

طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس با استفاده از تصاویر پانکروماتیک هوایی به کمک تولید ویژگی‌های بافتی آماری مرتبه ۱ و ۲ و زمین آمار

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

۱- گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

۲- پژوهشگاه هوافضا، پژوهشکده علوم و فناوری فضایی، تهران، ایران.

hamed_ashoori@yahoo.com, valadanzouj@kntu.ac.ir, valadanzouj@kntu.ac.ir, m_taeafi@ari.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۸ مهر ۱۳۹۴، تاریخ بازنگری: ۲۰ دی ۱۳۹۴، تاریخ پذیرش: ۲ تیر ۱۳۹۵

* نشانی نویسنده مسئول: حامد عاشوری، تهران، خیابان ولیعصر بالاتر از میدان ونک، روبروی برج اسکان، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کد پستی: ۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷

چکیده- نقشه طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش جنگلی یکی از منابع اطلاعاتی اصلی مورد نیاز در کاربردهای مدیریت جنگل است. در روش‌های متداول برای تولید این نقشه از تصاویر چند طیفی استفاده می‌شود. در این تحقیق از تصاویر پانکروماتیک هوایی به‌عنوان یک منبع داده ارزشمند جهت تولید این نقشه استفاده شده است. با استفاده از روش‌های آماری کمی‌سازی بافت تصویر شامل روش‌های آماری مرتبه ۱، مرتبه ۲ مبتنی بر ماتریس رخداد توام و زمین آمار، لایه‌های تصویری جدید از این تصاویر دارای رزولوشن مکانی بالا داده‌های تولید شده و در طبقه‌بندی نظارت شده جهت تفکیک کلاس‌های مختلف تراکم تاج پوشش مورد استفاده قرار گرفته است. بدین ترتیب با تقویت فضای ویژگی، نقشه تراکم تاج پوشش با دقت حدود ۹۰ درصد که دقت قابل قبولی است، تولید گردید. این روش عمدتاً در نواحی جنگلی با آمیختگی تاجی کمتر مانند ناحیه رویشی زاگرس و ناحیه رویشی ایرانی-تورانی قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی تاج پوشش جنگلی، کمی‌سازی بافت تصویر، تصویر پانکروماتیک.

Zagros Forest Canopy Density Classification by Image Texture Quantization based on First and Second Statistical and Geostatistical Methods Using Aerial Panchromatic Images

Hamed Ashoori¹, Mohamad Javad valadan Zoej¹, Mahmood Reza Sahebi¹ and Masoud Taeafi Finjani²

1- Photogrammetry and Remote Sensing Department, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

2- Aerospace Research institute, Space system research group, Tehran, Iran.

hamed_ashoori@yahoo.com, valadanzouj@kntu.ac.ir, valadanzouj@kntu.ac.ir, m_taeafi@ari.ac.ir

Abstract- Forest canopy density classification map is one of the main sources of information used in forest management. In conventional methods multispectral images are used to generate the map. In this study, aerial panchromatic images as a valuable data source are used to generate this map. Statistical image texture quantization methods including first statistical and second statistical based on GLCM matrix and also geostatistical method used to generate new features from high spatial resolution image. Generated features beside main image used as classification input feature space. Supervised classification was used and about 90% accuracy was obtained. This method is mainly usable in areas with low variety in forest cover type like Zagros and Iran-Turanian region.

Keywords- Canopy Density Classification, Texture Quantization, Panchromatic Image.

۱- مقدمه

نقشه طبقه‌بندی تاج پوشش جنگلی، یکی از ورودی‌های مهم در مدیریت جنگل به حساب می‌رود. در کشور عزیز ما ایران، با وجود گونه‌های مختلف جنگلی و آسیب‌هایی که به مناطق جنگلی در سالیان دراز وارد می‌شود، در اختیار داشتن روند تغییرات پوشش مناطق جنگلی بسیار حائز اهمیت است.

روش‌های مختلفی جهت برآورد فشردگی تاج پوشش ارائه شده است که این روش‌ها از داده‌های سنجنده‌های چند طیفی به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند. در اغلب این روش‌ها از اندکس‌های گیاهی به‌عنوان یکی از ابزارهای تفکیک تاج پوشش و تعیین میزان فشردگی آن بهره برده می‌شود.

تهیه تصاویر چند طیفی با قدرت تفکیک مکانی مناسب با توجه به وسعت مناطق جنگلی، هزینه بر است، از طرفی در بازه‌های زمانی مختلف، تصاویر هوایی برداشت شده جهت تولید نقشه‌های توپوگرافی به‌عنوان داده‌هایی ارزشمند جهت انجام تحقیقات مختلف قابل به کار گیری است. با این حال به دلیل استفاده روش‌های موجود از داده‌های چند طیفی، عملاً اجرای آنها و تولید نقشه طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش با استفاده از تصاویر هوایی موجود امکان‌پذیر نیست. از طرفی قدرت تفکیک مکانی بالای این تصاویر هوایی، امکان مشاهده روابط مکانی و تعیین تراکم پوشش و حتی شمارش تعداد درختان را توسط مفسران فراهم می‌آورد.

با توجه به اینکه آنالیز بافت تصویر و به‌کارگیری ویژگی‌های بافتی مختلف تولید شده از آن، می‌تواند تا حد مناسبی به الگوریتم‌های طبقه‌بندی توانمندی انسان در فهم بافت تصویر و استفاده از آن در تمایز بین عوارض مختلف را بدهد، در این تحقیق سعی بر استفاده از این روش جهت تولید ویژگی‌های جدید و سپس استفاده از آنها در طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش شده است.

۲- پیشینه روشهای طبقه‌بندی تاج پوشش و معرفی روش-های کمی‌سازی بافت

همان‌طور که در مقدمه اشاره شده روش‌های به کار گرفته شده و موجود جهت طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش درختان، از داده‌های چند طیفی به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند. بنابراین این روش‌ها بر روی داده‌های پانکروماتیک قابل اجرا نیستند به همین دلیل، جهت آشنایی به تعدادی از موفق‌ترین آنها اشاره می‌شود و از پرداختن به جزئیات هر یک از روش‌ها اجتناب می‌گردد.

روش شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط محققینی چون بادی و دیگران [۱]، اسکیدمور و همکاران [۲] و اتکینسون و تانتال [۳] استفاده شده است. روش رگرسیون چند خطی توسط لوسکیو و

کینگ [۴] و ایورسون و همکاران [۵] ارائه شده است. روش تصویرگر تراکم تاج پوشش جنگلی به‌عنوان یک روش موفق توسط ریکیمورا [۶] ارائه شده و در آن از شاخص‌های گیاهی پیشرفته، خاک، سایه و حرارتی استفاده می‌شود، از این روش در تحقیقات بعدی نیز مانند [۷] استفاده شده است. همچنین روش-های عمومی استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش از دور که توسط محققین به کار گرفته شده است همانند : روش طبقه‌بندی نظارت شده بیشترین شباهت چودامانی جوشی [۸]، روش طبقه‌بندی شی-گرا دورن و همکاران [۹]، روش طبقه‌بندی درخت تصمیم‌گیری سوزا [۱۰] و روش طبقه‌بندی جداسازی طیفی^۱ توسط کراس [۱۱]. در تحقیقات اخیر داده‌های لیزراسکنر هوایی در تلفیق با داده‌های چند طیفی به کار گرفته شده‌اند [۱۲] و [۱۳]، همچنین در [۱۴] از تصاویر هوایی چند طیفی که از ارتفاع کم با تصویربرداری به کمک پرواز پهباد دریافت شده جهت تولید مدل ارتفاعی رقومی و بازسازی ابرنقطه سه بعدی پوشش گیاهی استفاده شده است.

با توجه به اینکه هدف این تحقیق استفاده از تصاویر تک باند هوایی است از تجربه به کارگیری بافت در طبقه بندی تصاویر که نویسنده اول مقاله در پایان نامه کارشناسی ارشد خود [۱۵] بدان پرداخته استفاده شده است. در این پایان نامه با استفاده از فرمول‌های مختلف موجود و روش‌های متنوع تولید بافت در ابعاد پنجره مختلف، توانمندی روش‌های کمی‌سازی بافت در افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر چند طیفی را ارزیابی نمود. مقایسه نتایج نشان دهنده تنوع توانمندی روش‌های مختلف و ابعاد کرنل متفاوت در هر روش در افزایش دقت طبقه‌بندی بوده است. با توجه به اینکه در این تحقیق از روش‌های کمی‌سازی بافت تصویر جهت تولید ویژگی‌های جدید و استفاده از آنها در طبقه‌بندی استفاده شده است، در ادامه به معرفی روش‌های استفاده شده و منابع و تحقیقاتی که به معرفی این روش‌ها انجامیده پرداخته می‌شود:

۲-۱- ویژگی‌های آماری مرتبه ۱

در کتاب بازشناسی الگو [۱۶] فرمول‌های مختلف جهت تولید ویژگی‌های بافتی با استفاده از آماره‌های مرتبه ۱ از هیستوگرام نرمال شده تصویر معرفی شده است. برای یک تصویر یا بخشی از یک تصویر می‌توان احتمال وقوع هر درجه خاکستری را با تشکیل هیستوگرام نرمال به شکل زیر محاسبه کرد :

$$P(I) = \frac{\text{خاکستری درجه دارای پیکسل‌های تعداد } (I)}{\text{تعداد کل پیکسل‌های تصویر}} \quad (1)$$

با استفاده از رابطه P(I) کمیت‌های زیر قابل تعریف هستند. در ادامه N_g تعداد درجات خاکستری تصویر است.

• ممان‌ها، ممان i ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$m_i = E[I^i] = \sum_{I=0}^{N_g-1} I^i P(I) \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

با توجه به تعریف بالا واضح است که $m_0 = 1$ و ممان مرتبه ۱ برابر با $m_1 = E[I] = \text{mean}$ یا میانگین درجات خاکستری تصویر است.

• ممان‌های مرکزی

$$\mu_i = E[(I - E[I])^i] = \sum_{I=0}^{N_g-1} (I - m_1)^i P(I) \quad (3)$$

پرکاربردترین ممان‌های مرکزی ممان‌های مرکزی مرتبه ۲، ۳ و ۴ هستند.

$\mu_2 = \sigma^2$ همان واریانس است.

$\mu_3 = \sigma^3$ به نام عدم تقارن شناخته می‌شود و معیاری جهت اندازه‌گیری میزان عدم تقارن نمودار هیستوگرام نسبت به میانگین است.

$\mu_4 = \sigma^4$ میزان اوج نامیده شده و معیاری برای وضوح^۳ است.

• انتروپی

انتروپی معیاری برای اندازه‌گیری یکنواختی هیستوگرام است. هر چه هیستوگرام به توزیع یکنواخت نزدیک‌تر باشد میزان انتروپی بیشتر خواهد بود.

$$H = -E[\log_2 P(I)] = -\sum_{I=0}^{N_g-1} P(I) \log_2 P(I) \quad (4)$$

۲-۲- ویژگی‌های آماری مرتبه ۲

ویژگی‌های آماری مرتبه دوم سعی در تعیین چگونگی قرارگیری همسایگی‌های مختلف درجات خاکستری در تصویر دارند که با استفاده از تولید یک ماتریس واسط به نام ماتریس رخداد توام محاسبه و تولید می‌شوند. هر درایه این ماتریس بیانگر تعداد زوج پیکسل‌هایی است که در سطح تصویر دارای درجات خاکستری i و j بوده و در راستای θ از یکدیگر به اندازه d پیکسل فاصله دارند. بعد از تولید این ماتریس‌های رخداد توام، ویژگی‌های مختلفی را می‌توان با استفاده از آنها تولید کرد. این روش را هارالیک در سال ۱۹۷۳ معرفی کرد و در مقاله‌ای به معرفی ۱۴ معیار قابل استخراج از این ماتریس پرداخت [۱۷]. در ادامه تعدادی از پرکاربردترین معیارها ذکر شده‌اند.

• کنتراست

$$CON = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i-j)^2 P(i, j) \quad (5)$$

که در آن $P(i, j) = GLCM(i, j)$

• عدم شباهت^۴

$$Dis = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} |i-j| P(i, j) \quad (6)$$

• ممان زاویه‌ای دوم^۵

$$ASM = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (P(i, j))^2 \quad \& \text{Energy} = \sqrt{ASM} \quad (7)$$

• آنتروپی

$$Entropy = -\sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i, j) \ln(P(i, j)) \quad (8)$$

• ممان تفاضلی معکوس^۶

$$IDF = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{P(i, j)}{1+(i-j)^2} \quad (9)$$

• میانگین و واریانس

$$\mu_i = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} i \times P(i, j) = \mu_j = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} j \times P(i, j) \quad (10)$$

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i - \mu_i)^2 \times P(i, j) = \sigma_j^2 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (j - \mu_j)^2 \times P(i, j) \quad (11)$$

• همبستگی

$$Correlation = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (12)$$

۳-۲- زمین آمار

زمین آمار با در نظر گرفتن تاثیر فاصله در وابستگی درجات خاکستری پیکسل‌های تصویر سعی در پیاده‌سازی (کمی کردن) رابطه بین نمونه‌ها و فاصله بین آنها دارد. یکی از پارامترهایی که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد شبه واریانس است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S_h^2 = \frac{1}{2m_h} \sum_{i=1}^{m_h} [f(x_i) - f(x_i + h)]^2 \quad (13)$$

در رابطه فوق h فاصله مکانی بین دو پیکسل است. بعد از محاسبه متوسط شبه‌واریانس برای h های مختلف می‌توان واریوگرام را ترسیم کرد. رنج^۷ که نشان‌دهنده فاصله‌ای است که در آن واریانس به حداکثر مقدار خود می‌رسد. سیل^۸ حداکثر واریانس محاسبه شده در فواصل مختلف و ناگت^۹ جایی است که نمودار محور S_h^2 را قطع می‌کند که نشان‌دهنده نویز است.

البته می‌توان h را به صورت بردار فاصله برای مدل کردن کلیه حالت‌های ممکن فاصله در دو بعد تصویر نیز تعریف کرد.

از این روش می‌توان برای تولید ویژگی استفاده کرد بدین ترتیب که می‌توان مقدار رنج و یا ناگت را برای h های مختلف محاسبه کرده و هریک را به عنوان یک ویژگی در نظر گرفت و یا از پارامترهای اصلی واریوگرام به عنوان ویژگی جدید استفاده نمود.

این تصاویر با استفاده از پارامترهای کالیبره دوربین و مختصات نقاط مثلث‌بندی، توجیه شده و با استفاده از تناظریابی اتوماتیک دو تصویر، مدل رقومی ارتفاعی محدوده پوشش آنها ایجاد شد. سپس با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی تولید شده، تصحیح تبدیل به تصویر قائم (حذف جابه جایی ناشی از اختلاف ارتفاع) بر روی تصاویر انجام شده و تصویر قائم با اندازه پیکسل زمینی ۱٫۵ متر تولید گردید. با استفاده از نقشه خروجی حاصل از کار اپراتوری انجام شده جهت طبقه‌بندی تاج پوشش دریافتی از سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری، شش منطقه به‌عنوان نمونه طبقات مختلف تاج پوشش با ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ پیکسل از تصاویر قائم تولید شده، برش داده شد. این شش تصویر به‌عنوان نماینده کلاس‌های فشرده تا تنک، در کنار هم قرار داده شده و تصویر نمونه جهت انجام تست را تولید کردند. این تصویر نمونه در شکل ۳ قابل مشاهده است. داده‌های آموزشی و چک بر اساس کلاس‌های تفکیک شده، انتخاب شدند و در ادامه به الگوریتم طبقه‌بندی معرفی شدند. توزیع محدوده‌های آموزشی و چک در شکل ۴ نمایش داده شده است. تعداد پیکسل‌های آموزشی و چک هر کلاس در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

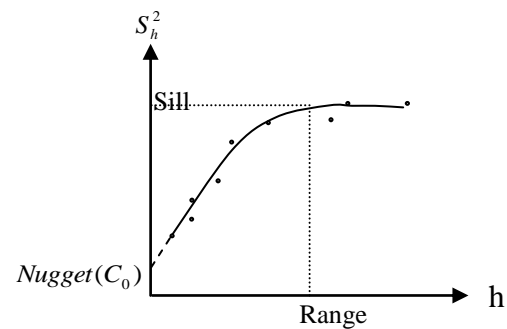
۴- شیوه اپراتوری تولید نقشه تراکم تاج پوشش

روش به‌کار گرفته شده جهت تولید نقشه تراکم تاج پوشش، یک روش دستی و وابسته به دانش و تجربه مفسر است. مراحل تولید این نقشه به شرح زیر است:

- ۱- ایجاد دید سه بعدی از تصاویر تصویر منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۴۰,۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور
- ۲- پلیگون‌بندی منطقه توسط مفسر مبتنی بر دانش و تجربه
- ۳- شمارش درختان هر پلیگون
- ۴- تخمین سطح تاج پوشش درختان هر پلیگون یا تصویر بصورت تجربی یا استفاده از شابلون‌های مخصوص
- ۵- تعیین سطح تاج پوشش کلی پلیگون از حاصل ضرب تعداد درختان در مساحت هر تک درخت
- ۶- تعیین کلاس تراکمی پلیگون حاصل از تقسیم عدد مرحله ۵ بر مساحت کل پلیگون
- ۷- تعیین درصد تراکمی بر مبنای کلاس استاندارد (جدول ۱)

در شکل ۱ دسته‌بندی انجام شده به روش دستی توسط اپراتور مجرب نمایش داده شده است. مهمترین اشکال این روش که پروژه

در شکل ۱ نمودار واریوگرام و تعاریف رنج، سیل و ناگت نمایش داده شده است.



شکل ۱: واریوگرام

در [۱۸] دو رابطه برای تولید ویژگی‌هایی بر اساس زمین آمار از واریوگرام، قابل به‌کارگیری در تصاویر تک باند، معرفی شده‌اند که عبارتند از:

- واریوگرام مستقیم^{۱۰}

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{N_x-h_1} \sum_{j=1}^{N_y-h_2} [DN(i, j) - DN(i+h_1, j+h_2)]^2 \quad (14)$$

$n(h)$ تعداد زوج‌هایی که در ماسک وجود دارند.

- مادوگرام^{۱۱}

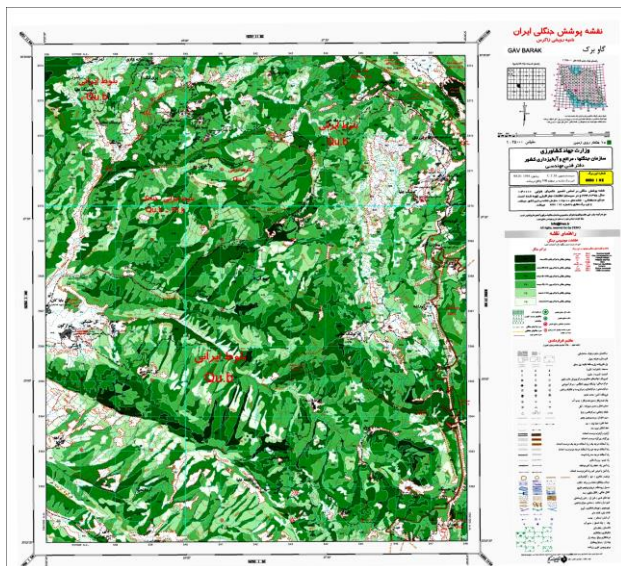
$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{N_x-h_1} \sum_{j=1}^{N_y-h_2} |DN(i, j) - DN(i+h_1, j+h_2)| \quad (15)$$

۳- منطقه نمونه و داده مورد استفاده

یک زوج تصویر هوایی در مقیاس ۱:۴۰,۰۰۰ که در سال ۱۳۷۸ از منطقه گاوبرگ استان کهگیلویه و بویراحمد برداشت شده‌اند، و نقشه طبقه‌بندی تاج پوشش جنگلی که توسط کارشناسان سازمان جنگل‌ها و مراتع بر اساس طبقه‌بندی بین‌المللی تراکم تاج پوشش (جدول ۱) تولید شده از بین مناطقی که یکی از بهترین مفسرین پروژه روی آن کار کرده بود انتخاب شد. نقشه تولید شده برای اطمینان بیشتر مجدداً در اختیار یکی از کارشناسان سازمان نقشه‌برداری قرار گرفت تا طبقه‌بندی آن اعم از انتخاب پلیگون‌ها تا شمارش تک درخت‌ها و تعیین عدد مساحت نماینده هر تک درخت مورد بازنگری و مذاقه مجدد قرار گرفته و پس از اطمینان از کار اپراتوری در اختیار تیم تحقیق این مقاله به‌عنوان داده ورودی قرار گرفت. نتیجه طبقه‌بندی دستی در شکل ۱ نمایش داده شده است. نقشه تولید شده از این روش نیز در شکل ۲ ارائه شده است. شیوه طبقه‌بندی و تولید نقشه تراکم تاج پوشش در بخش ۴ شرح داده می‌شود.

درجات خاکستری می‌تواند منجر به شباهت درجات خاکستری، کاهش ابعاد ماتریس رخداد توام و افزایش سرعت پردازش شود. به‌منظور تست تاثیر کاهش تعداد درجات خاکستری، کلیه آزمون‌ها با قدرت تفکیک رادیومتریکی ۸ تا ۴ بیتی تست شد.

پس از تولید هر ویژگی، ویژگی تولید شده در کنار باند پانکروماتیک قراردادده شده و تصویر دو بانده تولید شده وارد طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM^{13}) شده و پس از طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های چک انتخاب شده نتیجه طبقه‌بندی با محاسبه دقت‌های کاربر هر کلاس، دقت کلی طبقه‌بندی و دقت میانگین طبقه‌بندی ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده براساس دقت‌های محاسبه شده مرتب شدند و بهترین ویژگی جهت افزایش هر یک از دقت‌ها مشخص شد.



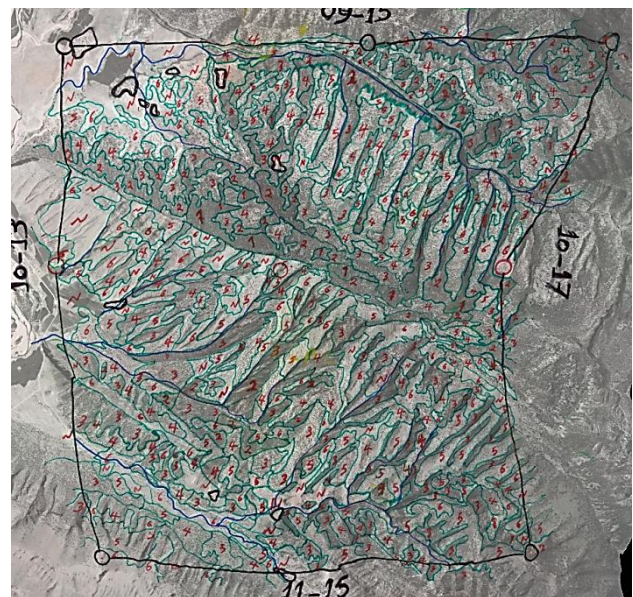
شکل ۲: نقشه خروجی طبقه‌بندی چشمی توسط اپراتور، به‌عنوان منبع انتخاب داده‌های آموزشی و چک

با توجه به تک باند بودن تصویر ورودی، انجام طبقه‌بندی امکان پذیر نیست و تنها روش دسته‌بندی پیکسل‌های تصویر با استفاده از داده‌های آموزشی، به‌کارگیری روش پارالل پایپ تک‌بعدی (قطعه‌بندی درجات خاکستری) است، این روش در مورد این نوع داده ورودی به‌صورت تعیین تعدادی حدآستانه در مرزهای درجات خاکستری ابتدا و انتهای داده‌های آموزشی عمل می‌کند. نتایج حاصل از این روش جهت مقایسه در جدول ۵ نیز ارائه شده‌اند. همانطور که پیش از اعمال قابل پیش بینی است این روش منجر به نتایج بسیار ضعیفی می‌شود.

تحقیقاتی حاضر در راستای رفع آن تعریف و اجرا شده است. خطای مفسر در تعیین تراکم تاج پوششی نواحی می‌باشد. این خطا ناشی از تجربه، سلیقه، خستگی و ... مفسر است. در یک مقایسه تجربی، خروجی کار یک مفسر در صبح یک روز و عصر روز دیگر بر روی یک عکس یکسان، متفاوت بوده است.

جدول ۱: معرفی طبقات تراکم تاج پوشش

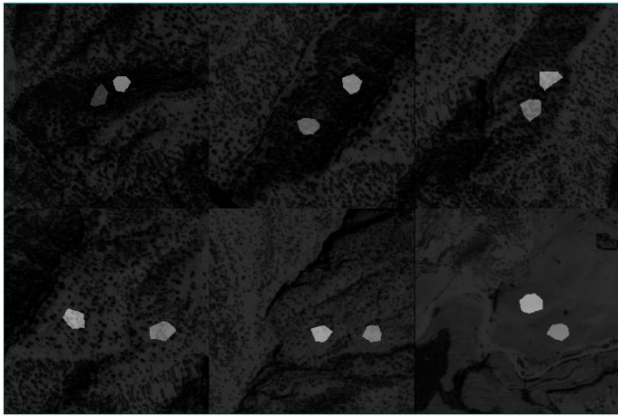
ردیف	کلاس تراکمی	درصد تاج پوشش
۱	F1	$FCD > 75\%$
۲	F2	$75\% > FCD > 50\%$
۳	F3	$50\% > FCD > 25\%$
۴	F4	$25\% > FCD > 10\%$
۵	F5	$10\% > FCD > 5\%$
۶	F6	$FCD > 5\%$



شکل ۱: دسته‌بندی دستی انجام گرفته بر روی تصویر توسط اپراتور

۵- پیاده‌سازی و نتایج آزمون‌ها

در ابتدا با اعمال هریک از روش‌های آماری مرتبه ۱، ۲ و زمین آمار و با انتخاب کرنل‌های مربعی به ابعاد ۳ تا ۵۵ پیکسل بر روی تصویر ویژگی‌های مختلفی تولید شدند. در روش‌های آماری مرتبه ۲ و زمین آمار، از چهار بردار فاصله مختلف در امتداد سطر، ستون و دو قطر اصلی نیز استفاده شد. ویژگی‌های تولید شده را می‌توان در جدول ۲ خلاصه کرد. با توجه به اینکه در روش آماری مرتبه ۲، در ماتریس رخداد توام، تعداد زوج درجات خاکستری همسان که دارای فاصله برابر با بردار فاصله متناظر هستند، شمارش می‌شود، کاستن تعداد



شکل ۴: محدوده‌های داده‌های آموزشی و تست انتخاب شده

جدول ۳: تعداد پیکسل‌های انتخاب شده داده‌های آموزشی و چک

تعداد پیکسل داده چک	تعداد پیکسل داده آموزشی	کلاس تراکمی
۱۴۹۴	۱۲۴۷	F1
۱۷۰۸	۱۶۷۸	F2
۱۹۳۲	۱۷۰۵	F3
۲۱۸۵	۱۸۹۹	F4
۱۴۵۷	۱۴۶۱	F5
۲۱۰۹	۱۶۳۱	F6

۶- آنالیز نتایج

در جدول ۵، بهترین سه نتیجه به‌دست آمده که دارای بالاترین دقت کاربر برای هر یک از کلاسهای تاج پوشش و بهترین دقت‌های کلی و میانگین طبقه‌بندی ارائه شده‌اند. همچنین با توجه به اینکه در تعدادی از کلاس‌ها، رتبه‌های نخست همه دارای دقت طبقه‌بندی برابر بودند، رتبه ۱۰ نیز علاوه بر رتبه‌های ۱ تا ۳ اضافه شد. در برخی از روش‌ها که رتبه ۱۰ نیز دارای دقت حداکثری است، نخستین ویژگی دارای بالاترین دقت زیر ۱۰۰ درصد نیز در جدول ۵ ارائه شده است، ستون نخست جدول، بیانگر رتبه ویژگی در بین کلیه ویژگی‌های تولید شده است.

علاوه بر این به جهت برقراری امکان مقایسه، بدترین نتیجه به‌دست آمده در مورد هر پارامتر نیز به‌عنوان آخرین سطر در هر مقایسه اضافه شده است.

مقایسه نتایج به‌دست آمده، نشان دهنده برتری روش کمی‌سازی ماتریس رخداد توأم نسبت به سایر روش‌های اعمال شده در این کاربرد است. این دسته ویژگی‌ها در دقت‌های کاربر بالای به‌دست آمده برای کلاس‌ها و همچنین در دقت‌های بهینه میانگین، کلی و ضریب کاپا حضور دارند.

روش زمین آمار، اگر چه در مورد برخی از کلاس‌ها، امکان رسیدن به نتایجی با حداکثر دقت را داراست ولی در مجموع و مقایسه کلی نتایج نسبت به روش‌های آماری مرتبه اول و ماتریس رخداد توأم، نتایج ضعیف تری ارائه می‌دهد.

در جدول ۵، پس از مرتب‌سازی نتایج به‌دست آمده بر اساس دقت کاربر هر کلاس، دقت کلی طبقه‌بندی، دقت میانگین طبقه‌بندی و ضریب کاپا، تعدادی از نتایج منتخب ارائه شده‌اند.

جدول ۲: لیست ویژگی‌های بافتی تولید شده از تصویر

ویژگی تولید شده	روش کلی	ردیف
مد	ویژگی‌های آماری مرتبه ۱	۱
میانگین		۲
میانگین وزندار		۳
میانه		۴
ممان مرتبه ۲		۵
ممان مرتبه ۳		۶
ممان مرتبه ۴		۷
ممان مرکزی		۸
وریانس		۹
عدم تقارن		۱۰
میان اوج		۱۱
ممان مطلق ۱		۱۲
ممان مطلق ۲		۱۳
انتروبی		۱۴
کنتراست	ویژگی‌های آماری مرتبه ۲	۶
عدم شباهت		۷
ممان دوم زاویه‌ای		۸
انتروبی		۹
هموزیته		۱۰
میانگین		۱۱
وریانس		۱۲
وابستگی	۱۳	
واریوگرام مستقیم	زمین آمار	۱۴
مادوگرام		۱۵



شکل ۳: تصویر ورودی آموزشی، که از موزاییک شش برش ۵۰۰*۵۰۰ از محدوده هر یک از تراکم‌های مختلف تاج پوشش تولید شده

کمر بودن دقت طبقه‌بندی هر یک از کلاس‌ها نسبت به بهترین دقت‌های به‌دست آمده در مورد آن کلاس، باعث رسیدن به این جمع‌بندی می‌گردد که، در صورتی که هدف استخراج یک کلاس با بهترین تفکیک نسبت به سایر کلاس‌ها باشد بایستی از ویژگی‌هایی استفاده کرد که در مورد آن کلاس دقت بهتری را دارند، این ویژگی‌ها الزاما در تفکیک سایر کلاس‌ها دارای بهترین توانمندی نبوده و بنابراین احتمال کمتر بودن دقت کلی با میانگین را نسبت به سایر روش‌ها دارند.

پس بسته به هدفی که از تولید تصویر طبقه‌بندی شده در نظر گرفته شده، بایستی ویژگی مناسب را انتخاب نمود.

وجود نتایج بسیار ضعیف، حتی ضعیف‌تر از دسته‌بندی با انتخاب حد آستانه نشان دهنده این واقعیت است که تولید ویژگی‌های بافتی همیشه دارای اثر مثبت بر طبقه‌بندی نیستند. در واقع ویژگی‌های تولید شده گاه منجر به ایجاد شباهت در اعداد نسبت داده شده به پیکسل‌هایی از تصویر می‌شوند که از نظر طیفی قابل تفکیک، یا به کلاس‌های مختلفی تعلق دارند. بنابراین در انتخاب ویژگی‌ها قبل از به‌کارگیری بایستی تست اولیه بر روی بخشی از داده‌ها انجام شده و بسته به هدف ویژگی مناسب انتخاب شود.

با مقایسه زمان‌های صرف شده برای تولید ویژگی‌های مختلف می‌توان آنها را به‌صورت جدول ۴ زیر رتبه‌بندی کرد. این رتبه‌بندی با فرض کاهش درجات خاکستری به ۱۶ در مورد روش ماتریس رخداد توام است. در حالتی که تعداد درجات خاکستری بالاتری انتخاب شود، مسلماً زمان محاسبه در مورد ویژگی‌های این روش افزایش پیدا می‌کند. با توجه به رتبه آخر این روش از نظر زمان، تغییری در رتبه‌بندی زیر ایجاد نمی‌گردد.

در روش ماتریس رخداد توام، افزایش رنج دینامیکی درجات خاکستری (قدرت تفکیک رادیومتریکی تصویر)، به‌صورت قابل توجهی زمان تولید ویژگی‌ها را افزایش می‌دهد. دلیل این افزایش، افزایش ابعاد ماتریس رخداد توام و در نتیجه افزایش تصاعدی حجم محاسبات برای تولید هر ویژگی است. در حالتی که هدف کاربر رسیدن به نتیجه مناسب در زمان کوتاه‌تر است، بایستی بین افزایش دقت و زمان، با قربانی کردن دقت، ویژگی‌هایی انتخاب شوند که با از دست دادن بخشی از افزایش دقت، زمان محاسبات را کاهش می‌دهند. این مساله خصوصا در مورد تحقیقاتی با وسعت منطقه بالا و تصاویر با رزولوشن مکانی بسیار بالا اهمیت پیدا می‌کند.

روش‌های آماری مرتبه اول، در کلاس‌های با تراکم تاج پوشش کمتر توانایی بهتری دارند، در این کلاس‌ها با توجه به غلبه زمینه بر تاج پوشش، اعمال این روش‌ها منجر به ایجاد شباهت بین عدد به‌دست آمده به‌عنوان مقدار پیکسل در پیکسل‌های مختلف پوشش دهنده محدوده این کلاس‌ها و زمینه شده و منجر به ایجاد تفکیک بهتری با کلاس‌های دیگر می‌شوند. در واقع ویژگی‌های آماری مرتبه اول به‌صورت یک فیلتر پایین‌گذر با ویژگی‌های مختلف عمل می‌کنند. نتایج برتر ویژگی‌های آماری مرتبه اول نسبت به سایر روش‌های به‌کارگرفته شده در مورد این کلاس‌ها با در نظر گرفتن شیوه عملکرد این ویژگی‌ها قابل توجیه است.

روش‌های تولید ویژگی مبتنی بر ماتریس رخداد توام، با استفاده از ماتریس توزیع زوج درجه‌های خاکستری عمل می‌کنند، این روش‌ها در مقایسه با سایر روش‌ها منجر به رسیدن به نتایج بالاتر در مورد کلاس‌های دارای تراکم تاج پوشش متوسط به بالا شدند، وجود پیکسل‌هایی با درجات خاکستری مشابه که تاج پوشش درختان و ایجاد الگوی مشابه چیدمان زوج درجات خاکستری به دلیل شباهت شکل تاج پوشش درختان همسان، این روش‌ها را در مشابه‌سازی عدد به‌دست آمده برای پیکسل‌های واقع در تاج پوشش‌های درختان توانمند می‌سازد. بنابراین در بالابردن دقت طبقه‌بندی موفق عمل می‌کند.

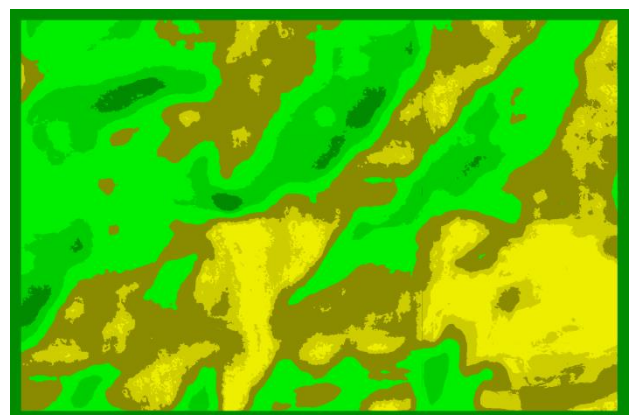
در روش ماتریس رخداد توام با مقایسه نتایج، در مورد کاهش تعداد درجات خاکستری تصویر پیش از تولید ویژگی از آن می‌توان گفت که این کاهش دارای تاثیر مثبت بر نتیجه نهایی علاوه بر تاثیر کاهشی در زمان محاسبات است. البته در برخی از کلاس‌ها، استفاده از تعداد درجه خاکستری بالا در تولید ماتریس رخداد توام، منجر به رسیدن به دقت‌های بالا شده است. با در نظر گرفتن زمان چند برابری لازم برای تولید ویژگی با رنج بالای درجه خاکستری ورودی و حضور ویژگی‌های تولید شده از تصاویری که با کاهش تعداد درجات خاکستری تولید شده‌اند در رتبه‌های مشابه، می‌توان نتیجه گرفت که امکان کنار گذاشتن ویژگی‌های زمانبر و جایگزینی ویژگی‌های تولید شده از تصاویر با رنج دینامیکی کمتر درجات خاکستری و در عین حال حفظ دقت‌های نهایی وجود دارد.

شباهت بین ویژگی‌های منتخب در سه مقایسه پایانی که بر مبنای دقت کلی، دقت میانگین و ضریب کاپا انجام شده، قابل پیش‌بینی و طبیعی است، چرا که این ویژگی‌ها توانایی ایجاد تفکیک مناسب در کلیه کلاس‌ها را به‌صورت مشابه داشته و بنابراین منجر به رسیدن به نتیجه بهتری در تفکیک کلی تصویر می‌گردند.

جدول ۴: رتبه‌بندی روشهای تولید ویژگی بر اساس زمان محاسبه

ردیف	روش تولید ویژگی		روش آماری مرتبه نخست
	نوع	نام	
۱	Median	میانه	روش آماری مرتبه نخست
۲	Moment2	ممان ۲	
۳	Variance	وریانس	
۴	CMoment1	ممان مرکزی	
۵	Mode	مد	
۶	AMoment1	ممان مطلق	
۷	Entropy	انتروپی	
۸	Moment4	ممان ۴	
۹	Moment3	ممان ۳	
۱۰	Skewness	عدم تقارن	
۱۱	Kurtosis	میزان اوج	
۱۲	AMoment3	ممان مطلق ۳	
۱۳	Mean	میانگین	
۱۴	Mean Weighted	میانگین وزندار	
۱۵	Direct variogram	واریوگرام	زمین
۱۶	Madogram	مادوگرام	آمار
۱۷	Correlation	همبستگی	مبتنی بر ماتریس رخداد توام
۱۸	Contrast	کنتراست	
۱۹	Mean-i	میانگین در جهت سطر	
۲۰	Mean-j	میانگین در جهت ستون	
۲۱	Homogeneity	ممان تفاضلی معکوس	
۲۲	ASM	ممان زاویه ای دوم	
۲۳	Entropy	انتروپی	
۲۴	Dissimilariry	عدم شباهت	
۲۵	Variance-i	وریانس در جهت سطر	
۲۶	Variance-j	وریانس در جهت ستون	

در شکل ۵، تصویر خروجی طبقه‌بندی با ویژگی میانگین از مجموعه ویژگیهای ماتریس رخداد توام نمایش داده شده است.



شکل ۵: خروجی طبقه‌بندی با استفاده از ویژگی میانگین روش ماتریس رخداد توام با ابعاد پنجره ۵۵

۷- نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های کمی‌سازی بافت تصویر جهت تولید ویژگی‌های جدید و به کارگیری آنها در طبقه‌بندی می‌تواند منجر به بهره‌گیری از اطلاعات مکانی نهفته در تصویر شود که در روش‌های معمول طبقه‌بندی طیفی از دست می‌روند.

به کارگیری روش‌های کمی‌سازی بافت در تصاویر تک باندهای، می‌تواند امکان طبقه‌بندی تصویر و استخراج عوارض مورد نظر را فراهم کند، قدرت جداسازی کلاس‌های مختلف خصوصاً در مورد عوارضی که تمایز بافتی و اندازه‌ای معناداری بین آنها وجود دارد، با این روش افزایش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه تنها روش دسته‌بندی قابل استفاده برای این داده‌ها، روش پارالل پایپ است، استفاده از روش‌های کمی‌سازی بافت و تولید ویژگی‌های جدید، نه تنها بخشی از داده‌های مربوط به روابط مکانی که در باند طیفی مخفی مانده را آشکار می‌نماید، بلکه امکان به کارگیری روش‌های طبقه‌بندی را فراهم می‌آورد.

با توجه به هدف از انجام طبقه‌بندی، دقت‌های مورد انتظار، پردازش‌گر موجود، زمان در اختیار و وسعت منطقه مورد مطالعه، با انجام آزمون‌هایی بر روی بخشی از داده‌ها، می‌توان به انتخاب روش مناسب کمی‌سازی بافت پرداخت.

تصاویر هوایی موجود از مناطق مختلف کشور که در بازه‌های زمانی جهت پروژه‌های مختلف برداشت شده‌اند، داده‌هایی ارزشمندی هستند که با استفاده از این روش‌ها می‌توان در کاربری‌های مختلف از آنها بهره گرفت. خصوصاً در کاربردهای مرتبط با منابع طبیعی و جنگل که به صورت معمول مساحت مطالعاتی وسیعی را شامل می‌شود و تهیه داده‌های چند طیفی از آنها هزینه بر و گاه با توجه به نیاز به مطالعه روند تغییرات، در زمان‌های مورد نظر جهت مطالعه غیر قابل دسترسی هستند.

۸- پیشنهاد در مورد کارهای آینده

با توجه به اینکه هر یک از روش‌ها در افزایش دقت طبقه‌بندی اثر متفاوتی دارد استفاده از ترکیب روش‌های تولید ویژگی به جهت افزایش دقت طبقه‌بندی می‌تواند منجر به دستیابی به نتایج بهتری شود.

استفاده از روش‌های انتخاب ویژگی از انبوه ویژگی‌های قابل تولید، می‌تواند در دستیابی به ترکیب بهینه ویژگی‌های مناسب جهت به کارگیری در هر مساله استخراج اطلاعات کارآ باشد.

جدول ۵: بهترین و بدترین نتایج طبقه‌بندی به‌دست آمده، حاصل از به کارگیری ویژگی‌های تولید شده با روش‌های کمی‌سازی بافت

رتبه	روش کمی‌سازی بافت	ابعاد کرنل	تعداد سطح	بردار فاصله	زمان تولید	دقت کاربر						دقت کلی	دقت میانگین	ضرب کاپا
						F1	F2	F3	F4	F5	F6			
1	First_Entropy	51	-	-	4.8226	100	88.64	85.97	34.14	81.81	100	79.16	81.76	0.7495
2	First_Entropy	53	-	-	5.2352	99.8	91.39	85.56	35.88	85.38	100	80.37	83	0.7641
3	First_Entropy	49	-	-	4.5281	99.06	86.42	87.22	33.23	79.27	100	78.34	80.87	0.7397
10	GLCM_Entropy	53	16	(1,-1)	105.7455	97.32	87.82	90.99	42.24	86.41	98.59	81.7	83.9	0.7799
5994	GLCM_Homogeneity	35	256	(1,-1)	543.9889	0.07	32.61	76.09	43.75	48.39	100	51.12	50.15	0.4075
1	First_Median	55	-	-	4.2687	81.53	100	100	97.07	28.07	100	86.66	84.44	0.8387
2	First_Median	49	-	-	3.3704	81.19	100	100	98.81	22.31	100	86.17	83.72	0.8326
3	First_Median	53	-	-	3.8513	80.92	100	100	97.94	24.37	100	86.24	83.87	0.8335
10	First_Median	37	-	-	1.9522	64.19	99.94	96.43	86.13	20.11	100	80.09	77.8	0.7591
5994	GLCM_Homogeneity	55	128	(1,-1)	237.0564	0.4	4.8	54.09	91.99	47.56	100	52.53	49.81	0.4203
1	First_Median	55	-	-	4.2687	81.53	100	100	97.07	28.07	100	86.66	84.44	0.8387
2	First_Median	49	-	-	3.3704	81.19	100	100	98.81	22.31	100	86.17	83.72	0.8326
3	First_Median	53	-	-	3.8513	80.92	100	100	97.94	24.37	100	86.24	83.87	0.8335
10	GLCM_Variancei	55	128	(0,1)	362.6371	78.38	99.65	100	99.86	76.6	99.94	93.52	92.4	0.9218
647	First_Mean_Weighted	47	-	-	5.5432	63.65	97.89	99.95	92.54	53.53	100	86.36	84.59	0.8351
5994	GLCM_Dissimilarity	29	128	(0,1)	161.7265	10.91	49.12	1.29	63.34	58.89	100	47.08	47.26	0.3567
1	GLCM_Variancei	55	256	(0,1)	754.7993	79.18	99.53	100	100	75.7	100	93.53	92.4	0.9219
2	GLCM_Meani_ws	55	128	(1,0)	239.5893	81.59	99.47	100	100	77.01	100	94.05	93.01	0.9282
3	GLCM_Variancei	55	256	(1,1)	753.3308	80.19	99.47	100	100	73.85	100	93.41	92.25	0.9204
10	GLCM_Meani_ws	55	128	(0,1)	240.1518	80.12	99.41	100	100	77.28	100	93.87	92.8	0.926
243	GLCM_Variancei	47	128	(1,0)	299.4361	75.03	96.6	100	99.95	60.33	100	90.29	88.65	0.8826
5994	GLCM_Meani	3	32	(1,1)	7.990573	50.2	59.19	55.23	1.01	30.82	100	47.37	49.41	0.3713
1	GLCM_Homogeneity	31	32	(1,-1)	42.49269	36.95	47.42	72.31	28.19	94.72	100	61.36	63.26	0.5364
2	GLCM_Homogeneity	29	32	(1,-1)	38.0328	37.62	51.58	70.13	26	93.75	100	61.14	63.18	0.5341
3	GLCM_Homogeneity	31	32	(1,0)	43.8808	62.18	55.5	70.39	38.72	93.21	26.92	56.5	57.82	0.4793
10	GLCM_Homogeneity	35	32	(1,0)	53.87569	33.94	48.13	71.27	41.97	92.11	99.69	63.33	64.52	0.5586
5994	GLCM_Entropy	3	64	(1,1)	32.04091	50.8	52.52	51.14	35.56	4.94	94.18	48.32	48.19	0.3749
1	GLCM_Homogeneity	31	32	(1,-1)	42.49269	36.95	47.42	72.31	28.19	94.72	100	61.36	63.26	0.5364
2	GLCM_Homogeneity	29	32	(1,-1)	38.0328	37.62	51.58	70.13	26	93.75	100	61.14	63.18	0.5341
3	GLCM_Homogeneity	33	32	(1,-1)	47.208	33.13	42.33	73.14	30.07	93.14	100	60.31	61.97	0.5232
10	GLCM_Homogeneity	37	32	(1,0)	58.94274	35.34	50	72.1	40.64	89.57	100	63.41	64.61	0.5594
1367	Geos_Direct variogram	51	256	(1,-1)	81.5680	55.76	36.59	100	70.89	77.08	100	73.92	73.39	0.6844
3703	Geos_Direct variogram	7	256	(0,1)	1.4042	53.75	60.19	50	25.54	75.63	99.94	58.49	60.84	0.5037
3821	First_Mean	9	-	-	0.1352	56.89	79.74	61.39	43.48	33.63	99.88	62.14	62.5	0.544
5994	GLCM_Contrast	53	16	(0,1)	108.62	51.54	27.22	72.77	58.12	61.56	6.81	47.27	46.34	0.3659
1	GLCM_Meani	55	16	(1,0)	113.9628	89.22	99.41	100	100	72.13	100	94.46	93.46	0.9331
2	GLCM_Meani	55	16	(1,1)	114.0483	89.42	99.3	100	100	71.79	100	94.42	93.42	0.9326
3	GLCM_Meani	55	16	(1,-1)	108.6688	88.96	99.18	100	100	72	100	94.36	93.36	0.9319
10	GLCM_Meani	53	16	(0,1)	160.1001	88.96	98.95	100	100	70.56	100	94.12	93.08	0.929
20	First_Mean	55	-	-	1.815904	80.12	99.47	100	100	77.49	100	93.91	92.85	0.9265
321	First_Moment3	47	-	-	2.062416	76.84	96.72	100	99.77	56.9	100	90.05	88.37	0.8797
5994	GLCM_Homogeneity	31	128	(1,0)	115.7904	2.61	50.94	7.04	34.28	9.75	90.56	32.8	32.53	0.186
1	GLCM_Meani	55	16	(1,0)	113.9628	89.22	99.41	100	100	72.13	100	94.46	93.46	0.9331
2	GLCM_Meani	55	16	(1,1)	114.0483	89.42	99.3	100	100	71.79	100	94.42	93.42	0.9326
3	GLCM_Meani	55	16	(1,-1)	108.6688	88.96	99.18	100	100	72	100	94.36	93.36	0.9319
10	GLCM_Meani	53	16	(0,1)	160.1001	88.96	98.95	100	100	70.56	100	94.12	93.08	0.929
20	First_Mean	55	-	-	1.815904	80.12	99.47	100	100	77.49	100	93.91	92.85	0.9265
221	First_Moment2	49	-	-	1.4649	79.32	97.83	100	99.95	63.01	100	91.49	90.02	0.8971
5994	GLCM_Homogeneity	31	128	(1,0)	114.0483	2.61	50.94	7.04	34.28	9.75	90.56	32.8	32.53	0.186
1	GLCM_Meani	55	16	(1,0)	108.6688	89.22	99.41	100	100	72.13	100	94.46	93.46	0.9331
2	GLCM_Meani	55	16	(1,1)	160.1001	89.42	99.3	100	100	71.79	100	94.42	93.42	0.9326
3	GLCM_Meani	55	16	(1,-1)	115.7904	88.96	99.18	100	100	72	100	94.36	93.36	0.9319
10	GLCM_Meani	53	16	(0,1)	113.9628	88.96	98.95	100	100	70.56	100	94.12	93.08	0.929

رتبه	روش کمی‌سازی بافت	ابعاد کرنل	تعداد سطح	بردار فاصله	زمان تولید	دقت کاربر						دقت کلی	دقت میانگین	ضریب کاپا
						F1	F2	F3	F4	F5	F6			
20	First_Mean	55	-	-	114.0483	80.12	99.47	100	100	77.49	100	93.91	92.85	0.9265
184	First_Mean	49	-	-	108.6688	78.31	98.42	100	100	67.12	100	92.02	90.64	0.9036
5994	GLCM_Homogeneity	31	128	(1,0)	160.1001	2.61	50.94	7.04	34.28	9.75	90.56	32.8	32.53	0.186
	Level Slicing	-	-	-	-	57.95	45.15	38.01	32.09	41.31	0	39.09	35.75	

سپاسگزاری

لازم است تا از دفتر مهندسی و ارزیابی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور جهت در اختیار قرار دادن 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 به کار گرفته شد.

مراجع

- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Inka Pippuria, Aki Sivantob, Matti Maltamo, Kari T. Korhonen, 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] حامد عاشوری، ۱۳۸۵، "افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به کمک ویژگی‌های متن تصویر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
- [16] Sergios Theodoridis, 1999, *Pattern Recognition*, Academic Press
- [17] Haralick, R.M., Shanmugam, K., Dinstein, I., 1973. "Textural features for image classification", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3, no. 6, pp 610-621.
- [18] M. Chica-Olmo and F. Abarca-Hernández, 2000, "Computing geostatistical image texture for remotely sensed data classification", *Computers & Geosciences* 26. pp. 373-383
- [1] 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
- [2] 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.
- [3] Atkinson, P.M., Tatnall, A.R.L., 1997. "Introduction neural networks in remote sensing". *Int. J. Remote Sensing* 18, pp. 699–709
- [4] 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.
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] 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
- [8] 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*
- [9] 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.

زیر نویس‌ها

- 1 Spectral unmixing
- 2 Kurtosis
- 3 Sharpness
- 4 Dissimilarity
- 5 Angular Second Moment
- 6 Homogeneity
- 7 Range
- 8 Sill
- 9 Nugget
- 10 Direct Variogram
- 11 Madogram
- 12 Orthorectification
- 13 SVM: Support Vector Machine