

## ارائه روشی جهت تولید شاخص مکانی به منظور به کارگیری اطلاعات مکانی در طبقه بندی تصاویر پانکروماتیک

حامد عاشوری<sup>۱\*</sup>، محمد جواد ولدان زوج<sup>۲</sup>، محمود رضا صاحبی<sup>۳</sup>

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

طبقه بندی یکی از پرکاربردترین روشهای استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره ای است، در الگوریتم های مختلف طبقه بندی تنها از اطلاعات طیفی تصویر به عنوان ورودی استفاده می شود. در حالی که خصوصا در تصاویر با رزولوشن مکانی بالا، روابط مکانی بین پیکسل های همسایه نقش به سزایی در ایجاد تمایز بین کلاسهای مختلف، در تفسیر انسانی دارد. در تحقیقات مختلف روشهایی جهت کمی سازی بافت تصویر و استفاده از آن در ایجاد تفکیک بین کلاسها ارائه شده است. با توجه به تنوع روشهای کمی سازی 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 می نماید. در این تحقیق با الهام از اندکس های 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. شاخص های مکانی تولیدی برای هر کلاس به عنوان چکیده مجموعه ویژگیهای مکانی و به صورت ویژگیهای جدید در کنار باند تصویر در طبقه بندی نظارت شده استفاده شد. ویژگیهای دارای بیشینه و کمینه مقدار در هر کلاس پس از تولید بردار میانگین در فضای ویژگیها و حذف ویژگیهای دارای 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 طبقه بندی 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 واژه ها: شاخص مکانی، طبقه بندی نظارت شده، تصویر پانکروماتیک، کمی سازی بافت تصویر.

\* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان ولی عصر، دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

## ۱- مقدمه

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 به‌عنوان داده و روی 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 به‌عنوان 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 شاخه‌های 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 به‌صورت کمی تبدیل می‌کنند. [۱] پس از تولید این ویژگی‌ها، بایستی به روشی 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

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 برد 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 می‌گردند، روش تولید شاخص مکانی<sup>۱</sup> معرفی شده است. این شاخص‌ها، از ویژگی‌هایی که با کمی‌سازی بافت تصویر تولید شده‌اند، ایجاد شده و به‌عنوان معیاری حاوی اطلاعات مکانی تصویر در کنار تصویر یا به تنهایی جهت طبقه‌بندی تصویر و تفکیک کلاس‌های موجود در آن استفاده می‌شوند.

۲- کمی‌سازی بافت و تولید اندکس<sup>۲</sup> (شاخص)

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

۲-۱- کمی‌سازی بافت<sup>۳</sup>

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

<sup>1</sup> Spatial Index

<sup>2</sup> Index

<sup>3</sup> Texture Quantization

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 بانندی به تولید ویژگی‌های جدید می‌پردازند و در مورد تصاویر تک باند قابل به‌کارگیری 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 به‌عنوان 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 جذب 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 و ۱۳]. از شاخص‌های طیفی در پروژه‌های روزمره سنجش از دوری و تحقیقات جاری نیز استفاده می‌شود. آشناترین مثال شاخص‌ها، شاخص گیاهی تفاضلی<sup>۲</sup> یا شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده<sup>۳</sup> 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 جذب 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 قابل 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 ابعاد 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 به‌صورت 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<sup>۱</sup> ( $GLCM$ ) 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 به‌عنوان 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 به‌کارگیری فرمول‌های مختلف، ویژگی‌هایی از آن ماتریس تولید می‌گردد. در جدول (۲) رابطه‌های به‌کارگیری شده جهت 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

2 VI : Vegetation Index

3 NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

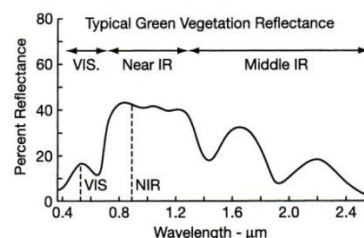
1 Gnal Level Co-Occurance Matrix

عارضه از سایر عوارض، شاخصی جهت تفکیک عوارض بر اساس خصوصیات مکانی آنها است. با توجه به اینکه تفاضل عدد دو ویژگی مکانی خصوصا در مورد ویژگی های مرتبه اول وابسته به درجه خاکستری پیکسل های تصویر بوده و اثر روشی می تواند باعث افزایش یا کاهش کلی عدد و در نتیجه ایجاد تمایز در عوارض مشابه گردد، در روش معرفی شده در تولید شاخص های مکانی، از فرمول تفاضلی نرمال جهت تولید شاخص استفاده شد. با این شیوه پیاده سازی، شاخص های 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 ویژگی های موجود در فضای ویژگی بودند، استفاده می شود. بدین ترتیب شانس موفقیت شاخص تولید شده به جهت ایجاد بیشترین تمایز بین عارضه مورد نظر و سایر عوارض تصویر افزایش می یابد. معادله به کار گرفته شده، مطابق با معادله شاخص تفاضلی نرمال شده در نظر گرفته شد و به صورت رابطه (۱) است.

$$\text{تفاضل عدد ویژگی دارای بیشینه مقدار و ویژگی دارای کمینه مقدار در بردار میانگین ویژگی های مکانی کلاس} = \frac{\text{شاخص مکانی تفاضلی نرمال کلاس}}{\text{مجموع عدد ویژگی دارای بیشینه مقدار و ویژگی دارای کمینه مقدار در بردار میانگین ویژگی های مکانی کلاس}}$$

رابطه ایجاد شده برای کلیه پیکسل های تصویر استفاده شده و ویژگی جدیدی به نام شاخص مکانی کلاس مورد نظر تولید می گردد.

جذبی اختصاصی عارضه 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 می گیرد.



شکل ۱: نمودار بازتاب طیفی پوشش گیاهی [۱۴]

### ۲-۳- شاخص مکانی

شاخص های 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 ویژگی های طیفی آن تعریف شده است. در این تحقیق با الگوبرداری از این روش، شاخص های مکانی که با استفاده از ویژگی های مکانی (حاصل از کمی سازی خصوصیات مکانی تصویر) تولید می شوند، معرفی شده اند. با این روش شاخص تولید شده در عوض تولید کردن اندکسی خاص برای تفکیک طیفی رابطه (۱)

بدین ترتیب دو ویژگی مورد استفاده جهت تولید شاخص، ویژگی های 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	$H = -E[\log_2 P(I)] = -\sum_{I=0}^{N_g-1} P(I) \log_2 P(I)$	انترپوی
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	$CON = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} (i-j)^2 P(i, j)$	کنتراست ( Contrast ( Inertia ) )
۲	$Dis = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}}  i-j  P(i, j)$	عدم شباهت ( Dissimilarity )
۳	$ASM = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} (P(i, j))^2$	Angular Second Moment
۴	$Entropy = - \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} P(i, j) \ln(P(i, j))$	انترپی ( Entropy )
۵	$IDF = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} \frac{P(i, j)}{1+(i-j)^2}$	ممان تفاضلی معکوس ( 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	$Correlation = \frac{\sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} (i - \mu_i)(j - \mu_j) P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$	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

### ۳-۲- داده و موضوع مورد استفاده و ویژگیهای

تولید شده

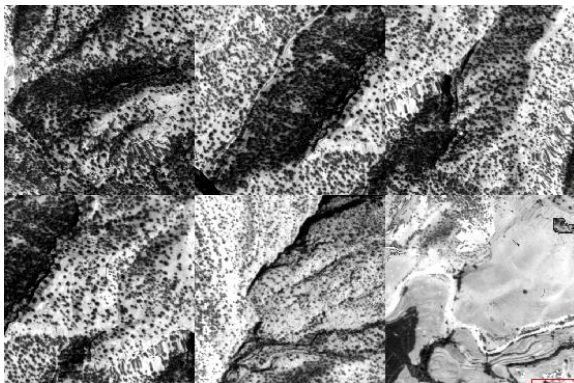
در این بخش داده‌های استفاده شده جهت ارزیابی الگوریتم و ویژگیهای مکانی تولید شده از تصویر معرفی می‌شوند.

طبقه‌بندی تصاویر پانکروماتیک است، جهت بررسی توانمندی این روش موضوع طبقه‌بندی تاج پوشش جنگلی که موضوع نسبتاً پیچیده‌ای 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 تانتال [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 به‌عنوان 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. همچنین روشهای عمومی استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش از دور که توسط محققین به‌کار 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 اسپکترال آنمیکسینگ توسط کراس [۲۴]. در تحقیقات اخیر داده‌های لیزراسکنر هوایی در تلفیق با داده‌های چند طیفی به‌کار گرفته شده‌اند [۲۵] و [۲۶]، همچنین در [۲۷] از تصاویر هوایی چند طیفی که از ارتفاع کم با تصویر برداری به کمک پرواز پهباد دریافت شده جهت تولید مدل ارتفاعی رقومی و بازسازی ابرنقطه 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 ۱:۴۰۰۰۰ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور از منطقه گاویرگ استان کهگیلویه و بویراحمد در منطقه جنگلی زاگرس است. تصاویر این پرواز جهت تفکیک کلاسه‌های تاج پوشش جنگلی توسط سازمان جنگلها و مراتع استفاده شده است. برای انتخاب محدوده‌های آموزشی و چک از نتایج طبقه‌بندی چشمی این تصویر که به‌صورت 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 کلاسه‌های 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 به‌عنوان 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 به‌عنوان محدوده داده‌های آموزشی و چک انتخاب شد و در انجام آزمون‌ها از آنها برای آموزش و ارزیابی طبقه‌بندی بهره گرفته شد. در جدول (۴) تعداد پیکسل‌های معرفی شده به‌عنوان 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 به‌کارگیری اطلاعات مکانی در

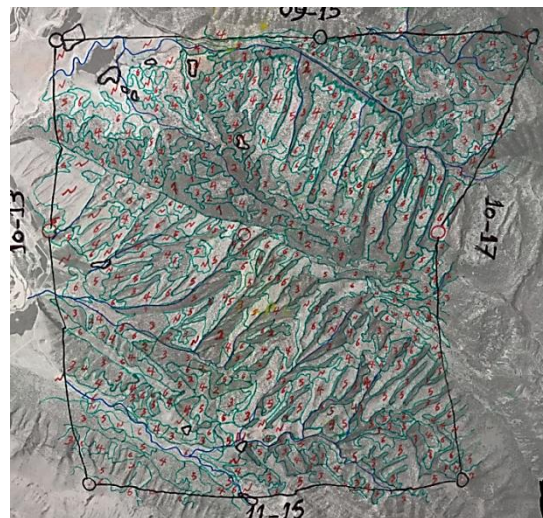


شکل ۴: زیر تصویرهای موزاییک شده، به ترتیب ردیف بالا از چپ به راست کلاسهای F1 تا F3 و ردیف پایین از چپ به راست F4 تا F6 تشکیل شده است.

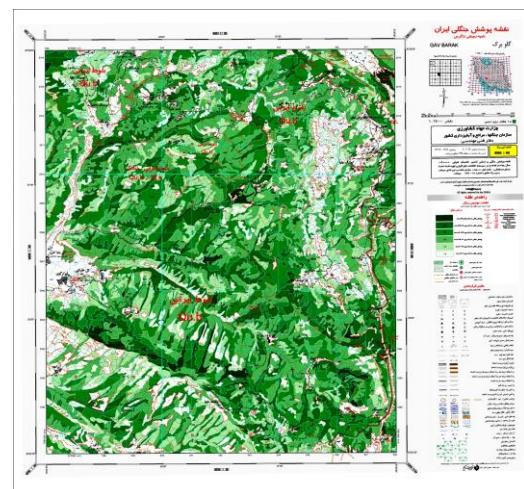
جدول ۴: کلاسهای انتخاب شده در تصویر به همراه تعداد داده‌های آموزشی و چک هر یک

ردیف	نام کلاس	تعداد پیکسل چک	تعداد پیکسل داده 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

در تولید ویژگیهای مبتنی بر ماتریس رخداد توام و زمین آمار از روابط معرفی شده در جدول‌های (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 (۱و۰)، (۰و۱)، (۱و۱) و (۱و-۱) 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 روشهای محاسبه شده است.



شکل ۲: تصویر هوایی که در آن دسته بندی کلاسهای تاج پوشش انجام شده



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

### ۳-۲- ویژگیهای تولید شده

با استفاده از فرمولهای معرفی شده ویژگیهای آماری مرتبه اول، ۱۴ ویژگی قابل تولید است که در جدول (۱) لیست آنها ارائه شده است. با توجه به اینکه ابعاد کرنل به عنوان یکی از خصوصیات قابل تنظیم در تولید این ویژگی محسوب می‌شود، و با توجه به اینکه با تغییر ابعاد کرنل امکان کمی کردن جنبه‌های مختلف مکانی تصویر وجود دارد، در تولید ویژگیها از ابعاد فرد ۳×۳ 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

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

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 شدند، 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  $i$  ام تولید شد.

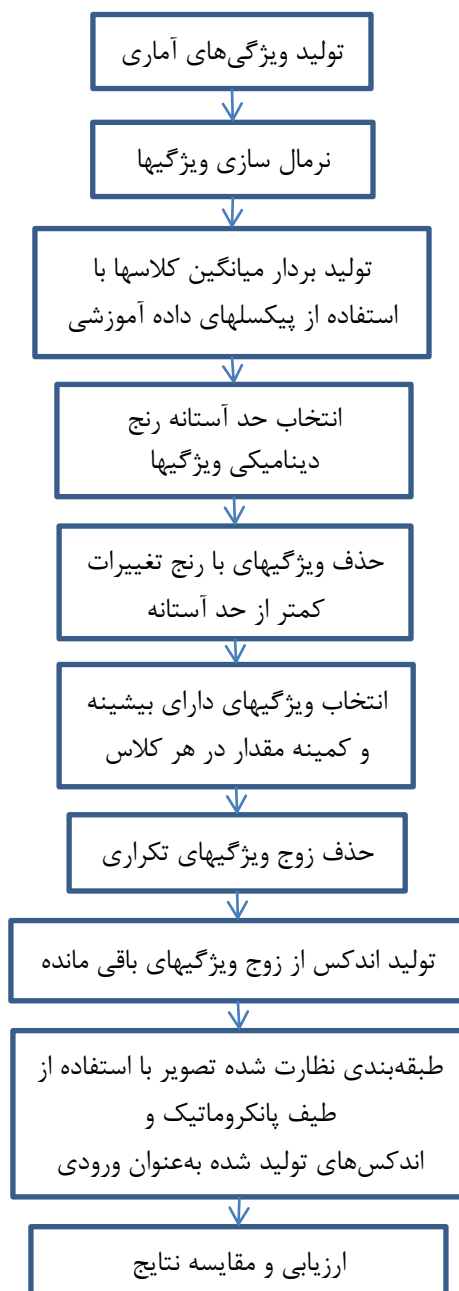
سپس با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف پارامترهای ابعاد کرنل و فاصله، ویژگیهای جدید از تصویر در کلیه حالتها تولید شدند.

#### 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

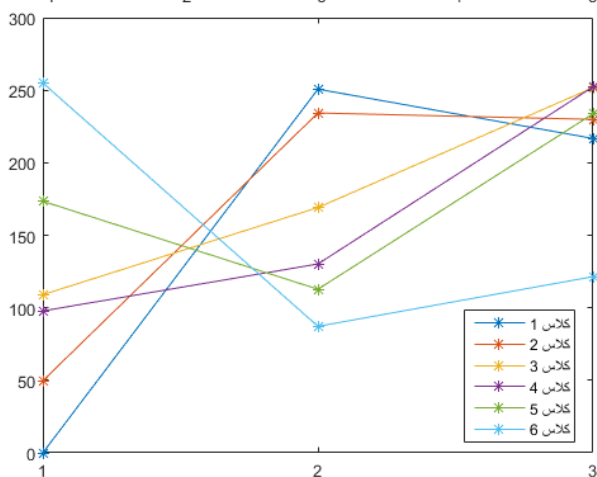
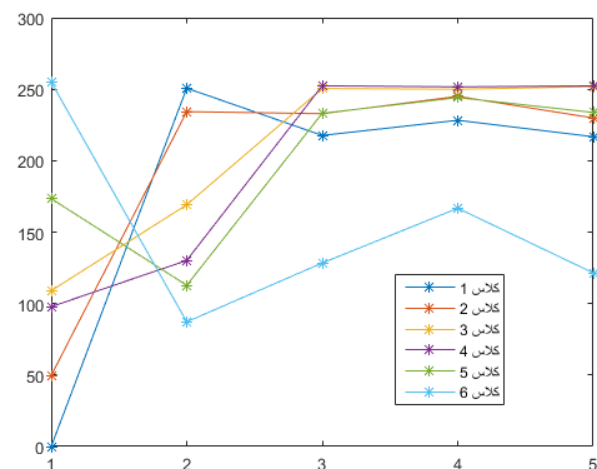
در شکل (۵) الگوریتم اجرایی ارائه شده است و در ادامه به توضیح مراحل آن پرداخته می‌شود. ابتدا ویژگیهای آماری مرتبه اول، مرتبه دوم مبتنی بر ماتریس رخداد توام و زمین آمار به ترتیبی که در بخش قبل توضیح داده شد، تولید شدند. با توجه به اختلاف زیاد رنج دینامیکی ویژگیهای تولید شده، به‌منظور همسان‌سازی رنج، هر یک از ویژگیها در بازه [۰-۲۵۵] 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 نمی‌بایست به‌صورت 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 روند 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 کار گرفته 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 به همراه 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 به‌کارگیری 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 دقت 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			
روش تولید ویژگی	تعداد کل ویژگی	۱۹۲	۱۲۸	۶۴	۱
آماري مرتبه نخست	۳۷۸	۱۸۶	۲۹۷	۳۳۲	۳۷۸
ماتریس رخداد توام	۵۴۰۰	۱۵۷۲	۳۴۵۵	۴۳۶۱	۵۴۰۰
زمین آمار	۲۱۶	۸۵	۱۶۹	۲۰۴	۲۱۶



جدول ۸: اندکس‌های باقی مانده پس از حذف اندکس‌های شبیه

حد آستانه	ردیف	اندکس‌های یکتای باقی مانده		
		آماري مرتبه نخست	ماتریس رخداد توام	زمین آمار
۱	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲
	۳	۴	۳	۴
	۴	۵	۴	۶
	۵	۶	۵	-
	۶	-	۶	-
۶۴	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲
	۳	۴	۳	۳
	۴	۵	۴	۴
	۵	۶	۶	۶
	۶	-	-	-
۱۲۸	۱	۱	۱	۱
	۲	۲	۲	۲
	۳	۳	۳	۴
	۴	۴	۴	۶
	۵	۵	۵	-
	۶	۶	۶	-
۱۹۲	۱	۱	۱	۱
	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 یکتای تولیدی به همراه باند طیفی و پس از آن مجموعه شاخص‌های یکتا تولیدی بدون باند طیفی طبقه‌بندی شدند.

#### ۴-۲- 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 به دلیل 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 به‌دست آمده از طبقه‌بندی اندکس‌های یکتای تولید شده به تنهایی 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 به‌دست آمده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی، با تفاوتی در رنج ۲ تا ۹ درصدی ضعیف‌تر از نتایج به‌دست 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<sup>۱</sup> کلاسهای ۶ گانه، دقت کلی<sup>۲</sup>، دقت میانگین<sup>۳</sup> و ضریب کاپای<sup>۴</sup> به‌دست 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 به‌دست آمده و در روش ماتریس رخداد توام اکثریت 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 به‌صورت متناظر برای این سه روش ارائه شده است. با توجه به اینکه تنها حالت قابل به‌کارگیری 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 به‌عنوان ورودی طبقه‌بندی منجر به به‌دست آمدن نتایج دقیق‌تری از 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 به‌صورت 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) به‌عنوان روشی جهت به دست آوردن ویژگی‌های چکیده

1 Producer Accuracy

2 Overall Accuracy

3 Mean Accuracy

4 Kappa Coefficient

جدول ۹: دقت‌های حاصل از طبقه‌بندی هر یک از اندکس‌های مکانی تولید شده در کنار باندهای طیفی، اندکس‌های یکتا در کنار باندهای طیفی و باندهای طیفی به تنهایی به‌عنوان مبنای مقایسه

ورودی طبقه‌بندی	دقت تولید کننده کلاس‌ها						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		
ویژگیهای آماری مرتبه نخست (۱۹۲)	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
	اندکس‌های یکتا		60.04	98.13	97.05	58.03	100	99.94	84.59	85.53	0.8153
	اندکس‌های یکتا + باند طیفی		62.92	98.3	97.2	57.21	100	99.94	84.89	85.93	0.8188
ویژگیهای مبتنی بر ماتریس رخداد توام (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
	اندکس‌های یکتا		70.68	93.09	98.4	97.16	100	100	93.76	93.22	0.9247
	اندکس‌های یکتا + باند طیفی		70.95	93.79	98.55	97.3	100	100	93.98	93.43	0.9273
ویژگیهای زمین آمار (۱۹۲)	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
	اندکس‌های یکتا		74.03	87.47	99.59	80.55	23.54	98.41	79.1	77.26	0.7469
	اندکس‌های 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			
آماري مرتبه نخست	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
ماتریس رخداد توام	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
زمین آمار	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 تامین 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 پیرومندان‌های 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 بانند طیفی در کنار

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

تولید ویژگی مکانی جهت به کارگیری در تولید ویژگی های مکانی، می توان از تولید این ویژگیها صرف نظر کرد. با توجه به اینکه استفاده از ترکیب های مختلف، منجر به دستیابی به نتایج متفاوتی در هر یک از

جدول ۱۱: بهترین دقت های میانگین، کلی و تولید کننده به دست آمده از طبقه بندی اندکس های تولید شده، بهترین ۵ دقت کلی و میانگین به دست آمده که حاصل از ویژگی های یکسانی است و بهترین ۳ نتیجه به دست آمده برای هر کلاس

روش	حد آستانه اولیه	ویژگی های ورودی طبقه بندی	دقت تولید کننده کلاس ها						دقت کلی	دقت میانگین	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+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 کلاسها  
 NDI\_Ci: شاخص تفاضلی نرمال تولید شده جهت کلاس آام

## ۵- جمع بندی

مقایسه نتایج به دست آمده از طبقه بندی طیفی و طبقه بندی طیفی در کنار اندکس های تولید شده، نشان دهنده افزایش توان اطلاعاتی مجموعه داده های ورودی با اضافه کردن اندکس های مکانی تولید شده است.

همچنین همانطور که انتظار می رفت، ترکیب نهایی اندکس های یکتای تولید شده، منجر به دستیابی به بالاترین دقت کلی و دقت میانگین طبقه بندی گردید. و این ترکیب در بین بهترین نتایج حاصل در مورد شاخص های دیگر نیز حضور دارد.

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

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

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

جدول نتایج به دلیل تعدد حالت های مورد مقایسه تنها ۳ نتیجه برتر هر یک از مقایسه ها ارائه شده است و نتایج بعدی دقت هایی نزدیک به بهترین دقت ها دارند. در هر صورت می توان نتیجه گیری کرد که شاخص تولید شده برای هر کلاس الزاما منجر به دستیابی به بالاترین دقت کاربر برای آن کلاس نخواهد شد. این رخداد به دلیل تعدد کلاس های انتخاب شده و تداخل پیکسل های کلاس های دیگر در کلاس مورد نظر است، به عبارتی دیگر، اندکس تولید شده توان تفکیک کلی بین کلاس های موجود را بالا برده و با توجه به تاثیر هم زمان در تفکیک پذیری سایر کلاسها به صورت خاص منجر به افزایش ویژه دقت کلاس مورد نظر نمی گردد. بنابراین، هدف تولید ویژگی های جدید با استفاده از تعریف اندکس های مکانی تامین شده و می توان از این روش جهت افزایش دقت طبقه بندی تصاویر استفاده کرد.

استفاده از روش ارائه شده، با توجه به کاهش تعداد ویژگی مکانی مورد نیاز جهت تولید و کاهش تعداد باند ورودی طبقه بندی، منجر به کاهش در عین افزایش دقت طبقه بندی، منجر به کاهش زمان مورد نیاز جهت تولید ویژگی ها و کاهش تعداد باند ورودی طبقه بندی می گردد. چرا که در این روش، پس از یافتن فرمول های مناسب جهت تولید اندکس، حداکثر تعداد ویژگی مکانی مورد نیاز جهت تولید از تصویر اولیه معادل ۲ برابر تعداد کلاس های تعریف شده در تصویر است. این تعداد در صورت شباهت باندهای بیشینه و کمینه در مرحله اول یا کوچکتر بودن رنج تغییرات شاخص های مکانی تولید شده در بین کلاسها، کاهش خواهد یافت. همچنین از دیدگاهی دیگر، با توجه به اینکه در این روش نیاز به انجام طبقه بندی تصویر با استفاده از هر یک از ویژگی های مکانی پس از تولید آنها جهت یافتن بهترین ویژگی ها، وجود ندارد، به میزان قابل توجهی زمان محاسباتی کاهش پیدا می کند. در تدوین این الگوریتم، از روشی 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.

به‌کارگیری 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 به‌عنوان مجموعه‌ای از ویژگی‌ها وارد روشهای انتخاب و یا چکیده‌سازی ویژگی به روشی مشابه با راه حل به‌کارگرفته شده در الگوریتم ارائه شده، و یا راه‌حل‌های موجود دیگر نمود و از توان کلیه روشهای تولید ویژگی بهره‌برد.

### سپاسگزاری

لازم است تا از دفتر مهندسی و ارزیابی سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور جهت در اختیار قراردادن نقشه طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش که به‌روش تفسیر چشمی تولید شده بود تقدیر گردد. این نقشه همان‌طور که در متن اشاره شده به‌عنوان منبع انتخاب داده‌های آموزشی و چک به‌کار گرفته شده است.

به استفاده از روشهای تکرار و بهینه‌سازی مبتنی بر آزمون و خطا استفاده شده است که این یک مزیت در به‌کارگیری الگوریتم از نظر سادگی فهم و اجرا و کاهش زمان محاسباتی و همچنین یکتا بودن انتخاب‌ها در تکرارهای اجرای الگوریتم است. تنها موردی 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. به‌عنوان یکی از کارهای آتی یافتن راه جهت تعیین یک عدد یکتا به‌عنوان حدآستانه 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 به‌صورت خودکار تعداد اندکسهای مکانی یکتا را تولید می‌نماید. به‌عبارت 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 به‌دست آمده حاصل از طبقه‌بندی هر یک از ویژگیهای تولید شده در کنار باند پانکروماتیک، دارای افزایش ۳-۴ 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 بی‌نیاز می‌کند، منجر به دستیابی به دقت مناسب‌تری در تفکیک کلاسهای انتخاب شده می‌گردد.

### ۶- کارهای آینده

یافتن راهکاری جهت تعیین حدآستانه 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 the 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, "designing optimal spectral indexes for remote sensing application", IEEE 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 Pitkänenc, 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] Onesimo 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<sup>1\*</sup>, Mohammad Javad Valadan Zoj<sup>2\*</sup>, MahmoodReza Sahebi<sup>3</sup>

- 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- Associated 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