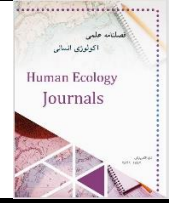




Online ISSN: 2821-1782

Journal of Human Ecology

journal homepage: <http://www.landscapeecologyjournals.ir/>



Research Paper

Investigating the effect of radar images in classifying land use classes in machine learning based algorithms

Omid Torabi ^{1*}, Neamat Karimi ², Sara Sheshangosht ¹, Maryam Rashtbari ¹ Amirhosein Sarbazvatan ¹

1* M.Sc. Graduate, Water Research Institute (Ministry of Energy), Tehtan, Iran

2 Assistance Professor, Water Research Institute (Ministry of Energy), Tehtan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Receive Date: 30 March
2023

Accept Date: 14 April
2023

Keywords:

Machine learning,
Land use,
Radar, Time series

ABSTRACT


Acquiring knowledge about the types of land uses and the stages of their change provides basic and very important information to researchers and decision makers. One of the most common and useful methods in remote sensing is to access the maximum information contained in satellite data by combining radar and optical satellite images. In general, the main purpose of this study was to investigate the effect of the presence of SAR images in the classification of optical multi-temporal satellite images in machine learning-based classification algorithms, including random forest, Cart Decision Tree and Support Vector Machine. In the above paper, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dataset, along with slope layers, a digital elevation model and a corrected Sentinel-2 satellite image was supervised by the three methods mentioned. Once again, this was done with the presence of the Sentinel-1 satellite SAR image database. Finally, in the post-processing stage, the individual pixels were connected to neighboring classes. This was done by majority filtering. The final results were validated with ground data. The results showed that in the study of all classes, the overall accuracy and kappa coefficient in the presence of SAR dataset and for all three classification methods improved by only 3%, but in the one-to-one study of the classes, the producer accuracy of the random forest method in the dual agriculture class improved. It has been significant and its value has increased from 0.74 to 0.84. In the support vector machine method, dry farming and orchard classes have had a more significant improvement, which have increased from 0.75 and 0.78 to 0.84 and 0.92, respectively. Finally, it can be said that the addition of radar images to the classification has a positive and significant effect only in the mentioned classes, and also the obvious advantage of the random forest method compared to other methods is quite obvious.

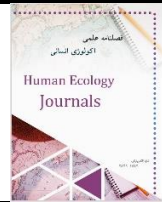
*Corresponding Author.

Email Addresses: omid.torabi@ut.ac.ir

To cite this article:

Torabi, O., Karimi, N., shesh angosht, S., Rashtbari, M., & Sarbazvatan, A. H. (2023). Investigating the effect of radar images in classifying land use classes in machine learning based algorithms. *Human Ecology*, 2(2), 141-154.

 Doi: [10.22034/el.2023.392546.1011](https://doi.org/10.22034/el.2023.392546.1011)



مقاله پژوهشی

ارزیابی تاثیر تصاویر راداری در طبقه بندی انواع کلاس های کاربری اراضی در الگوریتم های مبتنی بر یادگیری ماشینی

امید ترابی^{۱*}، نعمت اله کریمی^۲، سارا شش انگشت^۳، مریم رشتبری^۴، امیرحسین سربازوطن^۵

۱ کارشناس پژوهشی، موسسه تحقیقات آب (وزارت نیرو)، تهران، ایران*

۲ استادیار، موسسه تحقیقات آب (وزارت نیرو)، تهران، ایران

۳ کارشناس پژوهشی، موسسه تحقیقات آب (وزارت نیرو)، تهران، ایران

۴ کارشناس پژوهشی، موسسه تحقیقات آب (وزارت نیرو)، تهران، ایران

۵ کارشناس پژوهشی، موسسه تحقیقات آب (وزارت نیرو)، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

دریافت مقاله:

۱۰ فروردین ۱۴۰۲

پذیرش نهایی:

۲۵ فروردین ۱۴۰۲

واژگان کلیدی:

یادگیری ماشینی، کاربری اراضی، رادار

به طور کلی هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی تاثیر حضور تصاویر راداری در طبقه بندی تصاویر ماهواره ای چند زملنه اپتیکی در الگوریتم های طبقه بندی مبتنی بر یادگیری ماشینی، شامل جنگل تصادفی (Random Forest)، درخت تصمیم کارت (Decision Tree Cart) و ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) می باشد. در تحقیق حاضر ابتدا اطلاعات شاخص طیفی تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) به همراه لایه های شیب، مدل رقومی ارتفاعی و یک تصویر اصلی تصحیح شده ماهواره Sentinel-2 توسط سه روش اشاره شده به صورت نظارت شده مورد آموزش و طبقه بندی قرار گرفت. سپس فرآیند طبقه بندی با حضور تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1 مجدداً انجام گردید. در نهایت طی عملیات پس پردازش با استفاده از فیلتر بیشترین فراوانی پیکسل های منفرد به کلاس های هم سایه االصاق شده و نتایج نهایی با داده های زمینی مورد صحت سنجی قرار گرفت. نتایج نشان داد در بررسی تمام کلاس ها، دقت کل و ضریب کاپا در حالت حضور داده های راداری و برای هر سه روش طبقه بندی تنها ۳ درصد بهبود یافته است اما در بررسی یک به یک کلاس ها مشاهده می شود دقت تولید کننده روش جنگل تصادفی در کلاس کشت مجدد بهبود قابل توجهی داشته و مقدار آن از ۰/۷۴ به ۰/۸۴ رسیده است. در روش ماشین بردار پشتیبان نیز کلاس های دیم و باغات بهبود محسوس تری داشته اند که به ترتیب از ۰/۷۵ و ۰/۷۸ به ۰/۸۴ و ۰/۹۲ افزایش یافته است. نهایتاً می توان چنین عنوان کرد که اضافه کردن تصاویر راداری به عمل طبقه بندی تنها در کلاس های مربوط به اراضی کشت مجدد، دیم و باغات تاثیر مثبت و قابل توجهی دارد و نیز برتری کاملاً محسوس روش جنگل تصادفی در مقایسه با روش های دیگر مشهود است.

*Corresponding Author.

Email Addresses: omid.torabi@ut.ac.ir

To cite this article:

Torabi, O., Karimi, N., Shesh Angosht, S., Rashtbari, M., & Sarbazvatan, A. H. (2023). Investigating the effect of radar images in classifying land use classes in machine learning based algorithms. *Human Ecology*, 2(2), 141-154.

Doi: [10.22034/el.2023.392546.1011](https://doi.org/10.22034/el.2023.392546.1011)

۱. مقدمه

بررسی ویژگی‌های اراضی مانند کاربری و پوشش از زمینه‌های پرکاربرد و بسیار مهم در علم سنجش از دور است. شناخت دقیق از تغییرات کاربری و توسعه اراضی کشاورزی ضرورت دارد و این مهم از طریق تحقیق بر روی یک یا چند تصویر سنجش از دوری هم زمان یا در زمان‌های مختلف انجام می‌گیرد (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۹). اطلاعات حاصل از این مطالعات کاربردهای گوناگونی در مدیریت کشاورزی، مدیریت خاک، مدیریت آب و نیز مطالعات اجتماعی و اقتصادی خواهند داشت. برای مثال تغییرات منفی کاربری اراضی می‌تواند افزایش قیمت زمین و تخریب اکوسیستم‌های شهری را در پی داشته باشد (صی محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به مهاجرت جمعیت روستایی به سوی شهرها و نیز رشد جمعیت در کشورها و در نتیجه نیاز به برنامه‌ریزی منسجم و مدون در بخش کشاورزی، استفاده از اطلاعات کاربری‌های اراضی را بسیار ضروری می‌نماید. داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند چندزمانه بودن، چند طیفی بودن، قابلیت تفکیک مکانی و رادیومتریکی مناسب و متنوع، دید وسیع و یکپارچگی، قادر به تفکیک عارضه‌ها و انواع کاربری‌های اراضی و تغییرات آن‌ها می‌باشند.

در مطالعات مربوط به استخراج کلاس‌های کاربری کشاورزی، مانند کشت‌های پاییزه، بهاره و کشت مجدد بوسیله تصاویر ماهواره‌ای چالش‌های گوناگونی وجود دارد (محمد دشتی و همکاران، ۱۴۰۰) که مانع از آن می‌شود تا محققین بتوانند با دقت بالا انواع کاربری‌های کشاورزی را در یک عرصه مشخص کنند. از جمله این چالش‌ها می‌توان به عدم پیروی کشاورزان از تقویم زراعی مشخص، استفاده از گونه‌های متفاوت بذور و نهاده‌های کشاورزی، حضور چند گونه گیاهی در یک زمین زراعی و الگوی متفاوت آبیاری اشاره کرد. نتایج ناهماهنگی‌های یاد شده در نهایت مانع از آن خواهد شد که تصاویر ماهواره‌ای تک زمانه قادر باشند زمین‌های کشاورزی با کشت‌های هم زمان را به صورت یکدست احصا کنند و نقشه‌های حاصل از آن‌ها دارای خطای قابل ملاحظه‌ای خواهد شد (لقمان خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۱). تحقیق حاضر جهت کاهش خطای یاد شده و افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی سه راهکار رایج را مورد بررسی قرار داده است که عبارتند از: الف) استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای به جای استفاده از تصاویر تک زمانه، ب) اضافه نمودن تصاویر ماهواره‌ای راداری در کنار تصاویر اپتیکی در فرآیند طبقه‌بندی و ج) مقایسه و ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر یادگیری ماشین.

تجزیه و تحلیل داده‌های سری زمانی سنجش از دوری برای شناسایی روند متغیرهای طبیعی بسیار مفید است (S. Wang et al., 2016). داده‌های سری زمانی به دلیل انطباق داشتن با روند دوره رشد و افول گیاه کاملاً امکان تشخیص گیاهان با دوره رشد یکسان را به کاربر می‌دهند. داده‌های سری زمانی مختلف از جمله محصولات درجه حرارت، پوشش گیاهی و رطوبت خاک از سنجنده‌های مختلف برای بررسی روند تغییرات شرایط کاربری و پوشش سطح زمین وجود دارد که هر یک می‌تواند به عنوان داده ورودی به عمل طبقه‌بندی اضافه شود (Dubovyk et al., 2015; Sobrino & Julien, 2013; H. Wang et al., 2014; S. Wang et al., 2016).

استفاده همزمان از تصاویر راداری و اپتیکی در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی به دو روش کلی انجام می‌گیرد:

روش اول: تلفیق تصاویر راداری و اپتیکی و سپس اعمال طبقه‌بندی بر روی تصویر. در این روش تصاویر در سه سطح پیکسل، ویژگی و سطح تصمیم‌گیری تلفیق می‌شوند (پروندی و همکاران، ۱۳۹۸).

سطح پیکسل: ورودی تلفیق پیکسل مجموعه‌ای از تصاویر است و خروجی آن تصویری با کیفیت، ظاهر بصری بالاتر و محتوای افزایش یافته است. سطح ویژگی: در این تلفیق هر تصویر به صورت جداگانه برای استخراج ویژگی پردازش می‌شود (Hall & McMullen, 2004) تصاویر پس از استخراج ویژگی، بر اساس خواص ویژگی‌های متناظر در تصاویر ورودی ترکیب می‌شوند. خروجی این فرآیند مجموعه‌ای از توصیف‌کننده‌های ویژگی است (Basaeed et al., 2012).

سطح تصمیم‌گیری: تلفیق در سطح نماد یا تصمیم‌گیری دارای بالاترین سطح انتزاع در تلفیق است. در این سطح، هر تصویر ورودی برای استخراج نماد به صورت مستقل پردازش می‌شود که از طریق پردازش مستقیم اطلاعات از سنجنده یا به وسیله‌ی فرآیند استدلال نمادین می‌تواند انجام گیرد (پروندی و همکاران، ۱۳۹۸).

در ارتباط با این روش، طی پژوهشی به بررسی تلفیق تصاویر SAR و اپتیک با استفاده از روش تبدیل کرولت^۱ پرداخته شد. در این کار تصاویر راداری و اپتیکی به فضای کرولت انتقال داده شده و سپس با روش میانگین وزن‌دار در فضای کرولت تلفیق مورد نظر انجام گرفت. در نهایت با اعمال تبدیل کرولت معکوس، تصویر تلفیق شده نهایی بدست آمد. در این تحقیق دو روش آماری و طبقه‌بندی برای ارزیابی تصاویر تلفیق شده مورد استفاده قرار

^۱ Curvelet Transformation

گرفت و نهایتاً این نتیجه حاصل شد که تلفیق تصاویر اپتیک و SAR با استفاده از روش کرولت برای آشکارسازی لبه‌ها که در تصاویر راداری مورد ضعف است موفق عمل کرده است (شکری و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهشی مشابه اقدام به توسعه روش بدون نظارتی جهت تلفیق داده‌های اپتیکی و راداری با هدف تشخیص تغییرات صورت گرفت. برای این منظور ویژگی‌هایی از تصاویر رادار و اپتیک استخراج و وارد الگوریتم C2VA (Clustered Compact VA) شد و در ادامه برای هر یک از ویژگی‌های ورودی یک وزن با استفاده از الگوریتم POS (Proof of Stake) برآورد گردید. خروجی روش فوق یک تصویر تک بانده با محتوای اطلاعاتی بالاتر بود که بعد از اعمال آستانه گذاری OTSU به دو کلاس تغییر یافته و بدون تغییر تفکیک شد (سعید محمودیزاده، ۱۳۹۹).

ژانگ و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره‌های SPOT-5 و Alos-PALSAR اقدام به استخراج ویژگی‌های تصاویر نموده و سپس اثر نرمال سازی این ویژگی‌ها را بر طبقه‌بندی کننده‌های مختلف بررسی نمودند. نتایج نشان داد که طبقه‌بندی کننده‌های ماشین بردار پشتیبان بیشترین شباهت مستقل از نرمال سازی داده‌ها بوده و نتایج این طبقه‌بندی کننده‌ها تغییری نمی‌کند. اما روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و حداقل فاصله از نرمال سازی داده‌ها تاثیر می‌پذیرند و نتایج دچار تغییر می‌شوند (Zhang et al., 2015).

روش دوم: اعمال طبقه‌بندی بر روی تصاویر بدون انجام عمل تلفیق. در این روش تصاویر راداری و اپتیکی بدون اینکه با یکدیگر تلفیق شوند و تصویر جدیدی را تولید کنند به عنوان باندهای مستقل وارد الگوریتم طبقه‌بندی می‌شوند. در این روش هر کدام از ورودی‌های الگوریتم طبقه‌بندی را می‌توان با وزن‌های یکسان و یا با وزن‌های متفاوت و متناسب با تشخیص کاربران در روش طبقه‌بندی مورد استفاده قرار داد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه از سری زمانی تصاویر استفاده می‌گردد از این روش بهره برده شده است و نیز دلیل استفاده از سری زمانی تصاویر، وابسته به زمان بودن کاربری‌های کشاورزی می‌باشد که می‌تواند انواع مختلفی مانند کشت پاییزه، بهاره یا کشت‌های مجدد داشته باشد.

Sarzynski و همکاران با استفاده از ترکیب تصاویر راداری PALSAR و LANDSAT-8 و طبقه‌بندی به روش جنگل تصادفی اقدام به بررسی سطح زیرکشت درختان نخل روغن پالم در اندونزی نمودند و نتایج آن را با نتایج طبقه‌بندی تصاویر راداری و اپتیکی هر کدام به تنهایی مقایسه کردند. نتایج نشان داد ترکیب داده‌های Landsat و SAR منجر به بالاترین دقت کل با مقدار ۰/۸۴ و بالاترین دقت تولید کننده و کاربر به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۹۰ برای طبقه بندی روغن نخل شده است (Sarzynski et al., 2020). همچنین Lopes نیز تجربه مشابهی را در شمال غرب کشور بنین داشته است که طی آن با طبقه‌بندی تصاویر سری زمانی راداری و اپتیکی Sentinel-1 و Sentinel-2 جهت تهیه نقشه‌های کاربری پوشش‌های گیاهی ساوانا با استفاده از روش جنگل تصادفی شاهد بهبود دقت کل به اندازه ۴ درصد نسبت به حالت طبقه بندی سری زمانی اپتیک بوده‌اند (Lopes et al., 2020).

در پژوهشی در جهت شناسایی دگرسانی‌ها اقدام به طبقه بندی تصاویر راداری POLSAR و اپتیک ASTER به وسیله روش‌های بیشترین شباهت و شبکه عصبی شد که نتایج نشان داد این عمل علاوه بر افزایش تفکیک پذیری زون‌های دگرسانی، سبب شناسایی بخشی از ذخایر پوشیده شده توسط رسوبات کواترنری نیز می‌شود (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج ترکیب داده‌های رادار با اپتیک برای ایجاد نقشه‌های موضوعی نیز نشان داد که تلفیق داده‌های چند سنجنده‌ای منجر به ایجاد نقشه‌های موضوعی با دقت تا حد ۹۰٪ می‌گردد (Pierdicca et al., 2014).

نهایتاً هدف این تحقیق را می‌توان بررسی تاثیر حضور تصاویر راداری در کنار تصاویر اپتیکی در عمل طبقه‌بندی و نیز ارزیابی سه روش طبقه بندی مبتنی بر یادگیری ماشین یاد شده بر روی تصاویر سری زمانی عنوان نمود. پر واضح است بررسی‌های یاد شده در کلاس‌های مختلف عملکردی متفاوت خواهند داشت که یافته اصلی این نوشتار است.

۱.۱. مبانی نظری

– شاخص‌های طیفی

شاخص‌های طیفی حاصل یک محاسبه ریاضی بین دو یا چند باند طیفی می‌باشند که بواسطه آن پدیده مورد نظر بارزتر می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۹۸). در جدول شاخص NDVI^۱ که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته آورده شده است.

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

جدول ۱. شاخص‌های طیفی مورد استفاده

کاربرد اصلی	توضیحات	شاخص
پوشش گیاهی	دامنه مقادیر ۱ تا =۱، کمتر از صفر آب و بیش از ۰.۱ پوشش گیاهی	$NDVI = \frac{nir - red}{nir + red}$

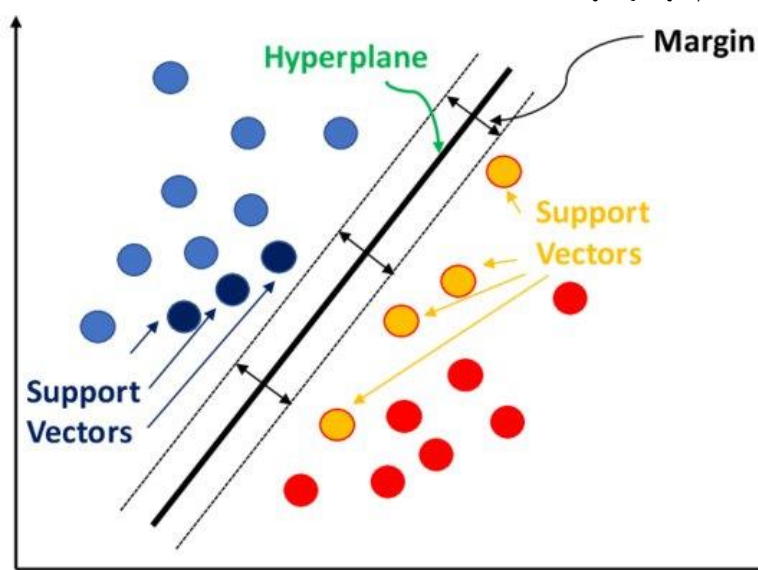
منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

– تصاویر راداری و اپتیک

داده‌های تصاویر اپتیک عمدتاً تحت تاثیر ویژگی‌های شیمیایی و تا حدودی ساختارهای میکرو در ابعاد سلول گیاهان قرار دارند، در حالی که داده‌های راداری تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی به ویژه شکل، سطح مقطع، زبری سطح، رسانایی الکتریکی و چگالی هدف قرار دارند، بنابراین همبستگی بین داده‌های راداری و اپتیک پایین بوده و این امر به تشخیص بهتر عوارض در روش‌های ترکیبی کمک می‌کند (ملکی، ۱۳۹۷).

– روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine)

طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان یک شیوه طبقه‌بندی نظارت شده و غیر پارامتریک دودویی است. در این روش همانگونه که در **Error!** **Reference source not found.** نمایش داده شده است با استفاده از تمامی باندها و یک الگوریتم بهینه سازی نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست آمده و با استفاده از آنها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود که این ابر صفحه را Hyperplane و نمونه‌های یاد شده را بردارهای پشتیبان (Support Vectors) می‌گویند. در بین نمونه‌های آموزشی همواره زیر مجموعه‌ای وجود دارد که بتواند بهترین مرز تصمیم‌گیری را تعریف کند.



شکل ۱. ابر صفحه بهینه بردارهای پشتیبان منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

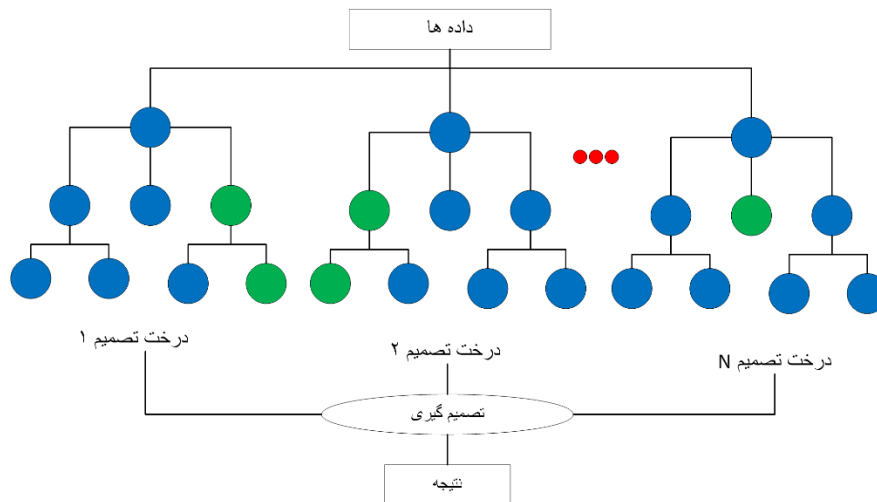
یکی از مزایای بسیار مهم ماشین بردار پشتیبان بهبود بازده این طبقه بندی کننده با افزایش بُعد داده‌ها است. در واقع این طبقه بندی کننده یک طبقه بندی کننده آماری نیست و مستقیماً با استفاده از نقاط آموزشی مرز تصمیم‌گیری بین دو کلاس را به دست می‌آورد. از طرفی هر چه بُعد داده‌ها بیشتر شود فاصله کلاس‌ها از یکدیگر بیشتر شده و امکان جداسازی آن‌ها با تعداد محدودتری نقاط آموزشی افزایش می‌یابد.

– روش طبقه بندی جنگل تصادفی (Random Forest)

الگوریتم جنگل تصادفی یک روش غیر پارامتریک و متعلق به روش‌های دسته جمعی^۱ است که در اواخر قرن نوزدهم از روش‌های یادگیری ماشینی ابداع گردید (Dietterich, 2000). این روش از مجموعه درخت‌های رگرسیونی که با بازسازی داده‌های آموزشی به کار گرفته شده است، ساخته می‌شود (Yu et al., 2011). درختان تصادفی بردار ورودی را گرفته و با هر درخت در جنگل طبقه بندی کرده و خروجی، برچسب‌های کلاسی هستند

¹ Ensemble

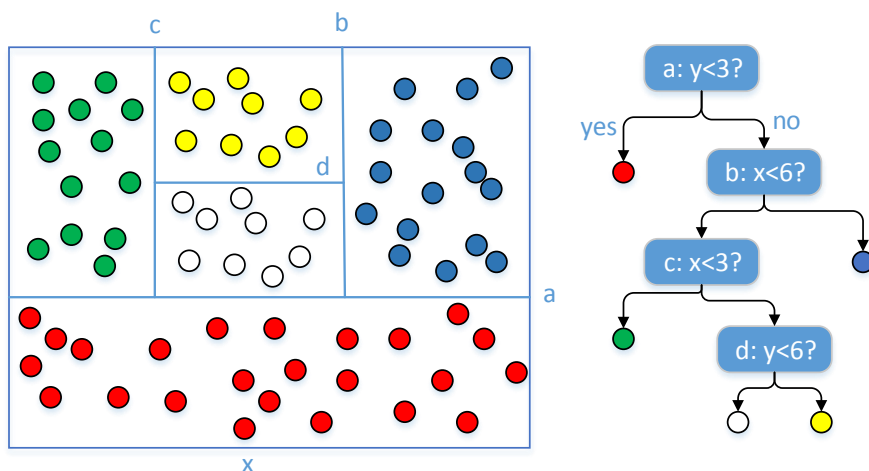
که از اکثریت آرا دریافت شده است. جنگل تصادفی درخت‌های تصمیم بسیاری تولید میکند، برای طبقه بندی یک شی جدید بردار ورودی در انتهای هر یک از درختان جنگل تصادفی قرار می‌گیرد و هر درخت منجر به یک طبقه بندی می‌شود که گفته می‌شود این درخت به آن کلاس رای داده است (Talebi et al., 2018) در الگوریتم جنگل تصادفی کاربر باید سه پارامتر را تعیین نماید که عبارتند از n تعداد درختان برای رشد، m تعداد ویژگی‌هایی که به طور تصادفی برای انشعاب در هر گره در یک درخت در نظر گرفته می‌شود و حداقل اندازه گره نهایی درخت که بیش از آن درخت تقسیم نمی‌شود. این روش نسبت به پارامتر m حساسیتی ندارد و معمولاً به صورت \sqrt{m} در نظر گرفته می‌شود (Ghavami et al., 2017). شکل شیوه عملکرد روش جنگل تصادفی را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. روش طبقه بندی جنگل تصادفی منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

روش طبقه بندی درخت تصمیم گیری کارت (Cart Decision Tree)

الگوریتم کارت متغیرهای ورودی را برای یافتن بهترین تجزیه می‌آزماید تا شاخص ناخالصی حاصل از تجزیه، کمترین مقدار باشد در تجزیه دو زیرگروه تعیین می‌شود و هر کدام در مرحله بعد به دو زیرگروه دیگر تقسیم می‌شوند و این روند ادامه می‌یابد تا زمانی که یکی از معیارهای توقف برآورده شود. مطابق با شکل درخت کارت بازگشتی دودویی است که گره‌های والدین را دقیقاً به دوگروه فرزند منشعب میکند و به طور بازگشتی منشعب کردن را تا زمانی که انشعاب دیگری نتواند ساخته شود ادامه می‌دهد. در تقسیم داده‌ها به صورت بازگشتی به زیرگروه‌ها، فقط دو زیرگروه را پشتیبانی می‌کند. این الگوریتم سریع است و هرس کردن آن رو به عقب است (Chattamvelli, 2011).



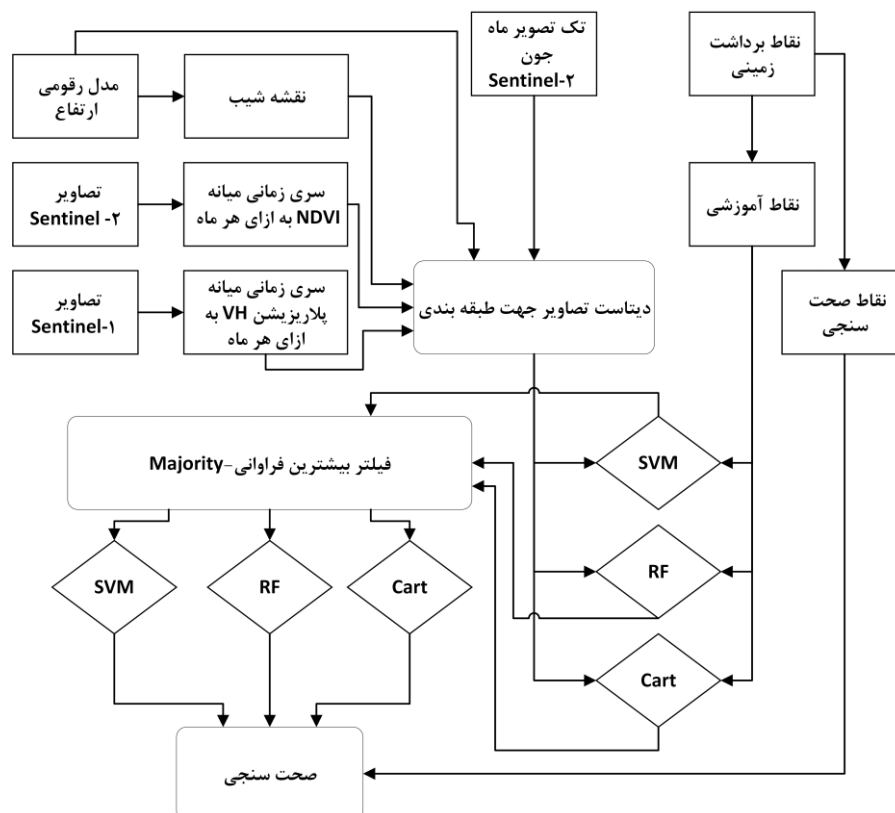
شکل ۳. عملکرد الگوریتم Cart منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

- فیلتر اکثریت یا بیشترین فراوانی همسایه ها^۱

هر کدام از روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌های سنجش از دوری دارای نقاط قوت و ضعف‌هایی هستند که خروجی‌های مورد نظر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. به منظور افزایش صحت تصاویر طبقه‌بندی شده از روش‌هایی نظیر اعمال فیلترینگ بعد از طبقه‌بندی استفاده می‌شود. یکی از این موارد فیلتر اکثریت است که از اطلاعات همسایگی مکانی پیکسل‌ها استفاده می‌کند و پیکسل‌های منفرد را به کلاسی اختصاص می‌دهد که پیکسل مورد نظر بیشترین شباهت و سهم را نسبت به آن کلاس داشته باشد (Akçay & Avsar, 2017).

۲.۱. مدل مفهومی تحقیق

مطابق با شکل ۴. روند کلی تحقیق را می‌توان در پنج مرحله دید که عبارتند از: تهیه دیتاست کاری، نمونه‌برداری، طبقه‌بندی، بهبود نتایج طبقه‌بندی و صحت‌سنجی که در ادامه شرح داده می‌شود.



شکل ۴. مدل مفهومی تحقیق منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

تصاویر ماهواره Sentinel-2 مربوط به سال ۲۰۲۰ فراخوانی شده و سری زمانی شاخص طیفی NDVI به ازای هر تصویر در تمام طول سال محاسبه گردید و مقادیر میانه آن به ازای هر ماه استخراج شد. دو ماه با تصاویر سراسر ابری برای منطقه وجود داشت که تصاویر آنها کنار گذاشته شد. نهایه ده تصویر شاخص NDVI بود که هر کدام نشان دهنده وضعیت پوشش گیاهی در ماه مربوط به خود است. میانه شدت انرژی بازگشتی تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1 به ازای تمام تصاویر هر ماه برای دوره زمانی یک‌ساله محاسبه و تصاویر مربوط به بازه زمانی ماه‌های «نوامبر»، «دسامبر» و «ژانویه» به علت وجود برف و کاملاً بدون پوشش بودن زمین که سبب افزایش خطا میگردد حذف شد. پس از ساخت دیتاست سری زمانی تصاویر راداری و اپتیک از منطقه، تصاویر مدل رقمی ارتفاع و شیب از ماهواره SRTM اضافه شده و یک تصویر اپتیک Sentinel-2 در ماه «جون» به عنوان تصویر پایه به دیتاست کاری اضافه گردید.

¹ Majority

تصاویر اپتیک استفاده شده دارای تصحیح هندسی و رادیومتریکی بوده که به روش SEN2CORE انجام گردیده است و نیز تصاویر راداری تصحیحات زمینی و هندسی شده و با توجه به استفاده از میانه مقادیر شدت انرژی های بازگشتی چند تصویر نویز اسپیکل کاملاً تعدیل گردیده است. در تحقیق حاضر از ۱۷۷۶ نقطه نمونه برداری استفاده گردیده که بوسیله بازدید زمینی و جمع آوری نقاط توسط اپلیکیشن اختصاصی وزارت نیرو در کنار اطلاعات حاصل از نرم افزار Google Earth که دارای قطعیت بودند استفاده گردید. تعداد ۹۰۴ نقطه به عنوان داده های آموزشی و ۸۷۲ نقطه به عنوان داده های صحت سنجی استفاده شد.

طبقه بندی به وسیله سه روش یادگیری ماشینی و در دو حالت حضور تصاویر راداری و بدون حضور آن انجام گردیده است. روشهای مورد بررسی عبارت اند از: جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم کارت که جهت اعمال هر کدام پس از ورود داده های آموزشی به الگوریتم ابتدا مقادیر دقت داده های آموزشی مورد بررسی قرار گرفته و در صورت قابل قبول بودن وارد عمل طبقه بندی شدند. اغلب پس از انجام عمل طبقه بندی و دریافت خروجی نهایی شاهد پیکسل های منفرد و پراکنده ای هستیم که عموماً صحت صحیحی نیز ندارند، همچنین این اتفاق در طبقه بندی های شی گرا ممکن است به شکل نواحی کوچک جزیره ای دیده شود که جهت بر طرف کردن این مشکل میتوان از فیلترها استفاده کرد.

در این تحقیق از فیلتر بیشترین فراوانی استفاده گردیده است که طی این عمل کلاسی به یک پیکسل نسبت داده می شود که همسایگانش بیشترین فراوانی آن کلاس را داشته باشند و حاصل نهایی تصویری خواهد بود که پیکسل های جدا افتاده خود را به پیکسل های هم کلاس با همسایگانشان تغییر داده اند و شدت این عمل به وسیله اندازه کرنل مورد اختصاص به فیلتر تعیین می شود. جهت برآورد صحت نقشه های تولید شده بوسیله هر یک از روش های طبقه بندی از فاکتور های دقت کل^۱، دقت تولید کننده^۲ و ضریب کاپا^۳ استفاده گردید همچنین دقت داده های آموزشی نیز بررسی گردید که در بخش نتایج آورده شده است. نمونه برداری به روش تصادفی انجام شده که دلیل آن متفاوت بودن پراکندگی کلاس های مورد مطالعه و محدودیت برداشت نقاط زمینی بوده است. جهت صحت سنجی از ۸۷۲ نمونه واقعیت زمینی استفاده گردیده است.

۲. روش تحقیق

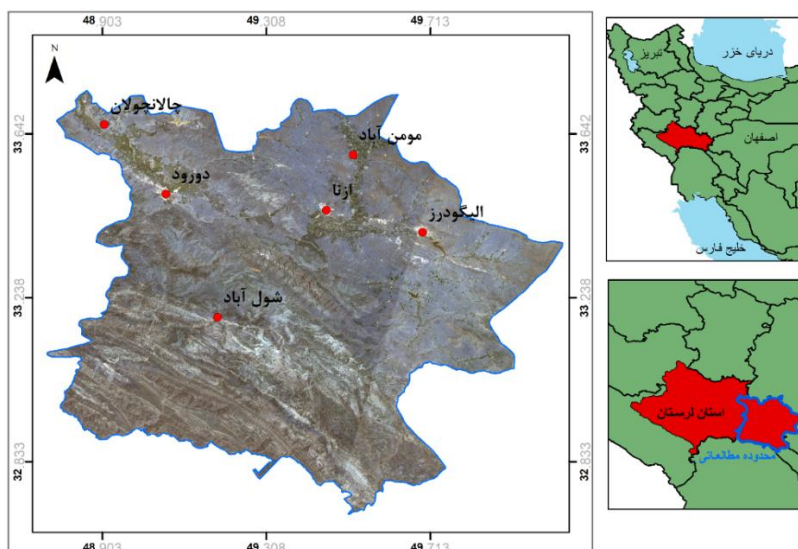
۲.۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه قسمتی از استان لرستان شامل شهرستان های الیگودرز، ازنا، دورود، مومن آباد، جالانجولان و شول آباد می باشد که مختصات محل شمال غربی آن ۴۸/۷۴ درجه شرقی و ۳۲/۷۰ درجه شمالی و مختصات جنوب شرقی آن ۴۹/۹۹ درجه شرقی و ۳۲/۷۱ درجه شمالی می باشد. متوسط ارتفاع منطقه ۲۳۳۰ متر از سطح دریا می باشد. دلیل انتخاب این منطقه متنوع بودن اراضی از لحاظ کاربری های کشاورزی و نیز حضور کلاس جنگل های پراکنده جهت بررسی تفکیک پذیری باغات و جنگل ها که از چالش های تهیه نقشه های کاربری و پوشش است، می باشد.

¹Overall Accuracy

² Producer's Accuracy

³ Kappa coefficient



شکل ۵. منطقه مورد مطالعه، واقع در قسمت شرقی استان لرستان منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

۲.۲. داده‌ها

تصاویر ماهواره Sentinel-2 در حال حاضر بهترین تصاویر رایگان با قدرت تفکیک مکانی بالا جهت کاربردهای کشاورزی و محیط زیست است. این سنجنده دارای ۱۳ باند در طول موج‌های مختلف طیف الکترومغناطیس می‌باشد. در تحقیق حاضر از تصاویر این سنجنده در ماه‌های فاقد ابر، مطابق با جدول ۱ استفاده شده است.

به منظور تهیه تصاویر شاخص‌های NDVI ماهانه، شاخص یادشده بر روی تمامی تصاویر فاقد ابر در همراه اعمال شده و میانه شاخص‌های بدست آمده محاسبه گردید.

در حال حاضر بهترین گزینه تصاویر راداری رایگان را میتوان ماهواره Sentinel-1 دانست. این ماهواره در چهار پلاریزیشن HH، VV، VH و HV اقدام به اخذ داده می‌نماید. در این تحقیق از مقادیر میانه شدت انرژی بازگشتی پلاریزیشن VH تمام تصاویر در هر ماه استفاده و به ازای هر ماه شمسی یک تصویر بدست آمد. داده‌های مدل رقومی ارتفاعی SRTM ۳۰ متری و نقشه شیب حاصل از آن نیز به اطلاعات مورد نظر جهت طبقه‌بندی اضافه گردید.

جدول ۲. سنجنده‌های استفاده شده

نام ماهواره	تفکیک مکانی	تفکیک زمانی	زمان فعالیت	تعداد باند
Sentinel ۱	۱۰ متر	۶ روز	۲۰۱۴ تا کنون	۴ پلاریزیشن
Sentinel ۲	۱۰ متر	۵ روز	۲۰۱۵ تا کنون	۱۳

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

۳.۲. کلاس‌های کاربری اراضی

کلاس‌های مورد مطالعه شامل ۹ کلاس به شرح جدول می‌باشند که کلاس‌های مناطق شهری، پهنه‌های آبی، اراضی بایر و مراتع در بعد طیفی و سایر کلاس‌ها در بعد سری زمانی و طیفی می‌توانند به حداکثر مقدار آشکارسازی خود دست یابند.

در تعیین کلاس‌ها تفکیک اراضی آبی به اراضی زراعی پاییزه، بهار و دوکشته به دلیل متفاوت بودن مقدار مصرف آب این اراضی انجام گردیده است. اراضی زراعی پاییزه به دلیل انطباق فصل رویش با فصل بارش نیاز به آبیاری کمتری دارند اما اراضی زراعی کشت بهار نیاز به آبیاری بیشتر داشته و مصرف آب بالاتری دارند. از طرفی اراضی کشت مجدد به اندازه مجموع دو کشت مصرف آب دارند.

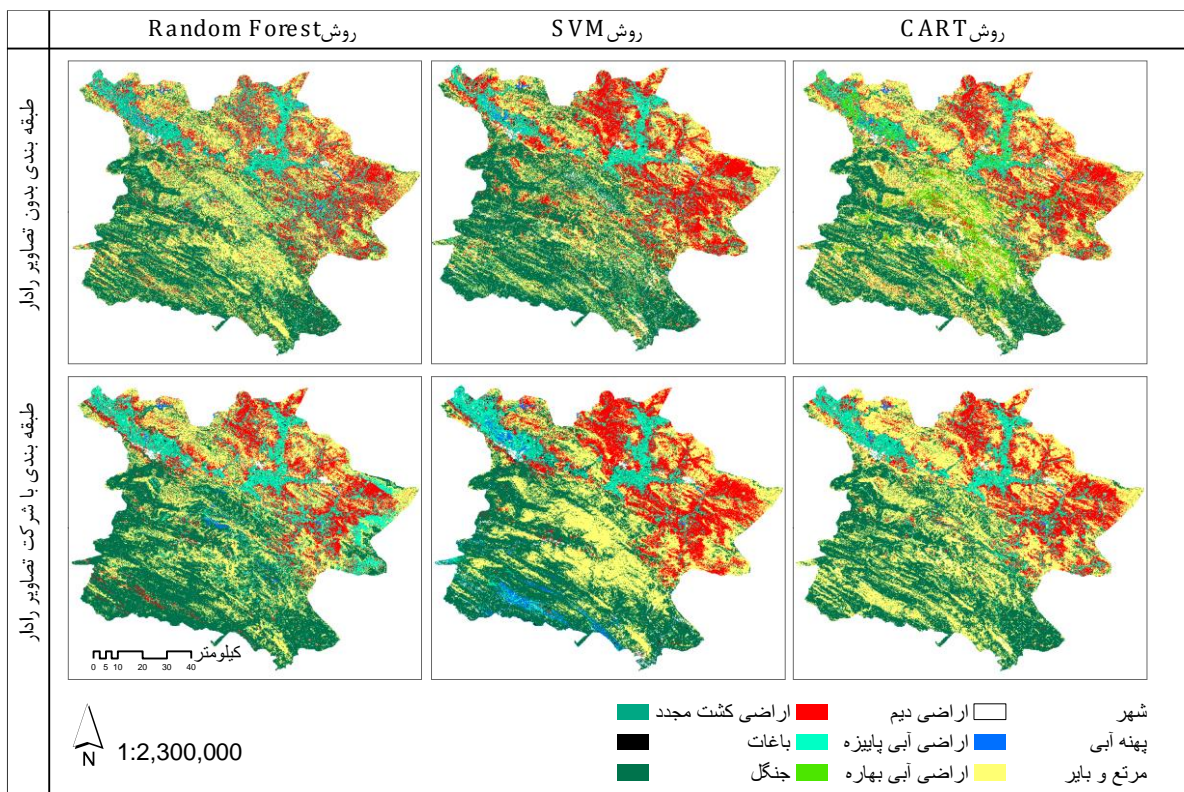
جدول ۳. کلاس‌های کاربری اراضی مورد مطالعه

نام کلاس	شماره کلاس	نام کلاس	شماره کلاس
مناطق شهری	۰	اراضی زراعی بهاره	۵
پهنه آبی	۱	اراضی زراعی کشت مجدد	۶
اراضی بایر و مرتع	۲	اراضی باغی	۷
اراضی دیم	۳	جنگل	۸
اراضی زراعی پاییزه	۴		

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

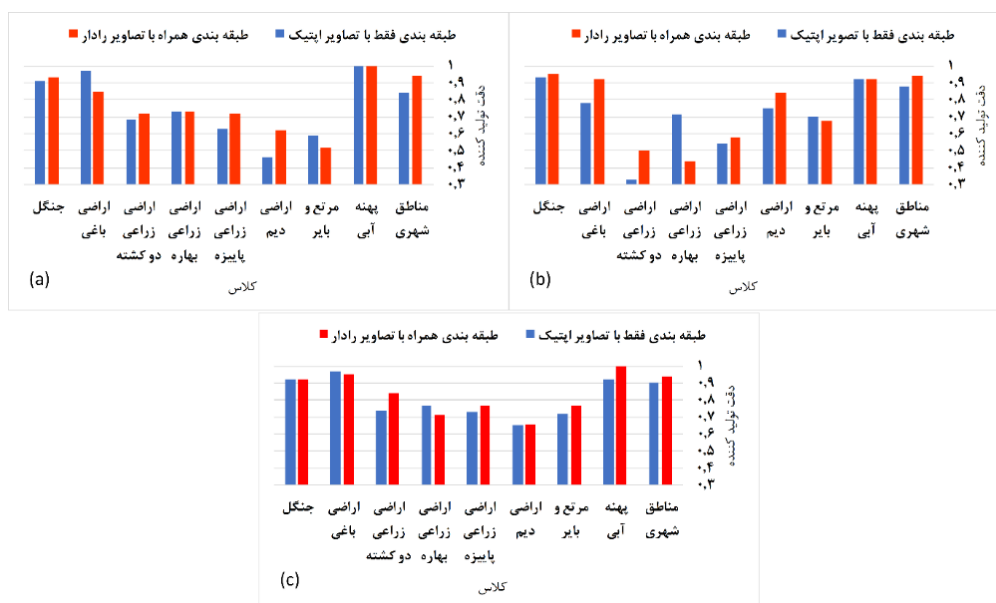
۳. یافته‌های پژوهش

مطابق با شکل با بررسی نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی و مقادیر صحت سنجی کاملاً واضح است که اضافه شدن تصاویر راداری به ورودی الگوریتم‌های طبقه‌بندی، بسته به روش طبقه‌بندی تاثیر متفاوتی دارد، این تاثیر در روش ماشین بردار پشتیبان بیشترین تغییر را دارد که الزاماً در جهت بهبود صحت طبقه‌بندی نیست و با خود خطاهای جدیدی را ایجاد کرده است که اشتباه طبقه‌بندی در ارتفاعات به علت پدیده سایه‌های راداری را میتوان نمونه‌ای از آن نام برد. از طرفی در الگوریتم جنگل تصادفی کمترین میزان تاثیر رخ داده شده است اما این تاثیر مثبت بوده و طبقه‌بندی را بهبود می‌بخشد.



شکل ۶. مقایسه نقشه‌های مربوط به هر الگوریتم در حضور و عدم حضور تصاویر راد: منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

در شکل مقادیر دقت تولیدکننده در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی به ازای دو حالت > حضور و عدم حضور تصاویر راداری در روش‌های مختلف بررسی شده است که نمودارهای a، b، و c به ترتیب مربوط به روش‌های کارت، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی می‌شوند.



شکل ۷. مقایسه دقت تولید کننده در طبقه بندی های مختلف در حضور و عدم حضور تصاویر راداری منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

در روش درخت تصمیم کارت همانگونه که در نمودار a مشاهده می شود مقادیر مطلق دقت تولیدکننده به اندازه سایر روش ها بالا نیست و مقادیر بهبود دقت با مقادیری که در جهت منفی و تخریب طبقه بندی حاصل شده است برابری می کند لذا الگوریتم درخت تصمیم کارت نمی تواند گزینه مناسبی جهت طبقه بندی تصاویر سری زمانی راداری-اپتیک باشد. نمودار b نشان دهنده تاثیر حضور تصاویر راداری در الگوریتم ماشین بردار پشتیبان است و نشان دهنده این واقعیت است که در این روش اضافه شدن تصاویر راداری دقت کلاس های اراضی دیم، اراضی زراعی دو کشته و اراضی باغی را به شدت افزایش می دهد اما در اراضی بهاره این تاثیر در جهت منفی است. طبق نمودار C در روش طبقه بندی جنگل تصادفی، با اضافه شدن تصاویر راداری دقت طبقه بندی در عموم کلاس ها اندکی افزایش می یابد اما در دو کلاس اراضی زراعی بهاره و اراضی باغی این روند دیده نمی شود.

آنچه در این روش مشهود است، بالا بودن دقت طبقه بندی تصاویر اپتیک به تنهایی می باشد به گونه ای که اضافه شدن تصاویر راداری جز در کلاس های اراضی دو کشته، پاییزه و بهنه آبی بهبود چشم گیری را نشان نمی دهد. در نگاه نهایی مشاهده می شود با وجود اینکه در روش ماشین بردار پشتیبان مقادیر بهبود یافتگی بیشتر است اما چون مقدار مطلق دقت، نسبت به روش جنگل تصادفی کمتر است در نتیجه نمیتوان این روش را مناسب تر ارزیابی کرد. هر یک از کلاس های یاد شده را میتوان بر حسب تاثیر پذیری از تصاویر راداری در الگوریتم های مختلف، به شکل زیر بررسی کرد. در جدول ۱ کلاس هایی که در هر یک از الگوریتم ها با اضافه شدن تصاویر راداری مورد بهبود دقت واقع شده اند با علامت * و کلاس های بدون تغییر با علامت * و کلاس های با تغییر منفی با علامت - نشان داده شده اند.

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود کلاس های اراضی دیم، اراضی زراعی پاییزه، اراضی زراعی دو کشته و مناطق شهری در هر سه الگوریتم با اضافه شدن تصاویر راداری به عمل طبقه بندی افزایش دقت داشته اند.

جدول ۱. مقایسه کلاس های مختلف بر حسب بهبودیافتگی مثبت، منفی یا بدون تغییر

نام کلاس	RF	SVM	CART
مناطق شهری	**	**	**
پهنه آبی	**	*	*
مرتع و بایر	**	-	-
اراضی دیم	**	**	**
اراضی زراعی پاییزه	**	**	**
اراضی زراعی بهاره	-	-	*
اراضی زراعی دو کشته	**	**	**
اراضی باغی	-	**	-
جنگل	*	**	**

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

در نهایت مقادیر دقت کل و کاپا جهت بررسی فوق طبق جدول ارائه می گردد که مطابق با آن برتری کامل روش طبقه بندی جنگل تصادفی نمایان است و نیز حضور تصاویر راداری در طبقه بندی را مفید ارزیابی می نماید ولی دقت کل به تنهایی نمی تواند دلیل بر اضافه کردن تصاویر راداری به عمل طبقه بندی به صورت کلی باشد بلکه بر حسب کلاس مورد نظر، باید تصمیم بر دخالت یا کنار گذاشتن تصاویر راداری گرفته شود.

جدول ۵. مقایسه مقادیر صحت شرکت و عدم شرکت تصاویر راداری در طبقه بندیهای مختلف همراه با رادار

همراه با رادار	CART	SVM	RF
training Overall accuracy	۰,۹۲	۰,۷۶	۰,۹۸
validation overall accuracy	۰,۷۲	۰,۷۱	۰,۸۰
kappa	۰,۶۸	۰,۶۷	۰,۷۶
بدون رادار	CART	SVM	RF
training Overall accuracy	۰,۹۳	۰,۷۶	۰,۹۷
validation overall accuracy	۰,۶۹	۰,۶۸	۰,۷۷
kappa	۰,۶۴	۰,۶۳	۰,۷۴

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

جدول ۶. مقایسه مقادیر صحت تولید کننده الگوریتم ها در دو حالت

	شماره کلاس	بدون شرکت تصاویر رادار			شماره کلاس	با شرکت تصاویر رادار در طبقه بندی		
		Cart	Svm	RF		Cart	Svm	RF
	۰	۰.۹۴	۰.۹۴	۰.۹۴	۰	۰.۸۴	۰.۸۸	۰.۹
	۱	۱	۰.۹۲	۱	۱	۱	۰.۹۲	۰.۹۲
	۲	۰.۵۲	۰.۶۷	۰.۷۷	۲	۰.۵۹	۰.۷	۰.۷۲
	۳	۰.۶۲	۰.۸۴	۰.۶۶	۳	۰.۴۶	۰.۷۵	۰.۶۵
	۴	۰.۷۲	۰.۵۸	۰.۷۷	۴	۰.۶۳	۰.۵۴	۰.۷۳
	۵	۰.۷۳	۰.۴۴	۰.۷۱	۵	۰.۷۳	۰.۷۱	۰.۷۷
	۶	۰.۷۲	۰.۵	۰.۸۴	۶	۰.۶۸	۰.۳۳	۰.۷۴
	۷	۰.۸۵	۰.۹۲	۰.۹۵	۷	۰.۹۷	۰.۷۸	۰.۹۷
	۸	۰.۹۳	۰.۹۵	۰.۹۲	۸	۰.۹۱	۰.۹۳	۰.۹۲

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتیجه نهایی این تحقیق بیانگر این واقعیت است، در مواقعی که کلاس‌های مورد مطالعه در نقشه کاربری اراضی مربوط به کلاس‌های کشاورزی هستند، اضافه شدن سری زمانی تصاویر راداری به سری زمانی تصاویر اپتیکی در الگوریتم جنگل تصادفی صحت طبقه‌بندی را افزایش داده و نتایج مطلوب و قابل اعتمادی را حاصل می‌کند زیرا تغییرات فیزیکی گیاه در چرخه رشد به خوبی توسط تصاویر راداری ثبت می‌شود. در بررسی بهبود صحت طبقه بندی بر روی تک کلاس‌ها مشاهده شده است که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان استثناً و تنها بر روی کلاس اراضی دیم در هر دو حالت حضور یا عدم حضور تصاویر رادار حساسیت بیشتری داشته و عملکرد بهتری را نشان می‌دهد اما مقادیر مطلق سایر کلاس‌ها آن بسیار کمتر از روش جنگل تصادفی می‌باشد.

با توجه به ادعای مطرح شده مبنی بر برتری روش جنگل تصادفی و از سویی دیگر مقدار کل بهبود صحت طبقه بندی که تنها ۳ درصد بوده است. لازم به ذکر است که مطابق با جداول و نمودارهای ارائه شده در بخش نتایج، بهبود صحت در کلاس‌های مختلف متفاوت است، لذا پیشنهاد می‌شود تصاویر راداری تنها جهت کلاس‌های دارای میزان بهبود یافتگی بالا مانند اراضی زراعی دوکشته و پاییزه مورد استفاده همزمان با تصاویر اپتیک قرار گیرد و به صورت کلی و برای همه کلاس‌ها استفاده نشود، زیرا نه تنها باعث افزایش دقت طبقه بندی نخواهد شد بلکه طبقه بندی تصاویر اپتیک دچار کاهش دقت خواهد شد.

۵. فهرست منابع

۱. اسماعیل نژاد، رضا، کامران زینال زاده. ۲۰۲۰. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زیرحوضه نازلوچای، مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ۹(۴): ۱۵۹-۷۲.
۲. پروندی، آیدا، امیرشاهرخ امینی. ۱۳۹۸. بررسی روش های تلفیق تصاویر سنجش از دور در سطح پیکسل". <https://civilica.com/doc/911446/certificate/print/> (October 26, 2022).
۳. سعید محمودیزاده، علی اسماعیلی. ۱۳۹۹. روشی نوین در بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات با تلفیق تصاویر اپتیک و رادار و بکارگیری روشی بدون نظارت و مبتنی بر الگوریتم POS. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ۲۹(۱۱۶): ۷-۲۵.
۴. شریفی کیا، محمد، جلال کرمی، احسان فلاحتی. ۲۰۲۰. قابلیت سنجی کارآمدی روش‌های ترکیب و تلفیق داده های رادار و اپتیک با هدف شناسایی مناطق دگرسانی. فصلنامه علمی علوم زمین ۳۰(۱۱۷): ۶۵-۷۴.
۵. شکری، محمد، محمودرضا صاحبی. ۲۰۱۷. تلفیق تصاویر رادار با روزه مجازی و اپتیک با استفاده از تبدیل کرولت. نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری ۷(۲): ۱۲۷-۳۸.
۶. صی محمدی، سمیره ۱۳۹۹. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه‌ی آبخیز دشت ماهیدشت با استفاده از تصاویر سنجش از دور. پایداری، توسعه و محیط زیست ۲(۲): ۵۳-۷۰.
۷. لقمان خداکرمی، علیرضا سفیانیان. کاربرد سنجش از دور چند زمانی در تعیین سطح زیرکشت. نشریه علوم آب و خاک. ۱۳۹۱؛ ۱۶ (۵۹): ۲۳۱-۲۱۵.
۸. محمد دشتی مرویلی، بهنام کامکار، حسین کاظمی. ۱۴۰۰. مقایسه شاخص های گیاهی در تخمین زیست توده بقایای. پژوهش های حفاظت آب و خاک ۲۷(۶): ۱۲۱-۳۶.
9. Basaeed, Essa, Harish Bhaskar, and Mohammed Al-Mualla. 2012. "Beyond Pan-Sharpener: Pixel-Level Fusion in Remote Sensing Applications." *2012 International Conference on Innovations in Information Technology, IIT 2012*: 139-44. https://www.researchgate.net/publication/261454003_Beyond_pan-sharpener_Pixel-level_fusion_in_remote_sensing_applications (October 26, 2022).
10. Dubovyk, Olena et al. 2015. "Monitoring Vegetation Dynamics with Medium Resolution MODIS-EVI Time Series at Sub-Regional Scale in Southern Africa." *International Journal of*

- Applied Earth Observation and Geoinformation* 38(1): 175–83. https://www.researchgate.net/publication/271274076_Monitoring_vegetation_dynamics_with_medium_resolution_MODIS-EVI_time_series_at_sub-regional_scale_in_southern_Africa (October 26, 2022).
11. Hall, D L, and S A H McMullen. 2004. “Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion.” *Library 2*: 466. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=531406> (October 26, 2022).
 12. Lopes, Mailys et al. 2020. “Combining Optical and Radar Satellite Image Time Series to Map Natural Vegetation: Savannas as an Example.” *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 6(3): 316–26.
 13. Pierdicca, Nazzareno, Marco Chini, and Fabrizio Pelliccia. 2014. “The Contribution of SIASGE Radar Data Integrated with Optical Images to Support Thematic Mapping at Regional Scale.” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7(7): 2821–33.
 14. Sarzynski, Thuan, Xingli Giam, Luis Carrasco, and Janice Ser Huay Lee. 2020. “Combining Radar and Optical Imagery to Map Oil Palm Plantations in Sumatra, Indonesia, Using the Google Earth Engine.” *Remote Sensing 2020, Vol. 12, Page 1220* 12(7): 1220. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/7/1220/htm> (October 26, 2022).
 15. Sobrino, Jose A., and Yves Julien. 2013. “Trend Analysis of Global MODIS-Terra Vegetation Indices and Land Surface Temperature between 2000 and 2011.” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6(5): 2139–45.
 16. Wang, Hongyan et al. 2014. “Assessment of Land Degradation Using Time Series Trends Analysis of Vegetation Indicators in Beijing-Tianjin Dust and Sandstorm Source Region.” *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*: 753–56.
 17. Wang, Sisi et al. 2016. “Validation and Trend Analysis of ECV Soil Moisture Data on Cropland in North China Plain during 1981–2010.” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 48: 110–21.
 18. Zhang, Hongsheng, Hui Lin, and Yu Li. 2015. “Impacts of Feature Normalization on Optical and SAR Data Fusion for Land Use/Land Cover Classification.” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 12(5): 1061–65.