روش داشته‌اند (Straub, 2004). اجرای روش یاد شده، چون براساس مدل‌سازی است بسیار سخت می‌نماید ولی دقت آن خوب و مناسب است. شمارش خودکار درختان در مناطق شهری را برنر و هالا^۲ (1999) مورد توجه قرار دارند. در روش آنان ساختار اسکلتی دسته‌های درختان از تصویر استخراج گردیده و سپس گره‌های حاصل از این ساختار اسکلتی به عنوان موقعیت احتمالی درختان، تشخیص داده شده است. واسل من^۳ (2003) از بیشینه‌های محلی یک مدل رقومی سطح^۴ برای

شمارش درختان استفاده کرد. روش پیشنهادی وی فقط برای ردیف‌های خطی درختان و همچنین مناطق شهری با پیچیدگی کمتر، پاسخ‌های خوب و مناسبی را ارائه می‌کند که معمولاً در شهرها همیشه این شرایط حاکم نیست. در این زمینه لیم^۵ (2007) نیز از داده‌های تصویری با قدرت تفکیک بالا و همچنین یک مدل رقومی سطح نرمال شده برای تشخیص درختان و همچنین میزان تاج پوشش گیاهی آنها در سطح مناطق شهری استفاده کرد. وی با مدل‌سازی سه‌بعدی درختان و همچنین استفاده از داده‌های مذکور توانست به دقت مطلوبی برسد. الگوریتم پیشنهادی وی برای مواقعی که مدل رقومی سطوح دقیق در دست نباشد اجرائش دنی نیست. استراب (2004) با در نظر گرفتن مدلی سه‌بعدی و قطعه‌بندی چندمقیاسی، درختان را در قطعه‌بندی‌های مختلف با مقیاس‌های گوناگون تشخیص داد.

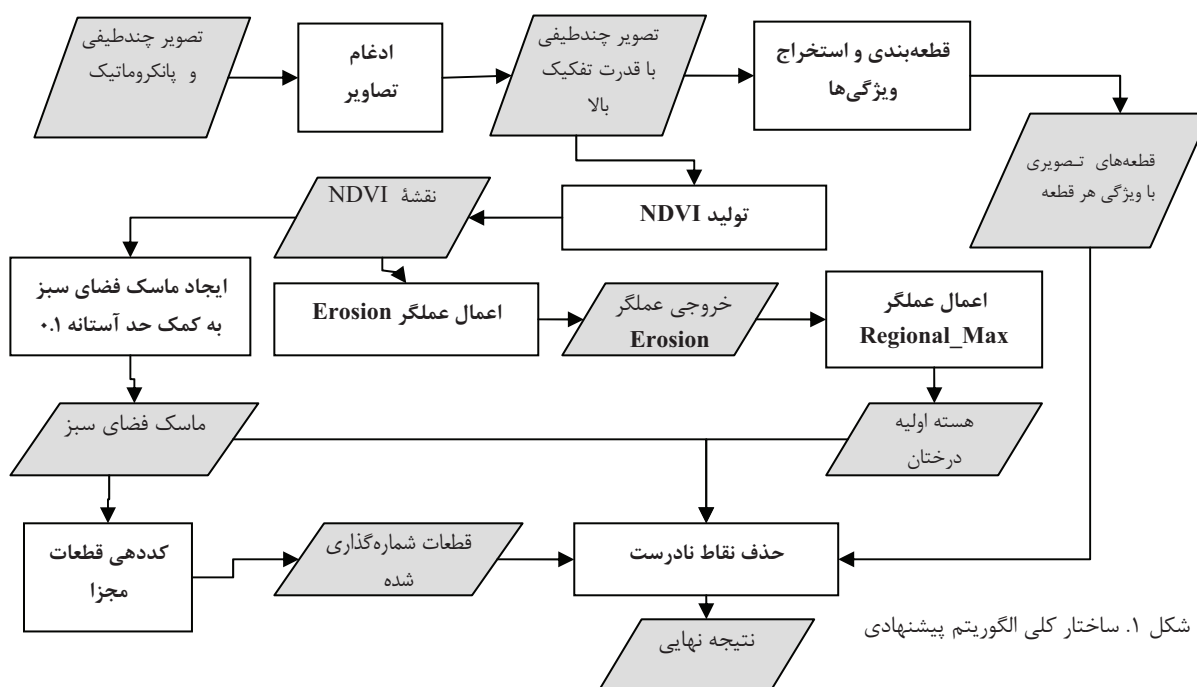
هر قطعه به‌دست آمده در این روش یک درخت بالقوه است که با اعمال شرط‌هایی نظیر پارامترهای شکل، مقدار NDVI، اندازه و جز اینها، درختان از دیگر عوارض جدا و متمایز می‌شوند. در تحقیقی دیگر کارانتزالوس^۶ (2004) و همکاران برای استخراج و شمارش خودکار درختان زیتون از تصاویر ماهواره‌ای QuickBird الگوریتمی را ارائه کرده‌اند. در روش پیشنهادی وی که روی تصاویر در سطح درجات خاکستری اعمال می‌شود، ابتدا تصویر تحت عملگرهای همگن‌سازی^۷ قرار می‌گیرد و سپس عملگر تشخیص حباب^۸ برای بارزسازی عوارض مطلوب به کار می‌رود. در نهایت، مقادیر بیشینه محلی نتایج یک عملگر

1. Pollaock
2. Brenner & Haala
3. Vosselman
4. Local Maximums of a Digital Surface Model (DSM)
5. Lim
6. Karantzas
7. Smoothing
8. Blob Detection

بیشینه‌های محلی برای یافتن موقعیت تاج درختان و تشخیص حدود آنها استفاده کرده‌اند؛ آن هم با این فرض اساسی که مقادیر بالا در باندهای خاصی مربوط به تاج درختان‌اند و مقادیر پایین به سایه بین تاج درختان مربوط می‌شوند. در روش آنان، دقت‌های متفاوتی برای گونه‌های خاص به دست آمده است.

در روش حاضر، علاوه بر اینکه از شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی^۳ (NDVI) به عنوان معیاری کنترل‌کننده برای الگوریتم استفاده گردیده، از آن به عنوان پارامتر اصلی تشخیص درختان نیز بهره برده شده است. استفاده از عملگرهای ساده مورفولوژیک ضمن کاربردی کردن این الگوریتم در همه نرم‌افزارهای پردازش تصاویر، امکان کنترل روند الگوریتم را با تغییر پارامترهای مؤثر در این عملگرها فراهم می‌سازد. ساختار کلی الگوریتم را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد. در ادامه، جزئیات الگوریتم پیشنهادی توضیح داده می‌شود.

لاپلاسین برای شمارش درختان به کار می‌رود. وانگ^۱ و همکاران (2004) در تحقیقی، به استخراج موقعیت و مرز تاج درختان از تصاویر هوایی با قدرت تفکیک بالا پرداخته‌اند. در تحقیق اینان ابتدا تبدیل مؤلفه‌های اصلی روی تصویر اعمال می‌گردد؛ و سپس لبه‌های تصویر در مرحله بعد به دست می‌آید. با استفاده از لبه‌های به دست آمده، مرزهای بسته‌ای به دست آمده‌اند که در واقع عوارض اولیه‌اند. سپس در هر قطعه با استفاده از تصویر اصلی و به کمک عملگرهای مورفولوژیک محلی موقعیت درختان تشخیص داده می‌شود. با توجه به وجود لبه‌های مختلف در سطح تصویر و همچنین الگوریتم‌های بستن پلیگون‌های حاصل از لبه، می‌توان گفت که خطاهای زیادی در این روش وجود دارد. له‌کی^۲ (2005) و همکاران در تحقیقی از یک تصویر رنگی هوایی با قدرت تفکیک ۷۰ سانتیمتر، به شناسایی درختان سوزنی‌برگ در منطقه‌ای از کانادا و همچنین تفکیک گونه‌ها کوشیده‌اند. آنها در این تحقیق از روش کمینه‌ها و



شکل ۱. ساختار کلی الگوریتم پیشنهادی

1. Wang
2. Leckie
3. Normalized Difference Vegetation Index

۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از یک تصویر ماهواره Quickbird به ابعاد 394×380 پیکسل استفاده گردید. این تصویر در دو بخش چندطیفی در چهار باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی $2/4$ متر و یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک $0/6$ متر گرفته شده است. تصویر مذکور مربوط به قسمتی از شرق شهر بندرعباس در دو کیلومتری فرودگاه این شهر و در حاشیه یک بزرگراه در تاریخ $2008/9/4$ میلادی است. تصویر مورد نظر از منطقه‌ای در شهر بندرعباس انتخاب گردید که در آن انواع درختان مناطق شهری - که به صورت مجزا و گروهی و ردیفی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند- وجود دارد. زمان کاشت بیشتر درختان موجود در منطقه به بیش از ده سال می‌رسد. به منظور آنالیز و شمارش درختان، از تصویر مذکور به عنوان تصویر پایه استفاده شده است (شکل ۲).

با حضور در منطقه مورد نظر (با فاصله زمانی ۸ ماه از گرفته شدن تصویر) شمارش درختان و تعیین موقعیت تک‌تک آنها روی تصویر ماهواره‌ای انجام شد. این داده‌ها برای برآورد میزان صحت الگوریتم به کار رفتند. داده‌ها به تصویری باینری تبدیل شدند که عدد ۱ نشان‌دهنده وجود یک درخت است و عدد صفر حاکی از فقدان درخت. بدیهی است که برای هر درخت، تنها یک پیکسل با مقدار یک در نظر گرفته شد.

۳- الگوریتم توسعه یافته

این تحقیق بر پایه چندفرضی اساسی شکل گرفته است: الف - تصویر در زمانی گرفته شده که پوشش‌های گیاهی را به راحتی می‌توان از دیگر عوارض تصویر، تشخیص داد و متمایز کرد (2008-09-04).

ب - اندازه درختان قابل کشف، حداقل ۹ پیکسل $0/6$ متری در تصویر است. بدین ترتیب این الگوریتم به دنبال درختانی با چتر گیاهی کمتر از ۹ پیکسل (یعنی درختانی که چتر گیاهی با شعاع کوچک‌تر از یک متر دارند) نیست.

ج) این روش به نوع درخت حساسیت ندارد؛ بدین معنی که بر اطلاعات طیفی در تعیین درختان تأکیدی نشده است. البته سن و اندازه درخت باید به گونه‌ای باشد که شرط «ب» را برآورده سازد.

در این تحقیق ابتدا تصاویرهای چندطیفی و پانکروماتیک ادغام شدند. سپس از تصویر به دست آمده، یک نقشه NDVI تهیه گردید. در مرحله بعد یک عملگر مورفولوژیک Erosion روی این نقشه اعمال شد. پس از آن، با اعمال عملگر مورفولوژیک دیگری به نام Regionalmax، هسته‌های اولیه درختان به دست آمد. برای حذف نقاطی که در مناطق دارای پوشش غیرگیاهی تشخیص داده شده بودند، ماسکی که از نقشه NDVI به دست آمده بود به کار رفت. برای برخی از درختان دو نقطه نزدیک به هم به دست آمده بود، که ابتدا تصویر قطعه‌بندی گردید و سپس در هر قطعه نقاط نزدیک به یکدیگر به طور مجزا در هم آمیختند و ترکیب شدند. مناطق پوشش گیاهی غیردرخت با استفاده از پارامترهای بافت و نظایر آن برای قطعه‌های تولید شده از مناطق با پوشش درخت حذف گردیدند. در ادامه به شرح جزئیات هر کدام از قسمت‌های الگوریتم پرداخته می‌شود.

۳-۱- ادغام تصاویر

ادغام تصاویر به عنوان راهی برای استفاده همزمان از قدرت طیفی تصاویر چندطیفی و قدرت تفکیک مکانی تصاویر پانکروماتیک مطرح می‌شود (Prasad et al 2007, Hong 2001). ادغام تصاویر در این تحقیق، با توجه به اینکه شمارش خودکار تک‌تک درختان موضوع اصلی است، الزامی بود؛ زیرا قدرت تفکیک $2/4$ متر تصویر چندطیفی، ابهام زیادی را در آنالیز به وجود می‌آورد و به عدم موفقیت آن دامن می‌زند.

با استفاده از ادغام تصاویر می‌توان به تصویری چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی $0/6$ متر رسید که با توجه به فرض شماره ب این تحقیق (بخش ۳)، برای

روش استفاده شده در این تحقیق برای ادغام تصاویر، روش Gram-Schmidt Spectral Sharpening است (Mather, 2004) که دقت مناسبی برای ادغام تصاویر دارد. در این روش ابتدا باند پانکروماتیک از تصاویر چندطیفی شبیه‌سازی می‌گردد. سپس یک تبدیل Gram-Schmidt روی باند پانکروماتیک شبیه‌سازی می‌شود و تصویر چندطیفی اعمال می‌گردد. در مرحله بعد باند پانکروماتیک اصلی به جای باند نخست از مجموعه باندهای به دست آمده قرار می‌گیرد. تبدیل معکوس Gram-Schmidt برای ایجاد تصویر نهایی اعمال می‌شود. حاصل ادغام تصاویر چندطیفی و پانکروماتیک، در شکل ۲ مشاهده می‌گردد. نمونه‌ای از یک پروفیل افقی روی دو تصویر چندطیفی و تصویر ادغام شده، که به منظور بررسی کیفیت ادغام به کار رفته است، در شکل ۳ دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، رفتار کلی عوارض در تصویر ادغام شده تقریباً حذف گردیده است.

تشخیص درختان مورد نظر مناسب می‌نماید. گرچه ادغام تصاویر باعث مختصری اعوجاج طیفی در مقادیر پیکسل‌ها می‌گردد ولی با انتخاب روش مناسب می‌توان میزان خطا در ادغام تصاویر را به حداقل رساند (Prasad et al. 2001, Affary 2004, Zhao et al. 2007). البته با توجه به اینکه در این تحقیق از مقادیر NDVI در همسایگی یا محله‌ای کوچک به عنوان تشخیص‌دهنده اصلی درختان استفاده می‌شود، اندکی اعوجاج در مقادیر طیفی چندان تأثیر نخواهد داشت و می‌توان از آن چشم پوشید. برای انتخاب روش بهینه ادغام تصاویر از میان روش‌های موجود، روش‌های PCI، HIS transform، Gram-Schmidt Spectral Sharpening، Transform مورد آزمایش قرار گرفتند و از میان آنها، براساس بررسی کمی هیستوگرام و مقادیر طیفی پیکسل‌ها و همچنین بررسی بصری، روش Gram-Schmidt Spectral Sharpening انتخاب گردید.



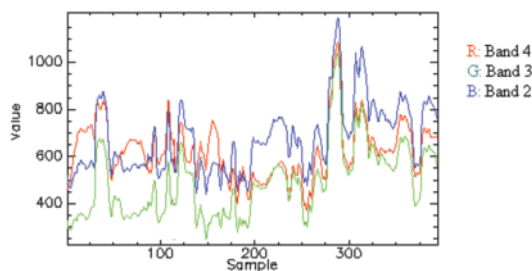
شکل ۲.ب. تصویر پانکروماتیک منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک ۰/۶ متر



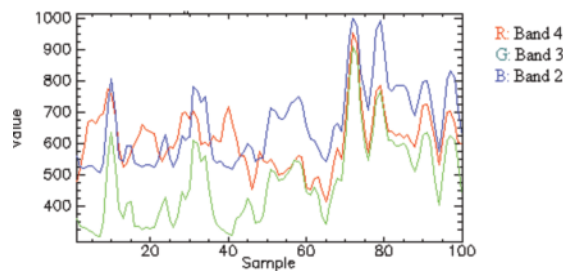
شکل ۲.الف. تصویر (ترکیب ۴۳۲) چندطیفی منطقه مورد مطالعه با قدرت تفکیک ۲/۴ متر



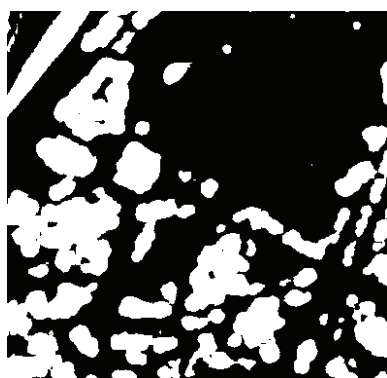
شکل ۲.ج. تصویر حاصل از ادغام دو تصویر الف و ب به روش Gram-Schmidt قدرت تفکیک ۰/۶ متر



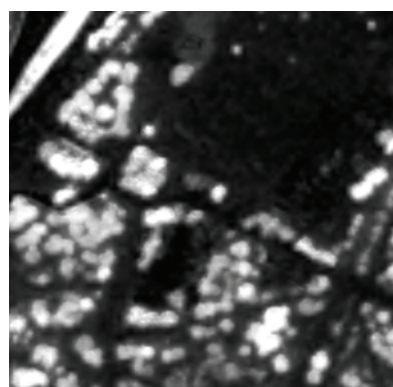
شکل ۳.ب. پروفایل افقی یک سطر از تصویر ادغام شده



شکل ۳.الف. پروفایل افقی یک سطر از تصویر چندطیفی اصلی



شکل ۴.ب. ماسک باینری NDVI



شکل ۴.الف. نقشه NDVI منطقه قدرت تفکیک (۰/۶ متر)

برای حذف مناطق فاقد پوشش گیاهی که ممکن است در آمارگیری در نظر گرفته شوند، از نقشه NDVI با قرار دادن مقدار آستانه، یک ماسک باینری تهیه گردید. مقدار بهینه این آستانه با آزمون مقادیر مختلف (با بررسی میزان تطابق نتایج با تصویر رنگی) معادل ۰/۱ در نظر گرفته شد. این نقشه ماسک باینری NDVI نامیده می‌شود. نقشه NDVI و ماسک تهیه شده، در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

۳-۳- اعمال عملگرهای مورفولوژیک

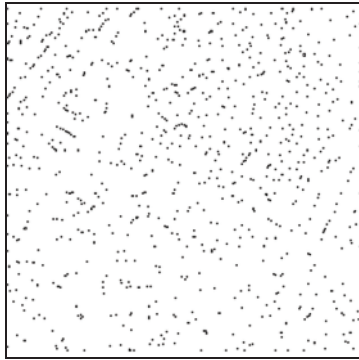
با توجه به اینکه هدف اصلی این مقاله شمارش خودکار درختان بوده است، بنابراین لازم می‌نمود تا کمی به نفع مرکز درختان در این مرحله از تحقیق به منظور محدود کردن حیطه کار و حذف پیکسل‌های موجود در لبه عوارض، عملگر Erosion (Haralick et al., 1987) روی نقشه NDVI اعمال گردد. در این حالت که عملگر

۳-۲- تولید نقشه NDVI و ماسک مناطق پوشش گیاهی

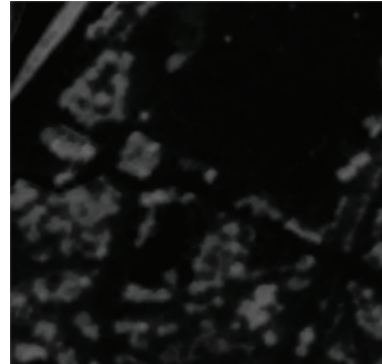
در این مرحله به کمک فرمول NDVI (Mather, 2004)، این شاخص پوشش گیاهی با استفاده از تصویر حاصل از عملیات ادغام تصاویر محاسبه گردید. در تحقیق حاضر از این نقشه به عنوان نقشه پایه برای تشخیص درختان استفاده شده است. با توجه به اینکه موضوع مورد تحقیق - یعنی درختان - در نقشه NDVI دارای مقادیر بالایی خواهند بود و بخش‌های غیرپوشش گیاهی مقادیر کوچک‌تری را خواهند داشت، نقشه NDVI می‌تواند پایه مناسبی برای کشف انواع پوشش‌های گیاهی باشد. عملگرهای مورفولوژیکال در برابر ساختار همسایگی یا محله و همچنین تغییرات محلی بسیار حساس‌اند و بنابراین می‌توان انتظار داشت که با اعمال عملگرهای مورفولوژیکال روی نقشه NDVI، مناطق مورد نظر شناسایی شوند.

پس از اعمال عملگر Erosion، برای به دست آوردن موقعیت درختان عملگر Regionalmax روی نقشه حاصل از عملگر Erosion اعمال گردید. این عملگر در صورتی که پیکسل مرکزی مقدار بیشینه را در میان مقادیر هسته خود داشته باشد، مقدار یا عدد ۱ را به خروجی نسبت می‌دهد؛ و در غیر این صورت مقدار صفر به پیکسل مرکزی در ماتریس خروجی نسبت داده خواهد شد (Haralick et al. 1987). به این صورت نقشه اولیه موقعیت درختان به دست می‌آید. شکل ۵-ب نقاط به دست آمده از این عملگر، و شکل ۵-ج همپوشانی نقاط به دست آمده روی ترکیب رنگی کاذب تصویر ادغام شده منطقه را نشان می‌دهد. با اعمال این عملگرها ۹۴۳ نقطه به دست آمد.

روی تصویری غیرباینری اعمال می‌شود، عمل کوچک کردن^۱ انجام می‌گیرد و با کوچک‌تر شدن محدوده پوشش‌های گیاهی، از تولید نقاط زیاد به ازای درختان اجتناب می‌شود و در عمل می‌توان به هسته‌های اصلی درختان نزدیک‌تر شد. عملکرد عملگر Erosion به این صورت است که در پنجره عملیاتی آن - که در این تحقیق مربعی 3×3 در نظر گرفته شد- کوچک‌ترین مقدار به پیکسل مرکزی هسته عملگر منتسب می‌گردد. نتیجه اعمال این عملگر روی نقشه NDVI در شکل ۵-الف مشاهده می‌شود. با توجه به قدرت تفکیک تصویر و حجمی که تاج پوشش درختان تشکیل می‌دهد و همچنین فرض شماره ب تحقیق (بخش ۳) در همه این پردازش‌ها از اتصال ۸ تایی^۲ استفاده شد.



شکل ۵.ب. حاصل اعمال عملگر Regionalmax روی تصویر الف



شکل ۵.الف. حاصل اعمال عملگر Erosion روی نقشه NDVI



شکل ۵.ج. حاصل اعمال عملگر Regionalmax روی تصویر الف (قرار داده شده روی ترکیب رنگی)

1. Shrink
2. 8 Connectivity

Geometric:

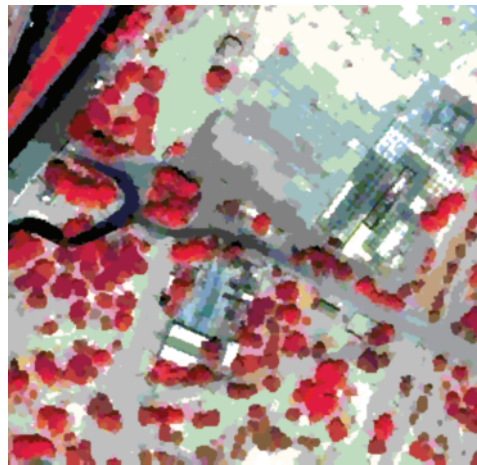
AREA, LENGTH, COMPACT, CONVEXITY,
SOLIDITY, ROUNDNESS, FORMFACTOR,
ELONGATION, RECT_FIT, MAINDIR,
MAJAXISLEN, MINAXISLEN, NUMHOLES,
HOLESOLRAT.

Spectral:

BANDRATIO, HUE, SATURATION, INTENSITY,

Texture and Statistical:

TX_RANGE, TX_MEAN, TX_VARIANC,
TX_ENTROPY, MINBAND_1, MAXBAND_1,
AVGBAND_1, STDBAND_1, MINBAND_2,
MAXBAND_2, AVGBAND_2, STDBAND_2,
MINBAND_3, MAXBAND_3, AVGBAND_3,
STDBAND_3, MINBAND_4, MAXBAND_4,
AVGBAND_4



شکل ۶. نتیجه قطعه‌بندی و پارامترهای محاسبه شده برای هر قطعه شامل پارامترهای هندسی، طیفی، آماری

اعمال گردید و سپس به‌وسیله برنامه‌ای مجزا به هر کدام از قطعه‌های به دست آمده شماره‌ای منحصر به فرد اختصاص یافت و نسبت داده شد. این اطلاعات برای حذف نقاط مضاعف در مرحله بعد (بخش ۳-۵) به کار رفتند. نتیجه قطعه‌بندی تصویر در شکل ۶ نشان داده شده است.

۳-۵- حذف نقاط نامطلوب از نتایج

با توجه به نتایج به دست آمده در بخش‌های ۳-۳ و ۳-۴ مجموع نقاطی که به اشتباه درخت تشخیص داده شده‌اند، شامل اینهاست: نقاط شناسایی شده در مناطق فاقد پوشش گیاهی، مناطق پوشش گیاهی غیردرخت نظیر چمن، و نقاط مضاعف به دست آمده برای درختان. بدین ترتیب، مراحل بعدی به‌منظور تصحیح نتایج به اجرا درآمدند. در مرحله نخست به‌منظور حذف نقاطی که در مناطق فاقد پوشش گیاهی واقع‌اند، ماتریس به دست آمده از مرحله ۳-۳، در ماسک باینری NDVI (بخش ۳-۲) ضرب پیکسل به پیکسل شد. با این کار کلیه نقاطی که در مناطق غیرپوشش گیاهی به دست آمده بودند حذف گردیدند. در مرحله بعد با استفاده از پارامترهای بافت و طیف که برای قطعه‌های

همان‌طور که در شکل ۵-ب و ۵-ج مشخص است، نقاط به دست آمده در مناطق فاقد پوشش گیاهی و در مناطقی که پوشش گیاهی به‌جز درخت دارند (مانند زمین‌های چمن در سطح شهر و پارک‌ها) نیز مشاهده می‌شوند. به‌علاوه، برای برخی از درخت‌ها که نسبتاً بزرگ‌اند و سطح زیادی را در تصویر پوشش می‌دهند، دو نقطه تشخیص داده شده‌اند. مراحل بعدی برای حذف این خطاها و اصلاح آمار به دست آمده اعمال گردیده‌اند.

۳-۴- قطعه‌بندی

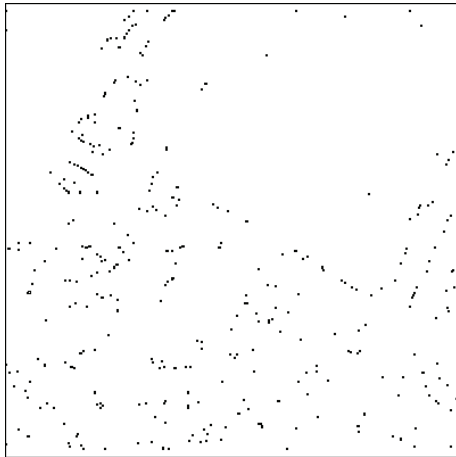
قطعه‌بندی^۱ عبارت است از تقسیم هر تصویر به قطعاتی معنی‌دار که با یکدیگر همپوشانی نداشته باشند و دارای خصوصیات طیفی یا هندسی نزدیک به هم باشند (Mitra et al., 2004, Cheng et al., 2001, Gonzalez and Woods 2002). در این بخش، تصویر به‌وسیله یک الگوریتم قطعه‌بندی براساس تشخیص لبه‌ها (Woods 2002 and Ray 2005, Gonzalez and Acharya نرم‌افزار ENVI قطعه‌بندی گردید. پس از قطعه‌بندی، برای هر قطعه به دست آمده پارامترهای مختلف بافتی، شکلی، آماری و طیفی (شکل ۶) محاسبه گردید. از این قطعه‌بندی برای حذف بخش‌های دلخواه استفاده شد. قطعه‌بندی دیگری نیز روی ماسک باینری NDVI

1. Segmentation

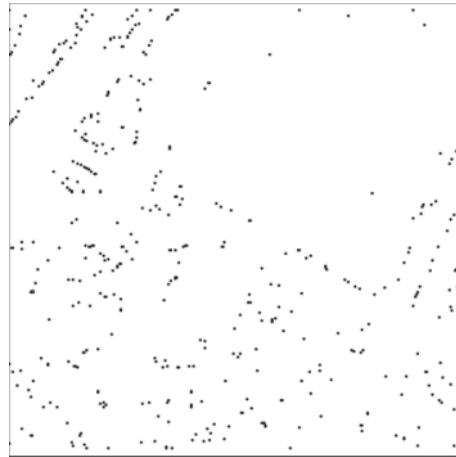
داخل هر قطعه را (حاصل از بخش ۳-۴) به طور مجزا مشخص می‌کند؛ و در مرحله بعد، فاصله بین همه نقاط قطعه محاسبه می‌شوند. پس از انجام این محاسبات، با اعمال حد آستانه، نقاطی که فاصله آنها از این حد آستانه کمتر باشد در هم ادغام می‌شوند. بدین طریق، میزان خطای نقاط مضاعف تا حد زیادی کاهش می‌یابد. شکل ۸ حاصل حذف مجموعه خطاهای مذکور را که روی تصویر منطقه قرار داده شده است، نشان می‌دهد. به این ترتیب با حذف ۱۳۱ نقطه در تصویر، بقیه آنها یعنی ۲۹۸ نقطه، به عنوان درخت در نظر گرفته شدند.

تشخیص داده شده در مرحله قبل محاسبه گردید، قطعه‌های مربوط به چمن مشخص شدند و نقاط به دست آمده مربوط به آنها حذف گردیدند. به این ترتیب ۴۲۹ نقطه از ۹۴۳ نقطه تشخیص داده شده در مرحله قبل باقی ماند. حاصل اعمال این دو مرحله در شکل ۷ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۷.ج مشاهده می‌شود، در برخی از درختان دو پیکسل به عنوان معیار حضور یک درخت تشخیص داده شده‌اند. برای حذف این نقاط مضاعف، از معیار فاصله بین نقاط تشخیص داده شده در داخل هر قطعه استفاده شد. بدین منظور، ابتدا الگوریتم نقاط



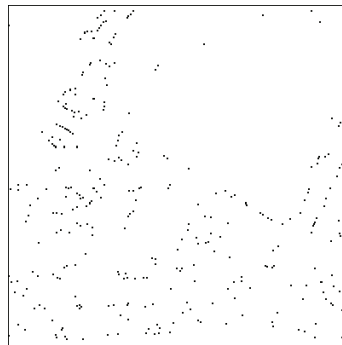
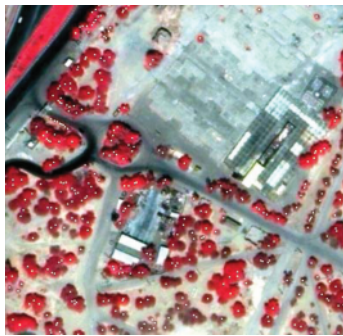
شکل ۷.ب. نتیجه حذف نقاط مربوط به پوشش‌های گیاهی غیر درخت



شکل ۷.ف. نتیجه حذف نقاط مربوط به مناطق غیر پوشش گیاهی



شکل ۷.ج. تشخیص دو نقطه برای یک درخت در برخی از مناطق با فاصله نزدیک



شکل ۸. نقشه پراکندگی درختان در منطقه مورد مطالعه

۴- ارزیابی دقت

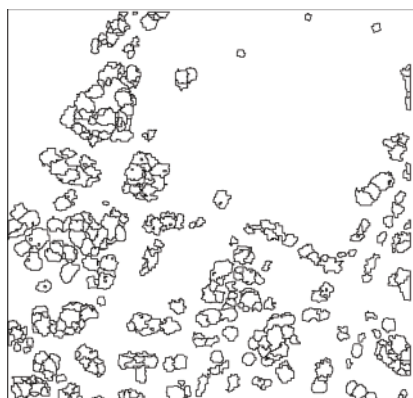
به منظور ارزیابی میزان دقت، با حضور در منطقه مورد نظر، تعداد درختان شمارش شد و موقعیت آنها روی تصویر مشخص گردید. با استفاده از این اطلاعات (نقشه پراکندگی درختان تهیه شده از کار زمینی و به دست آمده از الگوریتم) محاسبات مربوط به ارزیابی دقت انجام گرفت. با مقایسه «همپوشانی» اطلاعات زمینی با نقشه به دست آمده از درختان منطقه، مشخص گردید که همه نقاط کشف شده به عنوان درخت، واقعاً درختاند. تعداد کل درختان تشخیص داده شده معادل ۲۹۸ اصله است که در مقایسه با تعداد واقعی درختان (۳۳۰ اصله) میزان ۹۰/۳ درصد برای کشف درختان به دست می‌آید. تعداد درختان تشخیص داده نشده ۲۴ اصله برآورد گردید که معادل ۷/۹ درصد کل درختان منطقه مورد مطالعه است. به این ترتیب نقشه پراکندگی درختان و همچنین تعداد درختان به صورت خودکار به وسیله الگوریتم به دست آمد.

به منظور مقایسه نتایج این روش یا روش دیگر، از روش مبتنی بر شیء^۱ استفاده شد. روش به کار گرفته شده شبیه روش (Straub, 2004) است، با این تفاوت که در این روش از اطلاعات مدل رقومی سطح (به علت فقدان آن) استفاده نشد، و فقط داده‌های تصویری برای استخراج درختان به کار رفت تا شرایط دو روش یکسان باشد. برای استخراج درختان ابتدا قطعه‌بندی‌ای مطابق روش بخش ۳-۴ روی تصویر اعمال گردید و برای هر

قطعه پارامترهای بافت و طیفی (شکل ۵) محاسبه شد. با توجه به پارامترهای برگرفته شده در مرحله نخست برای قطعه‌بندی، ۳۵۲۹ قطعه در تصویر استخراج شدند. سپس با توجه به پارامترهای مذکور قطعه‌های مربوط به درخت از بقیه کلاس‌ها جدا گردیدند، و در این مرحله ۴۷۰ قطعه باقی ماند. آن‌گاه خروجی برداری از این نتایج به محیط GIS برده شد. در این محیط با استفاده از معیار مساحت و بیشترین مرز مشترک قطعه‌های کوچک‌تر در قطعه‌های بزرگ همسایه ادغام شدند. در پایان ۳۸۶ قطعه، درخت تشخیص داده شدند. نتیجه این عملیات را می‌توان در شکل ۹ مشاهده کرد.

با بررسی نتایج این روش، مشخص گردید که همه درختان موجود در تصویر به وسیله این روش استخراج شده‌اند. برای برخی از درختان به جای یک قطعه، دو یا گاه سه قطعه تشخیص داده شده است. با توجه به تعداد واقعی درختان (۳۳۰ اصله) دقت این روش حدود ۸۳ درصد برآورد می‌شود. باید توجه داشت که دقت این روش بسیار به دقت قطعه‌بندی و همچنین اصلاحاتی که در مراحل بعدی به نتایج آن اعمال می‌گردد بستگی می‌یابد. همچنین در مرحله قطعه‌بندی تشخیص پارامترهای مورد نیاز الگوریتم به روش آزمون و خطا و با صرف زمان کافی تعیین می‌شود.

1. Object Based Classification



شکل ۹. نقشه درختان شناسایی شده به روش طبقه‌بندی مبتنی بر شیء



شکل ۱۰. موقعیت درخت‌های تشخیص داده نشده با الگوریتم، که روی تصویر رنگی منطقه قرار داده شده‌اند.

◆ درخت تشخیص داده نشده با الگوریتم

□ درخت تشخیص داده شده با الگوریتم

۵- بحث و بررسی

به منظور بررسی علت‌های خطا، درختانی که با الگوریتم کشف نشده‌اند، در تصویر ترکیب رنگی مشخص گردیده‌اند. شکل ۱۰ موقعیت برخی از درختان کشف نشده را نشان می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه درختان مجزا و همچنین گروه‌های فشرده درختی و ردیف‌های درخت وجود دارند.

با مشاهده موقعیت این درختان در تصویر رنگی (شکل ۱۰)، مشخص می‌گردد که اکثر این درختان در گروه‌های فشرده درختی قرار دارند و شمارش تک درختان به خوبی انجام شده است. تعدادی از این درختان، کوچک‌تر از درختان مجاورند که با در نظر گرفتن فاصله کم آنها با یکدیگر، در واقع اینها در کنار درختان بزرگ‌تر قرار گرفته‌اند و الگوریتم توان کشف آنها را نداشته است. تعدادی از درختان کشف نشده، جزو درختانی قرار می‌گیرند که اندازه آنها به حدی

نرسیده است که با معیار فرض شده در بخش ۳ همخوانی داشته باشند و بنابراین خطا محسوب نمی‌شوند. با بررسی درختان تشخیص داده نشده، معلوم گردید که نوع و سن و گونه این درختان متنوع است و بدین ترتیب درواقع این پارامترها تأثیری در تشخیص الگوریتم نداشته‌اند. با توجه به اینها می‌توان گفت که بیشترین خطا در بخش درختان متراکم به چشم می‌خورد، که این با در نظر گرفتن مجاورت آنها امری طبیعی است. حتی با تفسیر بصری نیز، که هوش و تجربه انسانی در آن دخیل است، شمارش درختان از روی تصویر برای مناطق دارای تراکم درختان زیاد، امر ساده‌ای نیست و حتماً با خطا همراه خواهد بود. بخشی از خطا به علت ایجاد ابهام ناشی از ادغام تصاویر به وجود آمده است؛ بدین معنی که ادغام تصویر باعث ایجاد ابهام در مرز درخت‌ها شده، و در نتیجه الگوریتم نتوانسته است برخی از درختان را کشف کند.

بهره‌گیری از داده‌های LIDAR - که امروزه دسترسی به آنها میسر است- در مناطق شهری می‌تواند کمک فراوانی در کشف درختان باشد؛ و در صورت وجود، می‌توان از ترکیب این داده‌ها با داده‌های تصویری استفاده کرد.

دقت به دست آمده حاکی از آن است که الگوریتم پیشنهادی قابلیت خود را در تشخیص خودکار درختان نشان داده است. با توجه به اینکه شمارش دستی و حضوری درختان مستلزم صرف وقت و هزینه و نیروی انسانی زیادی است، استفاده از الگوریتم پیشنهادی در کنار کاربردهای بسیاری که تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا در مقوله‌های شهری دارند، می‌تواند کاربرد مفید دیگری را در اختیار کاربران قرار دهد.

در این روش، علاوه بر شمارش درختان با دقت بالا، به صورت خودکار نقشه‌ای نیز با دقتی نسبتاً مناسب و تعیین موقعیت تقریبی درختان- از موقعیت مکانی آنها و چگونگی توزیع و پراکندگی درختان در منطقه مورد مطالعه تولید می‌شود. روش پیشنهادی از ابزارهای نسبتاً ساده‌ای استفاده می‌کند که امروزه در نرم‌افزارهای پردازش تصاویر و سنجش از دور در دسترس همگان قرار دارند، و بنابراین به کارگیری و پیاده‌سازی آنها دشوار نیست.

۷- منابع

- Acharya T., Ray A.K., 2005, **Image Processing: Principles and Applications**, John Wiley & Sons, ISBN-13 978-0-471-71998-4.
- Affary A., Emami H., 2004, **Satellite Image Fusion Using Wavelets Transform**, Geomatic 83, Tehran, Iran (On CDROM).
- Cheng H.D., Jiang X.H., Sun Y., Wang Jingli, 2001, **Color Image Segmentation: Advances and Prospects**, Pattern Recognition 34 (2001) 2259-2281.

با توجه به استفاده از الگوریتم‌های ساده در روش مورد بحث، میزان دخالت انسان در این الگوریتم نسبتاً پایین است و سرعت اجرای آن نیز به همین خاطر مناسب است. روش مذکور در قیاس با روش مبتنی بر شیء (که در بخش قبلی به منظور مقایسه بدان اشاره شد) از لحاظ سرعت و میزان نیاز به دخالت عامل انسانی نیز وضعیت بهتری دارد.

۶- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر روشی برای شمارش خودکار درختان در تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا ارائه شد. در مرحله نخست تصویرهای چندطیفی و پانکروماتیک ادغام شدند. سپس از تصویر به دست آمده نقشه NDVI تهیه گردید. آن‌گاه با اعمال چند عملگر مورفولوژیک، هسته‌های اولیه درختان به دست آمد. نتایج با حذف نقاط اضافه در مناطق فاقد پوشش گیاهی، نقاط تکراری و پوشش‌های گیاهی غیردرخت اصلاح شدند. مقایسه نتایج حاصل از اعمال روش پیشنهادی با داده‌های زمینی دقت بالایی را (حدود ۹۰ درصد) نشان می‌دهد.

با بررسی منابع خطا و همچنین مراحل متفاوت الگوریتم، برای بهبود نتایج الگوریتم پیشنهاد می‌گردد که از الگوریتم‌های پیشرفته‌تر ادغام تصاویر - نظیر ادغام براساس تبدیل موجک‌ها- استفاده شود. بی‌تردید هر چه دقت روش ادغام بالاتر باشد و بتواند خصوصیات طیفی تصویر را حفظ کند، دقت نهایی نقشه NDVI و در نتیجه شمارش درختان بهتر خواهد شد. استفاده از شاخص‌های دیگری غیر از NDVI نیز جای مطالعه و بررسی دارد. در این تحقیق برای حذف پوشش‌های گیاهی متفرقه مانند چمن، از قطعه‌بندی تصویر استفاده شد که ممکن است الگوریتم را کمی پیچیده سازد. با توجه به اینکه در مناطق شهری معمولاً نقشه‌هایی با مقیاس مناسب از مناطق پوشش گیاهی نظیر چمن وجود دارند، می‌توان برای ساده‌سازی الگوریتم در صورت امکان از این نقشه‌ها استفاده کرد.

- Gonzalez R.C., Woods R. E., 2002, **Digital Image Processing**, Second Edition, by Prentice-Hall, ISBN 0-201-18075-8.
- Haala N., Brenner C., 1999, **Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2-3 (54), pp. 130-137.
- Haralick, Sternberg, and Zhuang, 1987, **Image Analysis Using Mathematical Morphology**, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-9, No. 4, July 1987, pp. 532-550.
- Hong Gang, 2007, **Image Fusion, Image Registration, and Radiometric Normalization for High Resolution Image Processing**, Ph.D. dissertation, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Technical Report No. 247, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, p. 198.
- Karantzas K.G., Argialas D.P., 2004, **Towards Automatic Olive Tree Extraction from Satellite Imagery**, ISPRS, Commission III, WG 4, Istanbul.
- Leckie Donald G., Gougeon Francois A., Tinis Sally, Nelson Trisalyn, Burnett Charles N., Paradine Dennis, 2005, **Automated Tree Recognition in Old Growth Conifer Stands with High Resolution Digital Imagery**, Remote Sensing of Environment 94 (2005) 311– 326.
- Lim Changok, 2007, **Estimation of Urban Tree Crown Volume based On Object-Oriented Approach and LIDAR Data**, MSc Thesis, ITC, Enschede, Netherlands.
- Mather, Paul M., 2004, **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction**, 3rd ed., ISBN 0-470-84918-5.
- Mitra P., Shankar B., Sankar K. Pal, 2004, **Segmentation of Multispectral Remote Sensing Images Using Active Support Vector Machines**, Pattern Recognition Letters 25 (2004) 1067–1074.
- Straub B., **A Multiscale Approach for The Automatic Extraction of Tree Tops from Remote Sensing Data**, 2004, ISPRS, Commission III, WG 4, Istanbul.
- Pollock, R.J., 1994, **A Model-Based Approach to Automatically Locating Tree Crowns In High Spatial Resolution Images**, Image and Signal Processing for Remote Sensing, (eds.) Desachy, SPIE, Vol. 2315, pp. 526-537.
- Prasad N., Saran S., Kushwaha S.P.S., Roy P.S., 2001, **Evaluation of Various Image Fusion Techniques and Imaging Scales for Forest Features Interpretation**, Current Science, Vol. 81, No. 9, 10 November 2001.
- Vosselman, G., 2003, **3D Reconstruction of Roads and Trees for City Modelling**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, (eds.), ISPRS, Dresden, Germany, Vol. WG III/4, pp. 231-236.

Wang Le, Gong Peng, Biging Gregory S., 2004, **Individual Tree-Crown Delineation and Treetop Detection in High-Spatial-Resolution Aerial Imagery**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 70, No. 3, March 2004, pp. 351–357.

Zhao J, Laganiere R, Liu Zheng, 2007, **Performance Assessment of Combinative Pixel-Level Image Fusion Based on an Absolute Feature Measurement**, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Volume 3, Number 6(A), December 2007, pp. 1433—1447