



بررسی کارایی الگوریتم‌های نظارت‌شده در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ در رویشگاه جنگلی زاگرس

فرحناز رشیدی^{۱*} و ابوالفضل جعفری^۱

^۱استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۹)

چکیده

مقدمه: هدف این پژوهش، بررسی عملکرد الگوریتم‌های مختلف در افزایش صحت نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر سنتینل بوده است. **مواد و روش‌ها:** منطقه پژوهش یک برگ نقشه (مقیاس ۱/۲۵۰۰۰) در منطقه رویشی زاگرس شهرستان مریوان به مساحت ۱۵۷۸۲/۶ هکتار بود. نقشه پوشش زمین با استفاده از الگوریتم‌های نظارت‌شده فاصله ماهالانوبیس، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، شبکه عصبی مصنوعی، موازی، ماشین بردار پشتیبان، نقشه‌بردار زاویه طیفی، اطلاعات طیفی واگرایی و کدگذاری دودویی با استفاده از بهترین ترکیب بانندی از دوازده باند (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۸a، ۱۱، ۱۲، SAVI، NDVI) و نمونه‌های تعلیمی به‌دست‌آمده از اطلاعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. از ۷۰ درصد نمونه‌ها برای طبقه‌بندی و از ۳۰ درصد برای ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده استفاده شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که سه طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و حداکثر احتمال دارای بیشترین صحت هستند. طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان با اختلاف بسیار جزئی صحت بیشتری از دو طبقه‌بندی‌کننده دیگر داشت. شایان ذکر است که برای بهبود طبقه‌بندی از کرنل‌های ماشین بردار پشتیبان (خطی، چندجمله‌ای، تابع پایه شعاعی و حلقوی) و تنظیمات نقشه‌بردار زاویه طیفی (شش حالت) و موازی (دو حالت) استفاده شد. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان به روش تابع چندجمله‌ای با درجه ۶ دارای بیشترین صحت است. سپس نقشه با بیشترین صحت پس‌پردازش شد و صحت کلی ۹۶/۶۳ و ضریب کاپا ۰/۹۳۹۳ به‌دست آمد. **نتیجه‌گیری:** بررسی بیست حالت طبقه‌بندی‌کننده روی تصاویر سنتینل در این پژوهش، نشان از بررسی کامل الگوریتم‌های طبقه‌بندی‌کننده در مقایسه با پژوهش‌های انجام‌گرفته دارد.

واژه‌های کلیدی: چندجمله‌ای، حداکثر احتمال، شبکه عصبی، کرنل، ماشین بردار پشتیبان.

مقدمه

سرعت در روند تهیه این نقشه‌ها می‌شود (Masek et al., 2015). ماهواره سنتینل ۲ متعلق به کوپرنیکوس، بزرگ‌ترین برنامه جهانی برای بررسی زمین و محیط زیست است. این ماهواره به‌صورت ویژه برای تصویربرداری از زمین و تأمین داده در حوزه‌های تغییرات پوششی کاربری اراضی و نظارت بر جنگل طراحی شده و مکمل داده‌های لندست و اسپات است (Forkuor et al., 2018). آنها با توجه به خصوصیات

پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی نقش اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست دارد و داده‌های ماهواره‌ای کارایی زیادی در آشکارسازی و تجزیه و تحلیل تغییرات محیط زیست دارند (Jensen, 2015). استفاده از تصاویر جدید دارای قابلیت زیاد در پایش زمین و محیط زیست سبب افزایش صحت و

ذکر شده می‌توانند برای نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی در فصل رشد کاربرد فراوانی داشته باشند. هر طبقه‌بندی‌کننده طی فرایندی عملیاتی و براساس توانایی‌های طبقه‌بندی‌کننده و نرم‌افزار خاص، به نتایج متفاوتی دست می‌یابد. الگوریتم‌های طبقه‌بندی‌کننده به‌صورت نظارت‌شده و نظارت‌نشده برای طبقه‌بندی استفاده می‌شوند. الگوریتم‌های نظارت‌نشده خوشه‌بندی را براساس ویژگی‌های بازتابی انجام می‌دهند (Halder et al., 2011) که اغلب در مواردی که از منطقه شناخت کافی وجود ندارد استفاده می‌شود. اما الگوریتم‌های نظارت‌شده با استفاده از نقاط نمونه تعلیمی که توسط کاربر تعیین می‌شوند طبقه‌بندی را انجام می‌دهند (Richards, 1993). پژوهش‌های مختلفی به بررسی الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی طبقه‌بندی‌ها و مقایسه آنها با هم پرداخته‌اند.

Ghayour et al. (2021) در پژوهش خود به ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله و ماهالانوبیس به‌منظور تهیه نقشه کاربری زمین (مرتج، اراضی کشاورزی، آب، زمین بایر و اراضی مسکونی) با استفاده از داده‌های ماهواره‌های سنتینل ۲ و لندست ۸ پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان دارای بیشترین صحت (۹۴ درصد) بود و الگوریتم‌های حداکثر احتمال (۷۴/۶۸ درصد) و حداقل فاصله (۸۰/۸۵ درصد) دارای کمترین صحت بودند. Mohamed Abdi (2020) به بررسی عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین (ناپارامتری) ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی، تقویت گرادیان شدید و یادگیری عمیق در منطقه بورآل با هشت کاربری (جنگل خزان‌کننده، سوزنی‌برگ، آب، مناطق انسان‌ساز، سرزمین باتلاقی، کشاورزی، قطع یکسره و مناطق خالی) در جنوب-مرکز سوئد روی تصاویر سنتینل پرداخت. نتایج بیانگر بیشترین صحت طبقه‌بندی تهیه‌شده توسط ماشین بردار پشتیبان

(۰/۰±۷۵۸/۰۱۷) و کمترین صحت متعلق به الگوریتم یادگیری عمیق (۰/۰±۷۳۳/۰۰۲۳) بود. Guo et al. (2012) به مقایسه دو الگوریتم شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان روی تصاویر ETM⁺ برای تهیه نقشه کاربری اراضی در شهر وهان چین پرداختند. صحت کلی هر دو طبقه‌بندی‌کننده بیش از ۹۷ درصد به‌دست آمد. هر دو روش به‌منظور تهیه نقشه‌های کاربری پیشنهاد شده است، اما صحت طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان کمی بیشتر از شبکه عصبی گزارش شد. Priyadarshini et al. (2018) به تهیه نقشه‌های کاربری زمین برای منطقه پائونتا صاحب در هیمالچال پرداخت^۱ در هند با الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده (حداقل فاصله، حداکثر احتمال، موازی و ماشین بردار پشتیبان) و بدون نظارت ایزو دیتا^۲ و میانگین-ک^۳ با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ پرداختند. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی‌های نظارت‌نشده ایزو دیتا (صحت کلی ۳۰/۰۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۰۹۱۷) و میانگین-ک (صحت کلی ۲۲/۰۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۰۹۱۷) دارای کمترین صحت طبقه‌بندی هستند. بیشترین صحت در طبقه‌بندی‌کننده نظارت‌شده مربوط به الگوریتم حداکثر احتمال (صحت کلی ۸۹/۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۴۸۱) و کمترین صحت مربوط به طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان (صحت کلی ۷۵/۵۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۵۴۶) بود. Najafi & Mokhtari (2015) در تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رودخانه‌های چشمه‌کیله-چالکرو در استان مازندران از تصاویر لندست و الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده صحت زیاد طبقه‌بندی‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی، هر کدام به‌ترتیب با صحت کلی ۹۰/۶۷، ضریب کاپا ۰/۸۴ و ۹۱/۶۷ درصد، ضریب کاپا ۰/۸۶ بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، هر دو روش شبکه عصبی و ماشین

1. Paonta Sahib region of Himachal Pradesh
2. ISO data
3. K-Means

۶۳۶۶۹۴/۳ طول شرقی و ۳۸۸۷۶۶۶/۷ تا ۳۹۰۱۶۸۷/۸ عرض شمالی زون ۳۸ واقع در بلوک سروآباد استان کردستان با مساحت ۱۵۷۸۲/۶ هکتار به‌عنوان منطقه پژوهش انتخاب شد (شکل ۱). این منطقه بخشی از جنگل‌های سروآباد واقع در رویشگاه جنگلی زاگرس شمالی با گونه غالب بلوط (*Quercus* spp.) است. محدوده انتخابی دارای حداکثر تنوع پوشش زمین، شامل هشت طبقه جنگل انبوه، جنگل نیمه‌انبوه، جنگل تنک، مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر و آب است.

شیوه اجرای پژوهش

داده‌ها

در این پژوهش از دو تصویر سنجنده MSI سنتینل به تاریخ ۲۸ جولای ۲۰۱۹ استفاده شد. این تصاویر دارای توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر و شامل سیزده باند طیفی می‌باشند و از محدوده طیفی مرئی (VIS) و مادون قرمز نزدیک (NIR) تا مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) را در بر می‌گیرند. ویژگی‌های شاخص این تصاویر توان تفکیک زمانی زیاد (پنج روز)، عرض برداشت زیاد (۲۹۰ کیلومتر)، سیزده باند طیفی با توان تفکیک مکانی و رادبومتریک و صحت هندسی زیاد و پوشش جهانی است (Phiri et al., 2020).

برای طبقه‌بندی از تصاویر گوگل‌ارث و بینگ با توان تفکیک (۵/۰ متر) به‌منظور تهیه نمونه تعلیمی و نقشه واقعیت زمینی علاوه بر کار میدانی استفاده شد.

نرم‌افزارها

نرم‌افزارهای استفاده‌شده شامل ERDAS Arc GIS 10.5 و ENVI5.3.1, Imagine2014 طراحی‌شده توسط شرکت ESRI است. تصاویر بینگ نیز از طریق برنامه SASPlanet از مرورگر بینگ قابل دانلود است.

بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی کاربرد دارد.

Godarzi et al. (2012) به بررسی سه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی در استان همدان پرداختند. نتایج بیانگر صحت بالاتر ماشین بردار پشتیبان (۸۳/۴۲ درصد) نسبت به دو روش دیگر است.

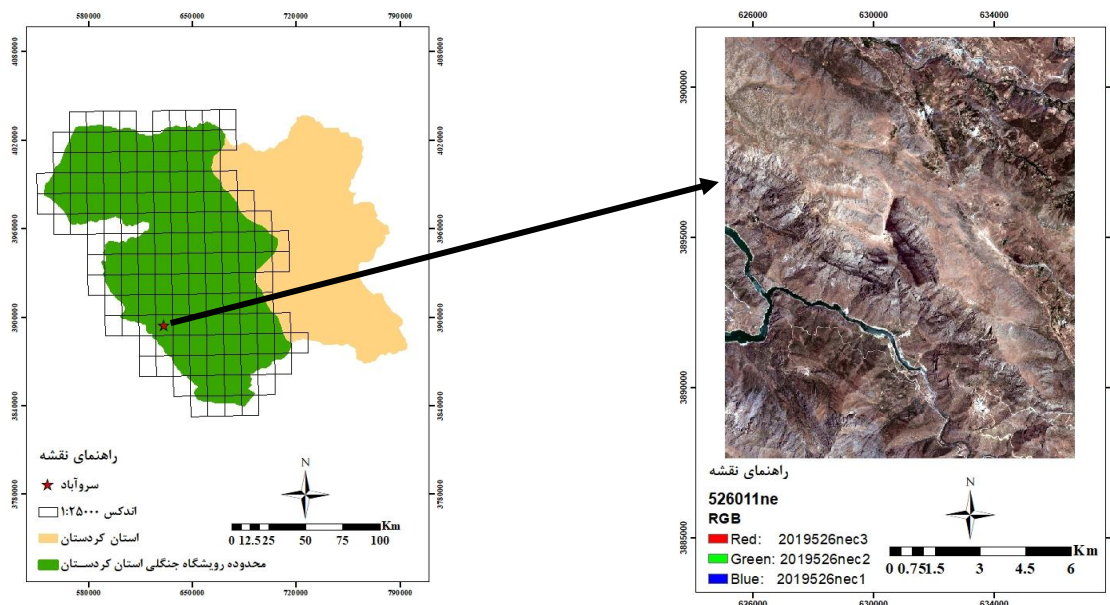
با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته و اهمیت انتخاب بهترین روش در افزایش صحت طبقه‌بندی، در این پژوهش به بررسی الگوریتم‌های نظارت‌شده فاصله ماهالانوبیس (MH)^۱، حداکثر احتمال (ML)^۲، حداقل فاصله از میانگین (MD)^۳، شبکه عصبی (NN)^۴، ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۵، نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM)^۶، اطلاعات طیفی واگرایی (SID)^۷ در تهیه نقشه کاربری اراضی در محدوده رویشگاه جنگلی در استان کردستان پرداخته شد. شایان ذکر است که در هیچ یک از پژوهش‌های پیشین از این تعداد الگوریتم، همزمان برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از تصاویر سنتینل استفاده نشده است. با توجه به جدید بودن تصاویر سنتینل و پژوهش‌های بسیار کم در ایران، پژوهش‌های بیشتر در خصوص بررسی روش‌هایی برای افزایش صحت نقشه‌های کاربری اراضی لازم است. از این‌رو اهمیت این پژوهش و بررسی عملکرد الگوریتم‌های مختلف در افزایش صحت این نقشه‌ها با استفاده از تصاویر سنتینل آشکار می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

یک برگ نقشه با شماره NE II ۵۲۶۰ و مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با موقعیت جغرافیایی ۶۲۵۰۶۵/۲ تا

1. Mahalanobis Distance (MD)
2. Maximum Likelihood (ML)
3. Minimum Distance (MD)
4. Neural Network
5. Support Vector Machine
6. Spectral Angle Mapper
7. Spectral Information Divergence



شکل ۱- منطقه پژوهش در استان کردستان (نارنجی) و محدوده رویشگاه جنگلی (سبز)

Figure 1. Study area in Kurdistan province (orange color) and forest habitat area (green color)

ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر به منظور برداشت ۲۴۰ نقطه از هشت کاربری جنگل انبوه (تراکم بیشتر از ۵۰ درصد)، جنگل نیمه‌انبوه (۲۵-۵۰ درصد)، جنگل تنک (۲۵-۳۰ درصد)، مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر، آب (نقطه از هر کاربری) طراحی شد. سپس مختصات نقاط وارد GPS (مدل گارمین s ۶۴) شده و هر نقطه روی زمین بازیابی و کاربری آن یادداشت شد. برای محاسبه تراکم در پلات‌های قرارگرفته در کاربری جنگل، ۹۰ پلات مربع‌شکل (۳۰ در ۳۰ مترمربعی) پیاده شد. انبوهی تاج‌پوشش در هر قطعه نمونه، از طریق اندازه‌گیری تصویر عمود قطر بزرگ و قطر عمود بر قطر بزرگ تاج روی زمین و محاسبه نسبت سطح تصویر عمود تاج درختان روی زمین به کل سطح قطعه نمونه تعیین شد. سپس با استفاده از نقشه واقعیت زمینی تهیه‌شده صحت تصاویر گوگل ارث و بینگ ارزیابی شد.

انتخاب نمونه‌های تعلیمی

نمونه‌های همگن با پراکنش مناسب از هشت کاربری براساس اطلاعات میدانی، تصاویر گوگل ارث و بینگ تهیه شد. سپس از ۷۰ درصد نمونه‌ها (۴۳۳ نمونه) برای طبقه‌بندی و ۳۰ درصد (۱۸۶ نمونه) برای ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده استفاده شد. برای بررسی

پردازش‌ها

با توجه به سطح پردازش L1C در تصاویر سنتینل ۲، نیازی به تصحیحات هندسی نیست و تنها تصحیحات اتمسفری و تبدیل تصحیحات به سطح L2A با تبدیل بازتاب بالای اتمسفر به بازتاب سطح زمین انجام گرفت. با توجه به طول موج و قابلیت باندهای ۱۰ و ۲۰ متری، از ده باند (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۸a، ۱۱، ۱۲) استفاده شد و داده‌ها با توان تفکیک ۱۰ متری، نمونه‌گیری مجدد شدند. به منظور تفکیک بهتر طبقه‌های پوشش گیاهی از دو شاخص NDVI (Vafaei et al., 2016) و SAVI (Maroufzade & Attarod, 2021) نیز استفاده شد. بهترین ترکیب باندی که سبب بهترین طبقه‌بندی با بیشترین صحت می‌شوند با استفاده از شاخص واگرایی تبدیل‌شده^۲ (Richards & Jia, 2006) برای منطقه پژوهش انتخاب شد.

تهیه نقشه واقعیت زمینی و ارزیابی صحت تصاویر گوگل ارث و بینگ

نقشه واقعیت زمینی با استفاده از برداشت میدانی تهیه شد. بدین منظور شبکه تصادفی سیستماتیک با

1. Resample
2. Transformed Divergence

ارزیابی صحت تصاویر گوگل ارث و بینگ با نقشه واقعیته زمینی تهیه‌شده بیانگر صحت کلی ۹۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۳ (تصاویر بینگ) و صحت کلی ۹۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۸ (تصاویر گوگل ارث) بود که نشان از کارایی زیاد هر دو تصویر و مناسب بودن آنها برای استفاده به‌عنوان واقعیت زمینی دارد.

نمونه تعلیمی منطقه پژوهش از برداشت عملیات زمینی و با استفاده از تصاویر گوگل ارث (شکل ۳) تهیه شد.

نتایج طبقه‌بندی منطقه پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های معرفی‌شده در قسمت روش‌ها در شکل ۴ ارائه شده است.

ارزیابی صحت نقشه‌های نهایی

صحت الگوریتم‌های استفاده‌شده در تهیه نقشه پوشش زمین در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین صحت مربوط به سه طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و حداکثر احتمال است و طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان، با اختلاف بسیار جزئی صحت بیشتری نسبت به دو طبقه‌بندی‌کننده دیگر دارد (جدول ۲). از طرف دیگر طبقه‌بندی‌کننده نقشه بردار زاویه طیفی دارای کمترین صحت است. بررسی نقشه ارائه‌شده (شکل ۴) بیانگر تعداد کلاس طبقه‌بندی‌نشده در این الگوریتم است. از این‌رو برای بهبود صحت طبقه‌بندی و از بین بردن مناطق طبقه‌بندی‌نشده تنظیم مربوط به Maximum Angle (radians) با مقادیر ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸ و ۰/۹ بررسی شد. بیشترین صحت مربوط به عدد ۰/۹ با صحت کلی ۷۳/۴۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۵۸۶۶ به‌دست آمد که بیانگر افزایش ۵۳/۳۹ درصد در صحت کلی و ۰/۴۱۱ در ضریب کاپا برای طبقه‌بندی‌کننده نقشه بردار زاویه طیفی است (شکل ۵). شایان ذکر است که هرچند با اعمال تغییرات در طبقه‌بندی‌کننده ذکرشده باز هم کمترین صحت مربوط به همین طبقه‌بندی‌کننده است، تغییر زیادی در صحت کلی و ضریب کاپای این الگوریتم به‌دست آمد.

میزان تفکیک‌پذیری نمونه‌های تعلیمی از آزمون جفری ماتوسیتا^۱ و واگرایی تغییریافته^۲ استفاده شد.

طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر سنتینل ۲

طبقه‌بندی منطقه پژوهش برای هشت کاربری جنگل (سه تراکم)، مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر و آب با استفاده از ۷۰ درصد کل قطعات نمونه به‌عنوان نمونه تعلیمی و باندهای به‌دست‌آمده از روش بهترین ترکیب باندی با طبقه‌بندی‌کننده‌های فاصله ماهالانوبیس (MH)، حداکثر احتمال (ML)، حداقل فاصله از میانگین (MD)، شبکه عصبی (NN)، جعبه‌ای (Pa)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) و اطلاعات طیفی واگرایی (SID) انجام گرفت.

با توجه به انعطاف طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان از چهار کرنل خطی^۳، چندجمله‌ای^۴ و تابع پایه شعاعی^۵ و حلقوی^۶ برای افزایش عملکرد طبقه‌بندی استفاده شد و برای بهبود صحت طبقه‌بندی‌کننده SAM نیز از تنظیم مقادیر متغیر Maximum Angle (radians) با مقادیر ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۸، ۰/۹ و ۲ استفاده شد.

ارزیابی صحت نقشه‌های نهایی طبقه‌بندی‌شده

برای ارزیابی صحت از ۳۰ درصد داده‌های واقعیت زمینی به‌عنوان نمونه آزمون استفاده شد و نقشه‌های تهیه‌شده با نقاط به‌دست‌آمده مقایسه و صحت کلی، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر محاسبه شد.

نتایج

بهترین ترکیب باندی به‌دست‌آمده برای طبقه‌بندی هشت طبقه جنگل (انبوه، نیمه‌انبوه، تنک)، مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر، آب به‌شرح جدول ۱ است.

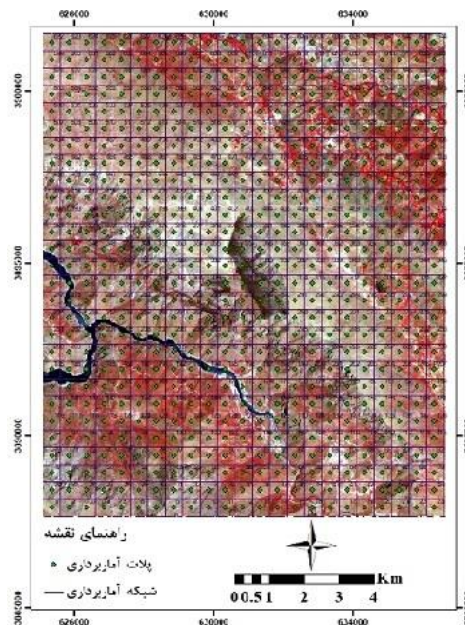
شکل ۲ نشان‌دهنده شبکه آماربرداری طراحی‌شده در منطقه پژوهش است که ۲۴۰ نمونه برای آماربرداری زمینی بررسی شد.

1. Jeffries-Matusita
2. Transformed Divergence
3. Linear
4. Polynomial
5. Radial Basis Function
6. Sigmoid

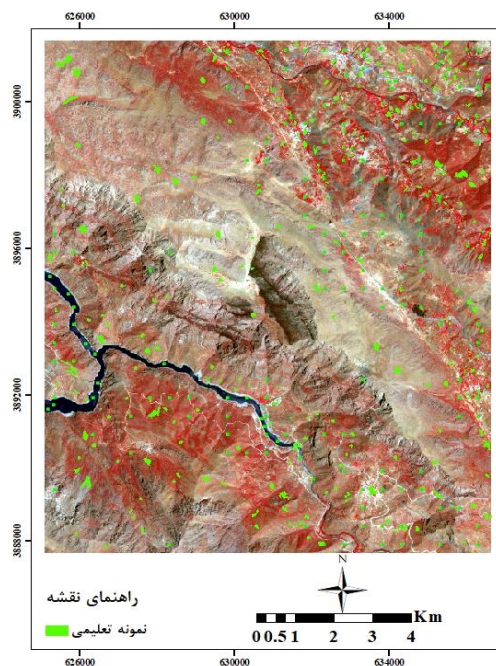
جدول ۱- بهترین ترکیب باندی برای طبقه‌بندی هشت طبقه (جنگل انبوه، جنگل نیمه‌انبوه، جنگل تنک مرتع، باغ، زراعت سالانه، اراضی بایر، آب)

Table1. The best combination of bands for classification of 8 classes (dense forest, semi-dense forest, open forest, rangeland, garden, farmland, bare soil, water)

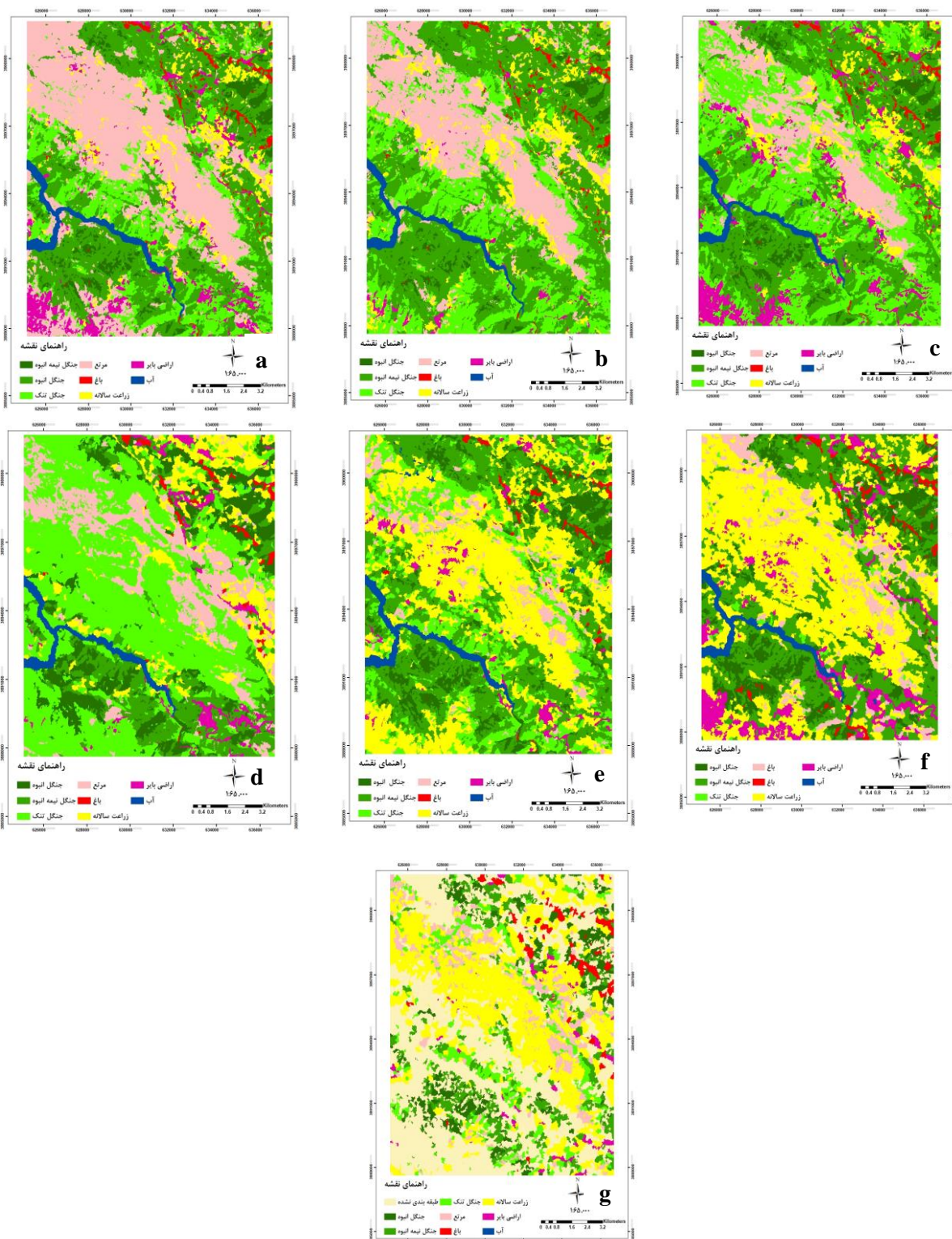
تعداد باند Band Number	بهترین ترکیب باندی Best band combination	Image of study area
7	2/4/5/7/8/12 / NDVI	



شکل ۲- شبکه آماری طراحی شده و پلات‌های برداشت (رنگ سبز) برای برداشت کاربری‌های اراضی
Figure 2. Designed statistical network and plots (green color) to collect land uses



شکل ۳- وضعیت پراکنش نمونه‌های تعلیمی (پلیگون‌های سبز) در منطقه پژوهش
Figure 3. Distribution status of training area (green polygons) in the study area



شکل ۴- نقشه‌های پوشش زمین (جنگل انبوه (سبز پررنگ)، جنگل نیمه‌انبوه (سبز متوسط)، جنگل تنک (سبز روشن)، مرتع (صورتی)، باغ (قرمز)، زراعت سالانه (زرد تیره)، اراضی بایر (بنفش)، آب (آبی تیره)، طبقه‌بندی نشده (زرد روشن)) منطقه پژوهش براساس الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (a)، شبکه عصبی (b)، حداکثر احتمال (c)، فاصله ماهالانوبیس (d)، حداقل فاصله از میانگین (e)، اطلاعات طیفی و اگرای (f)، نقشه بردار زاویه طیفی (g).

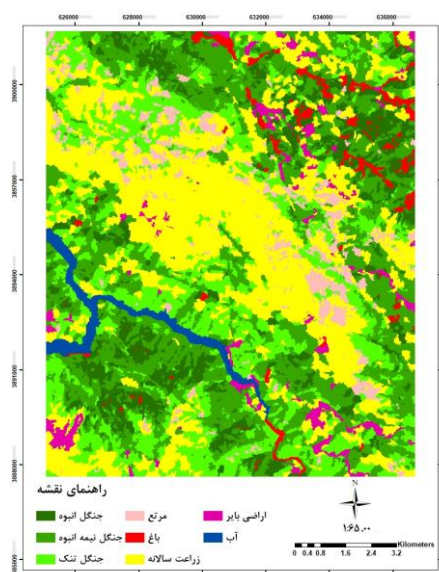
Figure 4. Land cover maps (dense forest (dark green), semi-dense forest (medium green), open forest (light green), rangeland (pink), garden (red), farmland (dark yellow), bare soil (purple), water (dark blue), unclassified (light yellow)) of the study area based on support vector machine algorithm (a), neural

network (b), maximum likelihood (c), Mahalanobis distance (d), minimum distance from the mean (e), spectral divergence information (f), map Spectral angle vector (g)

جدول ۲- ارزیابی صحت الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده

Table 2. Evaluation of accuracy of classification algorithms

ضریب کاپا Kappa Coefficient	صحت کلی (درصد) Overall Accuracy (%)	طبقه‌بندی کننده Classifier
0.9197	95.54	Support vector machine
0/8997	94.43	Neural network
0.8993	94.34	Maximum likelihood
0.7616	86.29	Mahalanobis distance
0.7271	84.03	Minimum distance from the mean
0.5907	74.4	Spectral divergence information
0.1756	20.06	Map Spectral angle vector



شکل ۵- نقشه طبقه‌بندی شده با الگوریتم نقشه‌بردار زاویه طیفی

Figure 5. Classified map with spectral angle mapper algorithm

جدول ۳- ارزیابی صحت کرنل‌های الگوریتم طبقه‌بندی کننده SVM

Table 3. Evaluation of the accuracy of SVM classification algorithm kernels

ضریب کاپا Kappa Coefficient	صحت کلی (درصد) Overall Accuracy (%)	کرنل طبقه‌بندی کننده SVM SVM kernel classifier
0.9226	95.7	Linear
0.9197	95.54	Polynomial with degree2
0.9235	95.75	Polynomial with degree4
0.9278	95.99	Polynomial with degree6
0.9278	95.99	Polynomial with degree7
0.9196	95.53	Radial Basis Function
0.89	93.89	Sigmoid

پایه شعاعی^۳ و حلقوی^۴ برای افزودن صحت طبقه‌بندی استفاده شد. همان‌طور که جدول ۳ نشان

با توجه به انعطاف طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان از چهار کرنل خطی^۱، چندجمله‌ای^۲ و تابع

3. Radial Basis Function
4. Sigmoid

1. Linear
2. Polynomial

و لندست ۸ معرفی کردند. در پژوهش Mohamed (2020) Abdi نیز این الگوریتم دارای بیشترین صحت با استفاده از تصاویر سنتینل بود.

در این پژوهش صحت الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال نزدیک به هم بود. صحت الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان در پژوهش Najafi (2015) Mokhtari & Guo et al. (2012) نیز نزدیک به هم بود و صحت زیادی داشت. شایان ذکر است که در هر دو پژوهش صحت طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان بیشتر از شبکه عصبی مصنوعی بود.

زیاد بودن صحت طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان نسبت به بقیه طبقه‌بندی‌کننده‌ها را می‌توان به دلیل تعداد به نسبت کم مرزهای تصمیم‌گیری پیچیده (Mohamed Abdi, 2020) و توانایی در ایجاد مرز تصمیم‌گیری بهینه و جداسازی طبقه‌های آن دانست (Najafi & Mokhtari, 2015) این توانایی سبب می‌شود که پیکسل‌هایی که به نادرستی طبقه‌بندی شده‌اند در کمترین میزان قرار بگیرند. از طرف دیگر قابلیت مناسب این طبقه‌بندی‌کننده در استفاده از نمونه‌های تعلیمی و انعطاف‌پذیری این روش نسبت به روش‌های دیگر به دلیل تغییر در تنظیمات و گزینه‌های انتخابی، این امکان را فراهم می‌کند که با تعداد نمونه تعلیمی کمتر به حداکثر صحت رسید (Godarzi et al., 2012). این روش به علت توانایی در به‌کارگیری بهینه از داده‌های تعلیمی در بیشتر موارد توانسته است طبقه‌بندی را از بسیاری از روش‌های رایج با صحت مطلوب‌تری انجام دهد. (Mountrakis et al., 2011)

در این پژوهش با استفاده از چهار کرنل خطی، چندجمله‌ای و تابع پایه شعاعی و حلقوی، این روش‌ها با هم مقایسه شد نتایج بیانگر آن است که کمترین صحت مربوط به روش حلقوی و بیشترین صحت مربوط به روش چندجمله‌ای با درجه ۶ است. صحت در روش چندجمله‌ای با افزایش درجه چندجمله‌ای تا

می‌دهد، از بین کرنل‌ها، خطی و چندجمله‌ای دارای صحت بیشتری از دو کرنل دیگر است. با توجه به امکان تغییر در تابع چندجمله‌ای، درجه چندجمله‌ای مختلف طبقه‌بندی مجدداً صورت گرفت و ارزیابی صحت شد. نتایج حاکی از آن است که تابع چندجمله‌ای با درجه ۶ بیشترین صحت را دارد و با درجه ۷ میزان صحت ثابت می‌ماند. سپس نقشه با بیشترین صحت پس‌پردازش شد و صحت کلی برابر با ۹۶/۶۳ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۳۹۳ به دست آمد.

بحث

هدف این پژوهش انتخاب بهترین الگوریتم برای تهیه نقشه پوشش زمین بود. طی سال‌های اخیر استفاده از تصاویر سنتینل در تهیه این نقشه‌ها افزایش یافته و کارایی این تصاویر با توان تفکیک مکانی مطلوب و توان تفکیک طیفی و باندهای لبه‌قرمز برای تفکیک پوشش گیاهی در تهیه نقشه پوشش زمین نیز بسیار موفقیت‌آمیز بوده است (Priyadarshini et al., 2018; Mohamed Abdi, 2020; Ghayour et al., 2021). از جنبه‌های منحصربه‌فرد این تصاویر نسبت به تصاویر قبلی، وجود سه نوار لبه‌قرمز است که می‌توانند بازتاب زیادی را در بخش مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیسی ثبت کنند (Mohamed Abdi, 2020). پژوهش (Ghayour et al., 2021) بیانگر صحت بیشتر داده‌های سنتینل نسبت به لندست ۸ است. از این رو در این پژوهش نیز از داده‌های سنتینل برای رسیدن به صحت بیشتر در تهیه نقشه کاربری زمین استفاده شد.

نتیجه این پژوهش بیانگر آن است که روش ماشین بردار پشتیبان نسبت به دیگر روش‌های فاصله ماهالانویس، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، شبکه عصبی، موازی، ماشین بردار پشتیبان، نقشه بردار زاویه طیفی، اطلاعات طیفی واگرایی و کدگذاری دودویی دارای بیشترین صحت بود. (Ghayour et al., 2021) نیز الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را با بیشترین صحت برای تصاویر سنتینل ۲

این‌رو با توجه به مطلب ذکرشده، روش ماشین بردار پشتیبان برای تهیه نقشه پوشش زمین در رویگاه‌هایی با شرایط یکسان اکولوژیکی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی «بررسی پراکنش و سطح جنگل‌های زاگرس شمالی با داده‌های ماهواره Sentinel2-استان کردستان» با کد مصوب ۹۶۱۷۳۳-۹۶-۱۴۴-۰۹-۰۹-۰ بود. بدین وسیله از حمایت و پشتیبانی مالی و معنوی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تشکر و قدردانی می‌شود.

درجه ۶ افزایش پیدا کرد و با افزایش درجه ۷ صحت طبقه‌بندی ثابت ماند. در حالی که صحت طبقه‌بندی در چند جمله‌ای با درجه ۴ و روش خطی با هم برابر است. نتایج پژوهش (Godarzi et al., 2012) نیز همراستا با پژوهش حاضر است.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش هفت روش طبقه‌بندی‌کننده (SAM SVM NN MD MH, ML) به همراه حالت‌های مختلف روش ماشین بردار پشتیبان (هفت حالت) و نقشه بردار زاویه طیفی (شش حالت) بررسی شد. بررسی بیست حالت طبقه‌بندی‌کننده روی تصاویر سنتینل در این پژوهش، نشان از بررسی جامعی در مقایسه با پژوهش‌های انجام‌گرفته دارد (KhoshLahje et al., 2019). از

References

- Forkuor, G., Dimobe, K., Serme, I., & Tondoh, J. (2018). Landsat-8 vs. Sentinel-2: examining the added value of sentinel-2's red-edge bands to land-use and land-cover mapping in Burkina Faso. *GIS science and remote sensing*, 55(3), 331-354. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1370169>
- Ghayour, L., Neshat, A., Paryani, S., Shahabi, H., Shirzadi, A., Chen, W., Al-Ansari, N., Geertsema, M., Pourmehdi Amiri, M., Gholamnia, M., & et al. (2021). Performance Evaluation of Sentinel-2 and Landsat 8 OLI Data for Land Cover/Use Classification Using a Comparison between Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing*, 13, 1-21. <https://doi.org/10.3390/rs13071349>
- Godarzi Mehr, S., Abbaspour, R.A., Ahadnezhad, V., & Khakbaz, B. (2012). Comparison Of Support Vector Machine, Neural Network, And Maximum Likelihood Methods for The Separation of Lithological Units. *Iranian journal of geology*, 6(22), 75-92. (In persian)
- Guo, Y., De Jong, K., Liu, F., Wang, X., & Li, C. (2012). A Comparison of Artificial Neural Networks and Support Vector Machines on Land Cover Classification. In Z. Li, X. Li, Y. Liu & Z. Cai (Eds.), *Computational Intelligence and Intelligent Systems* (pp. 531-539). Berlin: Springer Press.
- Halder, A., Ghosh, A., & Ghosh, S. (2011). Supervised and unsupervised landuse map generation from remotely sensed images using ant-based systems. *Application of soft computing*, 11, 5770-5781. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.02.030>
- Hawryło, P., Bednarz, B., Węzyk, P., & Szostak, M. (2018). Estimating defoliation of Scots pine stands using machine learning methods and vegetation indices of Sentinel-2. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 194-204. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1417745>
- Jensen, J.R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. USA, South Carolina: Pearson Publishing, 656p.
- Khoshlahje, M., Ranjgar, B., Moghimi, A., Beheshtifar, S., Maghsodi, Y., & Mohamadzade, A. (2019). A review of the methods and models used in identifying land use changes based on remote sensing and GIS (with emphasis on studies conducted in Iran). *Surveying science and technology*, 9(2), 225-242. (In persian)
- Maroufzade, E., & Attarod, P. (2021). Are variations of forest vegetation consistent with trends of meteorological parameters in the northern Zagros region of Iran?. *Iranian Journal of Forest*, 2(4), 449-466. (In persian). <https://doi.org/10.22034/ijf.2021.127780>

- Masek, J.G., Hayes, D.J., Joseph Hughes, M., Healey, S.P., & Turner, D.P. (2015). The role of remote sensing in process-scaling studies of managed forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 355, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.032>
- Mohamed Abdi, A. (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. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1650447>
- Mountrakis, G., Im, J., & Ogole, C. (2011). Support Vector Machines in Remote Sensing: A Review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 247-259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>
- Mokhtari, M.H., & Najafi, A., (2015). Comparison of of support vector machine and neural network in classification methods in land uses information extraction through Landsat TM data. *Water and soil Sciences*, 19 (72), 35-45. (In persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.19.72.4>
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V.R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- Priyadarshini, K.N., Kuma, M., Rahaman, S.A., & NitheshNirmal, S. (2018). A Comparative study of advanced land use/land cover classification algorithms using sentinel2 data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Dehradun, India, 665–670. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-665-2018>
- Richards, J.A. (1993). *Remote sensing digital image analysis*. An Introduction, 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 502p.
- Richards, J.A., & Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis*, An introduction, 4th Edition, Springer-Verlag, 439p.
- Vafaei, S., Pourhashemi, M., Pirbavaghar, M., & Jafari, E. (2016). Applying artificial neural network and multiple linear regression models for estimation of forest density in Marivan forests. *Iranian Journal of Forest*, 7(4), 539-555. (In persian)



Research Article

Evaluation of the efficiency of supervised algorithms in preparing the ground cover map using Sentinel 2 images in the Zagros Forest Habitat

F. Rashidi^{1*}, A. Jaafari¹

¹Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

(Received: 9 February 2022; Accepted: 10 August 2022)

Abstract

Introduction: The aim of this study is to investigate the performance of various algorithms in enhancing the accuracy of land cover maps using Sentinel images.

Material and Methods: The study area is a sheet (1:25000) encompassing an area of 15782.6 hectares. The land cover map was created using a range of algorithms - Mahalanobis distance, maximum likelihood, minimum distance, neural network, parallelepiped, support vector machine, spectral angle mapper, spectral information divergence, and binary encoding - applied to the optimal band composition derived from 12 bands (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 11, 12, NDVI, SAVI). The training area was obtained from field information and satellite images. 70% of the samples were used for classification and 30% for evaluating the accuracy of the classified maps.

Results: The results indicate that the support vector machine, neural network, and maximum likelihood classifications have the highest accuracy. The support vector machine classifier is slightly more accurate than the other two classifiers. To improve the classification, support vector machine kernels (linear, polynomial, radial basis function, and sigmoid), spectral angle mapper settings (6 modes), and parallelepiped (2 modes) were utilized. The results show that the support vector machine classifier, using the 6th degree polynomial function method, has the highest accuracy. Following this, the map was post-processed with the highest accuracy, resulting in an overall accuracy of 96.63 and a kappa coefficient of 0.9393.

Conclusion: An examination of 21 classification modes on Sentinel images in this study provides a comprehensive review of classification algorithms compared to previous studies.

Keywords: kernel, Maximum likelihood, Neural network, Polynomial, Support vector machine.