

انتخاب بهترین روش طبقه‌بندی در تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی حوضه آبخیز بهشت گمشده، استان فارس)

محمد کاظمی*^۱، احمد نوحه گر^۲، میرداد میردادی^۳
تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۳

چکیده

لازمه اتخاذ اطلاعات دقیق از فناوری سنجش از دور، طبقه‌بندی اصولی و دقیق تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. نقشه کاربری اراضی یکی از فاکتورهای اساسی در مطالعات منابع طبیعی و مدیریت محیط زیست می‌باشد. اغلب تهیه نقشه کاربری اراضی یک منطقه یکی از پرهزینه‌ترین بخش‌های پروژه‌های زیست محیطی و منابع طبیعی است. در سال‌های اخیر محققان برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرده‌اند. هر یک از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر دارای معایب و مزایایی می‌باشند. در تحقیق حاضر هدف انتخاب بهترین روش طبقه‌بندی تصویر OLI ماهواره لندست ۸ در تهیه نقشه کاربری اراضی بود. بر این اساس از ۸ الگوریتم مختلف طبقه‌بندی نظارت شده جهت استخراج نقشه کاربری اراضی منطقه بهشت گمشده استفاده شد. نتایج نشان داد که روش‌های حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۸/۹۳ و ۹۸/۷۳ و ضریب کاپا به ترتیب ۹۸/۴۱ و ۹۸/۰۹ درصد نسبت به روش‌های دیگر دارای دقت بالاتری هستند. اولویت‌بندی دقت روش‌های ۸ گانه به ترتیب حداکثر احتمال^۴، ماشین بردار پشتیبان^۵، فاصله ماهالانوبی^۶، واگرایی اطلاعات طیفی^۷، نقشه بردار زاویه طیفی^۸، حداقل فاصله^۹، کدهای باینری^{۱۰} و سطوح موازی^{۱۱} بود. روش حداکثر احتمال بیشترین اطمینان طبقه‌بندی با میزان ۹۸/۸۳ درصد را در سطح اعتماد ۱ درصد به خود اختصاص داد و این تکنیک دقیق‌ترین، روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بود.

کلمات کلیدی: کاربری اراضی، دقت، طبقه‌بندی، ماشین بردار پشتیبان، سنجنده OLI، بهشت گمشده

۱- نویسنده مسئول: دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان، Mohamad.kazemi86@Gmail.com

۲- استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پردیس دانشگاه هرمزگان

⁴ ML
⁵ SVM
⁶ MAH
⁷ SID
⁸ SAM
⁹ MD
¹⁰ BE
¹¹ PP

مقدمه

طبقه بندی معرفی شده است (ریاحی- بختیاری، ۱۳۷۹؛ ساروئی، ۱۳۷۸؛ هوآنگ و تونشند^۸، ۲۰۰۲؛ ریچاردس^۹، ۱۹۹۹). در این روش کاربر باید دقت کند که کلاس‌بندی از توزیع نرمال گوسی پیروی کند و این روش برای کلاس‌های چند طیفی مناسب‌تر است. در این روش با استفاده از عامل شدت احتمال، هر یک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه احتمال تعلق آن‌ها به گروه-های طیفی نمونه، به گروه مربوطه تعلق می-گیرد (احمدپور، ۱۳۸۹). ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های جدیدی است که جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی استفاده می-شود. تحقیقات در مورد پیدا کردن روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای همچنان ادامه دارد. ماشین بردار پشتیبان از روش‌های است که اخیراً معرفی شده است (جنسن^{۱۰}، ۲۰۰۵).

یکی از مزایای این روش یک در مقابل یک است، به عبارتی دسته‌ها به وسیله خط یا ابرصفحه‌هایی از هم جدا می‌شوند و این خطوط بیان می‌کند که پیکسل مورد نظر جزء این دسته هست یا جزء دسته دیگر و به وسیله این ابرصفحه‌ها تفکیک می‌گردد و حال نزدیک‌ترین داده‌های آموزشی به ابرصفحه‌های جداکننده ماشین بردار پشتیبان نامیده می-شود. همچنین این روش با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌تواند دقت تصویر کلاس بندی

داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم-هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان جهت تهیه نقشه کاربری اراضی می باشد (پال و می‌تر^۱، ۲۰۰۵). تجزیه و تحلیل این داده‌ها می‌تواند بینش‌های صحیح جهت تعامل انسان با محیط طبیعی فراهم کند. به خصوص استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی می‌تواند به انسان جهت شناسایی پوشش زمین کمک کند (برایان و میکائیل^۲، ۲۰۱۱). استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی مغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها (ریچارد و جیا^۳، ۲۰۰۶) و امکان به کارگیری سخت افزارها و نرم افزارها باعث شده که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با استقبال خاصی روبه‌رو شود (زاهدی‌فرد، ۱۳۸۱). به طور کلی می‌توان روش‌های طبقه‌بندی را به دو روش نظارت شده و نظارت نشده تقسیم‌بندی نمود (امن^۴، ۲۰۰۸)، که می‌توان در روش نظارت-شده به روش‌های حداکثر احتمال، شبکه‌عصبی و ماشین بردار پشتیبان^۵ اشاره نمود. در حقیقت فرآیند طبقه‌بندی، تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک هست (مونت‌راکیس^۶، ۲۰۱۱). روش حداکثر احتمال شباهت یکی از کارآترین روش‌های طبقه بندی تصاویر می-باشد (جنسن^۷، ۲۰۰۵). در اکثر تحقیقات و مطالعات این روش به عنوان دقیق‌ترین روش

¹ Pal and Mather

² Brian and Michael

³ Richard and Jia

⁴ Ommen

⁵ Support Vector Machine

⁶ Mountrakis

⁷ Jensen

⁸ Huang and Townshend

⁹ Richards

¹⁰ Jensen

است که پایه آن بر اساس طبقه‌بندی طیفی است. در این روش از یک زاویه بدون بعد برای نسبت دادن پیکسل‌های مورد نظر به طیف بانندی استفاده می‌شود (کروز^۵ و همکاران، ۱۹۹۳). جهت انجام بارزسازی رادیومتری از الگوریتم متعادل‌سازی هیستوگرام و جهت انجام تصحیح رادیومتری از روش نسبی در نرم‌فزار ENVI4.8 استفاده می‌شود. روش طبقه‌بندی واگرایی اطلاعات طیفی^۶ یک روش طبقه‌بندی طیفی است که از اندازه واگرایی برای تطابق پیکسل‌ها به طیف مورد نظر استفاده می‌کند. در این روش هرچه واگرایی کمتر باشد احتمال شباهت پیکسل‌ها بیشتر است. همچنین پیکسل‌های با واگرایی بیشتر از حداکثر آستانه تعیین شده طبقه‌بندی نمی‌شوند (دو^۷ و همکاران، ۲۰۰۴). روش طبقه‌بندی کدهای باینری یک روش طبقه‌بندی ساده تصاویر ماهواره‌ای هست که این روش داده‌ها و طیف‌ها را بر اساس اینکه یک باند بالاتر و پایین‌تر از میانگین طیفی باشد به ترتیب بین صفر و یک کدهی می‌کند (می‌زر^۸ و همکاران، ۱۹۸۸).

از جمله مطالعات انجام شده بر روی روش‌های طبقه‌بندی می‌توان به مطالعات زیر اشاره داشت، راهداری و همکاران (۱۳۸۸) در استان اصفهان به مقایسه روش‌های مختلف پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها روی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره IRS نشان داد که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با ضریب کاپا

شده خوبی ارائه دهد و این مزیت سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت کار می‌شود (گوآلتری و کرامپ^۱، ۱۹۹۸).

روش طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین روشی است که پس از تعیین مقادیر میانگین طیفی در هر باند، با مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی هر طبقه را به خود اختصاص داده، فاصله هر پیکسل طبقه بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و سپس پیکسل مورد نظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله با میانگین را دارد. روش طبقه‌بندی سطوح موازی یکی از روش‌های رایج طبقه‌بندی بندی تصاویر است. در این روش بر اساس نمونه‌های تعلیمی تعریف شده برای طبقه بندی در هر کلاس حداکثر و حداقل ارزش پیکسل تعیین می‌شود و بر این اساس طبقه بندی تصاویر انجام می‌پذیرد. مهمترین دلیل عدم استفاده زیاد از این روش، عدم طبقه بندی بعضی از پیکسل‌های تصویر می‌باشد. روش طبقه‌بندی فاصله ماهالانوبی^۲ از دیگر روش‌های طبقه‌بندی می‌باشد. این روش بسیار شبیه به روش حداقل فاصله از میانگین می‌باشد با این تفاوت که در این روش از ماتریس کواریانس نیز استفاده می‌گردد و در این روش فرض می‌شود که هیستوگرام باندها به صورت نرمال می‌باشد (لو و ونگ^۳، ۲۰۰۷).

روش طبقه‌بندی نقشه‌بردار زاویه طیفی^۴ یکی از روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

⁵ Kruse

⁶ Spectral Information Divergence

⁷ Du

⁸ Mazer

¹ Gualtieri and Cromp

² Mahalanobis Distance

³ Lu and Weng

⁴ Spectral Angle Mapper

باشد. الیزابت و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه- ای در قسمتی از ایالت آریزونا در آمریکا به بررسی مقایسه چند روش تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر TM پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش حداکثر احتمال جهت تهیه نقشه کاربری اراضی دارای دقت بسیار بالاتری می‌باشد. از دیگر مطالعات انجام شده می‌توان به پرومال و باسکاران (۲۰۱۰)، راجش و یوجی (۲۰۰۹) اشاره نمود. جمع‌بندی سوابق تحقیق نشان داد در اکثر تحقیقات تنها چند روش طبقه‌بندی بکار رفته و در تحقیق حاضر با تعدد روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت- شده سعی بر یافتن بهترین روش با بالاترین دقت و صحت بروی تصاویر ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI بود.

مواد و روش‌ها

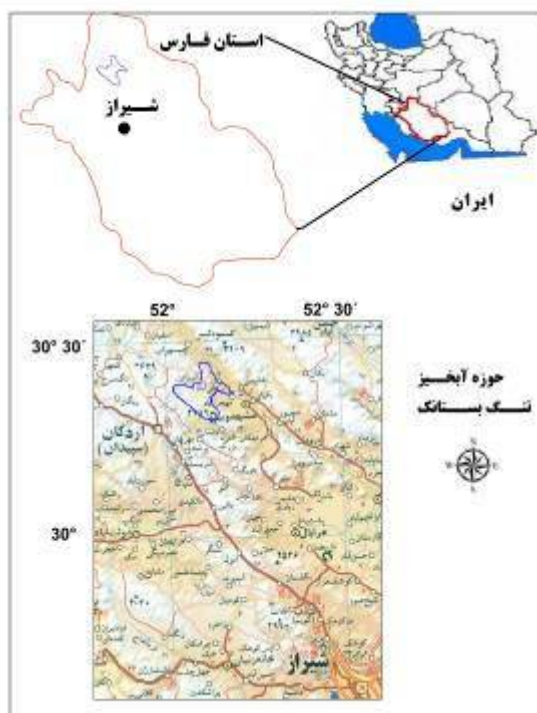
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز بهشت گمشده با مساحت 2 km^2 $81/73$ ، در حدود 80 کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز و در موقعیت جغرافیایی $33'' 43$ $03^{\circ} 52'$ تا $36^{\circ} 13'$ 52° شرقی و $33^{\circ} 16'$ 30° تا $18^{\circ} 25'$ 30° زون شمالی واقع شده است (شکل ۱).

۰/۹۰ دارای بیشترین دقت می‌باشد. ریاحی بختیاری (۱۳۷۹) در مطالعه‌ای در دشت ارژن فارس به مقایسه روش‌های مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که روش هیبرید نسبت به روش‌های بصری و حداکثر احتمال دارای دقت بالاتری (ضریب کاپا ۰/۵۱) می‌باشد. از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به زاهدی فرد (۱۳۸۱)، فتاحی و همکاران (۱۳۸۶) و سفینیان و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود. الاحمدی و هامس (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای در مناطق خشک عربستان سعودی به مقایسه چهار روش طبقه‌بندی نظارت نشده و نظارت شده (حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله ماهالانویی) با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپا ۰/۶۸ ضریب ۰/۶۸ ضریب بیشترین دقت می‌باشد. سو^۱ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های ماهواره MISR نشان دادند که با استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال حتی می‌توان با دو سوم داده‌ها به دقتی رسید که با کل داده‌ها قابل دستیابی هست. دمورت (۱۹۹۸) در مطالعه‌ای در هند با استفاده از تصاویر سنجنده TM به تهیه نقشه کاربری اراضی در مناطق استخراج زغال سنگ پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که روش حداکثر احتمال با ضریب صحت ۰/۸ دارای بیشترین دقت می

¹ Su

۱۵۰ صحنه اطلاعاتی بیشتر در روز (۴۰۰ تصویر در روز). بهبود قدرت تفکیک رادئومتریکی از ۸ بیت به ۱۲ بیت و امکان توصیف بهتر پوشش زمین. افزایش نسبت سیگنال به نویز (SNR) (Beiranvand Pour and Hashim, ۲۰۱۵). تصویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به تیرماه سال ۲۰۱۵ می باشد که از سایت USGS دریافت شد. همچنین جهت تدقیق و بالانس کردن ژئورفرنس تصویر و تصحیح خطای هندسی از لایه وکتوری آبراهه ها و جاده ها و همچنین جهت تصحیح خطای رادئومتری از روش نسبی استفاده شد. برای افزایش قدرت تفکیک مکانی تصویر با استفاده از روش HVS به ادغام باند پانکروماتیک (باند ۸) با باندهای مرئی دیگر شد. در قسمت ساختن لایراستکینگ (یک دسته کردن همه باندها) نیز عملیات ریسمپل برای تغییر سایز پیکسل - ها انجام گرفت.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و استان فارس (منطقه بهشت گمشده استان فارس)

مواد

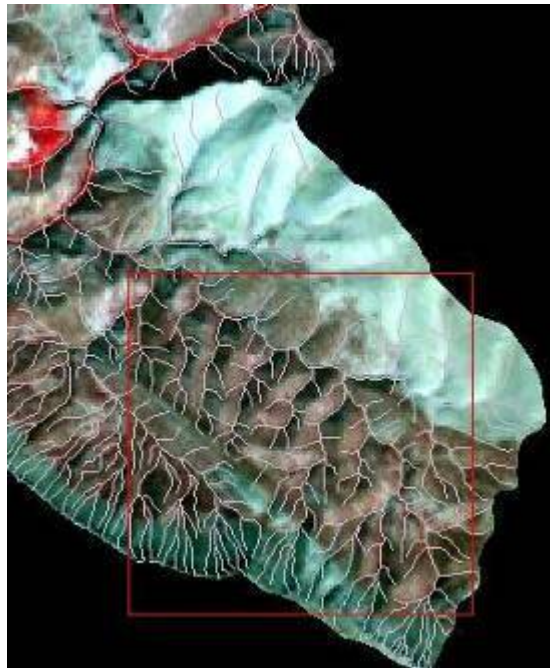
ماهواره لندست ۸ که در تاریخ ۴ فوریه ۲۰۱۳ از کالیفرنیا به فضا پرتاب شد، اخذ مستمر داده و در دسترس بودن داده های لندست را با استفاده از دو سنجنده، یکی سنجنده تصویر بردار عملیاتی زمین (OLI) و دیگری سنجنده مادون قرمز حرارتی (TIRS) برعهده دارد. قابلیت ها و مزایای سنجنده OLI نسبت به سنجنده ETM+ لندست ۷ موارد ذیل می باشند: قدرت تفکیک طیفی بهتر با محدوده های باندهای باریک تر و ۲ باند طیفی بیشتر (اخذ اطلاعات در ۹ باند طیفی). افزایش چهار برابری دقت ثبت ژئودتیک مطلق تصاویر. تغییر هندسه تصویر برداری از Whisk broom به Push Broom و در نتیجه اخذ

خصوصیات باندهای طیفی سنجنده OLI و TIRS لندست ۸

نام سنجنده	باند طیفی	طول موج	قدرت تفکیک	عرض تصویربرداری
OLI	باند ۱- باند Coastal/Aerosol	۰/۴۳۳ - ۰/۴۵۳ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۲- آبی	۰/۴۵۰ - ۰/۵۱۵ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۳- سبز	۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۰ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۴- قرمز	۰/۶۳۰ - ۰/۶۸۰ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۵- مادون قرمز نزدیک	۰/۸۴۵ - ۰/۸۸۵ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۶- مادون قرمز طول موج کوتاه	۱/۵۶ - ۱/۶۶ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۷- مادون قرمز طول موج کوتاه	۲/۱ - ۲/۳ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
TIRS	باند ۸ - Panchromatic	۰/۵ - ۰/۶۸ میکرومتر	۱۵ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۹- Cirrus	۱/۳۶ - ۱/۳۹ میکرومتر	۳۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۱۰- مادون قرمز حرارتی	۱۰/۳ - ۱۱/۳ میکرومتر	۱۰۰ متر	۱۸۵ کیلومتر
	باند ۱۱- مادون قرمز حرارتی	۱۱/۵ - ۱۲/۵ میکرومتر	۱۰۰ متر	۱۸۵ کیلومتر

روش کار

جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش های طبقه بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی، فاصله ماهالانویی، نقشه بردار زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی و کدهای باینری استفاده گردید. به این ترتیب که برای کاربری های موجود در منطقه با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه موقعیت یاب جهانی نمونه های تعلیمی (برای هر نمونه پلی گون برداشت شد) برای هر کاربری در منطقه تهیه گردید. نمونه های تعلیمی به دو دسته تقسیم بندی گردید، که یک دسته جهت استفاده در طبقه بندی و دسته دوم جهت بررسی صحت طبقه بندی استفاده شد. ۱۰۰ نمونه تعلیمی از منطقه برداشت شد که ۷۰ نمونه جهت طبقه بندی و ۳۰ نمونه جهت تست دقت استفاده شد. قابل ذکر است که پلی گون های نمونه های تعلیمی با استفاده از نرم افزار Map Source از دستگاه موقعیت-یاب جهانی تخلیه و بشکل فایل های شیپ (Shape file) به سیستم اطلاعات جغرافیایی وارد گشت. تصحیح هندسی تصویر با ۱۷ نقطه زمینی انجام گرفت. شکل ۲ قرارگیری آبراهه ها را در بستر پس از تصحیح هندسی نشان می دهد.



شکل ۲. بالانس شدن آبراهه‌ها در بستر بعد از انجام تصحیح هندسی (جنوب غربی منطقه بهشت گمشده)

دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس
خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق
رابطه زیر بدست می‌آید:
رابطه (۱):

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii}$$

در این رابطه OA دقت کلی، N تعداد پیکسل -
های آزمایشی، $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی
ماتریس خطا. به دلیل ایرادات وارده به دقت
کلی در محاسبات اجرایی که مقایسه دقت
طبقه‌بندی مورد توجه هست، از شاخص کاپا
استفاده می‌شود، چون ضریب کاپا پیکسل‌های
نادرست طبقه‌بندی شده را مد نظر قرار می -
دهد. ضریب کاپا از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.
رابطه (۲):

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100$$

صحت طبقه‌بندی
لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی،
آگاهی از درستی و صحت آن است. بعد از
طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از
نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی
دخالت داده نشده‌اند، اقدام به ارزیابی صحت
تصویر طبقه‌بندی شده می‌گردد. در تحقیق
حاضر از ضرایب صحت کلی^۱، ضریب کاپا^۲،
صحت تولیدکننده، صحت کاربر، خطای لحاظ
شده^۳ و خطای حذف شده^۴ استفاده شد.
همچنین حداقل اطمینان طبقه‌بندی برای هر
الگوریتم بر اساس روش جنسن^۵ محاسبه شد.

¹ Overall accuracy
² Kappa coefficient
³ Commission
⁴ Omission
⁵ Jensen

مورد نظر نبوده ولی طبقه بندی کننده آن ها را جزء آن کلاس خاص در نظر گرفته است. خطای حذف شده (Oe) مربوط به آن درصد از پیکسل هایی است که در واقعیت زمینی مربوط به کلاس مورد نظر است ولی جزء کلاس های دیگر طبقه بندی شده اند. در نهایت حدود اطمینان کلاس های طبقه بندی شده براساس روش جنسن در سطوح آماری ۱ درصد بر اساس رابطه برآورد گردید. رابطه (۷):

$$S = P - (Z(PQ/N))^{0.5} + (50/N)$$

که: r = درصد سطوح آماری، P = درصد نمونه های درست طبقه بندی شده، Q = درصد نمونه های غلط طبقه بندی شده که از رابطه $Q = (100 - P)$ برآورد گردید. N = تعداد نمونه، Z = مقادیر تبدیل شده r بر اساس جدول Z که از رابطه $Z = (100 - r)/100$ برآورد گردید. S = درصد حداقل اطمینان. بعد از انجام عملیات طبقه بندی با استفاده از رمز حوضه آبخیز تصویر برش داده شد.

نتایج و بحث

نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه شامل کاربری های جنگل، مراتع، باغات و کشاورزی تهیه شده از روش های طبقه بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی، فاصله ماهالانویی، نقشه زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی و کدهای باینری در شکل های ۳ تا ۱۰ آورده شده است.

که در رابطه بالا P_0 پیکسل های درست طبقه بندی شده مشاهداتی و P_C توافق مورد انتظار در مورد پیکسل ها می باشد. دقت تولیدکننده احتمال این که یک پیکسل در تصویر کلاس بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال اینکه یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه بندی شده قرار بگیرد می باشد که از روابط زیر محاسبه می گردند: رابطه (۳):

$$PA = \frac{t_a}{g_a} \times 100$$

رابطه (۴):

$$UA = \frac{t_a}{n_1} \times 100$$

در این روابط PA درصد دقت کلاس a برای دقت تولیدکننده، t_a تعداد پیکسل های صحیح طبقه بندی شده به عنوان کلاس a ، g_a تعداد پیکسل های کلاس a در واقعیت زمینی، UA درصد دقت کاربر، n_1 برای دقت کاربر، n_1 تعداد پیکسل های کلاس a در نتیجه طبقه بندی می باشند. همچنین خطای گماشته شده و خطای حذف شده از روابط زیر محاسبه می شوند:

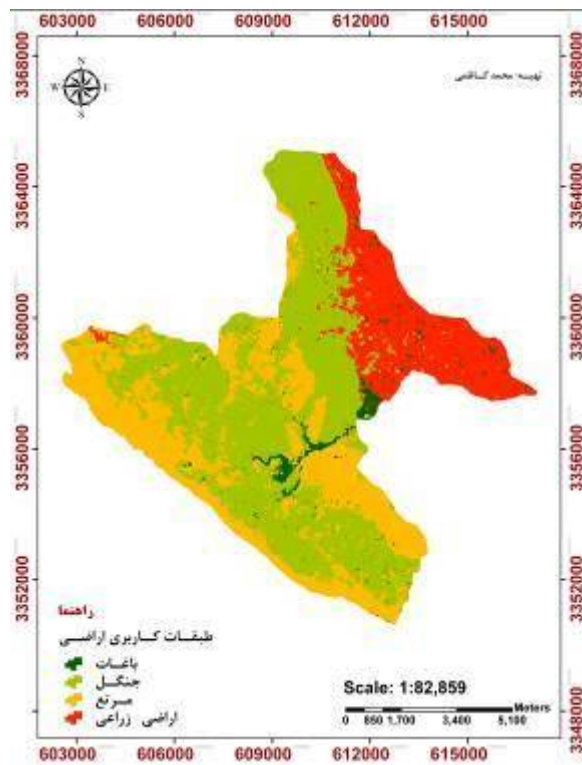
رابطه (۵):

$$C_g = 1 - UA$$

رابطه (۶):

$$O_g = 1 - PA$$

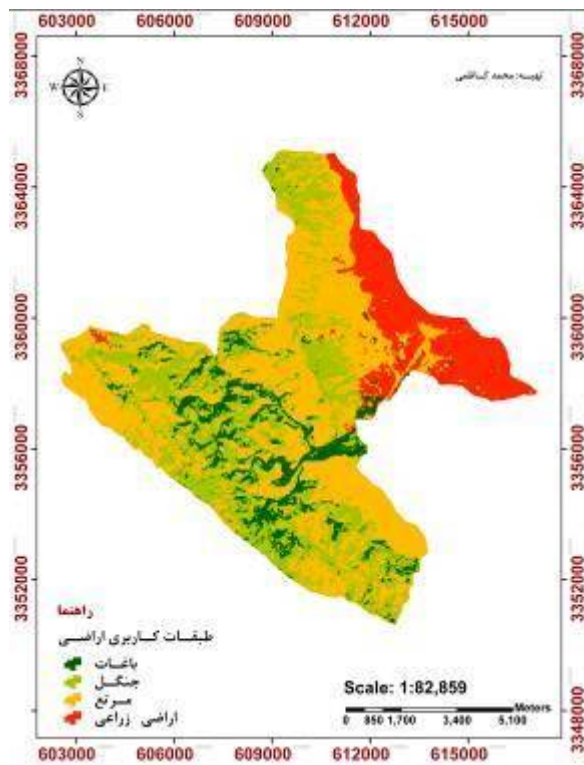
خطای گماشته شده (Ce) که بر اساس دقت کاربر محاسبه می گردد، معادل آن درصد از پیکسل هایی است که در واقع متعلق به کلاس



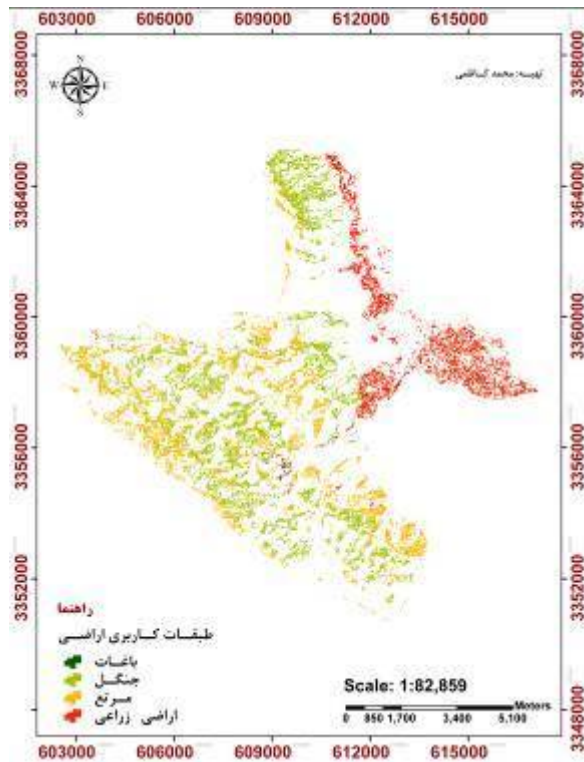
شکل ۳. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم فاصله ماهالانوبیس



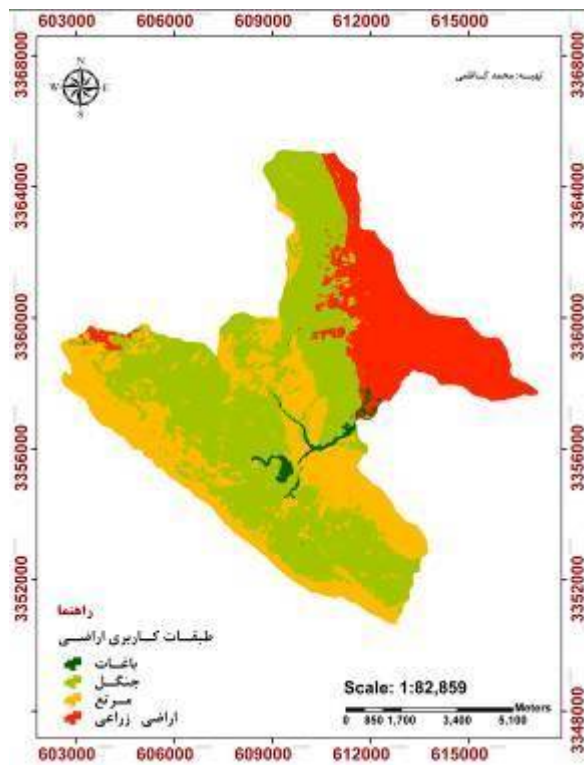
شکل ۴. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم کدهای باینری



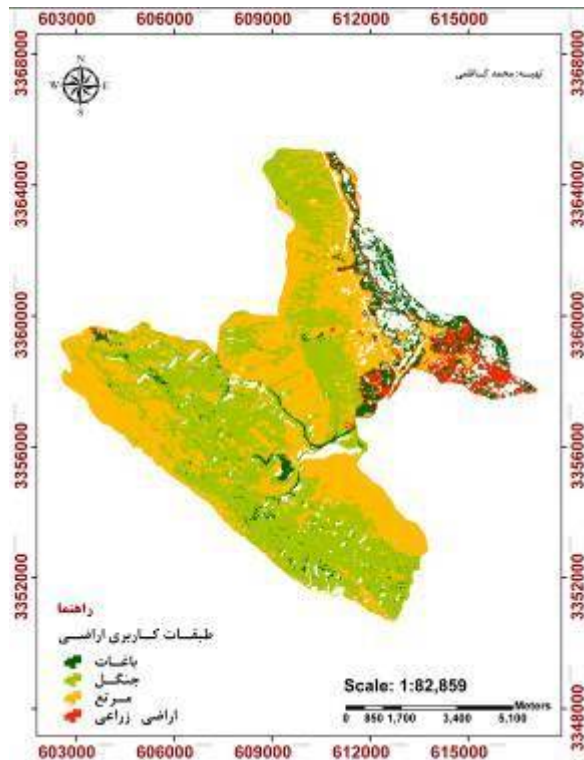
شکل ۵. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم حداقل فاصله



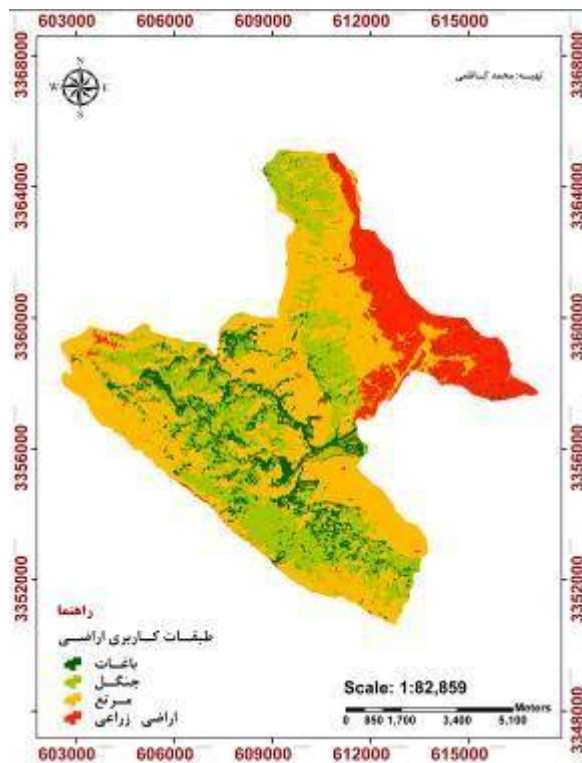
شکل ۶. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم سطوح موازی



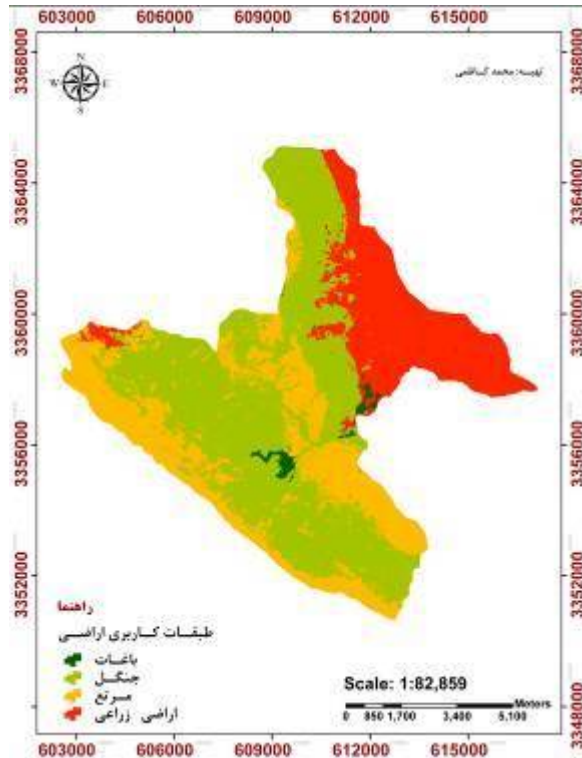
شکل ۷. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان



شکل ۸. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم نقشه بردار زاویه تطبیقی



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم واگرایی طیفی



شکل ۱۰. نقشه کاربری اراضی با الگوریتم حداکثر احتمال

در جدول ۲ نیز نتایج ضرائب صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولید کننده، صحت کاربر، خطای لحاظ شده و خطای حذف شده، نشان داده شده است. نتایج حاصل از آنالیزهای

بردار پشتیبان را به‌عنوان بهترین روش گزینش کردند. از مزایای روش ماشین بردار پشتیبان می‌توان به قابلیت تهیه نقشه کلاس-بندی با دقت بالاتر با استفاده از نمونه‌های تعلیمی کوچک نسبت به روش‌های دیگر طبقه‌بندی اشاره کرد. از نتایج تحقیق حاضر می‌توان جهت تهیه نقشه کاربری اراضی با دقت بالاتر با استفاده از روش‌های حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان در کارهای ارزیابی زیست محیطی و منابع طبیعی در مناطق با شرایط مشابه استفاده نمود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد روش رایج حداکثر احتمال روش مناسبی جهت طبقه‌بندی کاربری‌ها و روش رایج حداقل فاصله مناسب نیست و بهتر است از روش‌های یاد شده استفاده گردد. همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود روش حداکثر احتمال دارای کمترین میزان خطای حذف شده و گماشته شده روی طبقات مختلف و نیز بالاترین دقت کاربر می‌باشد.

آماري ضرائب صحت نشان داد که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپای ۹۸/۴۱ درصد و صحت کلی ۹۸/۹۳ درصد دارای بیشترین دقت می‌باشد. بعد از روش حداکثر احتمال، روش ماشین بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۹۸/۰۹ درصد و صحت کلی ۹۸/۷۳ بیشترین دقت را دارند. تحقیقات نشان داده‌است که روش ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های بسیار دقیق می‌باشد (هاپکینز^۱، ۱۹۸۸). یکی از مزایای روش ماشین بردار پشتیبان این است که می‌تواند مشکلات موجود در اختلاف غیرمتعادل میان نمونه‌های تعلیمی را حل کند (جنسن، ۲۰۰۵). نتایج نشان داد کمترین دقت را الگوریتم‌های سطوح موازی و کدهای باینری دارند. در این روش‌ها مناطق وسیعی از محدوده مطالعاتی طبقه‌بندی نشدند. در بیشتر تحقیقاتی که در زمینه مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر می‌باشند روش‌های بیشترین احتمال و ماشین بردار پشتیبان را بعنوان روش‌هایی قوی معرفی نموده‌اند. از آن‌جمله تحقیق برایان و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای در تایلند به مقایسه سه روش ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال و شبکه عصبی در تهیه نقشه کاربری اراضی پرداختند. نتایج تحقیق نامبردگان نشان داد روش ماشین بردار پشتیبان با ۹۴/۱۵ ضریب کاپا دقیق‌ترین روش بوده و روش حداکثر احتمال در رده بعدی قرار داشته‌است. همچنین نتایج تحقیق هوآنگ و همکاران (۲۰۰۲) نیز روش ماشین

¹ Hopkins

جدول ۲. ضرائب صحت روش های ۸ گانه طيقه بندی نظارت شده در منطقه بهشت گمشده

روش طبقه بندی	نوع کاربری اراضی	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	خطای لحاظ شده	خطای حذف شده	ضریب کاپا	صحت کلی
حداکثر احتمال	کشاورزی	۹۹/۷۵	۹۸/۸۲	۰/۲۵	۱/۱۸	۹۸/۴۱	۹۸/۹۳
	جنگل	۹۸/۷۴	۹۹/۰۱	۱/۲۶	۰/۹۹		
	مراتع	۹۹/۲۹	۹۸/۹۲	۰/۷۱	۱/۰۸		
	باغات	۸۸/۳۳	۹۹/۲۵	۱۱/۶۷	۰/۷۵		
ماشین بردار پشتیبان	کشاورزی	۹۹/۶۹	۹۸/۹۹	۰/۳۱	۱/۰۱	۹۸/۰۹	۹۸/۷۳
	جنگل	۹۸/۴۸	۹۸/۵۷	۱/۵۲	۱/۴۳		
	مراتع	۹۸/۷۹	۹۸/۹	۱/۲۱	۱/۱		
	باغات	۹۱/۷۱	۹۵/۳۲	۸/۲۹	۴/۶۸		
فاصله ماهالانوبی	کشاورزی	۱۰۰	۹۴/۹۳	۰	۵/۰۷	۹۳/۹۸	۹۵/۹۸
	جنگل	۹۶/۲۵	۹۵/۲۵	۳/۷۵	۴/۷۵		
	مراتع	۹۶/۴۷	۹۷/۴۳	۳/۵۳	۲/۵۷		
	باغات	۵۹/۹	۹۲/۳۲	۴۰/۱	۷/۶۸		
واگرایی اطلاعات طیفی	کشاورزی	۸۸/۰۹	۴۴/۴۳	۱۱/۹۱	۵۵/۵۷	۵۳/۳۷	۶۷/۴۹
	جنگل	۹۸/۷۶	۶۶/۳۲	۱/۲۴	۳۳/۶۸		
	مراتع	۶۷	۸۰/۶۸	۳۳	۱۹/۳۲		
	باغات	۱۱/۲۵	۹۰/۰۱	۸۸/۷۵	۸/۹۹		
زاویه طیفی	کشاورزی	۹۸/۵۶	۱۸/۷۶	۱/۴۴	۸۱/۲۴	۵۱/۶۹	۶۶/۴۹
	جنگل	۷۷/۴۷	۸۴/۱	۲۲/۵۳	۱۵/۹		
	مراتع	۷۶/۴۵	۷۷/۶۲	۲۳/۵۵	۲۲/۳۸		
	باغات	۲۰/۶۷	۸۳/۹	۷۹/۳۳	۱۶/۱		
حداقل فاصله	کشاورزی	۹۷/۷۴	۱۶/۶۲	۲/۲۶	۸۳/۳۸	۳۲/۵۶	۵۲/۳۵
	جنگل	۶۶/۵۴	۵۵/۸۹	۳۳/۴۶	۴۴/۱۱		
	مراتع	۶۱/۲۲	۶۸/۳۶	۳۸/۷۸	۳۱/۶۴		
	باغات	۷/۷۹	۸۲/۴	۹۲/۲۱	۱۷/۶		
کدهای باینری	کشاورزی	۶۲/۰۶	۲۳/۷۱	۳۷/۹۴	۷۶/۲۹	۳۶/۴۳	۵۲/۸۳
	جنگل	۸۰/۷۵	۶۳/۲۹	۱۹/۲۵	۳۶/۷۱		
	مراتع	۶۸/۹۶	۵۸/۸۴	۳۱/۰۴	۴۱/۱۶		
	باغات	۵/۸۵	۸۲/۸۷	۹۴/۱۵	۱۷/۱۳		
سطوح موازی	کشاورزی	۸۹/۲۴	۲۲/۴۶	۱۰/۷۶	۷۷/۵۴	۱۷/۷۲	۲۵/۴۷
	جنگل	۹۲/۹۷	۲۷/۹۷	۷/۰۳	۷۲/۰۳		
	مراتع	۹۲/۳۸	۲۵/۶۱	۷/۶۲	۷۴/۳۹		
	باغات	۹۳/۸۷	۱۴/۳۳	۶/۱۳	۸۵/۶۷		

ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده‌است (کیو^۱ و همکاران، ۲۰۰۴).

احمدپور و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از تصاویر سنجنده‌های Landsat ETM و IRS LISS III به مقایسه سه روش رایج حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و سطوح موازی پرداختند. نتایج تحقیق نامبردگان نشان داد روش حداکثر احتمال با ضریب کاپای ۹۰/۳۵ و ۸۷/۸ درصد در هر دو تصویر نسبت به دو روش دیگر دقت بیشتری دارد. نتایج تحقیق حاضر نیز این مهم را تأیید می‌کند، همچنین نتایج نشان داد که برداشت نمونه‌های کافی از طبقات مختلف طبیعت و کاربری اراضی احتمال تعلق هر یک از پیکسل‌های تصویر به این طبقات را افزایش می‌دهد و حصول نتایج خوب و بهتر از روش حداکثر احتمال در گرو نمونه‌های تعلیمی کافی و مناسب می‌باشد. داده‌های ماهواره لندست ۸ اخیراً از جمله پرکاربردترین منابع اطلاعاتی در مطالعات پوشش زمین است. قدرت تفکیک مکانی و طیفی نسبتاً خوب این داده‌ها می‌تواند اطلاعات خوبی را در اختیار محققان رشته‌های مختلف قرار دهد. میرزایی-زاده و همکاران (۱۳۹۳) در مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و فاصله ماهالانوبی اعلام کردند که روش حداکثر احتمال با صحت کلی ۸۴/۰۸ دقت بیشتری نسبت به روش فاصله ماهالانوبی با ضریب کلی ۸۳/۲۹ دارد. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که روش فاصله ماهالانوبی در رده سوم و بعد از روش‌های حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان قرار دارد. در اکثر مطالعات طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای روش حداکثر احتمال بعنوان دقیق-

¹ Qiu

جدول ۳. حدود اطمینان طبقه بندی الگوریتم های ۸ گانه در سطح اطمینان ۱ درصد

نام روش طبقه بندی	حدود اطمینان در سطح ۱ درصد
کدهای باینری	۵۲/۳۷
فاصله ماهالانوبی	۹۵/۸
حداقل فاصله	۵۱/۸۹
حداکثر احتمال	۹۸/۸۳
سطوح موازی	۲۵/۰۷
نقشه بردار زاویه طیفی	۶۶/۰۶
واگرایی طیفی	۶۷/۰۶
ماشین بردار پشتیبان	۹۸/۶۲

همان گونه که در جدول ۳ مشاهده می شود روش حداکثر احتمال در سطح احتمال ۱ درصد با مقدار ۹۸/۸۳ بیشترین سطح اطمینان طبقه بندی را به خود اختصاص داده است و روش سطوح موازی با ۲۵/۰۷ کمترین سطح اطمینان طبقه بندی را دارد.

نتیجه گیری

روش حداکثر احتمال که از سایر روش ها برای طبقه بندی تصویر دقیق تر هست، میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه را محاسبه کرده و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه بندی نشده به یکی از گروه ها یا نمونه های طیفی نیز استفاده می شود. بر این اساس در خروجی های این روش مناطق طبقه بندی نشده و یا مناطق خالی و گپ (GAP) کمتر دیده می شود. چنانکه

این مناطق گپ در روش های نقشه بردار زاویه طیفی و یا کدهای باینری بیشتر از سایر روش ها دیده می

شوند. در روش حداکثر احتمال برای بررسی نحوه توزیع ارزش های طیفی و احتمال آماری ارتباط یک پیکسل با یکی از گروه های نمونه از ماتریس واریانس و بردار میانگین که خود واریانس و همبستگی ارزش های طیفی را تعریف می کنند، استفاده می شود. بر این اساس برای افزایش دقت این روش و بازدهی مناسب آن نسبت به سایر روش های طبقه بندی از جمله ماشین بردار پشتیبان تعداد مناسب و بیشتر نمونه های تعلیمی الزامی می باشد. در صورت محقق نشدن تعداد مناسب نمونه های آموزشی و کم بودن تعداد آنها روش ماشین بردار پشتیبان جایگزین روش حداکثر احتمال شده و نتایج با دقت تری ارائه

صحرايي و نيز ويژگي‌هاي اکوسيستم منطقه روش خاصي را طلب مي‌کند. اما در کل با توجه به موارد يادشده روش‌هاي حداکثر احتمال و ماشين بردار پشتيبان قوي‌تر از ساير الگوريتم‌هاي طبقه‌بندی و با خطاي کمتری عمليات تفکيک پوشش سطح زمين را انجام مي‌دهند.

می‌کند. چنانچه در مطالعه حاضر نیز این روش با فاصله کمی از روش حداکثر احتمال قرار گرفت. همچنین در تفکيک و طبقه‌بندی پوشش‌هاي مختلف سطح زمين نوع الگوريتم از اهميت خاصي برخوردار است، بطوريکه علاوه بر داده‌هاي در دسترس، ميزان و نوع نمونه‌برداري‌هاي

References

1. Al-Ahmadi, F. S. and A. S. Hames. 2009. Comparison of four classification methods to extract land use and land cover from raw satellite images for some remote arid areas, Kingdom of Saudi Arabia. *JKAU, Earth Science*, 20 (1): 167-191.
2. Brian, W. S., C. Qi and B. Michael. 2011. A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*, 31: 525-532.
3. Elizabeth, A. W., L. William, C. G. Stefanov and H. Diane. 2006. Land use and land cover mapping from diverse data sources for an arid urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems* 30 (3): 320-346.
4. Gualtieri, J. A and R. F. Cromp. 1998. Support vector machines for hyperspectral remote sensing classification. In: *Proceedings of the 27th AIPR Workshop: Advances in Computer Assisted Recognition*, Washington, DC, 27 October. SPIE, Washington, DC, pp. 221-232.
5. Hopkins, P. F., A. L. Maclean and T. M. Lillesand. 1988. Assessment of thematic mapper imagery for forestry application under lake states conditions, *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 54 (1): 61-68.
6. Huang, C., L. S. Davis and J. R. G. Townshend. 2002. An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (4): 725-749.
7. Jensen, J. 2005. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 526 pp.
8. Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. B. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon and A. F. H. Goetz. 1993. The spectral image processing system (SIPS) - interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sensing of the Environment*, 44: 145 - 163.
9. Lu, D. and Q. Weng. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (5): 823-870.
10. M , M. Fattahi; A.A.Noroozi ; A.A.Abkar; A.Khalkhali (1997). Comparison of methods for classification and creating landuse map in arid region by using satellite images. *Pajouhesh & Sazandegi* No: 76 pp: 122-135. (in Persian)
11. Mazer, A. S., M. Martin, M. Lee and J. E. Solomon. 1988. Image processing software for imaging spectrometry analysis, *Remote Sensing of the Environment*, 24 (1): 201-210.
12. Mirzaeizadeh, V; Niknezhad, M; Mahdavi, A , (2014). Comparison of Maximal Probability and Mahalanobi Distance Classification Methods in Forest Planning (Case Study: Bioreh Region, Ilam Province). *Fourth International Conference on Ecological Challenges and Tree Histology*, Caspian Ecosystem Research Institute, May, 2014, Sari, Iran. (in Persian)

13. Mountrakis, G., Im, J. and Ogole, C., 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 13, 247–259.
14. Ommen, T., 2008. An objective analysis of Support Vector Machine based classification for remote sensing. *Mathematical Geosciences*, 40, 409–424.
15. Pal, M. and P. M. Mather. 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 26 (5): 1007-1011.
16. Perumal, K. and R. Bhaskaran. 2010. Supervised classification performance of multispectral images. *Journal of Computing*, 2 (2): 124-129.
17. Qiu, F. and J. R. Jensen. 2004. Opening the black box of neural networks for remote sensing image classification. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1749-1768.
18. R. Soffianian , E. Mohamadi Towfigh , L. Khodakarami, F. Amiri (2011) .Land use mapping using artificial neural network (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin- Talkhab catchment in Hamedan province). *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*; Vol.2.Issue1. Spring 2011. (in Persian)
19. Rahdari ,Vahid; Maleki Najfabdai ,Saeideh; Khajeddin, Seyed Jamaledin; Rahnama,M (2009) Comparison of Satellite Image Sorting (Supervised and Unmanaged) Methods for Land Use Mapping and Land Covering in Arid and Semi-arid Regions (Case Study: Muteh Wildlife Refuge). National conference of geomatic.tehran iran(in persian).
20. Rajesh, B. T. and M. Yuji. 2009. Urban mapping, accuracy, & image classification: A comparison of multiple approaches in Tsukuba City, Japan.*Applied Geography* 29, 135-144.
21. Riahi bakhtiari ,H (2000). Determining the most suitable method for mapping natural resources coverage on a scale of 1/25000 using satellite data in the Arjan plain area. A thesis submitted for master of forestry, natural resources faculty, University of Tehran. (in Persian)
22. Richards J. A., Jia X., 2006, *Remote Sensing Digital Image Analysis an Introduction*, 4th Edition, Chapter 1, Springer, Germany, Berlin, Heide lberg.
23. Richards, J. A. 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin., 240 pp.
24. Sarooei, S (1999). Investigating the possibility of forest classification in terms of density in Zagros forests using satellite data. Master thesis, University of Tehran. (in Persian)
25. Su, L., Huang, Y., Chopping, M.J., Rango, A. and Martonchik, J.V., 2009. An empirical study on the utility of BRDF model parameters and topographic parameters for mapping vegetation in a semi -arid region with MISR imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30, 3463–3483.
26. Zahedifard,N.(2002)Preparation of land use map using satellite data in Baft watershed. A thesis submitted for master of geology. Faculty of Agriculture. Isfahan University of technology. (in Persian)