

افزایش دقت در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی مبتنی بر شاخص‌های قابل استخراج از واریوگرام در تصاویر ماهواره‌ای

عباس علیمحمدی^{1*}، وحید عیسوی²، جلال کریمی³

- 1- دانشیار مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
- 2- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
- 3- جلال کریمی، دانشجوی دکتری مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: 89/10/18 پذیرش: 90/3/30

چکیده

در طبقه‌بندی تصاویر، از اطلاعات بافت و واریانس استفاده شده؛ ولی اطلاعات قابل استخراج از واریوگرام کمتر به کار رفته و به تغییرات زمانی واریوگرام کمتر توجه شده است. در این تحقیق، برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی منطقه دهگلان واقع در استان کردستان، از تصاویر چندزمانه SPOT و ASTER استفاده شده است. مجموعه‌ای از شاخص‌های استخراج شده از واریوگرام معرفی، و پاره‌ای شاخص جدید استخراج شده و روش SVM¹ برای طبقه‌بندی به کار رفته است. به طور کلی، این تحقیق در دو مرحله انجام شده است: 1- طبقه‌بندی باندهای طیفی؛ 2- طبقه‌بندی باندهای طیفی به همراه پارامترهای استخراج شده از واریوگرام. پس از ارزیابی دقت و مقایسه آن‌ها، شاخص‌های مناسب معرفی شده است. بعضی از شاخص‌ها باعث افزایش دقت اکثر کلاس‌ها می‌شوند و برخی از آن‌ها هم در بعضی کلاس‌ها بی‌تأثیرند که این‌ها را می‌توان شاخص‌های عمومی قلمداد کرد. برخی از شاخص‌ها نیز باعث افزایش دقت برخی کلاس‌ها و کاهش دقت برخی دیگر از آن‌ها می‌شوند که به آن‌ها شاخص‌های تخصصی می‌گویند. بررسی‌ها نشان می‌دهد هنگام استفاده از شاخص‌های استخراج شده از واریوگرام، دقت کلی حدود 4 درصد و دقت در برخی از کلاس‌ها بیش از 9 درصد افزایش می‌یابد و دقت کلی از 98/88 درصد به 92/744 درصد می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: کاربری و پوشش اراضی، طبقه‌بندی، SVM، واریوگرام، شاخص، ارزیابی دقت.

عباس علممحمدی و همکاران افزایش دقت در طبقه‌بندی کاربری و پوشش ...

1- مقدمه

داده‌های سنجش از دور منبع مهمی از اطلاعات برای تهیه نقشه‌های موضوعی از جمله کاربری و پوشش اراضی و کشاورزی است. نحوه عمل در اکثر الگوریتم‌های طبقه‌بندی متداول در سنجش از دور، بر اساس ویژگی‌ها و اطلاعات طیفی پیکسل‌هاست. این مسئله باعث نایده گرفتن مقدار زیادی از اطلاعات فضایی موجود در تصویر می‌شود. در مواردی، از اطلاعات بافت و واریانس استفاده شده؛ ولی اطلاعات موجود و قابل استخراج از واریوگرام کمتر به کار رفته است. یکی از اهداف زمین آمار این است که توصیف‌های کمی برای متغیرهای توزیع شده در مکان و زمان را فراهم کند (Chile & Delfiner, 1999). در سنجش از دور، از واریوگرام برای بررسی ساختار مکانی تصاویر استفاده شده است (Balaguer et al., 2010).

اولین کاربرد بافت در داده‌های تصاویر سنجش از دور را هارالیک¹ و همکاران (1973) منتشر کردند. آن‌ها در مقاله خود ماتریس (GLC) grey level co-occurance را پیشنهاد کردند. مالینیس² و همکاران (2008) در شمال یونان برای مشخص کردن پلیگون‌های جنگلی در سایت‌های آزمایشی، از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند. آن‌ها تصاویر سنجنده quickbird و الگوریتم‌های بافت (GLCM) را برای طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه به کار بردند. هنگامی که اطلاعات بافت تصویر در طبقه‌بندی استفاده شد، هرچند دقت از 80 درصد تجاوز نکرد، بهترین نتیجه حاصل شد. آگوئر³ و همکاران (2008) برای بهبود طبقه‌بندی خود به منظور تهیه نقشه گلخانه‌های پلاستیکی، از مشخصات بافت استفاده کردند. این محققان از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا مانند ikonos و quickbird استفاده کردند. هدف این مطالعه، مقایسه تصاویر QB و ikonos در تهیه نقشه پوشش زمین بود. مورای⁴ و همکاران (2010) با استفاده از تصاویر ikonos، اجتماعات گیاهی جزیره Heard در نزدیکی قطب جنوب را طبقه‌بندی کردند و بر اندازه‌گیری ویژگی‌های بافت به منظور بهبود طبقه‌بندی تمرکز داشتند. سه نوع طبقه‌بندی با هم مقایسه شد: 1- طبقه‌بندی چندطیفی باندهای تصویر؛ 2- طبقه‌بندی ویژگی‌های بافت؛ 3- طبقه‌بندی ترکیب بافت و باندهای تصویر. آن‌ها در

1. Haralick
2. Mallinis
3. Aguera
4. Murray

مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا _____ دوره پانزدهم، شماره 3، پاییز 1390

پژوهش خود از ماتریس وقوع توأم استفاده کردند و اندازه پنجره را در دقت کار مورد بررسی قرار دادند. سرانجام، در ترکیب کار خود به نسبت استفاده از باندهای طیفی به تنهایی، به دقت بالایی دست یافتند و دقت طبقه‌بندی را با استفاده از الگوریتم‌های بافت به میزان 6 درصد افزایش دادند (Murray^a et al., 2010).

اتکینسون¹ و همکاران (1999) در پژوهش خود، بر لزوم استفاده از اطلاعات مکانی همراه با اطلاعات طیفی برای طبقه‌بندی تصاویر تأکید کردند و روش‌های ساده فیلتر کردن تصویر و واریانس را برای به دست آوردن بافت به کار بردند. در این تحقیق، تأکید آن‌ها بر واریوگرام به عنوان میزانی برای بافت بود. جکوموسکا² و همکاران (2001) با استفاده از داده‌های سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا، تأثیر مشخصه‌های بافت استخراج شده از واریوگرام در طبقه‌بندی را بررسی کردند و مطالعات خود را روی کوه‌های Sauta Honica با پوشش گیاهی چپارال انجام دادند. بعد از استخراج ویژگی‌های بافت مربوط به واریوگرام، تصاویر به دقت طبقه‌بندی شده با هم مقایسه شدند. بر اساس این مقایسه، دقت نهایی حدود 15 درصد افزایش یافته است، دقت در کلاس‌های همگن تغییر نکرده و افزایش دقت در کلاس‌های ناهمگن بوده است. کوهن³ و همکاران (2003) برای استخراج اطلاعات ذاتی مکانی از ویژگی‌های واریوگرام استفاده کردند. آن‌ها از اندازه پیکسل‌های 10، 30 و 1 متر استفاده کردند. در اندازه پیکسل 1 متر، واریوگرام به میانگین اندازه‌های تاج پوشش بستگی دارد. در تاج پوشش موجود هم، مقدار حد آستانه⁴ به لایه‌بندی‌های عمودی درختان حساسیت نشان می‌دهد و موقعیت آن تغییر می‌کند. واریوگرام موجود در پیکسل‌های 10 و 30 متری به مراتب اطلاعات کمتری را شامل می‌شوند. در نهایت، شکل و مکان آستانه واریوگرام‌های به دست آمده در فواصل مختلف با هم مقایسه شدند.

بربراولو⁵ و همکاران (2006) با استفاده از دو روش MLC⁶ و ANN⁷ و داده‌های سال 1993 سنجنده TM، مناطق شهری، کشاورزی و نیمه طبیعی Cukurava را در ترکیه طبقه‌بندی

1. Atkinson
2. Jakomuska
3. Cohen
4. sill
5. Berberoghlu
6. maximum likelihood classification
7. artificial neural network



کردند. ورودی آن‌ها داده‌های طیفی و اطلاعات طیفی ترکیب‌شده با اطلاعات بافت بود. اطلاعات طیفی شامل واریانس و آماره‌های استخراج‌شده از ماتریس وقوع توأم و واریوگرام بود. بربراولو و همکاران (2010) از مشخصات بافت برای طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند؛ به این صورت که با محاسبه واریوگرام و واریانس و GLCM و ارزیابی آن‌ها، این مشخصات را با هم مقایسه کردند و با ارائه مشخصاتی که از واریوگرام و واریانس به‌دست آوردند، از شاخص‌های FML، DMS، FML، VFM، FDO، MFM، AFM، RVF، RMM، RSF و DMM در طبقه‌بندی استفاده کردند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، استفاده از شاخص‌های استخراج‌شده از واریوگرام نتایج بهتری نسبت به ماتریس وقوع توأم و داده‌های خام واریوگرام به‌دست می‌آورد (Balaguer et al., 2010).

با توجه به آنچه گفته شد، در طبقه‌بندی تصاویر از مشخصه‌های واریوگرام در موارد کمی استفاده شده است و همچنین به تغییرات زمانی و واریوگرام مربوط به این تغییرات توجهی نشده است؛ درحالی که تغییرات زمانی برای تهیه نقشه کاربری و پوشش زمین به ویژه پوشش گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است و واریوگرام زمانی به توجه بیشتری نیاز دارد. مهم‌ترین اهداف این تحقیق به شرح زیر است:

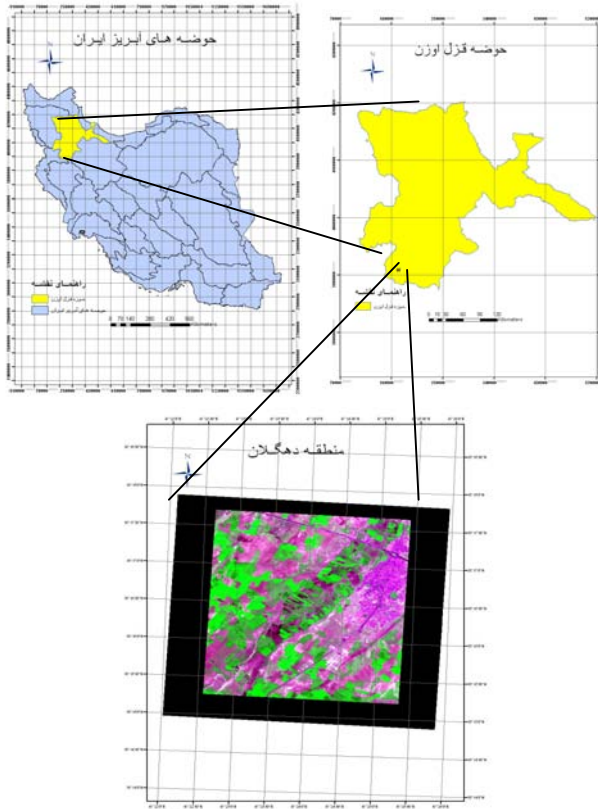
- 1- معرفی چند شاخص استخراج‌شده از واریوگرام و استخراج شاخص‌های جدید؛
- 2- ارزیابی تأثیر شاخص‌های استخراج‌شده از واریوگرام در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی؛
- 3- معرفی شاخص‌های مناسب.

2- مواد و روش‌های تحقیق

2-1- منطقه مورد مطالعه

رودخانه قزل‌اوزن یکی از طولانی‌ترین رودخانه‌های ایران است که پس از گذر از استان‌های متعدد و نیز پیوستن رودخانه‌هایی از مناطق مختلف و سرانجام پیوستن به شاهرود، به دریای خزر می‌ریزد. دهگلان (شکل 1) یکی از شهرستان‌های استان کردستان و قسمتی از حوضه قزل‌اوزن را تشکیل می‌دهد که در منطقه‌ای به‌نسبت کوهستانی واقع شده و دارای اراضی حاصل‌خیزی است. در نواحی کوهستانی و دشت‌های مرتفع، دارای آب و هوای معتدل خشک با زمستان‌های بسیار سرد است. کاربری و پوشش فعلی در منطقه، شامل مجتمع‌های درختی و

باغات، مزارع کشاورزی، مناطق مسکونی، رودخانه و خطوط ارتباطی است و مزارع کشاورزی بیشترین مساحت را به خود اختصاص می‌دهد.



شکل 1 موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

2-2- داده‌ها و مواد مورد استفاده و آماده‌سازی آنها

2-2-1- تصاویر ماهواره‌ای

در این مطالعه، باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک مربوط به دو زمان سنجنده SPOT 5 مورد استفاده قرار گرفتند که با استفاده از روش ترکیب مبتنی بر تبدیل مؤلفه‌های اصلی توسط



باند پانکروماتیک به باندهایی با قدرت تفکیک مکانی 5 متر تبدیل شدند. همچنین، داده‌های 3 باند مربوط به دو زمان سنجنده VNIR ماهواره ASTER نیز به کار رفتند (جدول 1).

جدول 1 مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

Satellite	SPOT 5	date	ASTER	date
Spectral Bands (Spatial Resolution)	1PAN (5m) 3 MS (10 m)	T1= 88/3/8 T2= 88/4/8	VNIR(15m)	T1= 88/5/3 T2= 88/5/19

2-2-2- پیش‌پردازش تصاویر

برای کاهش آثار اتمسفری، از فرمان FLASSH¹ موجود در نرم‌افزار ENVI4.3 استفاده شد. با استفاده از معادلات چندجمله‌ای درجه 2، روش نزدیک‌ترین همسایه برای بازنویسی و برداشت 20 نقطه کنترل از نقشه 1/25000 به‌عنوان نقشه مبنا، تصاویر زمین مرجع شدند و مقدار خطا به‌طور متوسط 0/29 اندازه پیکسل (متر) محاسبه شد.

2-2-3- شاخص‌های گیاهی

با توجه به اینکه ملاک اصلی کار و انجام تحقیق تصاویر SPOT دوزمانه است، شاخص NDVI مربوط به زمان اول و دوم تصاویر SPOT با استفاده از باندهای 2 و 3 به شرح زیر محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{(Spot_3 - Spot_2)}{(Spot_3 + Spot_2)}$$

2-2-4- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

برای حذف هم‌بستگی بین باندهای مختلف و همچنین فشردگی و جلوگیری از افزونگی مجموعه داده‌ها، از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. بر اساس این، بر روی داده‌های

1. fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercube

دوزمانه SPOT به‌طور جداگانه¹ PCA اجرا شد و برای محاسبه سایر پارامترها مورد نیاز از مؤلفه‌های اول تصاویر دوزمانه استفاده شد.

3-2- استخراج شاخص‌ها از واریوگرام

1-3-2- پارامترهای پیشنهادشده در کارهای قبلی

(ratio variance-first lag) RVF -1-1-3-2

نسبت بین واریانس به واریوگرام در اولین گام است. زمانی که واریوگرام به آستانه مجاور واریانس نزدیک می‌شود، این پارامتر یک ارتباط میان هم‌بستگی فضایی در فواصل بلند و کوتاه را نشان می‌دهد و هنگامی که تغییرپذیری در فواصل کوتاه زیاد است، مقدار آن افزایش می‌یابد. همچنین، این خصیصه برای تصاویری با الگوهای تناوبی و قدیمی، مقدار بالایی را نشان می‌دهد.

$$RVF = \frac{Variance}{\gamma_1}$$

(ratio second-first lags) RSF -2-1-3-2

این شاخص ارتباط بین مقدار واریوگرام در گام دوم در ارتباط با گام اول را نشان می‌دهد و اطلاعاتی در مورد تغییر در تغییرپذیری اطلاعات در فواصل کوتاه را به دست می‌دهد.

$$RSF = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$$

(first derivative near the origin) FDO -3-1-3-2

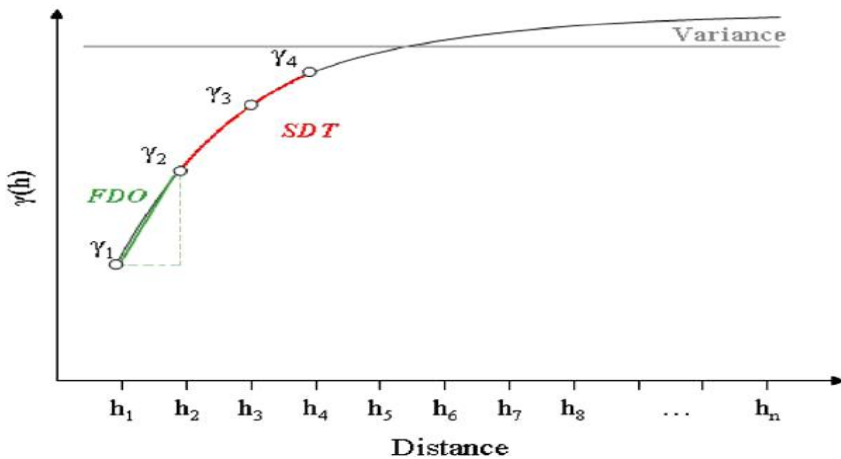
این شاخص شیب واریوگرام در گام اول و دوم، نزدیک مشتق اول مجاور مبدأ را نشان می‌دهد و تغییرات تغییرپذیری اطلاعات در فواصل کوتاه را نمایش می‌دهد (شکل 2).

$$FDO = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{h}$$

(second derivative at third lag) SDT -4-1-3-2

این شاخص مقدار مشتق دوم واریوگرام در گام سوم را نشان می‌دهد و تحدب و تقعر سطح واریوگرام را در فواصل کوتاه (بین دو و چهار پیکسل برای $1=h$) کمی می‌کند. مقدار مثبت یعنی انحنای مقعر (به سمت جلو)؛ یعنی تصویر در فواصل کوتاه همگن است. از سوی دیگر، مقدار منفی نشان می‌دهد واریوگرام محدب است و تصویر در فواصل کوتاه ناهمگن.

$$SDT = \frac{\gamma_4 - 2\gamma_3 + \gamma_2}{h^2}$$



شکل 2

(maximum first to mean up) MFM -5-1-3-2

این شاخص نشان‌دهنده میانگین مقادیر واریوگرام بین گام اول و ماکزیمم اول است و اطلاعاتی در مورد تغییرات در تغییرپذیری اطلاعات را فراهم می‌کند و با تقعر و تحدب واریوگرام در آن فاصله ارتباط دارد.

$$MFM = \gamma_{Max_1}^{Mean} = \frac{1}{Max_1} \sum_{i=1}^{Max_1} \gamma_i$$

2-3-1-6 DMM (distance first maximum to first minimum)

این خصیصه با اضافه کردن اطلاعات در مورد فاصله بین ساختارهای تکراری، پارامتر DMS را تکمیل می‌کند (Balaguer et al., 2010).

$$DMM = h_{min_1} - h_{max_1}$$

2-3-2-2 پارامترهای پیشنهادشده در این تحقیق

2-3-2-1 STD (slop of time difference)

این شاخص نشان‌دهنده شیب تغییرات زمانی بین t_1 و t_2 است. هرچه سطح پوشش زمین بین t_1 و t_2 تغییرات زیادی داشته باشد، این شاخص مقدار بالایی را نشان می‌دهد. برای مثال، اگر زمین در زمان t_1 شخم خورده و در زمان t_2 کاشت و سبز شده باشد، STD مقدار بالایی را نشان می‌دهد.

$$STD = \frac{(\gamma_{4t_2} + \gamma_{1t_2}) - (\gamma_{4t_1} + \gamma_{1t_1})}{h_4 - h_1}$$

2-2-3-1 DFD₁ (difference from first maximum to distance)

این پارامتر تفاوت میان واریوگرام در هر گام نسبت به ماکزیمم محلی است و الگوی ساختاری بافت تصویر را نشان می‌دهد و با تغییرپذیری اطلاعات در ارتباط است. مقادیر بالا نشان‌دهنده ناهمگنی و بافت غیریکنواخت است و برعکس، مقادیر پایین نشان‌دهنده بافت یکنواخت.

2-3-2-3 DFD₂ (difference from first minimum to distance)

این خصیصه تفاوت میان واریوگرام در هر گام نسبت به مینیمم محلی است و مکمل DFD₁ است.

$$DFD_2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\gamma_i - \gamma_{min_1})^2}{(h_i - h_{min_1})}$$



$$DFD_1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\gamma_i - \gamma_{\max_1})^2}{(h_i - h_{\max_1})}$$

(total difference first and four lag in time series) TDFT -4-2-3-2

این شاخص اختلاف های محلی داخل کلاس کاربری را نشان می‌دهد و با حفظ مرزها، ناهمگنی داخلی کلاس را بارزتر می‌کند. برای مثال در باغات، ردیف درخت‌های موجود بارزتر می‌شوند. در جاهایی که اختلاف محلی کم است (برای مثال یونجه) این شاخص مقدار پایینی را نشان می‌دهد.

$$TDFT = \frac{(\gamma_{4t_2} - \gamma_{1t_2}) + (\gamma_{4t_1} - \gamma_{1t_1})}{h_4 - h_1}$$

(slop ratio first maximum & minimum in NDVI) SRFN -5-2-3-2

این شاخص نسبت بین شیب ماکزیمم محلی اول و مینیمم محلی اول ضرب در NDVI است و تغییرات همگنی و شیب هم‌بستگی فضایی در بین انواع کلاس‌ها و مرزها را نشان می‌دهد.

$$SRFN = \frac{(\gamma_{\min_1}) \times (h_{\max_1})}{(\gamma_{\max_1}) \times (h_{\min_1})} \times NDVI$$

(slop of first minimum & maximum) SFM -6-2-3-2

این شاخص شیب تغییرات زمانی در مینیمم محلی اول و ماکزیمم محلی اول را نشان می‌دهد. شیب زیاد نشان‌دهنده تغییرات پوشش سطح زمین و شیب کم نمودار تغییرات کم در فواصل زمانی کوتاه است. این شاخص مکمل شاخص TDT است.

$$SFM = \left(\frac{\gamma_{\min_1t_2} - \gamma_{\min_1t_1}}{h_{\min_1}} \right) + \left(\frac{\gamma_{\max_1t_2} - \gamma_{\max_1t_1}}{h_{\max_1}} \right)$$

(ratio four lag in first maximum & minimum) RFF -7-2-3-2

این شاخص ارتباط بین مقادیر واریوگرام در گام چهارم نسبت به ماکزیمم محلی اول و مینیمم محلی اول است و تغییرات شیب در فواصل کوتاه و تغییرپذیری اطلاعات را نشان می‌دهد.

$$RFF = \frac{(\gamma_4 - \gamma_{\min_1}) \times (h_4 - h_{\max_1})}{(\gamma_4 - \gamma_{\max_1}) \times (h_4 - h_{\min_1})}$$

(total difference time lags) TDT -8-2-3-2

این شاخص تغییرات هم‌بستگی فضایی را در فواصل زمانی t_1 و t_2 نمایان می‌کند و اطلاعاتی را در مورد تغییرات پوشش سطح زمین به دست می‌دهد.

$$TDT = \sum_{i=1}^{i=n} (\gamma_{it_2} - \gamma_{it_1})$$

(ratio difference NDVI and first maximum & minimum) RDNF -9-2-3-2

این خصیصه تفاوت هم‌بستگی فضایی بین کلاس‌ها را آشکار کرده، مرزهای کلاس‌های کاربری را به خوبی جدا می‌کند و عوارض خطی را نمایان‌تر می‌سازد.

$$RDNF = \frac{NDVI - \gamma_{\min_1}}{NDVI - \gamma_{\max_1}}$$

برای محاسبه واریوگرام در فواصل (گام‌های) مختلف، در محیط MATLAB برنامه‌نویسی انجام شد و در 4 گام، واریوگرام مربوط به مؤلفه‌های اول تصاویر دوزمانه به‌طور جداگانه محاسبه شد.

4-2- تحلیل هم‌بستگی بین پارامترها

برای جلوگیری از افزونگی داده‌ها بین شاخص‌های استخراج‌شده، تحلیل هم‌بستگی انجام گرفت و همه شاخص‌ها نسبت به هم ارزیابی شدند و ضریب هم‌بستگی همه شاخص‌ها



به‌دست آمد. شاخص‌هایی که با هم هم‌بستگی بالایی دارند، در طبقه‌بندی اثر نامطلوب می‌گذارند. بنابراین، در ادامه کار برای رفع این مشکل، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد و مؤلفه‌های اصلی حاصل از شاخص‌ها در طبقه‌بندی به‌کار رفت.

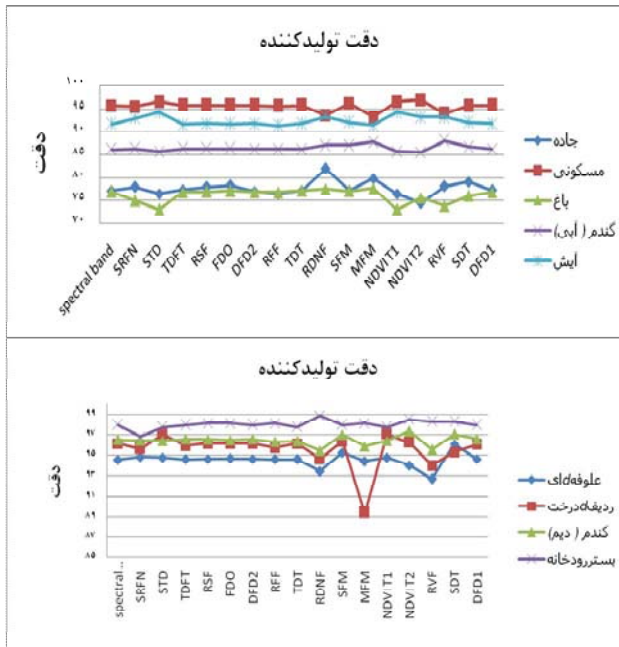
2-5- طبقه‌بندی

شاخص‌های به‌دست آمده از واریوگرام اغلب دارای توزیع غیرنرمال هستند و در نتیجه، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی معمول کاربردی ندارند. بنابراین، کاربرد روش‌های غیرپارامتریک می‌تواند مناسب‌تر باشد. الگوریتم SVM بر پایه تئوری یادگیری آماری بنا شده است که توسط بوسر، واپنیک و گایون¹ (1992) ابداع شد. این روش برخلاف غالب روش‌ها، روشی غیرپارامتریک است. به‌منظور کمینه کردن میزان خطاهای تعمیم‌یافته، باید میزان خطای آموزش و پیچیدگی طبقه‌بندی‌کننده کاهش یابد. این کار را می‌توان با بیشینه کردن حاشیه جداسازی انجام داد (حسینی و همکاران، 1388). برای طبقه‌بندی لازم است نقاط آموزشی مناسب انتخاب شود. برای این کار، با استفاده از نقاط برداشت‌شده زمینی، بر روی تصاویر چندزمانه نقاط آموزشی انتخاب و معرفی شدند. در انتخاب نقاط آموزشی، علاوه بر نقاط برداشت‌شده زمینی، تغییرات زمانی و تقویم زراعی منطقه نیز ملاک بود. کلاس‌های مورد نظر برای معرفی نقاط آموزشی و طبقه‌بندی شامل گندم آبی، گندم دیم، مناطق مسکونی، جاده‌ها، باغات، نباتات علوفه‌ای، بستر رودخانه، ردیف درخت و زمین‌های آیش هستند. بعد از انتخاب نقاط آموزشی، ابتدا یک طبقه‌بندی روی تصاویر چندزمان SPOT و ASTER انجام شد. در مرحله بعد، برای بررسی تأثیر شاخص‌های استخراج‌شده در دقت طبقه‌بندی، در هر مرحله یک شاخص به همراه باندهای تصویر در طبقه‌بندی استفاده شد. تمام مؤلفه‌های حاصل از شاخص‌ها نیز در یک طبقه‌بندی همراه اطلاعات طیفی مورد استفاده قرار گرفتند. پس از طبقه‌بندی، دقت تولیدکننده² و مصرف‌کننده³ هر یک از شاخص‌ها در طبقه‌بندی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

1. Boser, Vapnik & Guyon
2. producer accuracy
3. user accuracy

3- نتایج و بحث

تأثیر مشخصات بافت استخراج‌شده از واریوگرام در دقت طبقه‌بندی هرکدام از کلاس‌ها به‌طور جداگانه در شکل شماره سه نشان داده شده است.



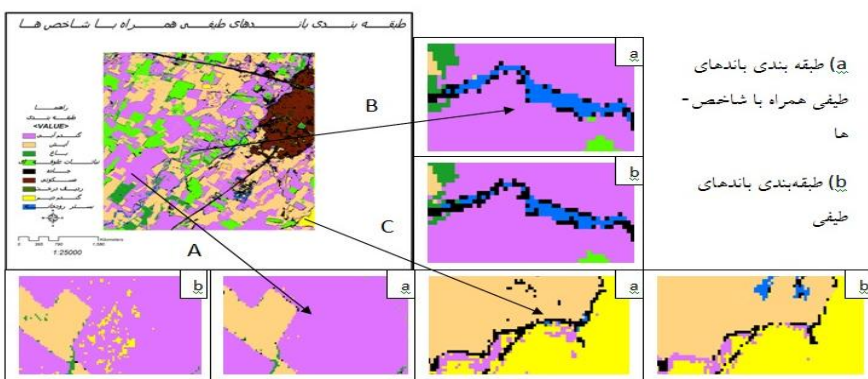
شکل 3 تأثیر هریک از شاخص‌ها در دقت طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی

شاخص‌های **FDO** و **SFM** باعث افزایش دقت در غالب کلاس‌ها می‌شوند. بنابراین، آن‌ها را می‌توان به‌عنوان شاخص‌های عمومی معرفی کرد. شاخص‌های دیگر با افزایش دقت در برخی از کلاس‌ها کمک می‌کنند و به این دلیل می‌توان آن‌ها را جزء شاخص‌های تخصصی در نظر گرفت. کلاس‌هایی که بین زمان t_1 و t_2 تغییرات زیادی می‌کنند، در شاخص **SFM** مقدار بالایی را نشان می‌دهند و طبیعی است که **SFM** در کلاس‌های تغییرپذیر تأثیر بیشتری دارد. در کلاس‌های مسکونی، جاده و بستر رودخانه که تغییرات آن در زمان کمتر است، شاخص **SFM** بی‌تأثیر است. در کلاس‌هایی که در فواصل کوتاه ناهمگنی بالایی دارند،



شاخص FDO مفید است و باعث افزایش دقت در طبقه‌بندی آن‌ها می‌شود. شاخص RFF به صورت کاملاً تخصصی عمل می‌کند و فقط باعث افزایش دقت سه کلاس گندم دیم، علوفه‌ای و بستر رودخانه می‌شود. در شاخص‌های تخصصی دیگر نیز با وجود کاهش دقت در بعضی از کلاس‌ها، دقت کلی افزایش می‌یابد. در بین شاخص‌های معرفی شده، RDNF بهترین بازده را در عوارض خطی نشان می‌دهد و باعث افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های جاده و بستر رودخانه می‌شود. شیب تغییرات زمانی در کلاس آیش متغیر است و شاخص STD به شیب تغییرات زمانی حساس است و نسبت به سایر شاخص‌ها، STD بالاترین دقت طبقه‌بندی در کلاس آیش را نتیجه می‌دهد. در طول سال، باغات مانند نباتات علوفه‌ای (یونجه) سبز هستند؛ اما از لحاظ بافت باهم فرق می‌کنند. باغات به صورت ردیفی کشت می‌شوند و بافت ناهمگن دارند. شاخص MFM با نشان دادن تقعر و تحدب و اریوگرام، دقت طبقه‌بندی کلاس باغ را بیشتر از سایر شاخص‌ها افزایش می‌دهد.

در مطالعات بالاگوئر¹ و همکاران (2010) شاخص‌های SDT، MFM و RVF نیز به عنوان شاخص‌های مناسب مورد تأیید و استفاده قرار گرفت. شاخص‌های بافت استخراج شده از اریوگرام تأثیر خود را در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی در نه کلاس با دقت کلی بالای 92 درصد نشان می‌دهند (شکل 4).



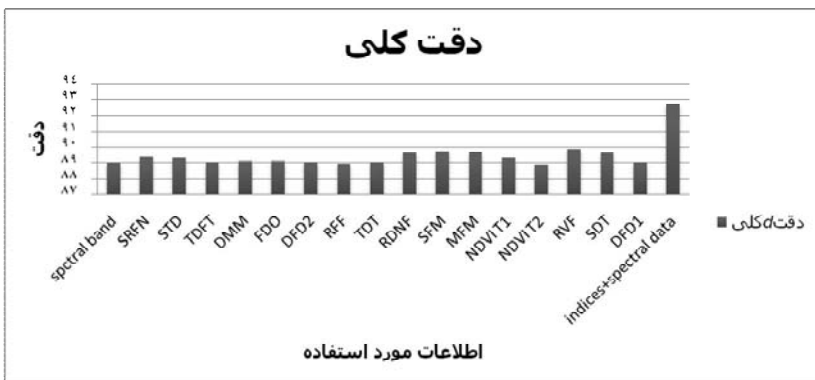
شکل 4 طبقه‌بندی باندهای طیفی به همراه شاخص‌های اریوگرام و شاخص‌های گیاهی (A) مقایسه کلاس گندم آبی در دو طبقه‌بندی (B) مقایسه کلاس بستر رودخانه در دو طبقه‌بندی (C) مقایسه کلاس بستر رودخانه در دو طبقه‌بندی

مقایسه‌ها نشان می‌دهد اغلب خطاهای ناشی از حالت گسستگی در کلاس‌های خطی (بستر رودخانه، جاده و...) و همچنین خطای جزیره‌ای و خطای omission بعد از افزودن شاخص‌ها کاهش می‌یابد. پس از استفاده از اطلاعات واریوگرام در بعضی کلاس‌ها، دقت تولیدکننده کاهش می‌یابد؛ اما اختلاف بین دقت تولیدکننده و دقت مصرف‌کننده نیز کم می‌شود (جدول 4).

جدول 4 جدول ارزیابی دقت طبقه‌بندی اطلاعات طیفی و ترکیب اطلاعات طیفی و شاخص‌ها

کلاس	باندهای طیفی		باندهای طیفی + شاخص‌ها	
	دقت تولیدکننده	دقت مصرف‌کننده	دقت تولیدکننده	دقت مصرف‌کننده
گندم آبی	86.14	97.6	92.25	98/33
آیش	91.78	97.77	95.34	96/79
باغ	76.93	56.65	75.10	59.89
نیانات علوفه‌ای	94.55	88.77	94.42	92.19
جاده	77.19	16.19	86.52	16.16
مسکونی	95.71	99.62	91.53	99.77
ردیف درخت	96.13	81.79	75.54	75.38
گندم دیم	96.5	16.86	95.38	38.98
بستر رودخانه	97.94	38.01	99.25	44.58

در شکل شماره پنج دقت کلی شاخص‌ها و باندهای طیفی در طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین با هم مقایسه شده‌اند.



شکل 5 مقایسه دقت کلی حاصل از باندهای طیفی، شاخص‌ها و ترکیب آن‌ها



4- نتیجه‌گیری

شاخص‌های پیشنهادشده در تفکیک کلاس‌های ناهمگن پتانسیل بالایی دارند و در مورد شکل، شیب و دیگر ویژگی‌های مهم واریوگرام اطلاعات مفیدی را بازگو می‌کنند. مزیت دیگر آن‌ها این است که به‌سادگی توصیف می‌شوند. از نظر تأثیرپذیری از شاخص‌ها، کلاس آیش وضعیت ویژه‌ای را نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که استفاده از غالب شاخص‌ها باعث افزایش دقت آن‌ها می‌شود. از نظر افزایش دقت کلی، از بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص‌های RNF، SRFN، SDT، FMF، SFM و RVF عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهد دقت کلی بعد از استفاده از شاخص‌ها حدود 4 درصد افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش دقت مربوط به کلاس جاده با افزایش حدود 9 درصد است. بالاترین دقت زمانی به‌دست می‌آید که همه مؤلفه‌های شاخص‌های استخراج‌شده از واریوگرام همراه با اطلاعات طیفی به‌کار می‌روند. بنابراین، پارامترهای استخراج‌شده از واریوگرام متغیرهای زیادی را شامل می‌شوند و باعث افزایش عملکرد فرایند طبقه‌بندی می‌شوند. برخی از شاخص‌ها نیز می‌توانند در تفکیک اهداف و موارد خاص عملکرد بازده مناسبی داشته باشند. بنابراین، مفید بودن شاخص بسته به هدف یا اهداف طبقه‌بندی و نوع کلاس‌ها و باندهای طیفی مورد استفاده، ممکن است متفاوت باشد.

5- منابع

- حسینی، رضا، سعید همایونی و محمدرضا سراجیان، «طبقه‌بندی تصاویر سنجنش از دور فراطیفی به کمک ماشین‌های بردار پشتیبان» در همایش ژئوماتیک، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، 1388.
- Aguera, F. J. A. & M. A. Aguilar, "Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping plastic greenhouses", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Pp. 635-646, 2008.

- Atkinson, P. M.* & P. Lewisb, "Geostatistical classification for remote sensing", *an introduction Computers & Geosciences*, Pp. 361-371, 1999.
- Balaguera, A., L. A. Ruizb, T. Hermosillab & J. A. Reciob, "Definition of a comprehensive set of texture semivariogram features and their evaluation for object-oriented image classification", *Computers & Geosciences*, Pp. 231-240, 2010.
- Berberoglu, S. A*, P. J. B. Curran, C. D. C. Lloyd & P. M. D. Atkinson, "Texture classification of Mediterranean land cover", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, No. 9, Pp. 322-334, 2006.
- Chile', S. & J. P. Delfiner, *Geostatistics. Modeling Spatial Uncertainty*, Wiley, New York, NY, 1999.
- Haralick, R. M., K. S. Shanmugam & I. Dinstein, "Textural features for image classification", *IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics*, No. 3, Pp. 610-622, 1973.
- Jakomulska, A. & K. C. Clarke, "Variogram-Derived Measures Of Textural Image Classification", *Geostatistics for Environmental Applications*, Pp. 345-355, 2001.
- Mallinis, G. A., N. Koutsiasb, M. Tsakiri-Stratic & M. Karterisa, "Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Pp. 237-250, 2008.
- Murray^a, H. A. L. & R. Williams^c *, "Texture-based classification of sub-Antarctic vegetation communities on Heard Island", *International*

Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, xxx–xxx,
2010.

- Warren, B., A. Cohen, A. Thomas, Spiesa and Gay A. Bradshawb,
Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy
structure, *Remote Sensing of Environment*, Pp. 167-178, 2003.