

مقایسه کار آیی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک در طبقه‌بندی پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (مطالعه موردی: بخشی از شهرستان دزفول)

صادق مختاری چلچله^۲

اسماعیل سلیمانی راد^۴

علی شجاعیان^۱

لیلا کشتکار^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۰/۸

چکیده

امروزه داده‌های سنجش از دور قادر به ارائه جدیدترین اطلاعات برای مطالعه پوشش زمین و کاربری‌های اراضی می‌باشند. این تصاویر به دلیل ارائه اطلاعات به هنگام، تنوع اشکال، رقومی بودن و امکان پردازش در تهیه نقشه‌های کاربری از اهمیت بالایی برخوردارند. مشخص کردن پوشش اراضی کمک شایانی به مدیران مناطق جهت تصمیم‌گیری می‌کند. در این راستا هدف از انجام این پژوهش مقایسه کار آیی روش‌های پارامتریک (کمترین فاصله و جعبه‌ای) و ناپارامتریک (ماشین بردار پشتیبان) در طبقه‌بندی پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در بخشی از شهرستان دزفول می‌باشد. ماهیت این پژوهش توسعه‌ای-کاربردی و روش انجام آن توصیفی-تحلیلی بوده است. بدین منظور داده‌های ماهواره‌ای شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۲۰۱۳/۸/۱۳) تهیه گردید، و با استفاده از نرم افزار ENVI آماده‌سازی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. میزان کار آیی هر روش طبقه‌بندی با محاسبه دو شاخص صحت کلی و ضریب کاپا بررسی گردید. نتایج مقایسه روش‌های مورد استفاده در پژوهش نشان داد الگوریتم SVM به ویژه سه کرنل خطی، شعاعی و چند جمله‌ای نسبت به روش‌های پارامتریک به ترتیب با ۹۷/۱۵٪، ۹۵/۸۹٪ و ۹۵/۶۳٪ از دقت مطلوب‌تری برخوردار هستند. این مطالعه کار آیی و قابلیت مطلوب‌تر الگوریتم‌های SVM را در طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور در مقایسه با روش‌های پارامتریک تأیید می‌نماید.

کلمات کلیدی: طبقه‌بندی، پوشش زمین، تصویر لندست، ماشین بردار پشتیبان، حداقل فاصله.

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز ali.shojacean@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه شهید چمران اهواز Keshtkari@yahoo.com

۴- کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه شهید چمران اهواز esolemani@gmail.com

۱- مقدمه

ماهواره‌ای لندست ۸ کسب شده در سال ۲۰۱۳ انجام گرفته است. در این مطالعه، ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) به عنوان یک روش ناپارامتریک مورد استفاده قرار گرفته است. چهار نوع کرنل (خطی، چندجمله‌ای، شعاعی و حلقوی) برای فرآیند طبقه بندی SVM بکار برده شده و کارآمدی طبقه بندی این کرنل‌ها آنالیز شده است. همچنین کارآمدی روش‌های ماشین بردار با دو روش پارامتریک (روش حداقل فاصله و جعبه‌ای) مقایسه و بصورت آماری تحلیل گردیده است.

۲- پیشینه پژوهش

در زمینه مقایسه کارایی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک به منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در مباحث گوناگون پژوهش‌های بسیاری در داخل و خارج از کشور انجام شده است، که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد. اوتیوکی و بلاسچک^۱ (۲۰۱۰)، به ارزیابی تغییرات پوشش زمین با استفاده از سه مدل (SVM)، (MLC) و (DTS) پرداختند. مقایسه نتایج نشان داد هر سه مدل دقت قابل قبولی داشته و به ترتیب هر مدل دارای ۹۳٪، ۹۳٪/۶۷ و ۹۴٪ مقدار دقت برای ارزیابی تغییرات پوشش زمین بوده است. در پژوهش دیگری تروپولوس و همکاران (۲۰۱۱)، با عنوان «تعیین نواحی سوخته از یک منظر تک زمانه براساس طبقه‌بندی تصویر ماهواره TM با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان»، به ترسیم نقشه‌های نواحی سوخته پرداختند. نتایج حاصل از کاربرد SVM حاکی از صحت کلی معادل ۹۵/۸٪ و ضریب کاپای ۰/۹۴۸ بوده است.

آرخی و ادیب نژاد (۱۳۹۰)، به ارزیابی کارایی دو روش پارامتریک و غیرپارامتریک جهت طبقه بندی کاربری اراضی حوضه سد ایلام پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان به خصوص سه کرنل خطی، چند جمله‌ای و شعاعی (با دقت ۹۵٪) به عنوان روش ناپارامتریک نسبت به روش پارامتریک به کار رفته

چگونگی استقرار نحوه استفاده از زمین یا کاربری اراضی و پوشش زمین در کنار یکدیگر یک منظر را می‌سازد. برای درک بهتر الگوی منظر و در راستای مدیریت سرزمین و نیل به اهداف حفاظتی، مشخص کردن الگوهای مکانی کاربری و پوشش زمین بسیار ضروری است (رامداری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱). در راستای نیاز مستمر به بازنگری در نحوه روش‌های جمع‌آوری اطلاعات لازم است تا بتوان همراه با پیشرفت‌های صورت گرفته در سایر علوم، از آن‌ها نیز در شهرها استفاده نمود. اطلاعات جدید و دقیق در مورد پوشش و کاربری اراضی همواره مورد نیاز تصمیم‌گیران و پژوهش‌گران در تمامی سطوح است. با تحقیق و مشاهدات صحرایی و تفسیر عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس، می‌توان نقشه پوشش و کاربری اراضی را تولید کرد، ولی هر دو روش مذکور وقت‌گیر و هزینه‌بر است (Yuan et al., 2005: 5). امروزه با پیشرفت فن‌آوری، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با استقبال خاصی روبرو شده است، این امر به دلیل ویژگی‌های خاص این داده‌ها مانند دید وسیع، یکپارچگی، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی مغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، امکان به‌کارگیری سخت افزارها و نرم‌افزارهای کم هزینه و همچنین بررسی سریع‌ترین روش‌ها می‌باشد (زاهدی فر و همکاران، ۱۳۸۳: ۹۲). یکی از روش‌های پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش از دور، طبقه‌بندی می‌باشد که به کاربران امکان تولید انواع اطلاعات مختلف مانند نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی، نقشه کشف تغییرات و... را می‌دهد. در واقع طبقه بندی یک تصویر فرآیندی اجرایی برای شناسایی کلاس‌های طیفی مختلف و ارتباط بین انواع پوشش زمینی خاص است (Lillesand et al, 2004: 21). در این راستا پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان کارایی روش‌های رایج طبقه‌بندی (پارامتریک و ناپارامتریک) داده‌های ماهواره‌ای، برای تشخیص پوشش زمین در بخشی از شهرستان دزفول با استفاده از تصویر

نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و پیکسل مورد نظر به کلاسی تعلق می‌گیرد که نزدیکترین فاصله را با میانگین آن دارد. به همین ترتیب تمام پیکسل‌های هر تصویر به طبقات مربوط تعلق می‌گیرند و طبقات مختلف تصویر از هم جدا می‌شوند (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۵).

۳-۲-۲- روش جعبه‌ای

روش طبقه بندی رایج و ساده است. در این روش حساسیت به واریانس کلاس با لحاظ کردن دامنه مقادیر در هر کلاس آموزشی معرفی می‌شود. دامنه‌های با بیشترین و کمترین DN در هر باند تعریف شده و به صورت چهارگوش‌هایی نمودار دو بعدی نمایش داده می‌شود (قره چلو، ۱۳۸۹: ۲).

۳-۳- روش‌های ناپارامتریک

۳-۳-۱- ماشین بردار پشتیبان^۱

ماشین بردار پشتیبان یک روش کلاسه بندی الگو است که اولین بار توسط وپینگ معرفی شد (Borges, 1998). این روش یک روش آماری غیر پارامتریک نظارت شده است (Mountrakis et al, 2011) که برای تفکیک کلاس‌ها در داده‌های آموزشی ابررویه‌ها را روی آن‌ها برازش می‌دهد. نخستین مرحله برای تعیین ابررویه، پیدا کردن نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی دو کلاس است. این نمونه‌های آموزشی، بردار پشتیبان نام دارند.

همان‌طور که در نگاره ۱ مشاهده می‌شود، برای جدا کردن کلاس‌ها ابررویه‌های گوناگونی وجود دارد ولی فقط یکی از آن‌ها بهینه است و آن ابررویه است که بیشینه حاشیه را بین دو کلاس ایجاد می‌کند (Van der linden et al., 2009).

از جمله قابلیت‌های ماشین بردار پشتیبان، توانایی غلبه بر مشکل توزیع غیر خطی داده‌های آموزشی است. در این حالت با استفاده از توابع کرنل، داده‌ها به فضایی با بعد بزرگ‌تر انتقال می‌یابند که در آن تفکیک پذیری بهتر انجام می‌شود و ابررویه جداکننده در آن فضا تعیین می‌شود.

در این پژوهش (روش حداکثر احتمال) از نظر دقت کل (حدود ۱۰٪) و ضریب کاپا (۱۵٪) برتری دارد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی دیگر، به مقایسه کارایی سه روش ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و حداکثر احتمال برای تفکیک واحدهای سنگ شناسی پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد روش SVM در هر سه کرنل خود توانسته است بیشترین مقدار صحت کلی ۸۳/۴۲٪ را نسبت به دو روش دیگر ارائه کند. آقا بالایی و مقصودی (۱۳۹۳) نیز به مقایسه روش‌های پارامتریک و غیرپارامتریک در طبقه بندی پوشش زمینی از طریق تصاویر پلاریکتیک رادار پرداختند. نتایج این مقایسه نشان داد طبقه بندی پوشش زمین با استفاده از روش‌های غیرپارامتریک می‌تواند نتایج مشابهی را مانند روش پارامتریک ارائه کند.

۳- مبانی نظری

۳-۱- طبقه‌بندی تصاویر

جهت طبقه‌بندی نظارت شده، الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد که در تحقیق بسته به هدف، وضعیت کلاس طیفی و دقت مورد نظر از الگوریتم‌های گوناگونی استفاده می‌شود (شجاعیان، ۱۳۹۲). در این پژوهش به منظور استخراج کلاس‌های پوشش زمین از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک زیر استفاده شد:

۳-۲- روش‌های پارامتریک

۳-۲-۱- روش حداقل فاصله از میانگین

این روش ساده‌ترین نوع الگوریتم طبقه‌بندی بوده که برای هر کلاس به وسیله داده‌های آموزشی میانگین را محاسبه نموده و بر اساس فاصله روشنایی هر پیکسل از میانگین گروه‌ها عنوان آن گروه را تعیین می‌نماید (فاسملو و همکاران، ۱۳۸۷).

در این روش طبقه‌بندی پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده است، فاصله هر پیکسل طبقه بندی

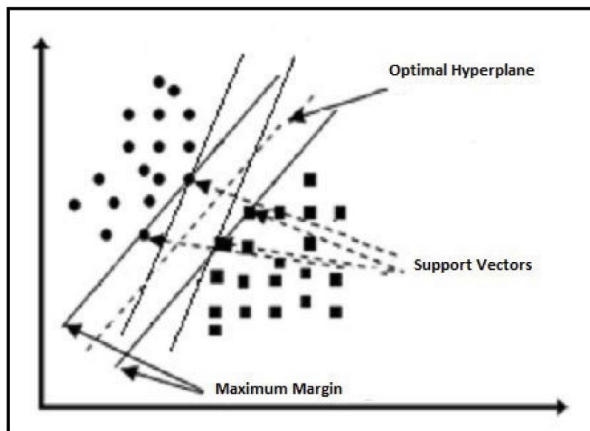
کاربری‌ها با GPS انجام گرفت که به عنوان داده‌های مرجع برای مقایسه با تصویر طبقه‌بندی شده بکار گرفته شد. هم چنین از موارد طبقه‌بندی شده و کلاس‌های مشابه هم برداشت به عمل آمد و جدول ماتریس خطا تشکیل گردید.

۳-۴-۲- دقت تولید کننده و کاربر

دقت تولید کننده، احتمال اینکه طبقه‌بندی کننده پیکسلی را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد در صورتی که کلاس واقعی آن مشخص باشد، را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت عنصر قطری هر کلاس به جمع مقادیر هر ستون (هر کلاس) می‌باشد. در صورتی که دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به مجموع پیکسل‌های یک سطر (کلاس) می‌باشد (کبری و شکاری، ۱۳۹۲: ۲۲۱).

۳-۴-۳- ضریب کاپا

ضریب کاپا تکنیک چند متغیره گسسته‌ای است که اگر یک ماتریس خطا تفاوت معناداری با دیگری داشته باشد، در ارزیابی صحت برای تصمیم گیری‌های آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد (رسولی، به نقل از رسولی و محمود زاده، ۱۳۸۹: ۳۹).



نگاره ۱: ماشین بردار پشتیبان در حالت جدایی پذیر

عمومی‌ترین کرنل‌ها، کرنل‌های خطی، چند جمله‌ای، حلقوی و پایه شعاعی هستند (Van der Linden et al., 2009).

۳-۴-۴- معیارهای ارزیابی دقت و صحت طبقه‌بندی

در این تحقیق به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر از معیارهای ارزیابی به شرح زیر استفاده شد:

۳-۴-۴-۱- ماتریس خطا

یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی دقت طبقه‌بندی، آماده کردن ماتریس خطای طبقه‌بندی است. ماتریس خطا به طور گسترده‌ای در مطالعات سنجش‌ازدور به کار می‌رود. در این روش فایل نمونه‌برداری که متشکل از ارزش‌های تمامی پیکسل‌های کلاس‌های تعریف شده است، با تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از همان فایل استفاده‌شده تلافی داده می‌شود. در این صورت تک تک پیکسل‌های نمونه‌برداری شده با کلاس‌های طبقه‌بندی شده تلافی می‌یابد و در نتیجه امکان بررسی صحت طبقه‌بندی پیکسل‌ها فراهم می‌گردد (علوی پناه، ۱۳۸۲).

به منظور درستی ایجاد ماتریس خطا، باید عوامل زیر را در نظر گرفت: ۱- جمع آوری داده‌های مرجع، ۲- طبقه‌بندی، ۳- روش‌های نمونه‌برداری، ۴- واحد همبستگی فضایی ۵- حجم و واحد نمونه. پس از تولید ماتریس خطا، سایر عناصر مهم ارزیابی دقت و صحت از جمله دقت کلی، سرعت و دقت کاربر، سرعت و دقت تولیدکننده و ضریب کاپا را می‌توان به دست آورد (Satir & Berberoglu, 2012: 28). خطای کمپسیون^۳ نشان دهنده مساحت اراضی یک کلاس است که واقعا به آن تعلق ندارند و خطای امیسیون^۴ نشان دهنده میزان مساحت اراضی یک کلاس است که جزء کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند (نصیری، ۱۳۷۷).

به منظور تعیین دقت طبقه‌بندی، برداشت زمینی موقعیت

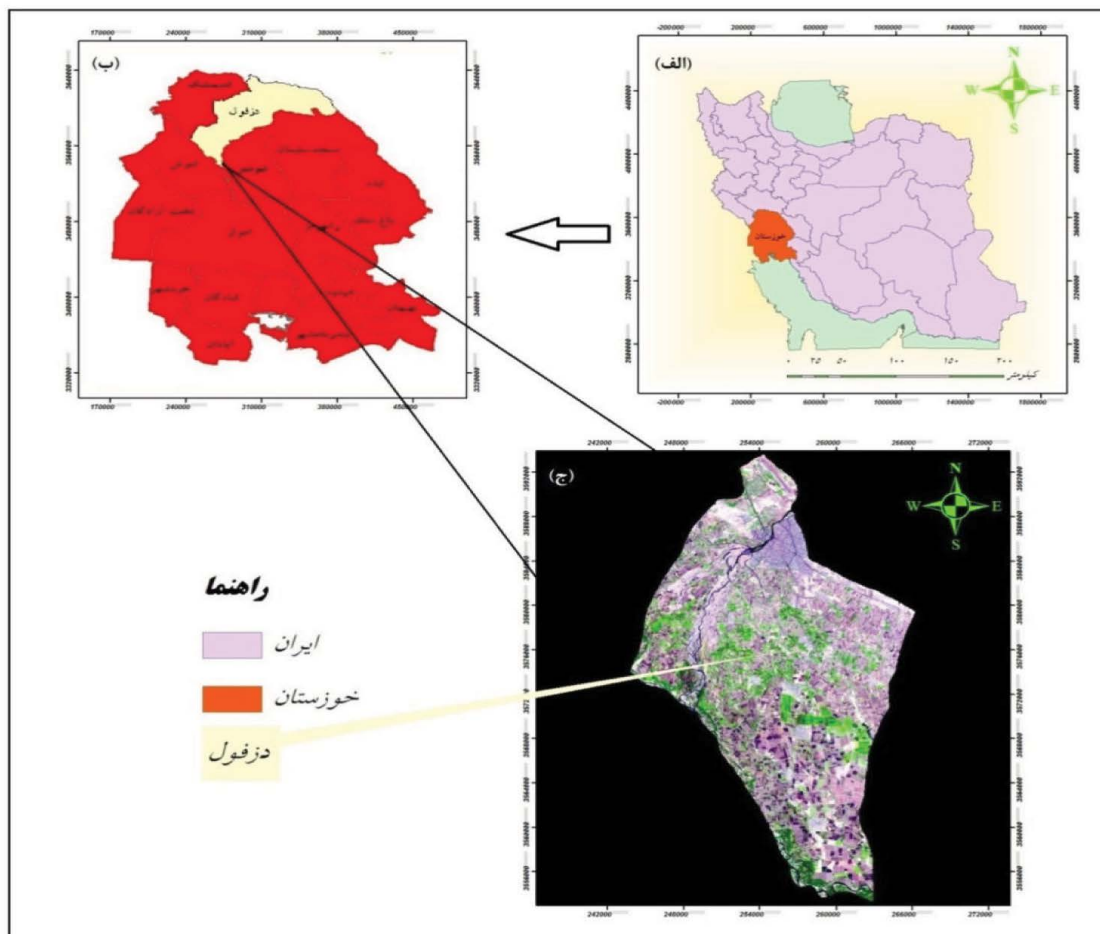
1- Error Matrix

2- Accuracy Assessment

3- Commission

4- Omission

5- Kappa Coefficient



نگاره ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (شهرستان دزفول) در ایران و استان خوزستان (الف و ب) تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۸ تاریخ ۲۰۱۳/۸/۱۳ بخشی از شهرستان دزفول (ج)

به موضوع تحقیق و در راستای اهداف تعریف شده به منظور جمع‌آوری داده‌ها از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است. در این پژوهش برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از تصاویر سنجنده لندست ۸ مربوط به تاریخ ۲۰۱۳/۸/۱۳ استفاده شد. همچنین از ۷ باند این سنجنده برای طبقه‌بندی استفاده شد که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه گردیده است.

۴-۳- پیش‌پردازش تصاویر

مرحله پیش‌پردازش داده‌ها یکی از مهم‌ترین مراحل در پردازش تصاویر است، چرا که تمامی محاسبات بعدی بر اساس تصویر تولیدی در این مرحله انجام می‌گیرد. نوع

۴- روش تحقیق

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از شهرستان دزفول می‌باشد که در مناطق جلگه‌ای استان خوزستان و با مساحت ۴۷۶۲ کیلومتر مربع قرار گرفته است. شهر دزفول از دید جغرافیایی در محدوده $48^{\circ}17'$ تا $48^{\circ}37'$ طول شرقی و $32^{\circ}07'$ تا $32^{\circ}28'$ عرض شمالی گسترده شده است (نگاره ۲) و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۰ متر می‌باشد.

۴-۲- روش تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها

رویکرد حاکم بر پژوهش حاضر توسعه‌ای-کاربردی و روش انجام آن توصیفی-تحلیلی می‌باشد. با توجه

۴-۴- طبقه‌بندی تصاویر

در این پژوهش، کارایی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک برای تولید نقشه طبقه بندی پوشش اراضی بخشی از شهرستان دزفول مورد مقایسه قرار گرفته است. به منظور طبقه‌بندی تصاویر ابتدا اقدام به برداشت نمونه‌های تعلیمی از منطقه مورد مطالعه گردید. نمونه‌های تعلیمی از سطح منطقه با استفاده از بازدید میدانی و دستگاه GPS برداشت شدند. بخشی از داده‌ها جهت آموزش تصویر ماهواره‌ای و بخشی از آن برای برآورد صحت نتایج حاصل از دو روش طبقه بندی مذکور به کار گرفته شده است.

به دلیل اینکه بتوانیم بین دو روش پارامتریک و ناپارامتریک مقایسه درستی انجام دهیم نقاط آموزشی و آزمایشی یکسانی برای هر دو روش در نظر گرفته شد. روند کلی مراحل انجام شده در این پژوهش در قالب نگاره ۳ نشان داده شده است.

۵- یافته‌های پژوهش

۵-۱- روش‌های طبقه‌بندی تصویر

همان‌طور که در قسمت روش انجام پژوهش نیز بیان شد در این تحقیق به منظور طبقه‌بندی از روش‌های ناپارامتریک (ماشین بردار پشتیبان) و پارامتریک (روش حداقل فاصله و جعبه‌ای) استفاده گردید. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر با استفاده از روش‌های مذکور به صورت تصاویری طبقه‌بندی شده با کلاس‌های مختلف پوشش اراضی به دست آمد.

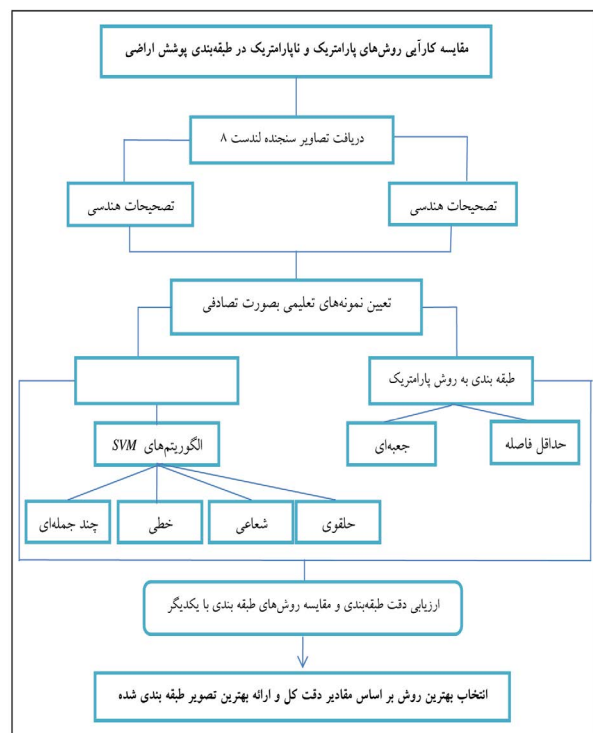
۵-۲- برآورد ماتریس خطا

نتایج مربوط به ماتریس خطای هر یک از روش‌های طبقه‌بندی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ در جدول‌های ۲ تا ۸ نشان داده شده است. با توجه به میزان خطای امیسیون و کمیسون در طبقات مختلف، بهترین نتایج حاصل از طبقه‌بندی برای تمامی روش‌ها به استثنای روش جعبه‌ای مربوط به کلاس باغ بوده و بیشترین خطا در سه تابع کرنل خطی، چندجمله‌ای و شعاعی مربوط به کلاس جاده بوده است. در مورد روش حداقل فاصله نتایج

و نحوه انجام این عملیات بسته به عوامل مختلفی چون نوع داده‌های مورد استفاده و هدف تحقیق، متغیر خواهد بود (Chander et al, 2009). به منظور آماده‌سازی تصاویر و اجرای طبقه‌بندی در این پژوهش، ابتدا مراحل پیش‌پردازش از جمله تصحیح اتمسفری و هندسی انجام شده است. در این پژوهش از روش Dark Subtract به منظور تصحیح اتمسفری استفاده گردید. همچنین تصاویر از نظر هندسی تصحیح شدند.

جدول ۱: مشخصات باندهای مورد استفاده سنجنده ۸ در پژوهش حاضر

Landsat-7 ETM+ Bands (µm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (µm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9



نگاره ۳: نمودار روند کلی مراحل انجام پژوهش

جدول ۲: ماتریس خطای طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان خطی

طبقه	جاده	آب	بایر	شخم زده	مسکونی	باغ	کشاورزی	سنگ لخت	جمع	خطای C
جاده	۵۲۲	۰	۰	۳	۲۳	۰	۰	۰	۵۵۸	۴/۶۶
آب	۱	۶۷۸	۰	۰	۰	۲	۱	۰	۶۸۲	۰/۵۹
بایر	۱	۰	۴۱۴	۰	۰	۰	۰	۲۷	۴۴۲	۶/۳۳
شخم زده	۶	۰	۰	۶۵۰	۰	۰	۶	۰	۶۶۲	۱/۸۱
مسکونی	۲۸	۰	۰	۰	۷۸۹	۰	۰	۸	۸۲۵	۴/۳۶
باغ	۰	۱۳	۰	۰	۰	۸۲۰	۰	۰	۸۳۳	۱/۵۶
کشاورزی	۰	۱	۰	۳	۰	۰	۹۱۷	۰	۹۲۱	۰/۴۳
سنگ لخت	۳	۰	۱۸	۰	۱۹	۰	۰	۷۶۵	۸۰۵	۴/۹۷
جمع	۵۷۱	۶۹۲	۴۳۲	۶۵۶	۸۳۱	۸۲۲	۹۲۴	۸۰۰	۵۷۲۸	
خطای O	۶/۸۳	۲/۰۲	۴/۱۷	۰/۹۱	۵/۰۵	۰/۲۴	۰/۷۶	۴/۳۸		

جدول ۳: ماتریس خطای طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان چند جمله‌ای

طبقه	جاده	آب	بایر	شخم زده	مسکونی	باغ	کشاورزی	سنگ لخت	جمع	خطای C
جاده	۵۲۰	۰	۱	۸	۲۶	۰	۰	۰	۵۵۵	۶/۳۱
آب	۱	۶۵۶	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۶۵۹	۰/۴۶
بایر	۳	۰	۴۰۹	۰	۰	۰	۰	۳۵	۴۴۷	۸/۵۰
شخم زده	۶	۰	۰	۶۴۵	۰	۰	۷	۰	۶۵۸	۱/۹۸
مسکونی	۳۹	۰	۰	۰	۷۷۳	۰	۰	۱۲	۸۲۴	۶/۱۹
باغ	۰	۳۳	۰	۰	۰	۸۲۲	۰	۰	۸۵۵	۳/۸۶
کشاورزی	۰	۳	۰	۳	۰	۰	۹۱۵	۰	۹۲۱	۰/۶۵
سنگ لخت	۲	۰	۲۲	۰	۳۲	۰	۰	۷۵۳	۸۰۹	۶/۹۲
جمع	۵۷۱	۶۹۲	۴۳۲	۶۵۶	۸۳۱	۸۲۲	۹۲۴	۸۰۰	۵۷۲۸	
خطای O	۸/۹۳	۵/۲۰	۵/۳۲	۱/۶۸	۶/۹۸	۰/۰۰	۰/۹۷	۵/۸۸		

به دست آمده مطلوب نمی‌باشد. بیشترین صحت تنها مربوط به طبقه باغ بوده و دیگر طبقات به درستی طبقه بندی نشدند، در واقع تقریباً در بین طبقات دیگر از بین رفته‌اند. در روش جعبه‌ای میزان خطای امیسیون و کمیسیون بسیار زیاد بوده است. بیشترین صحت مربوط به کلاس جاده و کمترین دقت مربوط به سنگ لخت بوده است. با توجه به میزان خطای امیسیون و کمیسیون به دست آمده در هر روش، مقدار خطا در روش ناپارامتریک (چهار کرنل ماشین بردار پشتیبان) کمتر از روش پارامتریک (جعبه‌ای و حداقل فاصله) بوده است.

به دست آمده مطلوب نمی‌باشد. بیشترین صحت تنها مربوط به طبقه باغ بوده و دیگر طبقات به درستی طبقه بندی نشدند، در واقع تقریباً در بین طبقات دیگر از بین رفته‌اند. در روش جعبه‌ای میزان خطای امیسیون و کمیسیون بسیار زیاد بوده است. بیشترین صحت مربوط به کلاس جاده و کمترین دقت مربوط به سنگ لخت بوده است. با توجه به میزان خطای امیسیون و کمیسیون به دست آمده در هر روش، مقدار خطا در روش ناپارامتریک (چهار کرنل ماشین بردار پشتیبان) کمتر از روش پارامتریک (جعبه‌ای و حداقل فاصله) بوده است.

طبق نتایج مشاهده شد که پایین‌ترین دقت مربوط به کلاس جاده، مسکونی و بایر با کمتر از ۵۰٪ دقت در روش جعبه‌ای، در روش فاصله‌ای کلاس بایر با دقت ۵۳٪ می‌باشد. در حالی که الگوریتم‌های روش SVM با استفاده از هر چهار کرنل دقت تولید کننده بالایی را برای این کلاس‌ها نشان داده‌اند (بیش از ۹۰٪). لازم به ذکر است که دقت به دست آمده در روش ماشین بردار پشتیبان خطی برای تمامی کلاس‌ها بالاتر از ۹۳ درصد برآورد شد که میزان قابل قبولی در مبحث مربوط به کاربری اراضی می‌باشد. اما مقدار دقت

به دست آمده مطلوب نمی‌باشد. بیشترین صحت تنها مربوط به طبقه باغ بوده و دیگر طبقات به درستی طبقه بندی نشدند، در واقع تقریباً در بین طبقات دیگر از بین رفته‌اند. در روش جعبه‌ای میزان خطای امیسیون و کمیسیون بسیار زیاد بوده است. بیشترین صحت مربوط به کلاس جاده و کمترین دقت مربوط به سنگ لخت بوده است. با توجه به میزان خطای امیسیون و کمیسیون به دست آمده در هر روش، مقدار خطا در روش ناپارامتریک (چهار کرنل ماشین بردار پشتیبان) کمتر از روش پارامتریک (جعبه‌ای و حداقل فاصله) بوده است.

۵-۳- دقت طبقه‌بندی

در این پژوهش دقت تولید کننده و دقت کاربر برای تمامی کلاس‌ها در تصاویر طبقه‌بندی شده برآورد شد.

جدول ۴: ماتریس خطای طبقه بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان شعاعی

خطای C	جمع	سنگ لخت	کشاورزی	باغ	مسکونی	شخم زده	بایر	آب	جاده	طبقه
۶/۱۲	۵۵۶	۰	۰	۰	۲۵	۹	۰	۰	۵۲۲	جاده
۰/۴۶	۶۵۵	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۶۵۲	۱	آب
۸/۹۵	۴۴۷	۳۷	۰	۰	۰	۰	۴۰۷	۰	۳	بایر
۲/۲۸	۶۵۸	۰	۹	۰	۰	۶۴۳	۰	۰	۶	شخم زده
۶/۳۲	۸۲۳	۱۵	۰	۰	۷۷۱	۰	۰	۰	۳۷	مسکونی
۴/۳۱	۸۵۹	۰	۰	۸۲۲	۰	۰	۰	۳۷	۰	باغ
۰/۷۶	۹۲۰	۰	۹۱۳	۰	۰	۴	۰	۳	۰	کشاورزی
۷/۶۵	۸۱۰	۷۴۸	۰	۰	۳۵	۰	۲۵	۰	۲	سنگ لخت
	۵۷۲۸	۸۰۰	۹۲۴	۸۲۲	۸۳۱	۶۵۶	۴۳۲	۶۹۲	۵۷۱	جمع
		۶/۵۰	۱/۱۹	۰/۰۰	۷/۲۲	۱/۹۸	۵/۷۹	۵/۷۸	۸/۵۸	خطای O

جدول ۵: ماتریس خطای طبقه بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان حلقوی

خطای C	جمع	سنگ لخت	کشاورزی	باغ	مسکونی	شخم زده	بایر	آب	جاده	طبقه
۸/۸۴	۵۵۴	۰	۲	۰	۳۳	۱۴	۰	۰	۵۰۵	جاده
۰/۶۳	۶۳۲	۰	۴	۰	۰	۰	۰	۶۲۸	۰	آب
۲۱/۸۳	۵۳۶	۱۱۰	۲	۰	۱	۰	۴۱۹	۰	۴	بایر
۱۹/۳۸	۶۷۶	۰	۱۲۲	۰	۰	۵۴۵	۲	۰	۷	شخم زده
۱۱/۵۰	۷۹۱	۳۷	۰	۰	۷۰۰	۰	۱	۰	۵۳	مسکونی
۶/۸۰	۸۸۲	۰	۰	۸۲۲	۰	۰	۰	۵۹	۱	باغ
۱۱/۳۸	۸۹۶	۰	۷۹۴	۰	۰	۹۷	۰	۵	۰	کشاورزی
۱۴/۱۹	۷۶۱	۶۵۳	۰	۰	۹۷	۰	۱۰	۰	۱	سنگ لخت
	۵۷۲۸	۸۰۰	۹۲۴	۸۲۲	۸۳۱	۶۵۶	۴۳۲	۶۹۲	۵۷۱	جمع
		۱۸/۳۸	۱۴/۰۷	۰/۰۰	۱۵/۷۶	۱۶/۹۲	۳/۰۱	۹/۲۵	۱۱/۵۶	خطای O

جدول ۶: ماتریس خطای طبقه بندی با استفاده از روش حداقل فاصله

خطای C	جمع	سنگ لخت	کشاورزی	باغ	مسکونی	شخم زده	بایر	آب	جاده	طبقه
۱۰/۵۳	۵۱۳	۰	۲۵	۰	۲۹	۰	۰	۰	۵۴۹	جاده
۱۴/۵۷	۷۱۴	۰	۹۸	۰	۰	۰	۰	۶۱۰	۶	آب
۴۶/۳۴	۵۸۷	۱۵۲	۱۰۱	۰	۱	۱۷	۳۱۵	۰	۱	بایر
۳۹/۸۴	۹۰۱	۰	۳۰۵	۰	۱۴	۵۴۲	۱	۰	۳۹	شخم زده
۲۴/۵۹	۹۰۷	۴۱	۱۳	۰	۶۸۴	۳	۱۱۴	۰	۵۲	مسکونی
۱۶/۷۲	۹۸۷	۰	۸۲	۸۲۲	۰	۰	۰	۸۲	۱	باغ
۲۶/۲۹	۴۰۷	۰	۳۰۰	۰	۰	۹۴	۰	۰	۱۳	کشاورزی
۱۴/۷۵	۷۱۲	۶۰۷	۰	۰	۱۰۳	۰	۲	۰	۰	سنگ لخت
-	۵۷۲۸	۸۰۰	۹۲۴	۸۲۲	۸۳۱	۶۵۶	۴۳۲	۶۹۲	۵۷۱	جمع
-	-	۲۴/۱۳	۶۷/۵۳	۰/۰۰	۱۷/۶۹	۱۷/۳۸	۲۷/۰۸	۱۱/۸۵	۱۹/۶۱	خطای O

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
مقایسه کارآیی روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک در ... / ۶۱

مقدار دقت کلی به دست آمده برای ۴ کرنل ماشین بردار پشتیبان بالا ۸۸٪ می‌باشد.

با توجه به اینکه دقت قابل قبول طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای طبق نظریات آندرسون (سال ۱۹۷۶)، ۸۵ درصد می‌باشد. (Howard, 1997) روش ماشین بردار پشتیبان به عنوان یک روش ناپارامتریک دقت مناسب و قابل قبولی دارد.

۵-۵- تصاویر طبقه‌بندی شده

همان‌طور که در بالا اشاره شد از بین روش‌های پارامتریک روش حداقل فاصله و از بین کرنل‌های مختلف روش ماشین بردار پشتیبان کرنل خطی به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد.

در روش حداقل فاصله و جعبه‌ای متفاوت بوده، به نحوی که در اکثر کلاس‌ها مقدار خطاها کمتر از ۸۵ درصد بوده که قابل قبول نمی‌باشد (جدول ۸).

۵-۴- بررسی صحت نقشه‌های تولید شده

با توجه به جداول ماتریس خطای به دست آمده برای روش‌های ناپارامتریک (ماشین بردار پشتیبان) و پارامتریک (کمترین فاصله و جعبه‌ای)، ضریب کاپا و دقت کلی مربوط به هر روش محاسبه گردید (جدول ۹). با بررسی این نتایج مشخص گردید که بیشترین شاخص کاپا و دقت کلی به ترتیب با میزان ۰/۹۶ و ۹۷٪ متعلق به طبقه‌بندی روش ماشین بردار پشتیبان خطی بوده است. کمترین میزان دقت نیز مربوط به روش پارامتریک جعبه‌ای با دقت ۵۱٪ بود.

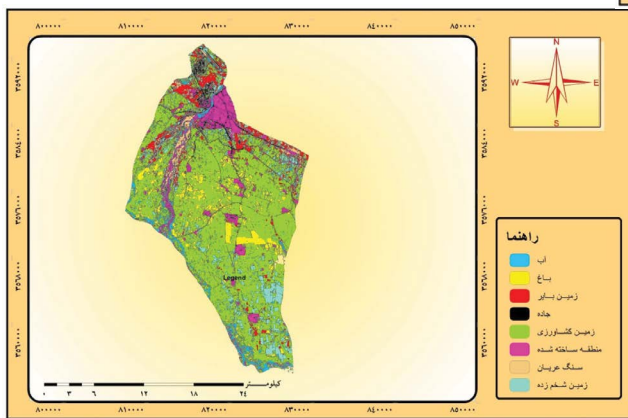
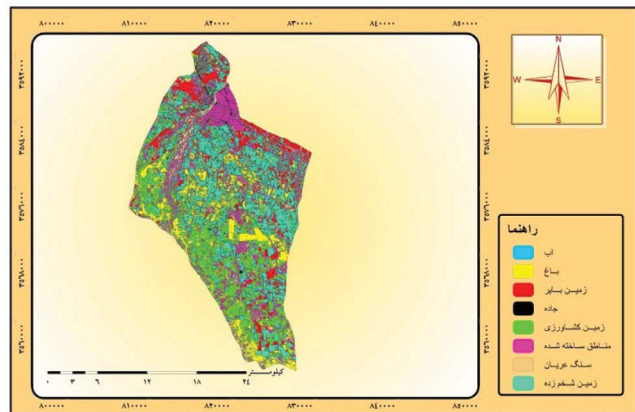
جدول ۷: ماتریس خطای طبقه‌بندی با استفاده از روش جعبه‌ای

طبقه	جاده	آب	بایر	شخم زده	مسکونی	باغ	کشاورزی	سنگ لخت	جمع	خطای C
جاده	۵۶۵	۲	۱۱۹	۳۴۲	۵۳۳	۰	۲۰۲	۱۷	۱۷۸۰	۶۸/۲۶
آب	۰	۶۶۰	۰	۰	۰	۴۶۱	۵۳	۰	۱۱۷۴	۴۳/۷۸
بایر	۲	۰	۳۱۱	۷۷	۰	۰	۳۸	۲۷۱	۶۹۹	۵۵/۵۱
شخم زده	۰	۰	۰	۲۳۷	۰	۰	۱۸۶	۰	۴۲۳	۴۳/۹۷
مسکونی	۰	۰	۲	۰	۲۹۰	۰	۷	۳۶۴	۶۶۳	۵۶/۲۶
باغ	۰	۱۰	۰	۰	۰	۳۳۸	۲	۰	۳۵۰	۳/۴۳
کشاورزی	۴	۱۹	۰	۰	۰	۲۰	۴۳۶	۰	۴۷۹	۸/۹۸
سنگ لخت	۰	۰	۰	۰	۷	۰	۰	۱۲۱	۱۲۸	۵/۴۷
جمع	۵۷۱	۶۹۲	۴۳۲	۶۵۶	۸۳۱	۸۲۲	۹۲۴	۸۰۰	۵۷۲۸	
خطای O	۱/۰۵	۴/۶۲	۲۸/۰۱	۶۳/۸۷	۶۵/۱۰	۵۸/۸۸	۵۲/۸۱	۸۴/۸۸		

جدول ۸: مشخصات آماری دقت تولید کننده و استفاده کننده برای طبقه‌بندی تصاویر در روش‌های استفاده شده در پژوهش

دقت / طبقه	کرنل خطی		کرنل چند جمله‌ای		کرنل شعاعی		کرنل حلقوی		کمترین فاصله		جعبه‌ای	
	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده	کاربر	تولید کننده		
جاده	۹۳/۱۷	۹۵/۳۴	۹۱/۰۷	۹۳/۶۹	۹۱/۴۲	۹۳/۸۸	۸۸/۴۴	۹۱/۱۶	۸۰/۳۹	۸۹/۴۷	۹۸/۹۵	۳۱/۷۴
آب	۹۷/۸۳	۹۹/۴۱	۹۴/۸۰	۹۹/۵۴	۹۴/۲۲	۹۹/۵۴	۹۰/۷۵	۹۹/۳۷	۸۸/۱۵	۸۵/۴۳	۹۵/۳۸	۵۶/۲۲
بایر	۹۵/۸۳	۹۳/۶۷	۹۴/۶۸	۹۱/۵۰	۹۴/۲۱	۹۱/۰۵	۹۶/۹۹	۷۸/۱۷	۷۲/۹۲	۵۳/۶۶	۷۱/۹۹	۴۴/۴۹
شخم زده	۹۹/۰۹	۹۸/۱۹	۹۸/۳۲	۹۸/۰۲	۹۸/۰۲	۹۷/۷۲	۸۳/۰۸	۸۰/۶۲	۸۲/۶۲	۶۰/۱۶	۳۶/۱۳	۵۶/۰۳
مسکونی	۹۴/۹۵	۹۵/۶۴	۹۳/۰۲	۹۳/۸۱	۹۲/۷۸	۹۳/۶۸	۸۴/۲۴	۸۸/۵۰	۸۲/۳۱	۷۵/۴۱	۳۴/۹۰	۴۳/۷۴
باغ	۹۹/۷۶	۹۸/۴۴	۱۰۰/۰۰	۹۶/۱۴	۱۰۰/۰۰	۹۵/۶۹	۱۰۰/۰۰	۹۳/۲۰	۱۰۰	۸۳/۲۸	۴۱/۱۲	۹۶/۵۷
کشاورزی	۹۹/۲۴	۹۹/۵۷	۹۹/۰۳	۹۹/۳۵	۹۸/۸۱	۹۹/۲۴	۸۵/۹۳	۸۸/۶۲	۳۲/۴۷	۷۳/۷۱	۴۷/۱۹	۹۱/۰۲
سنگ لخت	۹۵/۶۳	۹۵/۰۳	۹۴/۱۳	۹۳/۰۸	۹۳/۵۰	۹۲/۳۵	۸۱/۶۳	۸۵/۸۱	۷۵/۸۸	۸۵/۲۵	۱۵/۱۳	۹۴/۵۳

نگاره ۴: تصویر طبقه‌بندی شده بخشی از شهرستان دزفول با استفاده از روش پارامتریک (حداقل فاصله)



نگاره ۵: تصویر طبقه‌بندی شده بخشی از شهرستان دزفول با استفاده از روش تا پارامتریک (ماشین بردار پشتیبانی خطی)

جدول ۱۰: مقدار مساحت هر یک از کلاس‌های به دست آمده از روش حداقل فاصله و ماشین بردار پشتیبان خطی

نوع طبقه	حداقل فاصله (کیلومتر مربع)	کرنل خطی (کیلومتر مربع)
جاده	۲۰/۴۹۹۳	۲۲/۳۷۴
آب	۳/۸۵۶۵	۲۳/۳۸۵۶
بایر	۵۰/۵۵۸۴	۲۸/۸۴۵۹
شخم زده	۱۱۷/۵۹۴۹	۵۰/۴۷۸۳
مسکونی	۵۰/۵۹۴۱	۳۳/۰۰۳۹
باغ	۶۰/۹۴۸۹	۴۱/۹۳۵۵
کشاورزی	۱۰۶/۱۳۰۷	۲۴۴/۸۰۰۹
سنگ لخت	۱۸/۸۸۲	۱۳/۹۹۸۶

با توجه به تصویر به دست آمده از این روش بیشترین مساحت طبقات را طبقه زمین‌های کشاورزی به خود اختصاص داده و کمترین آن‌ها نیز مربوط به طبقه سنگ لخت می‌باشد که این تصویر و درصد مساحت‌های به دست آمده از آن به واقعیت زمینی نزدیک‌تر می‌باشد.

جدول ۹: مقدار دقت کلی و ضریب کاپای روش‌های به کار رفته در پژوهش

روش	دقت کلی	ضریب کاپا
کرنل خطی	۰/۹۷/۱۵	۰/۹۶
کرنل چند جمله‌ای	۰/۹۵/۸۹	۰/۹۵
کرنل شعاعی	۰/۹۵/۶۳	۰/۹۴
کرنل حلقوی	۰/۸۸/۴۴	۰/۸۶
حداقل فاصله	۰/۷۵/۷۵	۰/۷۲
جعبه‌ای	۰/۵۱/۶۴	۰/۴۵

نگاره ۴ خروجی روش پارامتریک حداقل فاصله را نشان می‌دهد که نسبت به روش جعبه‌ای دارای دقت مطلوب‌تری بوده است. با توجه به این نگاره و جدول (۱۰) بیشترین مساحت طبقات مربوط به کلاس زمین‌های شخم زده و کمترین آن‌ها مربوط به طبقه آب می‌باشد. همچنین در نگاره ۵ نیز تصویر طبقه‌بندی شده با استفاده از روش پارامتریک ماشین بردار پشتیبان با کرنل خطی ارائه شده که دارای دقت مطلوب‌تری نسبت به دیگر کرنل‌ها بوده است.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور است و بسیاری از الگوریتم‌ها برای این منظور توسعه یافته‌اند.

این پژوهش کارایی کرنل‌های مختلف الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را به عنوان یک روش ناپارامتریک در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با روش‌های پارامتریک حداقل فاصله و جعبه‌ای مقایسه کرده است. نتایج ارزیابی ماتریس خطا با توجه به میزان خطای امیسیون و کمیسیون به دست آمده در هر روش نشان داد: از بین روش‌های پارامتریک روش حداقل فاصله و از بین کرنل‌های مختلف روش ماشین بردار پشتیبان کرنل خطی به عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شدند. به طور کلی مقدار خطا در روش‌های ناپارامتریک (چهار کرنل ماشین بردار پشتیبان) کمتر از روش پارامتریک (جعبه‌ای و حداقل فاصله) بوده است. دقت بالای الگوریتم‌های SVM نسبت به دیگر روش‌ها را می‌توان این طور بیان کرد که این روش از لحاظ محاسباتی سریع بوده و همچنین از قوانین بهینه‌سازی جهت مکان‌یابی مرزهای بهینه بین کلاسه‌های کاربری استفاده می‌کند.

در نتیجه جایگزین مناسبی برای سایر الگوریتم‌های معمول طبقه‌بندی می‌باشند. از مزایای دیگر این روش توانایی بالا در استفاده از نمونه‌های تعلیمی کمتر و رسیدن به دقت بالاتر در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی است. بیشترین میزان دقت بدست آمده در تمامی روش‌ها به استثنای روش جعبه‌ای مربوط به کلاس باغ بوده است. در روش کمترین فاصله بیشترین مساحت طبقات مربوط به کلاس زمین‌های شخم زده بوده است.

در روش ماشین بردار پشتیبان خطی به عنوان بهترین روش ناپارامتریک بیشترین مساحت مربوط به کلاس کشاورزی بوده است. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای بسیاری از مشکلات طبقه بندی مورد استفاده قرار گرفته است. اگر چه گزارش شده است که این الگوریتم نتایج طبقه بندی دقیق‌تری نسبت به روش‌های معمول دارد، اما

انتخاب بهترین نوع کرنل مبحث مهمی است که کارایی این الگوریتم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در این پژوهش زمانی که توابع کرنل مورد آنالیز قرار گرفت، مشخص گردید که سه تابع کرنل خطی، چند جمله‌ای و شعاعی نسبت به تابع حلقوی نتایج دقیق‌تری داشته و بالاترین میزان دقت طبقه‌بندی مربوط به کرنل خطی با میزان ۹۷٪ می‌باشد. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج سایر محققان (اوتیوکی و بلاسچک^۱ (۲۰۱۰) با میزان دقت ۹۳/۶۷٪، پتروپولوس و همکاران (۲۰۱۱) با میزان دقت ۹۵/۸٪، آرخی و ادیب نژاد (۱۳۹۰) با دقت ۹۵٪ و همچنین گودرزی (۱۳۹۱) با دقت ۸۳/۴۲٪) که روش‌های SVM را به عنوان بهترین روش ناپارامتریک طبقه بندی معرفی کرده‌اند مطابقت دارد.

همانطور که از مقایسه نتایج بدست می‌آید، طبقه بندی پوشش اراضی با استفاده از روش‌های ناپارامتریک می‌تواند نتایج مطلوب‌تری را ارائه نمایند.

مزیت استفاده از روش‌های ناپارامتریک نسبت به روش‌های پارامتریک آن است که، این روش‌ها به تابع توزیع احتمال کلاس‌ها بستگی نداشته و با انتخاب تعداد مناسبی از داده‌های آموزشی می‌توان به دقت خوبی دست یافت. در نهایت برای رفع مشکل زمان بر بودن روش‌های ناپارامتریک پیشنهاد می‌گردد تا جهت اجرای این برنامه‌ها از روش‌های پردازش موازی بهره‌گیری شود.

در نهایت پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه گردیده است:

۱- به منظور بهبود روش‌های طبقه‌بندی از دستگاه‌های طیف سنج استفاده گردد.

۲- اطلاعات حاصل از گردآوری طیف‌های مختلف به صورت کتابخانه‌های طیفی جمع آوری گردد.

۳- تصاویر با کیفیت مکانی و طیفی مناسب بردار در دسترس محققان قرار گیرد، تا نتایج هر طبقه‌بندی روی آن‌ها مقایسه گردد.

منابع و مآخذ

- ۱۰- قره چلو، سعید، (۱۳۸۹)، ارزیابی و مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی در تهیه نقشه شوری سطحی خاک، همایش ملی ژئوماتیک، تهران.
- ۱۱- گودرزی، عباسپور، احدنژاد، خاکباز؛ سعید، رحیم، وحید، باهره؛ (۱۳۹۱)، مقایسه روش بردار پشتیبان باروش‌های حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ششم، شماره بیست و یکم.
- ۱۲- نصیری، ع.و. (۱۳۷۷)، روش‌های طبقه‌بندی طیفی و فضایی در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی، وزارت کشاورزی معاونت برنامه‌ریزی و بودجه اداره کل آمار و اطلاعات، شماره ۷۷/۲۶، تهران.
- 13- Burges, C. J. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data mining and knowledge discovery*, 2(2), 121-167.
- 14- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903.
- 15- Howard, J. A. (1991). *Remote sensing of forest resources: theory and application* (Vol. 621). London: Chapman & Hall.
- 16- Lillesand, T. M. Kiefer, R. W., *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons Inc., New York, 749 p, 1994.
- 17- Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3), 247-259.
- 18- Otukey, J. R., & Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- 19- Şatır, O., & Berberoğlu, S. (2012). *Land Use/Cover Classification Techniques Using Optical Remotely Sensed Data in Landscape Planning*. Landscape Planning, Dr. Murat Ozyavuz (Ed.), ISBN, 978-953.
- 20- Satir, O., Berberoglu, S., 2012. *Land Use/Cover Classification Techniques Using Optical Remotely Sensed Data in Landscape Planning*. Landscape Planning, InTech, Turkey Published, 22-54.
- 21- Van der Linden, S., Rabe, A., Okujeni, A., & Hostert, P. (2009). *Image SVM classification. Application Manual: image SVM version, 2*.
- 22- Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., & Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 98(2), 317-328.
- ۱- آرخی، صالح، ادیب نژاد، (۱۳۹۰) ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM لندست (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام)، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران.
- ۲- آقا بالایی، مقصودی؛ امیر، یاسر (۱۳۹۳)، مقایسه روش‌های پارامتریک و غیرپارامتریک در طبقه‌بندی پوشش‌های زمینی از طریق تصاویر پلاریمتریک رادار، بیست و یکمین همایش ملی ژئوماتیک.
- ۳- احمدپور، سلیمانی، شکری، قربانی؛ امیر، کریم، مریم، جمشید (۱۳۹۰)، مقایسه کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال دوم، شماره ۲.
- ۴- اکبری، شکاری؛ الهه، علی (۱۳۹۲)، پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم افزار ENVI با نمونه‌های کاربردی در علوم زمین، نقشه برداری، جغرافیا و محیط زیست، انتشارات ماهواره، جلد اول.
- ۵- راهداری، ملکی نجف آبادی، رهنما؛ وحید، سعیده، محمد؛ (۱۳۸۸) مقایسه روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (نظارت شده و نظارت نشده) در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی پناهگاه حیات وحش موته)، همایش ژئوماتیک.
- ۶- رسولی، محمود زاده؛ علی اکبر، حسن؛ (۱۳۸۹)، مبانی سنجش از دور پایه، انتشارات علمیران
- ۷- زاهدی فرد، خواجه‌الدین، جلالیان؛ ندا، جمال‌الدین، احمد؛ (۱۳۸۳)، کاربرد داده‌های رقومی سنجنده TM در تهیه نقشه کاربری نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رودخانه بازفت، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال هشتم، شماره دوم.
- ۸- شجاعیان، علی (۱۳۹۲)، سنجش از دور و کاربرد آن در برنامه‌ریزی شهری، انتشارات نگاره نو.
- ۹- قاسملو، محمدزاده، صاحبی، ولدان زوج؛ نیما، علی، محمودرضا، محمدجواد؛ (۱۳۸۷)، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس با استفاده از روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن باروش حداکثر احتمال و حداقل فاصله از میانگین، همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.