

Comparison of Three Spectral Vegetation Indices in Classifying Land Use/Cover Using Decision Tree

Fatemeh Rahimi-Ajdadi 

Received: March 27, 2024

Accepted: October 10, 2024

Assist. Prof., Dept. of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
Corresponding Author Fatemeh **Rahimi-Ajdadi** Email: rahimi_a@guilan.ac.ir

Abstract

Background and Objective: The drastic changes of land use in northern provinces of Iran have been one of main issues of the policy-making during the last two decades, and so it is always important to find an appropriate method. The present research aims to evaluate the performance and compare three plant spectral indices for land use/cover classification in Lahijan and improve the obtained results.

Materials and Methods: OLI images of Landsat 8 were used to produce maps of NDVI, LAI and EVI. The classification was done using decision tree and thresholding according to six land uses/covers of the region, and land use/cover maps were developed. To improve the classification performance, a new decision tree was proposed by combining NDVI and DEM.

Results: The validation results using the confusion matrix showed that the performance of NDVI with overall accuracy of 87.7% and kappa coefficient of 0.83 was more than the others. The overall accuracy of LAI and EVI was 71.4 and 71.6%, respectively. The kappa coefficients were 0.828, 0.609 and 0.614 respectively. The proposed method increased the overall accuracy by 4.94% and reached 92.60%. It also increased the percentage of true classification in the tea class from 50.75 to 86.87% and in the forest from 95.08 to 98.18%.

Conclusions: In areas with dense vegetation, it is possible to improve the results of land use/cover classification by combining NDVI and DEM in a decision tree. The results can be used for quick mapping and detecting of land use/cover of the region.

Keywords: DEM, Landsat, Land Use, Remote Sensing, Riceland, Satellite Image

مقایسه سه شاخص طیفی گیاهی در طبقه‌بندی پوشش / کاربری اراضی با استفاده از درخت تصمیم

فاطمه رحیمی اجدادی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۰۸	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۹
--------------------------	-------------------------

استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: تغییرات شدید کاربری اراضی در دو دهه گذشته در استان‌های شمالی کشور از معضلات اصلی نهادهای سیاست‌گذار بوده و همواره دستیابی به روش‌های مناسب حائز اهمیت می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی عملکرد و مقایسه سه شاخص طیفی گیاهی در طبقه‌بندی پوشش/کاربری زمین در شهرستان لاهیجان و بهبود نتایج بدست‌آمده می‌باشد.

مواد و روش‌ها: از تصاویر سنجنده‌ی OLI ماهواره لندست ۸ برای تولید نقشه‌های مربوط به سه شاخص طیفی NDVI، LAI و EVI استفاده شد. طبقه‌بندی با استفاده از درخت تصمیم و اعمال حد آستانه و با توجه به شش کاربری منطقه انجام شد و نقشه‌های کاربری-پوشش اراضی تولید گردید. برای بهبود عملکرد طبقه‌بندی، درخت تصمیم جدیدی با تلفیق داده‌های NDVI و مدل رقومی ارتفاع پیشنهاد شد.

یافته‌ها: نتایج اعتبارسنجی با استفاده از ماتریس اغتشاش نشان داد عملکرد NDVI با صحت کلی ۸۷/۷٪ و ضریب کاپای ۰/۸۳ دقیق‌تر از دو شاخص دیگر بوده است. صحت کلی LAI و EVI برابر ۷۱/۴ و ۷۱/۶٪ بود. ضرایب کاپای بدست‌آمده به ترتیب ۰/۸۲۸، ۰/۶۰۹ و ۰/۶۱۴ بود. روش پیشنهادی صحت کل را به میزان ۴/۹۴٪ افزایش و به ۹۲/۶۰٪ رساند. همچنین درصد طبقه‌بندی صحیح در کلاس باغ چای را از ۵۰/۷۵ به ۸۷/۸۶٪ و در کلاس جنگل از ۹۵/۰۸ به ۹۸/۱۸٪ افزایش داد.

نتیجه‌گیری: در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، می‌توان با تلفیق داده‌های NDVI و مدل رقومی ارتفاع در قالب یک درخت تصمیم، نتایج طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی را بهبود بخشید. نتایج پژوهش حاضر را می‌توان برای پهنه‌بندی و شناسایی سریع پوشش‌ها و کاربری‌های منطقه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تصویر ماهواره‌ای، سنجش از دور، شالیزار، کاربری اراضی، لندست، مدل رقومی ارتفاع

مقدمه

و چه تصمیم‌سازی برای مدیران و سیاست‌گذاران در حوزه‌ها و سطوح مختلف مدیریتی می‌باشد. برآورد کمی و دقیق ویژگی‌های گیاهان در مطالعاتی نظیر هواشناسی،

شناخت نوع پوشش گیاهی و کاربری‌های مختلف زمین، یکی از ابزارهای مهم مدیریتی، چه از جنبه نظارتی

زیست‌محیطی و کشاورزی ضروری و حائز اهمیت می‌باشد (هوبورگ و همکاران ۲۰۰۷) برای مثال در حوزه‌ی کشاورزی، آگاهی از اطلاعات مکانی مربوط به سطح زیر کشت محصولات مختلف می‌تواند سبب اتخاذ سیاست‌های مدیریتی و اجرایی مناسب در زمینه‌ی تعیین نوع کشت در هر منطقه، خدمات مکانیزه منطبق با نیاز و شرایط بومی ساخت سیلوها و توسعه‌ی انبارها شود (علی پور و همکاران ۲۰۱۴). آگاهی از پوشش/کاربری اراضی و تغییرات آن در مناطقی که به دلیل پارامترهای جغرافیایی- اجتماعی و اقلیمی دستخوش تغییرات شدید کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌شوند، دارای اهمیت بیشتری است. استان‌های شمالی کشور از جمله مناطقی هستند که در چند دهه گذشته به شدت دچار این معضل بوده‌اند و پدیده مهاجرت از جنوب کشور به این مناطق نیز مزید بر علت گردیده است (رحیمی اجدادی و خانی ۲۰۲۱). مساله اساسی اینست که تغییرات کاربری عمدتاً در جهت تخریب پوشش‌های سبز نظیر جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی و تبدیل آنها به مناطق مسکونی می‌باشد، بطوری‌که تنها دربخش مرکزی شهرستان لاهیجان از استان گیلان در ۲۰ سال اخیر، حدود ۲۳ درصد از باغ‌های چای و ۴۲٪ از سایر زمین‌های کشاورزی تخریب شده است (رحیمی اجدادی و خانی ۲۰۲۱). اطلاعات مربوط به نوع پوشش/کاربری اراضی همچنین در پژوهش‌های مرتبط با دمای زمین و جزایر حرارتی نیز حائز اهمیت می‌باشند (کاتو و یاماگوچی و لیو و ژانگ ۲۰۱۱). معمولاً سه روش برای تعیین سطح کاربری/پوشش‌های اراضی در ایران استفاده می‌شود که عبارتند از روش‌های کارشناسی، فهرست‌برداری و استفاده از روش‌های سنجش از دوری هوایی و یا ماهواره‌ای. روش اول دارای دقت بسیار کمی بوده و نمی‌توان از آن برای تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی استفاده کرد (مصری و همکاران ۲۰۲۲). روش فهرست‌برداری نیز دارای خروجی بصورت نقشه و داده‌های مکانی نمی‌باشد و اطلاعات دقیقی بهمراه ندارد. دو روش ذکر شده، عموماً با توجه به وسعت مناطق

مورد بررسی، بسیار وقت‌گیر و پرهزینه هستند. از طرفی با توجه به ماهیت پویایی پوشش زمین و نیز ایجاد تغییرات مصنوعی صورت گرفته توسط بشر، بروزرسانی دوره‌ای این اطلاعات ضروری می‌باشد. سومین روش یعنی فناوری سنجش از دور روشی بسیار مقرون به‌صرفه بوده و با توجه به پوشش وسیع ماهواره‌ها، جایگزین مناسبی برای روش‌های معمول میدانی است. علاوه بر این، تصاویر ماهواره‌ای قابلیت تکرار در فواصل زمانی معین را داشته و در نتیجه این امکان را فراهم می‌آورند که بتوان از آنها برای بررسی تغییرات پوشش/کاربری‌های مختلف بهره برد. با روش‌های مختلف طبقه‌بندی که بر روی باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای اعمال می‌شود، امکان تشخیص کاربری‌های مختلف و پوشش زمین فراهم می‌آید. اساس کار طبقه‌بندی، مقایسه‌ی ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر با نمونه‌های معرفی شده به وسیله مفسر و یا خوشه‌بندی در طبقه‌بندی نظارت‌نشده می‌باشد (علوی پناه ۲۰۰۳). استخراج عوارض مختلف از تصاویر ماهواره‌ای به دو روش کلی الگوریتم‌های طبقه‌بندی و استفاده از شاخص‌های طیفی صورت می‌گیرد (بوولو و همکاران ۲۰۰۸). الگوریتم‌های طبقه‌بندی در بسیاری از مطالعات برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی استفاده می‌شوند. عیب روش‌های مذکور این است که نیاز به عملیات میدانی زیاد و نیروی انسانی متخصص برای تأمین نقاط آموزشی داشته که زمان‌بر و خسته‌کننده است (آدجورولو و همکاران ۲۰۱۲)، از طرفی این طبقه‌بندی‌ها نسبت به تغییراتی چون زمان، مرحله‌ی رشد گیاه، کیفیت تصویر، شرایط آب و هوایی و پوشش ابر حساس بوده و نیازمند تکرار در برداشت نقاط تعلیمی می‌باشند (ژونگ و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص‌های طیفی که از ترکیب باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای محاسبه می‌شوند، سبب استخراج عوارض مختلف از تصاویر ماهواره‌ای با صحت قابل قبول می‌شوند (عطارچی و همکاران ۲۰۲۰). از این شاخص‌ها می‌توان به‌عنوان متغیرهای ورودی جدید نیز در طبقه‌بندها استفاده کرده و دقت طبقه‌بندی عوارض را بالا برد. استفاده از شاخص‌های طیفی

به عنوان یک روش ساده و قابل اتکا برای طبقه بندی کاربری اراضی مورد پذیرش پژوهشگران می باشد (ژو ۲۰۰۶، ژو ۲۰۱۰ و لی و همکاران، ۲۰۱۷). شاخص های طیفی در پژوهش های مختلفی از جمله ارزیابی تغییرات و سری های زمانی (راموس و همکاران ۲۰۱۸)، آشکارسازی کاربری های مختلف (ژا و همکاران ۲۰۰۳ و ژی و همکاران ۲۰۱۹)، آفات و بیماری ها (یانگ و همکاران ۲۰۱۵) و شناخت پیکره های آبی (پان و همکاران ۲۰۲۰) استفاده شده است. ماتسوشیتا و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از شاخص NDVI به بررسی پارامترهای زیست فیزیکی از قبیل زیست توده، میزان آب و ارتفاع گیاه پرداختند. پلیدروس و کارتالیس (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص تفاوت نرمال شده مناطق مسکونی^۱ (NDBI)، NDVI و IBI تغییرات کاربری ها را شناسایی کردند. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از شاخص تفاوت نرمال شده مناطق مسکونی (NDBI و NDVI) توانستند پوشش گیاهی و مناطق مسکونی را از یکدیگر تفکیک کنند. راموس و همکاران (۲۰۱۸) از چهار شاخص طیفی به صورت نظارت نشده برای آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره های اسپات^۲ و کوئیک برد^۳ پرداختند. آنها گزارش کردند که نتایج NDVI به میزان زیادی به درصد تغییرات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بستگی دارد.

در اغلب مطالعات، استفاده از شاخص های طیفی معمولاً برای دسته خاصی از پوشش ها/ کاربری ها مدنظر می باشد و با افزایش تعداد کلاس ها، میزان دقت این شاخص ها بسیار کاهش می یابد. از طرفی بیشتر تحقیقات انجام شده بر روی شاخص های طیفی عموماً بر روی شاخص NDVI انجام شده و مقایسه نتایج شاخص های مختلف با یکدیگر کمتر صورت گرفته است. نکته حائز اهمیت اینست که در تحقیقاتی که از شاخص های طیفی گیاهی مانند NDVI برای طبقه بندی کاربری ها استفاده شده، منطقه مطالعاتی عمدتاً دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک بوده که حاوی پوشش گیاهی غیرمترکم است

(کومار و همکاران ۲۰۲۲؛ آرورا و ماتور ۲۰۰۱). در مناطق مذکور با توجه به اینکه تراکم پوشش گیاهی و سبزی زمین به اندازه مناطق شمالی ایران نیست، استفاده از شاخص های گیاهی با اطمینان بیشتری صورت می گیرد، زیرا شاخص های طیفی گیاهی مانند NDVI نسبت به تراکم پوشش گیاهی بسیار حساس می باشند. با توجه به مطالب گفته شده، در تحقیق حاضر به دلیل پوشش گیاهی بسیار مترکم منطقه چندین شاخص طیفی برای کلاس بندی پوشش گیاهی/ کاربری اراضی مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین با توجه به مشکل برداشت های میدانی زیاد در روش های طبقه بندی نظارت شده، طبقه بندی اراضی توسط درخت تصمیم و اعمال حد آستانه بر روی شاخص های طیفی انجام شد. هدف اصلی مطالعه حاضر، دستیابی به روشی مناسب جهت شناسایی سریع پوشش/ کاربری های منطقه از طریق ارزیابی و مقایسه عملکرد با استفاده از سه شاخص سبزیگی تفاضلی نرمال شده^۴، شاخص سطح برگ^۵ و شاخص گیاهی بهبود یافته^۶ در طبقه بندی پوشش گیاهی/ کاربری اراضی در شرایط زیست بوم خزر می باشد. بررسی افزایش عملکرد نتایج حاصل توسط مدل رقومی ارتفاع^۷ (DEM) در ترکیب با شاخص های طیفی مورد استفاده یکی دیگر از اهداف این پژوهش می باشد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، شهرستان لاهیجان واقع در استان گیلان با موقعیت جغرافیایی، ۵۰ درجه و صفر دقیقه طول شرقی و در ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی است (شکل ۱). شهرستان لاهیجان شامل اراضی هموار و جلگه ای است که حاصل رسوبات به جای مانده از رودهای گیلان است. از نظر هواشناسی، میانگین بارش سالانه لاهیجان ۱۴۵۵ میلی متر و میانگین دمای سالانه ی هوا در آن ۱۶/۱ درجه سانتی گراد است. میانگین

^۵ Leaf Area Index

^۶ Enhanced Vegetation Index

^۷ Digital Elevation Model

^۱ Normalized Difference Built-up Index

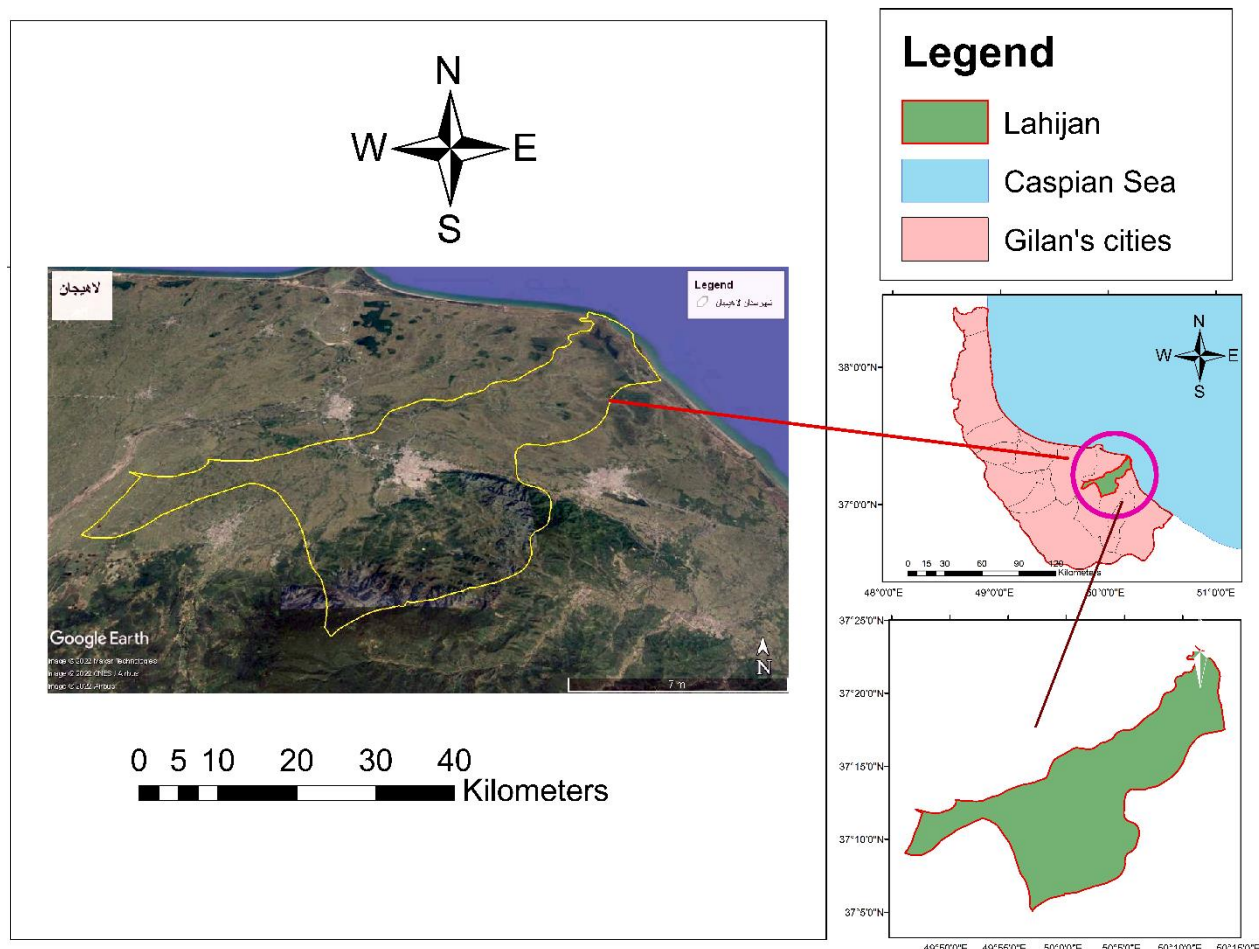
^۲ Spot

^۳ Quick bird

^۴ Normalized Difference Vegetation Index

۱۰/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (رحیمی اجدادی و خانی
۲۰۲۱).

حداکثر دمای سالانه ۲۱/۲ و میانگین حداقل دمای سالانه
آن ۱۱/۱ و اختلاف حداکثر و حداقل دمای سالانه در آن



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

آن جهت انتخاب شد که تقویم زراعی هر دو محصول
برنج (پایان دوره رشد رویشی و در دوره زایشی) و
چای را در بر می‌گرفت و شالیزارها و باغ‌های چای در
این زمان از پوشش خوبی برخوردار بودند. لازم به ذکر
است تصویر بر مبنای میزان کمترین درصد ابرناکی
انتخاب شد. همچنین، در این مطالعه از نقشه‌های گوگل
ارث^۱ و نقاط برداشت زمینی توسط GPS برای تعیین
نقاط کنترلی و تصحیح هندسی تصویر ماهواره‌ای
استفاده گردید. در فرایند تحقیق از مدل رقومی ارتفاع
برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر استفاده شد. داده‌های

جمع‌آوری داده

در انجام تحقیق، از تصویر سنجنده‌ی OLI ماهواره
لندست ۸، مجموعه ۲ سطح ۱ استفاده شد که بطور رایگان
قابل دانلود از سایت زمین‌شناسی آمریکا می‌باشند.
تصویر اخذ شده با توجه به موقعیت مکانی منطقه
مطالعاتی در گذر و ردیف ۱۶۶/۳۴ قرار داشت. برای اخذ
تصویر، تقویم زراعی محصولات کشاورزی و پوشش
گیاهی منطقه مورد ملاحظه قرار گرفت. از آنجایی‌که برنج
و چای کشت غالب منطقه است، تصاویر مربوط به ۲۷
تیر ماه سال ۱۳۹۹ مد نظر قرار گرفت. تاریخ مذکور از

¹ Google Earth

ارتفاع از سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS) اخذ شد. به این منظور از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری STRM 1-Arc second استفاده شد. این نوع داده جهت تولید نقشه توپوگرافیک رقومی سطح زمین استفاده می‌شود و بصورت رایگان در دسترس می‌باشد.

پیش‌پردازش تصاویر

در مرحله پیش‌پردازش، تنها تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی روی تصویر و برای باندهای مولتی اسپکترال سنجنده OLI انجام شد، زیرا داده‌های ماهواره‌ای Landsat Level 1 از لحاظ ژئومتریکی نیاز به تصحیح ندارند (پوتا‌پو و همکاران ۲۰۲۰ و ابیر و ساها ۲۰۲۱). پس از انجام تصحیح رادیومتریکی، از روش QUAC^۱ برای تصحیح اتمسفریک استفاده شد. این روش، در مقایسه با سایر روش‌های فیزیک-مبنا سریع‌تر بوده و تنها به ویژگی‌های تقریبی موقعیت باندی سنجنده نیاز دارد (برن اشتاین و همکاران ۲۰۱۲ و رحیمی اجدادی و خانی ۲۰۲۱). برای محدوده‌ی مورد مطالعه با توجه به نقشه‌های گوگل ارث و شناخت از کاربری‌های منطقه، شش کلاس کاربری/پوشش زمین، شامل اراضی شالیزاری، باغ چای، جنگل، مناطق مسکونی، مرداب (زمین بدون پوشش گیاهی) و آب تعیین گردید (جدول ۱).

لازم به توضیح است، اگرچه داده‌های پوشش زمین^۲ با مولفه‌های کاربری زمین^۳ همپوشانی دارند و بالعکس

(کومبر ۲۰۰۸)، این دو اصطلاح دارای تفاوت‌های اساسی هستند. پوشش زمین به پوشش طبیعی و فیزیکی زمین مانند جنگل، دشت، بیابان، رودخانه و جاده اشاره دارد. در حالیکه کاربری زمین به استفاده‌های گوناگون انسان از زمین شامل سکونتگاه‌ها، زمین‌های کشاورزی، شبکه‌های حمل و نقل و سدها اطلاق می‌شود (تاکار و همکاران ۲۰۱۴). در واقع، کاربری زمین ممکن است برای زمین‌های با پوشش یکسان، متفاوت باشد. برای مثال، پوشش زمین جنگلی ممکن است برای کاربری‌های گوناگونی همچون تولید چوب، منطقه تفریحی، حیات وحش، منطقه حفاظت‌شده و یا پارک دولتی عمومی در نظر گرفته شود (کافی ۲۰۱۳). از طرفی کاربری زمین بسته به نوع زمین و نیاز مردم با گذشت زمان ممکن است تغییر یابد، اما پوشش زمین معمولاً تغییرات کمی با زمان داشته، مگر اینکه بصورت هدفمند توسط انسان تغییر کند. پوشش زمین را می‌توان با مشاهده مستقیم زمین تعیین کرد، در حالی‌که کاربری زمین نیاز به تفسیر اجتماعی-اقتصادی فعالیت‌های در حال انجام در زمین می‌باشد (فیشر و همکاران ۲۰۰۵). در مطالعه حاضر، در ادامه با توجه به هدف مطالعه که هم کاربری‌هایی چون منطقه مسکونی و زمین‌های شالیزاری مد نظر بودند و هم پوشش طبیعی مانند جنگل و مرداب، از اصطلاح پوشش/کاربری زمین مانند بسیاری از تحقیقات مشابه استفاده می‌شود.

جدول ۱- تشریح طبقه‌های مختلف پوشش/کاربری زمین

ردیف.	طبقه کاربری	توضیحات
۱	شالیزار	شالیزار و زمین کشاورزی
۲	باغ چای	باغ‌های چای
۳	جنگل	درخت‌زارهای متراکم و تنک
۴	مسکونی	مسکونی، شبکه حمل و نقل
۵	مرداب	مرداب، زمین عاری از پوشش و سایر
۶	پیکره آبی	پیکره‌های آبی، استخر ماهی

شاخص‌های طیفی گیاهی

در این تحقیق برای طبقه‌بندی پوشش زمین/کاربری اراضی از سه شاخص طیفی مختلف شامل شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI)، شاخص سطح برگ (LAI) و شاخص گیاهی بهبودیافته (EVI) استفاده شد (جدول ۲). سه شاخص مورد استفاده به میزان تراکم گیاهی و سطح برگ پوشش گیاهی ارتباط دارند و به جهت اقلیم خاص منطقه انتخاب شدند که پوشیده از گیاه می‌باشد. شاخص‌های گیاهی در واقع ترکیبی خطی یا نسبی از مقادیر بازتاب‌ها در باندهای طیفی مختلف بویژه باندهای مادون قرمز نزدیک و مرئی هستند که برای ارتقاء تمایز طیفی بین گیاهان و سایر کاربری‌های اراضی استفاده می‌شوند (لی و همکاران ۲۰۱۷). شاخص NDVI برای بررسی میزان کلروفیل موجود در گیاه کاربرد دارد و با افزایش میزان کلروفیل گیاه، به همان میزان شاخص NDVI افزایش پیدا می‌کند. شاخص LAI برای تخمین

میزان تراکم و حجم گیاهان طراحی شده است. این شاخص بیانگر یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری و عملکردی درختان است (کانت سالیانس و همکاران ۲۰۲۰). افزایش این شاخص بیانگر افزایش میزان پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این شاخص دارای همبستگی مثبت و قوی با شاخص NDVI می‌باشد. معمولاً مقادیر این شاخص بین اعداد بزرگ‌تر از ۰ تا ۳ و کمی بالاتر است. شاخص EVI برای شناسایی پوشش گیاهی، رشد محصول و پژوهش‌های مرتبط با عملکرد محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (هوانگ و همکاران ۲۰۱۹) و حساسیت کمتری به پس‌زمینه‌های خاکی مختلف دارد (شامی و منگ ۲۰۲۱). در این شاخص اثر اتمسفر از لحاظ پخش الکترومغناطیسی تعدیل می‌شود. مهم‌ترین کاربرد این شاخص در محاسبه‌ی شاخص سطح برگ LAI است. برای تولید نقشه‌ی مربوط به هر شاخص از نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد.

جدول ۲- مشخصات شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این پژوهش

نام	نام اختصاری	رابطه	منبع
شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده	NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	روس و همکاران (۱۹۷۳)
شاخص گیاهی بهبودیافته	EVI	$\frac{2.5(NIR - R)}{(NIR + 6R - 7.5B) + 1}$	هیوت (۲۰۰۲)
شاخص سطح برگ	LAI	$3.618 EVI - 0.118$	بوئق و همکاران (۲۰۰۲)

طبقه‌بندی با درخت تصمیم

درخت تصمیم از روش‌های مرسوم در فرآیند طبقه‌بندی و یادگیری ماشین است. این روش یک مدل تصمیم‌گیری است که با استفاده از ساختاری درخت‌مانند و براساس ویژگی‌های داده‌ها طراحی شده و برای مدل کردن مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد (هو و همکاران ۲۰۲۲). این روش در بسیاری از انواع مطالعات از جمله پهنه‌بندی پوشش گیاهی (کاندريکا و روی ۲۰۰۸) و پهنه‌بندی خاک (خیر و همکاران ۲۰۰۸)

مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین از الگوریتم درخت تصمیم در مطالعات سنجش از دور و طبقه‌بندی کاربری اراضی بر مبنای آستانه‌گذاری داده‌های باندهای مختلف بهره گرفته می‌شود (فریدل و همکاران ۱۹۹۹). در این پژوهش، سه ساختار درخت تصمیم برای هر یک از شاخص‌های طیفی مورد نظر در نرم افزار ENVI 5.3 طراحی شد. هدف از طراحی این ساختارها، دستیابی به یک روش سریع و ساده برای تفکیک پوشش‌های مختلف گیاهی/کاربری‌های اراضی و معرفی دقیق‌ترین شاخص

حاضر جهت ارزیابی دقت طبقه‌بندی، از نمونه‌های زمین‌مرجع شده توسط GPS و نقشه‌های گوگل ارث استفاده شد. از طریق ایجاد ROI‌های زمین‌مرجع برای هر یک از کلاس‌های کاربری و کنار هم قرار دادن آن‌ها با کاربری‌های طبقه‌بندی شده ماتریس اغتشاش تشکیل شد. در نهایت، ارزیابی نقشه‌های طبقه‌بندی توسط درخت تصمیم با استفاده از پارامترهای دقت کلی^۱، ضریب کاپا^۲، دقت تولید کننده^۳ و دقت کاربر^۴ انجام گرفت.

نتایج و بحث

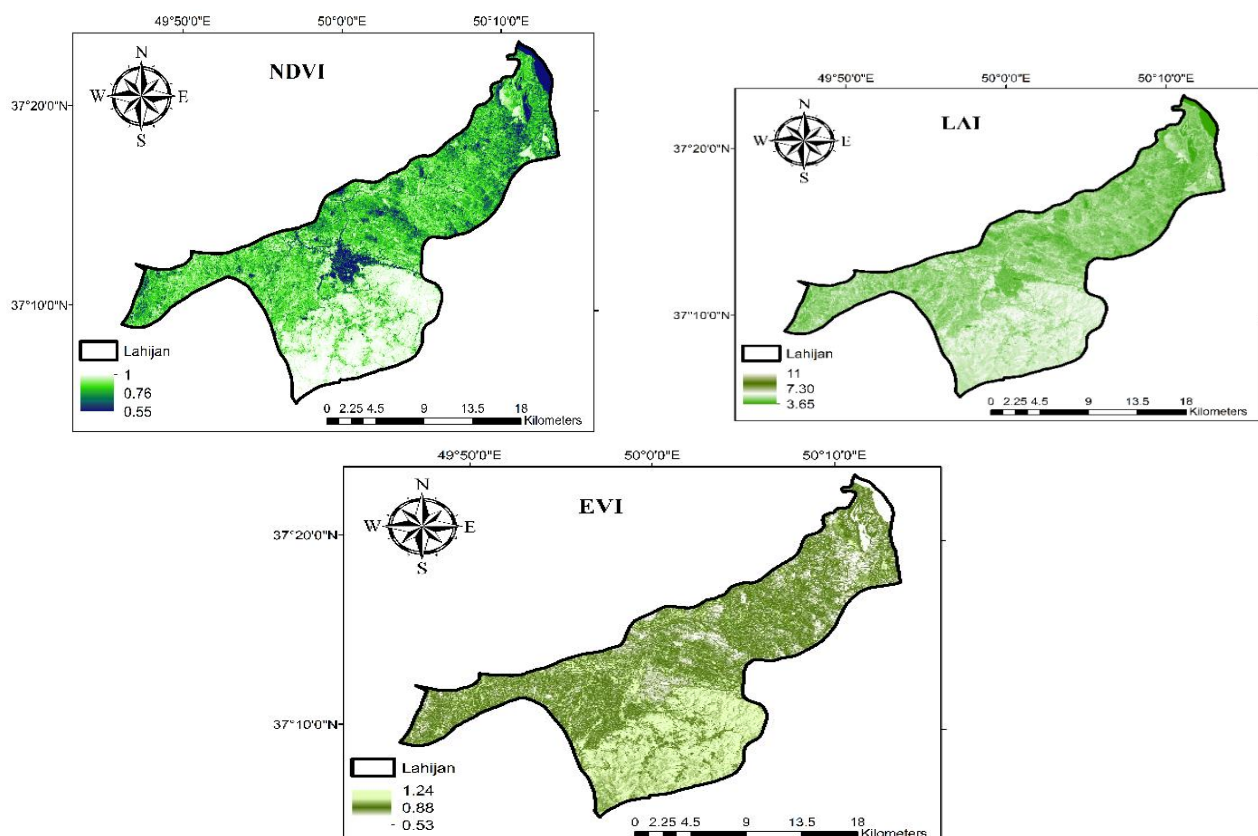
نقشه‌های حاصل از شاخص‌های مورد استفاده

نقشه‌های حاصل از اعمال سه شاخص LAI، NDVI و EVI در منطقه مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج طبقه‌بندی درخت تصمیم بود. ساختار درخت تصمیم برای هر شاخص بر اساس آستانه‌های حاصل از تصویر ماهواره‌ای به دست آمد.

ارزیابی دقت شاخص‌های طیفی

پس از شبیه‌سازی نقشه‌های کاربری اراضی به وسیله درخت تصمیم، نیاز به ارزیابی دقت نقشه خروجی مدل می‌باشد؛ تا به وسیله آن بتوان دقت شبیه‌سازی را محاسبه کرد. دو روش دیداری و آماری برای بررسی دقت مورد استفاده قرار می‌گیرد (لطیفیان ۲۰۱۵). در بررسی دقت در روش دوم از مقایسه‌ی آماری برای بررسی توافق یا عدم توافق دو نقشه استفاده می‌شود. از جمله روش‌های متداول مورد استفاده می‌توان به روش اعتبارسنجی، روش ROC، محاسبه شاخص کاپا و استفاده از آزمون کای اسکوئر را اشاره کرد. در تحقیق



شکل ۲- نقشه‌های تولید شده برای سه شاخص مورد مطالعه

³ Producer Accuracy

⁴ User Accuracy

¹ Overall Accuracy

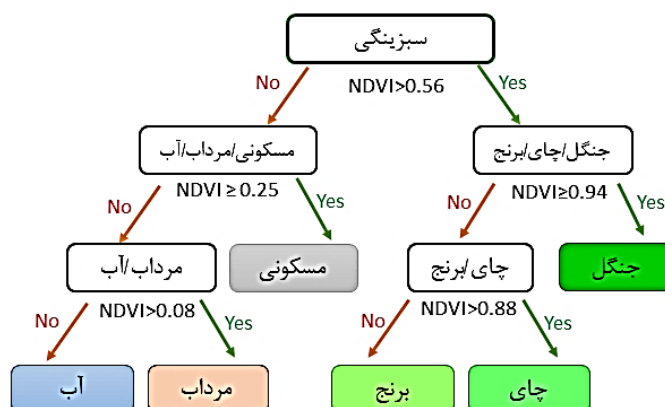
² Kappa Coefficient

شاخص در مناطق با پیکره آبی به رنگ تیره‌تر بوده و دارای کمترین مقدار یعنی صفر می‌باشد. شاخص EVI در منطقه مطالعاتی به ترتیب دارای مقادیر کمینه و بیشینه‌ی ۰/۲۶۶- و ۳/۱۲۱ بود. با مقایسه با نقشه‌های گوگل ارث و نقاط زمینی مشخص شد که روشن‌ترین نقاط مربوط به باغ‌های چای هستند.

ساختار درخت تصمیم برای شاخص‌های مختلف

ساختار درخت تصمیم که بر روی نقشه‌ی NDVI اعمال شد، در شکل ۳ نشان داده شده است.

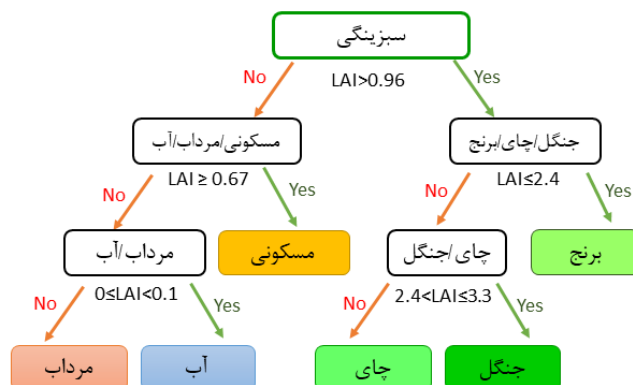
در نقشه NDVI، مناطق جنوبی لاهیجان به رنگ سفید و سبز روشن هستند که با تطابق با اطلاعات میدانی و نیز نقشه‌های گوگل ارث، نماینده‌ی پوشش جنگلی منطقه می‌باشند. مناطق آبی تیره که در بخش مرکزی منطقه به چشم می‌خورند مربوط به مناطق مسکونی و شهری می‌باشند. همان‌طور که انتظار می‌رود، هرچه میزان کلروفیل موجود در گیاه بیشتر باشد به همان میزان مقدار NDVI افزایش پیدا می‌کند. شاخص LAI در مناطق جنگلی که بیشترین تراکم گیاهی را دارند، به رنگ سبز روشن دیده شده و مقادیر حدود ۴ را نشان می‌دهد. این



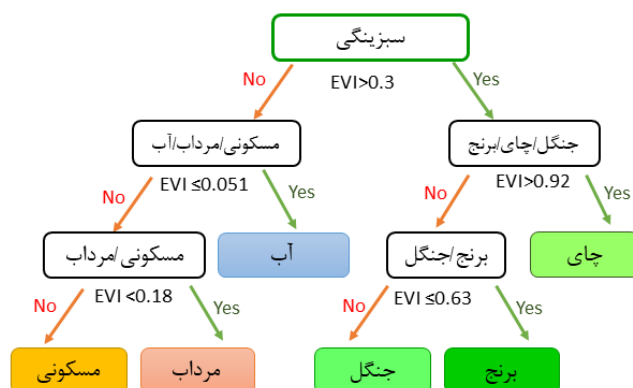
شکل ۳- ساختار درخت تصمیم مربوط به شاخص NDVI برای طبقه‌بندی پوشش/کاربری‌های مختلف زمین در لاهیجان

پوشش‌های خاک و مراتع و مقادیر بیشتر از ۰/۳ نیز نشان‌دهنده‌ی انواع پوشش گیاهی می‌باشد. دلیل تفاوت در مقدار آستانه پوشش گیاهی و غیر گیاهی (۰/۵۶) در برابر ۰/۳ را می‌توان به اقلیم خاص منطقه مربوط دانست که دارای تراکم بالای پوشش گیاهی می‌باشد و مناطق کم‌پوشش در آن کم‌تر دیده می‌شود. همچنین مقادیر آستانه جهت تفکیک کلاس‌های مختلف پوشش/کاربری مربوط به شاخص‌های LAI و EVI به ترتیب در نمودار درخت تصمیم شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

با توجه به شکل ۲ و مطابقت دادن آن با برداشت‌های میدانی و نقشه گوگل ارث مقدار آستانه ۰/۵۶ برای NDVI مناسب‌ترین مقدار برای تفکیک پوشش‌های گیاهی از پوشش‌های خاک، مرداب، مناطق مسکونی و آبی بود. در تحقیقاتی که از NDVI بمنظور شناسایی مناطق سبز استفاده شده، عموماً مقدار آن در مناطق با پوشش گیاهی متراکم و دارای کلروفیل زیاد نزدیک به ۱ ذکر شده است (ضیائی‌ان فیروزآبادی ۲۰۲۰ و نیک پور و همکاران ۱۳۹۷). بطور کلی بازه مقادیر NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر بوده و مقادیر کمتر از صفر به عنوان نواحی مرطوب و آب در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر بین ۰ تا ۰/۳



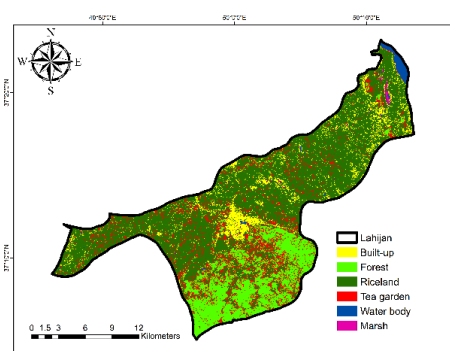
شکل ۴- ساختار درخت تصمیم مربوط به شاخص LAI برای طبقه‌بندی پوشش/ کاربری‌های مختلف زمین در لاهیجان



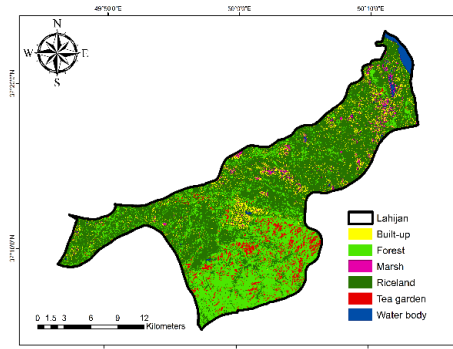
شکل ۵- ساختار درخت تصمیم مربوط به شاخص EVI برای طبقه‌بندی پوشش/ کاربری‌های مختلف زمین در لاهیجان

کلاس‌های مختلف به شمار رود. به این معنی که شاخص‌های LAI و EVI را می‌توان شاخص‌های مؤثرتری در جداسازی کاربری شالیزار از باغ‌های چای دانست. به همین ترتیب در مورد شاخص NDVI می‌توان استنباط کرد که اگر هدف تفکیک اراضی جنگلی از شالیزاری باشد، این شاخص کارایی بهتری داشته و قدرتمندتر عمل می‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مواردی که بجای طبقه‌بندی کلیه کلاس‌ها، تنها جداسازی یک پوشش/ کاربری خاص مد نظر باشد، می‌توان شاخصی را که در کلاس مورد نظر دقت بیشتری داشته، بکار گرفت.

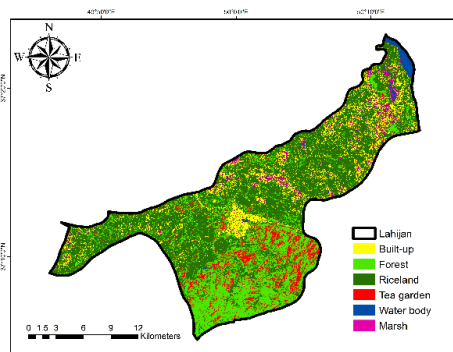
نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری/پوشش زمین لاهیجان که توسط روش درخت تصمیم انجام گرفت، در شکل ۶ برای سه شاخص نشان داده شده است. نکته‌ای که از مقایسه‌ی کلاس‌های مختلف مربوط به سه شاخص مورد مطالعه وجود دارد، مقدار بیشینه‌ی موجود در کلاس‌هاست. به عبارت دیگر در شاخص NDVI بیشترین مقدار متعلق به کلاس جنگل است، در حالی‌که در دو شاخص دیگر باغ‌های چای دارای بیشترین مقادیر می‌باشند. این موضوع را می‌توان به کارکرد مختلف این دو گروه شاخص و حساسیت آن‌ها از نظر میزان کلروفیل موجود در برگ‌ها و تراکم پوشش گیاهی مربوط دانست. این تفاوت در حداکثر شدت نور در کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی می‌تواند یک مزیت در جداسازی



NDVI



LAI



EVI

شکل ۶- نقشه‌های طبقه‌بندی حاصل از درخت تصمیم توسط سه شاخص

نتایج اعتبارسنجی

جدول ۴ تا ۶ نتایج اعتبارسنجی طبقه‌بندی با استفاده از سه شاخص را نشان می‌دهند. با توجه به این جداول، صحت کلی NDVI برابر با ۸۷/۷، LAI برابر ۷۱/۴ و EVI برابر ۷۱/۶ بدست آمده است. ضریب کاپای این سه شاخص به ترتیب ۰/۸۲۸، ۰/۶۰۹ و ۰/۶۱۴ می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که NDVI بطور کلی عملکرد بهتری نسبت به دو شاخص دیگر در طبقه‌بندی کاربری/پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه داشته است. عملکرد دو شاخص دیگر نزدیک به هم می‌باشد. با توجه به ماتریس اغتشاش مربوط به NDVI (جدول ۳)، کلاس باغ چای بیشترین تداخل را با کلاس شالیزار دارد، بطوری که ۲۹/۶۵ درصد از باغ‌های چای به اشتباه به عنوان شالیزار طبقه‌بندی شد. از طرفی ۹/۰۵ درصد این اراضی در کلاس جنگل و ۱۰/۵۵ درصد آن به اشتباه در کلاس مناطق

مسکونی قرار گرفت. دلیل اختلاط باغ‌های چای با مناطق مسکونی را می‌توان به بافت ویژه منطقه و کنار هم بودن منازل و باغ‌های منطقه مربوط دانست که سبب تداخل بازتاب‌های طیفی می‌گردد. شامی و منگ (۲۰۲۱) در تحقیقی که برای مدلسازی رشد محصولات کشاورزی انجام دادند، نتیجه مشابهی را برای شاخص NDVI و در رابطه با مزیت آن در پایش رشد محصولات بدست آوردند.

در طبقه‌بندی با شاخص LAI (جدول ۴)، بیشترین طبقه‌بندی اشتباه در کلاس شالیزار مربوط به اختلاط این کلاس با مناطق مسکونی است. دلیل این امر را می‌توان به بافت خاص مناطق شمال کشور مربوط دانست به نحوی که عموماً شالیزارها در اطراف مناطق مسکونی هستند. با توجه به اندازه پیکسل ۹۰۰ متر مربعی برای تصاویر چندطیفی ماهواره لندست، این موضوع سبب

می‌شود تعداد پیکسل‌های ناخالص (پیکسل‌هایی که هم شامل کاربری مسکونی و هم شالیزار می‌باشند) سبب کاهش دقت تفکیک شوند. مناطق شالیزاری اختلاطی با باغ‌های چای ندارند و این یکی از نقاط قوت این شاخص در مطالعاتی است که در آن‌ها هدف جداسازی شالیزارها از سایر پوشش‌های گیاهی است. نقطه ضعف این شاخص در تفکیک کلاس باغ‌های چای از جنگل می‌باشد بطوری که ۴۳/۲۲ درصد از نقاط جنگلی به اشتباه در کلاس باغ‌های چای قرار گرفته‌اند و این نشان‌دهنده آنست که شاخص مزبور کارایی لازم را در تفکیک باغ‌های چای ندارد. در عوض از این شاخص می‌توان

بطور مناسبی در تفکیک مناطق شالیزاری از پوشش جنگلی استفاده کرد، زیرا کمتر از ۱ درصد (۰/۷ درصد) از مناطق جنگلی به اشتباه به عنوان شالیزار طبقه‌بندی شده‌اند. بطور کلی این شاخص ضعیف‌ترین عملکرد را در جداسازی باغ چای از سایر پوشش‌های گیاهی داشته است. تحقیقی که توسط عندلیبی و همکاران (۲۰۲۱) بر روی تغییرپذیری شاخص LAI انجام شد، نتایج بدست آمده را تأیید می‌کند. نتایج پژوهش ذکر شده نشان داد که در جداکردن درخت و بوته، ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به شاخص LAI و بهترین عملکرد مربوط به شاخص EVI بوده است.

جدول ۳- ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی تصویر با NDVI

کاربری/پوشش زمین	شالیزار	باغ چای	جنگل	مسکونی	آب	مرداب	کل
شالیزار	۸۷/۸۳	۲۹/۶۵	۰/۲۸	۹/۱۳	۹/۲۴	۱۲/۳۹	۲۸/۴۵
باغ چای	۰/۵۳	۵۰/۷۵	۴/۶۴	۰/۰۳	۰/۸۴	۰/۰۰	۲/۶۱
جنگل	۰/۰۰	۹/۰۵	۹۵/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۳۶/۹۱
مسکونی	۱۱/۶۲	۱۰/۵۵	۰/۰۰	۹۰/۳۷	۶/۳۰	۲۶/۸۹	۲۵/۶۰
آب	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۲/۶۹	۷/۰۱	۱/۷۰
مرداب	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۷	۱۰/۹۲	۵۳/۷۰	۴/۷۳
کل	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
خطای اضافه (%)	۱۲/۸۹	۷۵/۰۶	۰/۳۱	۲۲/۴۲	۳۴/۲۲	۵/۸۷	
خطای حذف (%)	۱۲/۱۷	۴۹/۲۵	۴/۹۲	۹/۶۳	۲۷/۳۱	۴۶/۳۰	
صحت تولیدکننده (%)	۸۷/۸۳	۵۰/۷۵	۹۵/۰۸	۹۰/۳۷	۷۲/۶۹	۵۳/۷۰	
صحت کاربر (%)	۸۷/۱۱	۲۴/۹۴	۹۹/۶۹	۷۷/۵۸	۶۵/۷۸	۹۴/۱۳	
ضریب کاپا: ۰/۸۲۷۶							صحت کل: ۸۷/۶۵۶۶%

عملکرد EVI بسیار نزدیک به LAI بود (جدول ۵) و این شاخص نیز در جداسازی شالیزار کارایی مناسبی داشته است. اگر چه این شاخص در مقایسه با LAI از عملکرد نسبتاً پایین‌تری برخوردار بوده، در عوض کارایی آن نسبت به LAI در تشخیص باغ‌های چای تا اندازه‌ای بهتر است (۵/۰۲٪). عملکرد ضعیف‌تر LAI در تفکیک مناطق جنگلی و باغ‌های چای را می‌توان به ایجاد خطا و پدیده‌ی اشباع‌شدگی با افزایش سبزی‌نگی پوشش گیاهی مربوط دانست. همان‌طور که آبکار و همکاران

(۲۰۱۵) گزارش کردند، با افزایش سبزی‌نگی ناشی از افزایش تراکم پوشش گیاهی، حساسیت خطی شاخص‌های گیاهی به تغییرات LAI کاهش می‌یابد. بطور کلی میزان اختلاط مناطق مسکونی با شالیزار در هر سه شاخص قابل توجه می‌باشد که دلیل عمده‌ی آن بافت خاص منطقه است که در آن اکثر زمین‌های کشاورزی در نزدیکی منازل می‌باشد و در نتیجه تداخل بازتاب‌های طیفی از یکسو و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری ماهواره لندست ۸ از سوی دیگر باعث این خطا می‌گردد.

جدول ۴- ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی تصویر با LAI

کاربری/پوشش زمین	شالیزار	باغ چای	جنگل	مسکونی	آب	مرداب	کل
شالیزار	۷۸/۳۳	۲۱/۶۱	۰/۷۰	۴۰/۷۹	۹/۶۶	۱۰/۶۰	۳۲/۶۵
باغ چای	۰/۰۰	۲۵/۶۳	۱۱/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۴/۹۶
جنگل	۰/۳۴	۴۳/۲۲	۸۷/۳۴	۰/۶۵	۱/۲۶	۱/۲۵	۳۴/۷۱
مناطق مسکونی	۱۳/۶۶	۴/۰۲	۰/۰۰	۴۵/۸۴	۲/۵۲	۳/۸۲	۱۴/۳۴
آب	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۶/۰۵	۳۷/۴۹	۴/۲۷
مرداب	۷/۶۶	۵/۵۳	۰/۰۰	۱۲/۷۲	۱۰/۵۰	۴۶/۸۴	۹/۰۷
کل	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
خطای اضافه (%)	۳۲/۲۹	۹۳/۳۶	۲/۶۴	۲۹/۷۲	۷۲/۶۶	۵۷/۲۲	
خطای حذف (%)	۲۱/۶۷	۷۴/۳۷	۱۲/۶۶	۵۴/۱۶	۲۳/۹۵	۵۳/۱۶	
صحت تولیدکننده (%)	۷۸/۳۳	۲۵/۶۳	۸۷/۳۴	۴۵/۸۴	۷۶/۰۵	۴۶/۸۴	
صحت کاربر (%)	۶۷/۷۱	۶/۶۴	۹۷/۳۶	۷۰/۲۸	۲۷/۳۴	۴۲/۷۸	
ضریب کاپا: ۰/۶۰۹۳				صحت کلی: ۷۱/۳۵۵۷%			

جدول ۵- ماتریس اغتشاش مربوط به طبقه‌بندی تصویر با شاخص EVI

کاربری/پوشش زمین	شالیزار	باغ چای	جنگل	مسکونی	آب	مرداب	کل
شالیزار	۷۶/۵۰	۱۷/۵۹	۰/۱۳	۳۹/۱۸	۷/۹۸	۹/۹۸	۳۱/۴۳
باغ چای	۰/۰۰	۳۰/۶۵	۱۸/۸۷	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۷/۷۰
جنگل	۱/۷۴	۴۱/۷۱	۸۱/۰۰	۱/۲۳	۲/۹۴	۱/۸۷	۳۲/۸۴
مناطق مسکونی	۱۸/۱۴	۷/۵۴	۰/۰۰	۵۷/۶۲	۳/۷۸	۶/۲۴	۱۸/۴۶
آب	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۷۴/۷۹	۲۸/۴۵	۳/۵۱
مرداب	۳/۶۱	۲/۵۱	۰/۰۰	۱/۹۴	۱۰/۵۰	۵۳/۴۷	۶/۰۷
کل	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
خطای اضافه (%)	۳۱/۳۱	۹۴/۸۹	۴/۵۶	۳۱/۳۷	۶۷/۲۲	۲۷/۰۲	
خطای حذف (%)	۲۳/۵۰	۶۹/۳۵	۱۹/۰۰	۴۲/۳۸	۲۵/۲۱	۴۶/۵۳	
صحت تولیدکننده (%)	۷۶/۵۰	۳۰/۶۵	۸۱/۰۰	۵۷/۶۲	۷۴/۷۹	۵۳/۴۷	
صحت کاربر (%)	۶۸/۶۹	۵/۱۱	۹۵/۴۴	۶۸/۶۳	۳۲/۷۸	۷۲/۹۸	
ضریب کاپا: ۰/۶۱۴۳				صحت کلی: ۷۱/۵۶۸۸%			

تخمین مساحت کاربری‌ها با استفاده از شاخص‌ها

جدول ۶، مساحت مربوط به هر کلاس کاربری/پوشش گیاهی را برای هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با توجه به هدف اصلی این مقاله که تمرکز بر آشکارسازی پوشش گیاهی است، به مقایسه نتایج بدست آمده مربوط به جدول ۶ برای سه کلاس شالیزار، باغ چای و جنگل پرداخته می‌شود. داده‌های مساحت حاکی از آن است که مساحت تخمینی توسط NDVI برای کلاس شالیزار بیشتر از دو شاخص دیگر می‌باشد. از طرفی

فرق بسیار زیادی بین مساحت تخمین زده شده در کلاس باغ‌های چای این شاخص با دو شاخص دیگر وجود دارد. با توجه به تحلیل صورت گرفته، هم در بخش اعتبارسنجی و هم در بخش طبقه‌بندی با درخت تصمیم، نتیجه می‌شود که NDVI در تفکیک کلاس شالیزار و باغ چای ضعیف‌تر از دو شاخص دیگر عمل می‌کند. طبق گزارش دیکان و همکاران (۲۰۱۳) از آنجایی که چای یک گیاه همیشه سبز چوبی است، ویژگی‌های طیفی آن به راحتی با پوشش گیاهی مشابه مانند باغ‌ها و بوته‌ها اشتباه گرفته می‌شود، بنابراین دستیابی به دقت ایده آل برای شناسایی مزارع

چای تنها با استفاده از ویژگی‌های طیفی دشوار است. این مورد با توجه به جدول ۶ نیز قابل تایید است. نتایج پژوهش کمکی و همکاران (۲۰۱۹) در محاسبه درصد پوشش توده گیاهی با استفاده از شاخص EVI نتایج مشابهی را در بر داشت. در کلاس جنگل نیز مساحت بدست آمده از NDVI تفاوت بیشتری را با دو شاخص دیگر نشان می‌دهد. با توجه به مساحت بدست آمده برای باغ چای در NDVI که تقریباً دو برابر مقادیر متناظر دو شاخص دیگر است، نتیجه می‌شود نزدیکی مقدار رقومی^۱ پیکسل‌های این دو کاربری در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک که به نوبه‌ی خود سبب نزدیکی و همپوشانی مقادیر NDVI آنها شده، سبب اختلاط این دو کاربری و ایجاد مقادیر غیرواقعی گردیده است. زیرا NDVI اطلاعات موجود در پوشش گیاهی را بر اساس جذب

کلروفیل در طیف قرمز (۰/۶۸ - ۰/۶۲ میکرومتر) نسبت به بازتاب در طیف مادون قرمز نزدیک (۰/۸۶ - ۰/۷۷ میکرومتر) اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین NDVI پاسخی است به میزان سبزی پوشش گیاهی (تاکار و همکاران ۲۰۱۴). آرورا و ماتور (۲۰۰۱) نیز گزارش کردند که طبقه‌بندی تنها برپایه شاخص‌های طیفی، اطلاعات موثری از کاربری اراضی فراهم نمی‌کند و نیاز به استفاده از داده‌های کمکی دیگری برای دستیابی به دقت مطلوب می‌باشد. براین اساس و با توجه به نتایج ارزیابی (جدول ۳) و صحت کلی بهتر NDVI (۸۷/۶۶٪) نسبت به دو شاخص دیگر در ادامه از تکنیک‌های تکمیلی برای افزایش دقت NDVI در تفکیک سه کلاس گیاهی شامل جنگل، شالیزار و باغ چای استفاده می‌شود.

جدول ۶ - مساحت کلاس‌های مختلف کاربری/پوشش زمین حاصل از طبقه‌بندی با سه شاخص مختلف

ردیف	کلاس کاربری	NDVI		LAI		EVI	
		هکتار	٪	هکتار	٪	هکتار	٪
۱	شالیزار	۲۴۴۵۶/۲۳	۶۰/۰	۲۲۳۲۷/۹۲	۵۴/۸	۱۹۳۳۷/۶۱	۴۷/۴
۲	باغ چای	۴۷۴۹/۷۵	۱۱/۷	۲۰۱۱/۷۸	۴/۹	۲۹۰۹/۰۸	۷/۱
۳	جنگل	۷۳۳۶/۱۳	۱۸/۰	۱۱۷۵۲/۲۴	۲۸/۸	۱۳۷۶۶/۸۹	۳۳/۸
۴	منطقه مسکونی	۳۶۲۳/۱۵	۸/۹	۲۵۷۴/۵۶	۶/۳	۳۳۶۱/۰۴	۸/۲
۵	مرداب	۱۵۷/۷۹	۰/۴	۱۵۷۲/۶۰	۳/۹	۸۸۹/۸۷	۲/۲
۶	پیکره آبی	۴۴۳/۰۸	۱/۱	۵۲۷/۰۳	۱/۳	۵۰۱/۶۴	۱/۲
	مساحت کل	۴۰۷۶۶/۱۳	۱۰۰/۰	۴۰۷۶۶/۱۳	۱۰۰/۰	۴۰۷۶۶/۱۳	۱۰۰/۰

راه حل پیشنهادی برای تفکیک سه کلاس جنگل،

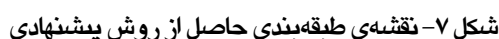
شالیزار و باغ چای

طبقه‌بندی پوشش/کاربری زمین با استفاده از شاخص‌های طیفی بر اساس تفاوت گستره‌ی مقادیر رقومی پیکسل‌های یک کاربری از کاربری دیگر صورت می‌گیرد. بنابراین اگر فاصله بین مقادیر رقومی مربوط به دو کاربری معین زیاد باشد و به عبارتی همپوشانی بین گستره‌ی مقادیر آنها کمتر باشد، عمل طبقه‌بندی با دقت بالاتری انجام خواهد شد. نزدیکی ذاتی بین بازتاب طیفی و میزان سبزیگی باغ چای و جنگل همواره یکی از

مشکلات اساسی در تفکیک این دو کاربری بوده، بطوری‌که در تحقیقات پیشین نیز به آن اشاره شده است (ژو و همکاران ۲۰۱۹). همچنین بافت درهم‌تنیدگی شالیزار و باغ چای و کوچک‌بودن مساحت زمین‌ها سبب دقت پایین تفکیک این دو کاربری شده است. راه‌حل پیشنهادی در این تحقیق استفاده از ترکیب داده‌های ارتفاعی و NDVI می‌باشد. وارد کردن عامل ارتفاع از دو جنبه می‌تواند سبب افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس جنگل و باغ چای شود: الف- از آنجا که باغ‌های چای منطقه، عموماً در ارتفاعات پایین‌تر از ۳۱۵ متر قرار دارند، در

^۱ Digital Number

حالی که جنگل‌ها در ارتفاعات بالاتر نیز دیده می‌شوند؛ بنابراین از مقدار آستانه ۳۱۵ متر برای بالاتر بردن دقت تفکیک کلاس باغ چای و جنگل استفاده شد. ب- چون ارتفاع نقاط بر روی میزان بازتاب طیفی پدیده‌ها نقش دارد. برای مثال، در جلگه میزان بیشینه‌ی NDVI باغ چای ۰/۹۲ و در نقاط مرتفع‌تر این مقدار به ۰/۹۴ افزایش می‌یابد. بنابراین بجای در نظر گرفتن یک مقدار آستانه‌ی ثابت برای تفکیک دو کاربری، از دو مقدار حد آستانه با توجه به ارتفاع مناطق استفاده شد.



لازم به ذکر است دلیل ثابت ماندن حد آستانه NDVI برای کاربری شالیزار برنج این بود که در منطقه مطالعاتی زمین‌های تحت کشت برنج عموماً در ارتفاع زیر ۱۵۰ متر قرار داشتند و عامل ارتفاع از این جهت نمی‌تواند تاثیر زیادی بر روی بازتاب طیفی این کلاس داشته باشد. نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی با روش پیشنهادی نشان داد که دقت طبقه‌بندی به میزان قابل توجهی افزایش یافت، بطوریکه صحت کلی بدست آمده ۹۲/۶۰٪ و ضریب کاپا ۰/۸۹۳۴ بود. نتایج بدست آمده با نتایج زو و همکاران (۲۰۱۹) در تفکیک کلاس‌های مختلف مرتع توسط تصاویر چندزمانه، طبقه‌بند ماشین بردار پشتیبان و نیز داده‌های ارتفاع به عنوان داده‌های کمکی مطابقت دارد. نوین وفام (۲۰۱۶) نیز افزایش دقت طبقه‌بندی با در نظر گرفتن پارامتر ارتفاع را در طبقه‌بندی نظارت شده تاسد کردند.

باغ‌های چای باشد می‌توان با توجه به خزان درختان در زمستان و عدم کشت محصول برنج در این فصل و از طرفی همیشه‌سبزبودن بوته‌های چای از تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌ی زمستان استفاده کرد. در صورت استفاده از تصاویر فصل زمستان، به دلیل خالی‌بودن

زمین‌های شالیزاری از پوشش سبز، عمدتاً اختلاط زیادی بین شالیزار با کاربری‌های غیرسبز مانند منطقه‌مسکونی، راه‌ها و زمین‌های بایر بوجود خواهد آمد و دقت پایینی بدست حاصل خواهد شد.

جدول ۷- مساحت کلاس‌های مختلف کاربری/پوشش زمین حاصل از طبقه‌بندی با روش پیشنهادی

ردیف	کلاس کاربری/پوشش	مساحت	
		هکتار	%
۱	شالیزار	۲۴۴۵۵/۹۶	۵۹/۹۹
۲	باغ چای	۱۹۵۲/۳۹	۴/۷۹
۳	جنگل	۱۰۱۳۳/۵۷	۲۴/۸۶
۴	منطقه مسکونی	۳۶۲۳/۲۴	۸/۸۹
۵	مرداب	۱۵۷/۸۸	۰/۳۹
۶	پیکره آبی	۴۴۳/۰۸	۱/۰۹
	مساحت کل	۴۰۷۶۶/۱۳	۱۰۰/۰

نتیجه‌گیری

استفاده از هر یک از سه شاخص طیفی LAI، NDVI و EVI در طبقه‌بندی کاربری/پوشش زمین با صحت کلی بیش از ۷۰٪ می‌تواند به عنوان یک ابزار سریع مدیریتی جهت تهیه نقشه‌های بروز از منطقه مطالعاتی شمال کشور با پوشش/کاربری‌های جنگل، باغ چای، شالیزار، منطقه مسکونی، پیکره آبی و مرداب مورد استفاده قرار گیرد. بین سه شاخص یادشده، NDVI بیشترین صحت کلی را با مقدار ۸۷/۶۶٪ در طبقه‌بندی با روش درخت تصمیم ارائه کرد. عملکرد دو شاخص دیگر مورد مطالعه با اختلاف صحت کلی حدود ۱۶ درصد، پایین‌تر از NDVI ضعیف‌تر بود. با توجه به نتایج بدست آمده از ماتریس اغتشاش، دلیل پایین بودن صحت کلی طبقه‌بندی، خطای ایجادشده در تفکیک کلاس‌های گیاهی شامل شالیزار، باغ چای و جنگل بود. برای بهبود نتایج، استفاده از ترکیب داده‌های DEM با نقشه‌ی NDVI پیشنهاد شد. نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع می‌تواند به میزان قابل توجهی صحت کلی طبقه‌بندی

توسط درخت تصمیم را بهبود بخشد، بطوری‌که صحت کلی از ۸۷/۶۶٪ به ۹۲/۶۰٪ افزایش یافت. روش پیشنهادی سبب افزایش صحت طبقه‌بندی کلاس باغ چای از ۵۰/۷۵٪ به ۸۷/۸۶٪ و افزایش صحت طبقه‌بندی کلاس جنگل از ۹۵/۰۸٪ به ۹۸/۱۸٪ شد. بنابراین روش طبقه‌بندی درخت تصمیم و اعمال حدود آستانه‌ی ترکیبی NDVI و DEM می‌تواند بطور موثری برای تفکیک کلاس‌های مختلف کاربری/پوشش اراضی جهت تولید نقشه‌های بروز منطقه مورد استفاده قرار گیرد. نتایج این تحقیق برای پایش وضعیت تغییرات کاربری اراضی مناطق شمال کشور که در یکی دو دهه اخیر شاهد کاهش شدید مساحت کاربری/پوشش‌های گیاهی بوده‌است، حائز اهمیت می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسنده از حمایت دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان در انجام این پژوهش قدردانی می‌کند.

منابع مورد استفاده

- Abir FA and Saha R. 2021. Assessment of land surface temperature and land cover variability during winter: a spatio-temporal analysis of pabna municipality in bangladesh. *Environmental Challenges*, 4: 100167.
- Abkar AA, Safdarinezhad A, Zamani M, Sufbaf SR, Gholami Bidkhani N and Ghafari O. 2015. Analyzing and modeling of correlation between LAI and vegetation indices using spectroradiometric observations. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 7(2): 69-88. (In Persian)
- Adjorlolo C, Mutanga O, Cho M and Ismail R. 2012. Challenges and opportunities in the use of remote sensing for c3 and c4 grass species discrimination and mapping. *African Journal of Range & Forage Science*, 29(2): 47-61.
- Alavipanah SK. 2003. Application of remote sensing in earth science. Tehran, University of Tehran. (In Persian)
- Alipour F, Aghkhani MH, Abbaspour-Fard MH and Sepehr A. 2014. Demarcation and estimation of agricultural lands using ETM+ imagery data (case study: astan ghods razavi great farm). *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2): 244-254. (In Persian) DOI: 10.22067/jam.v4i2.34827
- Andalibi L, Ghorbani A, Moameri M, Hazbavi Z, Nothdurft A, Jafari R and Dadjou F. 2021. Leaf Area Index Variations in Ecoregions of Ardabil Province, Iran. *Remote Sensing*, 13: 2879.
- Arora MK and Mathur S. 2001. Multi-source classification using artificial neural network in a rugged terrain. *Geocarto International*. 16(3): 37-44.
- Attarchi S, Poorrahi M and Isazade V. 2020. Comparison of spectral indices and object-based classification for built-up area extraction in different urban areas. *Geographical Urban planning Research*, 8(1): 23-43. (In Persian)
- Bernstein LS, Adler-Golden SM, Jin X, Gregor B and Sundberg RL. 2012. Quick atmospheric correction (Quac) code for VNIR-SWIR spectral imagery. algorithm details. 4th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS). Shanghai, China.
- Boegh E, Soegaard H, Broge N, Hasager C, Jensen N Schelde, K and Thomsen A. 2002. Airborne multi-spectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3): 179-193.
- Bovolo F, Bruzzone L and Marconcini M. 2008. A novel approach to unsupervised change detection based on a semisupervised SVM and a similarity measure. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(7): 2070-2082.
- Cañete-Salinas P, Zamudio F, Yáñezd M, Gajardo J, Valdés H, Espinosa C, Venegas J, Retamal L, Ortega-Farias S and Acevedo-Opazo C. 2020. Evaluation of models to determine LAI on poplar stands using spectral indices from sentinel-2 satellite images. *Ecological Modelling*, 428: 109058.
- Coffey R. 2013, The difference between “land use” and “land cover”, Michigan State University Extension.
- Comber AJ. 2008. Land use or land cover. *Journal of Land Use Science*. 3(4): 199-201, DOI: 10.1080/17474230802465140
- Dihkan M, Guneroglu N, Karsli F and Guneroglu A. 2013. Remote sensing of tea plantations using an SVM classifier and pattern-based accuracy assessment technique. *International Journal of Remote Sensing*. 34: 8549-8565.
- Fisher P, Comber AJ and Wadsworth R. 2005. Land use and land cover: contradiction or complement. *Representing GIS*. 85: 98.
- Friedl MA, Brodley CE and Strahler A. H. 1999. Maximizing land cover classification accuracies produced by decision trees at continental to global scales. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(2): 969-977.

- Hou T, Sun W, Chen C, Yang G, Meng X, and Peng J. 2022. Marine floating raft aquaculture extraction of hyperspectral remote sensing images based decision tree algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 111: 102846.
- Houborg R, Soegaard H and Boegh E. 2007. Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 106(1): 39-58.
- Huang X, Liu J, Zhu W, Atzberger C and Liu Q. 2019. The optimal threshold and vegetation index time series for retrieving crop phenology based on a modified dynamic threshold method. *Remote Sensing*, 11(23): 2725.
- Huete A. 2002. *Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring: Manual of remote sensing 3ed, Vol 4*, University of Arizona.
- Kandrika S and Roy PS. 2008. Land use land cover classification of orissa using multi-temporal IRS-P6 awifs data: a decision tree approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(2): 186-193.
- Kato S and Yamaguchi Y. 2005. Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ data: separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2): 44-54.
- Kheir RB, Abdallah C, Runnstrom M and Martensson U. 2008. Designing erosion management plans in lebanon using remote sensing, GIS and decision-tree modeling. *Landscape and Urban Planning*, 88(2-4): 54-63.
- Komaki CB, Asadikia R and Niknahad Gharmakhar H. 2019. Estimation of vegetation cover percentage and biomass using remote sensing indices (case study: protected areas of southern Alborz, Karaj). *RS & GIS for Natural Resources*, 10(1): 1-16. (In Persian)
- Kumar BP, Babu KR, Anusha BN, Rajasekhar M. 2022. Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI / TIRS, LST, and NDVI approach. *Environmental Challenges*. 8: 100578.
- Li H, Wang C, Zhong C, Zhang Z and Liu Q. 2017. Mapping typical urban LULC from landsat imagery without training samples or self-defined parameters. *Remote sensing*, 9(7): 700.
- Liu L and Zhang Y. 2011. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: a case study in Hong Kong. *Remote sensing*, 3(7): 1535-1552.
- Lotfian R. 2015. Change detection and predication of urban development in kashan region using CA-Markov and GEOMOD method. Faculty of Natural Resources. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Matsushita B, Yang W, Chen J, Onda Y and Qiu G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11): 2636-2651.
- Mesri A, Rahimi-Ajdadi F and Bagheri I. 2022. Monitoring rice land changes using GIS and RS. *Journal of Agricultural Machinery*. 12(4): 515-527. (In Persian)
- Nguyen TTH and Pham TTT. 2016. Incorporating ancillary data into Landsat 8 image classification process: a case study in Hoa Binh, Vietnam. *Environmental Earth Sciences*. 75: 430.
- Nikpour N, Negaresh H, Fotoohi S, Hosseini SZ and Bahrami S. 2019. Monitoring the trend of vegetation changes one of the most important indicators of land degradation (in Ilam province). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 5(4): 21-48. (In Persian)
- Pan F, Xi X and Wang C. 2020. A comparative study of water indices and image classification algorithms for mapping inland surface. *Remote Sensing*, 12: 1611.
- Polydoros A and Cartalis C. 2015. Use of earth observation based indices for the monitoring of built-up area features and dynamics in support of urban energy studies. *Energy and Buildings*, 98: 92-99.

- Potapov P, Hansen MC, Kommareddy I, Kommareddy A, Turubanova S, Pickens A, Adusei B, Tyukavina A and Ying Q. 2020. Landsat analysis ready data for global land cover and land cover change mapping. *Remote sensing*, 12(3): 426.
- Rahimi-Ajdadi F and Khani M. 2021. Remote sensing-based detection of tea land losses: the case of Lahijan, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23: 100568.
- Ramos JF, Renza D and Ballesteros LDM. 2018. Evaluation of spectral similarity indices in unsupervised change detection approaches. *Dyna*, 85(204): 117-126.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA and Deerin DW. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. N. SP-351. Ed Third ERTS Symposium. 1: 309- 317. Whashington. NASA
- Shammi SA and Meng Q. 2021. Use time series NDVI and EVI to develop dynamic crop growth metrics for yield modeling. *Ecological Indicators*, 121: 107124.
- Thakkar A, Desai V, Patel A and Potdar M. 2014. Land use/land cover classification of remote sensing data and their derived products in a heterogeneous landscape of a Khan-Kali Watershed, Gujarat. *Asian Journal of Geoinformatics*. 14(4): 1-12.
- Xi Y, Thinh NX and Li C. 2019. Preliminary comparative assessment of various spectral indices for built-up land derived from Landsat-8 OLI and Sentinel-2A MSI imageries. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1): 240-252.
- Xu H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025-3033.
- Xu H. 2010. Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the normalized difference impervious surface index (NDISI). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(5): 557-565.
- Xu D, Chen B, Shen B, Wang X, Yan Y, Xu L and Xin X. 2019. The classification of grassland types based on object-based image analysis with multisource data. *Rangeland Ecology & Management*. 72: 318–326.
- Yang C, Odvody GN, Fernandez CJ, Landivar JA, Minzenmayer RR and Nichols RL. 2015. Evaluating unsupervised and supervised image classification methods for mapping cotton root rot. *Precision Agriculture*, 16(2): 201-215.
- Zeaiean Firoozabadi P. 2020. Utilization of NDVI, VTCI and WDI indices in analyzing the effects of drought severity and duration on vegetation density in Siminehrood catchment. *Applied Researches in Geographical Sciences*. 20(59): 371-392.
- Zha Y, Gao J and Ni S. 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3): 583-594.
- Zhang Y, Odeh IO and Han C. 2009. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(4): 256-264.
- Zhong L, Hawkins T, Biging G and Gong P. 2011. A phenology-based approach to map crop types in the San Joaquin Valley, California. *International Journal of Remote Sensing*. 32(22): 7777-7804.
- Zhu J, Pan Z, Wang H, Huang P, Sun J, Qin F and Liu Z. 2019. An improved multi-temporal and multi-feature tea plantation identification method using Sentinel-2 imagery. *Sensors*. 19: 2087. doi: 10.3390/s19092087