



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۴، صص ۷۹۳-۸۱۱

تجزیه و تحلیل دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان شهریار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹

مهتاب احمدی^{۱*}

۱. کارشناس ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

Ahmadi.Mahtab221170@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

چکیده

یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین اطلاعات مورد نیاز مدیران و مسئولان منابع طبیعی، نقشه‌های کاربری اراضی است. امروزه تکنولوژی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکانات مناسبی را برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در اختیار تصمیم‌گیران کشور ارائه می‌دهد. با توسعه روش‌های گوناگون در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و آشکارسازی تغییرات به‌ویژه در دهه‌های اخیر انتخاب بهترین و صحیح‌ترین روش برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی در مناطق مختلف رشد روزافزونی داشته است. از طرفی دیگر ارزش و قابلیت کارایی این نقشه‌ها به میزان صحت و دقت آن‌ها بستگی دارد. بنابراین هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان شهریار در استان تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ می‌باشد. بدین منظور شش کلاس طبقه‌بندی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه (شامل مراتع خوب، ضعیف، مناطق مسکونی، جاده، کشاورزی، مسکونی) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ تعیین شدند. سپس نمونه‌های آموزشی از سطح منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر آنلاین Google Earth، و بازدیدهای میدانی جمع‌آوری شد. در مرحله بعد با استفاده از ویژگی‌های تصاویر کلاس‌های کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه تعیین و پس از مشخص نمودن میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها طبقه‌بندی به‌صورت روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، حداقل میانگین فاصله، و روش مالاوونیس انجام شد. نتایج ارزیابی این چهار روش نشان داد که روش‌های حداکثر احتمال با (دقت کلی ۹۵/۳۴ و ضریب کاپا ۰/۹۳ درصد)، ماشین‌بردار پشتیبان (دقت کلی ۹۰/۳۸، ضریب کاپا ۰/۹۳ درصد)، و روش‌های حداقل میانگین فاصله و مالاوونیس به ترتیب (دقت کلی ۵۶/۶۲، ۹۴/۰۶ و ضریب کاپای ۰/۴۸، ۰/۹۱ درصد) برخوردار است. بنابراین از نتایج این پژوهش می‌توان برای تهیه نقشه کاربری اراضی با دقت بالاتری بهره جست. همچنین در کارهای ارزیابی محیط زیست و منابع طبیعی در مناطق با شرایط مشابه استفاده نمود.

کلیدواژه‌ها: مالاوونیس، کاربری اراضی، NDVI، لندست ۹، شهرستان شهریار.

مقدمه

سنجش از دور، به‌ویژه ماهواره‌ها، منبع عظیمی از داده‌ها را برای مطالعه پویایی فضایی-زمانی پارامترهای محیطی ارائه می‌کنند. تصاویر سنجش از دور کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله شناسایی، نقشه‌برداری برای کاربردهای نظامی و غیرنظامی، ارزیابی خسارات محیطی، پایش کاربری اراضی، پایش تشعشع، برنامه‌ریزی شهری، کنترل رشد، ارزیابی خاک و برآورد عملکرد محصول دارند (James, 2002). به‌طور کلی، سنجش از دور امکان پوشش، نقشه‌برداری و طبقه‌بندی دقیق ویژگی‌های پوشش زمین مانند پوشش گیاهی، خاک، آب و جنگل را فراهم می‌کند. یکی از کاربردهای اصلی داده‌های سنجش از دور، ایجاد نقشه طبقه‌بندی از اشیاء یا طبقات قابل تشخیص و معنی‌دار پوشش زمین در یک صحنه است (Jasinski, 2021). بنابراین، محصول نهایی، نقشه‌ای موضوعی با عناوینی مانند کاربری اراضی، زمین‌شناسی و انواع پوشش گیاهی است (Palaniswami et al., 2022). تحقیقات مربوط به طبقه‌بندی تصویر مبتنی بر سنجش از دور، به‌دلیل ماهیت طبقه‌بندی اکثر کاربردهای زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی، همواره مورد توجه جامعه سنجش از دور بوده است. طبقه‌بندی تصویر سنجش از دور را می‌توان به عنوان ترکیبی از تکنیک‌های پردازش تصویر و طبقه‌بندی در نظر گرفت. به‌طور کلی، طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور فرآیندی است که پیکسل‌ها یا واحدهای بنیادی یک تصویر را به طبقات مختلف اختصاص می‌دهد (Perumal and Bhaskaran, 2010). این کار با مقایسه پیکسل‌ها با یکدیگر و پیکسل‌های با هویت شناخته‌شده، به منظور گروه‌بندی پیکسل‌های مشابه در داده‌های سنجش از دور در طبقاتی که با رده‌های اطلاعاتی مورد نظر کاربر مطابقت دارند، انجام می‌شود. طبقه‌بندی تصویر، مجموعه‌ای از روش‌های مختلف را شامل می‌شود که مفهوم مهم طبقه‌بندی، علاوه بر سنجش از دور، در حوزه‌های دیگری همچون تحلیل تصویر و شناسایی الگو نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. در برخی موارد، خود طبقه‌بندی، ماهیت تحلیل را تشکیل داده و محصول نهایی محسوب می‌شود. در موارد دیگر، طبقه‌بندی تنها به عنوان یک گام میانی در تحلیل‌های پیچیده‌تر عمل می‌کند، مانند مطالعات تخریب اراضی، مطالعات فرآیندی، مدل‌سازی، مدیریت مناطق ساحلی، مدیریت منابع و سایر کاربردهای پایش محیط زیست (مرادی و رضایی، ۱۳۹۹). در نتیجه، طبقه‌بندی تصویر به عنوان ابزاری مهم برای کاوش تصاویر دیجیتال مطرح شده است. علاوه بر این، انتخاب تکنیک طبقه‌بندی مناسب، تأثیر به‌سزایی بر نتایج نهایی دارد. این تأثیرگذاری فارغ از آن است که طبقه‌بندی به عنوان محصول نهایی مورد استفاده قرار گیرد، یا یکی از مراحل متعدد تحلیل برای استخراج اطلاعات از تصویر جهت آنالیزهای بعدی باشد (آرخی و نیازی، ۱۳۹۴). سنجش از دور جایگزین مناسبی برای روش‌های سنتی نقشه‌برداری پوشش گیاهی در مقیاس‌های بزرگ است که مستلزم انجام عملیات میدانی پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد (Govender et al., 2010). از اوایل دهه ۱۹۶۰، فناوری‌های تصویربرداری چندطیفی هوابرد و ماهواره‌ای به عنوان منابعی رایج برای طبقه‌بندی از راه دور پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Landgrebe, 2000) در دو دهه اخیر، توسعه فناوری حسگرهای فراطیفی (هایپرسپک) هوابرد و

ماهواره‌ای، محدودیت‌های حسگرهای چند طیفی را برطرف کرده است (پاکروان و قربانی، ۱۳۹۱). پیشرفت‌های گسترده در زمینه‌ی طبقه‌بندی و دسترسی به حجم زیادی از داده‌های سنجنش از دور، فرصت‌هایی را برای دستیابی به نتایج سودمند فراهم آورده است. استخراج الگوها و قواعد جالب از مجموعه داده‌های شامل تصاویر و داده‌های زمینی مرتبط، برای کشف منابع بسیار حائز اهمیت است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین با توجه به این‌که هدف اساسی فناوری سنجنش از دور شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمین است طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌شود. طبقه‌بندی تصویر، جزء مهمی از کاوش داده‌های سنجنش از دور به شمار می‌رود. عملکرد طبقه‌بندها وابسته به داده‌ها است. بنابراین، درک بهتر داده‌ها برای پیشرفت‌های آتی ضروری است. دستیابی به چنین درکی از طریق مطالعات تئوری سنتی امکان‌پذیر نیست. طبقه‌بندی موفق نیازمند تجربه و آزمایش است. محقق باید روشی را برای طبقه‌بندی انتخاب کند که به بهترین نحو بتواند یک وظیفه‌ی خاص را انجام دهد. در حال حاضر، با توجه به تنوع زیاد ویژگی‌های هر تصویر و شرایط هر مطالعه، نمی‌توان گفت که کدام طبقه‌بند برای همه موقعیت‌ها بهترین است و مزایای هر کدام بستگی به هدف مطالعه و داده‌های در دسترس بستگی دارد. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص روش‌های طبقه‌بندی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی در خارج و داخل کشور انجام شده است برای مثال، سفینیان و مدنیان (۱۳۸۹)، با هدف مقایسه روش‌های طبقه‌بندی حداکثر مشابهت و حداقل فاصله در تهیه نقشه کاربری اراضی استان اصفهان استفاده کردند. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که کلاس مناطق شهری پوشش غالب در منطقه بوده و ۶۸۲۱/۱ هکتار از منطقه معادل ۳۸/۹ درصد را به خود اختصاص داده است. از طرفی بر طبق نتایج به دست آمده صحت کلی برای طبقه‌بندی کننده حداکثر مشابهت ۹۴/۹ درصد و حداقل فاصله از میانگین ۸۵/۲ درصد می‌باشد. مختاری و نجفی (۱۳۹۴)، به منظور مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی در استان مازندران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی از دقت و ضریب کاپای بالاتری برخوردار بوده و لذا جهت طبقه‌بندی مناسب است. خزاعی و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهشی به مقایسه دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی در شهر یزد پرداختند. آن‌ها از ۸ روش پیکسل پایه استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش استفاده از الگوریتم‌های حداکثر احتمال، فاصله ماله‌لانویی و ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به دیگر روش‌های طبقه‌بندی از دقت بیش‌تری برخوردار است. نخعی‌نژادفرد و همکاران (۱۳۹۷)، جهت مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی کاربری اراضی در استان خراسان جنوبی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال از بیش‌ترین مقدار دقت کلی و ضریب کاپا برخوردار می‌باشد. از طرفی بررسی نقشه کاربری اراضی استان خراسان جنوبی نشان داد که اراضی بایر حدود ۶۰ درصد از مساحت استان را به خود اختصاص داده است و بیش از ۹۰ درصد از مساحت استان نیز دارای زمین‌های عاری از پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی ضعیف است. مرادی و رضایی (۱۳۹۹)، در

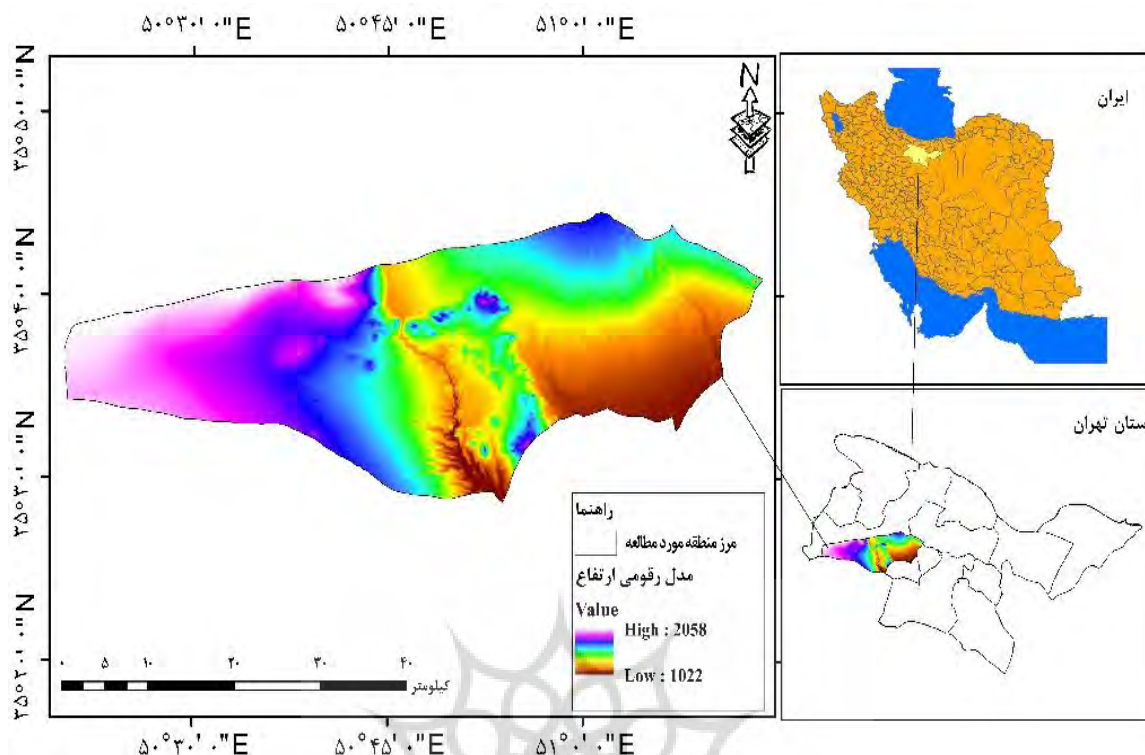
پژوهشی به مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی نوع کاربری در تهیه نقشه کاربری اراضی در حوزه آبخیز زنوزچای استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال با صحت کلی ۷۳/۸۴ درصد و ضریب کاپای ۰/۶۵ درصد از کارایی بالاتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار است. مددی و بابایی (۱۴۰۳)، با هدف مقایسه دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی برای تهیه نقشه کاربری اراضی در شهر رضوانشهر پرداختند. نتایج بیانگر این بود که روش ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به روش‌های دیگر از دقت بیشتری (صحت کلی ۹۷/۱۶ و ضریب کاپای ۰/۹۳ درصد) برخوردار است. بنابراین هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان شهریار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ می‌باشد.

روش تحقیق

موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهرستان شهریار در غرب استان تهران واقع شده است. مساحت این شهرستان معادل ۳۴۰ کیلومتر مربع است. شهرستان شهریار از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. همچنین با جمعیتی بالغ بر ۲۱۰۷۴۴ نفر دوازدهمین شهرستان پر جمعیت ایران محسوب می‌شود و اکنون متشکل از یک بخش، ۷ شهر، ۶ دهستان و ۴۶ روستا و شهرک مسکونی است. (معمارزاده کیانی و دانشور فتاح، ۱۴۰۲). در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان شهریار در سطح ایران و استان تهران (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۹ با گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۵ به منظور طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد. در این راستا ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۲۳ با فرمت GeoTiff از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) استخراج و سپس تصحیحات اتمسفری روی این تصاویر اعمال شد. این تصحیحات با استفاده از ابزار رادیومتریکی در محیط نرم‌افزار انوی انجام می‌گیرد. نکته‌ای که حائز اهمیت است این است که تصحیحات رادیومتریکی بر اساس بازتابش تعریف و اعمال می‌شود. برای کلاس‌بندی تصاویر از روش‌های طبقه‌بندی بیش‌ترین تشابه (MLC)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، حداقل فاصله از میانگین (MD) و روش ماهالانویس (MCD) که از روش‌های پیکسل‌پایه می‌باشند استفاده شد و دقت و عملکرد روش‌های طبقه‌بندی مقایسه شده است.

¹ - United States Geological Survey

² - Minimum distance

³ - Mahalanobis Distance Classification

پیش پردازش و آماده سازی تصاویر

با وجود ارائه داده‌های ماهواره‌ای لندست ۹ به صورت تصحیح شده، در این پژوهش به منظور کنترل کیفی تصاویر، از میان تصحیحات رادیومتری متداول، تصحیح اتمسفری انتخاب گردید (عبدالعلی‌زاده، ۱۳۸۹). لذا تصحیح اتمسفری با استفاده از روش فلش بر روی تصاویر انجام شد. این روش نیازمند فاکتورهایی شامل تاریخ و زمان اخذ تصویر، ارتفاع از سطح دریا، نوع سنجنده و تصویر مورد نظر است که با استفاده از متادیتای تصاویر، مقادیر آنها استخراج گردید. در این پژوهش، جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای موجود در نرم‌افزار Google Earth بهره‌برداری شد تا نقاط از دقت قابل قبولی برخوردار باشد. بدین منظور، با مراجعه به وبسایت این نرم‌افزار و مرور تصاویر مربوط به منطقه مورد مطالعه، مناسب‌ترین تصویر با تاریخ نزدیک به سال موردنظر انتخاب گردید.

ایجاد نواحی آموزشی

طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور، فرایند اختصاص دادن پیکسل‌ها (واحدهای پایه تصویر) به کلاس‌های مختلف است. هدف این است که گروه‌هایی از پیکسل‌های مشابه موجود در داده‌های سنجش از دور را بر اساس علایق کاربری، در قالب کلاس‌هایی با ماهیت اطلاعاتی یکسان دسته‌بندی کنیم (Palaniswami et al., 2022). این دسته‌بندی با مقایسه پیکسل‌ها با یکدیگر و همچنین با پیکسل‌هایی با ماهیت شناخته شده انجام می‌شود. بنابراین نمونه‌های تعلیمی سال ۲۰۲۳ از ترکیب رنگی هفت باند و همچنین تصاویر آنلاین با قدرت تفکیک بالای Google Earth استفاده شد.

تهیه نقشه کاربری اراضی

تهیه نقشه‌های دقیق کاربری اراضی، نقشی حیاتی در مدیریت منابع طبیعی، برنامه‌ریزی شهری و پایش تغییرات محیط زیستی ایفا می‌کند. روش‌های مختلفی برای تهیه این نقشه‌ها وجود دارد که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. انتخاب روش مناسب به هدف مطالعه، نوع داده‌های در دسترس و محدودیت‌های زمانی و مالی پروژه بستگی دارد. در سال‌های اخیر، استفاده از داده‌های سنجش از دور برای استخراج اطلاعات مربوط به پوشش و کاربری زمین به طور فزاینده‌ای رایج شده است. این امر به دلیل مزایایی مانند پوشش گسترده، دسترسی آسان و به‌روز بودن این داده‌ها می‌باشد. با این حال، پیچیدگی ذاتی تصاویر سنجش از دور و تنوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی، چالش‌هایی را در زمینه طبقه‌بندی دقیق این تصاویر به وجود می‌آورد. به همین منظور، تحقیقات گسترده‌ای برای توسعه روش‌های کارآمد جهت افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور انجام شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی، حداقل میانگین فاصله، مالاوینیس اشاره کرد (Foody et al., 2004). در کنار روش‌های نوین، روش‌های سنتی مانند حداکثر احتمال (MLC) نیز در صورت

نرمال بودن توزیع نقاط آموزشی، می‌توانند دقت قابل قبولی ارائه دهند (علوی پناه، ۱۳۸۹). به طور کلی، روش‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی را می‌توان به دو دسته پارامتری و ناپارامتری تقسیم کرد. روش‌های پارامتری مانند MLC از واریانس و کوواریانس داده‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌کنند، در حالی که روش‌های ناپارامتری مانند ANN و SVM از ویژگی‌های آماری داده‌ها استفاده نمی‌کنند و به تازگی در زمره تکنیک‌های طبقه‌بندی قرار گرفته‌اند. انتخاب روش مناسب برای تهیه نقشه کاربری اراضی نیازمند در نظر گرفتن عوامل مختلفی مانند هدف مطالعه، نوع داده‌های در دسترس، دقت مورد نظر و بودجه پروژه می‌باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵).

سنجش دقت نقشه‌های کاربری اراضی

در علم سنجش از دور، ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی نقشی حیاتی در سنجش اعتبار و اتکاپذیری اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای ایفا می‌کند. این امر به طور سنتی با مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه طبقه‌بندی شده با داده‌های مرجع زمینی انجام می‌شود. نتایج این مقایسه در قالب ماتریس خطا یا ماتریس درستی طبقه‌بندی ارائه می‌شود. ماتریس خطا، به عنوان ابزاری قدرتمند، اطلاعات ارزشمندی را در مورد دقت طبقه‌بندی هر کلاس به تفکیک ارائه می‌دهد. این ماتریس شامل دو محور اصلی، سطرها و ستون‌ها، است. سطرها به طبقات مرجع زمینی و ستون‌ها به طبقات نقشه طبقه‌بندی شده اختصاص دارند. هر سلول ماتریس تقاطع بین یک کلاس مرجع و یک کلاس طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد و تعداد پیکسل‌هایی را که به اشتباه یا به درستی در آن کلاس طبقه‌بندی شده‌اند، نمایش می‌دهد. بر اساس ماتریس خطا، می‌توان شاخص‌های آماری متعددی را برای ارزیابی صحت کلی نقشه محاسبه کرد. این شاخص‌ها شامل موارد زیر هستند:

دقت کاربر (Users Accuracy) این معیار نشان می‌دهد که چه درصدی از پیکسل‌های

طبقه‌بندی شده در هر کلاس، در واقع به آن کلاس تعلق دارند.

صحت تولیدکننده (Producers Accuracy) این معیار نشان می‌دهد که چه درصدی از

پیکسل‌های هر کلاس مرجع، به درستی در نقشه طبقه‌بندی شده به آن کلاس اختصاص یافته‌اند.

دقت کلی (Overall Accuracy) این معیار، که به عنوان ساده‌ترین شاخص شناخته می‌شود، نشان

می‌دهد که چه درصدی از کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

ضریب کاپا (Kappa Coefficient) این شاخص، با در نظر گرفتن تصادف در طبقه‌بندی، دقت

کلی را به طور دقیق‌تری ارزیابی می‌کند.

$$OA = \frac{\sum_K^N = 1 N_{kk}}{n} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه OA صحت کلی، $\sum_K^N = 1 N_{kk}$ مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و n کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده می‌باشد.

با توجه به این که برای نهایی نمودن نقشه کاربری اراضی، باید همه شاخص‌های دقت طبقه‌بندی با یک و یا چند شاخص آماری معتبر برازش داده شود. شاخص کاپا از جمله روش‌های آماری می‌باشد که با رابطه (۲) قابل بیان است (Congalton, 1999).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{io} \times X_{oi})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{io} \times X_{oi})} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه K شاخص کاپا، r تعداد ردیف ماتریس طبقه‌بندی، X_{ii} تعداد مشاهدات در ردیف و ستون (محور اصلی ماتریس)، X_{io} مجموع مشاهدات در ردیف (مجموع ردیف برای هر کاربری)، X_{oi} مجموع مشاهدات در ستون (مجموع ستون برای هر کاربری) و N مجموع کل مشاهدات ماتریس طبقه‌بندی می‌باشد.

در محاسبه ضریب کاپا علاوه بر پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند پیکسل‌هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند نیز دخالت داده می‌شوند، از این رو معیار مناسبی برای مقایسه نتایج، طبقه‌بندی‌های مختلف می‌باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). در حالی که دقت کلی اطلاعات کلی در مورد صحت نقشه ارائه می‌دهد، تفکیک دقت هر کلاس به تفکیک از طریق شاخص‌های دقت کاربر و صحت تولیدکننده امکان‌پذیر می‌شود. این امر به کاربران نقشه کمک می‌کند تا نقاط قوت و ضعف طبقه‌بندی را در هر کلاس به طور خاص شناسایی کنند و در صورت نیاز اقدام به اصلاح و ارتقای آن نمایند. در شکل ۲: نمودر جریانی مراحل پژوهش ارائه شده است.

شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده^۴ (NDVI): پر کاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از سنجش از دور به دست می‌آید. برای تصویر لندست این شاخص به صورت رابطه (۳) است:

^۴ - Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

رابطه ۳

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقادیر NDVI بین ۱- و ۱+ در نوسان است. زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر NDVI به صفر نزدیک می‌شود. پوشش گیاهی سالم (دارای فعالیت فتوسنتزی) در بخش طیفی مادون قرمز (IR) (باند ۴ لندست) در مقایسه با بخش طیفی مرئی قرمز (R) (باند ۳ لندست) انعکاس بیش‌تری دارد. بنابراین مقادیر NDVI برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر NDVI بین ۰/۱+ و ۰/۱- را نشان می‌دهند. ابرها و منابع آبی مقادیر منفی یا صفر را نشان می‌دهند. شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده NDVI برای محاسبه داده‌های طیفی زمینی استفاده شده و نتایج آن نشان داده که این شاخص، هم‌بستگی بالایی با زیست‌توده سطح زمین دارد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹).



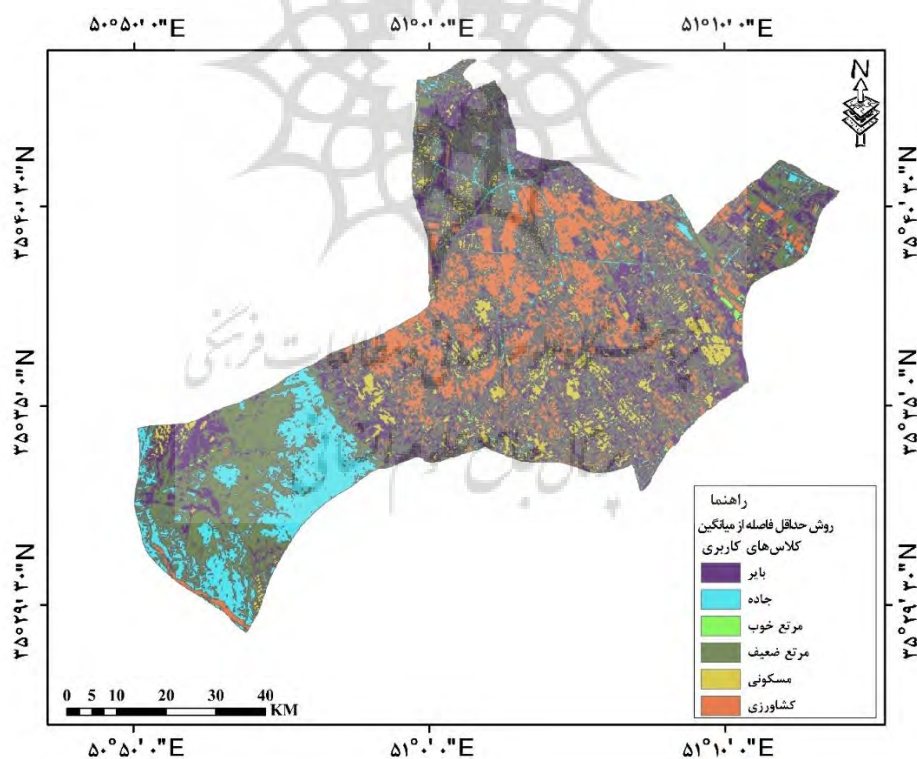


شکل ۲: مراحل انجام پژوهش (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)

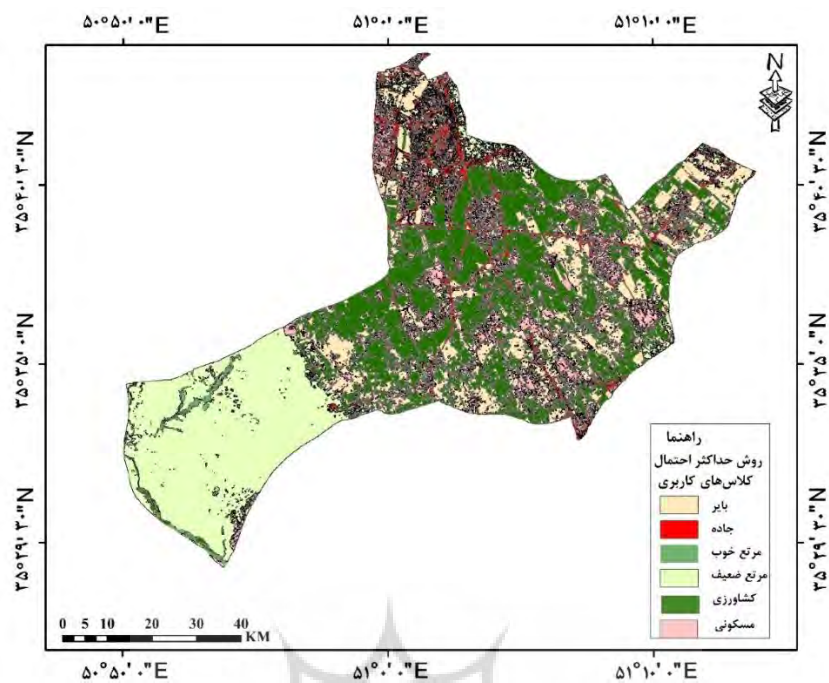
یافته‌ها

در پژوهش حاضر نقشه کاربری اراضی شهرستان شهریار با استفاده از چهار روش طبقه‌بندی نظارت شده شامل روش‌های ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، حداقل میانگین فاصله و مالا هونیس برای سال ۱۴۰۲ انجام شد سپس برای تعیین صحت طبقه‌بندی از معیارهای صحت کلی، کاپا، صحت کاربر و صحت تولیدکننده استفاده شد طبق نتایج به دست آمده میزان صحت کلی و ضریب کاپای روش‌های مورد استفاده به ترتیب برابر ۹۵/۳۴، ۹۰/۳۸، ۹۴/۰۶ و ضریب کاپا نیز به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۹۳، ۰/۴۸ و ۰/۹۱ درصد به دست آمد. در نهایت در بین

روش‌های مورد استفاده روش حداکثر احتمال نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده به عنوان بهترین الگوریتم طبقه‌بندی انتخاب شد. نتایج طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی در شکل‌های (۱ تا ۴) برای سال ۱۴۰۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده حاصل از طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی و جدول (۱)، نشان داده شده است که وسعت زیادی از منطقه مورد مطالعه تحت تصرف کاربری بایر با مساحتی بالغ بر ۱۲۵ کیلومتر مربع که تقریباً ۳۲ درصد از کل مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود و به صورت پراکنده قسمت‌های مرکزی و جنوبی منطقه را دربر می‌گیرد. مراتع ضعیف نیز با مقدار ۹۱ کیلومتر مربع، حدود ۲۴ درصد از سطح منطقه شهریار را بخود اختصاص داده است که عموماً قسمت‌های جنوب و جنوب غربی را شامل می‌شود. از طرفی، کاربری مراتع خوب با مساحت تقریبی ۱۵ کیلومتر مربع که حدود ۴ درصد از سطح منطقه را شامل می‌شود و در قسمت‌های جنوب شرقی و شمال غربی شهرستان را در بر می‌گیرد به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین مساحت کاربری‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در جدول (۱) نیز مساحت، دقت کلی و ضریب کاپای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است

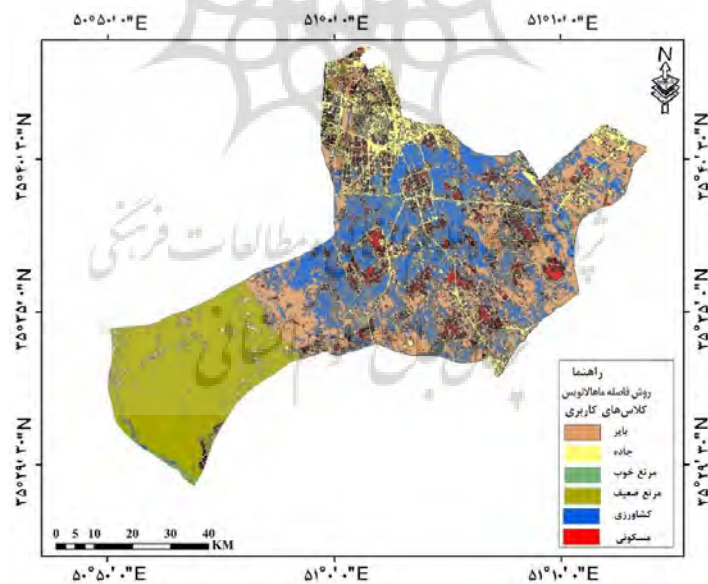


شکل ۳: نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم حداقل فاصله از میانگین شهرستان شهریار (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)



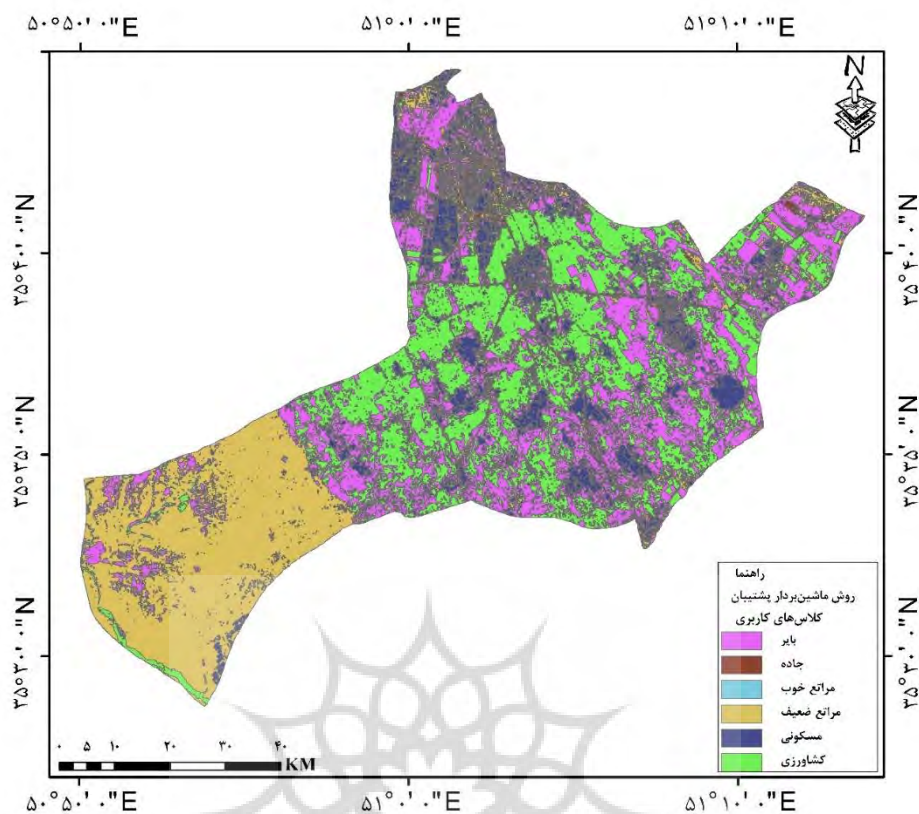
شکل ۴: نقشه کاربری ارضی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال شهرستان شهریار (منبع: نویسنده،

(۱۴۰۳)



شکل ۵: نقشه کاربری ارضی با استفاده از الگوریتم فاصله مالهونیس شهرستان شهریار (منبع: نویسنده،

(۱۴۰۳)



شکل ۶: نقشه کاربری ارضی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان شهرستان شهریار (منبع: نویسنده،

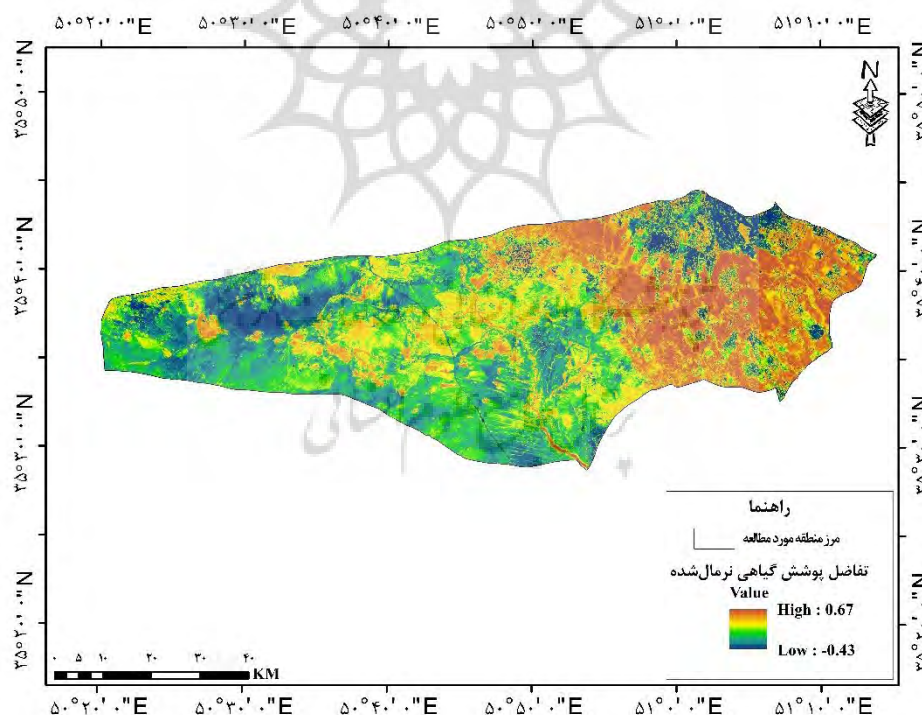
۱۴۰۳)

جدول ۱: مساحت، دقت کلی و ضریب کاپا شهرستان شهریار (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)

نوع کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	انواع الگوریتم‌های طبقه‌بندی	دقت کلی	ضریب کاپا
بایر	۱۲۵/۸۰	۳۲/۲۵	حداکثر احتمال	۹۵/۳۴	۰/۹۳
جاده	۴۴/۸۵	۱۱/۶	ماشین بردار پشتیبان	۹۰/۳۸	۰/۹۳
مزارع خوب	۱۴/۷	۳/۷۷	حداقل فاصله از میانگین	۵۶/۶۲	۰/۴۸
مزارع ضعیف	۹۱/۵۰	۲۳/۴۶	مalahounis	۹۴/۰۶	۰/۹۱
مسکونی	۳۷/۱۵	۹/۵۲			
کشاورزی	۷۶	۱۹/۴۹			
جمع	۳۹۰	۱۰۰			

شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

شاخص پوشش گیاهی به عنوان عاملی برای مدیریت زمین استفاده می شود. در این پژوهش، شاخص تفاضل پوشش گیاهی عادی به عنوان اندازه گیری تراکم و همچنین پراکندگی پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. تصویر شاخص پوشش گیاهی عادی برای سال ۱۴۰۳ از داده های ماهواره لندست ۹ به دست آمد. از این رو مقادیر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده در شهرستان شهریار در دامنه بین -0.43 تا 0.67 می باشد. طبق شکل ۴، بیشترین تراکم پوشش گیاهی در قسمت های شمال و شمال شرقی و همچنین بصورت پراکند بخش های مرکزی منطقه مورد مطالعه را شامل می شود. از طرفی مناطق جنوب و جنوب غربی و قسمت هایی از شمال غربی منطقه نیز دارای پوشش گیاهی کم تراکم می باشد که عموماً مناطق مراتع ضعیف را هم شامل می شود. با توجه به این که پوشش گیاهی نقش مهمی در اکوسیستم های طبیعی شهرستان شهریار ایفا می کند، لذا پوشش گیاهی به حفظ خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تصفیه هوا و آب، تولید اکسیژن و ... را در منطقه کمک می کند. در شکل (۷) شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده شهرستان شهریار ارائه شده است.



شکل ۷: نقشه تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده شهرستان شهریار (منبع: نویسنده، ۱۴۰۳)

نتیجه گیری

شناخت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن پیوسته در هر زمانی یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری می‌باشد، تغییرات کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین مسائل جهان اخیر است که باعث تغییرات بسیار زیادی در سیستم‌های سطح زمین از جمله چرخه طبیعی شده است. که می‌تواند تاثیر بسیار زیاد و بلند مدتی به همراه داشته باشد. پژوهش حاضر به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، حداقل میانگین فاصله و روش مالاوونیس در استخراج نقشه کاربری اراضی شهرستان شهریار می‌باشد. در این راستا ابتدا با استفاده از تصویر لندست ۹ برگرفته از سازمان زمین‌شناسی آمریکا استفاده شد. در مرحله بعد اقدام به انجام تصحیحات اتمسفری گردید. سپس به تهیه نمونه‌های آموزشی از منطقه مورد مطالعه گردید که این کار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر آنلاین گوگل ارث و نیز طی بازدیدهای میدانی به عمل درآمده استفاده و در شش کلاس کاربری شامل: کاربری‌های بایر، کشاورزی، مراتع خوب، ضعیف، جاده و مسکونی طبقه‌بندی صورت گرفت. در نهایت مناسب‌ترین الگوریتم طبقه‌بندی برای شهرستان مورد مطالعه انجام شد. به منظور ارزیابی عملکرد چهار الگوریتم مورد بررسی از شاخص‌های دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. نتایج نشان داد که در بین الگوریتم‌های مورد استفاده روش حداکثر احتمال با توجه به نمونه‌های آموزشی مورد استفاده در این پژوهش در تمام شاخص‌های ارزیابی عملکرد نسبتاً بهتر و نزدیکی با روش‌های (ماشین‌بردار پشتیبان و مالاوونیس) دارد و نسبت به روش حداقل میانگین فاصله از دقت قابل قبول و بهتری برخوردار بوده است. مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا برای این الگوریتم برابر با ۹۵/۳۴ و ۹۳/۰ درصد به‌دست آمد. همچنین روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان با مقدار ۹۰/۳۸ و ۹۳/۰ درصد، حداقل میانگین فاصله با مقدار ۵۶/۶۲ و ۴۸/۰ درصد و روش مالاوونیس نیز با مقدار ۹۴/۰۶ و ۹۱/۰ درصد برخوردار بودند. از طرفی دیگر بیش‌ترین مساحتی که منطقه مورد مطالعه دارد شامل کاربری‌های بایر با مقدار ۱۲۵/۸۰ کیلومتر مربع (۳۲/۲۵ درصد)، مراتع ضعیف ۹۱/۵۰ کیلومتر مربع (۲۳/۴۶ درصد) و کم‌ترین مساحت مربوط به کاربری‌های مراتع خوب با مقدار ۱۴/۰۷ کیلومتر مربع (۳/۷۷ درصد) و کاربری مسکونی ۳۷/۱۵ کیلومتر مربع (۹/۵۲ درصد) را شامل می‌شوند. در مرحله بعد با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۹ برای سال ۱۴۰۳ اقدام به تهیه نقشه شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده گردید. از این رو مقادیر شاخص پوشش گیاهی نرمال شده در شهرستان شهریار در دامنه بین ۰/۴۳- تا ۰/۶۷ می‌باشد. طبق شکل ۴، بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی در قسمت‌های شمال و شمال شرقی و همچنین بصورت پراکند بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.

از طرفی مناطق جنوب و جنوب غربی و قسمت‌هایی از شمال غربی منطقه نیز درای پوشش گیاهی کم تراکم می‌باشد که عموماً مناطق مراتع ضعیف را هم شامل می‌شود. با توجه به این‌که پوشش گیاهی نقش مهمی در اکوسیستم‌های طبیعی شهرستان شهریار ایفا می‌کند، لذا پوشش گیاهی به حفظ خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تصفیه هوا و آب، تولید اکسیژن و ... را در منطقه کمک می‌کند در نهایت با توجه به نتایج استفاده از نقشه کاربری اراضی حاصل از الگوریتم‌ها می‌توان بیان کرد که برای مدل‌سازی، مدیریت و پایش سیستم‌های محیطی می‌توان از روش‌های حداکثر احتمال و سایر روش‌های مورد استفاده نیز برای تهیه نقشه کاربری اراضی در مناطق مختلف بسته به هدف پژوهش استفاده نمود.

منابع

- آرخی، ص. ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم افزار Idrisi selva در منطقه آبدانان، اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۴(۹۵): ۵۱-۶۲.
- پاکروان، م.، قربانی، ا.، ۱۳۹۱. تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز شیروان دره‌سی اردبیل با استفاده از تفسیر چشمی و رقومی تصاویر TM و Google Earth و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ص ۱۲-۱.
- خزائی، م.، زارع، م.، مختاری، م. ح.، رشتیان، ع.، عربی علی‌آباد، ف. (۱۳۹۸). مقایسه دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر یزد) کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۷(۱): ۱۷۸-۱۶۵.
- رضایی مقدم، م. ح.، ولی زاده کامران، خ.، اندریانی، ص.، الماس پور، ف.، ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان در استخراج نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست ۸ حوضه صوفه‌چای، ۱۹(۵۴): ۱۸۳-۱۶۳.
- رضایی مقدم، م. ح.، ولی زاده، خ.، اندریانی، ص.، الماس پور، ف.، ۱۳۹۵. تعیین بهترین الگوریتم استخراج کاربری و پوشش اراضی و کشف تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای لندست، حوضه صوفه چای، مراغه، سال ۱۶، شماره ۵۵، ص ۸۵-۶۵.

- سفیانیان، ع.، مدنیان، م. (۱۳۹۰). مقایسه روش های طبقه بندی کننده حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: استان اصفهان). علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۵(۵۷): ۲۵۳-۲۶۴.
- عبدالعلی زاده، ز.، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات پوشش سطح زمین طی سه دهه گذشته (سال های ۱۳۸۲-۱۳۵۴) و پیش بینی وضعیت آینده با استفاده از GIS و RS در منطقه سبزکوه، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مرتع داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، ۸۵ ص.
- علوی پناه، ک.، ۱۳۸۹. کاربرد سنجش از دور در علوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- غفاری، ص.، مرادی، ح. ر.، مدر، ر. ۱۳۹۴. مقایسه روش های طبقه بندی پیکسل پایه و شیء گرا در تهیه نقشه کاربری اراضی مطالعه موردی: دشت های اصفهان- برخوار، نجف آباد و چادگان، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹(۱) ۵۷-۴۰.
- مختاری، م.، نجفی، ا. (۱۳۹۴). مقایسه روش های طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری های اراضی از تصاویر ماهواره ای لندست TM، علوم آب و خاک، ۱۹ (۷۲): ۳۵-۴۵.
- مددی، ع.، بابایی اولم، ط. (۱۴۰۳). مقایسه دقت انواع روش های طبقه بندی برای تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر رضوانشهر)، جغرافیا و روابط انسانی، ۶(۴): ۴۰۲-۳۸۹.
- مرادی، ح. ر.، رضایی، و. ۱۳۹۹. مقایسه الگوریتم های طبقه بندی نوع کاربری در تهیه نقشه کاربری اراضی در حوزه آبخیز زنوز چای استان آذربایجان شرقی، تخریب و احیاء اراضی طبیعی، ۱(۲): ۸۸-۸۰.
- معمارزاده کیانی، ا.، دانشور فتاح، ف. (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی شهرستان شهریار با استفاده از سنجش از دور و GIS، نشریه محیط زیست طبیعی، ۶(۴): ۶۷۴-۶۵۹.
- نخعی نژاد فرد، س.، غلامی، ح.، اکبری، د.، رضایی، م. (۱۳۹۷). مقایسه روش های مختلف طبقه بندی کاربری اراضی با رویکرد بهره گیری از باند حرارتی در استان خراسان جنوبی. مدیریت بیابان، ۶(۱۱): ۸۱-۶۵.

B. Gabrya, L. Petrakieva., Combining labeled and unlabelled data in the design of pattern classification systems, *International Journal of Approximate Reasoning*, (2004).

- C. Palaniswami, A. K. Upadhyay and H. P. Maheswarappa, "Spectral mixture analysis for subpixel classification of coconut", *Current Science*, Vol. 91, No. 12, pp. 1706 -1711, 25 December 2022.
- ≠ Congalton, R. G., Green, K., 1999. Assessing the accuracy of remotely sensed data principles and practices, Boca Raton: Lewis Publications.
- D. Landgrebe., Hyperspectral image data analysis, *IEEE signal process. Mag.*, volume 19, pp. 17-28, (Jan 2002).
- D. Lu, Q. Weng, "A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance",
- ≠ Foody, M. G., Mathur, A., 2004, A relative evaluation of multiclass image classification by support vector machines, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42:1335-1343.
- International Journal of Remote Sensing*, Vol. 28, No. 5, pp.823-870, January 2007.
- J. A. Richards., *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 240-255, (1999).
- James A. Shine and Daniel B. Carr, "A Comparison of Classification Methods for Large Imagery Data Sets", *JSM 2002 Statistics in an ERA of Technological Change-Statistical computing section*, New York City, pp.3205-3207, 11-15 August 2002.
- Jasinski, M. F., "Estimation of subpixel vegetation density of natural regions using satellite multispectral imagery", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 34, pp. 804–813, 2021.
- Landgrebe D., "On information extraction principles for hyperspectral data", *Cybernetics* 28 part c, Vol. 1, pp. 1-7, 1999.
- M. Govender, K. Chetty and H. Bulcock, "A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies", *Water SA*, Vol. 33, No. 2, pp.145-151, April 2007.
- M. Govender, K. Chetty, V. Naiken and H. Bulcock, "A comparison of satellite hyperspectral and multispectral remote sensing imagery for

improved classification and mapping of vegetation", *Water SA*, Vol. 34, No. 2, April 2008.

Smith R. B., "Introduction to hyperspectral imaging", 2001a. www.microimages.com (Accessed 11/03/2006).

Smith R. B., "Introduction to remote sensing of the environment", 2001b. www.microimages.com.

