

ارائه روشی جهت تولید شاخص مکانی به منظور به کارگیری اطلاعات مکانی در طبقه‌بندی تصاویر پانکروماتیک

حامد عاشوری^{۱*}، محمد جواد ولدان زوج^۲، محمود رضا صاحبی^۳

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴ | تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲

چکیده

طبقه‌بندی یکی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است، در الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تنها از اطلاعات طبیعی تصویر به عنوان ورودی استفاده می‌شود. در حالی که خصوصاً در تصاویر با رزو لوشن مکانی بالا، روابط مکانی بین پیکسلهای همسایه نقش به سزایی در ایجاد تمایز بین کلاس‌های مختلف، در تفسیر انسانی دارد. در تحقیقات مختلف روشهایی جهت کمی‌سازی بافت تصویر و استفاده از آن در ایجاد تفکیک بین کلاس‌ها ارائه شده است. با توجه به تنوع روش‌های کمی‌سازی بافت تصویر و تنوع پارامترهای قابل تنظیم آنها، امکان تولید تعداد بسیار بالایی ویژگی مکانی جدید از تصویر وجود دارد. هر یک از این ویژگیها توانایی خاصی در ایجاد تمایز بین کلاس‌های تصویر دارند، این حقیقت و تعداد بالای ویژگیها، نیاز به انتخاب ترکیب بهینه و یا تولید ویژگی‌هایی که چکیده توانمندی مجموعه تولید شده را داشته باشند، را ضروری می‌نماید. در این تحقیق با الهام از اندکس‌های تفاضلی نرمال طیفی، مفهوم شاخص مکانی جهت تولید شاخص‌هایی مبتنی بر ویژگی‌های مکانی تولید شده از تک باند طیفی تصویر پانکروماتیک، جهت تفکیک کلاس‌های مختلف تصویر معرفی شده است. شاخص‌های مکانی تولیدی برای هر کلاس به عنوان چکیده مجموعه ویژگی‌های مکانی و به صورت ویژگی‌های جدید در کنار باند تصویر در طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. ویژگی‌های دارای بیشینه و کمینه مقدار در هر کلاس پس از تولید بردار میانگین در فضای ویژگی‌ها و حذف ویژگی‌های داری رنج تغییرات کوچک انتخاب شدند. پس از مقایسه با نتایج سایر کلاس‌ها، زوج باندهای غیر تکراری انتخاب شده و ویژگی‌های تفاضلی نرمال بر اساس آنها تولید شد، استفاده از ویژگی‌های تولید شده در طبقه‌بندی منجر به افزایش قابل توجه دقت در تفکیک کلاس‌ها و کاهش زمان کلی محاسبات گردید. از دیگر مزایای این روش، صریح و مستقیم بودن و عدم نیاز به روندهای تکرار است.

کلید واژه‌ها : شاخص مکانی، طبقه‌بندی نظارت شده، تصویر پانکروماتیک، کمی‌سازی بافت تصویر.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری- دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۸۴۴۵

۱- مقدمه

بین عوارض در مورد آنها محدود به انتخاب تعدادی حد آستانه می‌شود. در تصاویر اخذ شده از سطح زمین، این روش نمی‌تواند منجر به تفکیک مناسبی بین عوارض شود. از روش حد آستانه گذاری در تصاویر اخذ شده از عوارض مصنوعی، دید ماشینی، پردازش تصویر پزشکی و صنعتی که در آنها عوارض دارای تمایز مناسب میزان روشنایی هستند، می‌توان بهره بردن ولی در تفکیک عوارضی که از نظر میزان روشنایی به یکدیگر شباهت داشته و تنها شکل، چیدمان و بافت آنها با یکدیگر متفاوت است این روش پاسخگو نیست.

در این تحقیق، با الهام از روش‌های تولید شاخص از باندهای طیفی تصویر که منجر به تعریف شاخص‌هایی متنوع جهت تفکیک عوارض خاص از تصاویر چند طیفی می‌گردد، روش تولید شاخص مکانی^۱ معرفی شده است. این شاخص‌ها، از ویژگیهایی که با کمی‌سازی بافت تصویر تولید شده‌اند، ایجاد شده و به عنوان معیاری حاوی اطلاعات مکانی تصویر در کنار تصویر یا به تنها جهت طبقه‌بندی تصویر و تفکیک کلاس‌های موجود در آن استفاده می‌شوند.

۲- کمی‌سازی بافت و تولید اندرس^۲(شاخص)

در ادامه مروی بر روش‌های کمی‌سازی بافت، تولید شاخص و روش ارائه شده جهت تولید شاخص مکانی پرداخته می‌شود.

۲-۱- کمی‌سازی بافت^۳

روش‌های مختلفی جهت کمی‌سازی بافت تصویر ارائه شده است و مورد استفاده قرار می‌گیرد که از یک دید کلی این روشها را می‌توان به چهارگروه آماری، ساختاری، مبتنی بر تبدیل به حوزه فرکانس و ترکیب باندها تقسیم کرد.^[۲]

ویژگیهای آماری در سه گروه ویژگیهای آماری مرتبه

¹ Spatial Index

² Index

³ Texture Quantization

طبقه‌بندی پرکاربردترین روش استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است که در پروژه‌های اجرایی و تحقیقاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روند طبقه‌بندی، پیکسلهای تصویر بر اساس میزان شباهت در فضای ویژگی در گروههایی مجزا قرار داده می‌شوند، که بر اساس روش انتخابی در حالت‌های نظارت شده، گروههایی از پیش تعیین شده و در حالت نظارت نشده، ناشناخته هستند. در روش‌های معمول طبقه‌بندی از درجات خاکستری پیکسلهای تصویر در طیف‌های مختلف به عنوان داده وروی استفاده می‌شود. با استفاده از این داده‌ها امکان تفکیک عوارض موجود در تصویر محدود بوده و تنها امکان تفکیک عوارضی که از نظر طیفی تمایز مناسبی بین آنها وجود دارد برقرار است. این در حالی است که در شناسایی عوارض یک تصویر توسط مفسر، ویژگیهای مکانی عوارض مختلف به عنوان یک معیار قوی جهت ایجاد تمایز بین آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ویژگیها خصوصاً در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا قابل تشخیص و مورد استفاده جهت تفکیک عوارض توسط انسان است. با توجه به وجود تصاویری با قدرت تفکیک‌های بالا، روش‌های بهینه جهت استفاده حداکثری از توان اطلاعاتی تصویر توسعه داده می‌شود. روش‌های مختلفی جهت استفاده از این اطلاعات نهفته در تصویر وجود دارد که کمی‌سازی بافت یکی از شاخص‌های اصلی این روشها است. با استفاده از فرمول‌های مختلف معرفی شده، امکان تولید انبوهی از ویژگیهای مکانی از تصویر وجود دارد که هر یک جنبه خاصی از روابط و خصوصیات مکانی عوارض تصویر را به صورت کمی تبدیل می‌کنند. [۱] پس از تولید این ویژگیها، بایستی به روشنی مناسب، نسبت به انتخاب بهینه یا تولید یک مجموعه چکیده از آنها اقدام نمود تا بتوان در روند استخراج اطلاعات از آنها کمک گرفت.

در تصاویر پانکروماتیک، عملاً تفکیک طیفی

فرمول شبه وریانس به کمی‌سازی آماره‌های مکانی تعریف کننده روابط پیکسلهای همسایه می‌پردازند. در [۵] چهار فرمول برای تولید ویژگی‌های زمین آمار از تصاویر چند طیفی معرفی شده است که دو فرمول به صورت تقاطعی و بین باندی به تولید ویژگی‌های جدید می‌پردازند و در مورد تصاویر تک باند قابل به کارگیری نیستند. بنابراین از دو فرمول نخست که در جدول (۳) ارائه شده، در این تحقیق استفاده شده است.

۲-۲- اندکس (شاخص) طیفی

شاخص یا اندکس به عنوان یکی از روش‌های استخراج عوارض از تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. کارل جردن در سال ۱۹۶۹ [۶] با محاسبه نسبت درجات خاکستری دو باند مادون قرمز و قرمز، شاخصی را تولید کرد که به کمک آن سطح پوشش برگ جنگل قابل تخمین گردید. تعریف اندکس به کمک این واقعیت رخ داد که برگ درختان بیشترین انعکاس را در باند مادون قرمز و بیشترین حذب را در باند قرمز دارد. بعد از این تحقیق، محققین بسیاری به تولید انواع شاخص‌ها با فرمول‌های مختلف پرداختند [۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. از شاخص‌های طیفی در پروژه‌های روزمره سنجش از دوری و تحقیقات جاری نیز استفاده می‌شود. آشناترین مثال شاخص‌ها، شاخص گیاهی تفاضلی^۱ یا شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده^۲ است. تولید شاخص‌ها، برای ایجاد تمایز بین پیکسل‌های یک کلاس و سایر پیکسل‌های تصویر انجام می‌شود.

در اکثر شاخص‌های مورد استفاده، عدد شاخص از تفاضل یا نسبت درجات خاکستری دو باند که در مورد یک عارضه بیشترین انعکاس و بیشترین حذب را دارا هستند، تولید می‌شود و موفقیت یک اندکس در استفاده از باندهای انعکاسی اختصاصی و

اول، ویژگی‌های آماری مرتبه دوم و ویژگی‌های زمین آمار قبل دسته‌بندی هستند. در این تحقیق از هر سه گروه اصلی آماری جهت تولید ویژگی‌های مکانی مبتنی بر بافت تصویر استفاده شد. در این روشها، یک کرنل با بعد فرد بر روی تصویر حرکت داده شده و پس از تولید هیستوگرام تصویر در هر یک از باندها در محدوده کرنل، آماره‌های مختلفی با استفاده از آن تولید شده و به پیکسل مرکزی در لایه خروجی تولید شده نسبت داده می‌شوند.

در ویژگی‌های آماری مرتبه اول، آماره‌ها به صورت مستقیم با استفاده از درجات خاکستری پیکسلهای قرارگرفته در محدوده کرنل تولید می‌شوند. این آماره‌ها در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

تولید ویژگی‌های آماری مرتبه دوم با استفاده از ماتریس رخداد توام (GLCM^۱) توسط هارالیک و همکاران [۴] معرفی شد. ماتریس رخداد توام که حاصل شمارش تعداد زوج درجات خاکستری موجود در فاصله مشخصی در پنجره کرنل هستند به عنوان مقدمه تولید ویژگی‌های مختلف در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین در این روش، ابتدا ماتریس رخداد توام در هر موقعیت کرنل تولید شده و سپس با به کارگیری فرمولهای مختلف، ویژگی‌هایی از آن ماتریس تولید می‌گردد. در جدول (۲) رابطه‌های به کارگیری شده تولید ویژگی در این روش ارائه شده‌اند.

در مورد درجات خاکستری پیکسلهای تصویر با توجه به ماهیت مکانی هر چه فاصله پیکسلها کمتر باشد وابستگی مقادیر درجه خاکستری آنها بالاتر است. زمین آمار با در نظر گرفتن این واقعیت سعی در پیاده‌سازی (کمی‌کردن) رابطه بین نمونه‌ها و فاصله بین آنها دارد. یکی از پارامترهایی که به‌این‌منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد شبه وریانس است، ویژگی‌های مبتنی بر زمین آمار با فرمولهایی برگرفته از

¹ VI : Vegetation Index

³ NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

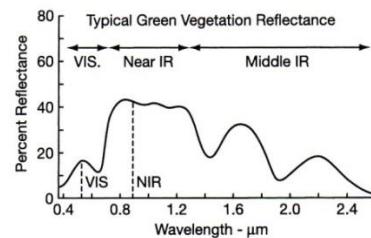
1 Gral Level Co-Occurance Matrix

عارضه از سایر عوارض، شاخصی جهت تفکیک عوارض بر اساس خصوصیات مکانی آنها است. با توجه به اینکه تفاضل عدد دو ویژگی مکانی خصوصاً در مورد ویژگی‌های مرتبه اول وابسته به درجه خاکستری پیکسلهای تصویر بوده و اثر روش‌نایابی می‌تواند باعث افزایش یا کاهش کلی عدد و در نتیجه ایجاد تمایز در عوارض مشابه گردد، در روش معرفی شده در تولید شاخص‌های مکانی، از فرمول تفاضلی نرمال جهت تولید شاخص استفاده شد. با این شیوه پیاده‌سازی، شاخص‌های تولید شده شاخص مکانی نامگذاری شدند. برای تولید اندکس مکانی جهت هر کلاس، از باندهایی که دارای بیشینه مقدار و کمینه مقدار در بردار میانگین تولید شده آن کلاس در بین کلیه ویژگی‌های موجود در فضای ویژگی بودند، استفاده می‌شود. بدین ترتیب شناسن موفقیت شاخص تولید شده به جهت ایجاد بیشترین تمایز بین عرضه مورد نظر و سایر عوارض تصویر افزایش می‌یابد. معادله به کار گرفته شده، مطابق با معادله شاخص تفاضلی نرمال شده در نظر گرفته شد و به صورت رابطه (۱) است.

$$\text{شاخص مکانی} = \frac{\text{تفاضلی نرمال}}{\text{کلاس}}$$

رابطه ایجاد شده برای کلیه پیکسل‌های تصویر استفاده شده و ویژگی جدیدی به نام شاخص مکانی کلاس مورد نظر تولید می‌گردد.

جدبی اختصاصی عرضه مورد نظر است. در شکل (۱) نمودار بازتاب طیفی گیاه نمایش داده شده است. تفاضل بسیار بالای بین باندهای مادون قرمز و قرمز، در تولید شاخص گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱: نمودار بازتاب طیفی پوشش گیاهی [۱۴]

۲-۳- شاخص مکانی

شاخص‌های مورد استفاده و معرفی شده، بر اساس باندهای طیفی و به منظور تولید معیاری جهت ایجاد تمایز یک کلاس از سایر کلاسهای تصویر بر اساس ویژگیهای طیفی آن تعریف شده است. در این تحقیق با الگوبرداری از این روش، شاخص‌های مکانی که با استفاده از ویژگیهای مکانی (حاصل از کمی‌سازی خصوصیات مکانی تصویر) تولید می‌شوند، معرفی شده‌اند. با این روش شاخص تولید شده در عوض تولید کردن اندکسی خاص برای تفکیک طیفی رابطه (۱)

$$\text{تفاضل عدد ویژگی دارای بیشینه مقدار و ویژگیهای مکانی کلاس} = \frac{\text{مجموع عدد ویژگی دارای بیشینه مقدار و ویژگیهای مکانی کلاس}}{\text{کلاس}}$$

بدین ترتیب دو ویژگی مورد استفاده جهت تولید شاخص، ویژگیهای دارای بیشینه و کمینه مقدار در بردار میانگین ویژگی هر کلاس هستند. پس از آن از

جدول ۱: لیست انواع ویژگیهای آماری مرتبه اول تولید شده به همراه فرمول تولید هر یک [۳]

ردیف	فرمول محاسبه در کرنل	نام
۱	$m_1 = E[I^1] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I P(I)$	میانگین
۲	$Mean_w = \frac{\sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_c} \frac{1}{d_{i,j}} I(i,j)}{\sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_c} \frac{1}{d_{i,j}}}$	میانگین وزندار با وزن عکس فاصله
۳	$m_2 = E[I^2] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^2 P(I)$	ممان مرتبه ۲
۴	$m_3 = E[I^3] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^3 P(I)$	ممان مرتبه ۳
۵	$m_4 = E[I^4] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^4 P(I)$	ممان مرتبه ۴
۶	$\mu_1 = E[(I - E[I])^1] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1) P(I)$	ممان مرکزی مرتبه ۱
۷	$\mu_2 = E[(I - E[I])^2] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^2 P(I)$	ممان مرکزی مرتبه ۲ (وریانس)
۸	$\mu_3 = E[(I - E[I])^3] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^3 P(I)$	عدم تقارن
۹	$\mu_4 = E[(I - E[I])^4] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^4 P(I)$	میزان اوج
۱۰	$\hat{\mu}_1 = E[Abs(I - E[I])]$	ممان مطلق مرتبه ۱
۱۱	$\hat{\mu}_3 = E[Abs(I - E[I])^3]$	ممان مطلق مرتبه ۲
۱۲	$H = -E[\log_2 P(I)] = -\sum_{I=0}^{N_g-1} P(I) \log_2 P(I)$	انتروپی
۱۳	$Median$	میانه
۱۴	$Mode$	مد
	$P(I) = \frac{\text{number of pixels with gray level } I}{\text{Total number of pixels}}$	تعریف هیستوگرام

جدول ۲: لیست انواع ویژگیهای آماری مرتبه دوم مبتنی بر ماتریس رخداد توام تولید شده به همراه فرمول تولید هر یک

ردیف	فرمول محاسبه در کرنل	نام
۱	$CON = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i-j)^2 P(i,j)$	(Contrast (Inertia))
۲	$Dis = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} i-j P(i,j)$	(Dissimilarity)
۳	$ASM = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (P(i,j))^2$	Angular Second Moment
۴	$Entropy = -\sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i,j) \ln(P(i,j))$	(Entropy)
۵	$IDF = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{P(i,j)}{1+(i-j)^2}$	(Homogeneity)
۶	$\mu_i = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} i \times P(i,j) = \mu_j = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} j \times P(i,j)$	میانگین (Mean)
۷	$\sigma_i^2 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i - \mu_i)^2 \times P(i,j) = \sigma_j^2 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (j - \mu_j)^2 \times P(i,j)$	وریانس (Variance)
۸	$Correlation = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)P(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$	همبستگی (Correlation)
$P(i,j) = GLCM(i,j)$		تعریف P که همان ماتریس رخداد توام است.

جدول ۳: لیست انواع ویژگیهای زمین آمار تولید شده به همراه فرمول تولید هر یک

ردیف	فرمول محاسبه در کرنل	نام
۱	$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{N_r-h_1} \sum_{j=1}^{N_c-h_2} [DN(i,j) - DN(i+h_1, j+h_2)]^2$	Direct Variogram
۲	$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{N_r-h_1} \sum_{j=1}^{N_c-h_2} DN(i,j) - DN(i+h_1, j+h_2) $	Madogram
	$S_h^2 = \frac{1}{2m_h} \sum_{i=1}^{m_h} [f(x_i) - f(x_i + h)]^2$	شبه وریانس

۳-۱- داده استفاده شده و موضوع طبقه‌بندی

برای بررسی توانایی روش معرفی شده، از داده پانکروماتیک (تک باند) استفاده شد. مسلماً از آنجا که در این تصاویر امکان تفکیک طیفی بین کلاسها بسیار محدود است، اطلاعات مکانی نقش اصلی را در تفکیک بین پوشش‌های مختلف دارند و این روش

۳- داده و موضوع مورد استفاده و ویژگیهای

تولید شده در این بخش داده‌های استفاده شده جهت ارزیابی الگوریتم و ویژگیهای مکانی تولید شده از تصویر معرفی می‌شوند.

طبقه‌بندی تصاویر پانکروماتیک است، جهت بررسی توانمندی این روش موضوع طبقه‌بندی تاج پوشش جنگلی که موضوع نسبتاً پیچیده ای از منظر تفکیک مکانی است انتخاب شده است. بنابراین به مروری بسیار کوتاه بر روی روش‌های موجود طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگلی که از داده‌های چند طیفی استفاده می‌کنند، بسنده می‌شود.

روش شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط محققینی چون بوید و دیگران [۱۴]، اسکیدمور و همکاران [۱۵] و اتکیسون تانسال [۱۶] استفاده شده است. روش رگرسیون چند خطی توسط لوسکیو و کینگ [۱۷] و ایورسون و همکاران [۱۸] ارائه شده است.

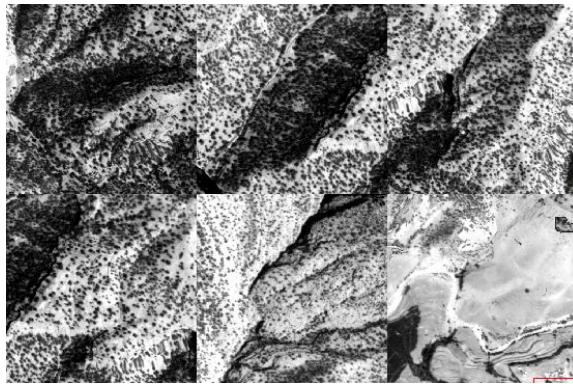
روش تصویرگر تراکم تاج پوشش جنگلی به عنوان یک روش موفق توسط ریکیمارو [۱۹] ارائه شده و در آن از شاخص‌های گیاهی پیشرفته، خاک، سایه و حرارتی استفاده می‌شود، از این روش در تحقیقات بعدی نیز مانند [۲۰] استفاده شده است. همچنان روش‌های عمومی استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش از دور که توسط محققین به کار گرفته شده است همانند:

روش طبقه‌بندی نظارت شده بیشترین شباهت چودمانی جوشی [۲۱]، روش طبقه‌بندی شی‌گرا دورن و همکاران [۲۲]، روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری سوزا [۲۳] و روش طبقه‌بندی اسپکتروال آنمیکسینگ توسط کراس [۲۴]. در تحقیقات اخیر داده‌های لیزراسکتر هوایی در تلفیق با داده‌های چند طیفی به کار گرفته شده‌اند [۲۵] و [۲۶]، همچنان در [۲۷] از تصاویر هوایی چند طیفی که از ارتفاع کم با تصویر برداری به کمک پرواز پهباud دریافت شده جهت تولید مدل ارتفاعی رقومی و بازسازی ابر نقطه سه بعدی پوشش گیاهی استفاده شده است.

می‌تواند به خوبی مورد آزمون قرار گیرد. داده مورد استفاده، خروجی تولید تصویر قائم از زوج تصویر هوایی اخذ شده در سال ۱۳۸۷ به مقیاس ۱:۴۰۰۰ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور از منطقه گاویرگ استان کهگیلویه و بویراحمد در منطقه جنگلی زاگرس است. تصاویر این پروژه جهت تفکیک کلاسهای تاج پوشش جنگلی توسط سازمان جنگلها و مراتع استفاده شده است. برای انتخاب محدوده‌های آموزشی و چک از نتایج طبقه‌بندی چشمی این تصویر که به صورت نقشه توسط این سازمان تولید شده و در شکل (۲) ارائه شده است، استفاده گردید. نقشه تولید شده حاصل از این طبقه‌بندی در شکل (۳) نمایش داده شده است.

با توجه به دسته‌بندی جهانی کلاسهای تراکم تاج پوشش جنگلی به ۶ کلاس، ۶ ناحیه نمونه از تصویر که در محدوده پوشش هر یک از این کلاس‌ها بودند بریده شده و در کنار هم تصویری را تشکیل دادند که به عنوان تصویر ورودی در آزمونها مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۴) تصویر موزاییک شده از زیر تصویرهای این نواحی را نمایش می‌دهد. از هر یک از شش زیر تصویر، دو ناحیه به عنوان محدوده داده‌های آموزشی و چک انتخاب شد و در انجام آزمون ها از آنها برای آموزش و ارزیابی طبقه‌بندی بهره گرفته شد. در جدول (۴) تعداد پیکسل‌های معروف شده به عنوان داده آموزشی و چک برای هر یک از کلاس‌ها ارائه شده است.

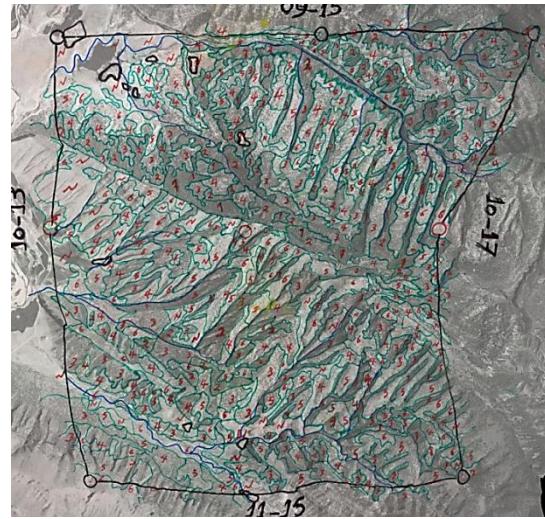
جهت تفکیک تراکم تاج پوشش جنگلی تحقیقات مختلفی انجام شده و در دست انجام است، با توجه به اینکه موضوع اصلی این مقاله، معرفی روش تدوین شده جهت به کارگیری اطلاعات مکانی در



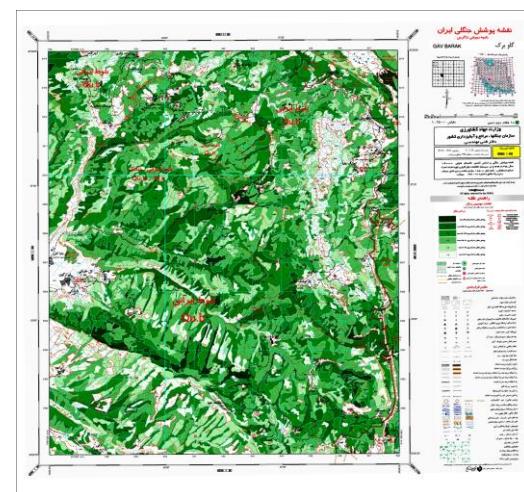
شکل ۴: زیر تصویرهای موزاییک شده، به ترتیب ردیف بالا از چپ به راست کلاسها F1 تا F3 و ردیف پایین از چپ به راست F4 تا F6 تشکیل شده است.

جدول ۴: کلاسها انتخاب شده در تصویر به همراه تعداد داده‌های آموزشی و چک هر یک

ردیف	نام کلاس	تعداد پیکسل داده	تعداد پیکسل داده چک	آموزشی
۱	F1	۱۴۹۴	۱۲۴۷	
۲	F2	۱۷۰۸	۱۶۷۸	
۳	F3	۱۹۳۲	۱۷۰۵	
۴	F4	۲۱۸۵	۱۸۹۹	
۵	F5	۱۴۵۷	۱۴۶۱	
۶	F6	۲۱۰۹	۱۶۳۱	



شکل ۲: تصویر هوایی که در آن دسته بندی کلاسها تا ج پوشش انجام شده



شکل ۳: نقشه تولید شده حاصل از دسته بندی تراکم تاج پوشش توسط مفسر

در تولید ویژگیهای مبتنی بر ماتریس رخداد توام و زمین آمار از روابط معرفی شده در جدول های (۲ و ۳) استفاده شد، همچنین با توجه به اینکه در تولید این ویژگیها، امکان انتخاب فاصله زوج پیکسل وجود دارد، به جهت در نظر گرفتن جهت‌های اصلی، از چهار بردار فاصله (۱۰۱)، (۱۰۰)، (۰۱۰) و (۰۱۱) استفاده شد. در جدول تعداد ویژگی قابل تولید با استفاده از هر یک از روشها محاسبه شده است. در جدول (۵) تعداد ویژگیهای تولید شده در هر یک از روشها محاسبه شده است.

۲-۲- ویژگیهای تولید شده

با استفاده از فرمولهای معرفی شده ویژگیهای آماری مرتبه اول، ۱۴ ویژگی قابل تولید است که در جدول (۱) لیست آنها آرائه شده است. با توجه به اینکه ابعاد کرنل به عنوان یکی از خصوصیات قابل تنظیم در تولید این ویژگی محسوب می شود، و با توجه به اینکه با تغییر ابعاد کرنل امکان کمی کردن جنبه های مختلف مکانی تصویر وجود دارد، در تولید ویژگیها از ابعاد فرد ۳۸۳ تا ۵۵×۵۵ به عنوان اندازه کرنل استفاده شد.

جدول ۵: تعداد کل ویژگیهای قابل تولید در هر یک از روش‌های سه گانه به کارگرفته شده با استفاده از پارامترهای انتخاب شده

قابل تولید	تعداد کل ویژگیهای رادیومتریک	تعداد رزولوشن‌های کرنل	تعداد فرمول	تعداد باند	تعداد روشن	روش تولید	تعداد ویژگی
۱ آماری مرتبه	۱	۱	۲۷	۱۴	×	۱	۱
۲ آماری مرتبه	۵	۴	۲۷	۱۰	×	۱	۱
زمین آمار	۱	۴	۲۷	۲	×	۱	=
							۳۷۸
							۵۴۰۰
							۲۱۶

به روشی ساده و با محاسبه رنج تغییرات میانگین هر ویژگی در بین کلاسها، ویژگی‌های دارای رنج تغییرات کمتر از یک حد آستانه در بین کلاسها حذف می‌شوند. بدین منظور ابتدا برای هر یک از ویژگیها عدد میانگین برای پیکسلهای هر کلاس محاسبه شده و در نهایت بردار ویژگی میانگین هر کلاس تولید شد. برای مقایسه تاثیر انتخاب حد آستانه، عدد حد آستانه به جهت حفظ سه چهارم برابر با ۱۹۲، نصف برابر ۱۲۸، یک چهارم مساوی ۶۴ و تمامی رنج دینامیکی معادل ۱ در نظر گرفته شد. بدین ترتیب با انتخاب هر یک از حد آستانه‌های بزرگتر از ۱، ویژگیهایی که تغییرات آنها در اعداد میانگین پیکسلهای عضو هر کلاس کمتر از حد آستانه بود، از مجموعه ویژگیها حذف گردید. نتیجه انتخاب حد آستانه ۱، حفظ کلیه ویژگیهای موجود می‌باشد.

در جدول (۶) تعداد ویژگیهای تولید شده در هر روش و تعداد ویژگی باقی مانده با انتخاب حد آستانه‌های مختلف ارائه شده است.

پس از حذف ویژگیهای دارای رنج تغییرات کمتر از حد آستانه، برای هر کلاس، ویژگیهای دارای کمینه و بیشینه مقدار عددی انتخاب شدن، فهرست زوج ویژگیهای انتخاب شده برای هر کلاس در هر یک از دسته ویژگیهای تولید شده در جدول (۷) ارائه شده است. بدین ترتیب با توجه به تعریف ۶ کلاس، ۶ زوج ویژگی انتخاب شده و با تقسیم تفاضل اعداد آنها بر مجموع اعداد آنها برای کلیه پیکسلهای تصویر، ویژگی جدیدی به نام اندکس نرمال کلاس شماره n ام تولید شد.

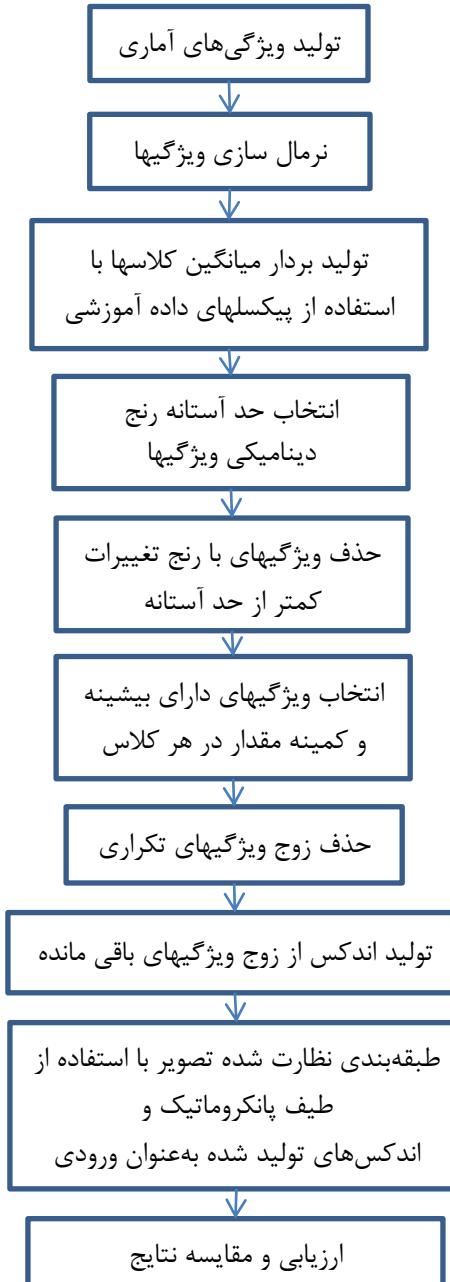
سپس با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف پارامترهای ابعاد کرنل و فاصله، ویژگیهای جدید از تصویر در کلیه حالت‌ها تولید شدند.

۴- الگوریتم پیاده‌سازی شده و نتایج

در این بخش به روش اجرایی به کارگرفته شده پرداخته می‌شود و در ادامه نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم ارائه می‌شود.

۴-۱- روش اجرایی

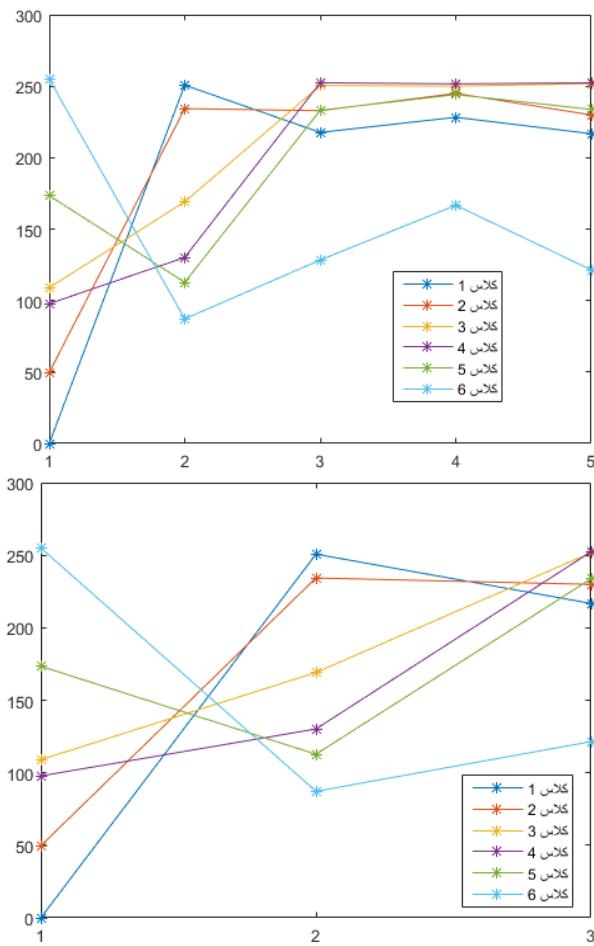
در شکل (۵) الگوریتم اجرایی ارائه شده است و در ادامه به توضیح مراحل آن پرداخته می‌شود. ابتدا ویژگیهای آماری مرتبه اول، مرتبه دوم مبتنی بر ماتریس رخداد توأم و زمین آمار به ترتیبی که در بخش قبل توضیح داده شد، تولید شدند. با توجه به اختلاف زیاد رنج دینامیکی ویژگیهای تولید شده، به‌منظور همسان‌سازی رنج، هر یک از ویژگیها در بازه [۰-۰.۲۵۵] نرمال شدند. سپس بردار میانگین هر یک از کلاس‌های آموزشی در فضای ویژگی ایجاد شده از ویژگیهای نرمال شده، تولید گردید. با توجه به شباهت درجات خاکستری برخی ویژگیها در کلاس‌های مختلف و همچنین شباهت بیشینه و کمینه مقدار کلاس‌های متفاوت، اندکس‌های تولیدی مشابه یکدیگر خواهند شد و توانایی خوبی در تفکیک پدیده‌ها نخواهد داشت. استفاده از ویژگیهای مشابه در طبقه‌بندی نیز توان اطلاعاتی جدیدی به مجموعه ویژگیها اضافه نمی‌کند و حتی به دلیل ایجاد افزونگی داده باعث تخریب دقت می‌شود. به‌منظور حذف ویژگیهای مشابه



شکل ۵: الگوریتم پیاده‌سازی شده

در مرحله بعدی، با توجه به اینکه باندهای دارای کمینه و بیشینه مقدار برای برخی از کلاس‌های داده‌های آموزشی همسان بوده و نمی‌باشد به صورت همزمان در طبقه‌بندی از آنها استفاده شود، اندکس‌های مکانی همسان از مجموعه اندکس‌های مکانی تولید شده حذف شدند و مجموعه اندکس‌های مکانی باقی مانده

در همین مرحله هر یک از اندکس‌های تولید شده به همراه باندهای طیفی تصویر وارد طبقه‌بندی شده و دقت نتایج حاصل محاسبه شد. همچنین طبقه‌بندی با استفاده از کلیه اندکس‌های تولید شده از مجموعه ویژگی‌های هر روش به تنهایی و در کنار باند پانکروماتیک انجام شد.



شکل ۶: (الف) نمودار میانگین ۵ اندکس یکتای تولید شده برای هر مجموعه داده آموزشی و (ب) نمودار میانگین ۳ اندکس دارای رنج تغییرات بیشتر از حد آستانه ۱۲۸ واحدی در بین کلاس‌های ششگانه داده آموزشی

در کنار باندهای طیفی تصویر مورد طبقه‌بندی قرار گرفتند. در جدول (۸) اندکس‌های مکانی یکتای باقی مانده در هر یک از حالتها ارائه شده‌اند. همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است، در برخی از حالت‌ها، تعدادی از اندکس‌های مکانی تولید شده دارای باندهای کمینه و بیشینه یکسان بودند که یکی از آنها از مجموعه اندکس‌های مکانی تولیدی در حالت مجموعه یکتا، حذف شده‌اند.

در مرحله بعدی با توجه به اینکه امکان تولید اندکس‌هایی که توانایی تمایز کمتری در برخی کلاس‌های تصویر ایجاد می‌کنند وجود دارد، بار دیگر از روش ساده به کارگرفته شده در گام نخست استفاده شد. بدین ترتیب که برای کلیه پیکسل‌های داده‌های آموزشی، مقدار عددی اندکس محاسبه شده و پس از آن میانگین عددی هر یک از اندکس‌های مکانی تولیدی برای هر کلاس محاسبه شد. در این مرحله اندکس‌هایی که رنج تغییراتی کمتر از ۱۲۸ در بین کلاس‌های مختلف داشتند، حذف شدند و بهمراه تنها باند طیفی موجود وارد روند طبقه‌بندی شدند. در شکل (۶) به عنوان نمونه، نمودارهای اندکس‌های مکانی تولید شده و اندکس‌های مکانی یکتای باقی مانده حاصل از به کارگیری ویژگیهای روش ماتریس رخداد توام با حد آستانه حذف اولیه ۶۴ و حد آستانه حذف اندکس ۱۲۸ نمایش داده شده‌اند. مجموعه اندکس‌های باقی مانده که شامل ۳ اندکس بودند، منجر به بهترین دقیقت میانگین و کلی در بین حالت‌های مختلف مورد آزمون شدند.

جدول ۶: تعداد کل ویژگیهای تولید شده و باقی مانده بعد از حذف اولیه در هر یک از روشها با انتخاب حد آستانه‌های مختلف

تعداد ویژگی باقی مانده با انتخاب رنج حذف ویژگی‌های مشابه	۱۹۲	۱۲۸	۶۴	۱
روش تولید ویژگی	تعداد کل ویژگی			
آماری مرتبه نخست	۳۷۸	۱۸۶	۲۹۷	۳۲۲
ماتریس رخداد توام	۵۴۰۰	۱۵۷۲	۳۴۵۵	۴۳۶۱
زمین آمار	۲۱۶	۸۵	۱۶۹	۲۰۴

جدول ۷: ویژگیهای استفاده شده در تولید انداکس هر کلاس

آماری مرتبه نخست		ماتریس رخداد توان		زمین آمار	
ویرگی دوم انداکس		ویرگی دوم انداکس		ویرگی نخست انداکس	
رد	کلاس	رد	کلاس	رد	کلاس
		اندازه فرمول	اندازه فرمول	اندازه فرمول	اندازه فرمول
		کرنل کرنل	کرنل کرنل	کرنل کرنل	کرنل کرنل
۱	Kurtosis	5	Skewness	55	Correlation(1,1)
۲	Kurtosis	3	Entropy	3	Correlation(1,1)
۳	Kurtosis	3	Entropy	3	Correlation(0,1)
۴	Kurtosis	3	Entropy	45	Correlation(0,1)
۵	Kurtosis	3	Mode	55	Correlation(1,1)
۶	Kurtosis	5	Mean	55	Correlation(1,1)
۷	Kurtosis	9	Skewness	55	Meanj(1,0)
۸	Kurtosis	9	Entropy	3	ASM(1,-1)
۹	Kurtosis	9	Entropy	3	ASM(1,1)
۱۰	Kurtosis	9	Entropy	45	ASM(1,1)
۱۱	Kurtosis	9	Mode	55	ASM(1,-1)
۱۲	Kurtosis	9	Mean	55	Contrast(1,-1)
۱۳	Moment4	43	Entropy	7	Meanj(1,0)
۱۴	Kurtosis	27	Entropy	7	ASM(1,1)
۱۵	Kurtosis	21	Entropy	55	ASM(1,1)
۱۶	Moment4	3	Entropy	45	ASM(1,1)
۱۷	Kurtosis	19	Mode	55	ASM(1,-1)
۱۸	Kurtosis	19	Mean	55	Contrast(1,-1)
۱۹	Moment4	43	AMoment1	55	Meanj(1,0)
۲۰	Moment4	53	AMoment1	55	Variancej(1,1)
۲۱	Kurtosis	43	AMoment1	55	Homogeneity(1,-1)
۲۲	Moment4	23	Mode	55	Homogeneity(0,1)
۲۳	Kurtosis	43	Mode	55	Contrast(1,-1)
۲۴	Kurtosis	43	Mean	55	Meanj(1,-1)

جدول ۸: اندکس‌های باقی مانده پس از حذف اندکس‌های شبیه

حد آستانه	ردیف	اندکس‌های یکتاپی باقی مانده			
		آماری مرتبه نخست	ماتریس رخداد توأم	زمین	آمار
۱	۱	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲	۲
	۳	۴	۳	۴	
	۴	۵	۴	۶	
	۵	۶	۵	-	
	۶	-	۶	-	
۶۴	۱	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲	۲
	۳	۴	۳	۳	
	۴	۵	۴	۴	
	۵	۶	۶	۶	
	۶	-	-	-	
۱۲۸	۱	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲	۲
	۳	۳	۳	۴	
	۴	۴	۴	۶	
	۵	۵	۵	-	
	۶	۶	۶	-	
۱۹۲	۱	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲	۲
	۳	۳	۳	۴	
	۴	۴	۴	۶	
	۵	۵	۵	-	
	۶	۶	۶	-	

نخست طبقه‌بندی تصویر با استفاده از هر یک از شاخص‌های مکانی تولید شده در کنار باند طیفی انجام شد. در حالت بعدی مجموعه شاخص‌های مکانی تولید شده، مجموعه شاخص‌های یکتاپی تولیدی به همراه باند طیفی و پس از آن مجموعه شاخص‌های یکتاپی تولیدی بدون باند طیفی طبقه‌بندی شدند.

۲-۴- بررسی نتایج

با توجه به اینکه هدف از تولید ویژگی‌های جدید که براساس روش تولید ویژگی مکانی ایجاد شده‌اند، افزایش دقت طبقه‌بندی تصویر است، طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از این ویژگی‌ها انجام شد. آزمون‌ها در چند حالت اجرا شد و دقت‌های حاصل از طبقه‌بندی جهت مقایسه محاسبه شد. در مرحله

از فضای ویژگی با ابعاد بالا [۲۸] استفاده شد، در این مقایسه، پس از تبدیل فضای ویژگی‌های مکانی تولید شده در هر روش به فضای مولفه‌های اصلی، مولفه‌های اول تا ششم و مولفه‌های اول تا دوازدهم در آزمون‌های جداگانه به همراه باند طیفی تصویر وارد طبقه‌بندی شدند. انتخاب اعداد ۶ و ۱۲ بهدلیل ایجاد تناظر بین تعداد کمینه و بیشینه ویژگی‌های انتخاب شده در تولید اندکس‌ها انجام شد. نتایج این طبقه‌بندی‌ها نیز در جدول (۱۰) ارائه شده است.

برای استفاده از این روش می‌بایست کلیه ویژگی‌های مکانی برای تمامی پیکسل‌های تصویر تولید شود که با توجه به تعداد بالای ویژگی‌های مکانی و مدت زمان بالای محاسبه برای تعدادی از آنها، هزینه زمانی و پردازشی بالایی را در پی خواهد داشت.

مقایسه نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی اندکس‌های یکتا تولید شده به تنها ی و در کنار باند طیفی و همچنین اندکس‌های یکتا پس از حذف اندکس‌های دارای رنج کم تغییرات در کلاس‌های مختلف در کنار باند طیفی، با طبقه‌بندی به کمک باندهای بیشینه و کمینه هر کلاس و همچنین شش باند و دوازده باند نخست فضای مولفه‌های اصلی، نشان دهنده توانمندی بالاتر روش پیشنهادی در افزایش دقت طبقه‌بندی است. این نتایج که بر اساس دقت کلی طبقه‌بندی مرتب شده‌اند در جدول (۱۰) ارائه شده‌اند.

نتایج به دست آمده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی، با تفاوتی در رنج ۲ تا ۹ درصدی ضعیف تر از نتایج به دست آمده از روش ارائه شده هستند. این کاهش دقت در کنار مدت زمان بسیار بالاتر مورد نیاز جهت اعمال این روش، استفاده از روش پیشنهادی را، از دیدگاهی دیگر نیز تایید می‌کند.

در جدول (۵) دقت‌های تولید کننده^۱ کلاس‌های ۶ گانه، دقت کلی^۲، دقت میانگین^۳ و ضریب کاپای^۴ به دست آمده از هر یک از حالت‌های طبقه‌بندی برای هر یک از سه روش تولید ویژگی ارائه شده است. با توجه به اینکه در روشهای آماری مرتبه نخست و زمین آمار بیشترین تعداد نتایج برتر دقت میانگین از حالت تولید اندکس با انتخاب حد آستانه اولیه ۱۹۲ به دست آمده و در روش ماتریس رخداد توام اکثربت نتایج برتر حاصل از اندکس‌های تولید شده با انتخاب حد آستانه اولیه برابر ۶۴ بود، در جدول (۹) نتایج ارائه شده حاصل از انتخاب حد آستانه‌های ذکر شده به صورت منتظر برای این سه روش ارائه شده است. با توجه به اینکه تنها حالت قابل به کارگیری در مورد تصویر تک باند، استفاده از حد آستانه گذاری است، نتایج به دست آمده از این روش نیز جهت مقایسه ارائه شده است.

با توجه به اینکه در مرحله نخست الگوریتم، با استفاده از حد آستانه رنج تغییرات تعدادی از ویژگیها حذف شد و پس از آن ویژگی‌های بیشینه و کمینه هر کلاس، برای تولید اندکس مربوط به آن انتخاب شدند، این سوال مطرح می‌شود که آیا استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده برای تولید ویژگی به عنوان ورودی طبقه‌بندی منجر به بدست آمدن نتایج دقیق‌تری از اندکس‌ها تولید شده نمی‌شود؟ یا به عبارت دیگر، آیا تولید کردن اندکس‌ها، کمکی به افزایش توان تفکیک کلاس‌های تعریف شده می‌نماید یا خیر؟

برای مقایسه، آزمون‌هایی به صورت طبقه‌بندی تصویر با استفاده از این ویژگیها انجام شد. نتایج این آزمون جهت مقایسه در جدول (۱۰) ارائه شده است.

همچنین از تبدیل تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به عنوان روشی جهت به دست آوردن ویژگی‌های چکیده

1 Producer Accuracy

2 Overall Accuracy

3 Mean Accuracy

4 Kappa Coefficient

جدول ۹: دقت های حاصل از طبقه بندی هر یک از اندکس های مکانی تولید شده در کنار باندهای طیفی، اندکس های یکتا در کنار باندهای طیفی و باندهای طیفی به تنهایی به عنوان مبنای مقایسه

ورودی طبقه بندی	دقت تولید کننده کلاس ها							دقت کلی	دقت میانگین	ضریب کاپا	
		۱	۲	۳	۴	۵	۶				
باند طیفی	48.8	54.74	54.5	0	31.43	99.75	46.14	48.2	0.3567		
ویژگی های آماری مرتبه نخست (۱۹۹۱)	باند طیفی + اندکس تولید شده برای کلاس	۱	47.93	95.14	98.34	98.81	98.49	100	90.96	89.78	0.8908
		۲	69.95	99.71	100	94.6	98.08	100	94.23	93.72	0.9305
		۳	47.12	42.51	75.62	53.78	76.05	99.69	65.34	65.79	0.5835
		۴	32.4	74.94	60.92	53.18	45.98	100	61.54	61.24	0.5375
		۵	18.01	40.75	65.79	48.74	72.48	100	57.54	57.63	0.4869
		۶	35.07	54.16	65.63	14.42	78.86	100	55.85	58.02	0.4688
	اندکس های یکتا	60.04	98.13	97.05	58.03	100	99.94	84.59	85.53	0.8153	
	اندکس های یکتا + باند طیفی	62.92	98.3	97.2	57.21	100	99.94	84.89	85.93	0.8188	
ویژگی های مبتنی بر ماتریس رخداد نوام (۶۴)	باند طیفی + اندکس تولید شده برای کلاس	۱	87.08	93.44	97.98	85.72	76.25	90.5	88.88	88.5	0.866
		۲	17.8	72.07	50.21	37.85	40.7	100	53.02	53.11	0.4322
		۳	77.18	79.45	64.49	33.91	70.01	100	68.68	70.84	0.6239
		۴	27.84	72.25	51.55	15.01	53.53	100	51.74	53.37	0.4185
		۵	17.8	72.07	50.21	37.85	40.7	100	53.02	53.11	0.4322
		۶	84.07	84.54	6.99	24.67	100	100	62.09	66.71	0.5424
	اندکس های یکتا	70.68	93.09	98.4	97.16	100	100	93.76	93.22	0.9247	
	اندکس های یکتا + باند طیفی	70.95	93.79	98.55	97.3	100	100	93.98	93.43	0.9273	
ویژگی های زمین آمار (۱۹۹۲)	باند طیفی + اندکس تولید شده برای کلاس	۱	43.91	56.79	93.84	92.08	78.31	41.08	69.78	67.67	0.6349
		۲	35.14	78.16	70.7	40.46	77.28	28.69	54.81	55.07	0.4601
		۳	35.14	78.16	70.7	40.46	77.28	28.69	54.81	55.07	0.4601
		۴	50	58.84	35.87	18.49	69.18	100	52.73	55.4	0.4333
		۵	43.91	56.79	93.84	92.08	78.31	41.08	69.78	67.67	0.6349
		۶	75.7	29.63	88.66	86.36	86.14	90.62	76.58	76.18	0.7171
	اندکس های یکتا	74.03	87.47	99.59	80.55	23.54	98.41	79.1	77.26	0.7469	
	اندکس های یکتا + باند طیفی	73.49	90.63	89.91	61.05	83.46	100	82.29	83.09	0.7868	

جدول ۱۰: مقایسه دقت‌های حاصل از استفاده از ویژگیهای ابتدایی (۶ ویژگی نخست و ۱۲ ویژگی نخست) تحلیل مولفه‌های اصلی، ویژگیهای حداکثر و حداقل انتخاب شده جهت تولید اندکس و اندکس‌های تولید شده، در هر گروه نتایج براساس دقت کلی طبقه‌بندی مرتب شده‌اند

ورودی طبقه‌بندی	دقت تولید کننده کلاس‌ها						دقت کلی	دقت میانگین	ضریب کاپا	
	۱	۲	۳	۴	۵	۶				
آری نمودار پیشنهاد	Pan+NDIU	66.1	86.42	96.8	73.87	99.5	99.94	86.7	87.1	0.84
	NDIU	65.3	86.71	96.2	74.65	98.4	99.94	86.6	86.87	0.84
	Pan+DIUTR	62	85.83	92.9	72.31	97.9	100	84.8	85.14	0.82
	Pan+PC(1-6)	64.4	91.92	95.8	56.29	100	100	83.6	84.73	0.8
	Pan+MaxMins	96.1	93.97	100	23.89	100	100	82.5	85.65	0.79
	MaxMins	97.3	94.03	100	22.2	100	100	82.3	85.58	0.79
	Pan+PC(1-12)	42.9	96.08	100	33.64	100	100	77.2	78.77	0.73
نمودار پیشنهاد برآورد	NDIU	37.2	95.61	96.4	98.81	100	100	89.3	88	0.87
	Pan+NDIU	42.4	96.31	95	93.41	100	100	88.8	87.86	0.86
	Pan+DIUTR	42.4	96.31	95	93.41	100	100	88.8	87.86	0.86
	Pan+PC(1-6)	49.7	98.13	99.4	76.8	99.6	100	87.4	87.28	0.85
	Pan+PC(1-12)	42.1	94.5	95.7	83.89	99.5	100	86.5	85.94	0.84
	MaxMins	11.1	97.37	100	94.92	100	100	85.7	83.9	0.83
	Pan+MaxMins	9.1	97.07	100	95.65	100	100	85.6	83.64	0.83
آری نمودار برآورد	Pan+NDIU	64.6	80.33	62	80	86.3	100	78.5	78.87	0.74
	Pan+PC(1-6)	39.6	68.15	85.9	64.16	76.7	100	72.7	72.41	0.67
	Pan+MaxMins	33.7	82.9	60	73.59	83.4	100	72.4	72.27	0.67
	NDIU_All	62	71.49	73.2	86.27	26	96.26	71.1	69.21	0.65
	Pan+DIUTR	64.5	64.52	56.4	58.63	76.9	98.96	68.9	69.99	0.63
	Pan+PC(1-12)	7.03	97.95	85.2	34.92	82	100	67.4	67.85	0.61
	MaxMins	28.1	67.45	64.2	73.87	54.6	100	65.8	64.7	0.59

شاخص‌های مکانی باقی مانده از حذف شاخص‌های دارای رنج تغییرات کم، بهترین نتیجه را تولید کرده است. ترکیب مشابه در نتایج برتر دیگر هم حضور دارد و با این مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این ترکیب می‌تواند تا حد بالایی اطمینان از دستیابی به بهترین نتیجه را تأمین کند. شاخص‌های مکانی تولید شده از ویژگیهای زمین آمار در بین ترکیبات برتر حضور ندارند و با این مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که دو روش دیگر یعنی آماری مرتبه نخست و آماری مبتنی بر ماتریس رخداد توام، توانمندی بهتری در تفکیک کلاسها ایجاد می‌نمایند و در انتخاب روش‌های

در جدول (۱۱)، بهترین نتایج به دست آمده در مورد دقت‌های کلی، میانگین و بهترین دقت‌های تولید کننده هر یک از کلاسها ارائه شده است. همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است بهترین دقت‌های کلی و میانگین حاصل از ترکیب‌های همسانی است و شاخص‌های مکانی حاصل از ویژگیهای آماری مرتبه دوم مبتنی بر ماتریس رخداد توام، در این مجموعه حضور پیروزمندانه‌ای دارند. بنابراین با توجه به تنوع ویژگیهای تولید شده و در نظر گرفتن روابط مکانی مبتنی بر جهت، نتایج به دست آمده دور از ذهن نیست. ترکیب باند طیفی در کنار

شاخص های ارزیابی شده است، کاربران در به کارگیری روش، بر اساس هدف نهایی از انجام طبقه‌بندی بایستی دست به انتخاب ترکیب مناسب زده و با انجام آزمون بر روی تعداد محدودی از پیکسلهای تصویر، ترکیب مناسب و پارامترهای مناسب تفکیک را به دست آورند.

جدول ۱۱: بهترین دقت‌های میانگین، کلی و تولید کننده از طبقه‌بندی اندرس های تولید شده، بهترین ۵ دقت کلی و میانگین به دست آمده که حاصل از ویژگیهای یکسانی است و بهترین ۳ نتیجه به دست آمده برای هر کلاس

روش	حد آستانه اولیه	ویژگیهای درودی طبقه‌بندی	دقت تولید کننده کلاس‌ها						ضریب کاپا	
			۱	۲	۳	۴	۵	۶		
GLCM	64	Pan+DIUTR	91.37	93.21	98.5	100	100	100	97.37	97.18 0.9682
First	192	Pan+NDI_C2	69.95	99.71	100	94.6	98.08	100	94.23	93.72 0.9305
GLCM	64	Pan+NDIU	70.95	93.79	98.55	97.3	100	100	93.98	93.43 0.9273
GLCM	64	NDIU_All	70.68	93.09	98.4	97.16	100	100	93.76	93.22 0.9247
GLCM	192	Pan+NDI_C1	83.33	93.91	100	95.65	81.81	100	93.15	92.45 0.9172
GLCM	128	Pan+NDI_C5	92.5	95.37	74.28	36.98	52.64	100	73.53	75.3 0.6821
GLCM	64	Pan+NDIUTR	91.37	93.21	98.5	100	100	100	97.37	97.18 0.9682
GLCM	64	Pan+NDI_C1	87.08	93.44	97.98	85.72	76.25	90.5	88.88	88.5 0.866
First	192	Pan+NDIUTR	70.75	99.77	95.39	60.59	100	100	86.63	87.75 0.8398
First	192	Pan+NDI_C2	69.95	99.71	100	94.6	98.08	100	94.23	93.72 0.9305
First	192	Pan+NDIU	62.92	98.3	97.2	57.21	100	99.94	84.89	85.93 0.8188
First	192	Pan+NDI_C2	69.95	99.71	100	94.6	98.08	100	94.23	93.72 0.9305
GLCM	192	Pan+NDI_C1	83.33	93.91	100	95.65	81.81	100	93.15	92.45 0.9172
GLCM	192	Pan+NDIU	31.19	92.62	100	100	100	100	88.91	87.3 0.866
GLCM	192	Pan+NDIUTR	31.19	92.62	100	100	100	100	88.91	87.3 0.866
GLCM	192	NDIU	23.49	91.8	100	100	100	100	87.67	85.88 0.851
GLCM	192	Pan+NDIU	31.19	92.62	100	100	100	100	88.91	87.3 0.866
GLCM	192	Pan+NDIUTR	31.19	92.62	100	100	100	100	88.91	87.3 0.866
GLCM	192	NDIU	23.49	91.8	100	100	100	100	87.67	85.88 0.851
GLCM	192	Pan+NDIU	31.19	92.62	100	100	100	100	88.91	87.3 0.866
GLCM	192	Pan+NDIUTR	31.19	92.62	100	100	100	100	88.91	87.3 0.866
GLCM	192	NDIU	23.49	91.8	100	100	100	100	87.67	85.88 0.851

NDIU : مجموعه شاخص های تفاضلی نرمال یکتا

NDIUTR : مجموعه شاخص های تفاضلی نرمال یکتا بعد از حذف شاخصهای دارای رنج دینامیکی کم در میانگین کلاسهها

NDI_Ci : شاخص تفاضلی نرمال تولید شده جهت کلاس A

تولید ویژگی مکانی جهت به کارگیری در تولید ویژگیهای مکانی، می‌توان از تولید این ویژگیها صرفنظر کرد.
با توجه به اینکه استفاده از ترکیب‌های مختلف، منجر به دستیابی به نتایج متفاوتی در هر یک از

۵- جمع‌بندی

مقایسه نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی طیفی و طبقه‌بندی طیفی در کنار اندکس‌های تولید شده، نشان دهنده افزایش توان اطلاعاتی مجموعه داده‌های ورودی با اضافه کردن اندکس‌های مکانی تولید شده است.

همچنین همانطور که انتظار می‌رفت، ترکیب نهایی اندکس‌های یکتای تولید شده، منجر به دستیابی به بالاترین دقت کلی و دقت میانگین طبقه‌بندی گردید. و این ترکیب در بین بهترین نتایج حاصل

در مورد شاخص‌های دیگر نیز حضور دارد.

استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی و انتخاب ویژگی‌های ابتدایی فضای تبدیل شده (ویژگی‌های نخست فضای PC) که به عنوان چکیده ویژگیها در این روش محسوب می‌شوند منجر به دقت‌های بالایی شد ولی روش معرفی شده، منجر به دقت‌های بالاتری (افزایش بین ۲ تا ۹ درصد) گردید. این افزایش دقت در کنار کاهش قابل توجه زمان محاسبات با توجه به کاهش تعداد ویژگی‌های بافتی مورد نیاز جهت تولید از تصویر و افزایش بسیار بالای صرفه زمان و هزینه محاسباتی روش ارائه شده، نسبت به روش تحلیل مولفه‌های اصلی، برتری روش ارائه شده را تایید می‌نماید.

باندهای بیشینه و کمینه انتخاب شده جهت تولید اندکس نیز به صورت مستقیم در کنار باند طیفی وارد طبقه‌بندی شدند ولی منجر به نتیجه‌های طبقه‌بندی ضعیف تری (۴ تا ۶ درصد) نسبت به روش معرفی شده گردیدند. با این مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که تولید اندکس از باندهای منتخب باعث افزایش توان تفکیک بین کلاس‌های مورد نظر در تصویر نسبت به استفاده مستقیم از این باندها می‌گردد.

اندکس تولید شده برای هر یک از کلاس‌ها، به جز در مرور یک کلاس (کلاس ۲) منجر به دستیابی به بالاترین دقت کاربر در مورد آن کلاس نگردید. البته در

جدول نتایج به دلیل تعدد حالت‌های مورد مقایسه تنها ۳ نتیجه برتر هر یک از مقایسه‌ها ارائه شده است و نتایج بعدی دقت‌هایی نزدیک به بهترین دقت‌ها دارند. در هر صورت می‌توان نتیجه گیری کرد که شاخص تولید شده برای هر کلاس الزاماً منجر به دستیابی به بالاترین دقت کاربر برای آن کلاس نخواهد شد. این رخداد به دلیل تعدد کلاس‌های انتخاب شده و تداخل پیکسل‌های کلاس‌های دیگر در کلاس مورد نظر است، به عبارتی دیگر، اندکس تولید شده توان تفکیک کلی بین کلاس‌های موجود را بالا برده و با توجه به تاثیر هم‌زمان در تفکیک پذیری سایر کلاس‌ها به صورت خاص منجر به افزایش ویژه دقت کلاس مورد نظر نمی‌گردد. بنابراین، هدف تولید ویژگی‌های جدید با استفاده از تعریف اندکس‌های مکانی تامین شده و می‌توان از این روش جهت افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر استفاده کرد.

استفاده از روش ارائه شده، با توجه به کاهش تعداد ویژگی مکانی مورد نیاز جهت تولید و طبقه‌بندی، کاهش تعداد باند ورودی طبقه‌بندی، منجر به کاهش در عین افزایش دقت طبقه‌بندی، منجر به کاهش زمان مورد نیاز جهت تولید ویژگی‌ها و کاهش تعداد باند ورودی طبقه‌بندی می‌گردد. چرا که در این روش، پس از یافتن فرمول‌های مناسب جهت تولید اندکس، حداکثر تعداد ویژگی مکانی مورد نیاز جهت تولید از تصویر اولیه معادل ۲ برابر تعداد کلاس‌های تعریف شده در تصویر است. این تعداد در صورت شباهت باندهای بیشینه و کمینه در مرحله اول یا کوچکتر بودن رنج تغییرات شاخص‌های مکانی تولید شده در بین کلاس‌ها، کاهش خواهد یافت. همچنین از دیدگاهی دیگر، با توجه به اینکه در این روش نیاز به انجام طبقه‌بندی تصویر با استفاده از هر یک از ویژگی‌های مکانی پس از تولید آنها جهت یافتن بهترین ویژگیها، وجود ندارد، به میزان قابل توجهی زمان محاسباتی کاهش پیدا می‌کند. در تدوین این الگوریتم، از روشنی مستقیم و بدون نیاز

بهینه پیش از آغاز اجرای الگوریتم؛ ارائه این راهکار می‌تواند روش معرفی شده را کاملاً مستقیم و صریح نموده و نیاز به مقایسه چند حد آستانه را رفع نماید. با این کار، می‌توان ادعای کاملی در مورد صریح و مستقیم بودن روش داشت.

به کارگیری روش معرفی شده در تصاویر چند طیفی؛ می‌توان از این روش در طبقه‌بندی تصاویر چند طیفی نیز بهره برد و به معرفی مفهوم ویژگی‌های طیفی-مکانی پرداخت که زمینه تحقیقی مناسبی جهت اجرا و ارزیابی است و در تحقیقات آتی مورد پیاده‌سازی قرار می‌گیرد.

ترکیب شاخص‌های تولید شده از روش‌های مختلف و تولید یک مجموعه شاخص بهینه جهت طبقه‌بندی؛ در این مقاله به معرفی مفهوم جدید اندکس مکانی پرداخته شد. در گام بعدی می‌توان اندکس‌های تولید شده از روش‌های مختلف تولید ویژگی را به عنوان مجموعه‌ای از ویژگی‌ها وارد روش‌های انتخاب و یا چکیده‌سازی ویژگی به روشی مشابه با راه حل به کارگرفته شده در الگوریتم ارائه شده، و یا راه حل‌های موجود دیگر نمود و از توان کلیه روش‌های تولید ویژگی بهره برد.

سپاسگزاری

لازم است تا از دفتر مهندسی و ارزیابی سازمان جنگلها، مرانع و آبخیزداری کشور جهت در اختیار قراردادن نقشه طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش که به روش تفسیر چشمی تولید شده بود تقدیر گردد. این نقشه همان‌طور که در متن اشاره شده به عنوان منبع انتخاب داده‌های آموزشی و چك

به کار گرفته شده است.

به استفاده از روش‌های تکرار و بهینه‌سازی مبتنی بر آزمون و خطا استفاده شده است که این یک مزیت در به کارگیری الگوریتم از نظر سادگی فهم و اجرا و کاهش زمان محاسباتی و همچنین یکتا بودن انتخاب‌ها در تکرارهای اجرای الگوریتم است. تنها موردنی که در این مقاله برای بررسی با چند پارامتر مورد آزمون قرار گرفت، حد آستانه حذف ویژگی‌های در گام دوم، یعنی مرحله پس از تولید آنها است. به عنوان یکی از کارهای آتی یافتن راه جهت تعیین یک عدد یکتا به عنوان حد آستانه پیش از آغاز الگوریتم پیشنهاد شده است. بدین ترتیب می‌توان تنها مورد غیر صریح این روش را نیز به صریح تبدیل کرد.

صریح و مستقیم بودن روش ارائه شده، ابهام تعداد ویژگی مناسب جهت انتخاب و ورود در طبقه‌بندی را رفع نموده و به صورت خودکار تعداد اندکس‌های مکانی یکتا را تولید می‌نماید. به عبارت دیگر تعداد اندکس‌های تولید شده کوچک‌تر مساوی تعداد کلاس‌های انتخاب شده است و کاربر نیازی به تعیین تعداد اندکس قابل تولید ندارد.

نتایج به دست آمده از مجموعه اندکس‌های تولید شده، نسبت به بهترین نتایج به دست آمده حاصل از طبقه‌بندی هر یک از ویژگی‌های تولید شده در کنار باند پانکروماتیک، دارای افزایش ۴-۳ درصدی است. بنابراین این روش علاوه بر این که کاربر را از جستجو جهت یافتن بهترین ویژگی و انجام تعداد زیادی طبقه‌بندی (به تعداد ویژگی‌های تولید شده) و صرف هزینه محاسباتی و زمان پردازش بی نیاز می‌کند، منجر به دستیابی به دقت مناسب‌تری در تفکیک کلاس‌های انتخاب شده می‌گردد.

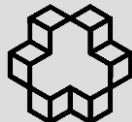
۶- کارهای آینده

یافتن راهکاری جهت تعیین حد آستانه حذف اولیه
مراجع

- [1] Hamed Ashoori, "Generating Image-based Features for Improving Classification Accuracy ",
- [2] Kenneth R, Castleman, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1996
- [3] Sergios Theodoridis, "Pattern

- Recognition", Academic Press, 1999
- [4] R.M. Haralick, K. Shanmugam and I. Dinstein, "Textural features for image classification", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 3, no. 6, pp 610-621, 1973.
- [5] M. Chica-Olmo and F. Abarca-Hernández, "Computing geostatistical image texture for remotely sensed data classification", Computers & Geosciences 26 (2000) 373-383
- [6] Carl F Jordan, "Derivation of leaf area index from quality of light on te forest floor", Ecology, Vol 50, No 4, 1969
- [7] Tucker, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment, Vol 8, 1979
- [8] Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment 25
- [9] Jiang, J., S. Chen, S. Cao, H. Wu, L. Zhang, and H. Zhang. 2005. Leaf area index retrieval based on canopy reflectance and vegetation index in eastern China. Journal of Geographical Sciences 15:247–254
- [10] Michel M, Verstrate and Bernard Pinty, "desining optimal spectral indexes for remote sensing application", IEE Transaction on geoscience and remote sensing, vol 34, No 5, 1996
- [11] Pietro Ceccato, Nadine Gobron, Stephane Flasse, Bernard Pinty, Stefano Tarantola, "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1 Theoretical approach", Remote Sensing of Environment 82, 2002
- [12] Andrés Viña, Anatoly A. Gitelson, Anthony L. Nguy-Robertson, Yi Peng, "Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops", Remote Sensing of Environment 115, 2011
- [13] Sharon L. Cundill *, Harald M. A. van der Werff and Mark van der Meijde , "Adjusting Spectral Indices for Spectral Response Function Differences of Very High Spatial Resolution Sensors Simulated from Field Spectra", Sensors, 2015, 15
- [14] Boyd, D.S., Foody, G.M., Ripple, W.J., 2002. "Evaluation of approaches for forest cover estimation in the Pacific Northwest, USA, using remote sensing". Appl. Geography 22, pp 375–392
- [15] Skidmore, A.K., Turner, B.J., Brinkhof, W., Knowle, E., 1997. "Performance of a neural network: mapping forests using remotely sensed data". Photogrammetric Eng. Remote Sensing 63, pp. 501–514.
- [16] Atkinson, P.M., Tatnall, A.R.L., 1997. "Introduction neural networks in remote sensing". Int. J. Remote Sensing 18, pp. 699–709
- [17] Levesque, J., King, D.J., 2003. "Spatial analysis of radiometric fractions from high-resolution multispectral imagery for modelling individual tree crown and forest canopy structure and health". Remote Sensing Environ. 84, pp. 589–602.
- [18] Iverson, L.R., Cook, E.A., Graham, R.L., 1989. "A technique for extrapolating and validating forest cover across large regions: calibrating AVHRR data with TM data". Int. J. Remote Sensing 10, pp. 1805–1812
- [19] Rikimaru, A., 1996. "Landsat TM data processing guide for forest canopy density mapping and monitoring model". International Tropical Timber Organization (ITTO) workshop on utilization of remote sensing in site assessment and planning for rehabilitation of logged-over forest, Bangkok, Thailand, pp. 1–8.
- [20] Krishnendu Banerjee, Surajit Panda, Jatisankar Bandyopadhyay, 2014, "Manish Kumar Jain Forest Canopy Density Mapping Using Advance Geospatial Technique", IJISET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 1 Issue 7
- [21] Chudamani Joshi, Jan De Leeuw, Andrew

- K. Skidmore, Iris C. van Duren, Henk van Oosten , 2005, "Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation
- [22] Dorren, L.K., Maier, A.B., Seijmonsbergen, A.C., 2003. "Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification". Forest Ecol. Manage. 183, 31–46.
- [23] Souza Jr., C., Firestone, C.L., Silva, L.M., Roberts, D., 2003. "Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT-4 through spectral mixture models". Remote Sensing Environ. 87, 494–506.
- [24] Cross, A.M., Settle, J.J., Drake, N.A., Paivinen, R.T.M., 1991. "Subpixel measurements of tropical forest cover using AVHRR data". Int. J. Remote Sensing pp. 12, 1119–1129.
- [25] Inka Pippuria, Aki Suvantob, Matti Maltamo, Kari T. Korhonenc, Juho Pitkänen, Petteri Packalena, 2016, "Classification of forest land attributes using multi-source remotely sensed data", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 44, February 2016, Pages 11–22
- [26] Onisimo Mutanga, Elhadi Adam, Moses Azong Cho, 2012, "High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 18 p 399–406
- [27] Jonathan P. Dandois, Erle C. Ellis, 2013, "High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision", Remote Sensing of Environment 136 p 259–276
- [28] Ravi P. Gupta, Reet K. Tiwari, Varinder Saini, Neeraj Srivastava,"A Simplified Approach for Interpreting Principal Component Images", Advances in Remote Sensing, 2013, 2



Introducing a method for producing a Spatial indices to use spatial data in panchromatic image classification

Hamed Ashoori^{1*}, Mohammad Javad Valadan Zanj^{*2}, MahmoodReza Sahebi³

1- PhD Student, Remote sensing Eng. Dep., Faculty of Geomatics, KN Toosi University of Technology

2- Professor , Remote sensing Eng. Dep., Faculty of Geomatics, KN Toosi University of Technology

3- Asociated professor, Remote sensing Eng. Dep., Faculty of Geomatics, KN Toosi University of Technology

Abstract

Classification is the most common method for information extraction from remotely sensed images. Conventional classification methods are mostly based on spectral information. While particularly in high spatial resolution images, spatial relationships between neighboring pixels used to discriminate between different land-cover classes in human interpretation. In different research methods for quantification of image texture and use it to create separation between classes is provided. Considering the variety of formulation and adjustable parameters of texture quantization methods, huge number of texture features could be generated. Each feature has specific ability to discriminate special classes. In this paper a new method based on spectral index formulation proposed to generate Spatial Indices from textural features. Best pairs of textural features selected and Spatial Indices using them will be generated. Generated Spatial Indices are good abstract of textural feature space to use in classification procedure. This method could led to better classification results in a direct and none international solution.

Key words: Spatial Index, Supervised classification, Panchromatic Image, Image texture quantization

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.
Tel : +98 2188888445
Email: hamed_ashoori@yahoo.com