Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.13, Issue 42, December 2024

Zoning of Forest Stands Susceptible to Oak Decline in the Zagros Region Using Machine Learning Methods (Balot Boland forest Chaharmahal va Bakhtyari Province)

Sohrab Ghafari[1], Hamid Reza Riyahi Bakhtyari[2*], Mozhgan Abbasi[3]

1. PhD student Department of Forest Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Forest Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Associate Professor of Forest Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 08 January 2024
Revised: 08 May 2024
Accepted: 11 June 2024

Keywords:
Zagros oak forests, oak decline, Vegetation index, Classification algorithm, Machine learning.

ABSTRACT

Zagros forests are one of Iran's most valuable ecosystems, hosting diverse fauna and flora. Recent crises such as global warming, droughts, and dust storms have endangered this ecosystem, causing the weakening of individual trees or groups of trees in the region. Decline is an important disorder and challenge that threatens oak trees in the Zagros region. This study aimed to investigate the possibility of zoning decline-affected trees using machine-learning algorithms. The study area encompasses 101 hectares of middle Zagros forests known as the "Baloot Boland" region. Filed sampling was conducted to assess the health status of trees in 37 sample plots (1000 square meters each). In addition, the ground truth map was prepared on a tree-by-tree investigation basis for 11% of the total area. After analyzing reparability, three classes were selected for classification: "Class 1" representing areas with decline levels below 50%, "Class 2" representing areas with drought levels exceeding 50%, and "Class 3" including bare soil, sparse forest, roads, and rocky outcrops. The capabilities of the four machine learning methods, namely Maximum Likelihood, Neural Network, Random Forest, and Support Vector Machine, were compared. The results showed that the Maximum Likelihood method provided the highest overall accuracy and Kappa coefficients of 87.0% and 73.0%, respectively. Additionally, in Class 2, the area of decline was higher, indicating an increasing level of decline in the region. It is recommended to study the spectral behavior of trees directly during the decline process and to introduce suitable spectral indices to identify the early stage of decline-affected stands.

Cite this article: Ghafari, S., Riyahi Bakhtyari, H. R., & Abbasi, M. (2024). Zoning of Forest Stands Susceptible to Oak Decline in the Zagros Region Using Machine learning methods (Balot Boland forest of Chaharmahal va Bakhtyari Province). Journal of Natural Environmental Hazards, 13(42), 91-106. DOI: 10.22111/jneh.2024.47669.2017

© Hamid Reza Riyahi Bakhtyari
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.47669.2017

* Corresponding Author Email: hriyahi@sku.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۲، دی ۱۴۰۳

پهنه‌بندی توده‌های جنگلی مستعد زوال بلوط زاگرس با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین (جنگل بلوط بلند در استان چهارمحال و بختیاری)

سهراب غفاری[۱]، حمیدرضا ریاحی بختیاری[۲*]، مژگان عباسی[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم جنگل، دانشگاه شهرکرد
۲. استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسئول)
۳. دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۸

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

واژه‌های کلیدی:
جنگل‌های زاگرس، خشکیدگی بلوط، شاخص پوشش گیاهی، الگوریم طبقه‌بندی، یادگیری ماشین.

چکیده

جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از زیست‌بوم‌های ارزشمند ایران به‌شمار می‌آیند که زیستگاه جانوران و گیاهان متنوعی هستند. بحران‌های اخیر مانند گرم شدن کره زمین، خشکسالی و طوفان‌های گردوغبار این زیست‌بوم را به خطر انداخته و باعث ضعیف شدن تک درختان یا گروه‌هایی از درختان منطقه شده است. زوال به‌عنوان یک اختلال و چالش مهم، درختان بلوط در منطقه زاگرس را تهدید می‌کند. هدف این مطالعه، بررسی امکان پهنه‌بندی درختان مستعد زوال با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. منطقه مورد مطالعه ۱۰۱ هکتار از جنگل‌های زاگرس میانی موسوم به منطقه "بلوط بلند" واقع در استان چهارمحال و بختیاری را در بر می‌گیرد. آماربرداری زمینی به‌منظور برداشت وضعیت سلامت درختان در ۳۷ عدد قطعه نمونه ۱۰۰۰ مترمربعی انجام شد. علاوه بر این، نقشه واقعیت زمینی به‌صورت موردی بر اساس بررسی درخت به درخت در ۱۱ درصد از سطح منطقه تهیه شد. پس از انجام تحلیل تفکیک‌پذیری، سه طبقه شامل "طبقه ۱ خشکیدگی" با میزان خشکیدگی کمتر از ۵۰ درصد، "طبقه ۲ خشکیدگی" با میزان خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد و طبقه "سایر" شامل خاک لخت، جنگل تنک، جاده و بیرون‌زدگی سنگی برای طبقه‌بندی انتخاب شدند. در این مطالعه قابلیت چهار روش یادگیری ماشین شامل حداکثر احتمال، شبکه عصبی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش حداکثر احتمال می‌تواند بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا را به ترتیب معادل ۰/۸۷ درصد و ۰/۷۳ ارائه دهد. همچنین در طبقه دوم مساحت خشکیدگی زیادتر است و بیانگر این است که میزان خشکیدگی منطقه رو به رشد است. پیشنهاد می‌شود با مطالعه مستقیم رفتار طیفی درخت در فرایند خشکیدگی و معرفی شاخص‌های طیفی مناسب، نسبت به شناسایی زود هنگام توده‌های در معرض خشکیدگی اقدام نمود.

استناد: غفاری, سهراب, ریاحی بختیاری, حمیدرضا, عباسی, مژگان. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی توده‌های جنگلی مستعد زوال بلوط زاگرس با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین (جنگل بلوط بلند در استان چهارمحال و بختیاری). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۲), ۹۱-۱۰۶.

DOI: 10.22111/jneh.2024.47669.2017

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© سهراب غفاری، حمیدرضا ریاحی بختیاری*، مژگان عباسی.

*- حمیدرضا ریاحی بختیاری (نویسنده مسئول)
Email: hriyahi@sku.ac.ir

مقدمه

جنگل‌ها از لحاظ اکولوژیکی زیستگاه حیاتی بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهی و منبع اقتصادی مهم برای بشر هستند و نقشی کلیدی در چرخه مواد غذایی، هیدرولوژی و دیگر عملکردهای زیست‌بوم ایفا می‌کنند. جنگل‌های بلوط منطقه زاگرس از منتهی‌الیه شمال غربی ایران (استان آذربایجان غربی) آغاز و سپس غرب (استان‌های کرمانشاه، ایلام، چهارمحال و بختیاری، خوزستان و لرستان) و جنوب غرب ایران (استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس) را طی می‌کند و ۷ درصد عرصه‌های کشور را دربر می‌گیرند (جزیره‌ای و ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲). این جنگل‌ها دارای بیشترین تنوع گونه‌ای برای پرندگان، بی‌مهرگان و میکروب‌ها هستند (پیله‌ور و همکاران، ۱۳۸۹). جنگل‌های زاگرس در ذخیره آب‌های زیرزمینی، حفاظت خاک، خدمات اجتماعی - اقتصادی (پیرباوقار، ۱۳۹۰)، جلوگیری از فرسایش، تلطیف آب‌وهوا و محیط‌زیست نقش مهمی دارند (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۶). افزایش جمعیت، سطح پایین توسعه و وابستگی زیاد جوامع محلی به جنگل برای امرار معاش اولیه از دلایل اصلی تخریب این جنگل‌ها هستند (مروی مهاجر، ۱۳۸۵). علاوه بر فشار ناشی از ضعف معیشت و فقر ساکنان این جنگل‌ها، تغییرات اقلیمی و شرایط اکولوژیکی نامناسب، باعث ضعف این زیست‌بوم و نابودی توان تولیدی آن شده است. علاوه بر معضلات یادشده، یکی از موضوع‌هایی که این روزها به‌عنوان مهم‌ترین تهدید زیست‌محیطی جنگل‌های زاگرس شناخته شده، بحران خشکیدگی درختان بلوط است که باعث نابسامانی گسترده در این جنگل‌ها شده است. متخصصین مختلف علت این موضوع را به‌تنهایی، آفات و بیماری‌ها نمی‌دانند و بی‌گمان عوامل غیرزنده‌ایی نظیر تخریب و خشک‌سالی‌های پیاپی، شدت و استمرار گردوغبارهای اخیر و نوع خاک را در زوال و خشکیدگی بلوط‌های منطقه زاگرس مؤثر دانسته‌اند (بلورانی[1] و همکاران، ۲۰۲۰). مرگ‌ومیر فراوان گونه بلوط ایرانی[2] (Quercus brantii) خسارت‌های شدیدی به این منطقه وارد کرده که از تبعات آن تغییرات ساختاری شدید و همچنین کاهش کارایی و عملکرد زیست‌بوم جنگلی است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱).

برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری، سازمان‌دهی، رهبری، کنترل و حفاظت اصولی از جنگل که امری حیاتی و تأثیرگذار در پیشرفت یک سرزمین محسوب می‌شود، بدون شناسایی شرایط واقعی حاکم بر توده‌های جنگلی میسر نیست. به همین جهت در اختیار داشتن اطلاعات صحیح، مدیران را در حمایت و نظارت بر جنگل توانا می‌سازد. شناسایی، برنامه‌ریزی و نظارت بر منابع جنگلی، به‌دلیل گستردگی و تنوع توپوگرافی از طریق عملیات میدانی به سهولت امکان‌پذیر نیست (ذاکری انارکی و فلاح شمسی، ۱۳۹۲). سنجش‌ازدور، فنّاوری بسیار مهم در بررسی تغییرات محیطی و مدیریت منابع است.

از مهم‌ترین دلایل استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات پدیده‌های طبیعی، شناخت این پدیده‌ها و صرفه‌جویی در وقت و هزینه است. تاکنون داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات مختلف مربوط به جنگل ازجمله طبقه‌بندی تیپ‌های پوششی جنگل، بررسی روند تغییرات جنگل، برآورد مشخصه‌های کمی جنگل و مدل‌سازی جنگل مورد استفاده قرار گرفته است. با توسعه و طراحی سنجنده‌های تخصصی و به موازات آن توسعه الگوریتم‌ها و روش‌های طبقه‌بندی همچنان پژوهش‌ها در این زمینه ادامه دارد (لورت و همکاران[3]، ۲۰۰۷؛ فرانکلین[1]، ۲۰۰۱؛ ریتا و همکاران[2]، ۲۰۲۰؛

1 Boloorani et al
2 Brant’s Oak
3 Lloret et al

بلورانی و همکاران[3]، ۲۰۲۰). امکان استفاده از داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی طیفی و زمانی زیاد نظیر سنتینل۲[4] با پوشش زمانی ۵ روز و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر با ۱۳ باند طیفی، پتانسیل مناسبی برای پایش و شناسایی زیست‌بوم‌های پویایی نظیر جنگل فراهم کرده است. تحلیل داده‌ها و تولید داده‌های جانبی مانند شاخص‌های پوشش گیاهی که با تولید اولیه خالص زیست‌بوم، رشد درختان و میزان سلامت و تنش وارده به گیاه همبستگی خوبی دارند، نوآوری بیشتری در پژوهش‌های اخیر ایجاد کرده است. در این راستا الگوریتم‌های مناسبی نیز برای بررسی واکنش زیست‌بوم‌های جنگلی به خشک‌سالی در مقیاس‌های فضایی بسیار وسیع ارائه شده است (گزول و همکاران[5]، ۲۰۱۸؛ ویسنت سرانو و همکاران[6]، ۲۰۱۹). از مهم‌ترین و پرکاربردترین پردازش‌ها، انجام عملیات حسابی روی باندها یا نسبت‌گیری باندها به‌منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی از داده‌های سنجنده مورد استفاده است (کلوزی و همکاران[7]، ۲۰۲۰؛ ویسنت سرانو و همکاران[8]، ۲۰۲۰؛ عبدالهی و شتایی جویباری، ۱۳۹۱؛ لهرابی و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص‌های طیفی گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌های چندطیفی تعریف شده و ارزیابی این شاخص‌ها برحسب میزان حساسیت آن‌ها به ویژگی‌های بیوفیزیکی گیاهان و عوامل مؤثر در بازتاب‌های طیفی تاج پوشش است (رسولی، ۱۳۸۷). این شاخص‌ها کمیت‌های عددی بوده و اغلب اطلاعات را از باندهای طیفی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک استخراج می‌کند. شاخص RVI به‌طور گسترده برای بررسی خشکیدگی جنگل استفاده شده است که امکان بررسی میزان تنش وارده به گیاه را فراهم می‌کند (هونگ و زیا[9]، ۲۰۱۹؛ دیونیزو و همکاران[10]، ۲۰۱۲؛ ماتسوشیتا و همکاران[11]، ۲۰۰۷). رایج ترین شاخص پوشش گیاهی NDVI است که تغییرات پوشش و سلامت گیاهان را به خوبی منعکس می‌کند. دامنه تغییرات رقومی این شاخص از ۱- تا ۱ بوده و هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده تراکم سبزینگی بیشتر پوشش گیاهی است. در جنگل‌های مدیترانه‌ای خشک به‌خصوص جنگل‌های بلوط، رشد فصلی جنگل و زوال آن به‌خوبی توسط تغییرات شاخص‌های NDVI و RVI، پایش شده است (کلوزی و همکاران[12]، ۲۰۲۰؛ ویسنت سرانو و همکاران[13]، ۲۰۲۰).

مطالعات مختلفی در زمینه طراحی و بررسی روش‌های طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدوری انجام شده است (روز و همکاران[14]، ۱۹۷۳؛ کالبی و همکاران[15]، ۲۰۱۴). پیشرفت‌های اخیر در الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکانات جدیدی را برای شناسایی وضعیت سلامت زیست‌بوم‌های جنگلی فراهم کرده است. از ویژگی‌های بارز الگوریتم‌های یادگیری ماشین، توانایی آموزش آن‌ها بر روی داده‌های جدید است به‌نحوی که عملکرد آن‌ها را در طول زمان بهبود

1 Franklin
2 Rita et al
3 Boloorani et al
4 Sentinel-2
5 Gazol et al
6 Vicente-Serrano et al
7 Coluzzi et al
8 Vicente-Serrano et al
9 Huang and Xia
10 Dionisio et al
11 Matsushita et al
12 Coluzzi et al
13 Vicente-Serrano et al
14 Rouse et al
15 Kalbi et al

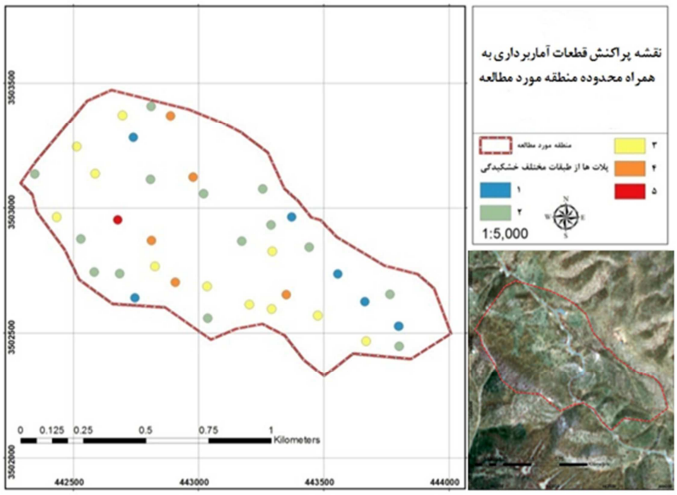
بخشده و امکان بهبود مستمر مدل‌های طبقه‌بندی را فراهم می‌کند. ازاین‌رو این روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی، سریع‌تر، کارآمدتر و دقیق‌تر هستند. جنگل تصادفی، نوعی الگوریتم یادگیری گروهی است که چندین درخت تصمیم را برای پیش‌بینی ترکیب می‌کند. هر درخت تصمیم در جنگل تصادفی بر روی یک زیر مجموعه تصادفی از داده‌های آموزشی و یک زیر مجموعه تصادفی از ویژگی‌ها با روش بسته‌بندی آموزش داده می‌شود. الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان یک الگوریتم یادگیری ماشین است که بر مبنای یافتن ابر صفحه جداکننده بهینه عمل می‌کند. به‌گونه‌ای که فاصله بین ابرصفحه و نزدیک‌ترین نقاط داده از هر طبقه در یک مجموعه داده حداکثر باشد. شبکه عصبی مصنوعی یک الگوریتم شناخته‌شده یادگیری ماشین برای پردازش داده از طریق لایه‌های تحلیلی است. به‌طور معمول شبکه عصبی مصنوعی از سه لایه ورودی، مخفی و خروجی تشکیل یافته است. تاکنون پژوهش جامعی در خصوص بررسی قابلیت الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین در شناسایی و پهنه‌بندی توده‌های جنگلی انجام نشده است. هدف از این مطالعه، بررسی امکان شناسایی پراکنش توده‌های جنگلی مستعد خشکیدگی با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲ و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، انتخاب منطقه مناسب جهت برداشت نمونه‌های تعلیمی[1] از اهمیت زیادی برخوردار است. در همین راستا لازم بود سایت جنگلی با تراکم مناسب پایه‌های بلوط، وسعت متناسب با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی متوسط و با پراکنش مناسبی از درختان سالم تا کاملاً خشکیده انتخاب شود. محدوده مورد مطالعه به‌گونه‌ای انتخاب شد که کمترین دخالت‌های مجاز و غیرمجاز انسانی در آن‌ها صورت پذیرفته باشد. محدوده انتخابی ۱۰۱ هکتار از جنگل‌های زاگرس میانی تحت عنوان منطقه بلوط بلند واقع در حاشیه دریاچه سد کارون چهار از توابع شهرستان اردل واقع در استان چهارمحال و بختیاری است. گونه غالب درختی در این منطقه جنگلی بلوط ایرانی است. تاج پوشش درختی در منطقه مورد مطالعه به‌طور متوسط حدود ۴۰ درصد است. شکل ۱ موقعیت قطعات نمونه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[1] Training Area



شکل ۱: نقشه پراکنش قطعات آماربرداری در شدت‌های مختلف خشکیدگی در ۵ طبقه به ترتیب از طبقه اول: اراضی جنگلی کاملا سالم؛ طبقه دوم: اراضی جنگلی با خشکیدگی کمتر از ۲۵ درصد؛ طبقه سوم: اراضی جنگلی با خشکیدگی بین ۵۰تا ۲۵ درصد؛ طبقه چهارم: اراضی جنگلی با خشکیدگی بین۵۰ تا ۷۵ درصد؛ طبقه پنجم: اراضی جنگلی با درختان کاملا خشک، به همراه محدوده منطقه مورد مطالعه

بافت خاک در این منطقه رسی - لومی با حاصلخیزی زیاد است. پوشش خاکی متغیر کم‌عمق تا نیمه عمیق و در بعضی قسمت‌ها در دامنه‌ها خاک عمیق است. پتانسیل فرسایش در منطقه نسبتاً زیاد بوده و فرسایش شیاری، خندقی نسبتاً زیاد و توده‌ای متوسط در منطقه دیده می‌شود. از نظر توپوگرافی نیز حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۱۶۹۹ و ۲۱۱۸ متر است. جهت غالب منطقه شمال شرقی است و شیب غالب منطقه بین ۱۵ تا ۶۵ درصد است. اقلیم این منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن از نوع مدیترانه‌ای است. متوسط بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه حدود ۵۲۰ میلی‌متر است. حداقل، حداکثر و متوسط دما به ترتیب در این منطقه حدود ۷/۵-، ۳۰ و ۱۰/۲ درجه سلسیوس است. دوره یخبندان در این منطقه ۱۲۰ روز است. میانگین رطوبت نسبی برحسب درصد سالانه نیز ۴۹/۴ درصد است.

داده‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با سیستم مختصات UTM زون ۳۹ شمالی و مبنای WGS 1984 مربوط به منطقه مطالعه، به‌منظور تهیه نقشه‌های پایه و انجام عملیات میدانی و بررسی دقت مکانی تصاویر، از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره سنتینل 2A اخذشده در تاریخ ۲۶ تیرماه ۱۳۹۷ (July 17, 2018)، از پورتال سازمان زمین‌شناسی امریکا (USGS) استفاده شد. دلیل انتخاب این زمان اخذ داده، عدم وجود گیاهان علفی یکساله کف جنگل، حداکثر رویش فصلی درخت، همچنین همزمانی با برداشت نمونه‌های تعلیمی و عدم وجود ابر بوده است. این سنجنده دارای ۱۳ باند در محدوده مرئی و مادون‌قرمز با توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر و همچنین توان تفکیک زمانی ۶ روز است. تصویر ماهواره‌ای سنتینل۲ مورداستفاده، توسط شرکت عرضه‌کننده ازنظر هندسی در سطح ارتو تصحیح هندسی شده است. برای بررسی کیفیت هندسی تصاویر و اطمینان از تطابق هندسی مناسب، تصاویر از لایه‌های برداری جاده‌ها و ابنیه منطقه مطالعه استخراج‌شده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ و تعدادی نقاط کنترل زمینی جمع‌آوری‌شده توسط دستگاه GPS در محیط نرم‌افزار

ENVIاستفاده شد و تطابق لازم وجود داشت. علاوه بر این تصحیحات، اتمسفری در سطح 1C توسط شرکت عرضه‌کننده صورت گرفته است و خروجی اصلی یک تصویر ارتو تصحیح بازتاب شده است (EESA, 2019).

روش‌ها

ایجاد شاخص‌های گیاهی با استفاده از باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک از تصاویر سنجش‌ازدوری، یکی از مهم‌ترین فن‌های متداول برای بررسی ویژگی‌های ساختاری جنگل است و هدف از به‌کارگیری آن‌ها، پی بردن به ارتباط بین این داده‌ها و داده‌های زمینی است. جدول ۱ شاخص‌های استفاده‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها، شاخص گیاهی تفاوت نرمال‌شده (NDVI) است که به فعالیت فتوسنتزی بسیار حساس است و به‌طور گسترده برای ارزیابی سلامت و بهره‌وری مناطق مستعد خشک‌سالی استفاده شده است.

جدول ۱: شاخص‌های به‌دست‌آمده از مطالعات پوشش گیاهی بر اساس اطلاعات سنجش‌ازدوری

شاخص	فرمول	منبع
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$	Rouse et al., 1974
Ratio Vegetation Index (RVI)	$RVI = \frac{\text{NIR}}{\text{RED}}$	Jordan, 1969
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}(1 + L)$	Huete, 1988
MSAVI (Modified Soil Adjustment Vegetation)	$MSAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L}(1 + L)$	Qi et al, 1994

علاوه بر شاخص‌های گیاهی، از تبدیل تسلدکپ[1] نیز در این مطالعه استفاده شد. ضرایب استفاده‌شده برای ایجاد باندهای تسلدکپ به‌صورت آماری، از تصاویر و مشاهدات تجربی حاصل می‌شوند و مختص به هر سنجنده تصویربرداری هستند. این نسبت‌ها به شرح جدول ۳-۲ برای سنجنده سنتینل۲ تعبیه شده است.

جدول ۲: ضرایب تبدیل تسلدکپ برای سنجنده سنتینل ۲ *(ندکوو[2] ۲۰۱۷)*

نوع تبدیل	نحوه محاسبه
Brightness	0.3037*(b2)+0.2793*(b3)+0.4743*(b4)+0.5558*(b8)+0.5082*(b10)+0.1863*(b12)
Green Vegetation Index MSS	-0.283*(b3)-0.66*(b4)+0.577*(b6)+0.388*(b9)
Wetness	0.1509*(b2)+0.1973*(b3)+0.3279*(b4)+0.3406*(b8)-0.7112*(b11)-0.4572*(b12)

b مخفف باند است.

تجزیه مؤلفه‌های اصلی تصویر نیز با هدف استخراج مهم‌ترین مؤلفه‌های موجود در مجموعه باندهای تصویر مورداستفاده قرار گرفت.

برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی مجموعه کوچکی از پیکسل‌های همگن در تصویر مشخص شدند. در این راستا، همگن بودن پیکسل‌ها اهمیت بیشتری نسبت به تعداد آن‌ها دارد. برای رسیدن به‌دقت مطلوب، درنظرگرفتن این عامل از انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی نیز مهم‌تر است (کمبل و هال بیر[3]، ۱۹۹۷). در این مطالعه نیز استفاده صحیح از تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی و تفکیک پدیده‌های خاص مانند درختان بلوط خشکیده، زمانی ممکن می‌شود که اطلاعات

[1] Tasseld cap
[2] Nedkov
3 Campbell and Hall-Beyer

کافی از مختصات و موقعیت مکانی درختان بلوط خشکیده و سالم و سایر پوشش‌های زمین در اختیار باشد تا بتوان ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر را بر اساس این نمونه‌های تعلیمی محاسبه و سپس با بهره‌گیری از دستورات مشخص، به پیکسل‌های باقیمانده تصویر، بر اساس مطابقت با مشخصات آماری نواحی تعلیمی تعمیم داد و درنهایت تصویری استخراج نمود که طبقات مختلف خشکیدگی درختان را به‌درستی نمایش دهد. با توجه به اینکه جنگل‌های زاگرس تنک هستند، یافتن مناطقی با تراکم کافی از درختان به‌گونه‌ای که تاج درختان به طول کامل و همگن یک تا چند پیکسل تصویر را پوشش دهند و از لحاظ میزان خشکیدگی تاج نیز شرایط همگنی وجود داشته باشند، بسیار سخت بود. به همین دلیل جنگل گردشی مکرر برای انتخاب مناطق تعلیمی انجام شد. پس از انتخاب قطعات نمونه، مختصات نقطه مرکز قطعه نمونه با استفاده از دستگاه GPS برداشته و در دایره‌ای به شعاع حدود ۱۷/۸۴ متری (۱۰۰۰ مترمربع)، مشخصات درختان شامل ارتفاع، قطر تاج، نوع گونه و وضعیت سلامت تاج اندازه‌گیری و در فرم‌های از پیش تدوین‌شده یادداشت شد. بررسی وضعیت سلامت درختان به‌صورت چشمی صورت گرفت؛ به این صورت که پس از استقرار در فاصله مشخصی از درخت با دید کامل از تاج آن، میزان خشکیدگی تاج تخمین زده شد. پس از آن ایجاد نمونه‌های معرف و تحلیل تفکیک‌پذیری با استفاده از روش پیشنهادی هوفر و همکاران[1] (۱۹۷۸) به نام روش واگرایی تغییریافته انجام شد. طبق پیش‌فرض، میزان این پارامتر بین ۰ تا ۲ انتخاب شد. هر چه مقدار این پارامتر به ۲ نزدیک‌تر باشد، مبین تفکیک‌پذیری بیشتر بین طبقات است و به‌تبع مقادیر کمتر، تفکیک‌پذیری ضعیف‌تر را نشان می‌دهند. مقادیر بین ۱/۸ تا ۲ را می‌توان معیار تفکیک‌پذیری مطلوب درنظر گرفت. در این مطالعه، هدف شناسایی مناطق بحرانی خشکیدگی بلوط به‌منظور انجام عملیات حفاظتی و حمایتی مورد نیاز است. بنابراین درصورتی‌که مغایرتی با این هدف وجود نداشته باشد، در مواردی که تفکیک‌پذیری مطلوب بین طبقات نشان داده نشود می‌توان به ادغام طبقات اقدام کرد تا صحت نقشه طبقه‌بندی افزایش یابد. پس‌ازآن طبقه‌بندی با چهار روش بیشترین شباهت، شبکه‌های عصبی، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان انجام شد. درنهایت قضاوت در خصوص میزان صحت طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس خطا صورت گرفت. برای تهیه نقشه واقعیت زمینی حدود ۱۱ درصد از محدوده ۱۰۱ هکتاری موردمطالعه، طی حدود یک هفته جنگل گردشی به همراه کارشناس واحد جنگل شهرستان اردل در مردادماه سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. در ماتریس خطا، می‌توان به میزان دقت کلی، شاخص کاپای کلی، دقت تولیدکننده و دقت کاربر و نیز مقادیر خطاهای ورود و خروج پی برد. چنانچه تعداد پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند بر تعداد کل پیکسل‌های مرجع تقسیم شوند، دقت کلی به‌دست می‌آید. علاوه بر این، با تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که در هر طبقه به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند (روی قطر اصلی)، بر تعداد پیکسل‌های واقعیت زمینی مورد استفاده آن طبقه (جمع ستون)، دقت تولیدکننده آن طبقه را به‌دست آورد. برای محاسبه دقت کاربر نیز بایستی تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده را بر تعداد کل پیکسل‌های آن طبقه (جمع ردیف) تقسیم کرد. در محاسبه ضریب کاپا علاوه بر پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند، پیکسل‌هایی که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند نیز دخالت داده می‌شوند. ازاین‌رو معیار مناسبی برای مقایسه نتایج طبقه‌بندی‌های مختلف است. خطای ورود، طبقه‌بندی نادرست پیکسل‌های مربوط به یک طبقه در طبقاتی است که واقعاً به آن تعلق ندارد. درحالی‌که

1 Hoffer

خطای خروج، شامل کلیه پیکسل‌هایی است که متعلق به یک طبقه خاص بوده؛ ولی در فرآیند طبقه‌بندی جزء آن طبقه قرار نگرفته‌اند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در آماربرداری میدانی با بررسی ۵۰۲ پایه درخت، بیشترین تعداد مربوط به گونه بلوط ایرانی (Quercus persica) با ۴۷۴ پایه بود. پایه‌های بنه (Pistacia atlantica) و زالزالک (Crataegus aronia) نیز به ترتیب با تعداد ۲۵ و ۳ پایه در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. خلاصه نتایج آماربرداری و مشخصات درختان مورد اندازه‌گیری شامل نوع گونه و وضعیت سلامت تاج پس از اندازه‌گیری به تفکیک در جدول۳ گزارش شده است.

جدول ۳: خلاصه نتایج آماربرداری از قطعات نمونه، میزان و درصد حضور پایه‌ها و درصد خشکیدگی تاج آن‌ها

میزان خشکیدگی (درصد)	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم	گروه پنجم	درصد حضور پایه‌ها
	سالم	۲۵-۰	۵۰-۲۵	۷۵-۵۰	خشکیدگی کامل	
بلوط	۸۳	۱۶۴	۱۴۶	۶۹	۱۲	۹۴/۴۲
بنه	۱۵	۱۰	۰	۰	۰	۴/۹۸
زالزالک	۳	۰	۰	۰	۰	۰/۶
مجموع پایه‌ها	۱۰۱	۱۷۴	۱۴۶	۶۹	۱۲	

درصد نمونه‌های تعلیمی نسبت به مساحت کل منطقه برای طبقه‌های درنظر گرفته‌شده به ترتیب برای طبقه‌های خاک لخت، جاده شوسه، سنگ و جنگل تنک به ترتیب معادل ۰/۲۸، ۰/۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۳ است. نمونه‌های تعلیمی درنظر گرفته‌شده نیز برای طبقه‌های خشکیدگی کلاس ۱ تا ۵ معادل ۰/۱ درصد نسبت به مساحت کل منطقه است.

جدول ۴ نتایج تفکیک‌پذیری مناطق تعلیمی انتخاب‌شده را نشان می‌دهد. مقدار تفکیک‌پذیری بیشتر از ۱/۸ نشان-دهنده قابلیت تفکیک مطلوب طبقات از هم است.

جدول ۴: ماتریس تفکیک‌پذیری مناطق تعلیمی انتخاب‌شده

	خاک لخت	جاده شوسه	سنگ	جنگل تنک	کلاس ۱ خشکیدگی	کلاس ۲ خشکیدگی	کلاس ۳ خشکیدگی	کلاس ۴ خشکیدگی	کلاس ۵ خشکیدگی
خاک لخت	۲	۱/۷۷	۲	۱/۶	۲	۲	۲	۲	۱/۹۵
جاده شوسه	۱/۷۷	۲	۱/۶	۱/۷۸	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۸
سنگ	۱/۹۹	۱/۶	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
جنگل تنک	۱/۶	۱/۷۸	۲	۲	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹
کلاس ۱ خشکیدگی	۲	۱/۹۹۷	۲	۱/۹۹	۲	۱/۵۲	۱/۷۹	۱/۹۹	۱/۹۹
کلاس ۲ خشکیدگی	۲	۱/۹۹۷	۲	۱/۹۹	۱/۵۲	۲	۱/۰۴	۱/۹۹	۱/۹۹
کلاس ۳ خشکیدگی	۲	۱/۹۹۶	۲	۱/۹۹	۱/۷۹	۱/۰۴	۲	۱/۷۳	۱/۹۹
کلاس ۴ خشکیدگی	۲	۱/۹۹۶	۲	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۷۳	۲	۱/۹۹
کلاس ۵ خشکیدگی	۱/۹۵	۱/۹۸	۲	۱/۸۱	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۱/۹۹	۲

در جدول شماره ۴ اعداد زیرخط‌دارشده، نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری نامطلوب و کمتر از ۱/۸ هستند. این جدول نشان می‌دهد تفکیک این طبقات به‌صورت مطلوب از یکدیگر صورت نمی‌پذیرد: ۱- خاک لخت از جاده شوسه، ۲- خاک لخت از جنگل تنک، ۳- جاده شوسه از بیرون‌زدگی سنگی، ۴- جاده شوسه از جنگل تنک، ۵- کلاس ۱ خشکیدگی از کلاس ۲ خشکیدگی، ۶- کلاس ۱ خشکیدگی از کلاس ۳ خشکیدگی، ۷- کلاس ۲ خشکیدگی از کلاس ۳ خشکیدگی، ۸- کلاس ۳ خشکیدگی از کلاس ۴ خشکیدگی. از نتایج این جدول برای طبقه‌بندی جدید عوارض استفاده می‌شود، به این صورت که طبقاتی در نقشه طبقه‌بندی نهایی استفاده می‌شوند که دارای حداکثر قابلیت تفکیک باشند. جدول ۵ طبقات نهایی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌هد. این طبقه‌بندی نه‌تنها باعث افزایش صحت نقشه خروجی خواهد شد، بلکه افزایش زیاد طبقات باعث پیچیده شدن فرآیند مدیریت جنگل نیز خواهد شد. این در حالی است که داده‌های مختصر و کاربردی هم قابلیت درک بیشتر برای استفاده کننده نهایی فراهم می‌آورد و هم انجام عملیات جنگل‌داری مقتضی را تسهیل می‌نماید. درواقع دو نوع عملیات در جنگل در برابر پدیده خشکیدگی ممکن است، اقدامات حمایتی زمانی در جنگل ممکن است که کمتر از ۵۰ درصد تاج درخت خشک شده باشد و آلودگی‌های بیشتر نیاز به پاک‌سازی درختان است.

جدول ۵: طبقات نهایی پس از انجام تحلیل تفکیک‌پذیری نمونه‌ها

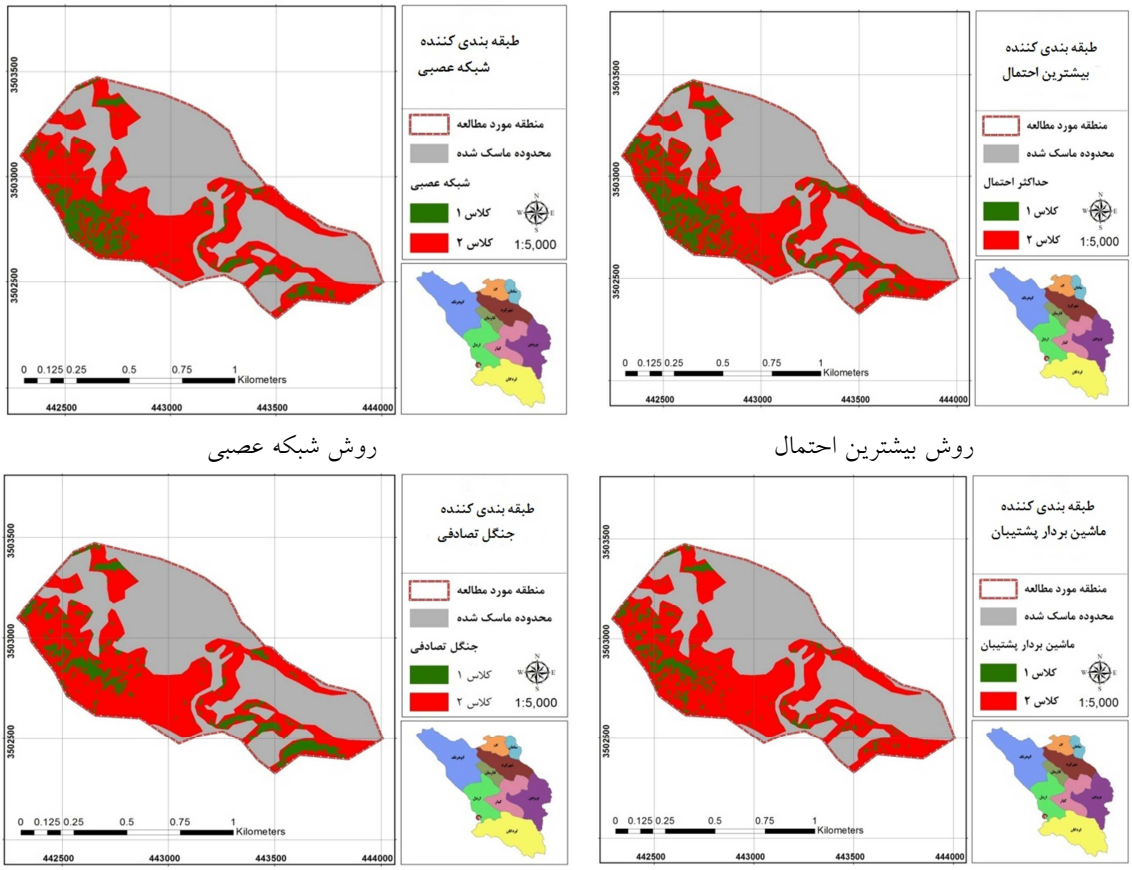
شماره طبقه	عنوان طبقه	توضیحات
۱	سایر	جنگل بسیار تنک، خاک لخت، جاده، بیرون‌زدگی سنگی
۲	طبقه ۱ خشکیدگی	شامل خشکیدگی کمتر از ۵۰ درصد تاج
۳	طبقه ۲ خشکیدگی	شامل خشکیدگی بیشتر از ۵۰ درصد تاج

در این مرحله برای حذف طبقه غیر مرتبط با اهداف این پژوهش (طبقه سایر) از فرآیند ماسک گذاری استفاده شد، به این صورت که پس از جنگل گردشی و با استفاده از تصاویر گوگل ارث[1] و نقشه‌های موجود، حدود واقعی طبقه سایر شناسایی شد و از نقشه طبقه‌بندی حذف شد تا نقشه طبقه‌بندی فقط شامل کلاس ۱ و ۲ خشکیدگی باشد. منطقه ماسک گرفته‌شده مساحتی حدود ۵۲/۲۷ هکتار دارد.

از بین باندهای موجود در نهایت ۱۰ باند شامل: باند اصلی قرمز، باند اصلی مادون قرمز، شاخص NDVI، شاخص SAVI، شاخص MSAVI، شاخص RVI، اولین مؤلفه اصلی، شاخص سبزینگی تسلدکپ، شاخص روشنایی تسلدکپ و شاخص رطوبت تسلدکپ به‌عنوان مجموعه باندی مناسب برای طبقه‌بندی تصاویر انتخاب شد.

شکل ۲ نقشه حاصل از طبقه‌بندی با الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

[1] Google Earth



روش بیشترین احتمال — روش شبکه عصبی

روش ماشین بردار پشتیبان — روش جنگل تصادفی

شکل ۲: نقشه حاصل از طبقه‌بندی با روش‌های مختلف

جدول ۶ مساحت طبقات در هر یک از روش‌های طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

جدول ۶: مساحت طبقات مختلف در نقشه طبقه‌بندی‌شده با روش‌های مختلف

	نام طبقه	مساحت (هکتار)
روش بیشترین احتمال	کلاس ۱ خشکیدگی	۱۲/۶۲
	کلاس ۲ خشکیدگی	۳۶/۰۳
روش شبکه عصبی	کلاس ۱ خشکیدگی	۸/۸۷
	کلاس ۲ خشکیدگی	۳۹/۷۸
روش ماشین بردار پشتیبان	کلاس ۱ خشکیدگی	۶/۱۳
	کلاس ۲ خشکیدگی	۴۲/۵۱
روش جنگل تصادفی	کلاس ۱ خشکیدگی	۸/۴۲
	کلاس ۲ خشکیدگی	۴۰/۲۳

همان‌طور که در جدول بالا آمده است، بیشترین مساحت در تمام روش‌ها مربوط به کلاس ۲ خشکیدگی است. جدول ۷ نتایج صحت‌سنجی نقشه تهیه‌شده با روش‌های مختلف را نشان می‌دهند.

جدول ۷: مقادیر خطای خروج، خطای ورود، دقت تولیدکننده و دقت کاربر حاصل از مقایسه نتایج طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی

روش طبقه‌بندی	طبقه پوشش	خطای خروج (٪)	خطای ورود (٪)	دقت تولیدکننده (٪)	دقت کاربر (٪)
بیشترین احتمال	کلاس ۱ خشکیدگی	۱۹/۲	۱/۶۲	۸۰/۸	۹۸/۳۸
	کلاس ۲ خشکیدگی	۲/۳۷	۲۵/۹	۹۷/۶۳	۷۴/۱
	ضریب کاپای کل	۰/۷۳			
	صحت کلی	۸۷			
شبکه عصبی	کلاس ۱ خشکیدگی	۳۳/۰۷	۲/۷۱	۶۶/۹۳	۹۷/۲۹
	کلاس ۲ خشکیدگی	۳/۳۲	۳۷/۸	۹۶/۶۸	۶۲/۲
	ضریب کاپای کل	۰/۵۶۷			
	صحت کلی	۷۷/۶۴			
ماشین بردار پشتیبان	کلاس ۱ خشکیدگی	۵۱/۷۳	۰	۴۸/۲۷	۱۰۰
	کلاس ۲ خشکیدگی	۰	۴۷/۹	۱۰۰	۵۲/۱
	ضریب کاپای کل	۰/۵۵			
	صحت کلی	۶۷			
جنگل تصادفی	کلاس ۱ خشکیدگی	۴۴/۲۷	۱/۴۲	۵۵/۷۳	۹۸/۵۸
	کلاس ۲ خشکیدگی	۱/۴۲	۴۴/۳۹	۹۸/۵۸	۵۵/۶۱
	ضریب کاپای کل	۰/۴۶			
	صحت کلی	۷۱/۱۶			

مقایسه صحت کلی و ضریب کاپا در چهار روش مورد بررسی نشان می‌دهد طبقه‌بندی به روش بیشترین احتمال از حداکثر مقدار صحت کلی به میزان حدود ۸۷ درصد و ضریب کاپا معادل ۰/۷۳ برخوردار بوده است و پس‌ازآن روش طبقه‌بندی شبکه عصبی صحت کلی حدود ۷۷/۶۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۵۷ داشته است. پس‌ازآن روش جنگل تصادفی صحت کلی حدود ۷۱/۱۶ و ضریب کاپا معادل ۰/۴۶ داشته است و طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان دارای کمترین میزان صحت کلی به میزان حدود ۶۷ درصد و ضریب کاپا ۰/۵۸ بوده است.

مدیریت منابع جنگلی، به‌دلیل نقش مهمی که در برقراری تعادل اکولوژیک دارند، جزء مدیریت‌های مهم و تأثیرگذار در دنیا محسوب می‌شود. امروزه میزان سطح جنگل به‌عنوان شاخصی از توسعه‌یافتگی از درجه اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین مدیریت صحیح برای حفظ و ارتقاء کمیت و کیفیت جنگل‌ها بسیار ضروری است. به‌طوری‌که با شناخت دقیق و اطلاع از روند تغییر و تحولات این عرصه‌ها می‌توان در راستای هدایت این بوم‌سازگان به سمت تعادل قدم برداشت. یکی از تهدیدهای جدی برای جنگل‌های زاگرس، وقوع پدیده خشکیدگی درختان بلوط ایرانی است. جدیدترین روش‌ها بدین منظور استفاده از علم سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی است. در این پژوهش سعی شد وضعیت خشکیدگی توده‌های بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس شهرستان اردل در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و قابلیت آن در تهیه نقشه پراکنش خشکیدگی موردبررسی قرار گیرد تا در مدیریت توده‌های جنگلی منطقه موردمطالعه استفاده شود. بیان این نکته ضروری است که از سال‌های گذشته تاکنون کارایی استفاده از تصاویر لندست در بررسی وضعیت توده‌های جنگلی در پژوهش‌های زیادی به تأیید

رسیده است (اکسترند[1]، ۱۹۹۶؛ جونز و همکاران[2]، ۲۰۱۴؛ ایتالینو و همکاران[3]، ۲۰۲۳)، در حالی که پژوهش‌های جامعی در خصوص بررسی قابلیت داده‌های سنتینل۲ انجام نشده است. آنچه باعث تمایز رفتار طیفی گیاهان زنده در طول‌موج‌های مختلف خصوصاً قرمز و مادون‌قرمز می‌شود، توانایی فتوسنتز این موجودات است. پس از مرگ و نکروز برگ‌ها این توانایی ازبین‌رفته و رفتار طیفی این پدیده مشابه با سایر پوشش‌های غیرزنده محیطی همچون خاک خواهد شد (برازمند و همکاران، ۱۳۹۱)، از همین رو پس از انجام تحلیل تفکیک‌پذیری بین تمام طبقات پوشش زمین که در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده بود، امکان تفکیک طبقات خاک لخت، بیرون‌زدگی سنگی، جاده و جنگل‌های تنک از هم میسر نبود و این به‌دلیل غلبه بازتاب پوشش غیرزنده همچون خاک بر پوشش زنده تاج پوشش درختی یا زیرآشکوب علفی است. گفتنی است با توجه به اینکه تصویر مورد نظر در فصل گرم سال تهیه شده و در سال آماربرداری پدیده خشکسالی هم وجود داشته است، پوشش علفی زیادی در زیرآشکوب جنگل دیده نمی‌شد و قسمت اعظم آنچه به‌عنوان گیاه طبقه‌بندی می‌شود، مربوط به تاج پوشش درختان جنگل است.

در مورد طبقات مختلف خشکیدگی نیز در ابتدا پنج طبقه از درختان سالم تا درختان خشکیده دارای برگ قهوه‌ای برای طبقه‌بندی تصویر درنظر گرفته شد؛ اما تحلیل تفکیک‌پذیری نشان داد عملاً قسمت زیادی از رفتار طیفی این طبقات با هم تداخل دارد. بنابراین با درنظرگرفتن این موضوع به همراه سهولت تفسیر و قابلیت استفاده از نقشه‌های حاصل جهت انجام عملیات مقتضی پیشگیرانه یا تیمار جنگل، طبقه‌بندی خشکیدگی به دو طبقه محدود شد که در طبقه اول درختانی قرار می‌گیرند که بیش از نیمی تا کل تاج همچنان سالم است و در طبقه دوم نیز درختانی قرار می‌گیرند که بیش از نیمی از تاج در معرض خشکیدگی قرار گرفته است؛ اما درخت همچنان دارای شاخ و برگ نکروز شده است. علاوه بر این در منطقه مورد مطالعه این پژوهش، شدت خشکیدگی به حدی است که در عمل هیچ توده کاملاً سالمی دیده نمی‌شود و تقریباً همه درختان درجات مختلفی از خشکیدگی را نشان می‌دهند.

به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین مجموعه باندهایی که در آن‌ها طبقه درختان سرخشکیده بتواند راحت‌تر از درختان سالم تفکیک شود، از مجموعه باندهای منتخب استفاده می‌شود. در مطالعه ونگ و همکاران[4] (۲۰۰۸) از شاخص‌های مرتبط با میزان رطوبت برگ برای بررسی مراحل اولیه شروع تنش خشکیدگی درختان بلوط استفاده شده است. شاخص‌های گیاهی NDVI و SAVI نیز از مهم‌ترین شاخص‌ها در بررسی سلامت جنگل هستند (حیدری ناصر آبادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ رکاناتسی و همکاران[5]، ۲۰۱۸) و در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آن چیزی که در فرایند ایجاد این شاخص‌ها وجود دارد، تفاوت بازتابی درختان سالم و ناسالم بین باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک است که تفاوت زیادی در بازتاب گیاهان سالم و ناسالم در این طول‌موج‌ها وجود دارد. همچنین مؤلفه اول تحلیل مؤلفه‌های اصلی در بین باندهای منتخب نشان از اهمیت این تحلیل در جهت مختصرسازی اطلاعات اصلی باندهای مختلف در یک باند برای تفکیک طبقات مختلف پوشش‌های زمینی است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۰). روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال از جمله روش‌های رایج برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است که تاکنون به‌عنوان

1 Ekstrand
2 Jones et al
3 Italiano et al
4 Wang et al
5 Recanatesi et al

دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده شناخته شده است (بولستاد و لیلساند[1]، ۱۹۹۱). روش بیشترین احتمال دارای وابستگی آماری به توزیع نمونه‌های تعلیمی است و در صورت نرمال بودن این توزیع می‌تواند نتایج صحیحی از طبقه‌بندی پوشش زمین ارائه دهد (علوی پناه، ۱۳۹۰). زروینسکی[2] و همکاران (۲۰۱۴) نیز نقشه خشکیدگی و رشد جنگل‌های مخلوط معتدله پارک گاتینیو در کانادا را با استفاده از داده‌های لندست در ۱۳ دوره از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ را مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین از روش بیشترین احتمال برای طبقه‌بندی داده‌های خود استفاده کردند که درنتیجه ۱/۹ درصد از کل منطقه (۳۶۱۳۱ هکتار) در طی این مدت کاهش یافته بود. این درحالی است که نیازی (۱۳۸۹) با مقایسه دو روش بیشترین احتمال و شبکه عصبی برای طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از داده‌های ماهواره استر[3] به این نتیجه رسید که روش شبکه عصبی در صورتی که نمونه‌های تعلیمی دارای توزیع نرمال نباشند از کارایی بیشتری نسبت به روش بیشترین احتمال برخوردار است. در مطالعه دیگری تراگانوس و رینارتس[4] (۲۰۱۸) به تهیه نقشه گیاهان ساحلی با استفاده از سنتینل ۲ پرداختند. آن‌ها عملکرد سه طبقه‌بندی کننده متفاوت نظارت‌شده را مقایسه کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان در بازتاب‌های اصلاح‌شده آب، بیشترین دقت را به‌دست آورد که مشابه نتایج این مطالعه نیست. به‌طورکلی، صحت کلی ۷۵ درصد نشان می‌دهد تصاویر ماهواره سنتینل۲ دارای قابلیت لازم برای تهیه نقشه خشکیدگی جنگل هستند.

با توجه به اینکه هدف مطالعه شناسایی و طبقه‌بندی کلاس‌های خشکیدگی برای انجام عملیات حفاظتی مناسب است و درختان کاملاً خشکیده بدون توانایی فتوسنتز عملاً در برنامه تیمار قرار نمی‌گیرند و صرفاً مورد پاک‌سازی و قطع قرار می‌گیرند، در این مطالعه کلاس ۲ خشکیدگی شامل درختانی است که اگرچه خشکیدگی در کل سطح تاج آن‌ها دیده می‌شود؛ اما شاخ و برگ درخت همچنان حفظ شده است و مقداری سبزینگی در تاج آن‌ها دیده می‌شود. با توجه به اینکه رفتار طیفی درختان کاملاً خشکیده که قسمت زیاد و یا تمام شاخ و برگ خود را از دست داده‌اند مشابه پوشش غیر زنده خاک است، حتی در مواردی با تصاویر ابرمکانی تک‌زمانه نیز تشخیص خودکار آن‌ها با دقت مطلوب میسر نبوده است (برازمند و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین، اگر هدف مطالعه شناسایی توده‌هایی باشد که درختان به‌طورکامل خشک شده‌اند، مطالعات سری‌های زمانی تصاویر مختلف از دوره پیش از خشکیدگی تا دوره پس از زوال و مرگ درختان کمک بیشتری در شناسایی این درختان خواهد داشت (ژانگ و همکاران[5]، ۲۰۱۸؛ لامبرت و همکاران[6]، ۲۰۱۳).

نتیجه‌گیری

پیشرفت روزافزون فنّاوری کسب تصاویر و توسعه الگوریتم‌های متنوع در تحلیل آن‌ها و پژوهش در زمینه کاربرد داده‌های ماهواره‌ای به‌هنگام در بررسی وضعیت سلامت توده‌های جنگلی را ضروری ساخته است. خشکیدگی به‌عنوان

1 Bolstad and Lillesand
2 Czerwinski et al
3 ASTER
4 Traganos and Reinartz
5 Zang et al
6 Lambert et al

یکی از مهم‌ترین مخاطرات دهه‌های اخیر موجب ازبین‌رفتن و یا کاهش سبزینگی و رطوبت در تاج پوشش گیاه و متعاقبا تغییر رفتار طیفی آن به‌خصوص در محدوده طول موج‌های مادون‌قرمز می‌شود. بنابراین انتخاب و استفاده از شاخص‌های طیفی مناسب تاثیر بسزایی در شناسایی و طبقه‌بندی توده‌های جنگلی در معرض خشکیدگی دارد. در این پژوهش مجموعه ۱۰ باندی منتخب از شاخص‌های حساس به میزان رطوبت تاج و شاخص‌های تسلدکپ توانست نتایج طبقه‌بندی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بهبود بخشد. نتایج نشان داد در توده‌های جنگلی تنک زاگرس، استفاده از شاخص‌هایی که منجر به کاهش اثر بازتاب طیفی خاک کف جنگل باشد، از اهمیت بسزایی در طبقه‌بندی توده‌های خشکیده برخوردارند. نتایج این پژوهش نیز به‌طور کلی نشان داد که تصاویر ماهواره سنتینل ۲ از قدرت تفکیک طیفی و مکانی مناسبی برای تهیه نقشه توده‌های جنگلی مستعد خشکیدگی برخوردار هستند. علی‌رغم نزدیک بودن مقادیر صحت در چهار روش مورد بررسی، روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال نسبت به سایر روش‌ها از حداکثر مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا برخوردار است. بر اساس نتایج این پژوهش و همچنین بررسی نتایج مطالعه هورنرو و همکاران [1] (۲۰۲۱)، پیشنهاد می‌شود با مطالعه مستقیم رفتار طیفی درخت در فرایند خشکیدگی و معرفی شاخص‌های طیفی مناسب، نسبت به شناسایی زود هنگام توده‌های در معرض خشکیدگی اقدام نمود.

منابع

برازمند، سحر؛ شتایی جویباری، شعبان؛ عبدی، امید. (۱۳۹۰). بررسی امکان تشخیص سرخشکیدگی تاج درختان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی زیاد Quickbird (مطالعه موردی: جنگل شصت کلاته گرگان). فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹: ۴۶۶-۴۷۷.

برازمند، سحر؛ شتایی جویباری، شعبان؛ کاوسی، محمدرضا؛ حبشی، هاشم. (۱۳۹۱). بررسی پراکنش سر خشکیدگی درختان جنگلی و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی و جاده‌ها (مطالعه موردی: سری یک طرح جنگل‌داری دکتر بهرام نیا)، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل. ۱۹: ۱۷۴-۱۵۹.

پیرباوقار، مهتاب. (۱۳۹۰). ارزیابی امکان برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره IRS P6 مجله جنگل ایران انجمن جنگل‌بانی ایران، ۳(۴): ۲۸۹-۲۷۷.

پیله‌ور، بابک؛ ویس کرمی، غلامحسن؛ طاهری آبکنار، کامبیز؛ سوسنی، جواد؛ اکبری، حسن. (۱۳۸۹). تعیین اولویت حفاظتی تیپ‌های مختلف پوشش‌های گیاهی در مناطق خارج از ذخیره‌گاه‌های جنگل‌های زاگرس بر حسب میزان مشارکت آن‌ها در تنوع زیستی. مجله جنگل ایران، ۲(۱): ۹۱-۸۱.

جزیره‌ای، محمدحسین؛ ابراهیمی رستاقی، مرتضی. (۱۳۸۲). جنگل‌شناسی زاگرس، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۰۰ ص.

حسینی، احمد؛ حسینی، سید محسن؛ رحمانی، احمد؛ آزادفر، داود. (۱۳۹۱). تأثیر مرگ و میر درختی بر ساختار جنگل‌های بلوط ایرانی در استان ایلام، فصلنامه علمی ـ پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. ۲۰: ۵۷۷-۵۶۵.

حیدری ناصرآبادی، سحر. (۱۳۹۴). بررسی الگوی پراکنش مکانی ـ زمانی خشکیدگی بلوط ایرانی با استفاده از فن دورسنجی و GIS (مورد مطالعه: منطقه باشت، استان کهگیلویه و بویر احمد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه یاسوج.

ذاکری انارکی، سارا؛ فلاح شمسی، سید رشید. (۱۳۹۲). بررسی امکان تهیه نقشه خشکیدگی تک درختان بلوط ایرانی (Quercus brantii Lind1) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Rapideye و-Aster L1B، مجله جنگل ایران، ۵(۴۵۴): ۴۴۳-۴۵۶.

رسولی، علی اکبر. (۱۳۸۷). مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. انتشارات دانشگاه تبریز. ۸۰۶ ص.

1 Hornero et al

عبدالهی، هیوا؛ شتایی جویباری، شعبان. (۱۳۹۱). ارزیابی مقایسه‌ای قابلیت داده‌های LISS-III و LISS-IV ماهواره IRS-P6 در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان جوانرود). علوم و فناوری چوب و جنگل (علوم کشاورزی و منابع طبیعی). ۱۹(۱): ۴۳-۶۰.

علوی پناه، سید کاظم. (۱۳۹۰). اصول سنجش‌ازدور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۰۰ ص.

لهرابی، یاسمن؛ عباسی، مژگان؛ سلطانی، علی؛ ریاحی بختیاری، حمیدرضا. (۱۳۹۷). تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه تیپ در جنگل‌های زاگرس مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸. پژوهش و توسعه جنگل. ۴(۲): ۱۹۱-۲۰۵.

مروی مهاجر، محمدرضا. (۱۳۹۰). جنگل شناسی و پرورش جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۱۸ ص.

میرزایی، جواد؛ اکبری نیا، مسلم؛ حسینی، محسن؛ طبری، مسعود؛ جلالی، علامعلی. (۱۳۸۶). مقایسه تراکم زادآوری طبیعی گونه‌های چوبی در رابطه با عوامل فیزیوگرافی و خاک در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده ارغوان در شمال ایلام). پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۲۰(۴): ۱۶-۲۳.

نیازی، یعقوب؛ ملکی نژاد، حسین؛ اختصاصی، محمد رضا؛ مرشدی، جعفر؛ حسینی، زین‌العابدین. (۱۳۸۹). مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام)، فصلنامه جغرافیا و توسعه. ۸(۲۰): ۱۱۹-۱۳۲.

Boloorani, A.D., Ranjbareslamloo, S., Mirzaie, S., Bahrami, H.A., Mirzapour, F. & Tehrani, N.A. (2020). Spectral behavior of Persian oak under compound stress of water deficit and dust storm. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 88, p.102082.

Bolstad, P. and Lillesand, T.M. (1991). Rapid maximum likelihood classification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57(1), pp.67-74.

Campbell, J.B. & Hall-Beyer, M. (1997). [Introduction to remote sensing. Cartographica, 34(1), p.70.

Czerwinski, C. J., D. J. King, & Mitchell S.W. (2014). Mapping forest growth and decline in a temperate mixed forest using temporal trend analysis of Landsat imagery, 1987–2010, Remote Sensing of Environment, 141: 188 200.

Coluzzi, R., Fascetti, S., Imbrenda, V., Italiano, S.S.P., Ripullone, F. & Lanfredi, M. (2020). Exploring the use of sentinel-2 data to monitor heterogeneous effects of contextual drought and heatwaves on Mediterranean forests. Land, 9(9), p.325.

Dionisio, M.A., Alcaraz-Segura, D. & Cabello, J. (2012). Satellite-based monitoring of ecosystem functioning in protected areas: recent trends in the oak forests (Quercus Pyrenaica Willd.) of Sierra Nevada (Spain). International Perspectives on Global Environmental Change, 355, p.37.

EESA, (2019). User Guides - Sentinel-2 MSI - Level-2 Processing, https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2

Ekstrand, S. (1996). Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(2), pp.151-162.

Franklin, S. E. (2001). Remote Sensing for Sustainable Forest Management. CRC Press, United States of America. pp 114-135

Gazol, A., Camarero, J.J., Vicente Serrano, S.M., Sánchez Salguero, R., Gutiérrez, E., de Luis, M., Sangüesa Barreda, G., Novak, K., Rozas, V., Tíscar, P.A. & Linares, J.C. (2018). Forest resilience to drought varies across biomes. Global change biology, 24(5), pp.2143-2158.

Hoffer, A., Swain, P.H. & Davis, S.M. (1978). Remote Sensing: The Quantitative Approach. Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data, pp.227-289.

Hornero, A., Zarco-Tejada, P.J., Quero, J.L., North, P.R., Ruiz-Gómez, F.J., Sánchez-Cuesta, R. & Hernández-Clemente, R. (2021). Modeling hyperspectral-and thermal-based plant traits for the early detection of Phytophthora-induced symptoms in oak decline. Remote Sensing of Environment, 263, p.112570

Huang, K. & Xia, J. (2019). High ecosystem stability of evergreen broadleaf forests under severe droughts. Global Change Biology, 25(10), pp.3494-3503.

Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, 25(3), pp.295-309.

Italiano, S.S., Camarero, J.J., Borghetti, M., Colangelo, M., Pizarro, M. & Ripullone, F. (2023). Radial growth, wood anatomical traits, and remote sensing indexes reflect different impacts of drought on Mediterranean forests. Forest Ecology and Management, 548, p.121406

Jones, Joshua S., Tullis, Jason A., Haavik, Laurel J., Guldin, James M., Stephen, Fred M. (2014). Monitoring oak-hickory forest change during an unprecedented red oak borer outbreak in the Ozark Mountains: 1990 to 2006. Journal of Applied Remote Sensing. 8,1: 083687.

Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology 50:663-666.

Kalbi, S., Fallah, A. & Shataee, S. (2014). Estimation of forest attributes in the Hyrcanian forests, comparison of advanced space-borne thermal emission and reflection radiometer and satellite pour I'observation de la terre-high resolution grounding data by multiple linear, and classification and regression tree regression models. Journal of Applied Remote Sensing, 8(1), p.083632.

Lambert, J., Drenou, C., Denux, J.P., Balent, G. & Cheret, V. (2013). Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis. GIScience & remote sensing, 50(4), pp.437-457.

Lloret, F., Lobo, A., Estevan, H., Maisongrande, P., Vayreda, J. & Terradas, J. (2007). Woody plant richness and NDVI response to drought events in Catalonian (northeastern Spain) forests. Ecology, 88(9), pp.2270-2279.

Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. & 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), pp.2636-2651.

Nedkov, R. (2017). Orthogonal transformation of segmented images from the satellite Sentinel-2. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 70(5), pp.687-692.

Qi, J., Chehbouni, A., Huerte, A.R., Kerr, Y.H. & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index: Remote Sensing Environment, 48(2): pp.119-26.

Recanatesi, F., Giuliani, C. & Ripa, M. (2018). Monitoring Mediterranean Oak decline in a peri-urban protected area using the NDVI and Sentinel-2 images: The case study of Castelporziano State Natural Reserve. Sustainability, 10(9), p.3308.

Rita, A., Camarero, J.J., Nolè, A., Borghetti, M., Brunetti, M., Pergola, N., Serio, C., Vicente-Serrano, S.M., Tramutoli, V. & Ripullone, F. (2020). The impact of drought spells on forests depends on site conditions: The case of the 2017 summer heat wave in southern Europe. Global change biology, 26(2), pp.851-863.

Rouse J.W., Hass. R.H., Schell, J. A. Deering D,W. (1973). Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In Third Earth Resources Technology Satellite -1 Symposium, Washington DC: NASA, pp. 309-317

Traganos, D. & Reinartz, P. (2018). Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery. Marine Pollution Bulletin, 134, pp.197-209.

Vicente-Serrano, S.M., Martin-Hernandez, N., Camarero, J.J., Gazol, A., Sanchez-Salguero, R., Pena-Gallardo, M., El Kenawy, A., Dominguez-Castro, F., Tomas-Burguera, M., Gutierrez, E. & de Luis, M. (2020). Linking tree-ring growth and satellite-derived gross primary growth in multiple forest biomes. Temporal-scale matters. Ecological Indicators, 108, p.105753.

Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Peña-Gallardo, M., Tomas-Burguera, M., Domínguez-Castro, F., Martín-Hernández, N., Beguería, S., El Kenawy, A., Noguera, I. & García, M. (2019). A high-resolution spatial assessment of the impacts of drought variability on vegetation activity in Spain from 1981 to 2015. Natural Hazards and Earth System Sciences, 19(6), pp.1189-1213.

Wang, C., He, H. S., & Kabrick, J. M. (2008). A remote sensing-assisted risk rating study to predict oak decline and recovery in the Missouri Ozark Highlands, USA. GIScience & Remote Sensing, 45(4): 406-425.

Wang, J., Sammis, T.W., Gutschick, V.P., Gebremichael, M., Dennis, S.O. & Harrison, R.E. (2010). Review of satellite remote sensing use in forest health studies. The Open Geography Journal, 3(1).

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Abdollahi, H., & Shataee Joybari, S. (2012). Comparative evaluation of IRS-P6-LISS-III and LISS IV images for canopy cover mapping of Zagros forests (Case Study: Javanroud Forests). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 19(1), 43-60. SID. https://sid.ir/paper/156857/en [In Persian]

Barazmand, S., Shataee Joybari, S., Abdi, O. (2012). Recognition possibility of tree canopy dieback using a high-resolution satellite image of Quick bird (Case study: Shastkolate forest, Gorgan). Iranian journal of forest and poplar research, 19: 466-477. [In Persian]

Barazmand, S., Shataee Joybari, S., Kavousi, M.R., & Habashi, H. (2012). Spatial distribution of tree crown dieback and its relation with some environmental factors and road network. Journal of Wood And Forest Science and Technology, 19(3), 159-174. SID. https://sid.ir/paper/156636/en [In Persian]

Pir Bavaghar, M. (2012). Evaluation of capability of irs-p6 satellite data for predicting quantitative attributes of forests (case study: northern Zagros forests). Iranian Journal of Forest, 3(4), 277-289. SID. https://sid.ir/paper/123193/en [In Persian]

Pilehvar, B., Veys Karami, GH.H., Taheri Abkenar, K., Sousani, J., & Akbari, H. (2010). Conservation priority setting of different vegetation types in off-reserve areas of Zagros forests, based on their diversity contained. Iranian Journal of Forest, 2(1), 81-91. SID. https://sid.ir/paper/123168/en [In Persian]

Jazirehi MH, Ebrahimi M. (2003). Silviculture in Zagros. Tehran: University of Tehran Press. p. 560. [In Persian]

Hosseini, A., hosseini, S.M., rahmani, A., & azadfar, D. (2013). Effect of tree mortality on the structure of Brant's oak (Quercus Brantii) forests of Ilam province of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(4 (50)), 565-577. SID. https://sid.ir/paper/111206/en [In Persian]

Heidari Naserabadi, S. (2016). Investigating the spatiotemporal distribution pattern of Iranian oak drying using remote sensing and GIS (study: Bashet region, Kohgiluyeh, and Boyer Ahmad provinces). MSc Thesis. Yasuj University. [In Persian]

Zakeri Anaraki, S., & Fallah Shamsi, S.R. (2014). An investigation on Persian Oak (Quercus brantii Lindl) single tree defoliation mapping, using Rapideye and Aster-L1B satellite imageries. Iranian Journal of Forest, 5(4), 443-456. SID. https://sid.ir/paper/715718/en [In Persian]

Fundamentals of applied remote sensing with emphasis on satellite image processing. Tabriz University Press. P. 806. [In Persian]

Alavipanah S.K. (2011). Fundamentals of modern remote sensing and photographic interpretation and aerial photography. University of Tehran. Press. 800p. [In Persian]

Lohrabi, Y., Abbasi, M., Soltani, A., & Riyahi Bakhtyari, H.R. (2018). Determination of the most suitable method for forest-type mapping in central Zagros using Landsat-8 Satellite Images. Forest Research and Development, 4(2), 191-205. SID. https://sid.ir/paper/263776/en [In Persian]

Marvie Mohajer. M.R. Silvclture. (2011). University of Tehran. Press. 418p [In Persian]

Mirzaei, J., Akbarinia, M., Hosseini, M., Tabari, M., & Jalali, G. (2008). Comparison of naturally regenerated woody species concerning physiographic and soil factors in Zagros forests (Case study: Arghavan reservoir in north of Ilam province). Pajouhesh va sazandegi, 20(4): 16-23. SID. https://sid.ir/paper/19869/en [In Persian]

Niyazi, Y., Malekinezhad, H., Ekhtesasi, M.R., Morshedi, J., & Hosseini, S.Z.A.A. (2011). Comparison between two classification methods of maximum likelihood and artificial neural network for providing land use maps case study: Ilam dam area. Geography and Development, 8(20), 119-132. SID. https://sid.ir/paper/77376/en [In Persian]

References (in English)

Boloorani, A.D., Ranjbareslamloo, S., Mirzaie, S., Bahrami, H.A., Mirzapour, F. & Tehrani, N.A. (2020). Spectral behavior of Persian oak under compound stress of water deficit and dust storm. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 88, p.102082.

Bolstad, P. and Lillesand, T.M. (1991). Rapid maximum likelihood classification. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57(1), pp.67-74.

Campbell, J.B. & Hall-Beyer, M. (1997). [Introduction to remote sensing. Cartographica, 34(1), p.70.

Czerwinski, C. J., D. J. King, & Mitchell S.W. (2014). Mapping forest growth and decline in a temperate mixed forest using temporal trend analysis of Landsat imagery, 1987–2010, Remote Sensing of Environment, 141: 188 200.

Coluzzi, R., Fascetti, S., Imbrenda, V., Italiano, S.S.P., Ripullone, F. & Lanfredi, M. (2020). Exploring the use of sentinel-2 data to monitor heterogeneous effects of contextual drought and heatwaves on Mediterranean forests. Land, 9(9), p.325.

Dionisio, M.A., Alcaraz-Segura, D. & Cabello, J. (2012). Satellite-based monitoring of ecosystem functioning in protected areas: recent trends in the oak forests (Quercus Pyrenaica Willd.) of Sierra Nevada (Spain). International Perspectives on Global Environmental Change, 355, p.37.

EESA, (2019). User Guides - Sentinel-2 MSI - Level-2 Processing, https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2

Ekstrand, S. (1996). Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(2), pp.151-162.

Franklin, S. E. (2001). Remote Sensing for Sustainable Forest Management. CRC Press, United States of America. pp 114-135

Gazol, A., Camarero, J.J., Vicente Serrano, S.M., Sánchez Salguero, R., Gutiérrez, E., de Luis, M., Sangüesa Barreda, G., Novak, K., Rozas, V., Tíscar, P.A. & Linares, J.C. (2018). Forest resilience to drought varies across biomes. Global change biology, 24(5), pp.2143-2158.

Hoffer, A., Swain, P.H. & Davis, S.M. (1978). Remote Sensing: The Quantitative Approach. Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data, pp.227-289.

Hornero, A., Zarco-Tejada, P.J., Quero, J.L., North, P.R., Ruiz-Gómez, F.J., Sánchez-Cuesta, R. & Hernández-Clemente, R. (2021). Modeling hyperspectral-and thermal-based plant traits for the early detection of Phytophthora-induced symptoms in oak decline. Remote Sensing of Environment, 263, p.112570

Huang, K. & Xia, J. (2019). High ecosystem stability of evergreen broadleaf forests under severe droughts. Global Change Biology, 25(10), pp.3494-3503.

Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, 25(3), pp.295-309.

Italiano, S.S., Camarero, J.J., Borghetti, M., Colangelo, M., Pizarro, M. & Ripullone, F. (2023). Radial growth, wood anatomical traits, and remote sensing indexes reflect different impacts of drought on Mediterranean forests. Forest Ecology and Management, 548, p.121406

Jones, Joshua S., Tullis, Jason A., Haavik, Laurel J., Guldin, James M., Stephen, Fred M. (2014). Monitoring oak-hickory forest change during an unprecedented red oak borer outbreak in the Ozark Mountains: 1990 to 2006. Journal of Applied Remote Sensing. 8,1: 083687.

Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. Ecology 50:663-666.

Kalbi, S., Fallah, A. & Shataee, S. (2014). Estimation of forest attributes in the Hyrcanian forests, comparison of advanced space-borne thermal emission and reflection radiometer and satellite pour I'observation de la terre-high resolution grounding data by multiple linear, and classification and regression tree regression models. Journal of Applied Remote Sensing, 8(1), p.083632.

Lambert, J., Drenou, C., Denux, J.P., Balent, G. & Cheret, V. (2013). Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis. GIScience & remote sensing, 50(4), pp.437-457.

Lloret, F., Lobo, A., Estevan, H., Maisongrande, P., Vayreda, J. & Terradas, J. (2007). Woody plant richness and NDVI response to drought events in Catalonian (northeastern Spain) forests. Ecology, 88(9), pp.2270-2279.

Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. & 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), pp.2636-2651.

Nedkov, R. (2017). Orthogonal transformation of segmented images from the satellite Sentinel-2. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 70(5), pp.687-692.

Qi, J., Chehbouni, A., Huerte, A.R., Kerr, Y.H. & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index: Remote Sensing Environment, 48(2): pp.119-26.

Recanatesi, F., Giuliani, C. & Ripa, M. (2018). Monitoring Mediterranean Oak decline in a peri-urban protected area using the NDVI and Sentinel-2 images: The case study of Castelporziano State Natural Reserve. Sustainability, 10(9), p.3308.

Rita, A., Camarero, J.J., Nolè, A., Borghetti, M., Brunetti, M., Pergola, N., Serio, C., Vicente-Serrano, S.M., Tramutoli, V. & Ripullone, F. (2020). The impact of drought spells on forests depends on site conditions: The case of the 2017 summer heat wave in southern Europe. Global change biology, 26(2), pp.851-863.

Rouse J.W., Hass. R.H., Schell, J. A. Deering D,W. (1973). Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In Third Earth Resources Technology Satellite -1 Symposium, Washington DC: NASA, pp. 309-317

Traganos, D. & Reinartz, P. (2018). Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery. Marine Pollution Bulletin, 134, pp.197-209.

Vicente-Serrano, S.M., Martin-Hernandez, N., Camarero, J.J., Gazol, A., Sanchez-Salguero, R., Pena-Gallardo, M., El Kenawy, A., Dominguez-Castro, F., Tomas-Burguera, M., Gutierrez, E. & de Luis, M. (2020). Linking tree-ring growth and satellite-derived gross primary growth in multiple forest biomes. Temporal-scale matters. Ecological Indicators, 108, p.105753.

Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Peña-Gallardo, M., Tomas-Burguera, M., Domínguez-Castro, F., Martín-Hernández, N., Beguería, S., El Kenawy, A., Noguera, I. & García, M. (2019). A high-resolution spatial assessment of the impacts of drought variability on vegetation activity in Spain from 1981 to 2015. Natural Hazards and Earth System Sciences, 19(6), pp.1189-1213.

Wang, C., He, H. S., & Kabrick, J. M. (2008). A remote sensing-assisted risk rating study to predict oak decline and recovery in the Missouri Ozark Highlands, USA. GIScience & Remote Sensing, 45(4): 406-425.

Wang, J., Sammis, T.W., Gutschick, V.P., Gebremichael, M., Dennis, S.O. & Harrison, R.E. (2010). Review of satellite remote sensing use in forest health studies. The Open Geography Journal, 3(1).