



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 Fazlollah Saghravani² | Behnaz Bigdeli³

1. Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: ardeshirsassani@shahroodut.ac.ir
2. Corresponding Author, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: saghravani@shahroodut.ac.ir
3. Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. E-mail: bigdeli@shahroodut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 12 December 2023

Received in revised form

9 May 2024

Accepted 24 July 2024

Published online 10 February 2025

Keywords:

Image integration

Image processing

Fuzzy method

Kappa coefficient

Remote sensing satellite

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.

Cite this article: Sassani, A., Saghravani, S. F., & Bigdeli, B. (2025). Integration of different land classification methods using the fuzzy algorithm with the help of integration of Sentinel-2 and Landsat 8 satellite images. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (4), 811-825. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369527.1125>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369527.1125>

Publisher: University of Tehran Press.



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. گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. رایانامه: ardeshirsassani@shahroodut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: saghravani@shahroodut.ac.ir

۳. گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران. رایانامه: bigdeli@shahroodut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

کلیدواژه‌ها:

ادغام تصاویر

پردازش تصویر

روش فازی، ضریب کاپا

ماهواره سنجش از دور

تکنیک‌های سنجش از دور و پردازش تصویر با فراهم‌نمودن اطلاعات مکانی و زمانی تحول بزرگی در اندازه‌گیری‌های سنتی به‌وجود 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. به‌منظور استفاده هم‌زمان از اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های مختلف تلفیق تصاویر استفاده می‌گردد. در تصویر ادغام‌یافته توانایی تفسیر افزایش می‌یابد و نتایج قابل‌قبول‌تری را به‌همراه دارد، چرا که داده‌هایی با ویژگی‌های متفاوت با یکدیگر ترکیب شده‌اند. در این پژوهش تصویر ادغام‌شده دو ماهواره لندست-۸^۱ و سنتینل-۲^۲ برای منطقه مورد مطالعه بسطام شاهرود با پنج 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 به‌ترتیب بهترین و بدترین نتایج را به‌همراه داشتند. سپس چهار روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، ماشین‌بردار 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 به‌همراه داشته باشد.

استناد: ساسانی، اردشیر؛ ساغروانی، سید فضل الله و بیگدلی، بهناز (۱۴۰۳). تلفیق روش‌های مختلف طبقه‌بندی اراضی با استفاده از الگوریتم فازی به‌کمک

ادغام تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۴)، ۸۱۱-۸۲۵.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369527.1125>



۱. مقدمه

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 (تک‌باندی، چندطیفی و هایپرطیف) به دست آمده است و تعداد طیف‌ها از چند باند طیفی محدود به چند صد باند 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 پژوهش‌گران قرار دهد. سنجنش از دور به علت کم‌هزینه 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 آنجاکه 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 عوجاجات 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 به دست می‌آید که توزیع جغرافیایی پدیده‌هایی را نشان می‌دهد. نتایج طبقه‌بندی به مواردی نظیر مدل طبقه‌بندی، پیش‌پردازش داده‌ها، الگوریتم طبقه‌بندی، نمونه آزمایشی و روش‌های ارزیابی وابسته است. پردازش‌گر ضمن آنالیز داده‌های سنجنش از دور کلیه 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 (ریخت‌شناسی) 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 (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 مناسب‌تر است (Jalili-Moghaddam, 2005). در سال‌های اخیر پژوهش‌گران 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، برنامه‌ریزی 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 به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای کاربرد زیادی به‌ویژه در مطالعات زیست‌محیطی و پهنه‌ابی دارد (Rangzan *et al.*, 2022). انواع مختلفی از محصولات داده‌ای سنجش از دور که توسط ماهواره‌های رصدکننده زمین در دسترس قرار می‌گیرند کاربردهای مختلفی همچون اکتشافات معدنی، پیش‌بینی آب‌وهوا، استخراج کاربری اراضی، پهنه‌بندی سیلاب و ... دارند. برآوردن نیازهای مطرح‌شده در استفاده از داده‌های سنجش از دور برداشت‌شده 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, 2015; Richards, 2006). 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 به‌دلیل 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) به‌منظور استخراج پهنه‌های رودخانه‌ای، یک روش ادغام تصویر را برای استفاده هم‌زمان از اطلاعات تصاویر ماهواره‌های Landsat-8، Sentinel-2 به‌منظور ارتقا وضوح طیفی و مکانی آن‌ها توسعه دادند. نتایج آن‌ها نشان از این داشت که نه‌تنها 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 به‌طور 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 بالابردن هم‌زمان 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 به‌طور 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 پژوهش‌گران 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. 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 آب‌وهوایی ابری این تصاویر دچار مشکل هستند و به‌دلیل پوشیده‌شدن از ابر قابلیت استفاده و تحلیل ندارند. درواقع می‌توان گفت برای پایش تغییرات سریع در سطح زمین همچون جنگل‌زدایی، سیلاب و شهرنشینی استفاده از داده‌های لندست به‌تنهایی 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 مأموریت 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 پیش‌بینی‌کننده‌های درخت است که در آن هر درخت با استفاده از یک بردار تصادفی به‌طور 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 اندازه‌گیری‌های 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، γ و اندازه قسمتی از مجموعه آموزشی که به کار گرفته می‌شود. نسبت γ در دامنه صفر تا ۱ قرار دارد و بر الگوریتم‌ها نسبت به نویز موجود در مجموعه آموزشی تأثیر می‌گذارد. انتخاب γ براساس 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 γ باید کاهش یابد و مدل باید دوباره ایجاد شود. تنظیم دو پارامتر دیگر بسیار ساده‌تر است. تعداد درختان می‌تواند با آزمون و خطا انتخاب شود، درحالی‌که تعداد m به‌طور خودکار انتخاب می‌شود و به‌عنوان 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 به‌عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا-ابتکاری مبتنی بر جمعیت، مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران در زمینه‌های مختلف مطالعه قرار گرفته است. آن‌ها به‌طور 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 داده است. مبنای کاری دسته‌بندی‌کننده SVM دسته‌بندی خطی داده‌هاست و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌کنیم خطی را انتخاب کنیم که حاشیه اطمینان بیش‌تری داشته باشد. از جمله مزایای روش ماشین بردار پشتیبانی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد؛ آموزش نسبتاً ساده است. برخلاف شبکه‌های عصبی در ماکزیمم‌های محلی گیر نمی‌افتد. برای داده‌های با ابعاد بالا به‌طور تقریبی خوب جواب می‌دهد. مصالحه بین پیچیدگی دسته‌بندی‌کننده و میزان خطا به‌طور واضح کنترل می‌شود. به یک تابع کرنل خوب و انتخاب پارامتر C نیاز دارد.

تصاویر ماهواره لندست به‌دلیل رزولوشن مکانی نسبتاً خوب و رایگان بودن داده‌ها، دارای کاربرد گسترده، در مطالعات سنجش از دور می‌باشند. یکی از رویکردهای عمده برای به‌دست‌آوردن اطلاعات از تصاویر سنجش از دور، طبقه‌بندی است. روش‌های متعدد طبقه‌بندی برای پردازش تصاویر وجود دارد، اکثر رویکردهای سنجش از دور براساس 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

شاهرود مرکز شهرستان شاهرود در استان سمنان است. شاهرود به‌طور تقریبی در میانه راه تهران-مشهد می‌باشد، به‌گونه‌ای که فاصله آن از تهران ۴۱۲ کیلومتر و از مشهد ۵۱۱ کیلومتر است. بسطام نام شهری در شهرستان شاهرود استان سمنان در ایران است. این شهر در ۵ کیلومتری شمال‌شرقی شاهرود 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 شمال‌غرب به استان گلستان مرتبط می‌باشد. شهر بسطام آب‌وهوایی 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 آب‌وهوایی کوهپایه‌ای است و بی‌شک یکی از خوش آب‌وهواترین نقاط استان سمنان است. این شهر در زمینه کشاورزی و باغداری و همچنین گردشگری فعالیت دارد و درآمد مردم شهر به‌طور عمده ازین دو راه حاصل می‌شود.

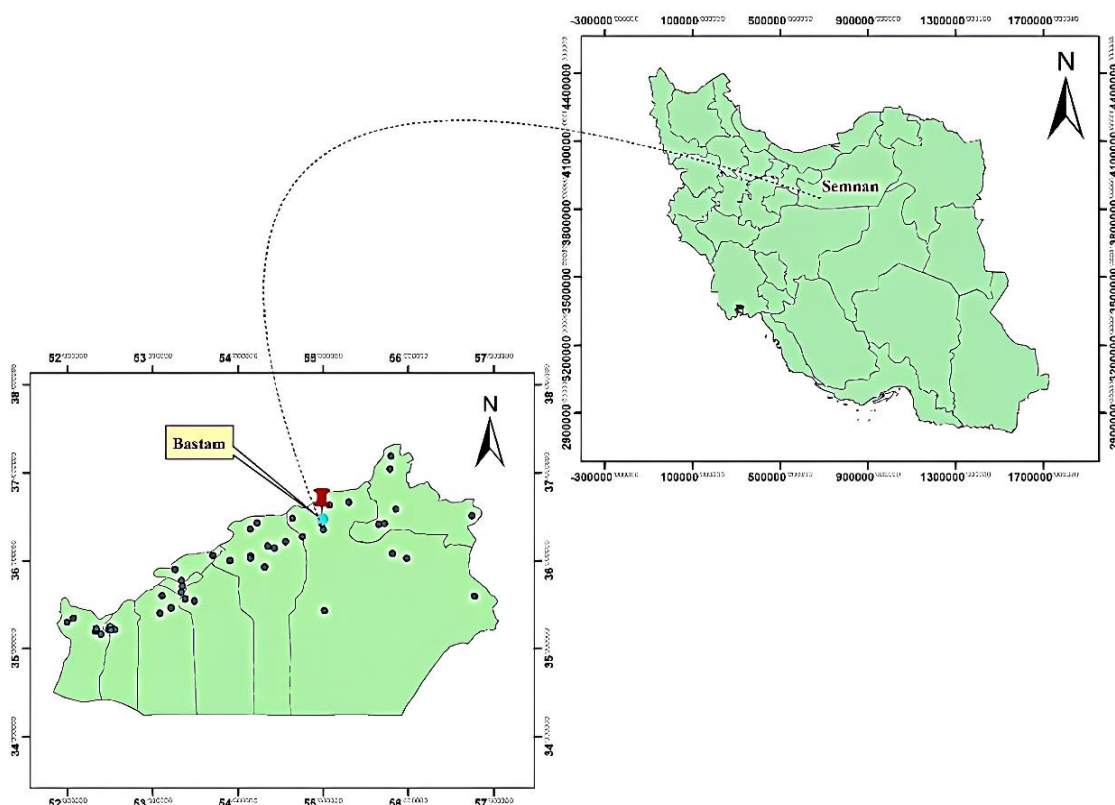


Figure 1. The location of Bastam city



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

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

گام اول: داده‌های 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

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

گام دوم: اصلاحات تصاویر موردنظر (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 انحرافات می‌توان به تغییرات در ارتفاع و سرعت سکوی سنجنده، انحنای زمین، جابه‌جایی و پستی و بلندی اشاره کرد. منظور از تصحیح هندسی جبران انحرافات است.

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 ماهواره‌ای 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 اشیاء نیاز است یا هنگامی که شدت سیگنال ارسالی از طرف اشیاء از اثرهای اتمسفری کمتر باشد ضروری است. تصحیح اتمسفری مهم‌ترین بخش قبل از پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای از راه دور است. از این تصحیح به‌ویژه 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, 2015).

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

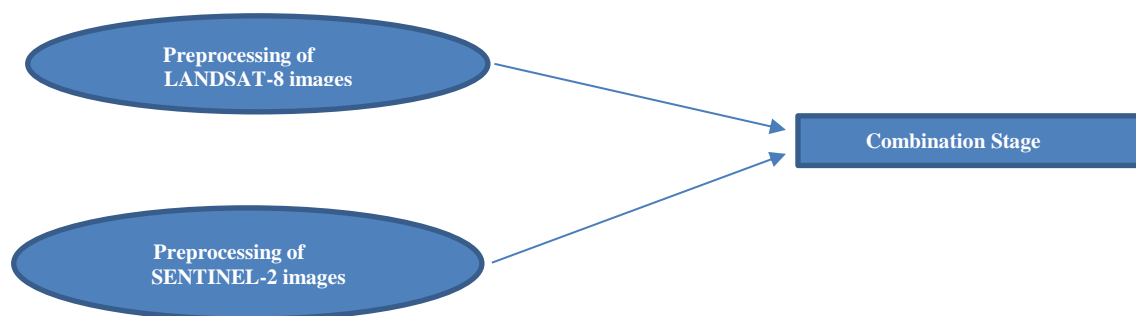


Figure 3. Combination of two satellite images by pixel method in ENVI Classic environment

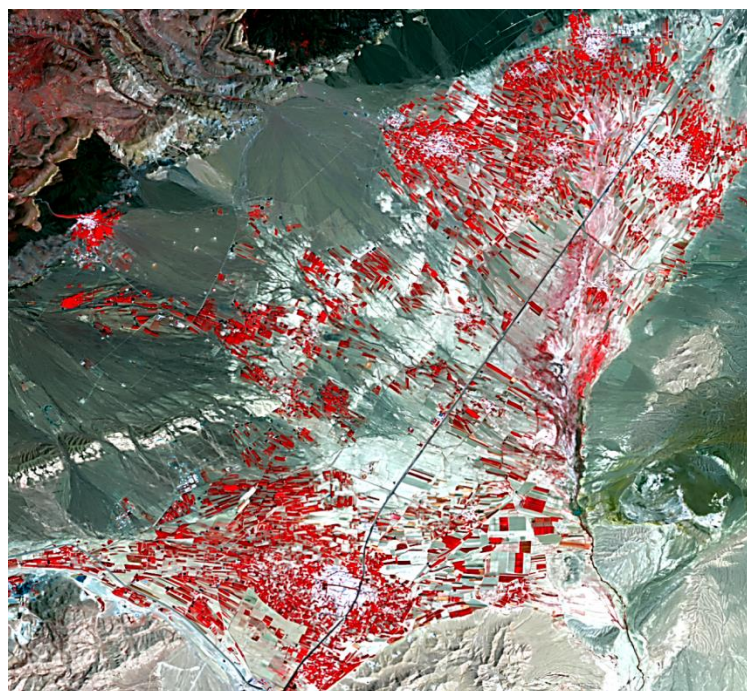


Figure 4. The combined output of Landsat 8 and Sentinel 2 images of the studied area by pixel method

۳.۲. طبقه‌بندی اراضی منطقه مورد مطالعه

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 نمونه‌های متفاوت با تعداد و توزیع مناسب به نرم‌افزار جهت طبقه‌بندی اراضی به روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله، ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی پرداخته شد.

۳.۲.۱. روش حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال واریانس و کوواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند. برای این کار فرض می‌شود همه مناطق آموزشی از پراکنش نرمال برخوردارند. درحقیقت، نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند. بنابراین، تا حد امکان باید از نمونه‌های بیش‌تری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های 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 (۴) نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

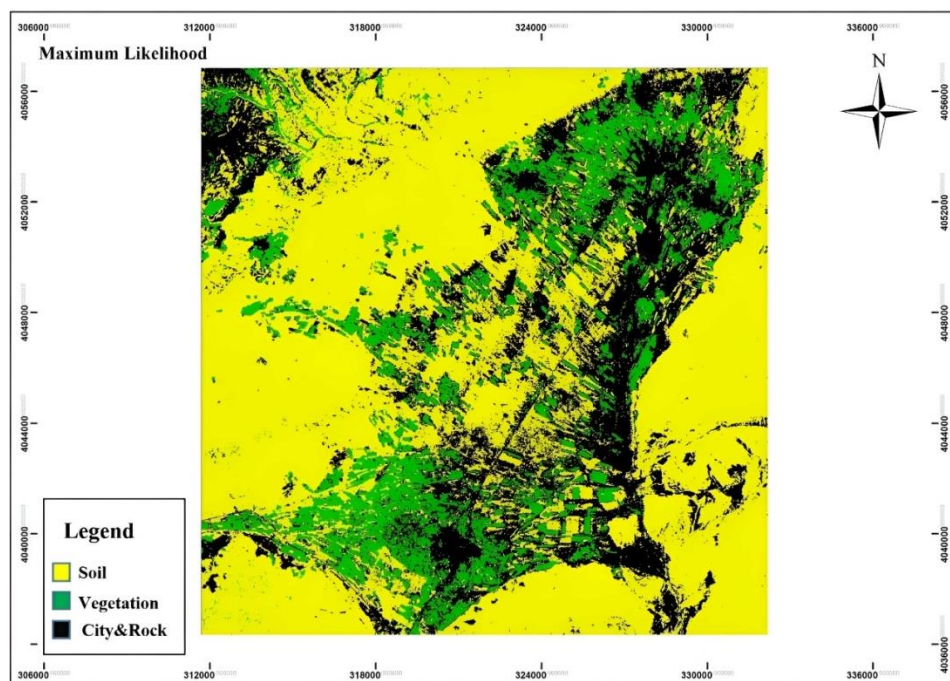


Figure 5. Classification by maximum likelihood method

۳.۲.۲. روش شبکه عصبی مصنوعی

رژنبلات 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 وزنه ارتباط‌دهنده 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 وزنه ارتباط‌دهنده نرون‌ها در شبکه تعدیل می‌شود. معمولاً، برای این کار از الگوریتم‌هایی مثل انتشار خطا^{۱۱} استفاده می‌شود. این الگوریتم، با استفاده از گرادینت تابع هزینه، وزنه شبکه را برای

کاهش میزان خطای شبکه تعدیل می‌کند. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که مقدار خطای شبکه به‌ازای همه نمونه‌های آموزشی به یک مقدار حداقل که برای شبکه از قبل تعیین شده برسد (Nielsen, 2015). در شکل (۵) نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

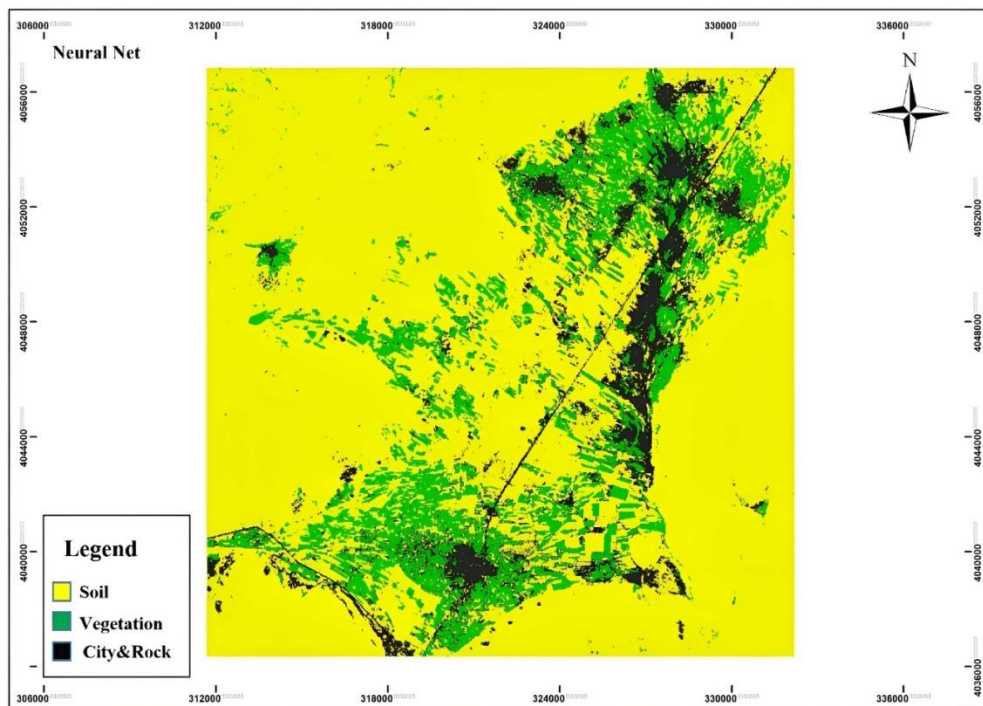


Figure 6. Neural Net classification

۳.۳.۲. 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 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 اندازه‌ی طبقه‌بندی حداکثر مشابهت قوی نیست. در شکل (۶) نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم (Mather and Tso, 2009).

۳.۳.۲. روش ماشین بردار پشتیبان

این روش براساس نظریه یادگیری آماری بنا نهاده شده که به سال ۱۹۶۰ برمی‌گردد و یک روش آماری غیرپارامتریک نظارت شده است. 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 جداکردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود (Vapnik, 1979; Vapnik, 1995). در شکل (۷) نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

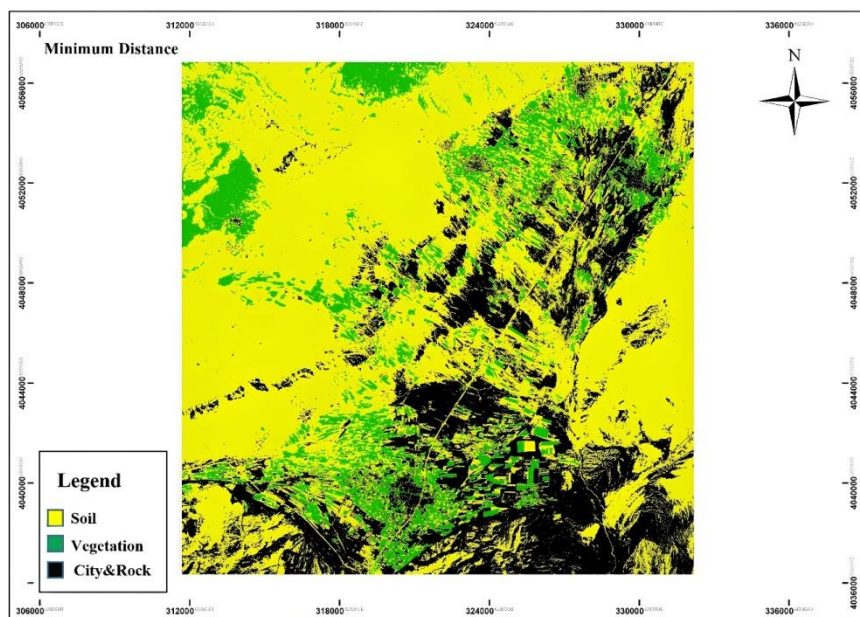


Figure 7. Classification by Minimum Distance Method

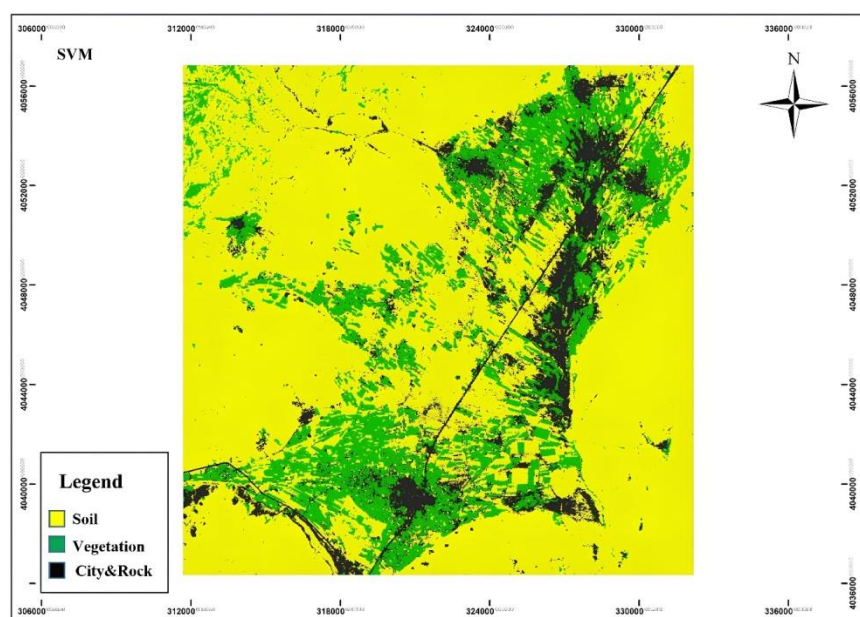


Figure 8. Classification by SVM method

۲.۳.۵. روش جنگل تصادفی

روش جنگل تصادفی یکی از روش‌های طبقه‌بندی کننده چندگانه به‌شمار می‌رود. در این روش طبقه‌بندی کننده‌ها یا از طریق جابه‌جا 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^{۱۱} 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 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 (۹) نتیجه نهایی طبقه‌بندی با این روش را مشاهده می‌کنیم.

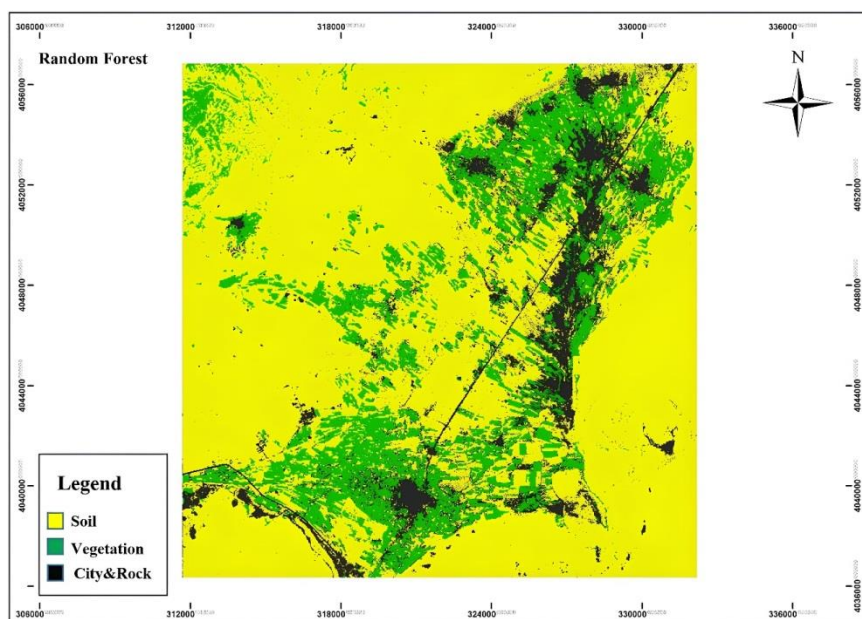


Figure 9. Random Forest classification

۴.۲. اعتبارسنجی تصاویر طبقه‌بندی شده

در اعتبارسنجی تصاویر طبقه‌بندی شده به روش‌های قسمت قبل، از روش محاسبه ضریب کاپا^{۱۲} در محیط نرم‌افزار ENVI با کمک نمونه‌های ROIهای جدید استفاده شده است. شاخص کاپا توسط لیلند و کيفر 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 شده است:

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

در جدول (۲) نتایج محاسبه شده ضریب کاپا برای روش‌های طبقه‌بندی آورده شده است. 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 داشته است. بنابراین روش حداقل فاصله جهت تلفیق روش‌های طبقه‌بندی از قسمت بعدی پژوهش حذف شده است.

Table 2. Calculated results of the kappa coefficient

Classification method	The calculated Kappa coefficient
Artificial intelligence	0.93
Random forest	0.90
Support vector machine	0.89
The maximum probability	0.70
The minimum distance is	0.34

۲.۴.۱. تلفیق روش‌های طبقه‌بندی به روش منطق فازی

تابع عضویت یکی از اجزای اصلی مجموعه‌های فازی می‌باشد که عملگرهای فازی براساس توابع عضویت فازی تعریف شده‌اند. برای مدل فازی اپراتورهای اجتماع و اشتراک، ضریب جبری^{۱۳}، جمع جبری^{۱۴} و گاما^{۱۵} تعریف شده است. در این پژوهش برای تلفیق روش‌های طبقه‌بندی از مدل منطق فازی جمع جبری در محیط نرم‌افزار آرک‌جی‌آی اس^{۱۶} استفاده شد. در شکل (۱۰) نتیجه تجمیع را مشاهده می‌کنید.

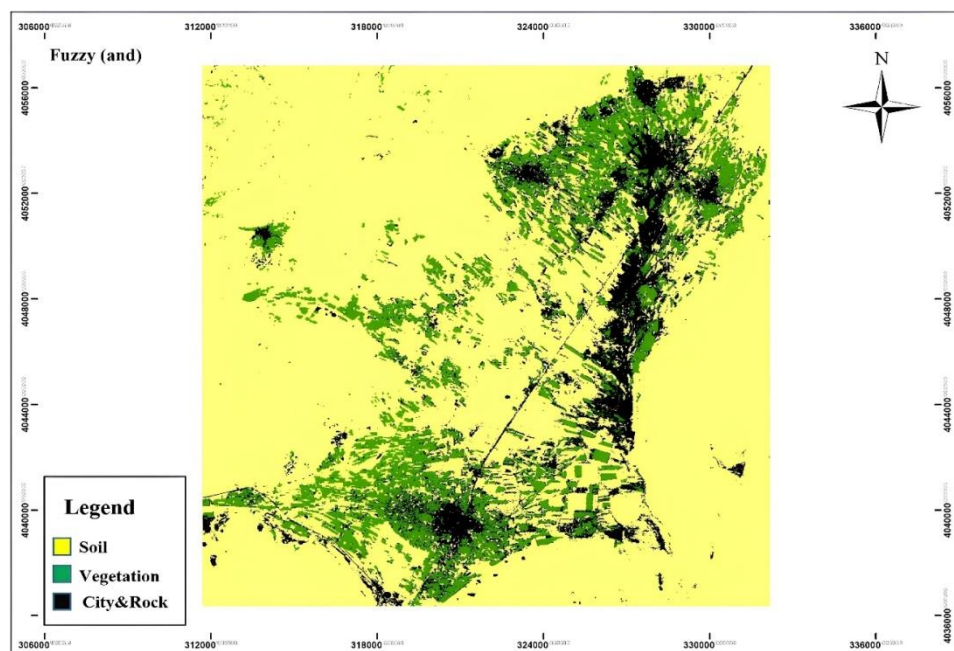


Figure 10. Combining classification methods with algebraic sum fuzzy logic model

۲.۴.۲. اعتبارسنجی نتیجه حاصل از روش منطق فازی

با محاسبه دستی ضریب کاپا با کمک برنامه آرک‌جی‌آی اس نتیجه حاصل اعتبارسنجی شد. برای این کار در آرک‌جی‌آی 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 (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 نتیجه‌گیری

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 همین‌طور 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 با هم تجربه کنیم و این در نتیجه‌گیری بهتر طبقه‌بندی به ما کمک می‌کند. در این پژوهش تصویر ادغام‌شده دو ماهواره ذکر شده برای منطقه مورد مطالعه ما با پنج روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله، ماشین‌بردار 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 چهار روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، ماشین‌بردار 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 تنها تلفیق هر روش طبقه‌بندی با یکدیگر نمی‌تواند به نتیجه بهتری منجر شود.

۴. پی‌نوشت‌ها

1. Sentinel-2
2. Landsat-8
3. Maximum Likelihood
4. Minimum Distance
5. Support Vector Machine
6. Neural Net
7. Random Forest
8. Artificial Neural Network
9. Nero fuzzy
10. Back Propagation
11. Bagging
12. Kappa Coefficient
13. Fuzzy Algebraic Product
14. Fuzzy Algebraic Sum
15. Fuzzy Gamma
16. ArcGIS

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- 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.
- Banikhedmat, A., Bigdeli, B., & Seyed Fazlollah, S. F. (2024). Evaluation of the Impact of Image Fusion of Landsat 8 and Sentinel 2 Satellites on Flood Zone Estimation. *Water and Irrigation Management*, 14(2), 421-438.

- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32.
- Colecchia, F. (2013, February). A sampling algorithm to estimate the effect of fluctuations in particle physics data. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 410, No. 1, p. 012028). IOP Publishing.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote sensing of Environment*, 120, 25-36.
- Edition, E. F. G. F. (1999). Erdas Inc. Atlanta, Georgia.
- 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(3), 47-60.
- Jalili-Moghaddam, M. (2005). *Real-time Multifocus Image Fusion Using Discrete Wavelet Transform and Laplacian Pyramid Transform*. Chalmers tekniska högskola. Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.
- Kannan, K., & Perumal, S. A. (2007, December). Optimal decomposition level of discrete wavelet transform for pixel based fusion of multi-focused images. In *International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2007)* (Vol. 3, pp. 314-318). IEEE.
- Karimian, K., Amini, A., Bagheri, M. & Mohammadi., H. (2019). Monitoring land use changes using Landsat satellite images. (in Persian)
- Mather, P., & Tso, B. (2016). *Classification methods for remotely sensed data*. CRC press.
- Nielsen, M. A. (2015). *Neural Networks and Deep Learning*, Vol. 2018, Determiration Press, San Francisco, California.
- Otukei, J. R., & Blaschke, T. (2010). Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S27-S31.
- Palmer, M. A., Lettenmaier, D. P., Poff, N. L., Postel, S. L., Richter, B., & Warner, R. (2009). Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options. *Environmental management*, 44, 1053-1068.
- Pandit, V. R., & Bhiwani, R. J. (2015). Image fusion in remote sensing applications: A review. *International journal of computer applications*, 120(10).
- Rangzan, K., Kabolizadeh, M., & Karimi, D. (2022). Optimized water depth retrieval using satellite imageries based on novel algorithms. *Earth Science Informatics*, 15(1), 37-55.
- Sigurdsson, J., Armannsson, S. E., Ulfarsson, M. O., & Sveinsson, J. R. (2022). Fusing Sentinel-2 and Landsat 8 satellite images using a model-based method. *Remote Sensing*, 14(13), 3224.
- Vapnik, V. (2006). *Estimation of dependences based on empirical data*. Springer Science & Business Media.
- Vapnik, V. (2013). *The nature of statistical learning theory*. Springer science & business media.
- Zhang, H., Zhang, Y., Gao, T., Lan, S., 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.
- 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.