

تلفیق روش‌های مختلف طبقه‌بندی اراضی با استفاده از الگوریتم فازی به کمک ادغام تصاویر ماهواره‌ای

سنتینل-۲ و لندست-۸

اردشیر ساسانی^۱، سید فضل الله ساغروانی^{۲*}، بهناز بیگدلی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

ardeshirsassani@shahroodut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران Saghravani@shahroodut.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران Behnaz_bigdeli@yahoo.com

چکیده

تکنیک‌های سنجش از دور و پردازش تصویر با فراهم نمودن اطلاعات مکانی و زمانی تحول بزرگی در اندازه‌گیری‌های سنتی به وجود آورده‌اند و از این پتانسیل برخوردارند تا دانش ما در حوزه فنی و مهندسی از جمله کامپیوتر، مهندسی منابع آب، سازه هیدرولیکی و نقشه‌برداری مانند برف، زمین‌شناسی و جغرافیا افزایش دهند. به منظور استفاده هم‌زمان از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های مختلف تلفیق تصاویر استفاده می‌گردد. در تصویر ادغام یافته توانایی تفسیر افزایش می‌یابد و نتایج قابل قبول‌تری را به همراه دارد چرا که داده‌هایی با ویژگی‌های متفاوت با یکدیگر ترکیب شده‌اند. در این در این تحقیق تصویر ادغام شده دو ماهواره (لندست-۸)^۱ و (لندست-۲)^۲ برای منطقه مورد مطالعه بسطام شاهرود با ۵ روش حداکثر احتمال^۳، حداقل فاصله^۴ ماشین‌بردار پشتیبان^۵، شبکه عصبی مصنوعی^۶ و جنگل تصادفی^۷ پردازش گردید و روش شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۳ و روش حداقل فاصله با ضریب کاپای ۰/۳۴ به ترتیب بهترین و بدترین نتایج را بهمراه داشتند. سپس ۴ روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی با الگوریتم فازی جمع‌گیری تلفیق شده و ضریب کاپای ۰/۹۴ را نتیجه داد که نشان می‌دهد تلفیق بهترین نتایج طبقه‌بندی می‌تواند نتایج بهتر و دقیق‌تری در خصوص طبقه‌بندی به همراه داشته باشد.

کلمات کلیدی

ادغام تصاویر؛ پردازش تصویر؛ روش فازی؛ ضریب کاپا؛ ماهواره سنجش از دور

¹ Landsat-8

² Sentinel-2

³ Maximum Likelihood

⁴ Minimum Distance

⁵ Support Vector Machine

⁶ Neural Net

⁷ Random Forest

از زمانی که اولین ماهواره‌های سنجنش از دور در سال ۱۹۷۲ مورد استفاده قرار گرفت، پیشرفت‌های بسیار زیادی در فناوری سنسورهای اپتیکی مورد استفاده در ماهواره‌های غیرفعال (تک بانده، چندطیفی و هایپرطیف) بدست آمده است و تعداد طیف‌ها از چند بانده طیفی محدود به چند صد بانده طیفی افزایش یافته است. بعد از گذشت چند دهه از پرتاب اولین ماهواره، داده‌ها و تصاویر سنجنش از دور و اطلاعات حاصل از پردازش این داده‌ها و تصاویر به ابزار بسیار با ارزشی تبدیل گردیده که قادر است بدون تماس فیزیکی، اطلاعات مهمی را در مورد اجسام و پدیده‌های مختلف در اختیار محققان قرار دهد. سنجنش از دور به علت کم هزینه بودن و کارایی بالای آن در مقایسه با سایر روش‌های معمول، می‌تواند نقش بسیار مهم و ارزنده‌ای در فراهم آوردن اطلاعات مقالات مورد نیاز در حوزه‌های مختلف را ایفا کند. از آنجا که خروجی سنجنده‌ها دارای کیفیت بالا، نویز کم و باندهای مختلف رنگی می‌باشد، استفاده از آن بسیار راحت و کاربردی می‌باشد. امروزه با توسعه سریع حسگرها و سنسورهای تصویربرداری، تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا به راحتی و ارزان در دسترس قرار گرفته‌اند (Terry., 2006). تصاویر با وضوح بالا شامل اطلاعات دقیقی برای درک دنیای اطراف می‌باشند و از طرفی با توجه به افزایش اعوجاجات در مقایسه با تصاویر دارای قدرت تفکیک پایین اولیه آنالیز، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تصاویر سنجنش از دور با پیچیدگی‌ها و دشواری‌هایی همراه شده است. لازم به ذکر است که تصاویر سنجنش از دور در روش‌های طبقه‌بندی به منظور تولید اطلاعات مورد نیاز استفاده می‌شوند. از جمله روش‌هایی که به این منظور به کار رفته است شامل روش‌های پارامتریک و روش‌های غیرپارامتریک می‌باشد. از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های موضوعی بدست می‌آید که توزیع جغرافیایی پدیده‌هایی را نشان می‌دهد. نتایج طبقه‌بندی به مواردی نظیر مدل طبقه‌بندی، پیش پردازش داده‌ها، الگوریتم طبقه‌بندی، نمونه آزمایشی و روش‌های ارزیابی وابسته است. پردازشگر ضمن آنالیز داده‌های سنجنش از دور کلیه‌ی روش‌های آماری و ریاضی را در جهت یافتن، تشخیص، طبقه‌بندی، اندازه‌گیری و ارزیابی اهمیت عوارض طبیعی و انسانی موجود در تصویر، تا حد امکان مورد استفاده قرار می‌دهد.

استفاده از سیستم‌های سنجنش از دور باعث سهولت در شناسایی و پایش عوارض زمین شده است، از همین رو به منظور استخراج مزارع متمایز ساختن آن نسبت به دیگر عوارض زمین، به جهت پایش و بررسی، از نتایج خروجی سنجنده‌ها استفاده شد. می‌توان سنجنش از دور را با استفاده از یک مدل عددی هیدرودینامیکی جریان‌های سطحی، شبیه‌سازی و با دورسنجی تلفیق کرد. به این صورت که با استفاده از داده‌های مقدار مرزی، مدل‌های جهانی موجود و همچنین داده‌های میدانی، تهیه و به بررسی کرد. برای تدقیق مدل‌سازی می‌توان ابتدا حساسیت مدل به پارامترهای مختلف را مورد بررسی قرار داد. ترکیبات رنگی تصاویر دورسنجی، زمین را به شکل واقعی و قابل درک برای چشم انسان با تمامی اطلاعات توپوگرافی و مورفولوژی (ریخت شناسی) آن نمایش می‌دهد. اندازه‌گیری‌های این روش بر خلاف روش‌های نقطه‌ای ژئوفیزیکی معرف یک سطح هستند. به عبارت دیگر، نمودار طیفی ثبت شده در هر پیکسل، ترکیبی خطی و گاه غیرخطی از بازتابش تمامی مواد موجود در آن سطح است. وسعت و دقت این سطح نه تنها قابل تنظیم است، بلکه محتوی طیفی از پیکسل‌هاست که شناسایی و تفکیک مواد و اجسام از راه دور را نیز میسر می‌کند.

ادغام تصویر در سه سطح صورت می‌پذیرد که شامل: ادغام در سطح پیکسل، ادغام در سطح ویژگی و ادغام در سطح تصمیم‌گیری هستند (A.K.kannan et al. 2007). ادغام در سطح پیکسل که در پایین‌ترین سطح پردازش قرار دارد تصاویر خام از یک صحنه از سنجنده‌های مختلف با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا تصویر جدیدی را تولید کنند این تصویر برای مشاهده و تفسیر انسانی و پردازش‌های کامپیوتری مناسب تر است (M. Jalili-Moghaddam. 2005). در سال‌های اخیر محققین بر آن شدند تا با استفاده از ابزارهای هوش مصنوعی و داده‌های موجود مدل‌هایی را مورد ارزیابی قرار دهند. در دهه‌های اخیر

روش‌های محاسباتی نرم مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱، برنامه ریزی ژنتیک، ماشین بردار پشتیبان و مدل‌های نرو-فازی (NF)^۲ برای شبیه‌سازی رفتار سیستم‌ها در زمینه مهندسی آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

نوآوری در ادغام تصاویر ماهواره‌ای به کاربردهای پیشرفته‌تری از تصاویر ماهواره‌ای اشاره دارد با استفاده از نوآوری در ادغام تصاویر ماهواره‌ای، امکان مانیتورینگ بهتر و بیشتری از مسائل مختلف از جمله تغییرات محیطی، مدیریت منابع طبیعی، پیش‌بینی بلایای طبیعی و غیره ایجاد می‌شود بنابراین از نوآوری این طرح می‌توان به تلفیق تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و لندست ۸ و همینطور تلفیق روش‌های مختلف طبقه‌بندی اراضی اشاره کرد.

سنجش از دور و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای کاربرد زیادی بویژه در مطالعات زیست محیطی و پهنه آبی دارد (Rangzan et al., 2022). انواع مختلفی از محصولات داده‌ای سنجش از دور که توسط ماهواره‌های رصد کننده زمین در دسترس قرار می‌گیرند کاربردهای مختلفی همچون اکتشافات معدنی، پیش‌بینی آب و هوا، استخراج کاربری اراضی، پهنه‌بندی سیلاب و ... دارند. برآوردن نیازهای مطرح شده در استفاده از داده‌های سنجش از دور برداشت شده از سطح زمین در بسیاری از کاربردها، تنها با استفاده از یک محصول کافی و ممکن نیست و برای درک دقیقتر، ادغام داده‌ها می‌تواند گزینه بهتری باشد (Pandit, 2006; Richards, 2015). ادغام و ترکیب داده‌های سنجش از دور، به افزایش قابلیت اطمینان در تفسیر نتایج و کاهش ابهامات طبقه‌بندی عوارض منجر می‌شود. ادغام داده‌های سنجش از دور اغلب به دلیل دستیابی به یک یا چند مورد از اهداف زیر صورت می‌پذیرد. (۱) افزایش وضوح تصاویر چند طیفی. (۲) بهبود نتایج طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور. (۳) بهبود محتوای اطلاعاتی داده‌های سنجش از دور (Samadzadegan et al., 2015).

در پژوهشی دیگر (Liu et al., 2022) به منظور استخراج پهنه‌های رودخانه‌ای، یک روش ادغام تصویر را برای استفاده همزمان از اطلاعات تصاویر ماهواره‌های Sentinel-2, Landsat-8 به منظور ارتقا وضوح طیفی و مکانی آنها توسعه دادند. نتایج آنها نشان از این داشت که نه تنها رویکرد ادغام موجب بهبود عملکرد طبقه‌بندی می‌گردد بلکه اثر تداخل ابر را نیز می‌تواند حذف کند. (Zhang et al., 2023) معتقد بودند که پایش دینامیکی محصولات کشاورزی به تصاویر با دوره زمانی فشرده نیاز دارد، اما هیچ محصول ترکیبی سنجش از راه دور پیشنهادی وجود نداشته است که وضوح مکانی-زمانی بالایی را به طور خاص برای نظارت بر زمین‌های کشاورزی ارائه دهد. در همین راستا آنها از رویکرد ادغام تصاویر حاصل از سنجنده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲ به جهت بالا بردن توام وضوح مکانی و زمانی بهره بردند. نتایج این پژوهش نشان داد منحنی‌های سری زمانی شاخص‌های گیاهی که توسط مجموعه داده یکپارچه ترسیم شده است، می‌تواند به طور دقیق سیستم کشت را توصیف کند و تغییرات شدت رشد محصول را به تصویر بکشد.

در سال‌های اخیر، ماهواره‌هایی مانند لندست ۸ و سنتینل ۲ به فضا پرتاب شده که امکان استفاده رایگان از تصاویر این ماهواره‌ها برای محققان فراهم آمده است. ماهواره لندست ۸ که حاصل همکاری ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده است، در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. ماهواره سنتینل ۲ نیز توسط آژانس فضایی اروپا طراحی و در سال ۲۰۱۵ در مدار زمین قرار گرفته است. ماهواره سنتینل ۲ در مقایسه با سری ماهواره‌های لندست، قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی بهتری دارد.

¹ Artificial Neural Network

² Nero fuzzy

ویژگی‌های این ماهواره سبب شده است که کارایی مناسبی در کاربردهای متفاوت نظیر طبقه‌بندی جنگل و پایش محصول، تشخیص مناطق ساخته شده و همچنین پایش محیط‌های آبی داشته باشد. (Zhu., 2015) در همین راستا یکی از محدودیت‌های ماهواره لندست این است که فقط می‌تواند هر ۱۶ روز یکبار از یک منطقه برداشت تصویر انجام دهد که در شرایط آب و هوایی ابری این تصاویر دچار مشکل هستند و بدلیل پوشیده شدن از ابر قابلیت استفاده و تحلیل ندارند. در واقع می‌توان گفت برای پایش تغییرات سریع در سطح زمین همچون جنگل‌زدایی، سیلاب و شهرنشینی استفاده از داده‌های لندست به تنهایی کاربردی نمی‌باشد (Gao et al., 2015; Atkinson et al., 2012). ماهواره سنتینل-۲ سیستمی متشکل از دو ماهواره مدار قطبی است که به تداوم و بهبود ماموریت ماهواره‌های SPOT و Landsat کمک می‌کند و داده‌هایی با کیفیت بالا و مطمئن ارائه می‌دهد (Drusch et al., 2012).

جنگل تصادفی (RF) یک روش طبقه‌بندی و رگرسیون است که متشکل از ترکیبی از پیش‌بینی کننده‌های درخت است که در آن هر درخت با استفاده از یک بردار تصادفی به طور مستقل از بردار ورودی تولید می‌شود. طراحی رگرسیون جنگل تصادفی به درخت اجازه می‌دهد تا با استفاده از ترکیبی از متغیرها، در داده‌های آموزش جدید حداکثر عمق رشد کند. این درختان کامل به عقب هرس نمی‌شوند این یکی از مهمترین مزایای رگرسیون جنگل تصادفی نسبت به سایر روش‌های درختی مانند درخت مدل M5 است. مطالعات نشان می‌دهد که انتخاب روش‌های هرس، و نه اندازه گیری‌های متغیر، بر عملکرد الگوریتم‌های مبتنی بر درخت تأثیر می‌گذارد (Pal and Mather 2003).

الگوریتم رگرسیون خطی اصلاح‌شده را با استفاده از سه پارامتر قابل تنظیم پیشنهاد دادند: نسبت، I و اندازه قسمتی از مجموعه آموزشی که به کار گرفته می‌شود. نسبت I در دامنه ۰ تا ۱ قرار دارد و بر الگوریتم‌ها نسبت به نویز موجود در مجموعه آموزشی تأثیر می‌گذارد. انتخاب I بر اساس رابطه بین خطا در مجموعه آموزشی خطای تعمیم محاسبه‌شده با استفاده از یک مجموعه تست یا تخمین خارج از مجموعه صورت گرفته است. اگر نسبت خطای بسیار کم‌تر از ۱ باشد، مقدار I باید کاهش یابد، و مدل باید مجدداً ایجاد شود. تنظیم دو پارامتر دیگر بسیار ساده‌تر است. تعداد درختان می‌تواند با آزمون و خطا انتخاب شود در حالی که تعداد m به طور خودکار انتخاب می‌شود و به عنوان نصف تعداد کل متغیرها گرفته می‌شود (Colecchia 2013).

همچنین می‌توان از الگوریتم جنگل تصادفی برای ارزیابی اهمیت هر متغیر در طول مرحله مدلسازی استفاده کرد. برای تعیین اهمیت یک متغیر ورودی، هر متغیر به نوبه خود با یک نویز تصادفی جایگزین می‌شود. وخامت حاصل‌شده در کیفیت مدل معیاری از اهمیت متغیر است. وخامت در کیفیت مدل با تغییر در خطای میانگین مربع برای داده‌های اعتبار سنجی خارج از مجموعه ارزیابی می‌شود (Palmer et al. 2009). اهمیت استفاده از رگرسیون جنگل تصادفی در این واقعیت نهفته است که لیستی از تمام متغیرهای ورودی که برای ایجاد یک مدل استفاده شده است، تولید می‌کند. پس از حذف ویژگی از مدل، همه ویژگی‌ها را از نظر افزایش میانگین مربعات خطا رتبه‌بندی می‌کند.

الگوریتم تکاملی به عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا-ابتکاری مبتنی بر جمعیت، مورد توجه بسیاری از محققان در زمینه‌های مختلف مطالعه قرار گرفته است. آن‌ها به طور گسترده‌ای برای تعداد زیادی از برنامه‌های مهندسی بهینه‌سازی پارامترهای طراحی استفاده می‌کنند. در ادامه با ترکیب این روش‌ها جهت بهینه‌سازی بهتر و مدلسازی خواهیم پرداخت. ماشین بردار پشتیبانی یکی از روش‌های یادگیری بانظارت است که از آن برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌کنند. این روش از جمله روش‌های به نسبت جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی نشان داده‌است. مبنای کاری دسته‌بندی کننده SVM دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌کنیم خطی را

انتخاب کنیم که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. از جمله مزایای روش ماشین بردار پشتیبان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: آموزش نسبتاً ساده است. برخلاف شبکه‌های عصبی در ماکزیم‌های محلی گیر نمی‌افتد. برای داده‌های با ابعاد بالا به طور تقریبی خوب جواب می‌دهد. مصالحه بین پیچیدگی دسته‌بندی‌کننده و میزان خطا به طور واضح کنترل می‌شود. به یک تابع کرنل خوب و انتخاب پارامتر C نیاز دارد.

تصاویر ماهواره لندست به دلیل رزولوشن مکانی نسبتاً خوب و رایگان بودن داده‌ها، دارای کاربرد گسترده، در مطالعات سنجش از دور می‌باشند. یکی از رویکردهای عمده برای به دست آوردن اطلاعات از تصاویر سنجش از دور، طبقه‌بندی است. روش‌های متعدد طبقه‌بندی برای پردازش تصاویر وجود دارد، اکثر رویکردهای سنجش از دور بر اساس تکنیک‌های تشخیص الگوی کلاسیک مثل طبقه‌بندی‌های حداکثر احتمال، نزدیک‌ترین همسایه یا ترکیبی از حداکثر احتمال و خوشه‌بندی است. عموماً روش‌های طبقه‌بندی به دو روش پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شود که از روش‌های ناپارامتریک، روش‌های بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان نام برد. این روش‌ها از ویژگی‌های آماری داده‌ها استفاده نمی‌کنند و جزو تکنیک‌های طبقه‌بندی قرار گرفته‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شاهروود مرکز شهرستان شاهروود در استان سمنان است. شاهروود به طور تقریبی در میانه راه تهران- مشهد می‌باشد، به گونه‌ای که فاصله آن از تهران ۴۱۲ کیلومتر و از مشهد ۵۱۱ کیلومتر است. بسطام نام شهری در شهرستان شاهروود استان سمنان در ایران است. این شهر در ۵ کیلومتری شمال شرقی شاهروود و در بخش بسطام جای دارد. بسطام از غرب به رشته کوه‌های شاهوار و شهر مجن و از شرق به منطقه میامی و دشت کویر و از شمال و شمال غرب به استان گلستان مرتبط می‌باشد. شهر بسطام آب و هوایی مطبوع در تابستان و سرد در زمستان دارد. این شهر از سویی به سبب مجاورت کوه‌های شاهوار و ابر دارای زمستان‌های سرد و طولانی است و از طرفی دیگر به دلیل همجواری با کویر دارای آب و هوایی کوهپایه‌ای است و بی شک یکی از خوش آب و هواترین نقاط استان سمنان است. این شهر در زمینه کشاورزی و باغداری و همچنین گردشگری فعالیت دارد و درآمد مردم شهر به طور عمده ازین دو راه حاصل می‌شود.

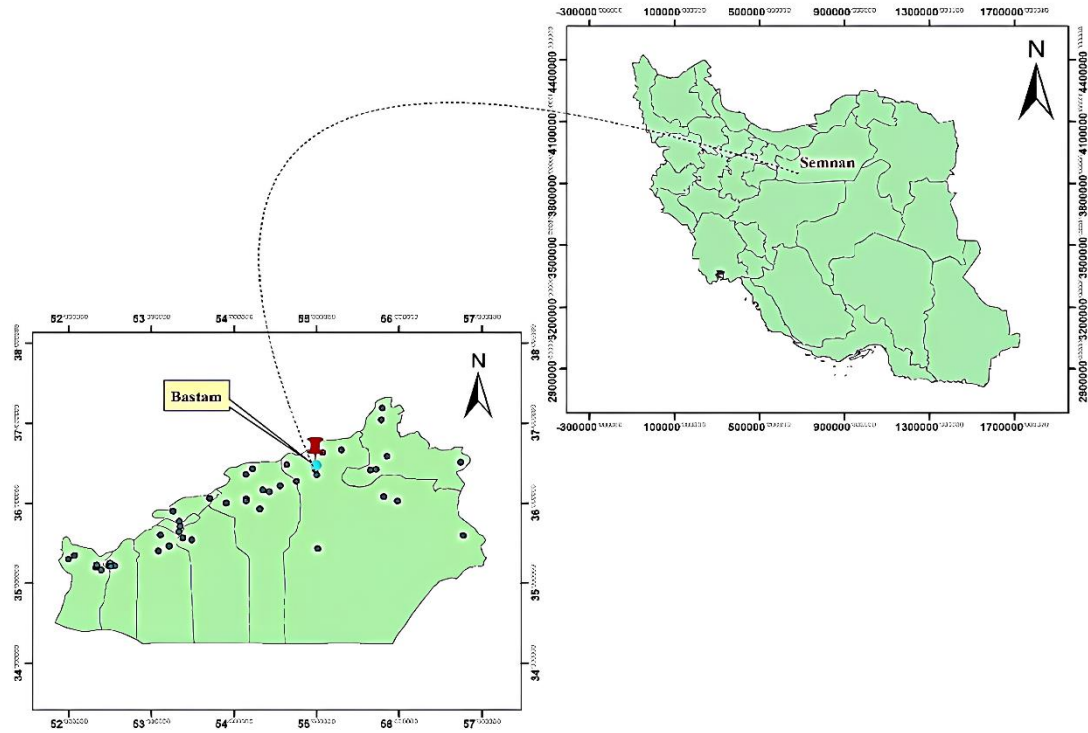


Figure 1. The location of Bastam city



Figure 2. A section of the studied location in the Google Earth environment

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

گام اول: داده های گرفته شده تصاویر سنجنده ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ با کمترین پوشش ابری به ترتیب در تاریخ‌های ۱۵ و ۱۱ ژوئن سال ۲۰۱۹ میلادی می‌باشند.

Table 1. Specifications of the used satellites

number of bands	name of meter	Name of satellite
11	OLI	Landsat 8
13	MSI	Sentinel 2

گام دوم: اصلاحات تصاویر مورد نظر (هندسی، رادیومتری و اتمسفری) برای منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ENVI جهت استفاده در گام تلفیق تصاویر انجام و پردازش شد.

▪ تصحیح هندسی

تصاویر اولیه و خام داده‌های ماهواره‌ای، بنا به دلایل مختلف، مانند گردش زمین و تغییر در ارتفاع ماهواره دارای هندسه ناصحیح بوده و در این حالت قابل استفاده با سایر داده‌های ماهواره‌ای و مقایسه با یکدیگر نیستند؛ از جمله این انحراف‌ها می‌توان به تغییرات در ارتفاع و سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین، جابه‌جایی و پستی و بلندی اشاره کرد. منظور از تصحیح هندسی جبران انحراف‌هاست.

▪ تصحیح رادیومتری

تصحیحات رادیومتری شامل آن دسته از تصحیحات است که فقط بر روی درجات خاکستری اعمال می‌شود و فقط با تغییر مقادیر آنها به صورت مجزا (به صورت پیکسل به پیکسل) سعی در جبران بعضی خطاهای موجود تصاویر ماهواره ای دارند (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۹). تصحیحات رادیومتری در قبال تغییرات منظر، نوردهی، دید هندسی، شرایط جوی، و نویز سنجنده باید انجام گیرد. با استفاده از این تصحیح اثر، اختلاف زاویه خورشید و ارتفاع در داده‌های چندزمانه برطرف شد و آثار اتمسفر، توپوگرافی، و خطاهای سنجنده روی داده‌های رقومی برطرف می‌شود. در این راستا، با توجه به اطلاعات موجود در فراداده تصاویر، کلیه تصاویر تصحیح و دارای مختصات یکسان می‌شوند.

▪ تصحیح اتمسفری

تصحیح اتمسفری در مواردی که به مقادیر انرژی ساطع شده از اشیا نیاز است یا هنگامی که شدت سیگنال ارسالی از طرف اشیا از اثرهای اتمسفری کمتر باشد ضروری است. تصحیح اتمسفری مهمترین بخش قبل از پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای از راه دور است. از این تصحیح به خصوص در مواردی که مقایسه و تجزیه و تحلیل تصاویر چندزمانه مدنظر است استفاده می‌شود و همچنین برای دستگاه‌های تصویربرداری چندطیفی مانند اسکنرهای سنجنده‌های ماهواره لندست، که در بخش طیف مرئی و

مادون قرمز نزدیک اطلاعات را ثبت می‌کنند و جذب اتمسفر به‌طور عمده بر روی باندهای مرئی و مادون قرمز تأثیر می‌گذارد، اهمیت دارد (Karimian, K.2015).

گام سوم: پس از مرحله پیش‌پردازش تصاویر، تلفیق تصاویر دو ماهواره به روش پیکسلی در محیط ENVI Classic انجام شد.

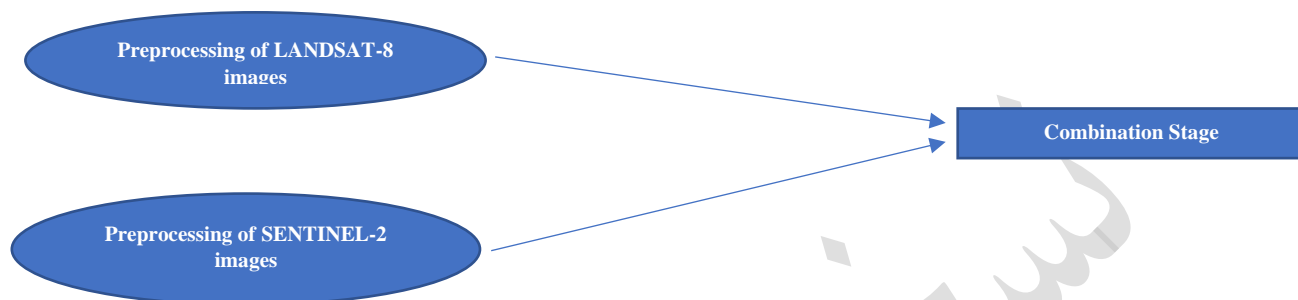


Figure 3. Combination of two satellite images by pixel method in ENVI Classic environment

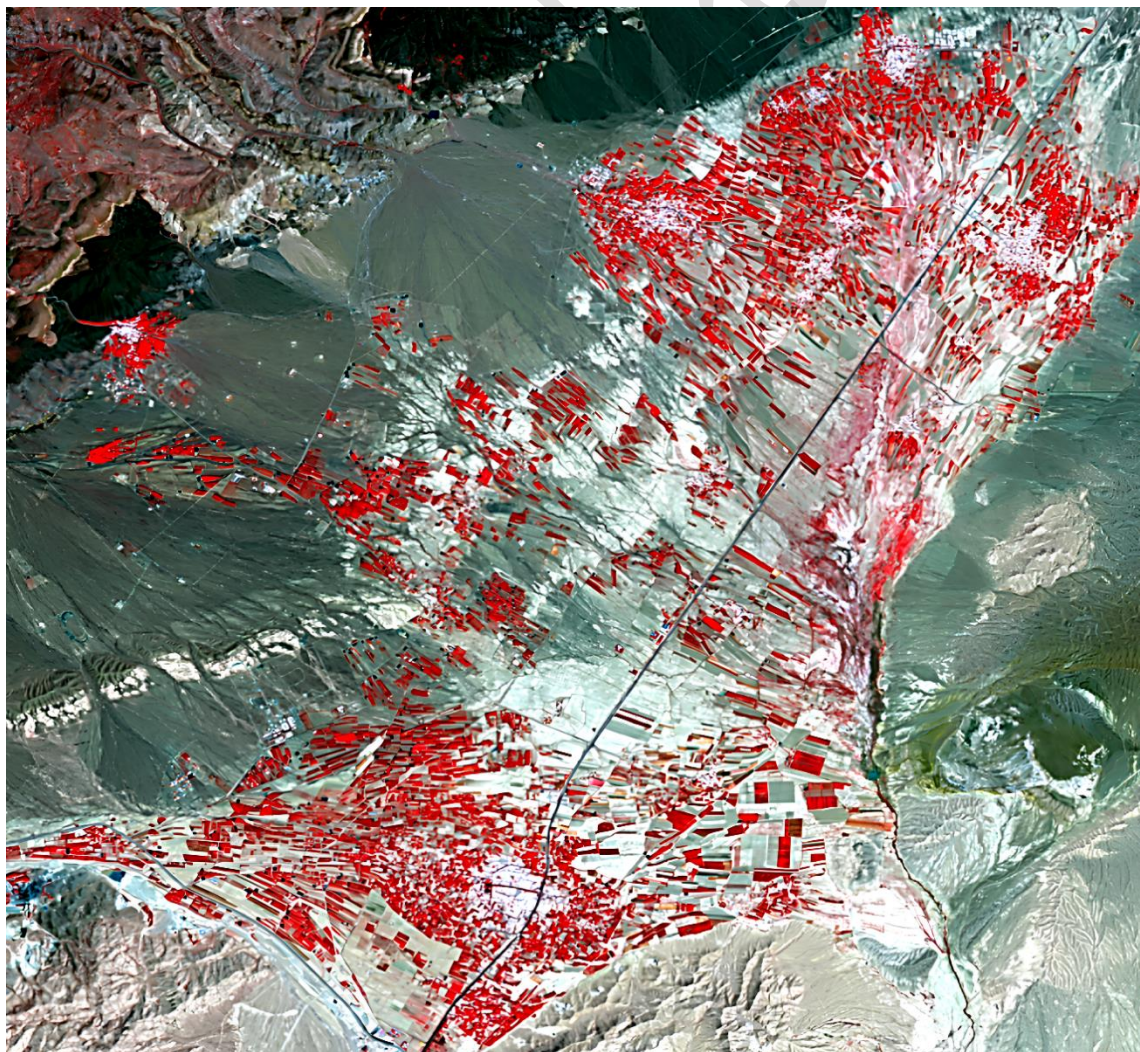


Figure 4. The combined output of Landsat 8 and Sentinel 2 images of the studied area by pixel method

۳-۲- طبقه بندی اراضی منطقه مورد مطالعاتی

در این مرحله با کمک دستور ROI در برنامه ENVI و با کمک گوگل ارث برای سه دسته خاک، شهر و صخره و پوشش گیاهی به وارد کردن نمونه های متفاوت با تعداد و توزیع مناسب به نرم افزار جهت طبقه بندی اراضی به روش های حداکثر احتمال، حداقل فاصله، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی پرداخته شد.

۳-۲-۱- روش حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال واریانس و کوواریانس کلاس ها را ارزیابی می کند. برای این کار فرض می شود همه مناطق آموزشی از پراکنش نرمال برخوردارند. درحقیقت، نمونه های کلاس های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند. بنابراین، تا حد امکان باید از نمونه های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد. بنابراین، شرط توزیع نرمال در روش حداکثر احتمال اهمیت خاصی دارد (Outkei and Blaschke., 2010; Erdas., 1999). در شکل شماره ۴ نتیجه نهایی طبقه بندی با این روش را مشاهده می کنیم.

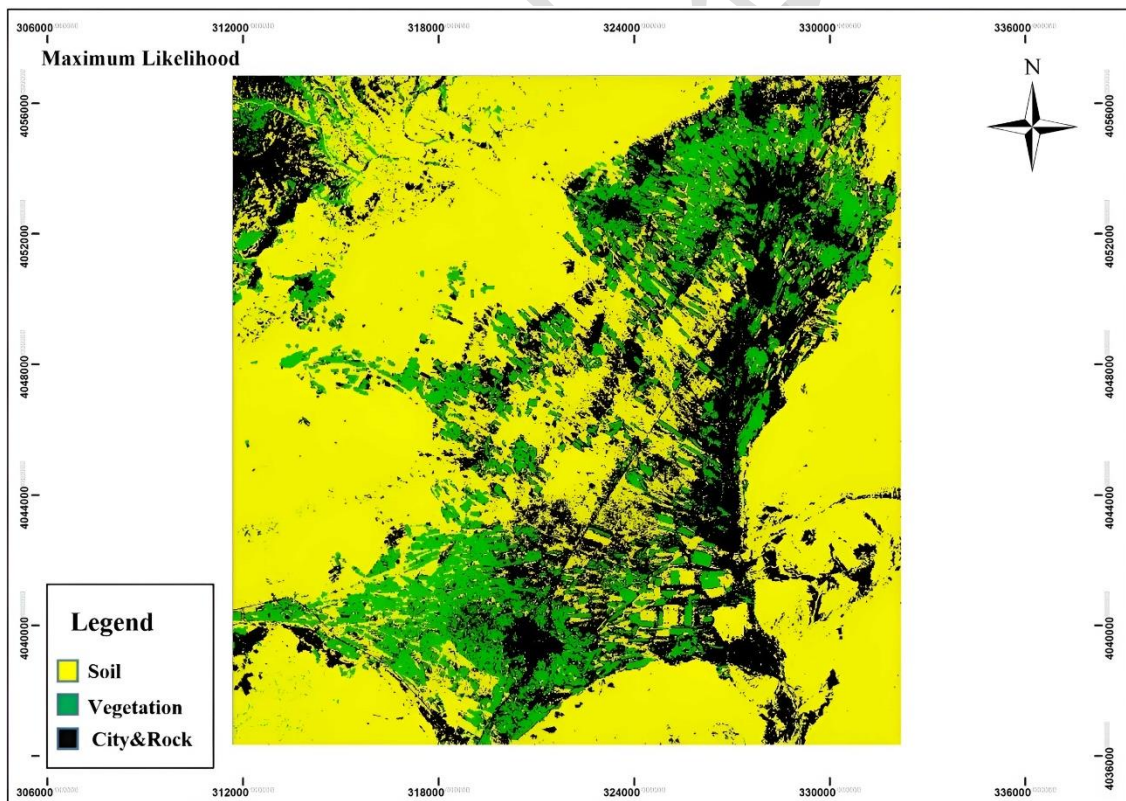


Figure 5. Classification by maximum likelihood method

۲-۳-۲- روش شبکه عصبی مصنوعی

رژیمات برای اولین بار در سال ۱۹۸۵ شبکه‌های عصبی مصنوعی را طراحی کرد. در این ساختار، برای آموزش شبکه، نمونه‌های آموزشی از طریق لایه ورودی وارد شبکه می‌شوند و بعد از ضرب شدن در وزن‌های ارتباط دهنده نرون‌ها، وارد لایه میانی می‌شوند. در هر نرون از لایه میانی یک تابع فعالیت بر روی ورودی‌ها اعمال می‌شود و مقادیر محاسبه شده به لایه خروجی فرستاده می‌شود. در این مرحله، خروج شبکه با مقدار مطلوبی که از شبکه انتظار می‌رود مقایسه می‌شود و مقدار خطای موجود، از روش‌های مختلف، با تغییر در وزن‌های ارتباط دهنده نرون‌ها در شبکه تعدیل می‌شود. معمولاً، برای این کار از الگوریتم‌هایی مثل پس انتشار خطا^۱ استفاده می‌شود. این الگوریتم، با استفاده از گرادیان تابع هزینه، وزن‌های شبکه را برای کاهش میزان خطای شبکه تعدیل می‌کند. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که مقدار خطای شبکه به ازای همه نمونه‌های آموزشی به یک مقدار حداقل، که برای شبکه از قبل تعیین شده، برسد (Nielsen., 2015). در شکل شماره ۵ نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

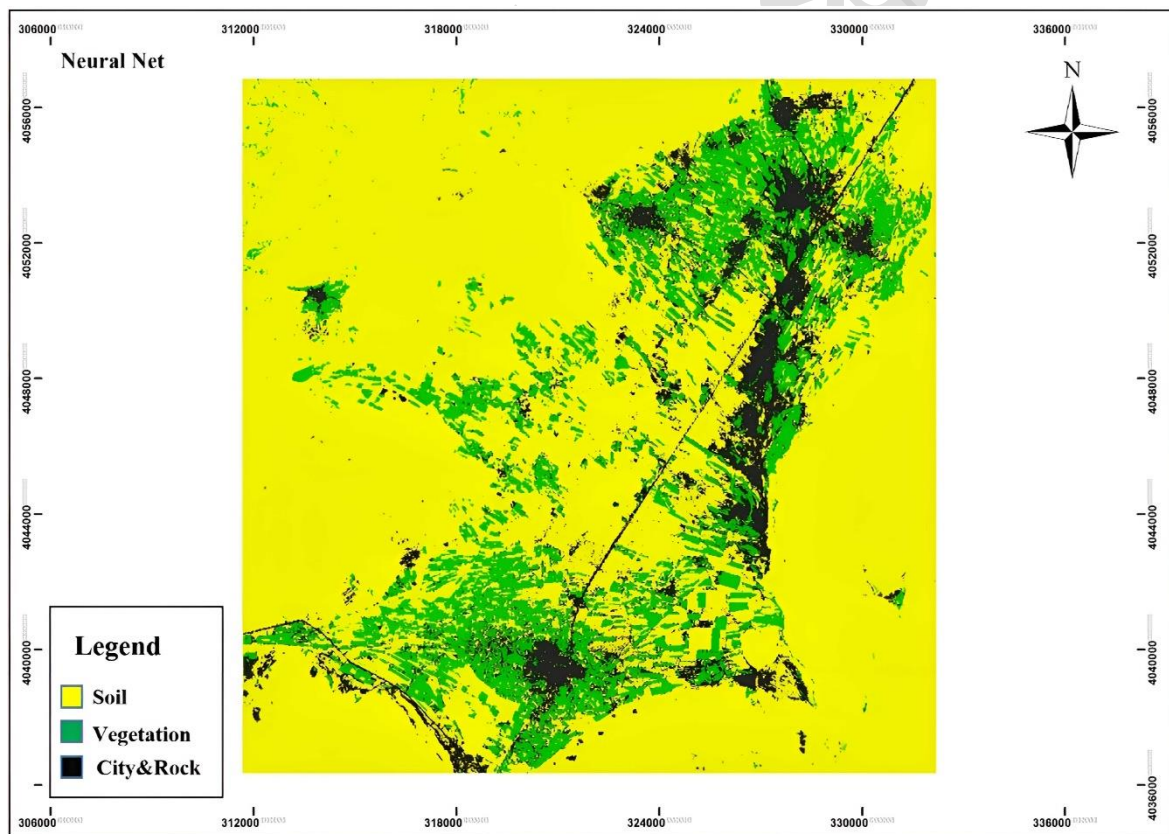


Figure 6. Neural Net classification

۲-۳-۳- روش حداقل فاصله

روش طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین روشی است که پس از تعیین مقادیر میانگین طیفی در هر باند، با مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های تعلیمی هر طبقه را به خود اختصاص داده، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با

^۱ Back Propagation

پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و سپس پیکسل موردنظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله با میانگین را دارد. هر پیکسل به طبقه‌ای تعلق می‌گیرد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن طبقه داشته باشد. این نوع طبقه‌بندی از نظر ریاضی ساده و از نظر محاسباتی کاراست، ولی مبنای نظری آن به اندازه طبقه‌بندی حداکثر مشابهت قوی نیست. در شکل شماره ۶ نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم (Mather and Tso., 2009).

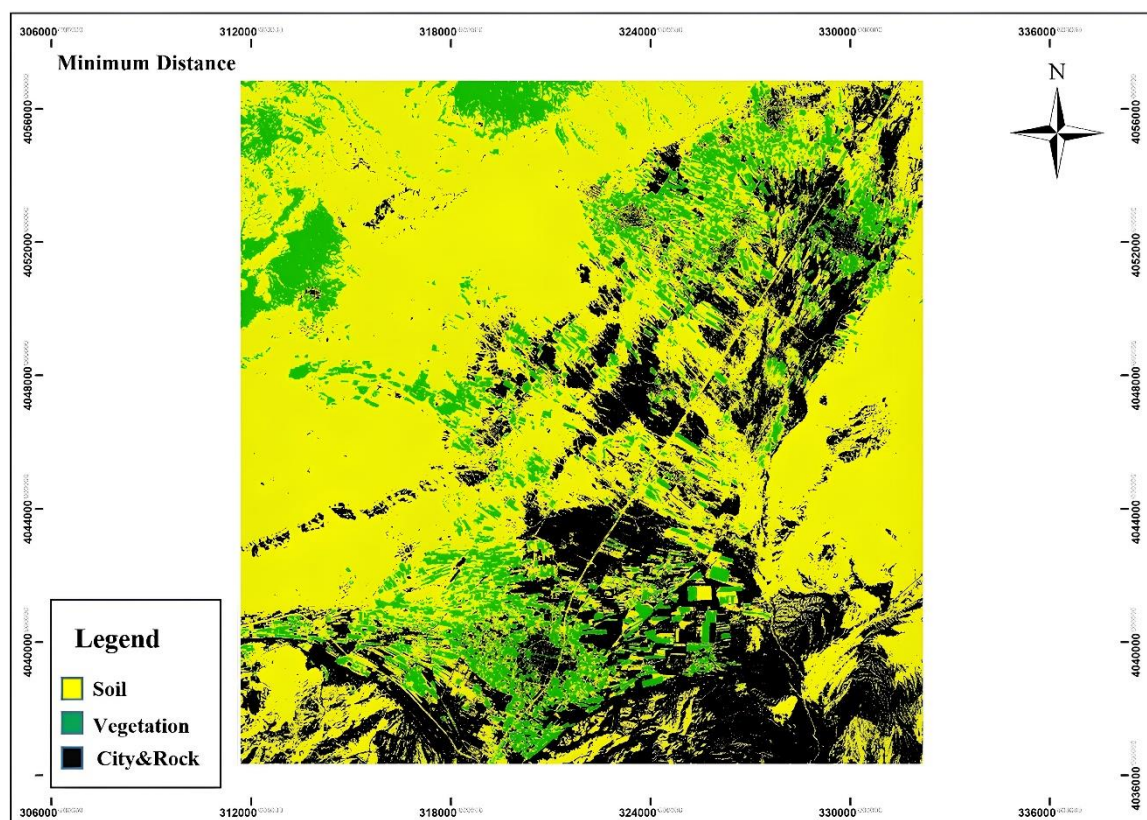


Figure 7. Classification by Minimum Distance Method

۲-۳-۴- روش ماشین بردار پشتیبان

این روش براساس نظریه یادگیری آماری بنا نهاده شده که به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد و یک روش آماری غیرپارامتریک نظارت شده‌است. در این روش با استفاده از همه باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست می‌آید و با استفاده از آن‌ها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود (Vapnik., 1979; Vapnik., 1995). در شکل شماره ۷ نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

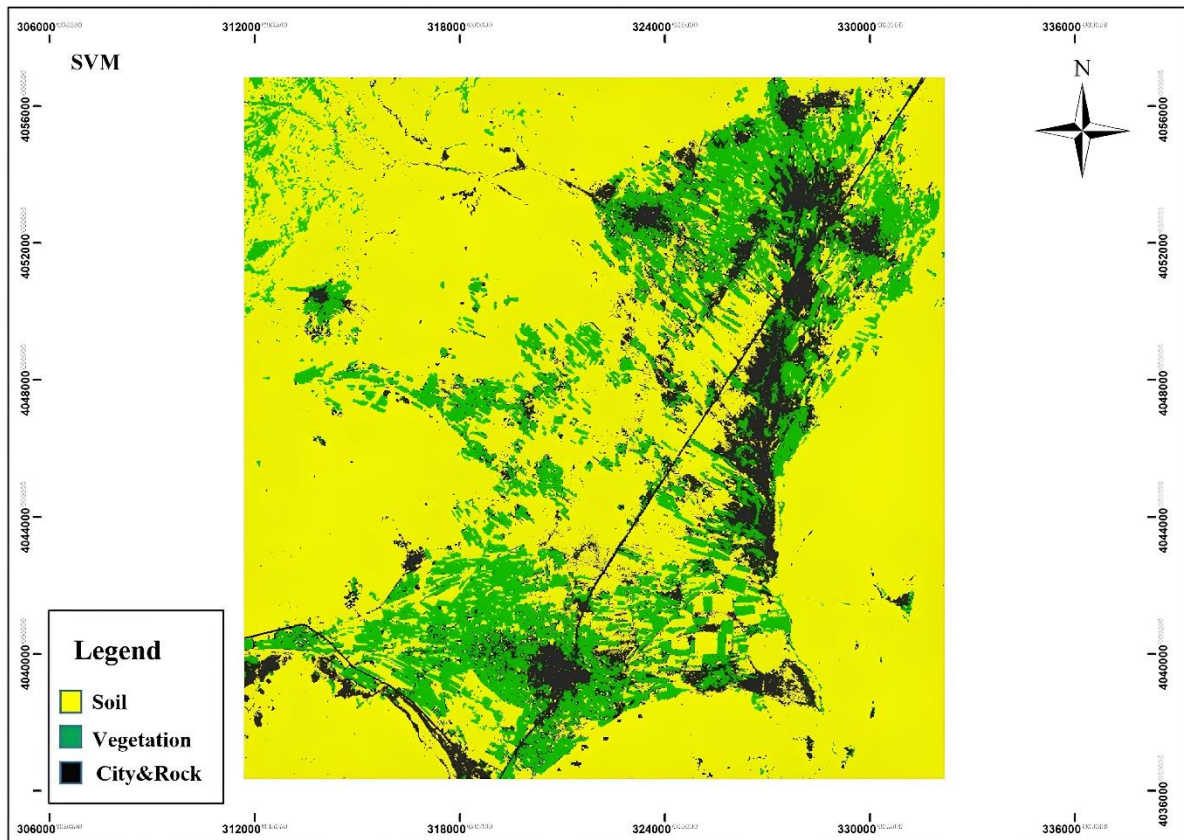


Figure 8. Classification by SVM method

۲-۳-۵- روش جنگل تصادفی

روش جنگل تصادفی یکی از روش‌های طبقه‌بندی کننده چندگانه به شمار می‌رود. در این روش طبقه‌بندی کننده‌ها یا از طریق جا به جا کردن داده‌های آموزشی و یا بردار فضای ویژگی ساخته می‌شود. جابه‌جایی داده‌های آموزشی و یا بردار ویژگی هم به صورت تصادفی انجام می‌شود. روش جنگل تصادفی توسعه روش کیسه I است. که تفاوت اصلی آن با کیسه در انتخاب ویژگی تصادفی است. در هر گام از انتخاب انشعاب، RF ابتدا مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را به طور تصادفی انتخاب می‌کند و سپس پروسه انتخاب انشعاب مرسوم را داخل مجموعه ویژگی ادامه می‌دهد. مقدار پیشنهادی تعداد ویژگی‌های انتخاب شده برابر با لگاریتم تعداد کل ویژگی‌ها می‌باشد. البته در برخی از مطالعات سنجش از دوری این عدد برابر جذر تعداد کل ویژگی‌ها یا باندهای طیفی در نظر گرفته می‌شود (Breiman., 2001; Breiman., 1996). در شکل شماره ۹ نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

¹ Bagging

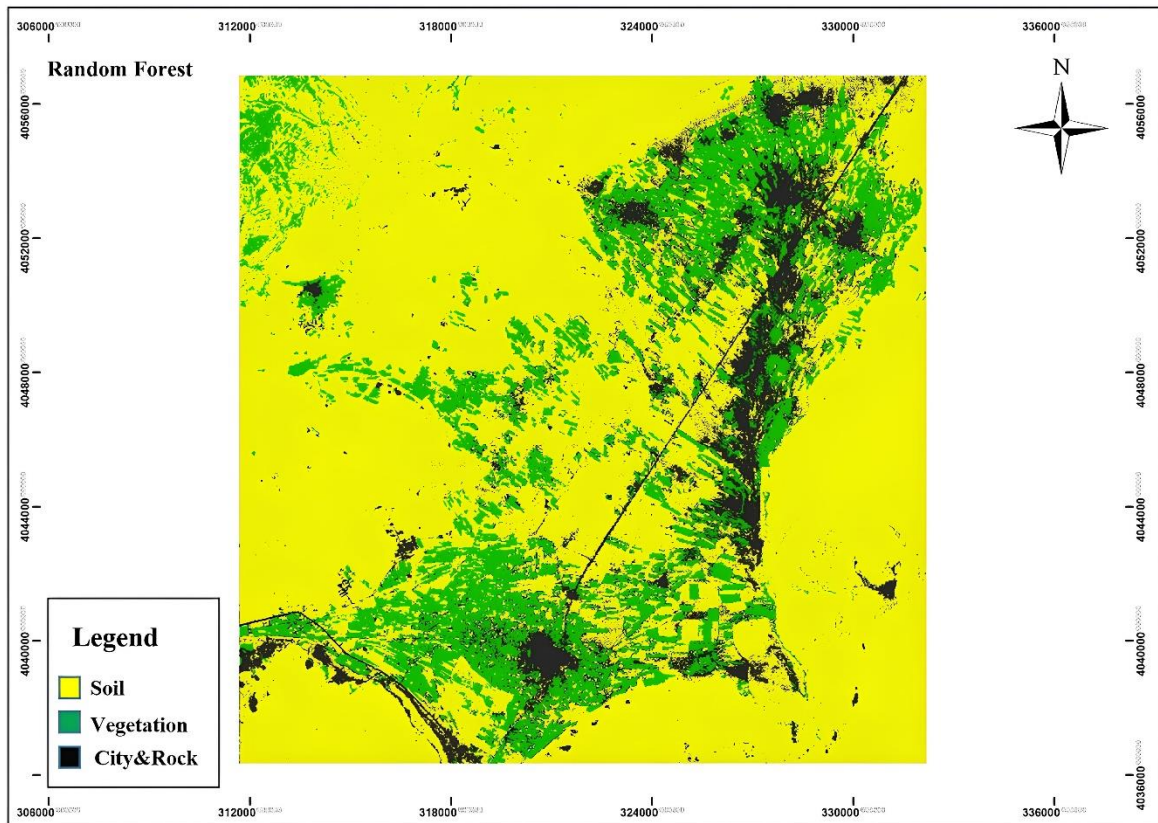


Figure 9. Random Forest classification

۲-۴-اعتبارسنجی تصاویر طبقه‌بندی شده

در اعتبارسنجی تصاویر طبقه‌بندی شده به روش‌های قسمت قبل، از روش محاسبه ضریب کاپا^۱ در محیط نرم‌افزار ENVI با کمک نمونه‌های ROIهای جدید استفاده شده‌است. شاخص کاپا توسط لیلند و کیفر در سال ۲۰۰۰ تعریف شد که معیار سنجش آن استفاده از ماتریس ابهام جهت بررسی صحت طبقه‌بندی می‌باشد و توانایی مدل در پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها را نشان می‌دهد. این مفهوم در رابطه (۱) زیر بیان شده‌است:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در جدول ۲ نتایج محاسبه شده ضریب کاپا برای روش‌های طبقه‌بندی آورده شده‌است. مشاهده می‌شود که روش شبکه عصبی مصنوعی با کاپای ۰/۹۳ بهترین عملکرد و روش حداقل فاصله با کاپای ۰/۳۴ بدترین عملکرد را به همراه داشته‌است. بنابراین روش حداقل فاصله جهت تلفیق روش‌های طبقه‌بندی از قسمت بعدی تحقیق حذف شده‌است.

¹ Kappa Coefficient

Table 2. Calculated results of the kappa coefficient

The calculated Kappa coefficient	classification method
۰/۹۳	Artificial intelligence
۰/۹۰	Random forest
۰/۸۹	Support vector machine
۰/۷۰	The maximum probability
۰/۳۴	The minimum distance is

۲-۴-۱- تلفیق روش‌های طبقه‌بندی به روش منطق فازی

تابع عضویت یکی از اجزای اصلی مجموعه‌های فازی می‌باشد که عملگرهای فازی بر اساس توابع عضویت فازی تعریف شده‌اند. برای مدل فازی اپراتورهای اجتماع و اشتراک، ضریب جبری ۱، جمع جبری ۲ و گاما ۳ تعریف شده‌است. در این تحقیق برای تلفیق روش‌های طبقه‌بندی از مدل منطق فازی جمع جبری در محیط نرم‌افزار آرک جی آی اس ۴ استفاده شد. در شکل شماره ۱۰ نتیجه تجمیع را مشاهده می‌کنید.

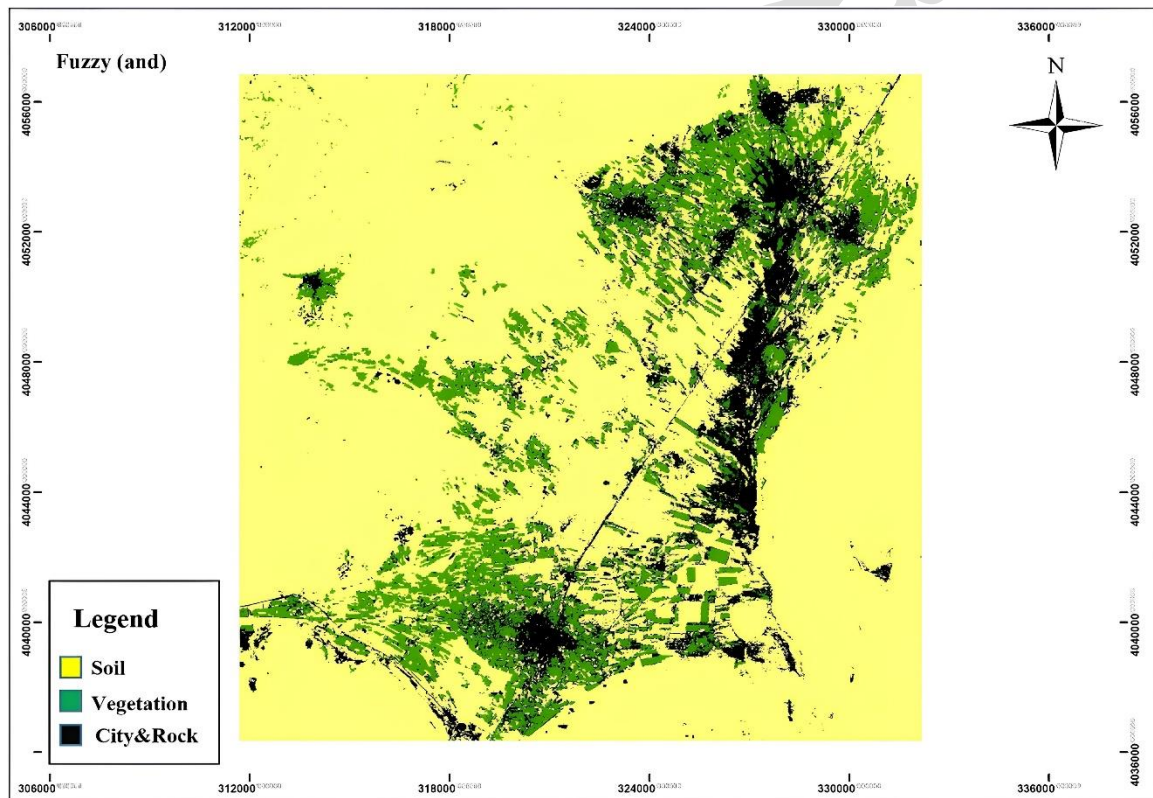


Figure 10. Combining classification methods with algebraic sum fuzzy logic model

¹ Fuzzy Algebraic Product

² Fuzzy Algebraic Sum

³ Fuzzy Gamma

⁴ ArcGIS

۲-۴-۲- اعتبارسنجی نتیجه حاصل از روش منطق فازی

با محاسبه دستی ضریب کاپا با کمک برنامه آرک جی آی اس نتیجه حاصل اعتبارسنجی شد. برای این کار در آرک جی آی اس ۱۳۴ نقطه از تصویر حاصل از نتیجه تلفیق برای کلاس‌های طبقه‌بندی مختلف به طور تصادفی برداشت گردید و نوع طبقه‌بندی آن نقاط با وضعیت واقعی آن‌ها در محیط گوگل ارث ارزیابی و ضریب کاپای ۰/۹۴ محاسبه شد که نتیجه خوبی را به همراه داشت. در جدول شماره ۳ ماتریس حاصل جهت محاسبه ضریب کاپا آورده شده است.

Table 3. The results of the validation of the fuzzy logic method

Categories	Soil	City & Rock	Vegetation	Total (User)
Soil	51	1	1	53
City & Rock	2	55	1	58
Vegetation	0	0	23	23
Total (Producer)	53	56	25	134

$$K = \frac{(134 \times 129) - [(53 \times 53) + (56 \times 58) + (25 \times 23)]}{(134 \times 134) - [(53 \times 53) + (56 \times 58) + (25 \times 23)]}$$

$$K = 0.94$$

۳- بحث و نتیجه گیری

طبقه‌بندی اراضی در منابع آب اهمیت بسیاری دارد، زیرا نوع استفاده از زمین می‌تواند تأثیر زیادی بر دوره و میزان آب‌های زیرزمینی و سطحی داشته باشد. هم‌نظور تصاویر ماهواره‌ای اهمیت زیادی در طبقه‌بندی اراضی داشته زیرا این تصاویر اطلاعات دقیق و جامعی از وضعیت فعلی اراضی و استفاده از آنها را فراهم می‌کنند. ادغام تصاویر ماهواره‌های سنتینل ۲ و لندست ۸ این امکان را فراهم می‌کند که تصویری با ویژگی‌های خوب ماهواره لندست ۸ و دقت مکانی ۱۰ متری سنتینل ۲ را باهم تجربه کنیم و این در نتیجه‌گیری بهتر طبقه‌بندی به ما کمک می‌کند. در این تحقیق تصویر ادغام شده دو ماهواره ذکر شده برای منطقه مورد مطالعه ما با ۵ روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی پردازش گردید و روش شبکه عصبی مصنوعی با ضریب کاپای ۰/۹۳ و روش حداقل فاصله با ضریب کاپای ۰/۳۴ به ترتیب بهترین و بدترین نتایج را به همراه داشتند. سپس ۴ روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی با الگوریتم فازی جمع جبری تلفیق شده و ضریب کاپای ۰/۹۴ را نتیجه داد که نشان می‌دهد تلفیق بهترین نتایج طبقه‌بندی می‌تواند نتایج بهتر و دقیق‌تری در خصوص طبقه‌بندی به همراه داشته باشد. اما این نکته قابل ذکر است که صرفاً تلفیق هر روش طبقه‌بندی با یکدیگر نمی‌تواند به نتیجه بهتری منجر شود.

۴- منابع

- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., Karimi, D., (2022b), "Optimized water depth retrieval using satellite imageries based on novel algorithms," *Earth Sci Inform*, 15: 37-55.
- Zhang, H., Zhang, Y., Gao, T., Lan, Sh., Tong, F., & Li, M. (2023). *Landsat-8 and Sentinel-2 Fused Dataset – for High Spatial-Temporal Resolution Monitoring of Farmland in China’s Diverse Latitudes*. *Remote sensing*. 15(11), 2951.
- Sigurdsson, J., Armannsson, S.E., Ulfarsson, S.E., & Sveinsson, J.R. (2022). *Fusing Sentinel-2 and Landsat 8 Satellite Images Using a Model-Based Method*. *Remote sensing*. 14(13). 3224
- Zhu, Z., Wang, S., Woodcock, C. E. (2015). *Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images*. *Remote Sensing of Environment*. 159, 269- 277.
- Pandit, V., & Bhiwani, R. J. (2015). *Image Fusion in Remote Sensing Applications: A Review*. *International Journal of Computer Applications* 120, 22-32.
- Samadzadegan, F., Tabibm Mahmoudi, F., & Bigdeli., B. (2015). *Data fusion in remote sensing: theory and methods: in Persian*.
- Gao, F., Hilker, T., Zhu, X., Anderson, M., Masek, J., Wang, P., & Yang, Y. (2015). *Fusing Landsat and MODIS Data for Vegetation Monitoring*. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. 3, 47- 60.
- Atkinson, P. M., Jeganathan, C., Dash, J., & Atzberger, C. (2012). "Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology," *Remote Sensing of Environment*, 123, 400–417.
- Drusch, M & et al. (2012). "Sentinel-2: ESA’s optical high-resolution mission for GMES operational services," *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36.
- Palmer, Margaret A et al. 2009. "Climate Change and River Ecosystems: Protection and Adaptation Options." *Environmental management* 44(6): 1053–68.
- Colecchia, Federico. 2013. "A Sampling Algorithm to Estimate the Effect of Fluctuations in Particle Physics Data" eds. Theocharis Kosmas, Elias Vagenas, and Dimitrios Vlachos. *J. Phys. Conf. Ser.* 410: 12028
- ERDAS, "Field Guide," 5th Edition, ERDAS, Inc., Atlanta, 1999.
- Otukey, J. R., & Blaschke, T. (2010). *Land Cover Change Assessment Using Decision Trees, Support Vector Machines, and Maximum Likelihood Classification Algorithms*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 12, 27-S31.
- Karimian, K., Amini, A., Bagheri, M.& Mohammadi., H. (2019). *Monitoring land use changes using Landsat satellite images: in Persian*.
- Nielsen, M. A. (2015). *Neural Networks and Deep Learning*, Vol. 2018, Determination Press, San Francisco, California.
- Mather, P., & Tso, B. (2009). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. CRC Press, Boca Raton.
- Vapnik, V. 1979. *Estimation of dependences based on empirical data* [in Russian]. Nauka, Moscow. (English translation: Springer-Verlag, New York).
- Vapnik, V. 1995. *The nature of statistical learning theory*. New York: Springer-Verlag.
- Breiman, L. 2001. *Random forests*. *Machine Learning* 45:5–32.
- A. K. Kannan, S. Arumuga Perumal "Optimal Decomposition Level of Discrete Wavelet Transform for Pixel-Based Fusion of Multi-Focused images. " *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Application* 2007.
- M. Jalili-Moghaddam, *Real-Time Multi-Focus Image Fusion Using Discrete Wavelet Transform And Laplacian Pyramid Transform*. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2005.
- Terry, A., Samuel, G., John, G., & Darrel, W. (2006). *Landsat-7 Long-Term Acquisition Plan*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 10, 1137- 1146.

Integration of different land classification methods using the fuzzy algorithm with the help of integration of Sentinel-2 and Landsat 8 satellite images

Ardeshir Sassani¹, Seyed Fazlolah Saghravani^{2,*}, Behnaz Bigdeli³

- 1. PhD Candidate, Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood university of technology, Shahrood, Iran**
- 2. Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood university of technology, Shahrood, Iran**
- 3. Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood university of technology, Shahrood, Iran**

Abstract

Remote sensing and image processing techniques have brought about a great transformation in traditional measurements by providing spatial and temporal information and have the potential to increase our knowledge in technical and engineering fields, including computers, water resources engineering, hydraulic structures, and mapping such as snow, geology, and geography. The ability to measure the amount of precipitation and flow is one of the basic applications of remote sensing and image processing. Different image integration methods are used to simultaneously use satellite image's spectral and spatial information. In the integrated image, the ability to interpret increases, and it brings more acceptable results because data with different characteristics are combined with each other. In this research, the integrated image of two satellites (Landsat 8) and (Sentinel - 2) for the study area of Bastam Shahrood was processed with five methods of maximum likelihood, minimum distance, support vector machine (SVM), artificial neural network and random forest. The artificial neural network method with a Kappa coefficient of 0.93 and the minimum distance method with a Kappa coefficient of 0.34 had the best and worst results, respectively. Then, four classification methods of maximum likelihood, support vector machine(SVM), artificial neural network, and random forest were combined with a fuzzy algebraic summation algorithm, and the Kappa coefficient was 0.94, which shows that combining the best classification results can bring better and more accurate classification results.

Keywords: Image integration, Image processing, Fuzzy method, Kappa coefficient, Remote sensing satellite