

شاخص‌ها و روشی نوین جهت طبقه‌بندی درختان و سایر گیاهان در شهرها با تصویر هوایی اپتیک

مهرداد اسلامی^۱، علی محمدزاده^{۲*}

۱- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۸/۲۰

چکیده

طبقه‌بندی و شناسایی عوارض شهری همواره مورد چالش محققان علوم فتوگرامتری و سنجش از دور بوده است. در میان کلاس‌های گوناگون شهری، عوارض گیاهی به دلیل تنوع گونه‌ای بالا، شباهت طیفی گونه‌ها در تصاویر اپتیک و هم‌چنین دارا نبودن شکل هندسی خاص در تفکیک انواع مختلف گونه‌های گیاهی از یکدیگر دارای پیچیدگی خاصی بوده است. در تحقیقات گذشته به منظور استخراج کلاس درختان از کلاس «سایر گیاهان» از منابع مختلف داده استفاده شده، که تصویر اپتیک از ارزان‌ترین و عمومی‌ترین منابع داده است. از این‌رو در این مقاله به منظور تفکیک کلاس درختان و سایر عوارض گیاهی در مناطق شهری با استفاده از تصویر اپتیک روشی جدید ارائه شده است. بدین منظور ابتدا شاخص‌های گیاهی جدید با نام‌های شاخص گیاهی ترکیب باندی تقسیم (SVI) و شاخص گیاهی ترکیب باندی تفریق/تقسیم MSVI از روی باندهای آبی و سبز تولید شد. سپس اطلاعات فراوان بافتی از طریق ماتریس ماتریس درجه خاکستری رخداد توأم تولید شد و این اطلاعات بافتی در مرحله بعد از طریق روش کسر نویز کمترین (MNF) کاهش ابعاد ویژگی یافت. در مرحله بعد پنج باند اول اطلاعات بافتی کاهش ابعاد یافته، دو باند شاخص‌های جدید تولید شده و هم‌چنین سه باند تصویر اپتیک با هم به طبقه‌بندی کننده بیشترین شباهت وارد گردید. نتیجه طبقه‌بندی، نقشه خروجی برای سه کلاس درختان، «سایر گیاهان» و «سایر عوارض شهری» است. نتایج حاصل از ارزیابی طبقه‌بندی الگوریتم پیشنهادی نشان‌دهنده مقدار دقت کل ۹۸/۵ درصد و هم‌چنین ضریب کاپای ۹۳ درصد است. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده از کارایی مطلوب شاخص‌های پیشنهادی در این مقاله در مقایسه با شاخص‌های گیاهی شناخته‌شده در بهبود میزان دقت کلاس سایر گیاهان، دقت کل، ضریب کاپا و دقت میانگین طبقه‌بندی دارد. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص‌های پیشنهادی در این مقاله از افزایش ضریب کاپای طبقه‌بندی تا چهار درصد جهت تفکیک کلاس درختان از کلاس «سایر گیاهان» حکایت دارد.

کلید واژه‌ها: تفکیک گونه‌های گیاهی، عوارض شهری، طبقه‌بندی، تصویر اپتیک، سنجش از دور.

*نویسنده مسئول: تهران، خیابان ولی عصر، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۸۸۴۴۵

۱- مقدمه

بازگشت‌های مناسب، امکان هم‌مرجع‌سازی داده‌های لیدار و اپتیک، هم‌چنین هزینه بالای اخذ داده لیدار و نیز هزینه بسیار زیاد محاسباتی وجود دارد. کما این‌که در تمام پروژه‌های استخراج عوارض شهری امکان فراهم آوردن تمام این نوع داده‌ها کار مشکلی است.

رفتار اجسام در گستره طیف الکترومغناطیس با توجه به ویژگی‌های ساختاری هر ماده در سراسر بازه الکترومغناطیس یکسان نیست. از این‌رو مواد مختلف که شباهت طیفی زیادی در ناحیه مرئی امواج الکترومغناطیس دارند، در صورت استفاده از داده‌های ابرطیفی قابلیت تفکیک‌پذیری خواهند داشت. کلاس درختان با سایر عوارض گیاهی در مناطق شهری دارای شباهت طیفی بالایی در محدوده اپتیک طیف الکترومغناطیس است. مطالعات دیگری نشان داد تصاویر ابرطیفی آویریس به منظور کلاس‌بندی درختان در مناطق شهری دارای ارزش بالایی هستند [۶]. هم‌چنین مطالعات دیگری جهت استخراج و طبقه‌بندی درختان در مناطق شهری با استفاده از ترکیب باندهای مختلف در کنار تصاویر ابرطیفی انجام پذیرفت [۷]. هم‌چنین گزارش‌های دیگری برای استفاده از تصاویر ابرطیفی بر اساس مفاهیم شیء‌گرا جهت کلاس‌بندی درختان و «سایر گیاهان» در مناطق شهری ارائه شده است [۸]. استفاده از داده‌های ابرطیفی دارای مزایای فراوانی است. اما بدیهی است که افزایش تعداد باندهای فضای ویژگی در صورت کم بودن تعداد داده‌های تعلیمی موجب کاهش دقت کل طبقه‌بندی خواهد شد که به پدیده هاف معروف است [۹]. هم‌چنین با توجه به پیچیدگی‌های خاص مناطق شهری استفاده از تصاویر ابرطیفی جهت استخراج عوارض با مشکلات محاسباتی و هزینه اخذ داده‌ها همراه است.

سنجده سار تنها منبع داده‌ای است که امکان تخمین حجم توده برگی درختان را دارد، این در حالی است که در تصاویر اپتیک فقط اولین انعکاس از

شناسایی و طبقه‌بندی عوارض شهری از طریق داده‌های سنجش‌ازدوری برای دهه‌ها مورد ارزیابی محققان سنجش‌ازدور قرار گرفته است. گیاهان شهری با توجه به گونه‌های مختلف و اهداف طبقه‌بندی، گاه در یک کلاس و گاه در چندین کلاس مورد طبقه‌بندی قرار گرفته‌اند. در سال‌های اخیر مدیران شهری به اطلاعات دقیق از انواع گونه‌های گیاهی از جمله درختان در جهت اهداف مدیریت شهری نیاز داشته‌اند [۱]. از این‌رو تحقیقات فراوانی در حوزه استخراج کلاس درختان از کلاس «سایر گیاهان» و «سایر عوارض شهری» با استفاده از انواع داده‌ها همچون تصاویر ابرطیفی، لیدار، سار و اپتیک و هم‌چنین تلفیق این داده‌ها صورت گرفته است. در مجموع می‌توان استخراج کلاس گونه‌های گیاهان را از جهت نوع داده مورد استفاده در موارد زیر مورد بررسی قرار داد.

در سال ۲۰۱۰، بلاشک بر مبنای مفاهیم شیء‌گرایی تصویر قسمت‌بندی شده و داده‌های نقطه‌ای با تراکم بالای لیدار را جهت استخراج کلاس درختان مورد استفاده قرار داد [۲]. در روش پیشنهادی او تصویر اپتیک قسمت‌بندی شده از اطلاعات ارتفاعی حاصل از داده‌های لیدار جهت استخراج کلاس درختان استفاده می‌کند [۲]. هم‌چنین استفاده از داده‌های ارتفاعی لیدار در کنار تصویر اپتیک جهت شناسایی کلاس درختان در چالش با سایر عوارض شهری مورد ارزیابی قرار گرفت [۳]. تحقیقات مشابهی نیز با استفاده از ابر نقاط با تراکم بالای لیدار با اندازه فوتپرینت کوچک در تلفیق با تصاویر اپتیک جهت شناسایی درختان از سایر عوارض شهری صورت پذیرفت [۴]. هم‌چنین تحقیقات گسترده‌ای در تلفیق منابع لیدار و اپتیک صورت پذیرفته است [۵]. در استفاده از داده‌های لیدار جهت استخراج درختان مشکلاتی از جهت انتخاب داده لیدار با تراکم تعداد

طیف الکترومغناطیس از جمله محدوده مادون قرمز با مشکل روبه‌رو می‌شوند. این در حالی است که با وجود چنین داده‌هایی نیز انتخاب پارامترهای مناسب برای شاخص‌های گیاهی از جمله مقدار حد آستانه کار سختی است [۱۷] و [۱۸].

تشخیص گیاهان با توجه به رفتار طیفی آن‌ها در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR) و به شرط وجود داده در محدوده طیفی مذکور با سهولت زیادی همراه خواهد بود. اما در صورتی که چنین داده‌ای موجود نباشد، استفاده از داده‌های اپتیک جهت طبقه‌بندی گیاهان مطرح شده است [۱۹]، [۲۰] و [۲۱]. از شاخص‌های گیاهی معرفی شده مستخرج از داده اپتیک می‌توان به شاخص‌های VI_{green} ^۵، $VARIGreen$ ، GC ^۶ و غیره اشاره کرد. در اکثر این روش‌ها توجه بسیار زیادی به استفاده از باندهای آبی و قرمز در جهت تولید شاخص‌ها شده است. این در حالی است که به قابلیت‌های باند آبی تصاویر توجه زیادی نشده است. هم‌چنین به دلیل کمبود شاخص‌های گیاهی که فقط از تصویر اپتیک تولید می‌شوند، تحقیق در زمینه استخراج چنین شاخص‌هایی می‌تواند راه‌گشا باشد.

با توجه به مطالب پیشین و کمبود شاخص‌های گیاهی کارا در جهت استخراج گیاهان، در این مقاله روشی جدید جهت تفکیک و طبقه‌بندی کلاس درختان و «سایر گیاهان» در مناطق شهری با استفاده از تصویر اپتیک با رزولوشن مکانی بالا پیشنهاد می‌شود. هم‌چنین دو شاخص جدید در جهت بهبود دقت طبقه‌بندی و تفکیک گونه‌های گیاهی در مناطق شهری معرفی و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. روش پیشنهادی بدین گونه عمل می‌کند که ابتدا با استفاده از ترکیب باندهای آبی و سبز تصویر اپتیک شاخص‌های جدید با

بالاترین نقطه درخت را ذخیره می‌کنند [۱۰]. تحقیقات زیادی با استفاده از داده‌های سار به تخمین و تفکیک درختان پرداختند [۱۱] و [۱۲]. لند و همکاران با استفاده از تصویر سار به طبقه‌بندی عوارض شهری در چهار کلاس، شامل درختان و گیاهان پرداختند [۱۳]. ارزیابی درختان بر اساس مفاهیم سار به عوامل متعددی از جمله طول موج، قطبیت^۱، هندسه پراکنش و شرایط رطوبت بستگی دارد و در صورت فقدان پارامترهای مذکور با مشکل مواجه خواهد شد. هم‌چنین تفسیر و اخذ داده‌های سار کار پرهزینه‌ای است.

با گسترش تصاویر مادون قرمز و اپتیک با رزولوشن مکانی بالا امکان پایش و استخراج کلاس گیاهان گسترش پیدا کرده است. شاخص $NDVI$ ^۲ و دیگر شاخص‌های گیاهی به منظور استخراج کلاس گیاهی از روی تصاویر لندست در مناطق شهری مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴]. هم‌چنین در تحقیق دیگری در منطقه شهری واقع در آریزونا با استفاده از تصویر اپتیک با رزولوشن بالا به استخراج کلاس درختان پرداخته شده است [۱۵]. آردیلا و همکاران در سال ۲۰۱۲ روشی را جهت شناسایی و تفکیک درختان در مناطق شهری از سایر گیاهان مانند چمن ارائه کردند که در آن از تصویر پانکروماتیک با رزولوشن بالا در کنار تصاویر اپتیک استفاده شد. در روش پیشنهادی آن‌ها، از طبقه‌بندی حاصل از اعمال SRM ^۳ در کنار اطلاعات بافتی مستخرج از روش MRF ^۴ استفاده شد [۱۶]. هم‌چنین روش‌های دیگری که تلفیقی از داده‌های روش‌های ذکر شده بالا را استفاده می‌کنند [۵]. روش‌های مذکور در صورت نبود داده در دیگر محدوده‌های

¹ polarization

² Normalized Differential Vegetation Index

³ Super Resolution Mapping

⁴ Markov Random Field

⁵ Vegetation Index Green

⁶ Green Coordinate transformed band

۲-۱- شاخص‌های گیاهی ترکیب باندی

هر یک از باندهای تصویر اپتیک حاوی اطلاعات ارزشمندی در خصوص مواد مختلف هستند. گاه رفتار طیفی اجسام در دو باند مختلف طوری است که اگر ترکیبی از آن دو باند از طریق قوانین ساده ریاضی صورت پذیرد، اطلاعات باارزشی جهت تفکیک کلاس‌های با اغتشاش طیفی بالا تولید می‌شود. رفتار طیفی گیاهان در باندهای مادون قرمز نزدیک باعث تولید اطلاعات ارزشمندی برای طبقه‌بندی آن‌ها می‌شود. در صورت در دسترس نبودن چنین باندهایی در کنار باندهای تصاویر اپتیک زمینه استخراج چنین اطلاعاتی از بین می‌رود. این در حالی است که تحقیقات محدودی با تأکید بر استفاده از باندهای سبز و قرمز از قابلیت باندهای تصویر اپتیک برای تولید شاخص‌های گیاهی گزارش داده‌اند [۱۹] و [۲۱]. از این‌رو در این تحقیق قابلیت‌های باند آبی تصویر اپتیک در کنار باند سبز آن جهت تولید شاخص‌های گیاهی جدید مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. با توجه به نحوه رفتار طیفی کلاس درختان و گیاهان در باندهای آبی و سبز شاخص گیاهی ترکیب باندی تقسیم^۱ به صورت فرمول ۱ تعریف می‌شود، که در آن B بیان‌کننده باند آبی و G بیان‌کننده باند سبز تصویر است.

$$SVI = \frac{B}{G} \quad \text{رابطه (۱)}$$

هم‌چنین شاخص دیگری نیز که کارایی آن جهت تفکیک کلاس درختان از گیاهان در مناطق شهری در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد، با عنوان شاخص گیاهی ترکیب باندی تفریق/تقسیم^۲ به صورت فرمول ۲ معرفی می‌شود، که در آن B بیان‌کننده باند آبی و G بیان‌کننده باند سبز تصویر اپتیک است.

نام‌های SVI و MSVI تولید شد. در مرحله بعد با استفاده از آماره‌ها و ویژگی بافتی حاصل از ماتریس رخداد توأم، ویژگی‌های بافتی تولید شد. سپس ویژگی تولیدشده با استفاده از روش کاهش فضای ویژگی MNF به تعداد باندهای کمتر تبدیل شد. در مرحله آخر با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده بیشترین شباهت ورودی‌های شامل شاخص‌های پیشنهادی جدید، پنج باند اول خروجی روش کاهش فضای ویژگی MNF و هم‌چنین سه باند آبی، قرمز و سبز تصویر اپتیک مورد کلاس‌بندی قرار گرفت. نقشه طبقه‌بندی‌شده خروجی شامل سه کلاس درختان، «سایر گیاهان» و «سایر عوارض شهری» هستند. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده نشان از مقدار دقت کل و ضریب کاپای به ترتیب ۹۸/۵ و ۹۳ درصد دارد که افزایش قابل توجهی را نسبت به حالت استفاده تنها از خود داده‌های اپتیک نشان می‌دهد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

مقاله به این صورت ادامه پیدا می‌کند که، در بخش ۲ به معرفی مواد و روش‌های به‌کاررفته و هم‌چنین نحوه تولید شاخص‌های پیشنهادی SVI و MSVI در این مقاله پرداخته می‌شود. در بخش ۳ به توضیح الگوریتم پیشنهادی ارائه‌شده در این مقاله پرداخته می‌شود. در بخش ۴ مطالب مربوط به پیاده‌سازی، داده مورد استفاده و هم‌چنین بحث روی نتایج اشاره می‌شود. درنهایت در بخش پایانی به نتیجه‌گیری و پیشنهادها خواهیم پرداخت.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش اشاره‌ای به مواد و روش‌های به‌کاررفته در این تحقیق از جمله طبقه‌بندی‌کننده بیشترین شباهت، ماتریس رخداد توأم و آماره‌ها و ویژگی‌های مستخرج از آن، نحوه تولید شاخص‌های گیاهی جدید و هم‌چنین روش کاهش فضای ویژگی MNF پرداخته می‌شود.

¹ Subdividing Vegetation Index (SVI)

² Minus/ Subdividing Vegetation Index (MSVI)

و هم‌پوشانی اشیای مختلف زمینی می‌شود [۲۴]. در تحقیق دیگری به منظور حذف وابستگی به «جهت» در ماتریس رخداد توأم، از میانگین‌گیری نتایج خروجی برای هر یک از ویژگی‌های آماری در چهار جهت (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) استفاده گردید [۲۳]. بعد از تولید ماتریس رخداد توأم ویژگی‌های آماری همچون کنتراست، میانگین، واریانس، عدم شباهت، گشتاور زاویه‌ای دوم، انترویی، همگن بودن و وابستگی را می‌توان استخراج کرد. در ادامه به توضیح آن‌ها خواهیم پرداخت.

۲-۲-۱- کنتراست

حاکمی از تفاوت‌های محلی درجات خاکستری است و به صورت فرمول ۳ تعریف شده و وزن بیشتری به عناصر دور از قطر اصلی می‌دهد. که در آن g تعداد درجات خاکستری تصویر است.

$$Contrast = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i-j)^2 P(i, j) \quad \text{رابطه (۳)}$$

۲-۲-۲- میانگین

به صورت فرمول ۴ تعریف می‌شود. و با توجه به این‌که جهت ماتریس رخداد توأم و سایر پارامترهای آن می‌تواند تغییر کند، وابسته به این پارامترهاست.

$$Mean = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i, j) \quad \text{رابطه (۴)}$$

۲-۲-۳- وابستگی یا هم‌بستگی

نشان‌دهنده وابستگی درجات خاکستری هر پیکسل به درجات خاکستری پیکسل‌های همسایگی آن پیکسل است و از طریق فرمول ۵ تعریف می‌شود. که در آن σ_i ، μ_j و σ_j نشان‌دهنده میانگین و واریانس در جهت i و j هستند.

$$Correlation = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$MSVI = \frac{B-G}{B+G} \quad \text{رابطه (۲)}$$

۲-۲-۲- ماتریس درجه خاکستری رخداد توأم^۱

در آنالیزهای آماری بافت، ویژگی‌های بافتی از طریق توزیع‌های آماری ترکیبات مشاهده‌شده برای درجات خاکستری در یک موقعیت خاص در رابطه با یکدیگر محاسبه می‌شود. آماره‌های بافتی معمولاً به سه نوع آماره‌های بافتی نوع اول، نوع دوم و مراتب بالاتر تقسیم‌بندی می‌شوند [۲۲]. روش ماتریس رخداد توأم (GLCM) روشی برای استخراج اطلاعات بافتی از نوع دوم است. یک GLCM ماتریسی است که تعداد سطرها و ستون‌های آن مساوی با تعداد سطوح درجات خاکستری موجود در تصویر مورد استفاده است. یعنی اگر تعداد درجات خاکستری یک تصویر G تا باشد، آن‌گاه ابعاد ماتریس GLCM مورد نظر برابر با یک ماتریس $G \times G$ است. عنصر ماتریسی $P(i, j | \Delta x, \Delta y)$ نشان‌دهنده تعداد تکرارهای رابطه بین دو پیکسل که به فاصله پیکسلی $(\Delta x, \Delta y)$ از هم و بر اساس رابطه «جهت» قرارگیری همسایگی تعریف شده قرار دارند که یکی از پیکسل‌ها دارای درجه خاکستری i و دیگری دارای درجه خاکستری j است، اتفاق می‌افتد [۲۲].

استفاده از این ویژگی‌های آماری در صورتی با موفقیت همراه خواهد بود که پارامترهای مربوط به استخراج ویژگی‌های بافتی شامل اندازه پنجره، جهت و فاصله پیکسلی به‌خوبی انتخاب شده باشند [۲۳]. در مورد انتخاب نادرست اندازه پنجره دو مورد وجود دارد. اولاً اگر اندازه پنجره انتخابی خیلی کوچک باشد، اطلاعات مکانی مستخرج‌شده از نقطه‌نظر آماری قابل اعتماد نخواهد بود. ثانیاً اگر اندازه پنجره خیلی بزرگ باشد، باعث تولید اطلاعات بافتی با اشیای فراوان

¹ Gray level co-occurrence matrix

$$\text{Variance}_j = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} (j - \mu_j)^2 P(i, j) \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

۲-۳- کسر نویز کمترین (MNF)

تبدیل MNF داده سیگنال را بر مبنای مقدار سیگنال به نویز در یک فضای جدید تصویر می کند. روش مذکور بدین صورت عمل می کند که ابتدا با لحاظ رابطه مکانی بین پیکسل ها، مقدار نویز را در فضای اولیه محاسبه می کند و با توجه به ماتریس واریانس کواریانس یک تبدیل انجام می دهد. در واقع این روش به صورت دو مرحله ای عمل می کند. نتایج اعمال روش کاهش فضای ویژگی MNF باندهای با اطلاعات بالا و باندهای با اطلاعات ناچیز است [۲۵].

فرض کنیم $Z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{iN})$ نشان دهنده طیف، i امین پیکسل در فضای ابرطیفی با N باند باشد. همچنین S_i و N_i اجزای نویز و سیگنال باشند، در این صورت طبق فرمول ۱۲ برای پیکسل مورد نظر داریم:

$$Z_i = S_i + N_i \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

با معرفی ماتریس C_z و C_N به عنوان ماتریس کواریانس تصویر و نویز، روش به دنبال تصویرساز A با شرایط فرمول ۱۳ است.

$$A^T C_N A = I \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

در فرمول ۱۳، I نشان دهنده ماتریس یکه با ابعاد N است. که ماتریس A از طریق فرمول ۱۴ قابل محاسبه است، که در آن B ماتریس قطری C_N و Λ ماتریس قطری است.

$$A = B \Lambda^{-\frac{1}{2}} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

و داریم:

۲-۲-۴- عدم شباهت

معیاری که بیان کننده شباهت درجات خاکستری پیکسل i و j است و با فرمول ۶ تعریف می شود.

$$\text{Dissimilarity} = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} |i - j| P(i, j) \quad \text{رابطه (۶)}$$

۲-۲-۵- گشتاور زاویه ای دوم

معیاری برای اندازه گیری مقدار نرمی در ماتریس رخداد توأم است. همچون فرمول ۷ تعریف می شود.

$$\text{ASM} = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} (P(i, j))^2 \quad \text{رابطه (۷)}$$

۲-۲-۶- انتروپی

برای توزیع همگن مقادیر درجات خاکستری در ماتریس رخداد توأم حداکثر مقدار را دارد. و معیاری که نشان دهنده مقدار اتفافی بودن توزیع جفت درجه خاکستری را بیان می کند. فرمول ۸ نشان دهنده نحوه محاسبه این ویژگی آماری از روی ماتریس رخداد توأم است.

$$\text{Entropy} = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} P(i, j) \ln(P(i, j)) \quad \text{رابطه (۸)}$$

۲-۲-۷- همگنی

نشان دهنده بخش های همگن در تصویر است و به صورت فرمول ۹ تعریف می شود.

$$\text{Homogeneity} = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

۲-۲-۸- واریانس

به صورت فرمول ۱۰ و ۱۱ تعریف می شود. و با توجه به این که جهت ماتریس هم رخداد و سایر پارامترهای آن می تواند تغییر کند، وابسته به این پارامترهاست.

$$\text{Variance}_i = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} (i - \mu_i)^2 P(i, j) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$p(w_i / x) > p(w_j / x) \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

که در آن مقدار احتمال تعلق برای کلاس i از تمام کلاس‌های دیگر (یعنی j) بیشتر است. باید اشاره کرد که احتمال تعلق به کلاس W_i به صورت فرمول ۲۱ تعریف می‌شود [۲۹].

$$p(w_i / x) = \frac{p(x / w_i) p(w_i)}{p(x)} \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

که در آن احتمال اولیه وجود کلاس W_i در تصویر با $p(W_i)$ ، احتمال تعلق x به کلاس W_i و احتمال وجود کلاس W_i در تصویر با $p(x)$ تعریف می‌شود. در نهایت تابع تفکیک‌کننده^۲ از روی پارامترهای آماری برای هر کلاس به صورت فرمول ۲۲ محاسبه می‌شود و پیکسل به کلاس با بیشترین مقدار تابع تفکیک‌کننده تعلق می‌گیرد. در فرمول ۲۲، μ_i و \sum_i بیان‌کننده میانگین و واریانس است [۱۸].

$$g_i(x) = -\frac{1}{2}(x - \mu_i)^T \cdot \sum_i^{-1} (x - \mu_i) - \frac{1}{2} \ln |\sum_i| + \ln(p(w_i))$$

۳- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی در این مقاله به دنبال استفاده توأمان از اطلاعات طیفی، مکانی و بافتی مستخرج از فقط تصویر اپتیک جهت شناسایی و تفکیک کلاس درختان از کلاس سایر گیاهان در مناطق شهری است. بدین منظور ابتدا از طریق باندهای طیفی محدوده آبی و سبز دو شاخص SVI و MSVI تولید شد. سپس اطلاعات بافتی-مکانی بر مبنای مفاهیم ماتریس رخداد توأم از روی هر سه باند تصویر اپتیک در چهار جهت صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه تولید شد.

² Discriminant Function

$$B^T C_N B = \Lambda \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

با تبدیل C_N با استفاده از A مقدار فرمول ۱۶ تولید می‌شود.

$$\tilde{C}_N = A \bar{C} A^T \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

ماتریس D^T که ماتریس \tilde{C}_N را قطری می‌کند. از رابطه ۱۷ تولید می‌شود. که در آن Δ ماتریس نتیجه قطری است.

$$D^T \tilde{C}_N D = \Delta \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

در نهایت ماتریس تصویرساز MNF از رابطه ۱۸ تولید می‌شود [۲۶].

$$H = A \times D \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

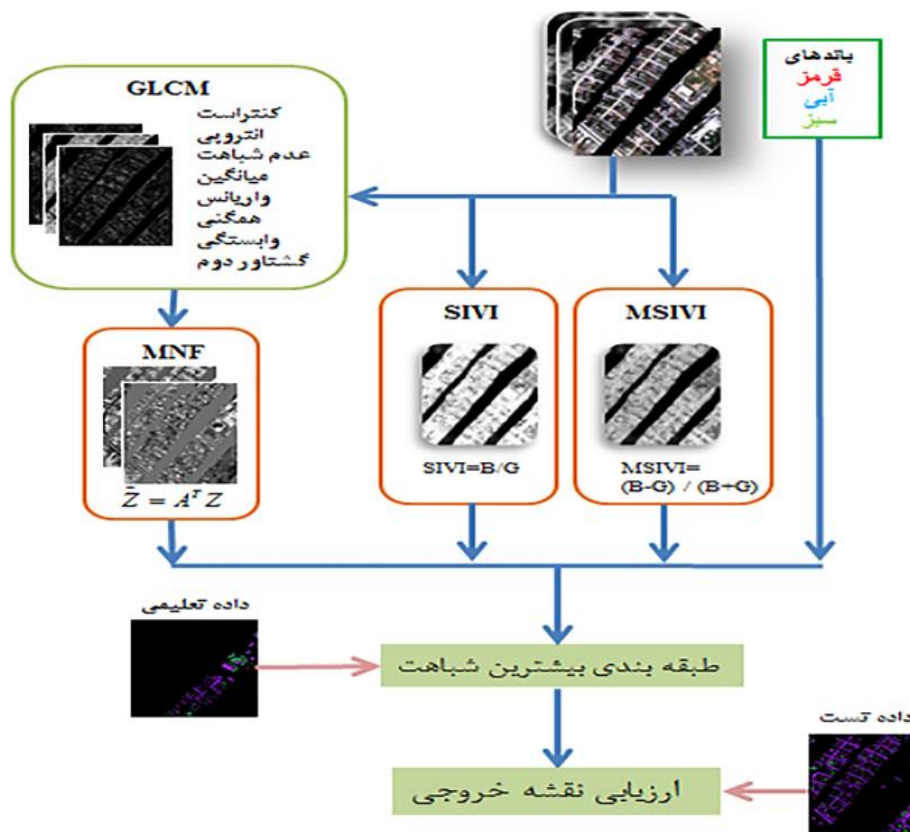
با محاسبه ماتریس تصویرساز MNF و با توجه به نتایج [۲۷] با اعمال ماتریس تصویرساز تخمین زده شده روی بردار Z_i بردار جدید \tilde{Z}_i ، که حاوی اطلاعات باندها بر اساس مقدار نویز آن‌هاست، به صورت فرمول ۱۹ تولید می‌شود.

$$\tilde{Z}_i = H^T Z_i \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

۲-۴- طبقه‌بندی بیشترین شباهت^۱

از معروف‌ترین روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده آماری است. در این روش پیکسل به کلاس با بیشترین احتمال تعلق، نسبت داده می‌شود [۲۸]. فرض کنیم W_i نشان‌دهنده کلاس‌های یک تصویر باشد، به طوری که $i=1, 2, \dots, m$ و m بیان‌کننده تعداد کل کلاس‌ها باشد. در این صورت پیکسل x به کلاس W_i تعلق می‌گیرد، در صورتی که فرمول ۲۰ محقق شود.

¹ Maximum Likelihood classification



شکل ۱: شمای کلی الگوریتم پیشنهادی

۴-۱- داده و منطقه مورد مطالعه

داده مورد استفاده در این تحقیق تصویر هوایی اپتیک در سه باند با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ سانتی متر، گردآوری شده توسط گروه فنی آنالیز تصویر و تلفیق داده^۱ (IADF)، مربوط به جامعه سنجش از دور و علوم زمین^۲ IEEE است. داده‌های مذکور مربوط به بخشی از ناحیه شهری در کنار منطقه معدنی تفتورد در کشور کاناداست که در شکل ۲ راساً نمایش داده شده است. داده مورد نظر توسط سنجنده هوایی تلوپس^۳ در تاریخ ۲۱ ماه می ۲۰۱۳ برای مسابقه تلفیق داده ۲۰۱۴، از ارتفاع ۸۰۷ متری گرفته شده است. مناطق مشکلی رنگ در تصویر اصلی،

در مرحله بعد اطلاعات بافتی-مکانی تولیدی که دارای ابعاد بالایی هستند، با استفاده از روش کاهش فضای ویژگی MNF کاهش ابعاد یافت. سپس یک طبقه‌بندی نظارت‌شده بر مبنای روش بیشترین شباهت روی داده‌های ورودی حاصل از مراحل قبل و هم‌چنین سه باند تصویر اپتیک صورت پذیرفت. در نهایت به ارزیابی نتایج روش مذکور پرداخته شد. شکل ۱ نشان‌دهنده شمای کلی الگوریتم پیشنهادی است.

۴- پیاده‌سازی و بحث

در این بخش به‌طور تفصیلی مراحل پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی، داده و منطقه مورد مطالعه، نتایج حاصل از اضافه کرده شاخص‌های جدید روی خروجی طبقه‌بندی و هم‌چنین بحث روی الگوریتم پیشنهادی آورده شده است.

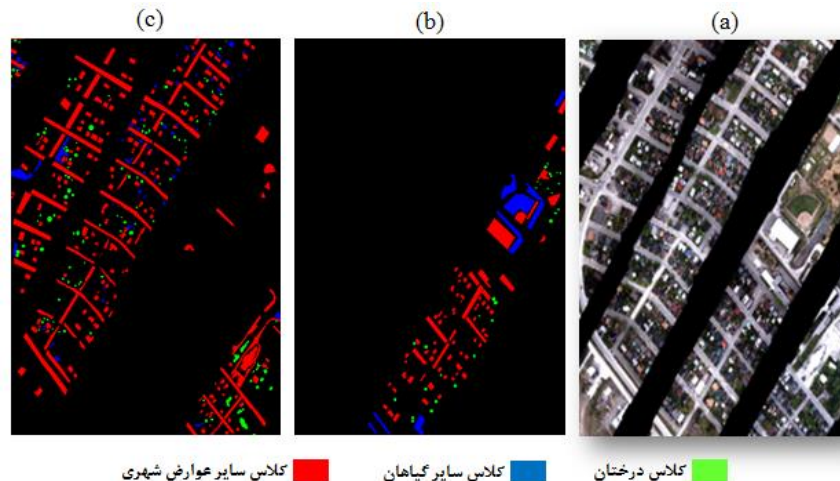
¹ Image Analysis and Data Fusion

² IEEE Geoscience and Remote Sensing Society

³ TELOPS

«سایر عوارض شهری» صورت می‌گیرد. به‌منظور ارزیابی هرچه بهتر روش پیشنهادی داده‌های آموزشی به دو گروه شامل ۲۰ و ۸۰ درصدی از داده آموزشی تقسیم شدند. ۲۰ درصد اول این داده‌ها برای آموزش روش پیشنهادی و از ۸۰ درصد باقی‌مانده برای تست اولیه روش استفاده شد. درنهایت به جهت تست نهایی روش پیشنهادی از داده واقعیت زمینی جامعه IEEE استفاده شد. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به تعداد داده‌های آموزشی و واقعیت زمینی آورده شده است.

ناحیه بین دو باند متوالی پرواز است که از آن مناطق داده‌ای گرفته نشده است. هم‌چنین به منظور آموزش و ارزیابی طبقه‌بندی روش پیشنهادی نیز از همان داده‌های استاندارد و بنچ مارک تعلیمی و واقعیت زمینی مسابقه تلفیق داده ۲۰۱۴ جامعه IEEE استفاده شده است (شکل ۲). با این تفاوت که در مسابقه مذکور طبقه‌بندی عوارض شهری در هفت کلاس شامل کلاس‌های درختان و «سایر گیاهان» انجام گرفت. این در حالی است که در این مقاله به دلیل هدف تحقیق، طبقه‌بندی در سه کلاس درختان، «سایر گیاهان» و



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه و داده اصلی (a)، داده آموزشی (b) و داده تست (c)

از سه باند تصویر ورودی، هشت ویژگی آماری کنتراست، انترپزی، عدم شباهت، همگنی، گشتاور زاویه‌ای دوم، میانگین، واریانس و وابستگی تولید شد.

با توجه به موارد مذکور در بخش دوم این مقاله سه پارامتر اساسی اندازه پنجره، جهت و فاصله دو پیکسل که به دنبال روابط آن‌ها هستیم، در نتایج حاصل از ماتریس رخداد توأم تأثیر می‌گذارد. به‌منظور حل مشکلات پارامترهای ماتریس رخداد توأم موارد زیر انجام گرفت. برای حل مشکل جهت از هر کدام از هشت ویژگی آماری مستخرج از ماتریس رخداد توأم در چهار جهت صفر، ۴۵، ۹۰ و

جدول ۱: نمونه‌های آموزشی و تست

نوع کلاس داده	سایر عوارض شهری	درختان	سایر گیاهان
آموزشی	۳۳۵۱۴۸	۲۱۳۸۵	۱۸۳۵۹۰
تست	۱۲۴۱۸۷۰	۹۴۳۱۱	۱۰۱۸۳۷

۲-۴- پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

در بحث پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در این مقاله ابتدا شاخص‌های SVI و MSVI با استفاده از روابط مذکور تولید شد، که در شکل ۳ (b,a) نشان داده شده است. سپس از طریق ماتریس رخداد توأم برای هر یک

تعیین مقادیر فوق، برای هر کدام از باندهای تصویر ورودی ۸ داده فضای ویژگی مربوط به ماتریس رخداد توأم تولید شد، که جمعاً برای سه باند به ۲۴ داده فضای ویژگی می‌رسد. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به استخراج ویژگی‌ها از طریق ماتریس رخداد توأم آورده شده است.

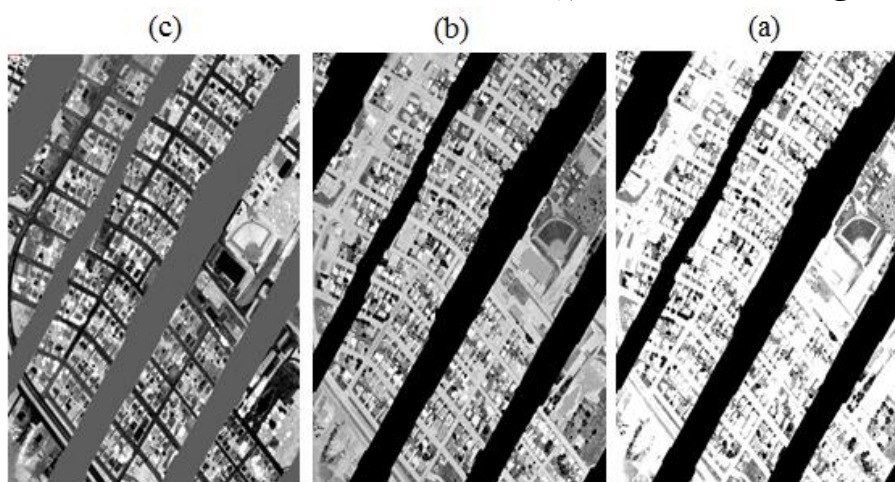
۱۳۵ درجه برآورد شد. سپس بر اساس مطالعات انجام گرفته با میانگین‌گیری از این چهار جهت برای هر یک از ویژگی‌های آماری، پارامتر جهتی مربوط به ماتریس رخداد توأم حل شد [۲۲]. دیگر پارامترهای مربوط به ماتریس رخداد توأم به صورت روش سعی و خطا برای اندازه پنجره ابعاد ۷ در ۷ و هم‌چنین برای اندازه فاصله نیز مقدار ۱ پیکسل تخمین زده شد. با

نوع تصویر	ویژگی آماری	ابعاد پنجره (پیکسل)	تعداد درجات خاکستری	جهت (درجه)	فاصله (پیکسل)	ویژگی تولیدی
اپتیک	کنتراست-انترپی-همگنی - عدم شباهت- میانگین - واریانس- گشتاور زاویه‌ای دوم- وابستگی	۷×۷	۳۲	صفر- -۴۵ -۹۰ ۱۳۵	۱	۲۴ (۸ عدد برای هر باند) تصویر

جدول ۲: پارامترهای ماتریس رخداد توأم

متناسب‌سازی تعداد داده‌های آموزشی با تعداد فضای ویژگی، روش MNF روی خروجی حاصل از ویژگی‌های آماری ماتریس رخداد توأم اعمال شد. سپس پنج باند اول که دارای بیشترین اطلاعات هستند، به‌عنوان خروجی این مرحله انتخاب شد که در شکل ۳ آورده شده است.

تولید ویژگی با ابعاد بالا معمولاً با باندهایی دارای وابستگی و نویز همراه است. هم‌چنین تعداد داده‌های آموزشی باید متناسب با تعداد فضای ویژگی‌ای باشد که قرار است طبقه‌بندی روی آن صورت پذیرد، در غیر این صورت دقت طبقه‌بندی بنا بر پدیده هاف با کاهش همراه خواهد بود [۹]. بنابراین جهت کاهش وابستگی بین کلاسی و نویزهای ناخواسته و هم‌چنین



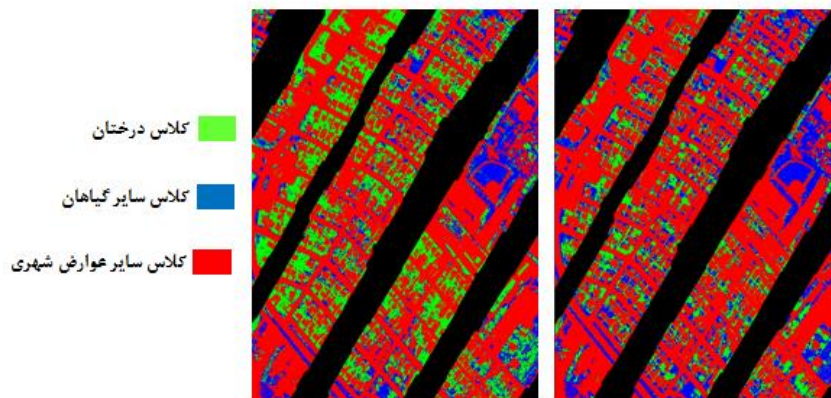
شکل ۳: تصویر شاخص SVI (a)، تصویر شاخص MSVI (b)، باند اول خروجی روش MNF (c)

۴-۳- ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی نتایج طبقه‌بندی به روش الگوریتم پیشنهادی و هم‌چنین بررسی کارکرد دو شاخص جدید مراحل زیر انجام پذیرفت.

۴-۳-۱- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

ابتدا یک طبقه‌بندی به روش بیشترین شباهت بر اساس ورودی فقط سه باند تصویر اپتیک انجام گرفت که نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده دقت کل ۹۴ درصد و هم‌چنین ضریب کاپای ۷۹ درصد برای سه کلاس مورد اشاره است. در شکل ۴ چپ نتیجه طبقه‌بندی بیشترین شباهت روی تصویر فقط اپتیک آورده شده است.



شکل ۴: تصویر طبقه‌بندی الگوریتم پیشنهادی (راست)، تصویر طبقه‌بندی فقط تصویر اپتیک (چپ)

دارد. هم‌چنین اغتشاش ناشی از شباهت طیفی دو کلاس مذکور نسبت به فقط داده اپتیک بسیار پایین آمده است. هم‌چنین ضریب کاپا که نگاه بدینانه به نتایج طبقه‌بندی دارد، نسبت به روش فقط داده اپتیک افزایش در حدود ۱۴ درصدی را دارد. در جدول ۳ ماتریس ابهام مربوط به نتایج الگوریتم پیشنهادی آورده شده است. مقایسه نتایج دقت کلاسی دو طبقه‌بندی برای کلاس درختان افزایش ۱۱ درصدی و هم‌چنین برای کلاس «سایر گیاهان» افزایش ۳۵ درصدی را نشان می‌دهد.

در مرحله آخر پنج باند اول خروجی حاصل از اعمال روش MNF به همراه سه باند تصویر اصلی ورودی و هم‌چنین دو باند مربوط به شاخص‌های جدید SVI و MSVI، به‌عنوان ورودی به طبقه‌بندی‌کننده بیشترین شباهت داده شد. که در نتیجه آن نقشه طبقه‌بندی‌شده در سه کلاس درختان، «سایر گیاهان» و «سایر عوارض شهری» تولید شد که در شکل ۴ راست نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده برای الگوریتم پیشنهادی نشان‌دهنده دقت کل ۹۸/۵ درصد و هم‌چنین ضریب کاپای ۹۳ درصد برای سه کلاس اشاره‌شده است.

در جدول ۳ دقت کل هر کلاس برای خروجی حالت طبقه‌بندی فقط تصویر اپتیک و برای حالت الگوریتم پیشنهادی آورده شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که دقت کلاس «سایر گیاهان» در مقایسه با کلاس درختان در خروجی فقط داده اپتیک بسیار پایین است. و هم‌چنین با توجه به دقت بالای کلاس «سایر عوارض شهری» به نظر می‌رسد بین کلاس‌های درختان و «سایر گیاهان» اغتشاش وجود دارد که دقت کلاس «سایر گیاهان» را پایین آورده است.

نتایج به‌دست‌آمده برای الگوریتم پیشنهادی حاکی از دقت بالای استخراج کلاس درختان و «سایر گیاهان»

فقط تصویر اپتیک نشان می‌دهد احتمالاً اضافه کردن ویژگی‌های بافتی و دو شاخص گیاهی جدید تأثیر مناسبی در کاهش اغتشاش بین کلاس دارد. همچنین نتایج به دست آمده از افزایش ۱۵ درصدی دقت میانگین طبقه‌بندی برای نتایج الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با حالت فقط تصویر مرئی دارد.

با تأمل در نتایج دقت کلاس «سایر عوارض شهری» برای هر دو طبقه‌بندی نشان از آن است که افزایش دقت کلاس درختان و سایر گیاهان موجب کاهش دقت کلاس «سایر عوارض شهری» نشده است. مقایسه نتایج به دست آمده برای ماتریس ابهام برای نتایج طبقه‌بندی الگوریتم پیشنهادی و حالت

جدول ۳: ماتریس ابهام برای خروجی طبقه‌بندی‌های الگوریتم پیشنهادی و فقط تصویر اپتیک

کلاس واقعی						
دقت کل کلاس‌ها (درصد)	سایر عوارض شهری	سایر گیاهان	درختان	نوع کلاس	نوع روش	کلاس پیشنهادی
دقت کل	۰/۳۱	۱۱/۰۸	۹۳/۳۸	درختان	الگوریتم	
ضریب کاپا	۰/۰۹	۸۸/۵۱	۶/۴۵	سایر	پیشنهادی	
دقت میانگین	۹۹/۶	۰/۴۱	۰/۱۶	سایر		
دقت کل	۰/۵۶	۴۴/۷۵	۸۲/۱۷	درختان	فقط	
ضریب کاپا	۰/۲۷	۵۴/۶۷	۱۷/۶۹	سایر	تصویر	
دقت میانگین	۹۹/۱۷	۰/۸۵	۰/۱۳	سایر	اپتیک	

بیشترین شباهت روی خروجی این ادغام صورت پذیرفت. در جدول ۴ نتیجه طبقه‌بندی حاصل از ادغام تصویر اصلی با شاخص SVI که در ادامه شاخص SVI نامیده شده، آورده شده است. به منظور تحلیل مناسب‌تر مقادیر موجود در جداول رُند شده‌اند.

۴-۳-۲- ارزیابی شاخص‌های پیشنهادی

در این بخش به منظور ارزیابی کارایی شاخص‌های گیاهی معرفی شده جدید در این مقاله ابتدا هر یک از آن‌ها به صورت جداگانه با تصویر اصلی ادغام شد و سپس یک طبقه‌بندی به روش

جدول ۴: نتایج خروجی طبقه‌بندی‌های ادغام تصویر اصلی با شاخص SVI

نوع کلاس	دقت کلاس	دقت کاربر	دقت کل کلاس‌ها (درصد)
درختان	۸۱	۶۶	۹۵
سایر گیاهان	۷۱	۷۶	۸۳
سایر عوارض	۹۹	۱۰۰	۸۴

وابستگی بین دو کلاس درختان و «سایر گیاهان» در فضای ویژگی جدید با توجه به ثابت بودن دقت کلاس «سایر عوارض شهری» دارد. نتایج نشان می‌دهد اضافه کردن شاخص SVI تأثیر چندانی بر دقت

با مقایسه نتایج دقت کل برای شاخص SVI با حالت فقط داده مرئی به وضوح می‌توان ملاحظه کرد که افزایش چندانی مشاهده نمی‌شود، اما ضریب کاپا با افزایش چهار درصدی همراه است که نشان از کاهش

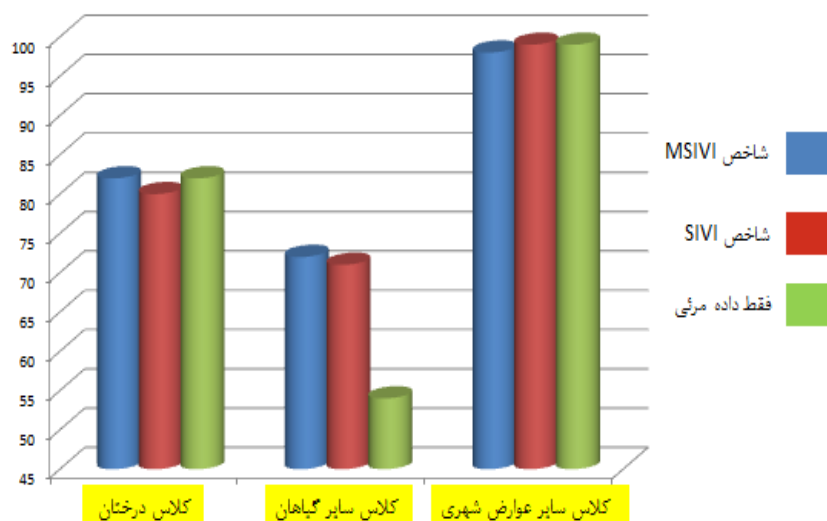
همچون حالت قبل این ویژگی با باندهای تصویر اصلی ادغام شد. سپس یک طبقه‌بندی روی چهار ویژگی اعمال و سه کلاس مورد نظر استخراج شد. جدول ۵ نتایج اعمال حالت استفاده از شاخص MSVI را نشان می‌دهد.

کلاس درختان در مقایسه با حالت فقط داده اپتیک ندارد، اما دقت کلاس «سایر گیاهان» را ۱۷ درصد افزایش می‌دهد.

به‌منظور ارزیابی تأثیر شاخص MSVI بر نتایج حاصل از طبقه‌بندی کلاس‌های «سایر گیاهان» و درختان

جدول ۵: نتایج خروجی طبقه‌بندی‌های ادغام تصویر اصلی با شاخص MSVI

نوع کلاس	دقت کلاس	دقت کاربر	دقت کل کلاس‌ها (درصد)
درختان	۸۲	۶۳	۹۵
سایر گیاهان	۷۲	۷۸	۸۲
سایر عوارض	۹۸	۱۰۰	۸۴



شکل ۵: مقایسه نتایج دقت کلاسی طبقه‌بندی برای حالت شاخص SVI، شاخص MSVI و فقط داده اپتیک

به‌خصوص باند آبی ناشی می‌شود، حال آن‌که دو شاخص مذکور از ترکیب این دو باند طیفی ساخته می‌شوند.

در شکل ۵ نتایج طبقه‌بندی‌های ذکر شده در این بخش یعنی حالت شاخص SVI، شاخص MSVI و فقط داده اپتیک با استفاده از نمودار مقایسه شده است. ارزیابی بر مبنای شکل ۵ از کارکرد تقریباً یکسان دو شاخص در طبقه‌بندی ادغام‌شده با داده اپتیک حکایت دارد.

در این حالت نیز دقت کل طبقه‌بندی در مقایسه با حالت فقط داده اپتیک تغییر چندانی نمی‌کند. اما با افزایش ضریب کاپا همراه است. در حالت استفاده از شاخص MSVI دقت کلاس درختان با حالت فقط داده اپتیک برابر است، اما برای کلاس «سایر گیاهان» افزایش ۱۸ درصدی را به همراه دارد. این مهم هم برای شاخص SVI و هم برای شاخص MSVI احتمالاً به دلیل رفتارهای طیفی متفاوت این دو کلاس در باند سبز و

VIgreen، VARIgreen و EG به صورت جداگانه، هر یک با تصویر اپتیک ادغام و طبقه‌بندی روی آن‌ها انجام پذیرفت. سپس نتایج به دست آمده برای خروجی دقت هر یک از کلاس‌ها مقایسه شد. در جدول ۶ نتایج به دست آمده برای هر یک از شاخص‌ها آورده شده است. به منظور تحلیل مناسب‌تر مقادیر موجود در جداول رُند شده‌اند.

در ادامه ارزیابی شاخص‌های MSVI و SVI بدین صورت عمل شد که این بار هر دو شاخص در کنار هم با سه باند تصویر اصلی ادغام و طبقه‌بندی بیشترین شباهت روی آن اعمال شد. نتایج برای دقت کل برابر ۹۶ درصد و برای ضریب کاپا به ۸۷ درصد افزایش یافت.

به جهت بررسی و آزمون کارایی شاخص‌های پیشنهادی بدین صورت عمل شد که شاخص‌های گیاهی

جدول ۶: نتایج خروجی طبقه‌بندی‌های ادغام تصویر اصلی با شاخص VIgreen، VARIgreen و EG

نوع شاخص	نوع کلاس	دقت کلاس	دقت کاربر	دقت کل کلاس‌ها (درصد)
VIgreen	درختان	۸۴	۶۱	دقت کل
	سایر گیاهان	۵۳	۷۹	ضریب کاپا
	سایر عوارض	۹۹	۱۰۰	دقت میانگین
VARIgreen	درختان	۸۳	۶۳	دقت کل
	سایر گیاهان	۵۱	۸۰	ضریب کاپا
	سایر عوارض	۹۸	۹۹	دقت میانگین
EG	درختان	۷۷	۷۷	دقت کل
	سایر گیاهان	۶۳	۶۷	ضریب کاپا
	سایر عوارض	۹۹	۹۹	دقت میانگین

در این مقاله این باند مورد استفاده چندانی قرار نگرفته است. هم‌چنین آنالیز نتایج نشان داد شاخص‌های گیاهی ارائه شده در این تحقیق هم برای کلاس درختان و هم برای کلاس «سایر گیاهان» نسبت به شاخص گیاهی شناخته شده EG مقادیر بالاتری را دارند. هم‌چنین مقایسه نتایج به دست آمده برای دقت کل طبقه‌بندی برای شاخص‌های SVI و MSVI در مقابل روش‌های VIgreen، VARIgreen و EG مقدار تقریباً برابری را نشان می‌دهد. مقادیر ضریب کاپا و دقت میانگین برای شاخص‌های گیاهی معرفی شده در این تحقیق در برابر شاخص‌های گیاهی شناخته شده دیگر با افزایش دو تا پنج درصدی همراه است.

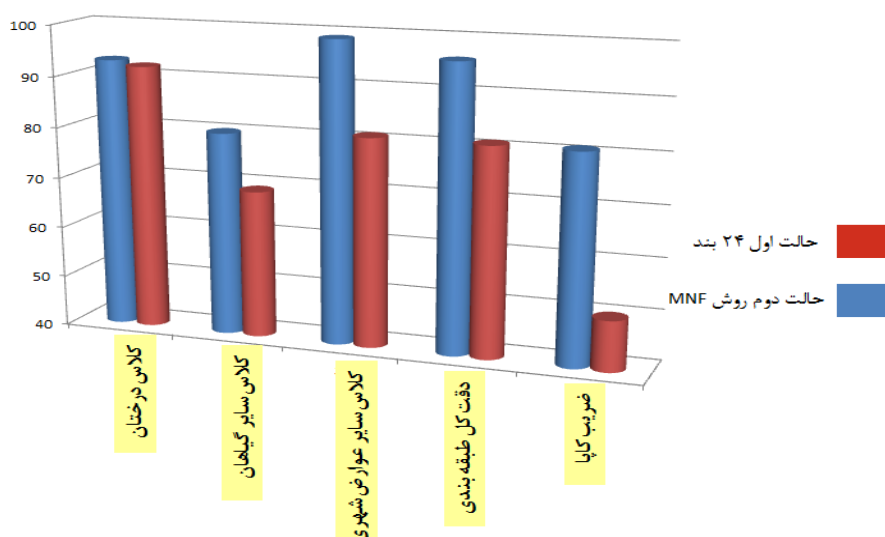
مقایسه نتایج طبقه‌بندی شاخص گیاهی SVI و MSVI (جدول ۴ و ۵) با شاخص‌های گیاهی شناخته شده (جدول ۶) نشان داد دقت کلاس درختان برای شاخص‌های VIgreen و VARIgreen از شاخص‌های گیاهی مطرح شده در این تحقیق حدود دو تا سه درصد بیشتر است. اما در مورد دقت کلاس «سایر گیاهان» روش SVI و MSVI به مقدار حدود ۱۷ تا ۱۹ درصد نسبت به دیگر شاخص‌های گیاهی با افزایش روبه‌رو است. احتمالاً این مقدار افزایش در دقت کلاس «سایر گیاهان» ناشی از استفاده از باند آبی تصویر اپتیک جهت تولید شاخص‌های گیاهی جدید است که در شاخص‌های گیاهی شناخته شده مورد مقایسه

طبقه‌بندی می‌شود. از این رو در این بخش تأثیر کاهش فضای ویژگی از طریق روش MNF با حالتی که در آن از کل اطلاعات مستخرج از ماتریس رخداد توأم استفاده شده، مقایسه شده است. در حالت اول ۲۴ باند تولیدی ماتریس رخداد توأم با سه باند تصویر اصلی ادغام شده و طبقه‌بندی بیشترین شباهت روی آن اعمال شد. و در حالت دوم پنج باند اول روش MNF و تصویر اصلی ادغام شده، سپس طبقه‌بندی بیشترین شباهت برآورد شد. در شکل ۶ دقت کلاسی، دقت کل و ضریب کاپا برای دو حالت ذکر شده در این بخش مقایسه شده است.

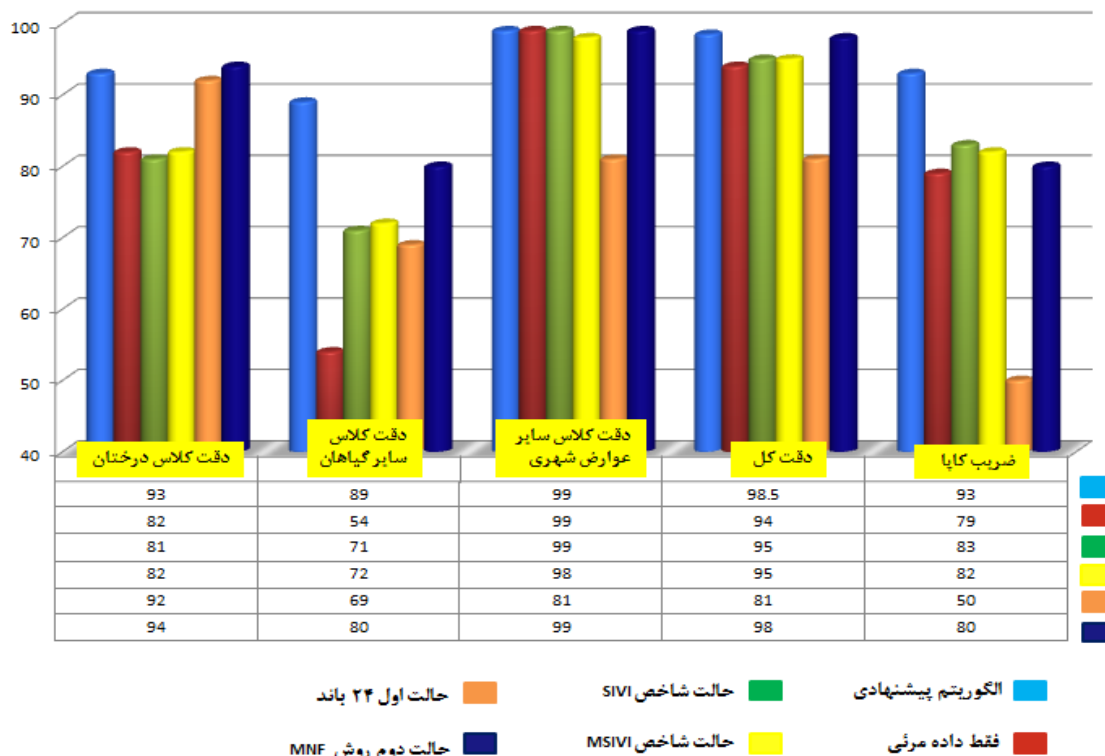
نتایج تحلیل‌های مذکور نشان داد استفاده از باند آبی تصویر اپتیک در صورت در اختیار نداشتن باندهای ناحیه مادون قرمز نزدیک همانند دیگر ترکیبات باندهای قرمز و سبز، کارایی بالایی در طبقه‌بندی گیاهان دارد.

۳-۳-۴- ارزیابی تأثیر روش MNF بر دقت طبقه‌بندی

کارایی بالای استفاده از اطلاعات بافتی بارها در تحقیقات محققان مختلف به اثبات رسیده است [۳۰]. اما استفاده از کل ویژگی‌های آماری با شرایطی که در بخش‌های گذشته اشاره شد، با وجود وابستگی در برخی از فضاها ویژگی موجب کاهش دقت



شکل ۶: مقایسه نتایج دقت کلاسی طبقه‌بندی برای حالت اول ۲۴ باند و حالت دوم روش MNF.



شکل ۷: مقایسه نتایج دقت طبقه‌بندی الگوریتم پیشنهادی، فقط داده اپتیک، حالت شاخص SVI، حالت شاخص MSVI، حالت اول ۲۴ باند و حالت دوم روش MNF.

۵- تشکر

در این جا نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از گروه فنی آنالیز تصویر و تلفیق داده (IADF)، مربوط به جامعه سنجش‌ازدور و علوم زمین IEEE و هم‌چنین شرکت تلویس به‌خاطر فراهم کردن داده‌های این مقاله تشکر کنند.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

استخراج و شناسایی اطلاعات دقیق عوارض شهری به جهت تأثیر در تصمیم‌های مدیران شهری از اهمیت بالایی برخوردار است. گیاهان در مناطق شهری از تنوع بالایی برخوردار هستند و سازمان‌های مختلف مدیریتی اطلاعات متنوعی از این عوارض را نیاز دارند. درختان از بااهمیت‌ترین عوارض شهری از جهت زیبایی و مسائل محیط زیستی هستند. از این‌رو جهت استخراج و تفکیک کلاس درختان از «سایر گیاهان» در مناطق

با دقت در شکل ۶ به‌وضوح کاهش دقت طبقه‌بندی برای حالت استفاده از کل ۲۴ باند تولیدی در مقایسه با حالتی که از روش استفاده شده است، دیده می‌شود. تنها در کلاس درختان دقت دو روش مذکور نزدیک به هم است. اما نکته قابل تأمل در کاهش شدید ضریب کاپا برای حالت اول است.

درنهایت برای درک بهتر نقاط ضعف و قوت هر یک از حالات ذکرشده در بخش ارزیابی، مقایسه دقت بین نتایج روش‌های الگوریتم پیشنهادی، فقط داده اپتیک، حالت شاخص SVI، حالت شاخص MSVI، حالت اول ۲۴ باند و حالت دوم روش MNF انجام پذیرفت. نتایج حاصل از این مقایسه در شکل ۷ نمایش داده شده است. با توجه به مقایسه انجام‌شده خروجی‌های مربوط به الگوریتم پیشنهادی از نظر دقت کلاسی، دقت کل طبقه‌بندی و ضریب کاپا دارای بالاترین مقدار است.

همگنی، گشتاور دوم زاویه‌ای و وابستگی تولید شد. سپس با توجه به نویزی بودن و وابستگی برخی از کلاس‌ها در تعدادی از فضاها و ویژگی تولیدی از ماتریس رخداد توأم، روش کاهش فضای ویژگی MNF روی ۲۴ باند ماتریس رخداد توأم اعمال و پنج باند اول انتخاب شد. در مرحله بعد دو باند شاخص SVI و MSVI، پنج باند خروجی روش MNF و هم‌چنین سه باند تصویر اصلی به‌عنوان ورودی به طبقه‌بندی‌کننده بیشترین شباهت اعمال شد. در نتیجه نقشه طبقه‌بندی‌شده سه کلاس درختان، «سایر گیاهان» و «سایر عوارض شهری» تولید شد. ارزیابی‌های انجام‌گرفته نشان‌دهنده این است که دقت کل طبقه‌بندی به روش الگوریتم پیشنهادی برابر ۹۸/۵ درصد و هم‌چنین ضریب کاپای ۹۳ درصد است، که افزایش ۱۴ درصدی ضریب کاپا را در مقایسه با حالت استفاده از فقط داده‌های اپتیک دارد. هم‌چنین نتایج مقاله نشان می‌دهد که دقت کلاس «سایر گیاهان» نسبت به حالت استفاده از فقط داده‌های اپتیک افزایش ۳۵ درصدی و برای کلاس درختان افزایش ۱۱ درصدی دارد. هم‌چنین خروجی ارزیابی‌ها حاکی از این است که در صورت استفاده از تمام ۲۴ باند ماتریس رخداد توأم برای طبقه‌بندی دقتی کمتر از حالت فقط داده اپتیک را به همراه دارد. اما در صورت استفاده از روش MNF دقت طبقه‌بندی در مقایسه با حالت استفاده از فقط داده‌های اپتیک با افزایش همراه است. به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شیء‌گرا در کارهای آینده نتایج مطلوب‌تری حاصل کند. به‌علاوه استفاده از روش‌های طبقه‌بندی غیرپارامتریک نیز جهت حصول نتایج بهتر می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد.

شهری، روش‌ها و داده‌های مختلفی از جمله ابرطیفی، لیدار، سار و اپتیک و هم‌چنین تلفیقی از آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در میان منابع داده‌ای، تصویر اپتیک از پرکاربردترین و ارزان‌ترین داده هاست. اما نکته مهم در این است که کلاس درختان دارای شباهت بالای طیفی با کلاس سایر عوارض گیاهی در تصویر اپتیک است. این مهم باعث کاهش دقت طبقه‌بندی و تفکیک این دو کلاس می‌شود. از این‌رو در این مقاله دو شاخص گیاهی جدید با نام‌های SVI و MSVI معرفی شد. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که اضافه کردن هر کدام از این شاخص‌ها به تصویر اپتیک با افزایش دقت کلاس «سایر گیاهان» به مقدار تا ۱۸ درصدی و هم‌چنین ضریب کاپای طبقه‌بندی را تا ۴ درصد نسبت به حالت فقط داده اپتیک دارد. هم‌چنین مقایسه نتایج طبقه‌بندی شاخص گیاهی SVI و MSVI با شاخص‌های گیاهی شناخته‌شده نشان داد دقت کلاس درختان برای شاخص‌های VIgreen و VARIGreen از شاخص‌های گیاهی مطرح‌شده در این تحقیق حدود ۲ تا ۳ درصد بیشتر است. اما در مورد دقت کلاس «سایر گیاهان» روش SVI و MSVI به مقدار حدود ۱۷ تا ۱۹ درصد نسبت به دیگر شاخص‌های گیاهی با افزایش روبه‌روست. نتایج به‌دست‌آمده در افزایش بالای دقت کلاس «سایر گیاهان» احتمالاً به دلیل تأثیر استفاده از باند آبی تصویر اپتیک جهت تولید شاخص‌های گیاهی جدید است. هم‌چنین الگوریتم جدیدی جهت شناسایی کلاس درختان و کلاس «سایر گیاهان» معرفی شد، که در آن ابتدا دو شاخص جدید SVI و MSVI تولید گردید. سپس از طریق ماتریس رخداد توأم برای هر یک از سه باند تصویر اصلی ویژگی‌های آماری کنتراست، انترویی، میانگین، واریانس، عدم شباهت،

مراجع

- [1] M. R. McHale, E. G. McPherson, and I. C. Burke, "The potential of urban tree plantings to be cost effective in carbon credit markets," *Urban Forestry & Urban*

Greening, vol. 6, pp. 49-60, 2007.

- [2] T. Blaschke, "Object based image analysis for remote sensing," *ISPRS journal of*

- photogrammetry and remote sensing, vol. 65, pp. 2-16, 2010.
- [3] T. Brandtberg, "Classifying individual tree species under leaf-off and leaf-on conditions using airborne lidar," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 61, pp. 325-340, 2007.
- [4] B. Höfle, M. Hollaus, and J. Hagenauer, "Urban vegetation detection using radiometrically calibrated small-footprint full-waveform airborne LiDAR data," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 67, pp. 134-147, 2012.
- [5] C. Berger, M. Voltersen, R. Eckardt, J. Eberle, T. Heyer, N. Salepci, et al., "Multi-modal and multi-temporal data fusion: Outcome of the 2012 GRSS data fusion contest," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *IEEE Journal of*, vol. 6, pp. 1324-1340, 2013.
- [6] Q. Xiao, S. Ustin, and E. McPherson, "Using AVIRIS data and multiple-masking techniques to map urban forest tree species," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, pp. 5637-5654, 2004.
- [7] G. Le Maire, C. Francois, and E. Dufrene, "Towards universal broad leaf chlorophyll indices using PROSPECT simulated database and hyperspectral reflectance measurements," *Remote sensing of environment*, vol. 89, pp. 1-28, 2004.
- [8] M. Voss and R. Sugumaran, "Seasonal effect on tree species classification in an urban environment using hyperspectral data, LiDAR, and an object-oriented approach," *Sensors*, vol. 8, pp. 3020-3036, 2008.
- [9] G. P. Hughes, "On the mean accuracy of statistical pattern recognizers," *Information Theory*, *IEEE Transactions on*, vol. 14, pp. 55-63, 1968.
- [10] H. Balzter, L. Skinner, A. Luckman, and R. Brooke, "Estimation of tree growth in a conifer plantation over 19 years from multi-satellite L-band SAR," *Remote Sensing of Environment*, vol. 84, pp. 184-191, 2003.
- [11] J. Baker and H. Balzter, "Observations of the wintertime boreal environment using radar remote sensing techniques," *Institute of Terrestrial Ecology Monks Wood*, 1999.
- [12] J. Fransson, "Estimation of stem volume in boreal forests using ERS-1 C-and JERS-1 L-band SAR data," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 20, pp. 123-137, 1999.
- [13] L. E. Pierce, F. T. Ulaby, K. Sarabandi, and M. C. Dobson, "Knowledge-based classification of polarimetric SAR images," *Geoscience and Remote Sensing*, *IEEE Transactions on*, vol. 32, pp. 1081-1086, 1994.
- [14] S. Myeong, D. J. Nowak, and M. J. Duggin, "A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing," *Remote Sensing of Environment*, vol. 101, pp. 277-282, 2006.
- [15] J. S. Walker and J. M. Briggs, "An object-oriented approach to urban forest mapping in Phoenix," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 73, pp. 577-583, 2007.
- [16] J. P. Ardila, V. A. Tolpekin, W. Bijker, and A. Stein, "Markov-random-field-based super-resolution mapping for identification of urban trees in VHR images," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, pp. 762-775, 2011.
- [17] A. Bannari, D. Morin, F. Bonn, and A. Huete, "A review of vegetation indices," *Remote sensing reviews*, vol. 13, pp. 95-120, 1995.
- [18] A. A. Gitelson, "Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation," *Journal of plant physiology*, vol. 161, pp.

- 165-173, 2004.
- [19] A. D. Richardson, S. Klosterman, and M. Toomey, "Near-surface sensor-derived phenology," in *Phenology: An Integrative Environmental Science*, ed: Springer, 2013, pp. 413-430.
- [20] A. P. Lopes, B. W. Nelson, P. M. Graça, J. Wu, J. V. Tavares, N. Prohaska, et al., "Band combinations for detecting leaf amount and leaf age in QuickBird satellite and RGB camera images," in *Brazilian Symposium on Remote Sensing, 2015*, pp. 1671-1677.
- [21] A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, R. Stark, and D. Rundquist, "Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction," *Remote Sensing of Environment*, vol. 80, pp.76-87, 2002.
- [22] F. Albrechtsen, "Statistical texture measures computed from gray level cooccurrence matrices," *Image processing laboratory, department of informatics, university of oslo*, pp. 1-14, 2008.
- [23] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. H. Dinstein, "Textural features for image classification," *Systems, Man and Cybernetics*, IEEE Transactions on, pp. 610-621, 1973.
- [24] M. De Martino, F. Causa, and S. B. Serpico, "Classification of optical high resolution images in urban environment using spectral and textural information," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, 2003*, pp. 467-469.
- [25] A. A. Green, M. Berman, P. Switzer, and M. D. Craig, "A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 65-74, 1988.
- [26] U. Amato, R. M. Cavalli, A. Palombo, S. Pignatti, and F. Santini, "Experimental approach to the selection of the components in the minimum noise fraction," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 47, pp. 153-160, 2009.
- [27] J. B. Lee and M. Berman, "Enhancement of high spectral resolution remote-sensing data by a noise-adjusted principal components transform," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 28, pp. 295-304, 1990.
- [28] J. D. Paola and R. Schowengerdt, "A detailed comparison of backpropagation neural network and maximum-likelihood classifiers for urban land use classification," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 33, pp. 981-996, 1995.
- [29] A. H. Strahler, "The use of prior probabilities in maximum likelihood classification of remotely sensed data," *Remote Sensing of Environment*, vol. 10, pp.135-163, 1980.
- [30] M. Shaban and O. Dikshit, "Improvement of classification in urban areas by the use of textural features: the case study of Lucknow city, Uttar Pradesh," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, pp. 565-593, 2001.



New Method and Indexes for Classification of Trees and Other Vegetation in Urban Area Using Aerial Visible Image

Mehrdad Eslami¹, Ali Mohammadzadeh²

1-Ms.c in photogrammetry from Faculty of Geomatics, University of KN Toosi

2- Assistant professor in Faculty of Geomatics, University of KN Toosi.

Abstract

Classification and detection of urban objects have always been a challenge for Photogrammetry and Remote Sensing researchers. Among various urban classes, plant complications due to their high diversity, spectral similarities in visible images and also absence of specific geometrical shapes have remarkable separation intricacies. In previous researches, for separation of the Trees class from "other vegetation" classes, different data sources have been used, which making use of visible images are the most low-cost and accessible data sources. Hence in this research study, an innovative method is developed for classification of Trees and "other vegetation" classes using visible image in urban areas. Therefore, firstly two new vegetation indices: Subdividing Vegetation Index (SVI) and Minus/ Subdividing Vegetation Index (MSVI), which are extracted from blue and green bands, are introduced. Then many textural features using Gray level Co-occurrence Matrix are estimated and then data reduction of Minimum Noise Fraction (MNF) is applied to the obtained textural features and first 5 bands had been selected. The obtained 2 new vegetation indices, 5 first bands of MNF and 3 bands of source images are entered to a Maximum Likelihood (MLL) classifier. The final result includes classification maps consist of Trees, "other vegetation" and "other urban objects" classes. The outcome of the newly proposed classification algorithm has shown the overall accuracy of 98.5 percent and Kappa coefficient values of about 93 percent. Furthermore, obtained results are shown the desirable effectiveness of the introduced vegetation indices in comparison to the other well-known vegetation indices for the classification overall accuracy, Kappa coefficient and average accuracy improvement. Also performance evaluation of the novel indices has shown an improvement about 4 percent in.

Key words: Seismotectonic zones, clustering, validity indexes, seismic data

Correspondence Address: No. 1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Crossing, Remote Sensing Dept, Geomatics Eng. Faculty K.N.Toosi University of Tech. , Tehran – Iran Postal Code: 1996715433
Email: almoh2@gmail.com