

Land cover classification in Zarinehroud's Riparian Ecosystem: Separating tree and shrub species using Sentinel 1 and Sentinel 2 Time Series Imagery

S. Teimouri ^{1*}, F. Ahmadloo ², J. Henare ³, S. Razavizadeh ², M. Calagari ⁴ and A. Gohardoost ⁵

1* - Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: srteimouri@gmail.com

2- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Assistant Prof., West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

4- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

5- Researcher, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 11.10.2023

Accepted: 06.01.2024

Abstract

Background and Objectives: Given the significance of investigating and monitoring riparian ecosystems, this study was conducted to identify and map the land cover, including tree and shrub species classes, around the Zarinehroud River in West Azerbaijan province, Iran. Recognizing that the separation of lands with high spectral similarity using single-time images is not precise, this study utilized a time series of satellite images, capitalizing on the phenological differences of plant species.

Methodology: The research separated the land cover classes into two stages. In the first stage, the time series data from Sentinel 1 and 2 were used to map different classes of tree cover (natural, wood farming, orchard), shrub cover (natural, orchard), grass or pasture, agriculture, residential lands, soil, and water bodies. Given that seasonal changes in the images can provide valuable information about land cover classes, a one-year (2021) time series of Sentinel 2 optical images and Sentinel 1 radar polarizations for 2021, in the form of median in each season, were processed on the Google Earth Engine platform. The data were classified using four composites of input features and four classifiers. In the second stage, to separate the vegetation classes into Tamarix, willows, orchard, and poplar plantation, the trend of one-year changes of normalized difference vegetation index (NDVI), normalized green red difference index (NGRD), normalized difference red edge index (NDREI), and green normalized difference vegetation index (GNDVI) combined with HV polarization of Sentinel 1 radar in the form of median in seasons, was used as an input feature. The land cover map produced contained Tamarix, willows, orchard, poplar plantation, grass or pasture, agriculture, residential lands, soil, and water bodies.

Results: In the first stage of classification, the input feature of NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal)_ Sentinel 2 (Seasonal) and the random forest classifier were the best feature and the most accurate classification algorithm, separating the classes from each other with an overall accuracy and Kappa coefficient of 88% and 0.85, respectively. In the second stage of classification, the NDVI index between the months of April and November enabled the separation of all four tree and shrub covers. GNDVI between December and April was the best indicator for separating willows. Also, between May to November, it effectively separated Tamarix. NGRDI was suitable between May and November for separating Tamarix and also separated the poplar plantations between April and November. The GNDVI index between April and September effectively separated the two categories of orchards and poplar plantations from Tamarix and willows. The map was generated using the mentioned input feature and random forest algorithm. The overall accuracy and Kappa coefficient obtained from the validation relying on ground samples and Google Earth images were 80% and 0.77, respectively. The main diagonal of the error matrix shows the highest separation between water, soil, and urban land classes. Among the vegetation classes, willows and agricultural lands exhibited the best distinction.

Conclusion: The variation in a plant's phenology, encompassing leafing, blossoming, fruiting, fall, and sleep cycle, leads to changes in the values of vegetation indicators during the seasons, which can be utilized in mapping vegetation to enhance separability. Consequently, if tree and shrub stands are pure and exhibit a different phenological behavior from their neighbors, they can be distinguished with higher accuracy using time series of satellite images.

Keywords: Google earth engine, phenology, radar, Riparian Ecosystem of Zarinehroud, separation of plant species.



طبقه‌بندی پوشش زمین کرانه رودخانه زربینه‌رود به تفکیک گونه‌های درختی و درختچه‌ای با استفاده از سری زمانی سنتینل ۱ و ۲

سارا تیموری^{۱*}، فاطمه احمدلو^۲، جلال هناره^۳، سمانه رضوی‌زاده^۲، محسن کلاگری^۴ و آزاده گوهردوست^۵

*^۱ - نویسنده مسئول، استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: srteimouri@gmail.com

^۲ - استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳ - استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

^۴ - دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۵ - پژوهشگر، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: از آنجایی که شناخت و پایش بوم‌سازگان‌های کران‌آبی، اولین گام در مدیریت و حفاظت آن‌ها است، تولید نقشه پوشش زمین به تفکیک گونه‌های درختی و درختچه‌ای در محدوده حریم رودخانه زربینه‌رود در استان آذربایجان غربی در پژوهش پیش‌رو مدنظر قرار گرفت. در تهیه نقشه‌های پوشش زمین، تفکیک اراضی با شباهت زیاد طیفی با استفاده از تصاویر تک‌زمانه، دقت چندانی ندارد، بنابراین در پژوهش پیش‌رو، سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای برای استفاده از تفاوت‌های فنولوژیک گونه‌های گیاهی در تفکیک طبقه‌های درختی و درختچه‌ای به‌کار برده شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، طی دو مرحله، طبقه‌های پوشش زمین از یکدیگر تفکیک شده‌اند. در مرحله اول با استفاده از داده‌های سری زمانی سنتینل ۱ و ۲ طبقه‌های کلی پوشش درختی (طبیعی، باغ و صنوبرکاری)، پوشش درختچه‌ای (طبیعی و باغ)، پوشش علفی (مرتعی)، زراعت، اراضی شهری، پهنه آبی و خاک از یکدیگر تفکیک شدند. برای دستیابی به هدف مذکور و با توجه به اینکه تغییرات فصلی تصاویر می‌تواند اطلاعات مناسبی از طبقه‌های پوشش زمین در اختیار بگذارند، تصاویر سنتینل ۲ و قطبش‌های راداری سنتینل ۱ متعلق به سال ۲۰۲۱ به‌صورت مدیان (Median) در هر فصل در سکوی گوگل ارث انجین پردازش شدند. داده‌های مذکور به‌صورت چهار ترکیب لایه ورودی و با چهار الگوریتم یادگیری ماشین در طبقه‌بندی استفاده شدند. در مرحله دوم برای تفکیک پوشش درختی و درختچه‌ای به طبقه‌های بید، گز، باغ و صنوبرکاری براساس تفاوت در روند فنولوژی پوشش گیاهی غالب منطقه (بیدها، گزها، باغات میوه و صنوبرکاری‌ها)، با استفاده از روند تغییرات یک‌ساله شاخص‌های تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)، تفاضل سبز و قرمز نرمال‌شده (NGRDI)، تفاضل نرمال‌شده لبه قرمز (NDREI) و نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی سبز (GNDVI) و ترکیب آن با قطبش HV راداری سنتینل ۱ به‌صورت مدیان در هر فصل، نقشه نهایی پوشش زمین تولید شد.

نتایج: یافته‌های مربوط به مرحله اول طبقه‌بندی نشان داد که لایه ورودی NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal)_ Sentinel 2 (Seasonal) و الگوریتم جنگل تصادفی با صحت کلی ۸۸ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۵ دقیق‌ترین لایه ورودی و الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده بودند. در محله دوم طبقه‌بندی، شاخص NDVI میان ماه‌های آوریل تا نوامبر، تفکیک هر چهار دسته پوشش درختی و درختچه‌ای را امکان‌پذیر کرد. GNDVI میان ماه‌های دسامبر تا آوریل، بهترین شاخص برای تفکیک بیدزارها است. همچنین، این شاخص میان ماه می تا نوامبر، گزستان‌ها را به‌خوبی تفکیک کرد. NGRDI نیز میان می تا نوامبر برای تفکیک گزستان‌ها مناسب است. همچنین، این شاخص میان آوریل تا نوامبر،

سنوبرکاری‌ها را به‌خوبی تفکیک می‌کند. شاخص GNDVI میان آوریل تا سپتامبر برای تفکیک دو دسته باغات و سنوبرکاری‌ها از بیدزار و گزستان به‌خوبی عمل می‌کند. با استفاده از ترکیب ورودی مذکور و الگوریتم جنگل تصادفی، نقشه نهایی تولید شد. صحت کلی و ضریب کاپای حاصل از صحت‌سنجی به‌کمک نمونه‌های زمینی و تصاویر گوگل ارث به ترتیب ۸۰ درصد و ۰/۷۷ به‌دست آمد. اعداد قطر اصلی ماتریکس خطا بیانگر بیشترین تفکیک‌پذیری در طبقه‌های آب، خاک و اراضی شهری بودند. از میان طبقه‌های پوشش گیاهی، بیدزارها و اراضی کشاورزی بهترین تفکیک‌پذیری را نشان دادند.

نتیجه‌گیری کلی: تفاوت در رفتار فنولوژیک گیاهان که شامل برگ‌دهی، گل‌دهی، تولید میوه، خزان و سیکل خواب هستند، سبب نوسان مقدار شاخص‌های پوشش گیاهی در طول فصل‌های مختلف یک سال می‌شود. این تفاوت‌ها می‌توانند در تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی برای افزایش تفکیک‌پذیری استفاده شوند. در نتیجه، توده‌های درختی و درختچه‌ای خالص که رفتار فنولوژیک متفاوت‌تری از توده‌های هم‌جوار خود دارند، از طریق سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای با دقت زیادتری، قابل تفکیک هستند.

واژه‌های کلیدی: تفکیک گونه‌های گیاهی، رادار، فنولوژی، کرانه زرینه‌رود، گوگل ارث انجین.

مقدمه

جوامع گیاهی کرانه‌ای، ساحلی و یا در اصطلاح کران‌آبی، نتیجه اثر متقابل بین فرایندهای رودخانه‌ای و استفاده انسان از سرزمین هستند (Hupp & Osterkamp, 1996; Benedict, 2007; Villarreal, 2009; Huylenbroech et al., 2020). با وجود مساحت به‌نسبت محدود، پوشش گیاهی ساحلی، خدمات بوم‌سازگانی زیادی را ارائه می‌دهند (Giese et al., 2000; Dufour et al., 2019). تهیه نقشه پوشش گیاهی حاشیه رودخانه‌ها و بوم‌سازگان‌های کران‌آبی می‌تواند با شناخت و پایش وضعیت موجود، سبب اعمال اقدام‌های مدیریتی در این اراضی برای حفظ، پایداری و احیای جوامع گیاهی ارزشمند شود. سنجش‌ازدور، یکی از ابزارهای کارآمد و کم‌هزینه به‌منظور پهنه‌بندی و تهیه نقشه وضعیت موجود کاربری/پوشش زمین در مناطق طبیعی مختلف از جمله در بوم‌سازگان‌های کران‌آبی هستند (Baker et al., 2006; Villarreal, 2009; Macfarlane et al., 2017; Huylenbroech et al., 2020; Daryaei et al., 2021). پژوهش‌هایی که با هدف تفکیک گونه‌های گیاهی از یکدیگر و یا تهیه نقشه پوشش زمین در طبقه‌های پوشش گیاهی انجام گرفته‌اند، گویای این واقعیت هستند که به‌دلیل تشابه طیفی زیاد در محدوده مولتی اسپکترال، تفکیک طبقه‌های پوشش گیاهی چالش‌برانگیز

است (Macfarlane et al., 2017; Jin et al., 2018; Kordi et al., 2019; Huylenbroech et al., 2020; Ozturk & Colkesen, 2020; Dobrinić et al., 2021; Hamrouni et al., 2022). بنابراین در طی دهه گذشته، استفاده از داده‌های راداری به‌همراه سری زمانی تصاویر حاصل از سنتینل (برای بررسی فنولوژی) در پلتفرم محاسباتی گوگل ارث انجین در فضای ابری، توجه کاربران سنجش‌ازدور را به‌خود جلب کرده است (Xue et al., 2014; Jin et al., 2018; Kordi et al., 2019; Ozturk & Colkesen, 2020; Phan et al., 2020; Dobrinić et al., 2021; Hamrouni et al., 2022; Hatami Shah Khali et al., 2022). پژوهش‌هایی در زمینه تفکیک پوشش گیاهی از یکدیگر بر پایه رفتار فنولوژیک آن‌ها و با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای در ایران و جهان انجام شده است. Kordi و همکاران (۲۰۱۹) با استخراج نه طبقه شامل گندم، یونجه، چغندرقد، سیب، انگور، باغ، آب، شهر و خاک با استفاده از سری زمانی ماهواره لندست ۸ و مدل TIMESAT در دشت میان‌دوآب دریافتند که انتخاب پارامترهای بهینه براساس فنولوژی سبب بهبود نتایج طبقه‌بندی و کاهش هزینه و پیچیدگی‌های پردازش می‌شود. Hatami Shah Khali و همکاران (۲۰۲۲) با هدف افزایش صحت طبقه‌بندی پوشش گیاهی برای استخراج نقشه

(۲۰۲۲) با استفاده از سری زمانی تصاویر سنتینل ۲، چهار شاخص صنوبر در محدوده مادون قرمز نزدیک و لبه قرمز را برای تفکیک صنوبرها از پهن برگان دیگر در فرانسه بررسی کردند. براساس حساسیت درختان صنوبر به محتوای آب در طول چرخه فنولوژیکی در پژوهش مذکور، نقشه صنوبرکاریها و تفکیک آنان از پهن برگان دیگر با صحت کاربر ۹۲ درصد امکان پذیر شد. درعین حال، Ozturk و Colkesen (۲۰۲۰)، به منظور تهیه نقشه صنوبر (*P. deltooides* W.Bartram ex Marshall) در استان سقاریه از توابع کشور ترکیه، سه تصویر Sentinel-2A به عنوان یک مجموعه داده چندزمانی متشکل از سه ترکیب باند و نیز سه الگوریتم یادگیری ماشین شامل RF، SVM و Adaboost را استفاده کردند. با توجه به نتایج طبقه بندی آنها، صحت کلی مجموعه های داده چندزمانی از مجموعه داده های تک تاریخ، بیشتر بود. Jin و همکاران (۲۰۱۸) در کشور چین با استفاده از سری زمانی شاخص NDVI و ماتریس هم وقوع سطح خاکستری (GLCM) متغیرهای بافتی با استفاده از RFC را برای طبقه بندی پوشش زمین استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که افزودن نه تنها تصاویر چندزمانی و متغیرهای توپوگرافی، بلکه متغیرهای بافتی GLCM و متغیرهای سری زمانی NDVI می تواند به صحت کلی زیاد (۸۹ درصد) منتج شود. Schulz و همکاران (۲۰۲۱) به منظور مقایسه عملکرد سه طبقه بندی کننده شامل بیشینه احتمال، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی در تفکیک طبقه های زمین با استفاده از سری داده های سنتینل ۱ و ۲ در منطقه ساحل در نیجر توصیه کردند که برای طبقه بندی مناطق ناهمگون، ترکیبی از الگوریتم ها به کار برده شوند. پژوهش پیش رو در کرانه رودخانه زربنه رود و با هدف ارائه روشی به نسبت سریع و دقیق برای پهنه بندی پوشش اراضی بوم سازگان کران آبی با دقت تفکیک گونه های گیاهی طبیعی از پوشش های دیگر (شهری، آب، خاک، زراعی، باغات و صنوبرکاری) مبتنی بر سری زمانی داده های سنتینل ۱ و ۲ انجام شد.

صنوبرکاری های شهرستان صومعه سرا گزارش کردند که سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و ۲، قابلیت بیشتری از تک تصویر آنها برای تفکیک پوشش گیاهی دارند. Xue و همکاران (۲۰۱۴) در شهر نانجینگ در چین با استفاده از داده های سری زمانی شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) و شاخص گیاهی افزایش یافته (EVI) جمع آوری شده توسط طیف سنج، تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) و اعمال الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) نشان دادند که دقت طبقه بندی به طور قابل توجهی با استفاده از اطلاعات فنولوژی و نشانگرهای فنولوژیکی بهبود یافته است (Ronoud et al., 2022).

با توجه به قابلیت سکوی گوگل ارث انجین در فراخوانی داده های متنوع و محاسبه شاخص ها و در نهایت، استفاده از ترکیب آنها به عنوان لایه ورودی، مجموعه متنوع داده ها و شاخص ها از سری زمانی بررسی می شوند. در نهایت با هدف افزایش صحت طبقه بندی، بهینه ترین آنها انتخاب و وارد الگوریتم می شوند (Jin et al., 2018; Kordi et al., 2019; Ozturk & Colkesen, 2020; Phan et al., 2020; Dobrinić et al., 2021; Hamrouni et al., 2022). بررسی اثر روش های مختلف ترکیب بندی و نیز تصاویر ورودی متفاوت بر نتایج طبقه بندی هشت مجموعه داده و الگوریتم جنگل تصادفی (RF) در کشور مغولستان نشان داد که انتخاب مجموعه داده مورد استفاده در هر طبقه بندی در گوگل ارث انجین، یک گام مهم و حیاتی است (Phan et al., 2020). زیرا تصاویر ورودی و ترکیب آنها، تأثیر زیادی در نتیجه نهایی دارند. Dobrinić و همکاران (۲۰۲۱) در یک منطقه جنگلی در کرواسی با کاربرد داده های سری زمانی SAR و Sentinel-2 برای تفکیک طبقه های پوشش زمین به ویژه طبقه های پوشش گیاهی توانستند با استفاده از الگوریتم RF به صحت کلی ۹۱/۷۸ درصد برسند. به دلیل چالش تفکیک گونه های گیاهی از یکدیگر، فرانسه با وجود داشتن رتبه اول صنوبرکاری در اروپا به نقشه های دقیق و به روز در زمینه سطح زیرکشت صنوبر (*Populus Sp.*) در مقیاس ملی دسترسی ندارد، بنابراین Hamrouni و همکاران

مواد و روش‌ها

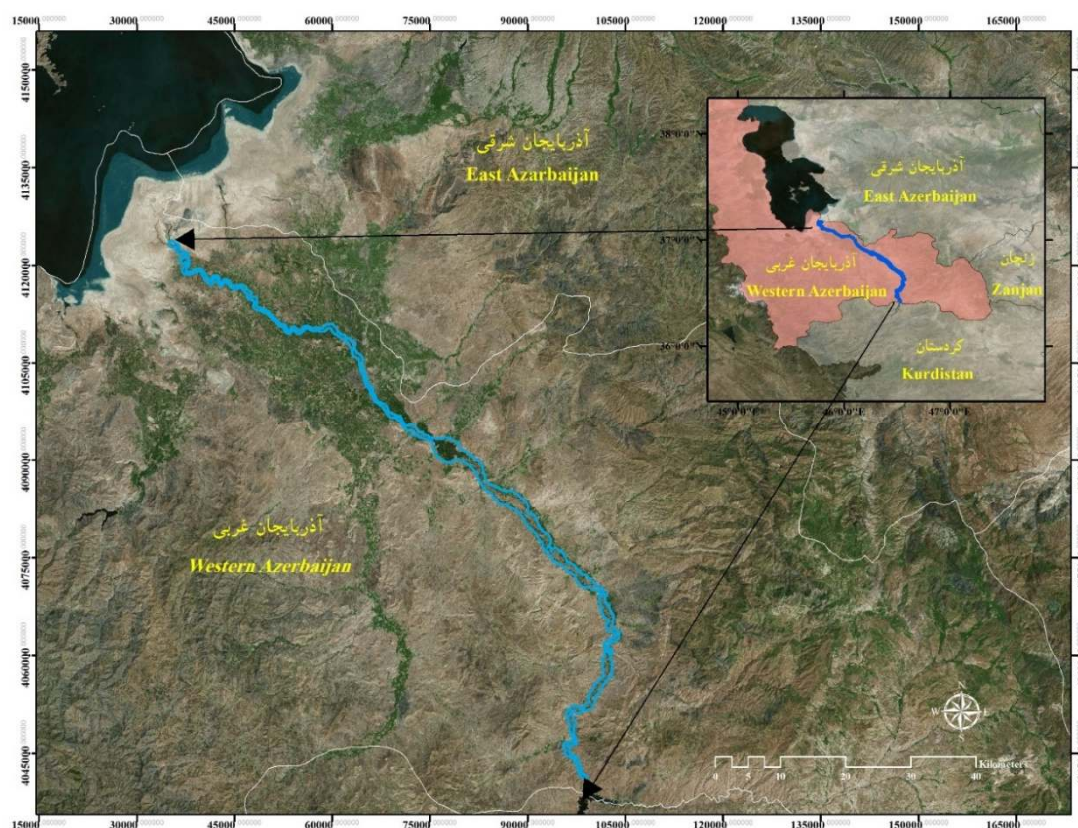
منطقه مورد مطالعه

رودخانه زرینه‌رود از استان کردستان به آذربایجان غربی وارد می‌شود و به دریاچه ارومیه می‌ریزد (شکل ۱). اقلیم حاکم بر آن در ورود به این استان، کوهستانی (در طبقه‌بندی آمبرژه) و از نوع مدیترانه‌ای (در طبقه‌بندی دومارتن) با بارش سالانه نزدیک به ۵۰۰ میلی‌متر است که در سواحل دریاچه ارومیه به کمینه خود می‌رسد. بارش متوسط در منطقه مورد مطالعه ۲۸۹ میلی‌متر ثبت شده است. پوشش گیاهی غالب منطقه شامل بید (*Salix Sp.*)، گز (*Tamarix Sp.*)، باغ‌های میوه، صنوبرکاری (*Populus alba L.*) و اراضی کشاورزی هستند. مساحت این منطقه ۱۱۶۰۶ هکتار است.

داده‌های ماهواره‌ای

- ماهواره سنتینل ۱

سنتینل ۱ تجهیزات یک سنجنده SAR که در باند C قرار دارد را حمل می‌کند و توانایی اخذ داده بدون محدودیت در طول شبانه‌روز و در شرایط آب و هوایی مختلف را دارد (Lazecky *et al.*, European Space Agency, 2020) (2017; در این پژوهش از سنجنده راداری A-Sentinel ۱ و از مد IW، پلاریزاسیون VH برای پردازش استفاده شد. پلاریزاسیون VV (Vertical - Vertical) یعنی امواج عمودی ارسال شده و با بک‌اسکتر عمودی نیز دریافت شده است. پلاریزاسیون VH (Vertical - Horizontal) یعنی امواج ارسال شده عمودی هستند و دریافت با بک‌اسکتر افقی انجام گرفته است. در حالت VV مقدار انرژی در دسترس بیشتر و در حالت VH کنتراست میان پدیده‌ها بیشتر است. اندازه تفکیک این داده‌ها ۱۰×۱۰ متر مربع و شامل داده‌های سری زمانی سال ۲۰۲۱ هستند.



شکل ۱- محدوده بوم‌سازگان کران‌آبی (حریم) رودخانه زرینه‌رود در استان آذربایجان غربی

Figure 1. Riparian ecosystem of Zarinerood in West Azarbaijan province, Iran

- ماهواره سنتینل ۲

این ماهواره شامل دو ماهواره دوقلو با نام‌های A-2 Sentinel و B-Sentinel است که می‌تواند در طی پنج روز، یک پوشش کامل از سطح زمین تهیه کند (Space Agency, 2020). ماهواره سنتینل ۲، امکان استفاده از داده‌های با قدرت تفکیک زمانی زیاد که برای پژوهش‌های فنولوژی مهم است را فراهم کرده است (Hamrouni et al., 2022). هر یک از این ماهواره‌ها، یک سنجنده چندطیفی (MSI) دارند که بازتاب پدیده‌های روی زمین را در ۱۳ باند طیفی از مرئی (VIS) تا مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) اندازه‌گیری می‌کنند (Lazecky et al., 2017). اندازه تفکیک این داده‌ها ۱۰×۱۰ متر مربع و شامل داده‌های سری زمانی سال ۲۰۲۱ هستند.

روش پژوهش

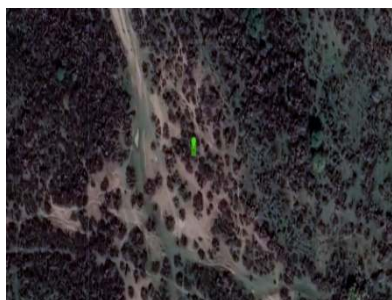
نمونه‌های آموزشی و آزمایشی

باتوجه به پردازش تصاویر در سکوی گوگل ارث انجین، نمونه‌های آموزشی از تصاویر گوگل ارث که در پس‌زمینه سکوی مذکور وجود دارند، برداشت شدند. باتوجه به اینکه شناخت منطقه مطالعه در تفسیر تصاویر گوگل ارث به منظور برداشت نمونه‌ها بسیار مهم است، ۸۴ نقطه از طبقه‌های مختلف درختی و درختچه‌ای (بید، گز، باغات میوه و صنوبرکاری‌ها) برای بررسی میدانی از روی تصاویر گوگل ارث انتخاب شدند و مختصات آن‌ها ثبت شد تا روی زمین بررسی شوند و تعلق آن‌ها به طبقه مورد نظر محرز شود. طبقه‌های پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، آمیختگی زیادی ندارند و به صورت خالص یا توده‌ای هستند، بنابراین پس از مطالعات میدانی و بررسی ۸۴ نقطه مذکور روی زمین نتیجه گرفته شد که پس از آشنایی با مناطق شامل گزها، بیدها، باغات میوه و صنوبرکاری‌ها روی تصاویر گوگل ارث، آن‌ها برای اخذ نمونه‌های آموزشی و آزمایشی قابل تشخیص هستند (شکل ۲). آموزش و صحت‌سنجی الگوریتم‌های طبقه‌بندی‌کننده با استفاده از نقاط مذکور و نیز

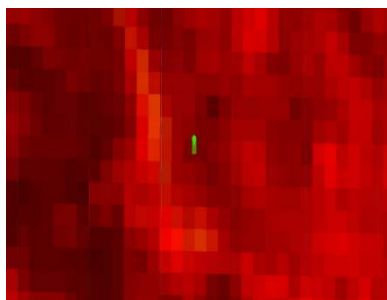
نقاط و پلی‌گون‌های دیگر برداشته شده از تصویر گوگل ارث انجام گرفت. درعین حال از تعدادی از نقاط و پلی‌گون‌های مذکور برای روندیابی تغییرات شاخص‌ها و شناخت تمایزهای فنولوژیک گیاهان نیز استفاده شد. در حقیقت، داده‌های زمینی هم برای رفع ابهام‌های تصاویر گوگل ارث و هم برای ترسیم منحنی فنولوژیک گیاهان به‌کار برده شد.

طبقه‌بندی پوشش زمین

فلوچارت روش پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش طی دو مرحله، طبقه‌های پوشش زمین از یکدیگر تفکیک شده‌اند. در مرحله اول با استفاده از داده‌های سری زمانی سنتینل، طبقه‌های کلی پوشش درختی (طبیعی، باغ و صنوبرکاری)، پوشش درختچه‌ای (طبیعی و باغ)، مرتع، زراعت، اراضی شهری، آب و خاک از یکدیگر تفکیک شدند. سپس با استفاده از تفاوت در روند فنولوژی پوشش گیاهی غالب منطقه (بیدها، گزها، باغات میوه و صنوبرکاری‌ها)، نقشه نهایی پوشش زمین، از طبقه کلی درختان و درختچه‌ها به طبقه‌های تفکیک‌شده مذکور ارتقا یافت. برای دستیابی به هدف مذکور و باتوجه به اینکه تغییرات فصلی تصاویر می‌تواند اطلاعات مناسبی از طبقه‌های پوشش زمین در اختیار بگذارند، تصاویر سنتینل ۲ و قطبش‌های HV راداری سنتینل ۱ متعلق به سال ۲۰۲۱ به صورت مدیان (Median) در هر فصل به منظور کمینه کردن اثر منفی پوشش ابر استفاده شدند و در قالب یک لایه اطلاعاتی دسته‌ای (Layer stack) جمع شدند. داده‌های مذکور به صورت چهار ترکیب لایه ورودی و با چهار الگوریتم یادگیری ماشین در طبقه‌بندی به‌کار گرفته شدند. از آنجایی که تغییراتی مانند طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به دلیل اثر بر درجه حرارت می‌تواند فنولوژی را تحت تأثیر قرار دهند، باید در طبقه‌بندی مورد توجه قرار گیرند. در منطقه مورد مطالعه، ارتفاع از سطح دریا بین ۱۴۷۱ متر در ورود به استان و ۱۲۷۷ متر در نزدیکی دریاچه ارومیه متغیر است، بنابراین اختلاف بالادست و پایین دست حدود ۲۰۰ متر است.



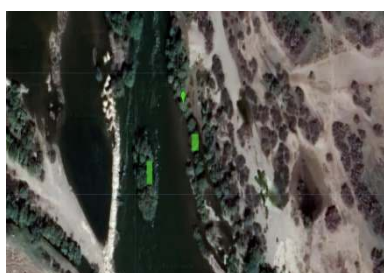
۱- الف - قطعه‌نمونه گز روی گوگل ارث
1-A- The *Tamarix* plot on G.E.



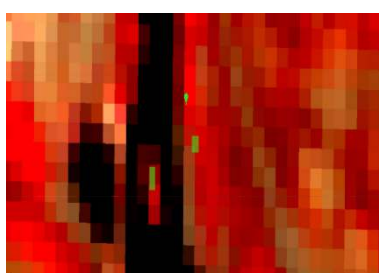
۱- ب - قطعه‌نمونه گز روی تصویر سنتینل
1-B- The *Tamarix* plot on Sentinel



۱- ج - قطعه‌نمونه گز روی زمین
1-C- The *Tamarix* plot on field



۲- الف - قطعه‌نمونه بید روی گوگل ارث
2-A- The willow plot on G.E.



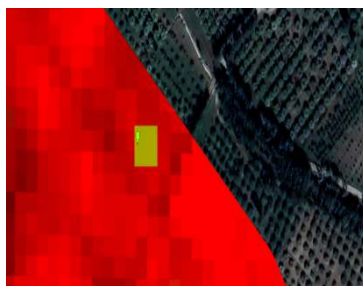
۲- ب - قطعه‌نمونه بید روی تصویر سنتینل
2-B- The willow plot on Sentinel



۲- ج - قطعه‌نمونه بید روی زمین
2-C- The willow plot on field



۳- الف - قطعه‌نمونه باغات میوه روی گوگل ارث
3-A- The orchard plot on G.E.



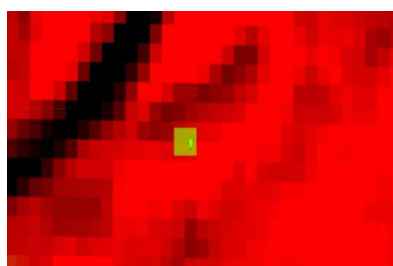
۳- ب - قطعه‌نمونه باغات میوه روی تصویر سنتینل
3-B- The orchard plot on Sentinel



۳- ج - قطعه‌نمونه باغات میوه روی زمین
3-C- The orchard plot on field



۴- الف - قطعه‌نمونه صنوبر روی گوگل ارث
4-A- The poplar plot on G.E.



۴- ب - قطعه‌نمونه صنوبر روی تصویر سنتینل
4-B- The poplar plot on Sentinel



۴- ج - قطعه‌نمونه صنوبر روی زمین
4-C- The poplar plot on field

شکل ۲- نقاط برداشته شده زمینی برای بررسی روند فنولوژی پوشش گیاهی منطقه

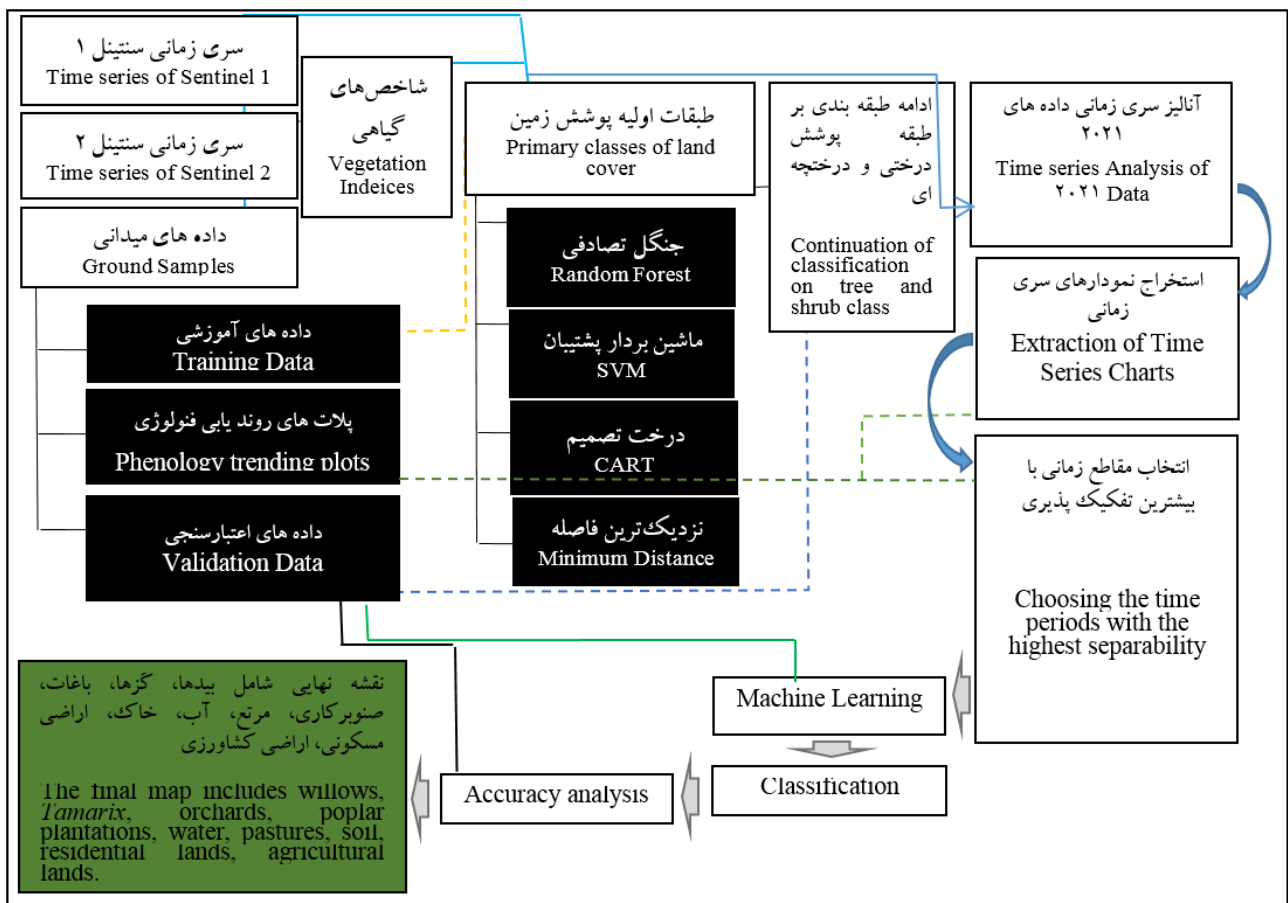
Figure 2. The plots which were taken to investigate the phenology trend of vegetation

تصاویر یک‌ساله جدا شدند و در فرایند طبقه‌بندی به‌کار گرفته شدند.

محاسبه شاخص‌های طیفی

پس از بررسی شاخص‌های متداول، چهار شاخص شامل شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)، تفاضل سبز و قرمز نرمال‌شده (NGRDI)، تفاضل نرمال‌شده لبه قرمز (NDREI) و شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی سبز (GNDVI) برای تفکیک از طریق فنولوژی انتخاب شدند (Tucker, 1979; Gitelson & Merzlyak, 1994; Gitelson *et al.*, 2002) (جدول ۱).

برای حذف اثر مذکور، هر صد متر به‌صورت یک منطقه مجزا بسته شد و نمونه‌های تعلیمی در آن محدوده برداشت و اعمال شد. درنهایت، با ترکیب واحدها باهم، نقشه نهایی به‌دست آمد. برای جداسازی طبقه‌های پوشش گیاهی در مرحله دوم طبقه‌بندی در محیط پلتفرم گوگل ارث انجین، کد مربوط به تفکیک روند تغییرات شاخص‌ها در یک سال نوشته شد. از آن‌ها برای بررسی تفاوت فنولوژیک گونه‌های گیاهی (برای بیدها، گزها، باغات و صنوبرکاری‌ها) با هدف استخراج کلید تفسیر استفاده شد. در حقیقت، مقاطع زمانی با بیشترین تفکیک‌پذیری گونه‌های گیاهی از یکدیگر شناسایی شدند. سپس، تصاویر مربوط به همان مقاطع از سری زمانی



شکل ۳- فلوجارت روش پژوهش

Figure 3. Flowchart of the method in this study

نتایج

در جدول ۲، نتایج برآورد صحت الگوریتم‌های طبقه‌بندی به‌کمک نمونه‌های برداشت‌شده از گوگل ارث و نیز برداشت‌های میدانی آمده است.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی محاسبه‌شده با استفاده از سنتینل ۲

Table 1. Vegetation indices calculated using Sentinel 2

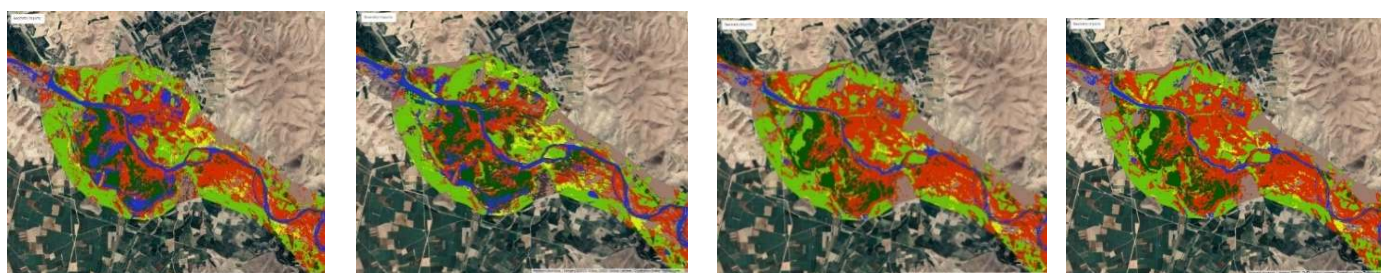
Index	Spectral range	Symbol	Formula
Normalized difference vegetation index	Red-NIR	NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$
Normalized green red difference index	Vis	NGRDI	$\frac{Green - Red}{NIR - RedEdge}$
Normalized difference red edge index	RE-NIR	NDREI	$\frac{Green + Red}{NIR + RedEdge}$
Green normalized difference vegetation index	G-NIR	GNDVI	$\frac{NIR - Green}{NIR + Green}$

نقشه‌های طبقه‌بندی پوشش کران آبی با بهترین لایه‌های ورودی و دقیق‌ترین الگوریتم‌ها (بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا) که از جدول ۲ استخراج شده است، در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- مقایسه صحت کلی و ضریب کاپا در لایه‌های ورودی و الگوریتم‌های اعمال‌شده

Table 2. Comparison of overall accuracy and kappa coefficient according to layers and algorithms

No.	Input layers	Algorithms	Validation		No.	Input layers	Algorithms	Validation	
			Overall accuracy (%)	Kappa coefficient				Overall accuracy (%)	Kappa coefficient
1	Sentinel 2 (Seasonal)	SVM	70	0.65	3	NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal)	SVM	86	0.82
		CART	74	0.67			CART	75	0.68
		Minimum Distance	60	0.52			Minimum Distance	51	0.42
		Random Forest	75	0.7			Random Forest	83	0.78
2	NDVI (Monthly)_ Sentinel 2 (Seasonal)	SVM	70	0.62	4	NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal)_ Sentinel 2 (Seasonal)	SVM	79	0.73
		CART	73	0.66			CART	78	0.73
		Minimum Distance	60	0.52			Minimum Distance	60	0.52
		Random Forest	76	0.7			Random Forest	88	0.85



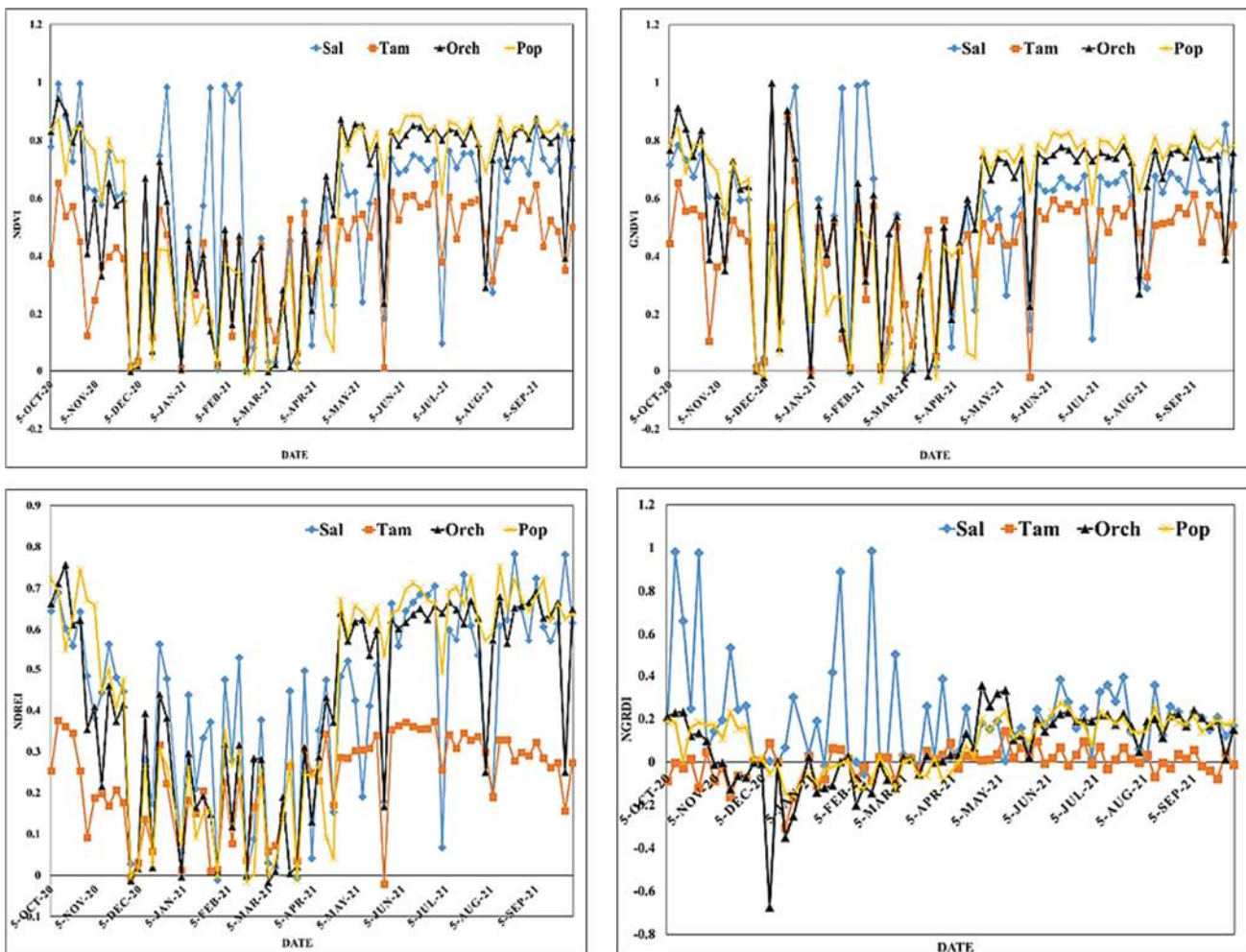
الف) الگوریتم RF بر NDVI (Monthly) Radar (Seasonal)_ Sentinel 2 (Seasonal) input feature
 ب) الگوریتم SVM بر NDVI (Monthly) Radar (Seasonal)_ Sentinel 2 (Seasonal) input feature
 ج) الگوریتم RF بر NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal) input feature
 د) الگوریتم SVM بر NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal) input feature

شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی اولیه پوشش‌های کران آبی در محدوده حریم رودخانه زرینه‌رود حاصل از دقیق‌ترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی‌کننده

Figure 4. Primary land cover maps of riparian area of Zarinerood, resulting from the most accurate classifiers

طبقه‌بندی پوشش‌های کران‌آبی به تفکیک طبقه‌های پوشش گیاهی به منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای فنولوژیک گیاهان غالب منطقه، از سری زمانی تغییرات شاخص‌ها در دوره یک‌ساله استفاده شد. روند تغییرات یک‌ساله شاخص‌های NDVI، NGRDI، NDREI و GNDVI برای بیدها، گزها، باغات و صنوبرکاری‌ها در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

با تحلیل نتایج صحت‌سنجی و تحلیل بصری، لایه ورودی NDVI (Monthly)_ Radar (Seasonal)_ Sentinel 2 (Seasonal) و الگوریتم جنگل تصادفی، به‌عنوان بهترین لایه و دقیق‌ترین الگوریتم طبقه‌بندی انتخاب شدند.



شکل ۵- روند تغییرات یک‌ساله شاخص‌های NDVI، NGRDI، NDREI و GNDVI برای بیدها (Sal)، گزها (Tam)، باغات (Orch) و صنوبرکاری‌ها (Pop)

Figure 5. One-year trend of NDVI, NGRDI, NDREI and GNDVI for willows (Sal), *Tamarix* (Tam), orchards (Orch) and poplar plantations (Pop)

به بعد در همه فصل رویش، عدد این شاخص به ترتیب از بیشترین تا کمترین متعلق به صنوبرکاری‌ها، باغات میوه، بیدزارها و گزستان‌ها بود. گزستان‌ها فقط در دوران خزان، NDVI بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر داشتند. نوسان شاخص‌های GNDVI، NDREI و NGRDI نیز مربوط به تولید برگ، گل‌دهی، تولید میوه و خزان گونه‌های مختلف گیاهی است (جدول ۳). به‌منظور بهینه‌سازی پارامترهای ورودی فقط داده‌های مربوط به بیشینه تفکیک‌پذیری یک گونه از گونه‌های دیگر با استفاده از شاخص معین به کار برده شد.

پس از ترکیب تصاویر مذکور و افزودن داده‌های راداری، لایه ورودی تهیه شد و با استفاده از الگوریتم RF طبقه‌بندی شد (شکل ۶ و جدول ۴). بررسی صحت‌سنجی نتایج نشان داد که نقشه حاصل دارای صحت کلی ۸۰ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۷ است (جدول‌های ۴ و ۵).

همان‌طور که گفته شد، پوشش درختی و درختچه‌ای منطقه شامل بیدزارها، گزستان‌ها، باغات میوه و صنوبرکاری‌ها هستند. سال آبی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ (مهرماه ۱۳۹۹ تا آخر شهریور ۱۴۰۰) به‌عنوان بازه مطالعه در نظر گرفته شد. نمودار تغییرات NDVI نشان می‌دهد که در ابتدای فصل خزان (اکتبر ۲۰۲۰ یا اوایل مهرماه)، بیشینه و کمینه NDVI به ترتیب به صنوبرکاری‌ها و گزستان تعلق داشتند. پس از خزان کامل (دسامبر ۲۰۲۰ یا اواخر آذرماه) می‌توان شاهد افزایش این شاخص به ترتیب در بیدزارها، گزستان‌ها و باغات میوه و درآنها، صنوبرکاری‌ها بود. در شروع فصل رویش، ابتدا باغات میوه در اواسط آوریل (فروردین‌ماه) شروع به رسیدن به بیشینه رویش کردند. پس‌از آن، بیدها (اواخر آوریل و اوایل اردیبهشت‌ماه) به بیشترین بازتابش خود رسیدند. بیشینه NDVI در اواسط ماه می (اواخر اردیبهشت‌ماه) در صنوبرکاری‌ها مشاهده شد. از این تاریخ

جدول ۳- زمان بیشینه تفکیک‌پذیری یک گونه از گونه‌های دیگر با استفاده از شاخص‌های مورد مطالعه

Table 3. Time of maximum discriminability of one species from the others using the indices

Index	Poplar		Orchard		Willow		Tamarix	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
NDVI	Oct to Nov	Jun to Sep	-	Apr to May	-	Apr to Sep	Oct to Nov	Apr to Sep
NGRDI	-	-	-	Apr to May	Oct	Apr	Oct to Nov	May to Sep
NDREI	Oct to Nov	-	-	-	Dec	May	Oct to Nov	May to Sep
GNDVI	Oct to Nov	Jun to Sep	-	Aug to Sep	-	Jun to Sep	Oct to Nov	-

جدول ۴- مساحت و درصد طبقه‌های پوشش زمین

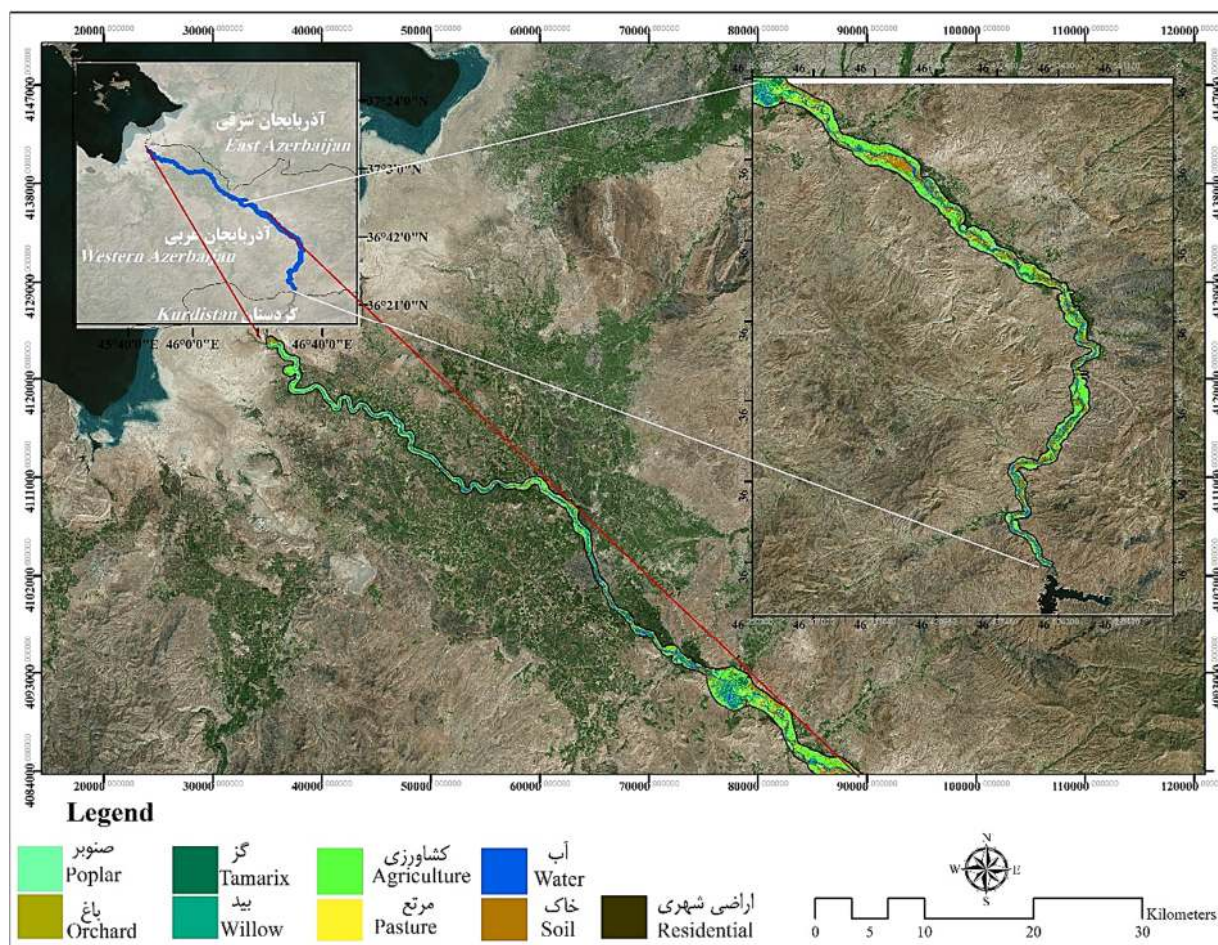
Table 4. Area and percentage of land cover classes

NO.	Land cover	Area (ha)	Area (%)	NO.	Land cover	Area (ha)	Area (%)
1	Poplar	231	2	6	Pasture	413	3.6
2	Orchard	914.7	7.9	7	Water	1475.5	12.7
3	Tamarix	983	8.5	8	Soil	1978.3	17
4	Willow	782	6.7	9	Residential land	382.6	3.3
5	Agriculture	4446	38.3	10	Total	11606.1	100

جدول ۵- ماتریکس خطا

Table 5. Error matrix

Percentage	Agriculture	Pasture	Residential land	Water	Soil	Tamarix	Orchard	Willow	Poplar
Agriculture	88.2	1.8	0.6	0	0	0.6	4.1	0	4.7
Pasture	190	54.8	0	2.4	19	4.8	0	0	0
Residential land	0	0	91.7	0	8.3	0	0	0	0
Water	1.4	0	0.7	96.4	0.7	0	0	0.7	0
Soil	2.6	1.3	0	0	93.4	2.6	0	0	0
Tamarix	6.5	0	7.5	2.2	4.3	61.3	0	18.3	0
Orchard	9.1	0	0	0	0	0	66.4	2.1	22.4
Willow	0	0	0	1.5	0	2.9	0	94.1	1.5
Poplar	0	0	0	0	0	0	26.2	9.5	64.3



شکل ۶- نقشه نهایی طبقه‌های پوشش زمین در بوم‌سازگان کران‌آبی حریم رودخانه زرينه‌رود به تفکیک پوشش گیاهی

Figure 6. Final land cover map of riparian area of Zarinerood, including vegetation classes

بحث

(۲۰۲۲) می‌توان عنوان کرد که تفاوت در رفتار فنولوژیک گیاهان که شامل تولید برگ، گل‌دهی، تولید میوه و خزان است، به نوسان مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی در طی فصل‌های مختلف یک سال منجر می‌شود. شاخص NDVI میان ماه‌های آوریل تا نوامبر، تفکیک هر چهار دسته پوشش درختی و درختچه‌ای را امکان‌پذیر کرد. در حقیقت، زمانی که فقط از یک شاخص به‌عنوان لایه ورودی استفاده می‌شود، NDVI مناسب‌ترین گزینه است. GNDVI میان ماه‌های دسامبر تا آوریل، بهترین شاخص برای تفکیک بیدزارها است. همچنین، این شاخص میان ماه می تا نوامبر، گزستان‌ها را به خوبی تفکیک می‌کند. NGRDI نیز میان می تا نوامبر برای تفکیک گزستان‌ها مناسب است. همچنین، این شاخص میان آوریل تا نوامبر، صنوبرکاری‌ها را به خوبی تفکیک کرد. شاخص GNDVI میان آوریل تا سپتامبر، تفکیک مناسب دو دسته باغات و صنوبرکاری‌ها از بیدزارها و گزستان‌ها را امکان‌پذیر کرد.

پس از تفکیک طبقه‌های اولیه پوشش زمین و اعمال الگوریتم بر ترکیب شاخص‌ها در محدوده پوشش درختی و درختچه‌ای، نقشه نهایی با طبقه‌های صنوبرکاری، باغ، گز، بید، کشاورزی، مرتع، آب، خاک و اراضی شهری تولید شد. صحت کلی و ضریب کاپای حاصل از تولید نقشه نهایی به ترتیب ۸۰ درصد و ۰/۷۷ به دست آمد. کاهش صحت نقشه نهایی نشان‌دهنده بروز خطای بیشتر در عملیات طبقه‌بندی در هنگامی است که هدف، تفکیک طبقه‌های پوشش گیاهی از یکدیگر نیز باشد. به‌طوری‌که، تشابه طیفی پدیده‌ها و رزولوشن تصاویر مورد استفاده می‌تواند تفکیک‌پذیری را کاهش دهد. هرچه رفتار فنولوژیک گیاهان به یکدیگر شباهت بیشتری داشته باشد، تفکیک از طریق روش مذکور با خطای بیشتری همراه خواهد بود. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که اگر توده‌های درختی و درختچه‌ای، خالص باشند و یا رفتار فنولوژیک متفاوت‌تری از توده‌های هم‌جوار خود داشته باشند، تفکیک آن‌ها با دقت زیاد از طریق سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است (Macfarlane et al.,

پژوهش‌های پیشین در زمینه تهیه نقشه‌های پوشش زمین نشان داده‌اند که استفاده از تصاویر تک‌زمانه در تفکیک اراضی با شباهت زیاد طیفی، دقت چندانی ندارند. ازجمله این اراضی، طبقه‌های متنوع پوشش گیاهی هستند (Jin et al., 2018; Kordi et al., 2019; Ozturk & Colkesen, 2020; Dobrinić et al., 2021; Hamrouni et al., 2022) بنابراین در پژوهش پیش‌رو برای استفاده از تفاوت‌های فنولوژیک گونه‌های گیاهی از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور تفکیک طبقه‌های درختی و درختچه‌ای استفاده شد. نتایج نشان دادند که الگوریتم جنگل تصادفی و پس‌از آن، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، قابلیت تفکیک بیشتری در تهیه نقشه پوشش زمین در حریم رودخانه زرینه‌رود داشتند. درعین‌حال با افزودن داده‌های راداری حاصل از سنتینل ۱ به ترکیب لایه ورودی متشکل از تصاویر فصلی سنتینل ۲ و شاخص پوشش گیاهی NDVI، میزان صحت کلی طبقه‌بندی از ۷۷ به ۸۸ و ضریب کاپا از ۰/۷۱ به ۰/۸۵ در طبقه‌بندی حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی افزایش یافت (جدول ۲). در راستای نتایج گزارش‌شده توسط پژوهشگران دیگر (Xue et al., 2014; Jin et al., 2018; Kordi et al., 2019; Ozturk & Colkesen, 2020; Phan et al., 2020; Dobrinić et al., 2021; Hamrouni et al., 2022; Hatami Shah Khali et al., 2022) یافته‌های پژوهش پیش‌رو نیز نشان دادند که با استفاده از لایه ورودی بهینه که ترکیب داده‌های اپتیکال، رادار و شاخص‌ها است، می‌توان به صحت بهتری در طبقه‌بندی دست یافت. برای تفکیک پوشش گیاهی غالب درختی و درختچه‌ای منطقه مورد مطالعه که شامل چهار طبقه بیدزارها، گزستان‌ها، باغات میوه و صنوبرکاری‌ها بودند از روند تغییرات یک‌ساله چهار شاخص NDVI، NGRDI، NDREI و GNDVI استفاده شد. شکل ۵ نشان‌دهنده نقاط اوج گونه‌های گیاهی در مقایسه با یکدیگر و نیز در مقایسه میان شاخص‌های مختلف است. در راستای نتیجه‌گیری‌های Kordi و همکاران (۲۰۱۹) و Hamrouni و همکاران

- Dufour, S., Rodríguez-González, P.M. and Laslier, M., 2019. Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world. *Science of the Total Environment*, 653: 1168-1185.
- European Space Agency, 2020. Sentinel Online. Available at: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel>
- Giese, L.A., Aust, W.M., Trettin, C.C. and Kolka, R.K., 2000. Spatial and temporal patterns of carbon storage and species richness in three South Carolina coastal plain riparian forests. *Ecological Engineering*, 15: S157-S170.
- Gitelson, A.A., Kaufman, Y.J., Stark, R. and Rundquist, D., 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 76-87.
- Gitelson, A. and Merzlyak, M.N., 1994. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 22(3): 247-252.
- Hamrouni, Y., Paillassa, E., Chéret, V., Monteil, C. and Sheeren, D., 2022. Sentinel-2 poplar index for operational mapping of poplar plantations over large areas. *Remote Sensing*, 14(16): 3975.
- Hatami Shah Khali, S.M., Sharifi Hashjin, Sh., Nasiri Aghajan, F. and Emami, S.F., 2022. Land cover mapping of the Soomesara city using time series of satellite imagery. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 30(4): 365-382 (In Persian with English summary).
- Hupp, C.R. and Osterkamp, W.R., 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, 14(4): 277-295.
- Huylenbroech, L., Laslier, M., Dufour, S., Georges, B., Lejeune, P. and Michez, A., 2020. Using remote sensing to characterize riparian vegetation: a review of available tools and perspectives for managers. *Journal of Environmental Management*, 267: 110652.
- Jin, Y., Liu, X., Chen, Y. and Liang, X., 2018. Land-cover mapping using Random Forest classification and incorporating NDVI time-series and texture: A case study of central Shandong. *International Journal of Remote Sensing*, 39(23): 8703-8723.
- Kordi, F., Hamzeh, S., Atarchi, S., Alavipanah, S.K., 2019. Agricultural product classification for optimal water resource management using the data time series of Landsat8. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(4): 1267-1283 (In Persian with English Summary).
- Lazceky, M., Canaslan Comut, F., Qin, Y. and Perissin, D., 2017. Sentinel-1 interferometry system in the high-performance computing environment. *Proceedings of Conference on the Rise of Big Spatial Data*. Ostrava, Czech Republic, 16-18 Mar. 2016: 131-139.
- Macfarlane, W.W., McGinty, C.M., Laub, B.G. and Gifford, S.J., 2017. High-resolution riparian vegetation mapping to prioritize conservation and restoration in an impaired desert river. *Restoration Ecology*, 25(3): 333-341.
- Ozturk, M.Y. and Colkesen, I., 2020. Mapping of poplar tree growing fields with machine learning algorithms using multi-temporal Sentinel-2A imagery. *Proceedings of 41th Asian Conference on Remote Sensing*. Deqing, China, 9-11 Nov. 2020: 8p.
- Phan, T.N., Kuch, V. and Lehnert, L.W., 2020. Land cover classification using Google Earth Engine and random

ماتریکس خطا در جدول ۵ نشان‌دهنده بیشترین تفکیک‌پذیری در طبقه‌های آب، خاک و اراضی شهری هستند. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، چالش اصلی پژوهش پیش‌رو در تفکیک طبقه‌های پوشش گیاهی از یکدیگر بود. از میان طبقه‌های پوشش گیاهی، بیدزارها و اراضی کشاورزی، بهترین تفکیک‌پذیری را نشان دادند. باغات میوه، بیشترین اختلاط را با صنوبرکاری‌ها و اراضی کشاورزی داشتند. صنوبرکاری‌ها نیز به‌طور متقابل، بیشترین خطا را در تفکیک از اراضی باغی نشان دادند، درحالی‌که بیشترین خطا در تفکیک گزستان‌ها، شناسایی آن‌ها به‌عنوان بیدزار بود. مراتع، کمترین دقت طبقه‌بندی را داشتند و به‌اشتباه در طبقه کشاورزی یا خاک قرار گرفتند.

تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی در مناطق کران‌آبی می‌تواند در شناخت این بوم‌سازگان‌ها و پایش وضعیت حاکم بر آن‌ها مفید باشد. در نتیجه، برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی مناسبی را می‌توان برای حفظ ذخایر ژنتیکی غنی درختان بید، گز، پده و گونه‌های گیاهی دیگر به‌روش حفاظت در رویشگاه تدوین کرد. مدیریت و حفظ این بوم‌سازگان‌ها علاوه‌بر افزایش غنای فون و فلور منطقه سبب پالایش آب رودخانه‌ها، رسوب‌گل‌ولای در منطقه، جلوگیری از شدت رواناب‌ها و خسارت ناشی از آن و در مجموع، تثبیت حریم رودخانه‌ها با روشی نزدیک به طبیعت خواهد شد.

منابع مورد استفاده

- Baker, C., Lawrence, R., Montagne, C. and Patten, D., 2006. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, 26(2): 465-474.
- Benedict, M., 2007. Riparian forests in NW Ohio watersheds: Relations among landscape structure, land use/land cover, and water quality in streams. Ph.D. thesis, University of Toledo, Toledo, Ohio, USA, 135p.
- Daryaei, A., Sohrabi, H., Atzberger, C. and Immitzer, M., 2021. Mapping vegetation in riparian areas using pixel-based and object-based classification of Sentinel-2 multi-temporal imagery. *Iranian Remote Sensing and GIS*, 13(3): 19-32 (In Persian with English Summary).
- Dobrinić, D., Gašparović, M. and Medak, D., 2021. Sentinel-1 and 2 time-series for vegetation mapping using random forest classification: A case study of Northern Croatia. *Remote Sensing*, 13(12): 2321.

- forest classifier—the role of image composition. *Remote Sensing*, 12(15): 2411.
- Ronoud, Gh., Darvishsefat, A.A. Schaeppman, M.E., Namiranian, M. and Maghsoudi Y. 2022. Woody Aboveground Biomass Estimation using Radar Data in the mixed Hyrcanian Forest (Case Study: Khayroud Forest of Nowshahr, Mazandaran). *Iranian Journal of Forest*, 14(3): 257-274 (In Persian with English summary).
 - Schulz, D., Yin, H., Tischbein, B., Verleysdonk, S., Adamou, R. and Adamou, N., 2021. Land use mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series in a heterogeneous landscape in Niger, Sahel. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178: 97-111.
 - Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2): 127-150.
 - Villarreal, M.L., 2009. Land use and disturbance interactions in dynamic arid systems: multiscale remote sensing approaches for monitoring and analyzing riparian vegetation change. Ph.D. thesis, Faculty of the School of Geography and Development, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 167p.
 - Xue, Z., Du, P. and Feng, L., 2014. Phenology-driven land cover classification and trend analysis based on long-term remote sensing image series. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(4): 1142-1156.