مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ۷۶-۶۶
Volume 5, Issue 2, Summer 2025, 66-76
http://emj.ardakan.ac.ir/article_733841.html

مقایسه‌ی الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی

مهدی تازه*[۱]، مهلا حسن‌زاده[۲]، سعیده کلانتری[۳]

چکیده

یکی از ضروری‌ترین اطلاعات مورد نیاز مدیران و تصمیم‌گیران منابع طبیعی نقشه‌های کاربری اراضی است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها جهت تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی به‌شمار می‌رود که ارزش، قابلیت وکارایی این نقشه‌ها به میزان دقت آن‌ها بستگی دارد. با توجه به اینکه الگوریتم‌های مختلفی برای طبقه‌بندی وجود دارد، در این پژوهش کارایی آنها در طبقه‌بندی نظارت شده جهت تهیه نقشه کاربری اراضی بررسی شد؛ بدین منظور، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ حوزه گلپایگان در سال ۲۰۲۴ اخذ و پس از انجام تصحیحات لازم، اقدام به پردازش و طبقه‌بندی با ۶ الگوریتم حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویی، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین‌بردار پشتیبان و سطوح موازی گردید. از داده‌های واقعیت زمینی به‌منظور تعیین میزان دقت طبقه‌بندی نقشه‌های تهیه شده استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان با ضریب کلی برابر ۰/۹۴ درصد و کاپا برابر با ۰/۸۵ نسبت به روش‌های دیگر دارای دقت بالاتری است. سایر الگوریتم‌های مورد استفاده به ترتیب شامل الگوریتم‌های فاصله ماهالانویی، حداکثر احتمال، حداقل فاصله، زاویه طیفی و سطوح موازی با ضرایب صحت کلی و کاپای ۰/۷۶، ۸۹/۹۷ درصد و۰/۷۱، ۸۶/۸۲ درصد و ۰/۶۶، ۸۴/۸۵ درصد و ۰/۳۷، ۶۲/۴۸ درصد و ۰/۱۸، ۲۹/۴۶ درصد در رده‌های بعدی قرار گرفتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب الگوریتم مناسب نه‌تنها بر دقت تفکیک کلاس‌ها تأثیر مستقیم دارد، بلکه می‌تواند در پایش دقیق زمین، مدیریت بهینه اراضی و برنامه‌ریزی منابع طبیعی نقش کلیدی ایفا کند. الگوریتم‌های پیشرفته نظیر ماشین‌بردار پشتیبان، امکان تولید نقشه‌های دقیق و قابل اعتماد را فراهم می‌کنند، در حالی‌که الگوریتم‌های با دقت پایین‌تر بیشتر برای مطالعات پیش‌تحلیلی مناسب هستند.

واژگان کلیدی:

طبقه‌بندی نظارت‌شده، ماهواره لندست ۹، صحت‌کلی، ضریب کاپا.

مقاله پژوهشی

۱. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mtazeh@ardakan.ac.ir
* نویسنده مسئول

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mhassanzadeh@ardakan.ac.ir

۳. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
skalantari@ardakan.ac.ir

شناسه مقاله: ۲۵۱۲-۱۱۴۶
شماره صفحه پیاپی: ۱۱۰۹-۱۱۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۳
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۱/۱۳
زمان پذیرش: ۳۴ روز

استناددهی:
تازه، م.، حسن‌زاده، م.، و کلانتری، س. (۱۴۰۴). مقایسه‌ی الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۲)۵، ۷۶-۶۶.

شاپا: ۲۸۲۱-۰۰۱۸۲
DOI: 10.22034/emj.2026.2082654.1146

۱- مقدمه

مناطق شهری دارای کاربری‌های متنوعی هستند و این کاربری‌ها در سراسر جهان با سرعت بیشتری در حال تغییر و تکامل هستند (Alhassan et al., 2020). از این‌رو، مطالعات تشخیص تغییرات مکرر و درک تغییرات مثبت و منفی در پوشش زمین در سراسر جهان مهم است (Pande, 2022). تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین برای برنامه‌ریزی شهری، مدیریت محیط زیست و توسعه پایدار حیاتی هستند (Hussain et al., 2020). پوشش اراضی به نوع سطح فیزیکی موجود در بخشی از زمین گفته می‌شود (Hester, 2008). آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مختلف آن، به بیان دیگر چگونگی استفاده از زمین به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶). علاوه‌بر این، بررسی دقیق و مداوم کاربری اراضی می‌تواند در تحلیل روندهای بلندمدت محیطی و منابع طبیعی، پیش‌بینی تأثیرات تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع آب و خاک و کاهش اثرات ناشی از توسعه ناپایدار بسیار مفید باشد.

روش‌های مختلفی برای استخراج نقشه کاربری اراضی وجود دارد که در این میان تکنیک سنجش از دور به دلیل ویژگی‌های خاص ازجمله دید وسیع، یکپارچگی، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف انرژی الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، دوره بازگشت کوتاه و امکان به‌کارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارها و کم هزینه بودن و سریع‌تر بودن بررسی و نیز فراهم کردن امکان پایش منطقه در گذشته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (فتحی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۵). به‌طور خاص، داده‌های سنجش از دور این امکان را فراهم می‌کنند که تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های زمانی کوتاه و بلند بررسی شوند، که برای مطالعات برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع طبیعی و پایش محیطی بسیار حیاتی است در طول دهه‌های گذشته داده‌های سنجش از دور به علت تکرار دوره‌ای، تنوع طیفی و رادیومتریک، دید یکپارچه و فرمت رقومی مناسب برای پردازش در کامپیوتر، منبع داده شگرفی برای کاربردهای گوناگون از جمله تهیه نقشه‌های پوشش هدف اساسی اراضی محسوب می‌شوند (Zhang et al., 2007). داده‌های ماهواره‌ای یکی ازسریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان جهت تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی می‌باشد (Pal and Mather, 2005). علاوه‌بر این، داده‌های ماهواره‌ای با پوشش طیفی و مکانی مختلف، امکان تحلیل‌های پیشرفته مانند شناسایی روندهای بلندمدت تغییرات کاربری اراضی، ارزیابی اثرات فعالیت‌های انسانی بر محیط و پایش منابع طبیعی را فراهم می‌کنند یشرفت‌های فناوری رایانه و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، افزایش دقت طبقه‌بندی و کاهش زمان پردازش تصاویر ماهواره‌ای را در پی داشته است(Phan et al., 2021). طبقه‌بندی دقیق تصویر ماهواره‌ای همیشه یک کار چالش برانگیز است و از این رو عدم قطعیت در تجزیه و تحلیل تشخیص تغییرات در کاربری اراضی مناطق معدنی وجود دارد (Kumar and Gorai, 2023). این چالش‌ها شامل تأثیر شرایط نور، پوشش گیاهی متراکم، سایه‌ها و تغییرات فصلی هستند که می‌توانند دقت طبقه‌بندی را کاهش دهند تاریخچه طبقه‌بندی کاربری اراضی تصاویر زمینی به دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی برمی‌گردد. از آن زمان، توسعه روش‌های طبقه‌بندی همراه با راه‌اندازی حسگرهای جدید لندست و پیشرفت در علوم کامپیوتر، به رشد خود ادامه داد (Abdi, 2019)، این امر در نهایت منجر به ظهور چندین الگوریتم طبقه‌بندی تصویر مدرن شده است. درخت‌های طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و طبقه‌بندی‌کننده نزدیک‌ترین همسایه و غیره (Ahirwar et al., 2018؛ Hu et al., 2018؛ Phiri et al., 2018) بسیاری از طبقه‌بندی‌کننده‌های دیگر هستند و در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته‌اند. انتخاب بهترین الگوریتم طبقه‌بندی همیشه چالشی مهم است، زیرا دقت الگوریتم‌ها به محیط مطالعه، وضوح مکانی، تنوع پوشش اراضی و کیفیت داده‌های ماهواره‌ای وابسته استکه با توجه به این مورد انتخاب بهترین الگوریتم طبقه‌بندی چالش برانگیز است. زیرا دقت در محیط‌های مختلف، منابع داده‌های ماهواره‌ای و وضوح مکانی متفاوت است (Zhang et al., 2015). به‌طور کلی می‌توان روش‌های طبقه‌بندی را به دو روش نظارت‌شده و نظارت‌نشده تقسیم‌بندی کرد (Ommen et al., 2008). روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویی، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین‌بردار پشتیبان، واگرایی اطلاعات طیفی و سطوح موازی در دسته‌ی طبقه‌بندی نظارت شده قرار دارند (Wulder et al., 2018). در این روش‌ها، کیفیت نمونه‌های آموزشی، دقت داده‌های پایه و انتخاب صحیح الگوریتم نقش مهمی در افزایش دقت طبقه‌بندی دارند

در واقع فرآیند طبقه‌بندی، تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک است (Mountrakis et al., 2011). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای مربوط به الگوریتم‌های طبقه‌بندی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. روش حداکثر احتمال، یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر به‌شمار می‌رود که در اکثر تحقیقات و مطالعات به‌عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است، این روش برای کلاس‌های چند طیفی مناسب تر است (Jensen, 1996). فاصله ماهالانویی، به روش حداقل فاصله از میانگین بسیار شبیه است (Richard, 2006). روش طبقه‌بندی نقشه زاویه طیفی[1] پایه‌ی آن بر اساس طبقه‌بندی طیفی است. از این روش زمانی استفاده می‌شود که داده‌ها نسبت به انعکاس کالیبره شده و تقریباً در مقابل اثرات نور و البیدو غیرحساس است (Kruse et al., 1993). ماشین‌بردار پشتیبان، از مزایای این روش یک در مقابل یک است، همچنین این روش با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌تواند دقت تصویر کلاس‌بندی شده خوبی ارائه دهد (Jensen, 1996). روش طبقه‌بندی سطوح موازی، در این روش بر اساس نمونه‌های تعلیمی تعریف شده برای طبقه‌بندی در هر کلاس حداکثر و حداقل ارزش پیکسل تعیین می‌شود و بر این اساس طبقه‌بندی تصاویر انجام می‌شود (Richard et al., 2006) روش‌های ناپارامتری مانند ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی، به دلیل استقلال از توزیع آماری داده‌ها و توانایی مقابله با

1. Spectral Angle Mapper

داده‌های پیچیده و چندکلاسه، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. امروزه از متداول‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای روش‌های آماری نظیر روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال می‌باشند اما این روش به دلیل ماهیت پارامتریکی به شدت به نوع توزیع آماری داده‌های مورد استفاده وابسته می‌باشد و همچنین تعداد نمونه‌های آموزشی بر دقت برآورد این روش بسیار مؤثر است. وجود مشکلاتی از این قبیل در روش‌های پارامتری منجر به توسعه روش‌های جدید ناپارامتری مانند شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان شده است. این روش‌های ناپارامتری از آن جا که به توزیع آماری خاصی وابسته نمی‌باشند و دقت بالایی در طبقه‌بندی دارند توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. در دهه‌های اخیر بسیاری از مطالعات برتری این روش‌های ناپارامتری را بر روش‌های پارامتری آماری نشان داده‌اند (شنانی هویزه و زارعی، ۱۳۹۵).

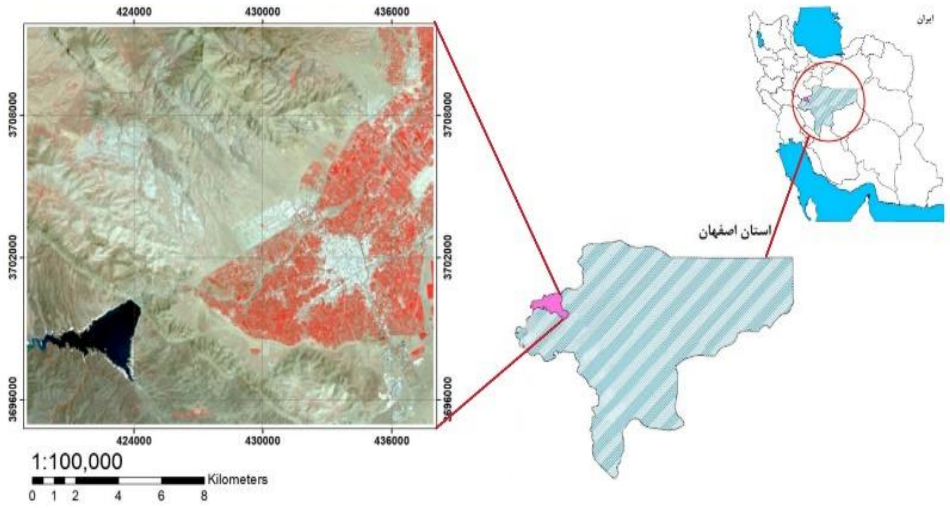
Chowdhury (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای مشابه دریافت در طبقه‌بندی کابری اراضی کمترین‌ترین دقت مربوط به الگوریتم حداکثر احتمال با ضرایب صحت و کاپای ۹۱ درصد، ۰/۸۶ و دقیق‌ترین و قابل اعتماد ترین مدل برای تهیه نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی با ضرایب صحت و کاپای ۹۵ درصد، ۰/۹۳ است. همچنین .Yimer et al (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای مشابه دریافتند که الگوریتم جنگل تصادفی بهترین عملکرد را داراست و الگوریتم‌های نزدیک‌ترین همسایه، ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال در رده‌های بعدی قرار دارند. Szuster et al. (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای مشابه دریافتند از میان سه روش شبکه عصبی ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی درمنطقه کوچکی در تایلند روش ماشین‌بردار پشتیبان از دقت بالاتری برای تهیه نقشه کاربری بهره‌مند است. در نهایت، تحلیل دقیق و انتخاب الگوریتم مناسب برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، نه تنها به دقت نتایج پژوهش کمک می‌کند، بلکه پایه‌ای برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی منابع طبیعی و توسعه پایدار محسوب می‌شود. با مرور مطالعات پیشین مشخص می‌شود که هرچند پژوهش‌های متعددی در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه الگوریتم‌های مختلف انجام شده است، اما نتایج این مطالعات نشان می‌دهد عملکرد الگوریتم‌ها وابستگی زیادی به شرایط منطقه‌ای، نوع کاربری اراضی، کیفیت داده‌ها و تنوع پوشش زمین دارد. از سوی دیگر، در بسیاری از مطالعات داخلی، مقایسه جامع چندین الگوریتم نظارت‌شده با استفاده از داده‌های جدید ماهواره لندست ۹ در مناطق دارای تنوع کاربری بالا کمتر مورد توجه قرار گرفته است. نوآوری تحقیق حاضر در ارزیابی هم‌زمان عملکرد شش الگوریتم پرکاربرد طبقه‌بندی نظارت‌شده و تحلیل تأثیر انتخاب الگوریتم بر دقت تفکیک کلاس‌های کاربری اراضی در شهرستان گلپایگان نهفته است که می‌تواند مبنای انتخاب روش بهینه در مطالعات مشابه و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی منطقه‌ای قرار گیرد.

هدف از این پژوهش، ارزیابی و مقایسه کارایی شش الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده شامل حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویی، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین‌بردار پشتیبان و سطوح موازی در تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان گلپایگان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ مربوط به سال ۲۰۲۴ است. این مطالعه تلاش دارد تا با استفاده از نمونه‌های تعلیمی دقیق و داده‌های واقعیت زمینی، دقت و صحت طبقه‌بندی هر الگوریتم را تعیین کرده و الگوریتم مناسب برای تولید نقشه کاربری اراضی با بالاترین دقت شناسایی شود. همچنین، این پژوهش با تمرکز بر چهار کلاس اصلی کاربری شامل دریاچه، کوهستان و مرتع، باغی و زراعی و اراضی شهری، تأثیر انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی بر تعیین مساحت و پراکنش دقیق هر کلاس کاربری در منطقه مورد مطالعه را بررسی می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیران منابع طبیعی و برنامه‌ریزان شهری کمک کند تا با بهره‌گیری از الگوریتم‌های بهینه، نقشه‌های کاربری اراضی قابل اعتمادتری برای مدیریت پایدار منابع و توسعه منطقه تهیه نمایند.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان گلپایگان از توابع استان اصفهان است که در محدوده‌ی طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه‌ی طول شرقی و ۳۳ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۲ دقیقه‌ی عرض شمالی واقع شده است و ارتفاع آن از سطح حدود ۲۲۰۰ متر است. این شهرستان در شمال غربی استان اصفهان واقع شده و با شهرهایی چون خوانسار، خمین، محلات، میمه و الیگودرز همسایه است. گلپایگان نقطه مشترک سه استان اصفهان، مرکزی و لرستان است و این موقعیت جغرافیایی باعث تنوع کاربری اراضی و دسترسی به مسیرهای ارتباطی بین استانی شده است. این شهر با وسعت ۱۷۷ کیلومترمربع و ارتفاع ۱۸۳۰ متر از سطح دریا، از مغرب و جنوب به کوه‌های بختیاری، از طرف مشرق به کوه شیخ احمد و کوه سرخ و کوه صالح پیغمبر محدود می‌شود.گلپایگان با شهر اصفهان ۱۵۶ کیلومتر فاصله دارد و در مسیر ارتباطی همدان- اراک به اصفهان و هم‌چنین مسیر کرمانشاه- اراک به اصفهان قرار گرفته‌است. این موقعیت جغرافیایی موجب اهمیت استراتژیک منطقه در شبکه حمل و نقل و ارتباطات بین شهری و استانی شده و بر توزیع کاربری اراضی تأثیرگذار است. این شهرستان از نواحی نیمه بیابانی است و به دلیل نزدیکی به کویر مرکزی ایران، بارندگی در آن کم و دارای زمستان های سرد و تابستان های گرم می‌باشد. همچنین زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم از ویژگی‌های بارز اقلیمی گلپایگان است که بر الگوهای کشاورزی و مراتع منطقه تأثیر مستقیم دارد. علاوه‌بر شرایط اقلیمی، موقعیت زمین‌شناسی و مورفولوژی شهرستان از جمله شیب و توپوگرافی متنوع نیز باعث پراکندگی کلاس‌های کاربری اراضی شده است. این ویژگی‌ها اهمیت مطالعات سنجش از دور و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را برای تحلیل دقیق کاربری اراضی در این منطقه افزایش می‌دهد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهرستان گلپایگان را نشان می‌دهد.



شکل(۱): موقعیت جغرافیایی شهرستان گلپایگان

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده لندست ۹ مربوط به سال ۲۰۲۴ با توان تفکیک مکانی ۳۰ استفاده شد. سنجنده لندست ۹ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع داده‌های سنجش‌ازدور، به دلیل پوشش طیفی گسترده، دقت مکانی مناسب و دسترسی رایگان، کاربرد وسیعی در مطالعات کاربری و پوشش اراضی دارد. تصاویر این سنجنده شامل باندهای مختلفی در محدوده مرئی، فروسرخ نزدیک، فروسرخ میانی و حرارتی هستند که امکان ثبت رفتار بازتابی سطوح مختلف زمین در طول موج‌های متفاوت انرژی الکترومغناطیسی را فراهم می‌کنند. این ویژگی موجب افزایش توان تفکیک کلاس‌های مختلف کاربری اراضی و کاهش هم‌پوشانی طیفی میان آن‌ها می‌شود.

از دیگر مزایای تصاویر لندست ۹ می‌توان به تناوب زمانی مناسب (دوره بازگشت کوتاه) اشاره کرد که امکان پایش مستمر و بررسی تغییرات مکانی–زمانی کاربری اراضی را در مقیاس منطقه‌ای فراهم می‌سازد. این قابلیت به‌ویژه در مناطق دارای تنوع کاربری بالا، نظیر شهرستان گلپایگان، اهمیت ویژه‌ای دارد؛ چراکه تغییرات فصلی پوشش گیاهی، فعالیت‌های کشاورزی و گسترش سکونتگاه‌های انسانی می‌توانند بر نتایج طبقه‌بندی تأثیرگذار باشند.

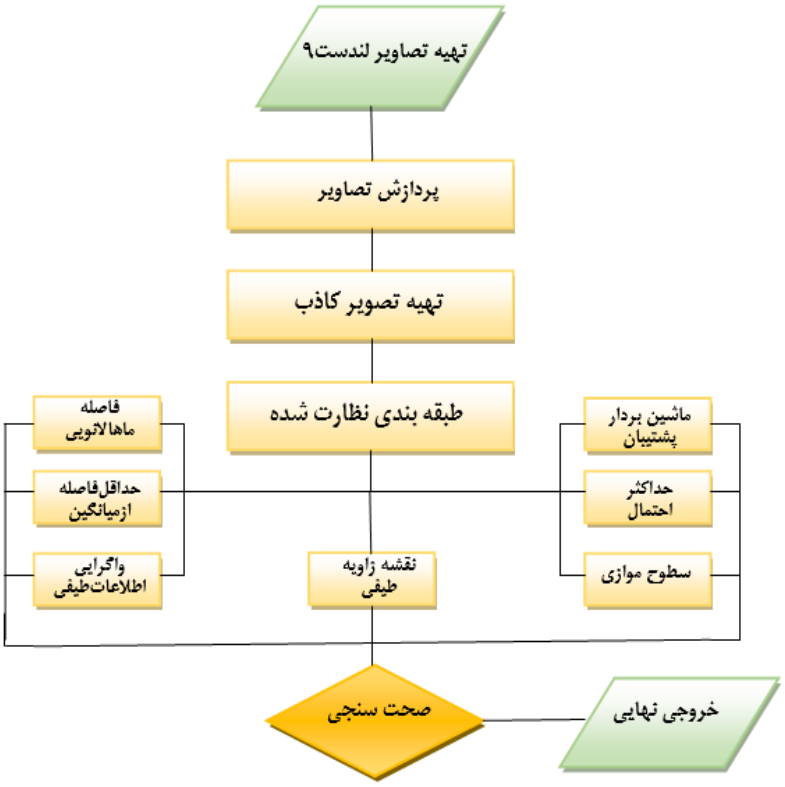
به‌منظور آماده‌سازی تصاویر برای فرآیند طبقه‌بندی، ابتدا پردازش‌های اولیه شامل تصحیحات رادیومتریک و هندسی با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام شد تا اثرات خطاهای سنجنده‌ای، شرایط جوی و ناهماهنگی‌های هندسی به حداقل برسد. سپس با بهره‌گیری از داده‌های واقعیت زمینی و دانش کارشناسی منطقه، نقشه‌های تعلیمی مناسب برای آموزش الگوریتم‌های طبقه‌بندی تهیه گردید. این مرحله نقش مهمی در افزایش دقت نتایج طبقه‌بندی و کاهش خطای تخصیص پیکسل‌ها به کلاس‌های نادرست دارد.

در ادامه، نرم‌افزار ArcGIS به‌منظور انجام پردازش‌های تکمیلی شامل ادغام پیکسل‌های منفرد و پراکنده، اعمال فیلترهای مکانی، تبدیل فرمت لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از قابلیت‌های تحلیل مکانی این نرم‌افزار، موجب بهبود خوانایی نقشه‌ها و افزایش قابلیت استفاده آن‌ها در تحلیل‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی فضایی شد.

۲-۳-روش تحقیق

برای تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از شش الگوریتم پرکاربرد و معتبر بهره گرفته شد؛ این الگوریتم‌ها شامل روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانوبیس، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین‌بردار پشتیبان و سطوح موازی هستند. انتخاب این الگوریتم‌ها بر اساس قابلیت آن‌ها در تحلیل داده‌های چند طیفی، تطابق با نمونه‌های آموزشی محدود، سابقه موفقیت در مطالعات مشابه و توانایی طبقه‌بندی دقیق پوشش‌های متنوع اراضی انجام شده است.

پس از انجام تصحیحات رادیومتریک، هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر ماهواره‌ای برای کاهش خطاهای ناشی از نویز، تغییرات نور و شرایط جوی و افزایش دقت مکانی و طیفی تصاویر، برای هر الگوریتم با استفاده از نرم‌افزار ENVI، نمونه‌های تعلیمی، نقشه کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد تا الگوریتم‌ها بتوانند ویژگی‌های طیفی و مکانی هر کلاس کاربری را به‌طور دقیق شناسایی کنند. شکل (۲) مراحل مختلف انجام این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل(۲): نمودار جریانی روش انجام تحقیق

برای تهیه نمونه‌های تعلیمی، تصویر رنگی کاذب با ترکیب باندهای نزدیک مادون قرمز، قرمز و سبز ایجاد شد تا کنتراست بین پوشش‌های گیاهی، مناطق زراعی، اراضی مرتعی و اراضی شهری به حداکثر برسد و انتخاب نمونه‌ها با دقت بالاتری انجام شود. سپس تعدادی از مناطق مشخص به‌عنوان نمونه انتخاب شدند تا به‌عنوان مبنای طبقه‌بندی اطلاعات استفاده شوند و از نمونه‌برداری پراکنده و تصادفی جلوگیری شود.

پس از انتخاب دقیق نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی با چهار کلاس کاربری اصلی شامل دریاچه، کوهستان و مرتع، باغی و زراعی، اراضی شهری انجام شد. این دسته‌بندی بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی موجود در منطقه مطالعاتی انجام گرفت تا بیشترین تطابق با واقعیت زمینی داشته باشد.

سپس، تصویر پایه با شش الگوریتم انتخاب شده طبقه‌بندی شد و نتایج حاصل به‌منظور مقایسه دقت عملکرد الگوریتم‌ها و تعیین بهترین روش طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله، الگوریتم‌ها به گونه‌ای اجرا شدند که بتوانند تفاوت‌های طیفی و مکانی کلاس‌ها را به‌طور دقیق تفکیک کنند و خطاهای ناشی از پیکسل‌های پراکنده یا تداخل طیفی کاهش یابد.

برای ارزیابی کیفیت طبقه‌بندی و دقت نقشه‌های تولید شده با استفاده از نرم‌افزار ENVI، شاخص‌های آماری نظیر صحت کلی و ضریب کاپا، مورد سنجش قرار گرفت. علاوه‌بر این، با استفاده از ابزار Majority Filter در نرم‌افزار ArcGIS، پیکسل‌های منفرد و پراکنده ادغام شدند تا نقشه نهایی یکپارچه، قابل تحلیل و با کیفیت مکانی بالاتر حاصل شود.

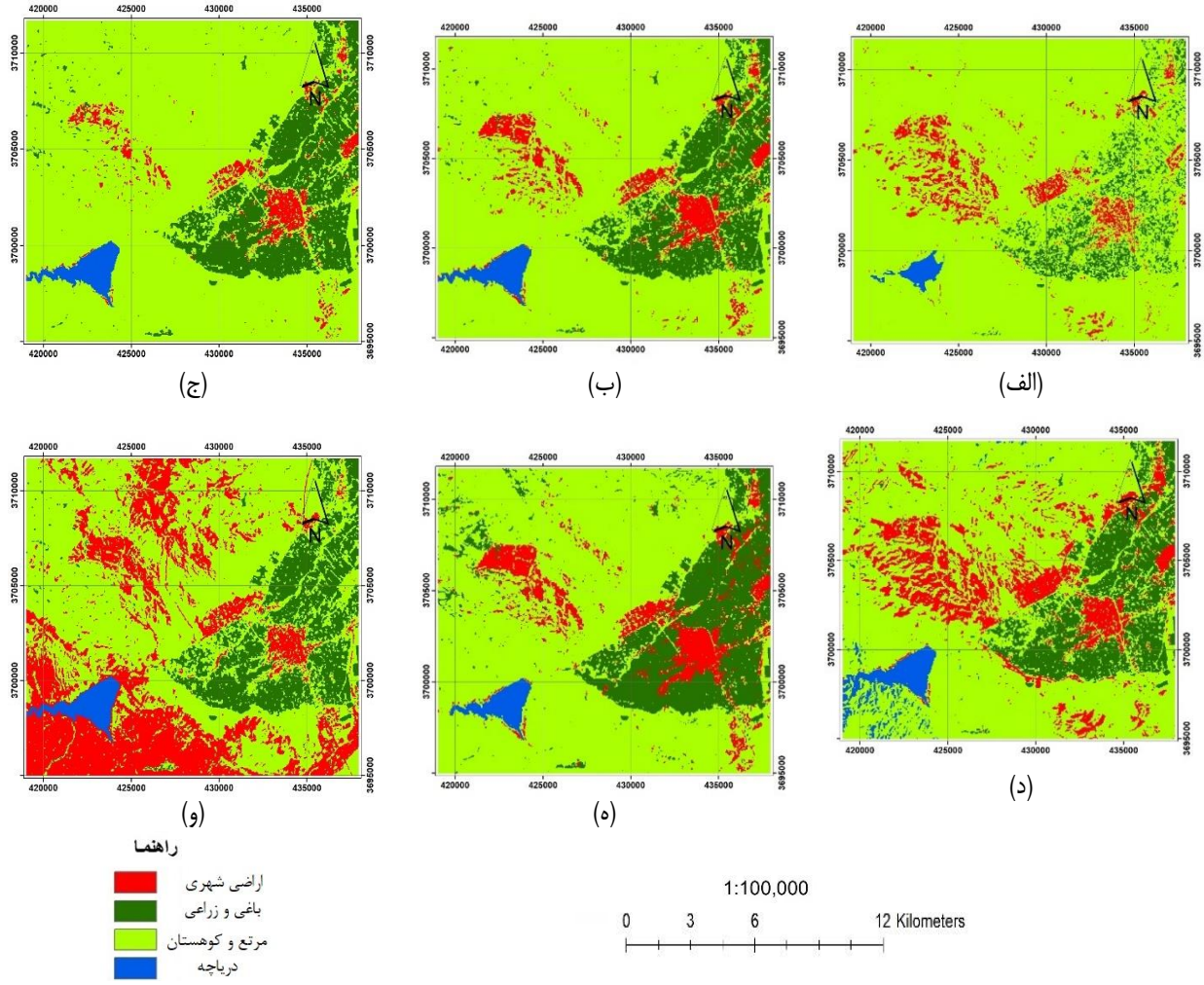
۳- نتایج

پس از انجام تمامی مراحل پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل تصحیحات رادیومتریک و هندسی و همچنین اجرای الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. بر اساس نتایج حاصل، کاربری اراضی شهرستان گلپایگان به چهار کلاس اصلی شامل دریاچه، کوهستان و مرتع، باغی و زراعی، و مناطق شهری تفکیک شد. این طبقه‌بندی‌ها با هدف بررسی عملکرد و مقایسه دقت شش الگوریتم مختلف شامل حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویی، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم سطوح موازی انجام پذیرفت.

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌ها نشان داد که هر یک از روش‌های طبقه‌بندی، توانایی متفاوتی در تفکیک کلاس‌های کاربری اراضی از خود نشان می‌دهند که این تفاوت‌ها ناشی از ماهیت آماری، نحوه مدل‌سازی داده‌ها و حساسیت الگوریتم‌ها به ویژگی‌های طیفی و پراکنش داده‌های آموزشی است. برخی الگوریتم‌ها در شناسایی کلاس‌های با رفتار طیفی متمایز نظیر پهنه‌های آبی و مناطق شهری عملکرد مناسب‌تری داشته‌اند، در حالی‌که در

تفکیک کلاس‌های دارای هم‌پوشانی طیفی بالا مانند باغی و زراعی یا مراتع و مناطق کوهستانی، اختلاف دقت بین الگوریتم‌ها مشهود بوده است. به‌منظور ارزیابی کمی کیفیت نتایج طبقه‌بندی، از شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. صحت کلی بیانگر درصد تطابق کلی بین پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده و داده‌های واقعیت زمینی بوده و ضریب کاپا میزان توافق واقعی بین نتایج طبقه‌بندی و داده‌های مرجع را با در نظر گرفتن احتمال توافق تصادفی نشان می‌دهد. استفاده همزمان از این دو شاخص امکان ارزیابی جامع‌تر میزان دقت و قابلیت اعتماد هر یک از الگوریتم‌های مورد بررسی را فراهم می‌آورد.

تحلیل نتایج ارزیابی دقت نشان داد که اختلاف معناداری میان عملکرد الگوریتم‌ها وجود دارد و انتخاب الگوریتم مناسب تأثیر مستقیمی بر کیفیت نهایی نقشه کاربری اراضی دارد. این موضوع به‌ویژه در مناطق دارای تنوع کاربری بالا و ناهمگنی مکانی، مانند شهرستان گلپایگان، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند؛ چراکه پیچیدگی الگوهای کاربری می‌تواند منجر به افزایش خطای طبقه‌بندی در برخی روش‌ها شود. نقشه‌های حاصل از اجرای هر یک از الگوریتم‌های طبقه‌بندی در شکل (۳) ارائه شده‌اند.



شکل (۳) الگوریتم‌های: الف)سطوح موازی، ب) فاصله ماهالانویی، ج) ماشین‌بردار پشتیبان، د) حداقل فاصله میانگین، ه) حداکثر احتمال، و) نقشه زاویه طیفی

مقایسه بصری این نقشه‌ها علاوه‌بر نتایج کمی ارزیابی دقت، نشان‌دهنده تفاوت در نحوه توزیع فضایی کلاس‌های کاربری اراضی و میزان انسجام و پیوستگی هر کلاس در الگوریتم‌های مختلف است. این بررسی‌ها امکان تحلیل دقیق‌تر نقاط قوت و ضعف هر الگوریتم را در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی فراهم می‌سازد.

در مجموع، نتایج این تحقیق بیانگر آن است که استفاده از الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند منجر به نتایج متفاوتی در تهیه نقشه کاربری اراضی شود و ارزیابی دقت نقش اساسی در انتخاب روش بهینه دارد. یافته‌های حاصل از این مطالعه می‌تواند به‌عنوان مبنایی علمی برای انتخاب الگوریتم مناسب در مطالعات مشابه و همچنین در برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت منابع طبیعی منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج کمی و کیفی حاصل از اجرای الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی، شامل مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی و شاخص‌های ارزیابی دقت مربوط به هر الگوریتم، در جدول (۲) ارائه شده است. این نتایج امکان بررسی هم‌زمان جنبه‌های کمی و کیفی طبقه‌بندی‌ها را فراهم می‌سازد و مبنای مناسبی برای مقایسه عملکرد الگوریتم‌ها از نظر دقت، قابلیت اعتماد و توانایی آن‌ها در تفکیک کلاس‌های مختلف کاربری اراضی به‌شمار می‌رود. اطلاعات ارائه‌شده در جدول (۲) نشان می‌دهد که تغییر در نوع الگوریتم طبقه‌بندی می‌تواند منجر به تفاوت در برآورد مساحت کلاس‌های کاربری و همچنین مقادیر ضرایب صحت شود؛ به‌گونه‌ای که برخی الگوریتم‌ها در تخمین دقیق‌تر مساحت کلاس‌ها و برخی دیگر در افزایش شاخص‌های دقت عملکرد بهتری از خود نشان داده‌اند. این موضوع بیانگر آن است که انتخاب الگوریتم مناسب، نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت نهایی نقشه‌های کاربری اراضی دارد و می‌تواند بر نتایج تحلیل‌های مکانی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مبتنی بر این نقشه‌ها تأثیر مستقیم بگذارد. در مجموع، نتایج جدول (۱) به‌عنوان یک ابزار تحلیلی مهم، امکان ارزیابی دقیق تفاوت‌ها و شباهت‌های عملکرد الگوریتم‌های مورد بررسی را فراهم کرده و چارچوبی علمی برای انتخاب روش بهینه طبقه‌بندی در مطالعات مشابه ارائه می‌دهد.

جدول(۱): مساحت طبقات (کیلومتر مربع) و ضرایب صحت

نوع الگوریتم	مساحت طبقات در هر الگوریتم				دقت و صحت طبقه‌بندی	
نوع الگوریتم	اراضی شهری	باغی و زراعی	مرتع وکوهستان	دریاچه	ضریب کاپا	صحت کلی
ماشین‌بردار پشتیبان	۱/۵	۵/۶	۲۷/۳	۰/۶	۰/۸۵	۹۴/۱۸٪
فاصله ماهالانویی	۲/۵	۵/۱	۲۶/۸	۰/۶	۰/۷۶	۸۹/۹۷٪
حداکثر احتمال	۳/۳	۶/۷	۲۴/۵	۰/۵	۰/۷۱	۸۶/۸۲٪
حداقل فاصله	۵/۲	۴/۹	۲۳/۹	۱/۱	۰/۶۶	۸۴/۸۵٪
زاویه طیفی	۳/۶	۴/۹	۱۹/۹	۶/۶	۰/۳۷	۶۲/۴۸٪
سطوح موازی	۵/۳	۳/۵	۲۱/۱	۵/۱	۰/۱۸	۲۹/۴۶٪

تحلیل دقیق نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۴/۱۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۵ بهترین عملکرد را در بین الگوریتم‌های مورد مطالعه دارد. در این الگوریتم، بیشترین مساحت مربوط به کلاس مرتع و کوهستان با ۲۷/۳ هکتار بود و پس از آن کلاس باغی و زراعی با ۵/۶ هکتار و کلاس اراضی شهری با ۱/۵ هکتار قرار داشت. کمترین مساحت مربوط به کلاس دریاچه با ۰/۶ هکتار مشاهده شد.

الگوریتم فاصله ماهالانویی با صحت کلی ۸۹/۹۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۶ نیز عملکرد بسیار مناسبی داشت و مساحت کلاس‌ها به ترتیب ۲۶/۸ هکتار برای مرتع و کوهستان، ۵/۱ هکتار برای باغی و زراعی، ۲/۵ هکتار برای اراضی شهری و ۰/۶ هکتار برای دریاچه بود. الگوریتم حداکثر احتمال با صحت کلی ۸۶/۸۲ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۱ نیز از دقت نسبتاً بالایی برخوردار بود، به‌طوری که مساحت کلاس‌ها شامل ۲۴/۵ هکتار برای مرتع و کوهستان، ۶/۷ هکتار برای باغی و زراعی، ۳/۳ هکتار برای اراضی شهری و ۰/۵ هکتار برای دریاچه بود.

الگوریتم‌های حداقل فاصله، زاویه طیفی و سطوح موازی نسبت به سه الگوریتم فوق صحت و ضریب کاپای پایین‌تری نشان دادند. الگوریتم حداقل فاصله با صحت کلی ۸۴/۸۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۶، الگوریتم زاویه طیفی با صحت کلی ۶۲/۴۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۳۷ و الگوریتم سطوح موازی با صحت کلی ۲۹/۴۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۱۸ در رده‌های بعدی قرار گرفتند. این موضوع نشان می‌دهد که الگوریتم‌های پارامتریک ساده‌تر و حساس‌تر به نمونه‌های آموزشی و پراکندگی داده‌ها هستند و در مناطق با کلاس‌های متنوع و پراکنده دقت کمتری دارند.

همچنین مشاهده شد که در الگوریتم‌های دارای صحت بالاتر، اختلاف مساحت بین کلاس‌های کاربری کمتر بوده و این موضوع نشان‌دهنده ثبات و قابلیت اعتماد بیشتر در طبقه‌بندی دقیق کاربری اراضی است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب الگوریتم مناسب نقش بسیار حیاتی در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و کاربردهای مدیریتی و برنامه‌ریزی منابع طبیعی دارد و استفاده از الگوریتم‌های دقیق‌تر می‌تواند باعث کاهش خطا و افزایش قابلیت اعتماد در تصمیم‌گیری‌های مربوط به توسعه شهری، کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی شود.

در نهایت، بررسی کلی نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان، فاصله ماهالانویی و حداکثر احتمال گزینه‌های بهینه برای تهیه نقشه‌های دقیق کاربری اراضی هستند و الگوریتم‌های زاویه طیفی و سطوح موازی به دلیل حساسیت بالا به نمونه‌های آموزشی و پراکندگی داده‌ها دارای کمترین دقت در این مطالعه بودند.

٤-بحث

در این مطالعه، هدف اصلی بررسی و مقایسه عملکرد شش الگوریتم نظارت‌شده شامل حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویی، نقشه‌بردار زاویه طیفی، ماشین‌بردار پشتیبان و سطوح موازی برای تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان گلپایگان بود. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی دقت کلی و ضریب کاپا نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، با دقت کلی ۱۸/۹۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۵ عملکرد برتری دارد و توانسته است بهترین تمایز بین کلاس‌های مختلف کاربری ارائه دهد.

الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان، با دقت بالا در تشخیص چهار کلاس کاربری، توانست مناطق کوهستانی و مرتعی را با مساحت ۲۷/۳ هکتار و اراضی باغی و زراعی با ۵/۶ هکتار به‌درستی شناسایی کند. کلاس اراضی شهری با مساحت ۱/۵ هکتار و دریاچه با ۰/۶ هکتار نیز توسط این الگوریتم با دقت

مناسبی طبقه‌بندی شدند. این الگوریتم با توجه به قابلیت خود در مدیریت نمونه‌های آموزشی محدود و حساسیت پایین به پراکندگی داده‌ها، توانست بهترین عملکرد را در شناسایی کلاس‌های غالب و پراکنده ارائه دهد.الگوریتم فاصله ماهالانویی با دقت کلی ۸۹/۹۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۶، پس از ماشین‌بردار پشتیبان در رده دوم قرار گرفت. این الگوریتم توانست کلاس‌های مرتع و کوهستان را با مساحت ۲۶/۹ هکتار و کلاس باغی و زراعی با ۵/۱ هکتار شبیه‌سازی کند. عملکرد مناسب آن نشان‌دهنده توانایی الگوریتم در تفکیک کلاس‌های با پراکندگی طیفی متوسط و حفظ تناسب مساحت کلاس‌ها است.الگوریتم حداکثر احتمال، با دقت کلی ۸۶/۸۲ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۱، این الگوریتم در رده سوم قرار گرفت. کلاس مرتع و کوهستان با مساحت ۲۴/۵ هکتار و باغی و زراعی با ۶/۷ هکتار توسط این الگوریتم شناسایی شدند. نتایج نشان می‌دهد که روش حداکثر احتمال، با وجود توانایی تفکیک مناسب کلاس‌های اصلی به دلیل وابستگی به توزیع آماری داده‌ها، در شناسایی کلاس‌های با پراکندگی بالا و کلاس‌های کوچک مانند دریاچه (۰/۵ هکتار) کمی محدودیت دارد.دقت کلی الگوریتم حداقل فاصله از میانگین ۸۴/۸۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۶ این الگوریتم نشان می‌دهد که عملکرد آن در شناسایی کلاس‌های اصلی مناسب بوده، اما توانایی تفکیک دقیق کلاس‌های با پراکندگی بالا مانند باغی و زراعی (۴/۹ هکتار) نسبت به الگوریتم‌های پیشرفته‌تر کمتر است. این الگوریتم به شدت تحت تاثیر نمونه‌های آموزشی قرار دارد و در کلاس‌های کوچک دقت پایین‌تری دارد.
در مورد الگوریتم زاویه طیفی، با دقت کلی ۶۲/۴۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۳۷ این الگوریتم عملکرد نسبتا ضعیفی در تفکیک کلاس‌ها ارائه داده است. به‌ویژه در کلاس‌های پراکنده و با مساحت کم مانند دریاچه (۶/۶ هکتار) و باغی و زراعی (۴/۹ هکتار)، نتایج کمتر دقیق بوده و نشان‌دهنده حساسیت بالای الگوریتم نسبت به پراکندگی نمونه‌ها و تنوع طیفی کلاس‌ها است.الگوریتم سطوح موازی، با دقت کلی ۲۹/۴۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۱۸ کمترین عملکرد را داشت. کلاس‌های اراضی شهری (۲/۳ هکتار) و باغی و زراعی (۲/۲ هکتار) به‌خوبی تفکیک نشده‌اند. این موضوع ناشی از وابستگی الگوریتم به محدوده دقیق نمونه‌های آموزشی و محدودیت در مدیریت کلاس‌های با پراکندگی بالا است.
تحلیل مقایسه‌ای الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که دقت نهایی طبقه‌بندی رابطه مستقیمی با توانایی الگوریتم در مدیریت نمونه‌های آموزشی، میزان حساسیت آن به پراکندگی داده‌ها و پیچیدگی محاسباتی دارد. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، الگوریتم‌های ناپارامتریک و پیشرفته مانند ماشین‌بردار پشتیبان و فاصله ماهالانویی توانسته‌اند با دقت بالا، هم کلاس‌های اصلی و گسترده و هم کلاس‌های کوچک و پراکنده را به‌خوبی شناسایی کنند. انعطاف‌پذیری این الگوریتم‌ها در برخورد با تغییرات طیفی و توانایی آن‌ها در استفاده بهینه از نمونه‌های آموزشی محدود، موجب بهبود عملکرد آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها شده است. این ویژگی‌ها باعث می‌شود که این الگوریتم‌ها برای مطالعات کاربری اراضی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای گزینه‌های مناسب‌تری باشند.
در مقابل، الگوریتم‌های پارامتریک مانند حداکثر احتمال و همچنین روش‌های ساده‌تر نظیر نقشه‌بردار زاویه طیفی و سطوح موازی، در تفکیک کلاس‌های دارای مساحت کم و پراکندگی بالا با محدودیت‌هایی مواجه بوده‌اند. وابستگی این الگوریتم‌ها به فرضیات آماری خاص یا حساسیت آن‌ها به تغییرات طیفی باعث کاهش دقت آن‌ها در شرایط ناهمگن می‌شود. از این‌رو، اگرچه این روش‌ها می‌توانند برای تحلیل‌های مقدماتی یا مطالعات کلی در مقیاس‌های بزرگ مورد استفاده قرار گیرند، اما برای تهیه نقشه‌های دقیق کاربری اراضی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، قابلیت اعتماد کمتری دارند.
نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) بررسی شد. در این پژوهش، الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با میانگین ضریب صحت کلی ۹۰/۹۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۵۰۳، در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی و روش حداکثر احتمال، عملکرد بهتری در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای ارائه داده است. نتایج ما در این بخش همسو با یافته‌های آنان است و نشان می‌دهد که الگوریتم‌های ناپارامتریک در مدیریت نمونه‌های محدود و پراکنده و تهیه نقشه‌های دقیق کاربری اراضی کارایی بالایی دارند.
همچنین، نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های ابوترابی و همکاران (۱۳۹۴) در شهرستان قاینات همسو است. آن‌ها گزارش کردند که الگوریتم‌های دارای توانایی بالاتر در مدیریت پراکندگی داده‌ها و تفکیک کلاس‌های کاربری، دقت بالاتری نسبت به روش‌های ساده‌تر ارائه می‌دهند. مقایسه ما با این پژوهش نشان می‌دهد که انتخاب الگوریتم مناسب نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت نقشه‌های کاربری اراضی دارد و نتایج حاصل در مناطق مشابه قابل تعمیم است.
در بررسی با پژوهش نوروزی و همکاران (۱۴۰۰)، الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان نیز در هر دو مطالعه عملکرد برتری در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری اراضی نشان داده است. نتایج پژوهش حاضر با آن همسو است؛ ماشین‌بردار پشتیبان، با دقت کلی بالا و ضریب کاپای بیشتر نسبت به سایر روش‌های نظارت‌شده، توانایی تفکیک دقیق کلاس‌های اصلی و پراکنده را دارد، در حالی که الگوریتم‌های ساده‌تر مانند کوتاه‌ترین فاصله یا بیشترین شباهت دقت پایین‌تری ارائه می‌دهند. این تطبیق نتایج نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم پیشرفته و ناپارامتریک به‌ویژه در مناطق با تنوع کاربری بالا، نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود دقت و قابلیت اعتماد نقشه‌های کاربری اراضی دارد.
در مجموع، تحلیل کلی نتایج نشان می‌دهد که انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی باید متناسب با ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، نوع کاربری‌های غالب و هدف نهایی پژوهش انجام شود. با این حال، در مناطق ناهمگن و دارای کلاس‌های پراکنده، استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته و ناپارامتریک می‌تواند منجر به افزایش دقت طبقه‌بندی و بهبود کیفیت نقشه‌های کاربری اراضی شود.

۵- نتیجه‌گیری

انتخاب الگوریتم مناسب برای تهیه نقشه کاربری اراضی تأثیر مستقیم و تعیین‌کننده‌ای بر دقت تفکیک کلاس‌های کاربری و صحت نهایی نقشه‌های تولیدی دارد. نقشه‌های کاربری اراضی به‌عنوان ابزار اصلی در مدیریت سرزمین، برنامه‌ریزی منابع طبیعی، توسعه شهری، کشاورزی و مدیریت منابع آبی اهمیت ویژه‌ای دارند و دقت و قابلیت اعتماد آن‌ها برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی حیاتی است.نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که الگوریتم‌های ناپارامتریک و پیشرفته، به‌ویژه ماشین‌بردار پشتیبان و فاصله ماهالانویی، دقت بالاتری در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای دارند و توانایی بیشتری در مدیریت نمونه‌های آموزشی محدود و داده‌های با پراکندگی بالا از خود نشان می‌دهند. این الگوریتم‌ها قادرند کلاس‌های مختلف کاربری، از جمله کلاس‌های غالب و گسترده و همچنین کلاس‌های کوچک و پراکنده، را با دقت مناسب شناسایی کنند و عملکرد قابل اعتمادی در شرایط ناهمگن ارائه دهند. در مقابل، الگوریتم‌های ساده‌تر و پارامتریک، به دلیل حساسیت بیشتر به پراکندگی داده‌ها و وابستگی به فرضیات آماری، در تفکیک کلاس‌های کوچک و پراکنده محدودیت دارند و معمولاً برای مطالعات کلی، تحلیل‌های مقدماتی یا بررسی‌های ناحیه‌ای در مقیاس بزرگ مناسب‌تر هستند. این الگوریتم‌ها می‌توانند تصویری کلی از وضعیت کاربری اراضی ارائه دهند، اما برای تحلیل‌های دقیق و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی حساس، قابلیت اعتماد کمتری دارند. یافته‌ها نشان می‌دهد که دقت نهایی طبقه‌بندی وابسته به ویژگی‌های منطقه، ترکیب و تنوع کاربری‌های اراضی و پراکندگی نمونه‌های آموزشی است. در مناطقی با تنوع بالای کاربری و پراکندگی گسترده نمونه‌ها، الگوریتم‌های پیشرفته و ناپارامتریک گزینه مناسب‌تری برای تهیه نقشه‌های دقیق و قابل اعتماد هستند. استفاده از این الگوریتم‌ها می‌تواند منجر به افزایش کیفیت اطلاعات استخراج‌شده، کاهش خطاهای تفکیک و ارتقای قابلیت اعتماد نقشه‌ها برای پایش تغییرات کاربری اراضی، مدیریت منابع کشاورزی، برنامه‌ریزی توسعه شهری و دستیابی به اهداف توسعه پایدار شود. در نهایت، این مطالعه تأکید می‌کند که انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی باید با توجه به اهداف پژوهش، ویژگی‌های داده‌ها و شرایط منطقه انجام شود. الگوریتم‌های پیشرفته و ناپارامتریک به دلیل توانایی بالاتر در مدیریت تنوع داده‌ها و حفظ دقت در شرایط پیچیده، می‌توانند به‌عنوان ابزار اصلی در مطالعات مدیریتی و برنامه‌ریزی فضایی مورد استفاده قرار گیرند و نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود تصمیم‌گیری‌ها و پشتیبانی از توسعه پایدار ایفا کنند.

منابع

ابوترابی، ح.، بهدانی، م.، و وحیدی، م. (۱۳۹۴). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهوارهای در تهیه نقشه کاربری اراضی(مطالعه موردی: شهرستان قاینات). سومین همایش ملی انجمن های علمی دانشجویی رشته های کشاورزی و منابع طبیعی،کرج. اردیبهشت ۱۳۹۴.

جعفری، م.، زهتابیان، غ.، احسانی، ا.، و منبری، س. (۱۳۹۲). استفاده از داده‌های ماهواره لندست، سنجنده ETM+ جهت بررسی وضعیت پوشش سطح زمین (مطالعه موردی: کاشان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۲)۲۰، ۲۹۷-۲۸۵.

شنانی هویزه،س.، و زارعی، ح. (۱۳۹۵). مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در استخراج نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز ابوالعباس. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، (۲۳)۱۰، ۸۴-۷۳.

فتحی‌زاد، ح.، صفری، ع.، بازگیر، م.، و خسروی. غ. ر. (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان با کرنل‌های خطی، چند جمله‌ای و پایه شعاعی با شبکه عصبی مصنوعی جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، (۴)۲۳، ۷۳۰-۷۲۱.

نوروزی، م.، وهاب‌زاده، ق.، سلیمانی، ک.، و شعبانی، م. (۱۴۰۰). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: بخشی از استان مازندران). دومین کنفرانس ملی تغییرات محیطی با استفاده از فناوری سنجش از دور. ساری، اسفند ۱۴۰۰.

یوسفی،ص.، تازه، م.، میرزایی، س.، مرادی، ح.، و توانگر،ش. (۱۳۹۳). مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، (۳)۵، ۷۶-۶۷.

Abdi, A.M. (2020). Land cover and land use classification performance of machine learning algorithms in a boreal landscape using Sentinel-2 data. GIScience & Remote Sensing, 57(1), 1-20.

Ahirwar, R., Malik, M.S., and Shukla, J.P. (2018). Development of Hybrid Unsupervised Classification Techniques for Accuracy enhancement of Land Use/Land Cover Mapping Using Geo-Spatial Technology: Hoshangabad, District Madhya Pradesh India. Geoinfor Geostat: An Overview, 6(3).

Alhassan, V., Henry, C., Ramanna, S., and Storie, C. (2020). A deep learning framework for land-use/land-cover mapping and analysis using multispectral satellite imagery. Neural Computing and Applications, 32, 8529-8544.

Chowdhury, M.S. (2024). Comparison of accuracy and reliability of random forest, support vector machine, artificial neural network and maximum likelihood method in land use/cover classification of urban setting. Environmental Challenges, 14, 100800.

Hester, D.B. (2008). Land cover mapping and change detection in urban watersheds using Quickbird high spatial resolution satellite imagery. North Carolina State University. Carolina.

Hu, Y., Dong, Y., and Nacun, B. (2018). An automatic approach for land-change detection and land updates based on integrated NDVI timing analysis and the CVAPS method with GEE support. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 146, 347-359.

Hussain, S., Mubeen, M., Ahmad, A., Akram, W., Hammad, H.M., Ali, M., Masood, N., Amin, A., Farid, H.U., Sultana, S.R., Fahad, S., Wang, D. and Nasim, W. (2020). Using GIS tools to detect the land use/land cover changes during forty years in Lodhran District of Pakistan. Environmental Science and Pollution Research, 27(32), 39676-39692.

Jensen, J.R. (1996). Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. New Jersyy: Prentice Hall, 318p.

Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.W., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A., Barloon, P.J., and Goetz, A.F. (1993). The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. Remote sensing of environment, 44(2-3), 145-163.

Kumar, A., and Gorai, A.K. (2023). Design of an optimized deep learning algorithm for automatic classification of high-resolution satellite dataset (LISS IV) for studying land-use patterns in a mining region. Computers & Geosciences, 170, 105251.

Mountrakis, G., Im, J., and Ogole, C. (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(3), 247-259.

Oommen, T., Misra, D., Twarakavi, N. K., Prakash, A., Sahoo, B., and Bandopadhyay, S. (2008). An objective analysis of support vector machine-based classification for remote sensing. Mathematical Geosciences, 40(4), 409-424.

Pal, M., and Mather, P.M. (2005). Support vector machines for classification in remote sensing. International Journal of Remote Sensing, 26(5), 1007-1011.

Pande, C. B. (2022). Land use/land cover and change detection mapping in Rahuri watershed area (MS), India using the google earth engine and machine learning approach. Geocarto International, 37(26), 13860-13880.

Phan, D.C., Trung, T.H., Truong, V.T., Sasagawa, T., Vu, T.P.T., Bui, D.T., Hayashi, M., Tadono, T., and Nasahara, K. N. (2021). First comprehensive quantification of annual land use/cover from 1990 to 2020 across mainland Vietnam. Scientific Reports, 11(1), 9979.

Phiri, D., Morgenroth, J., Xu, C., and Hermosilla, T. (2018). Effects of pre-processing methods on Landsat OLI-8 land cover classification using OBIA and random forests classifier. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 73(6), 170-178.

Richard, J.A. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis, Berlin: Springer-Verlag, 439p.

Szuster, B.W., Chen, Q., and Borger, M. (2011). A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. Applied Geography, 31(2), 525-532.

Wulder, M.A., Coops, N.C., Roy, D.P., White, J.C., and Hermosilla, T. (2018). Land cover 2.0. International Journal of Remote Sensing, 39(12), 4254-4284.

Yimer, S.M., Bouanani, A., Kumar, N., Tischbein, B., and Borgemeister, C. (2024). Comparison of different machine-learning algorithms for land use land cover mapping in a heterogenous landscape over the Eastern Nile river basin, Ethiopia. Advances in Space Research, 74(5), 2180-2199.

Zhang, C., Chen, Y., and Lu, D. (2015). Mapping the land-cover distribution in arid and semiarid urban landscapes with Landsat Thematic Mapper imagery. International Journal of Remote Sensing, 36(17), 4483-4500.

Zhang, Z., Verbeke, L., De Clercq, E., Ou, X., and De Wulf, R. (2007). Vegetation change detection using artificial neural networks with ancillary data in Xishuangbanna, Yunnan Province, China. Chinese Science Bulletin, 52(Suppl 2), 232-243.

Management of Natural Ecosystems
Volume 5, Issue 2, Summer 2025, 66-76
http://emj.ardakan.ac.ir/article_733841.html

Comparison of Different Satellite Image Classification Algorithms for Land-Use Mapping

Mahdi Tazeh[1*], Mahla Hasanzadeh[2], Saeideh kalantari[3]

Research Article

1. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

mtazeh@ardakan.ac.ir

*Corresponding author

3. MS Student of desert management and control, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

mhassanzadeh@ardakan.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.

skalantari@ardakan.ac.ir

Article Code: 2512-1146
Countinus Pagination: 1109-1119

Received: 31 December 2025
Accepted: 2 February 2026
Online: 2 February 2026
Review speed: 34 days

Citation:
Tazeh, M., Hasanzadeh, M., and Kalantari, S. (2025). Comparison of Different Satellite Image Classification Algorithms for Land-Use Mapping. Management of Natural Ecosystems, 5(2), 66-76.

Abstract

One of the most essential pieces of information required by natural resource managers and decision-makers is land-use maps. The use of satellite data is one of the fastest and most cost-effective methods for producing land-use maps, the value, applicability, and effectiveness of which depend on their accuracy. Considering that various classification algorithms exist; this study examined their performance in supervised classification for land-use mapping. For this purpose, Landsat-9 satellite images of the Golpayegan basin were acquired in 2024. After applying the necessary corrections, the images were processed and classified using six algorithms: Maximum Likelihood, Minimum Distance to Mean, Mahalanobis Distance, Spectral Angle Mapper, Support Vector Machine, and Parallelepiped. Ground truth data were used to determine the classification accuracy of the generated maps. The results showed that the Support Vector Machine (SVM) method achieved the highest accuracy, with an overall accuracy of 94.0% and a Kappa coefficient of 0.85. The other algorithms ranked as follows, with their corresponding overall accuracies and Kappa coefficients: Mahalanobis Distance (89.97% and 0.76), Maximum Likelihood (86.82% and 0.71), Minimum Distance (84.85% and 0.66), Spectral Angle Mapper (62.48% and 0.37), and Parallelepiped (29.46% and 0.18).These findings indicate that selecting an appropriate algorithm not only directly affects the accuracy of class differentiation but also plays a critical role in precise land monitoring, optimal land management, and natural resource planning. Advanced algorithms such as Support Vector Machine allow for the production of accurate and reliable maps, whereas lower-accuracy algorithms are generally more suitable for preliminary analyses.

Key Words:

Supervised Classification, Landsat 9 Satellite, Overall Accuracy, Kappa Coefficient.

DOI: 10.22034/emj.2026.2082654.1146
ISSN: 2821-0182