

Investigating dieback intensity trend of Hyrcanian boxwood based on time series studies of vegetation index (Case study: Boxwood stands of Rezvanshahr city, Guilan province)

Zahra Andarz¹, Amir Eslam Bonyad^{2*} and Khosro Sagheb Talebi³

1- PhD student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Guilan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2* - Corresponding author, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Guilan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. Email: bonyad@guilan.ac.ir

3- Professor, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 27.02.2024

Accepted: 11.11.2024

Abstract

Background and objectives: Boxwood is a valuable and unique species of the Hyrcanian forests that has been exposed to various pests for several years. About 72,000 hectares of forest areas in the north of the country are occupied by boxwood habitats. Currently, the boxwood blight disease and the box tree moth pest (*Cydalima perspectalis*) have infected these habitats. In recent years, extensive research has been conducted on the applications of remote sensing in monitoring forest pests, especially by using two physiological characteristics of leaf loss and color change. The purpose of this study is to comprehensively examine the time series satellite images available in the boxwood stands of Rezvanshahr city to derive vegetation indicators and investigate the trend of long-term changes in the vegetation.

Methodology: The study area is the Shemshad forests, with an area of 400 hectares in Rezvanshahr city, in Guilan province. Since boxwood is an evergreen species and is located in the deciduous Hyrcanian forests, only the months from September to December with no canopy and snowfall were used for image analysis in this study.

In this research, Landsat satellite images from 2010 (the time of the outbreak) to 2016, and Sentinel-2 satellite images from 2017 to 2019 were used. After obtaining satellite images, radiometric and atmospheric corrections were performed on the Landsat images using ENVI software. For the Sentinel-2 images, since they already include atmospheric corrections at the L2A level, there was no need for further correction. To convert the spatial resolution of satellite images from 30 meters to 15 meters, image integration and pansharpening methods were applied. After the necessary corrections, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was extracted for Landsat and Sentinel-2 images using ENVI and SNAP software, respectively. To verify the accuracy of the data obtained from satellite images, random sampling was carried out at several points, based on the pixel dimensions of the Sentinel-2 image, which is ten meters by ten meters, in three zones: contaminated, healthy, and completely dry areas for vegetation index control. Using Ordinary Least Squares (OLS) and Mann-Kendall (MK) regression methods, the long-term trend of vegetation index changes was calculated.

Results: Based on the indices extracted from the satellite images, the average index was calculated during the period from 2010 to 2019. Additionally, the minimum, maximum, average, and standard deviation values for 10 satellite images were examined and calculated.

Based on the average vegetation index, the year 2017 had the highest density of boxwood vegetation (with an average of 0.63) and the least drying, while the year 2011 had the highest level of boxwood dieback (with an average of 0.08) in the forests of Rezvanshahr. According to the results, out of the total study area of 400 hectares, 269 hectares showed a 67% increase in vegetation index from 2010 to 2019. Meanwhile, a decrease of 18% was observed in 72 hectares of vegetated areas. In the present study, only 59 hectares (15%) maintained a constant growth trend during these years. The result of long-term trend analysis using OLS and the Mann-Kendall method in most of the forest areas of boxwood trees shows a positive slope (green spectrum), though very small, indicating a greening trend. The low slope values indicate the absence of a clear trend in vegetation changes, and their positive values confirm a very slight increase in NDVI, which suggests the occurrence of very weak greenness and predominant drying. The results of the long-term trend analysis using OLS and the Mann-Kendall method indicate a low slope in the trend of greenness.

Conclusion: Based on the obtained results, only 15% of the vegetation covered with boxwood exhibited a constant trend of change. Through analyses using the Mann-Kendall method and Ordinary Least Squares, and by extracting the Normalized Difference Vegetation Index, we identified a very limited greening trend in boxwood forests. We also found that NDVI is the most effective index for detecting and predicting vegetation changes under pest pressure. It is also suggested that other satellite image sources be used to monitor the trend of dieback changes.

Keywords: Ordinary Least Squares Regression, Mann-Kendall, Time Series, Long-Term Trend, Normalized Difference Vegetation Index

بررسی روند شدت خشکیدگی شمشاد هیرکانی براساس مطالعات سری زمانی شاخص پوشش گیاهی توده‌های شمشاد شهرستان رضوانشهر

زهرا اندرز^۱، امیر اسلام بنیاد^{۲*} و خسرو ثاقب طالبی^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، ایران

۲* - نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، ایران پست الکترونیک: bonyad@guilan.ac.ir

۳- استاد، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: شمشاد از جمله گونه‌های ارزشمند و منحصر به فرد جنگل‌های هیرکانی است که در چند سال اخیر در معرض هجوم انواع آفات قرار گرفته است. حدود ۷۲ هزار هکتار از عرصه‌های جنگلی شمال کشور به رویشگاه‌های شمشاد اختصاص دارد. در حال حاضر بیماری بلایت (Buxus Blight) و آفت شب‌پره شمشاد (*Cydalima perspectalis*) این رویشگاه‌ها را تهدید می‌کنند. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای پیرامون کاربرد سنجش از دور در پایش آفات جنگلی، به‌ویژه با تمرکز بر دو ویژگی فیزیولوژیکی ریزش برگ و تغییر رنگ آن، انجام شده است. هدف از این مطالعه، بررسی جامع تصاویر ماهواره‌ای سری زمانی در توده‌های شمشاد شهرستان رضوانشهر و استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی و تحلیل روند تغییرات بلندمدت آن است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه، توده‌های جنگلی شمشاد به وسعت ۴۰۰ هکتار در شهرستان رضوانشهر (استان گیلان) است. با توجه به اینکه شمشاد گونه‌ای همیشه سبز است و در جنگل‌های خزان‌کننده قرار دارد، تنها از تصاویر ماهواره‌ای شهریور تا آذر (که سایر درختان خزان کرده و برف نیز وجود ندارد) استفاده شد. در این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای لندست از سال ۲۰۱۰ (زمان بروز آفت) تا ۲۰۱۶ و از تصاویر سنتینل ۲ از سال ۲۰۱۷ تا سال ۲۰۱۹ مورد استفاده قرار گرفتند. پس از دریافت تصاویر، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری لازم برای تصاویر لندست در نرم افزار ENVI انجام شد. تصاویر سنتینل ۲ به دلیل برخورداری از تصحیحات اتمسفری در سطح L2A، نیاز به تصحیح نداشتند. برای ارتقای قدرت تفکیک مکانی از ۳۰ متر به ۱۵ متر، از روش تلفیق تصویر و Pansharpening استفاده گردید. سپس شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) برای تصاویر لندست و سنتینل ۲ به ترتیب با نرم‌افزارهای ENVI و SNAP استخراج شد. جهت صحت‌سنجی داده‌های حاصل از تصاویر، در چندین نقطه به با روش نمونه‌برداری تصادفی و براساس ابعاد پیکسل ۱۰×۱۰ متر تصاویر سنتینل-۲، در سه منطقه شامل توده‌های آلوده، سالم و کاملاً خشک، شاخص پوشش گیاهی کنترل گردید. در ادامه، با استفاده از روش‌های رگرسیون حداقل مربعات معمولی Ordinary Least Squares (OLS) و من-کندال (MK) Mann-Kendall روند بلند مدت تغییرات شاخص NDVI محاسبه شد.

نتایج و یافته‌ها: براساس شاخص‌های استخراج شده، میانگین شاخص NDVI در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ محاسبه شد. همچنین مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار برای ۱۰ تصویر ماهواره‌ای بررسی گردید. سال ۲۰۱۷ با میانگین ۰/۶۳ دارای بیشترین تراکم پوشش گیاهی شمشاد و کمترین خشکیدگی بود، در حالی‌که سال ۲۰۱۱ با میانگین ۰/۰۸ بیشترین میزان خشکیدگی را نشان داد. از کل محدوده ۴۰۰ هکتاری مطالعه‌شده، ۲۶۹ هکتار از سال (۶۷ درصد) از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ افزایش پوشش گیاهی داشتند و در ۷۲ هکتار (۱۸ درصد) کاهش پوشش مشاهده شد. همچنین، ۵۹ هکتار (۱۵ درصد) طی این سال‌ها روند رشد ثابتی را نشان دادند. نتایج تحلیل بلندمدت با استفاده از OLS و من-کندال، در بیشتر نقاط جنگلی دارای شیب مثبت و در محدوده طیف سبز بودند، اما این شیب‌ها بسیار تاجیز بوده و بیانگر روند بسیار ضعیف افزایش NDVI است. در واقع، مقادیر پایین

شیب، نبود روند آشکار در تغییرات پوشش گیاهی را نشان می‌دهد و مثبت بودن آن افزایش جزئی در NDVI و وقوع سزینگی ضعیف همراه با تداوم خشکیدگی را تأیید می‌کند. میانگین شاخص من-کندال در محدوده جنگل‌های شمشاد ۰/۰۸ برآورد شده است. نتیجه‌گیری: نتایج تحلیل‌ها بیانگر افزایش بسیار جزئی شاخص NDVI در طی سال‌های مطالعه و خشکیدگی گسترده در جنگل‌های شمشاد بود. اگرچه پوشش گیاهی شمشاد در سال‌های اخیر تحت تاثیر عوامل محیطی و انسانی آسیب‌دیده، روند کلی شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده به‌طور محسوس کاهشی دارای شیب قابل‌توجه رگرسیون است. مناسب بودن شاخص‌های گیاهی استخراج‌شده از تصاویر سری زمانی برای بررسی روند خشکیدگی برگ‌ها تأیید گردید. براساس نتایج، پیشنهاد می‌شود جهت تحلیل دقیق‌تر روند خشکیدگی، از شاخص‌های گیاهی دیگر و تصاویر ماهواره‌ای به روزتر نیز استفاده شود.

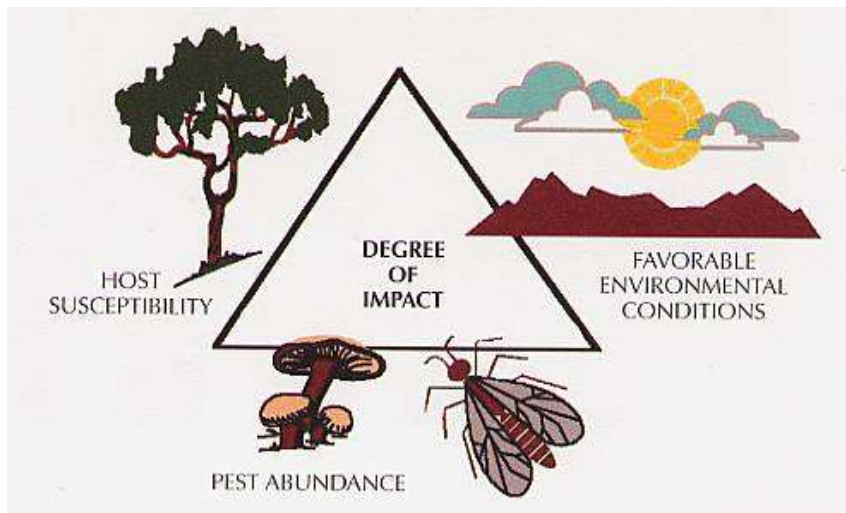
واژه‌های کلیدی: رگرسیون حداقل مربعات معمولی، من-کندال، سری زمانی، روند بلند مدت، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده

مقدمه

جنگل‌ها فواید محسوس و نامحسوس دارند که شامل منابع بیولوژیکی، ذخیره آب، تنظیم اقلیم و ذخیره دی اکسید کربن است (Mori, 2017). این کارکردهای حیاتی به سلامت جنگل وابسته است که بوسیله آفات و بیماری‌ها تهدید شده‌است؛ لذا حفظ سلامت جنگل‌ها از خطرات بسیار حائز اهمیت است (Chenghao *et al.*, 2018). حدود یک سوم از خشکی‌های زمین را جنگل‌ها پوشانده‌اند و در ایران سطح جنگل‌ها ۱۱/۰۷ میلیون هکتار است که ۶/۶ درصد از سطح کل کشور را می‌پوشاند (FAO, 2020). سهم جنگل‌ها در ایران در مقایسه با سایر کشورها، به نسبت پایین است، به همین منظور محافظت از جنگل‌ها برای تکمیل خدمات کافی اکوسیستم مهم است. یکی از نواحی رویشی ایران در تقسیمات جغرافیای گیاهی جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شود که قدمت آن به حدود ۲۰ تا ۲۵ میلیون سال پیش برمی‌گردد که ۸۰ گونه چوبی اعم از درختی و درختچه‌ای را شامل می‌شود

(Sagheb Talebi *et al.*, 2004).

Trumbore و همکاران (۲۰۱۵) حشرات را بزرگترین نگرانی برای اثرات تخریبی شدید روی ساختار جنگل، کارکرد، تولید و تنوع زیستی از طریق ایجاد اپیدمی‌های فاجعه بار یا هجوم مزمن می‌دانند. به گزارش Franklin (۱۹۸۹) و Kia Daliri و همکاران (۲۰۰۷) دخالت‌های نادرست و بهره‌برداری‌های بی‌رویه، خشکسالی‌های کم سابقه و گرمایش جهانی، زمستان با بارش کم برف، کاهش بارندگی، نامنظم بودن پراکندگی باران در طول سال، در اختیار بودن غذای مناسب و عدم وجود دشمنان طبیعی شرایط را برای رشد و نمو و تکثیر حشرات برگ‌خوار از خانواده Geometridae فراهم نموده و باعث برهم خوردن تعادل طبیعی اکوسیستم شده است. درجه خسارت آفات همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بسته به عوامل محیطی و آمادگی گیاهان میزبان و فراوانی آفت، متفاوت است.



شکل ۱- نمایشی از مثلث اثر خسارت آفت

Figure 1. Pest outbreak triangle (Forest Pests, 2000)

زیادی می‌شوند. آفت برگ‌خوار شمشاد با خسارت پنج هزار هکتاری در رتبه دوم آفات و بیماری‌های جنگل‌های

آفات برگ‌خوار همه ساله خسارات زیادی به جنگل‌ها وارد کرده، باعث کاهش رویش درختان و بروز زیان مالی

شب‌پره به‌وسیله لاروها صورت می‌گیرد که آفتی جدی برای گونه شمشاد است (Mally & Nuss, 2010) و باعث می‌شوند که درختان کاملاً عاری از برگ شوند. شیوع بیماری بلایت که عامل اصلی این بیماری نوعی قارچ (*Calonectria Pseudonaviculata* Henricot) از خانواده آسکومیست‌ها است سبب ایجاد حالت سوختگی در برگ درختان شمشاد و توسعه بیماری موجب ریزش برگ و در نهایت نابودی و خشکیدگی در سراسر جنگل‌های هیرکانی شده است (Rezaee et al., 2013) تا اینکه به دلیل کاهش چشمگیر، گونه شمشاد در فهرست گونه‌های گیاهی در خطر انقراض اتحادیه بین‌المللی حفاظت از طبیعت قرار گرفت (Jalili & Jamzad, 1999). این گونه به‌عنوان پناهگاه حیات وحش و نماد میراث جنگل‌های شمال ایران قلمداد می‌شود و بهترین رویشگاه آن در ارتفاع بین ۲۰ تا ۴۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد ولی تا ارتفاع حدود ۱۲۰۰ متری نیز دیده شده است و در مناطق مختلف جنگلی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان می‌روید (Sabeti, 1995)، بنابراین بروز این بیماری و خطر انقراض گونه شمشاد ضرورت برنامه‌ریزی و تدوین راهبردهای مناسب برای مبارزه با آن بیماری را ایجاب می‌کند.

در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی بر روی کاربردهای سنجش از دور در پایش آفات جنگلی به‌ویژه مدل‌های نظارتی خصوصاً در خارج از ایران انجام شده است. در همین حال بیشتر محققان تاکنون از دو خصوصیت فیزیولوژیکی از دست دادن برگ‌ها و تغییر رنگ آن‌ها برای نظارت بر مرحله سلامتی جنگل که بعد از آلوده شدن درختان ظاهر می‌شوند، استفاده کرده‌اند. Gooshbor و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و شاخص‌های حاصل از تصاویر ابرطیفی و داده‌های سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست خشکیدگی برگ‌ها بوسیله آفت گیاه‌خوار را با تمرکز بر روی پروانه جوانه خوار بلوط بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (Normal difference value index = NDVI) محاسبه شده از

هیرکانی در بین ۲۱ آفت و بیماری مهم از نظر وسعت قرارداد. باتوجه به اعلام قائم مقام دفتر حفاظت و حمایت سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، بیشترین خسارت مربوط به بیماری وارداتی سوختگی شمشاد است که به تنهایی ۵۲ هزار هکتار از عرصه‌های جنگلی شمال کشور را آلوده کرده است. براساس آمار سازمان منابع طبیعی کشور در سال ۱۳۹۲ سطح رویشگاه‌های شمشاد حدود ۷۲ هزار و ۴۵۰ هکتار برآورد شده است.

یکی از معدود درختان پهن‌برگ همیشه‌سبز جنگل‌های هیرکانی، گونه‌ای به نام شمشاد جنگلی (*Buxus hyrcana* Pojark) است که دیرزیستی بالایی (بالغ بر ۱۵۰۰ سال) داشته (Marvie Mohajer, 2006) و جزو عناصر اکسین-هیرکانی (Euxino-hyrcanian) محسوب می‌شود (Bobak, 1994). خاستگاه اصلی این گونه مانند برخی دیگر از گونه‌های بومی جنگل‌های هیرکانی نظیر شب‌خسب و کلهو ناحیه رویشی هند و مالزی است که قدمت حضور آن‌ها در جنگل‌های هیرکانی به دوران سوم زمین‌شناسی برمی‌گردد و از این نظر به عنوان یکی از درختان بازمانده اقلیمی دوران پلیوسین در جنگل‌های شمال محسوب می‌شود. این گونه با ارزش از دیرباز مورد تهدید عوامل انسانی و طبیعی بوده و از سطح آن‌ها در کشور کاسته شده است؛ به طوری که به دلیل تخریب و حذف در ارتفاعات جلگه‌ای جنگل‌های شمال و ناسازگاری با رشد در ارتفاعات بالا، محدودیت رویشگاهی تا ارتفاع ۱۷۰۰ متر داشته و از سال ۱۳۷۱ جزء ذخایر جنگلی و گونه ممنوع القطع محسوب شده است. شمشاد از جمله گونه‌های ارزشمند و منحصر به فرد جنگل‌های هیرکانی است که در چند سال اخیر در معرض هجوم انواع آفت‌ها قرار گرفته است (Akhani et al., 2010).

گونه شمشاد به علت تولید چوب با ارزش، متأسفانه همواره مورد بی‌مهری قرار گرفته و علاوه بر قطع و قاچاق چوب در سال‌های گذشته، در حال حاضر بیماری بلایت (*Buxus Blight*) و آفت شب‌پره شمشاد (*Cydalis perspectalis*) نیز گریبان‌گیر این گونه شده است. خسارت

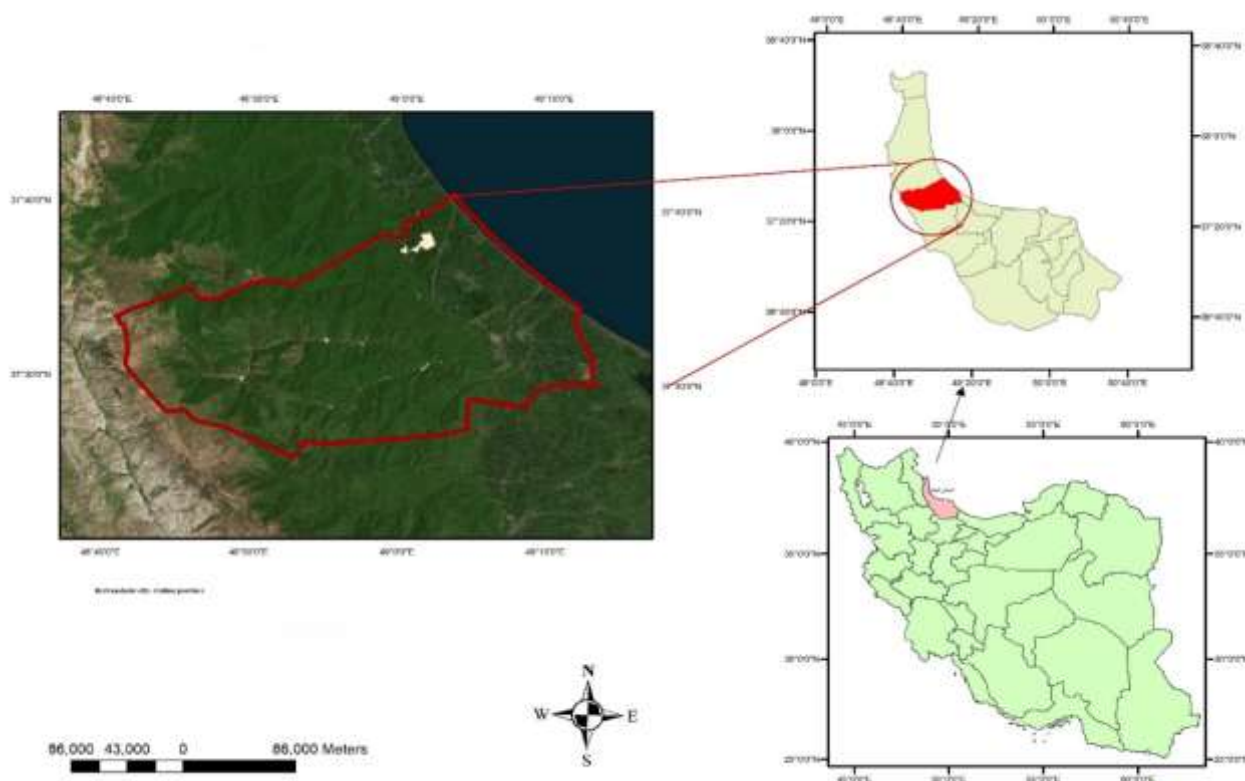
روند خشکیدگی درختان نوپل نوژی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند، مشخص نمودند که استفاده از این روش به همراه استخراج شاخص‌های گیاهی اثربخشی موثری در بارزسازی این روند دارد.

به همین منظور در این مقاله برای یافتن روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی و پیش‌بینی برای آینده و نظارت بر آفات با استفاده از سری تصاویر زمانی ماهواره‌ای تغییر روند پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفت.

داده‌های لندست برای سنجش خسارت این آفات با ضریب همبستگی بالا مناسب می‌باشد.

Lierop و همکاران (۲۰۱۵) روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش شهر رشت را با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست و آزمون غیرپارامتری من‌کنندال تحلیل کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نواحی اقلیمی با پوشش گیاهی متفاوت، روند تغییر پوشش گیاهی متفاوتی نشان می‌دهد.

Mileti و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای که بر روی



شکل ۲- منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Area of study

شهرستان در بین سواحل دریای خزر و رشته کوه‌های تالش قرار دارد و از دو بخش جلگه‌ای و کوهستانی تشکیل شده است. این شهرستان از شمال به دریای خزر و شهرستان طولش، از غرب به شهرستان خلخال، از جنوب به

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۴۰۳ هکتار در شهرستان رضوانشهر استان گیلان واقع شده است (شکل ۲). این

ماهواره‌ای مناسب و با قدرت تفکیک مکانی مناسب آن تهیه می‌گردد. فواید کلیدی استفاده از داده‌های سری زمانی لندست به صورت زیر می‌باشد (Valero et al., 2016).

الف- تصاویر جدید لندست در زمان‌های نزدیک به واقعیت زمانی در دسترس است و در نتیجه برای تشخیص زود هنگام شیوع آفت مناسب است.

ب- این تصاویر ما را قادر می‌سازد که به توانایی خسارت برگ‌خوارها در چندین نقطه در زمان مشخص پی ببریم که نسبت به یک تصویر ثابت مزیت محسوب می‌شود.

ج- قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری لندست امکان تهیه نقشه اندازه و حدود خسارت برگ‌خواری را فراهم می‌کند.

با توجه به مطالعاتی که Wang و همکاران (۲۰۱۰) و Wilfong و همکاران در سال ۲۰۰۹ بر روی تصاویر زمستانی ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ انجام داده‌اند (با استخراج شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده با صحت ۶۸ درصدی تفکیک زیراشکوب همیشه سبز برای گونه زیراشکوب بامبو در جنگل‌های خزان‌کننده) نشان دادند که این تصاویر قابلیت تفکیک درختچه و درختان زیراشکوب را در فصل خزان نیز دارند. از این رو به دلایل ذکر شده در مطالعه حاضر به دلیل اینکه گونه مورد نظر یعنی شمشاد هیرکانی گونه‌ای همیشه سبز بوده و در جنگل‌های خزان‌کننده قرار گرفته است صرفاً ماه‌های شهریور تا آذر که از نظر وجود درختان دیگر خزان نموده‌اند و پوشش برف در منطقه وجود ندارد مورد بررسی قرار گرفت.

داده‌های مورد استفاده

از تصاویر ماهواره‌ای لندست از سال ۲۰۱۰ (زمان بروز آفت) تا ۲۰۱۶ و از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ از سال ۲۰۱۷ تا سال ۲۰۱۹ استفاده شد که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است. تصاویر ماهواره‌ای از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> در سطح جنگل‌های شمشاد شهرستان رضوانشهر دریافت گردید.

شهرستان‌های صومعه سرا و ماسال و از شرق با شهرستان بندر انزلی همجوار است. مختصات این شهرستان بین طول جغرافیایی ۳۰۶۳۶۹ تا ۳۵۶۱۳۸ شرقی و عرض جغرافیایی ۴۱۵۲۵۵۵ تا ۴۱۶۷۹۴۰ شمالی واقع شده است. شیب محدوده نیز از حداقل ۰ تا حداکثر ۵۰ درصد و ارتفاع از حداقل ۲۷- تا حداکثر ۲۴۶۵ متر از سطح دریا می‌باشد. از نظر اقلیم نیز معتدل مرطوب خزری می‌باشد. مطالعه حاضر بر روی جنگل‌های شمشاد در دامنه ارتفاعی پنج متر در پارک جنگلی دکتر درستکار تا ۱۰۶۰ متر از سطح دریا واقع شده است.

شیوه اجرای پژوهش

توانایی تشخیص ماهواره‌ها در میزان و شدت خسارت ناشی از حشرات به جنگل به درجه خسارت وارد شده به تاج پوشش درختان مرتبط است، که ممکن است از تغییر رنگ برگ تا برگ‌ریزی کامل و مرگ درختان متغیر باشد. البته این امر به اندازه و نحوه پراکنش خسارت کاملاً مرتبط است. روش اجرای پژوهش اصلی این نوع مطالعات بر میزان تفاوت بین انعکاس امواج قرمز، مادون قرمز نزدیک و سایر ترکیبات محاسباتی ناشی از این باندها استوار است (Wulder et al., 2006). وقتی امواج الکترومغناطیس به زمین می‌رسند، بخشی از آن‌ها بازتابیده می‌شود که حاوی اطلاعات سطح هر پدیده است (Shojaeean, 2013). بنابراین سنجنده‌ها، بازتاب طیفی تاج درختان را ثبت می‌کنند؛ به همین دلیل شناسایی اشکوب زیرین، تنها در صورت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در فصل خزان امکان‌پذیر است که می‌تواند سهم بازتاب طیفی آشکوب زیرین را در انعکاس ثبت‌شده افزایش دهد (Goodarzimehr et al., 2013). در داده‌های ماهواره‌ای، نوع داده و خصوصیت سنجنده، نوع باند براساس قابلیت‌ها و نوع اطلاعات درخواستی تعیین‌کننده می‌باشد. داده‌های سری زمانی در این مطالعه پس از بررسی‌های همه‌جانبه تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج اطلاعات کمی و کیفی جنگل، تصاویر

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

Table 1. Characteristics of used satellite images

Satellite	Date of get data	Sensor	Special resolution (m)
Landsat 7	2010/12/19	ETM +	30
Landsat 7	2011/12/06	ETM +	30
Landsat 7	2012/01/07	ETM +	30
Landsat 7	2013/11/25	ETM +	30
Landsat 8	2014/12/22	OLI	30
Landsat 8	2015/11/23	OLI	30
Landsat 8	2016/11/25	OLI	30
Sentinel 2	2017/11/27	MSI	10
Sentinel 2	2018/01/31	MSI	10
Sentinel 2	2019/01/16	MSI	10

بررسی نمونه‌های تعلیمی

روش تلفیق تصاویر و روش pansharpening استفاده شد. با استفاده از این روش می‌توان تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی و طیفی مختلف را در هم ادغام کرد و تصویر جدیدی ایجاد نمود که همزمان خصوصیات هر دو تصویر را داراست. لذا تصویر جدید قابلیت بیشتری نسبت به تک تک تصاویر اصلی خواهد داشت.

به منظور صحت سنجی داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، با شدت ۳ درصد تعداد ۴۵ پیکسل با ابعاد ده در ده متر براساس ابعاد پیکسل تصویر سنتینل ۲، به صورت نمونه‌برداری تصادفی در سه منطقه توده آلوده و سالم و کاملاً خشک انتخاب و صحت شاخص گیاهی کنترل گردید.

روش تحلیل

استخراج شاخص گیاهی (NDVI)

در این مطالعه برای تجزیه و تحلیل روند سری تغییرات پوشش گیاهی جنگل‌های شمشاد شهرستان رضوانشهر از شاخص گیاهی NDVI طی دوره مطالعاتی یعنی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ و میانگین گرفتن مجموع آن استفاده شد. پس از انجام تصحیحات لازم، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی برای تصاویر لندست و سنتینل ۲ به ترتیب با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و SNAP استخراج و بر اساس محدوده مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پس از اخذ تصاویر ماهواره‌ای، عملیات تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری مورد نیاز بر روی تصاویر لندست در نرم‌افزار ENVI انجام شد. در خصوص تصاویر سنتینل ۲ چون خود تصاویر در سطح L2A واجد تصحیحات اتمسفری بوده، تصحیحات این تصاویر انجام نشد. به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده و برای افزایش دقت و قابلیت تفسیر تصاویر از تکنیک تلفیق تصاویر استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز برای تبدیل قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره‌ای از ۳۰ متر به ۱۵ متر از

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad \text{رابطه ۱}$$

گیاهی محاسبه شد. روش OLS بر مبنای محاسبه شیب رگرسیون بین ارزش‌های متغیر وابسته و مستقل به صورت پیکسل به پیکسل در بازه زمانی مورد مطالعه مطابق رابطه ۲ بررسی و اجرا می‌شود. متغیر وابسته و مستقل به ترتیب شاخص NDVI و زمان می‌باشند. نقشه‌ی بدست آمده حاصل از روش OLS ارزش هریک از پیکسل را معادل شیب رگرسیون نشان می‌دهد که نرخ تغییر در روند در آن محل است (Masihpour et al., 2019).

R_{RED} و R_{NIR} به ترتیب بیانگر بازتاب در نواحی طیفی مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند. ارزش‌های شاخص NDVI دامنه‌ای از -۱ تا ۱ دارند. شماره باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک در سنجنده‌ی ETM باندهای ۳ و ۴، سنجنده OLI ۴ و ۵ و سنجنده MSI باند ۴ و ۸ می‌باشد. تجزیه و تحلیل روند بلندمدت با روش‌های رگرسیون حداقل مربعات معمولی Ordinary Least Squares (OLS) و من-کندال (Mann-Kendall) (MK)، روند بلند مدت تغییرات شاخص پوشش

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times NDVI_i - (\sum_{i=1}^n i) (\sum_{i=1}^n NDVI_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

دو سری از متغیرها را اندازه‌گیری می‌کند تا مشخص شود که آیا متغیر اول با افزایش متغیر دوم افزایش یا کاهش می‌یابد یا این که الگوهای تغییر آن‌ها در ارتباط با هم نیستند. به طور کلی، برای تعیین روندهای یکنواخت داده‌های با توزیع غیرنرمال بر اساس رتبه‌بندی از آزمون آماری من-کندال استفاده می‌شود (Modarres & Silva, 2007).

دامنه‌ی آماره من-کندال بین -۱ تا +۱ است که +۱ روند افزایشی و -۱ روند همواره کاهشی را در بازه زمانی بیان می‌کند. محاسبه آزمون آماری من-کندال بر اساس آماره S به صورت زیر انجام می‌شود (Mirahsani et al., 2019):

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت sign function و استخراج پارامتر

در رابطه ۲، slope نشان‌دهنده‌ی شیب رگرسیون، n تعداد تصاویر، i ترتیب سال‌ها در دوره‌ی تحقیق (در این پژوهش ۱ تا ۹ سال) و $NDVI_i$ میانگین NDVI در سال i ام می‌باشد. مقدار شیب رگرسیون بالاتر از صفر، بیانگر روند افزایشی و مقدار شیب کمتر از صفر بیانگر روند کاهشی می‌باشد. در این پژوهش با توجه به امکان اینکه داده‌ها در سری زمانی NDVI دارای توزیع نرمال نباشند، از روش من-کندال نیز برای محاسبه روند تغییرات پوشش گیاهی استفاده می‌شود. آزمون من-کندال نخست توسط Mann در سال ۱۹۴۵ بر اساس معنادار بودن ضریب همبستگی تاوکندال (τ) ارائه و سپس توسط Kendall در سال ۱۹۷۵ توسعه یافت و یکی از آزمون‌های مهم برای یافتن روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از مزایای این روش اثرپذیری کم از مقادیر حدی است. Kazemzade و همکاران (۲۰۱۳)، که ضریب همبستگی، میزان ارتباط بین

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{رابطه ۳}$$

علامت (sgn) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

من-کندال (τ) با رابطه ۵ محاسبه شد.

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{for } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

۶ و لازمه‌ی آن واریانس سری زمانی با رابطه ۷ محاسبه شد.

در این رابطه‌ها، m مجموع تکرار مقادیر و i فراوانی داده‌هایی است که ارزش یکسانی دارند.

نماد n تعداد مشاهدات سری‌های زمانی و x_j, x_i به ترتیب ارزش NDVI در زمان‌های i و j میباشند. تابع

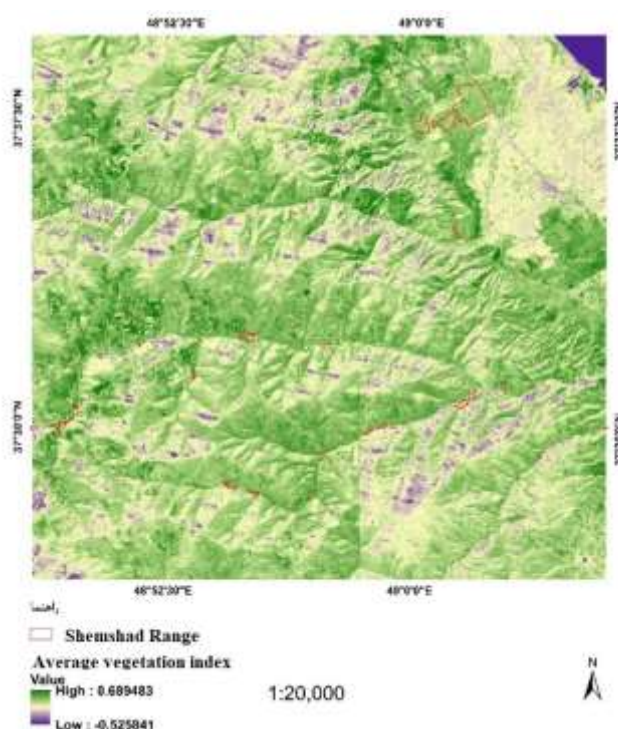
از آزمون غیرپارامتری من-کندال برای تشخیص روندهای معنی‌داری استفاده شد. خروجی این آزمون تصویری حاوی ارزش‌های Z_{MK} در هر پیکسل بود که ارزش‌های مثبت و منفی Z_{MK} ، به ترتیب روندهای افزایش پوشش گیاهی (Greening) و کاهش آن (Browning) را نشان می‌دهند. معنی‌داری من-کندال (Z_{MK}) براساس رابطه

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n-5) \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t-5)}{18} \quad \text{رابطه ۷}$$

نتایج

حداکثر، میانگین و انحراف معیار برای تعداد ۱۰ تصویر (جدول ۲) محاسبه شد و سپس مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.

میانگین شاخص طی دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ در شکل ۳ نشان داده شده است و همچنین مقادیر حداقل،



شکل ۳- میانگین شاخص NDVI

Figure 3. Average of NDVI

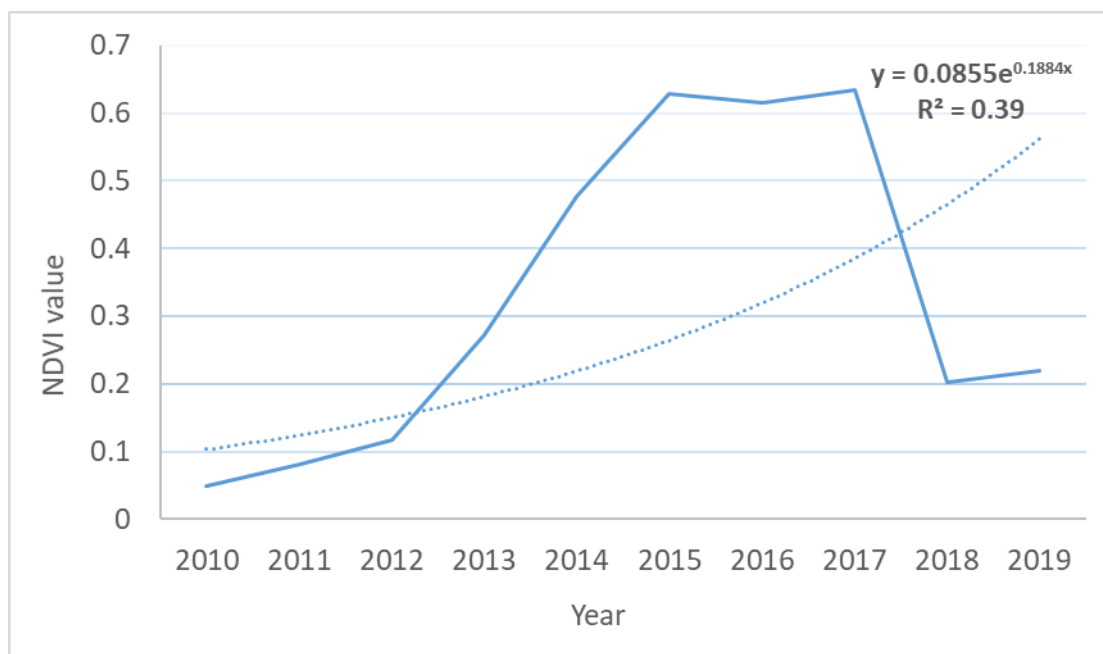
همچنین با توجه به شکل ۴، سال ۲۰۱۷، دارای بیشترین تراکم پوشش گیاهی و کمترین خشکیدگی و سال ۲۰۱۱، دارای بیشترین میزان خشکیدگی در جنگل‌های رضوانشهر است.

جدول شماره ۲ مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار شاخص NDVI در سال‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. ارزش‌های شاخص NDVI از ۱- تا ۱ متغیر است که ارزش میانگین NDVI هرچه بالاتر باشد، مبین سبزی‌نگی پوشش گیاهی شمشاد است.

جدول ۲- مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار شاخص NDVI

Table 2. Minimum, maximum, mean and standard deviation values of the NDVI index

NDVI	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
2010	-1.00	0.42	0.0490	0.17137
2011	-1.00	1.00	0.0811	0.39123
2012	-0.25	0.51	0.1164	0.22698
2013	-0.25	0.56	0.2727	0.22458
2014	0.17	0.77	0.4775	0.11970
2015	0.11	0.92	0.6289	0.147580
2016	0.12	0.92	0.6164	0.14950
2017	0.04	0.99	0.6342	0.18394
2018	-0.13	0.45	0.2030	0.15039
2019	-0.04	0.49	0.2189	0.14631
Mean	-0.5	0.68	0.28	0.1018

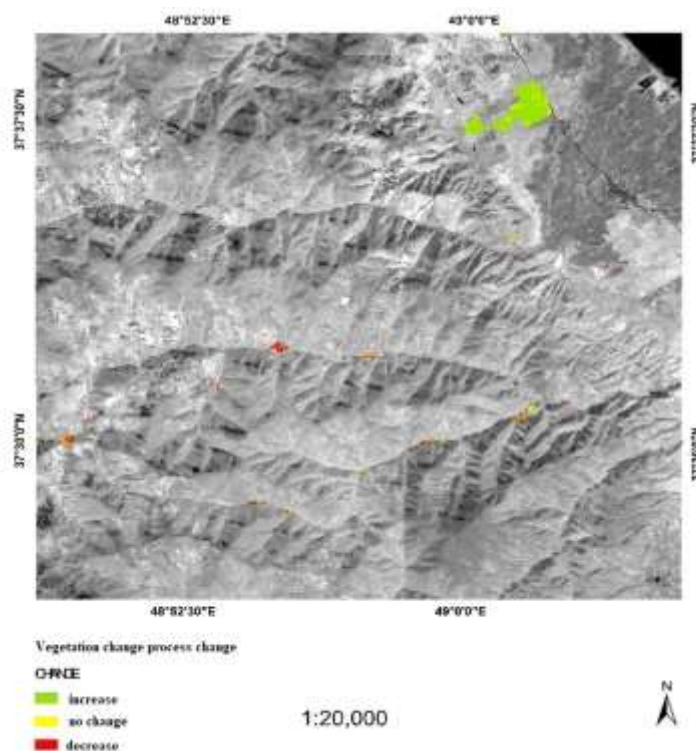


شکل ۴- تغییرات طولانی مدت شاخص گیاهی در منطقه مورد مطالعه

Figure 4. Long-term changes of NDVI in the study years

پوشش‌های گیاهی منطقه نیز شاهد هستیم. در پژوهش حاضر تنها ۵۹ هکتار در طی این سال‌ها روند رشد ثابتی را در پیش داشته است. جدول ۳ تغییرات پوشش گیاهی NDVI را در طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد.

شاخص پوشش گیاهی NDVI تغییرات پوشش گیاهی را پیش می‌کند. با توجه به شکل ۴ و جدول ۳، ۲۶۹ هکتار از پوشش‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ به میزان ۶۷ درصد روند افزایشی داشته است و کاهش ۱۸ درصدی را برای ۷۲ هکتار از مناطق دارای



شکل ۵- نمایش روند تغییرات براساس شاخص من-کندال

Figure 5. Change trend according to Men-Kendal

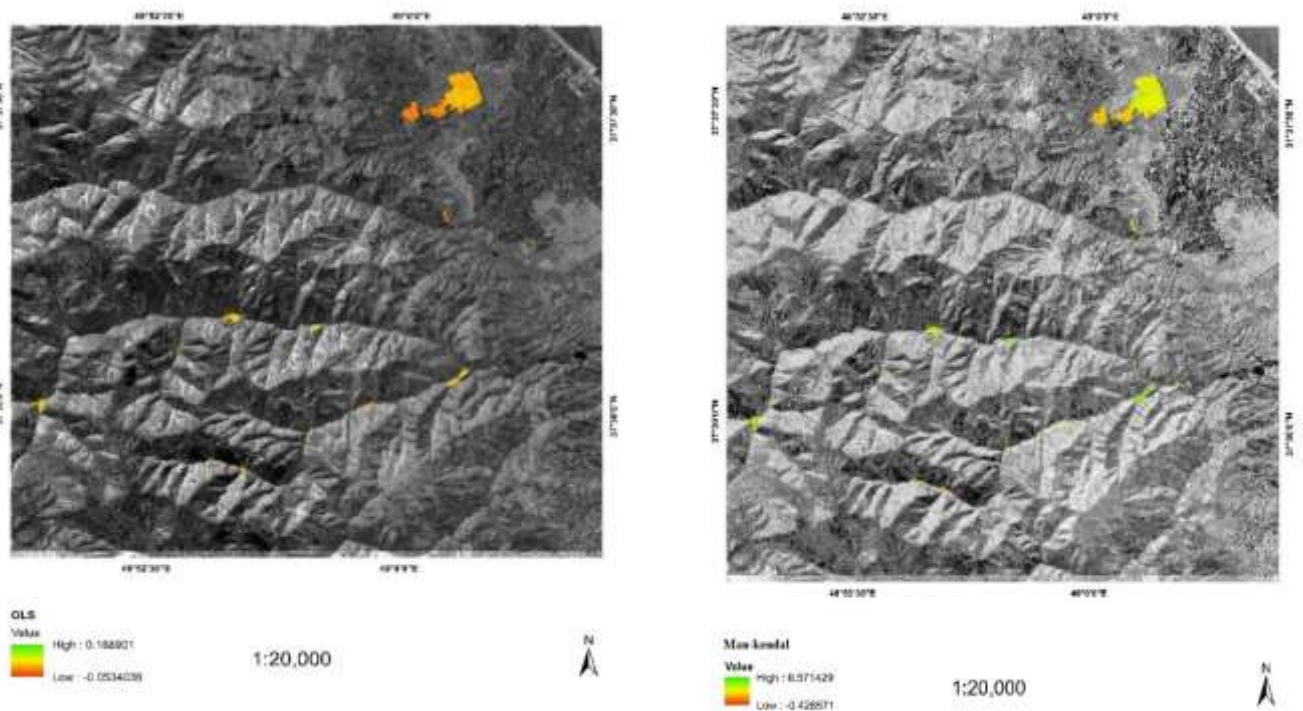
جدول ۳- تغییرات شاخص گیاهی NDVI در طی سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹

Table 3. Change NDVI in years 2009-2019

Percentage	Area(ha)	Change
67	269	Increase
18	72	Decrease
15	59	No-change
100	400	Sum

سبزینگی با شیب به نسبت بیشتر را نشان می‌دهد. میانگین من-کندال در محدوده جنگل‌های شمشاد ۰/۰۸ برآورد شد که با روند افزایشی دائمی (ارزش ۱) فاصله زیادی دارد. بر اساس این نتیجه با اینکه پوشش گیاهی شمشاد در سال‌های اخیر تحت تاثیر عوامل مختلف اقلیمی، محیطی و اقتصادی اجتماعی دچار نقصان و تخریب‌هایی شده است اما در مجموع روند میانگین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) افزایشی با شیب رگرسیون اندک بوده است.

نتیجه‌ی تجزیه و تحلیل روند بلندمدت به روش OLS و من-کندال در شکل ۵ دیده می‌شود. بر اساس این شکل در اکثر نقاط جنگلی درختان شمشاد یک شیب مثبت (طیف سبز) ولی بسیار اندک دیده می‌شود که بیانگر روند سبزینگی است. مقادیر شیب کم بیانگر نبود روندی آشکار در تغییرات پوشش گیاهی است و مثبت بودن آن افزایش بسیار ناچیزی را در NDVI تایید می‌کند که نشان‌دهنده‌ی وقوع سبزینگی بسیار ضعیف و خشکیدگی بیشتر می‌باشد. لکه‌های سبز در جنگل‌های شمشاد



شکل ۶- تجزیه و تحلیل روند بلندمدت به روش OLS و من_کندال
 Figure 6. Long-term trend analysis by OLS and Man-Kendall method

بین کالیبراسیون سنجنده‌ها، شرایط رطوبت و نوردهی، روی اعداد رقومی تصاویر دو زمان موثر است. از آنجایی که در روش‌های شاخص نرمال‌شده تفاوت گیاهی (NDVI)، هم‌زمانی داده‌ها برای همسانی شرایط اتمسفری در زمان اخذ تصاویر مهم است، بایستی از بین تصاویر موجود، تصاویری که به هم نزدیک‌تر باشد، انتخاب گردند. همچنین در بررسی تغییرات، ضرورت دارد تا داده‌های مورد استفاده از یک طرف در یک مقطع زمانی مشابه (از نظر فصل و ماه) بوده و از طرفی دیگر در فصول مناسب برداشت شده باشند تا بازتاب طیفی داده‌ها مشابه و مناسب هم باشند. لذا با توجه به محدودیت انتخاب تصاویر از نظر زمان اخذ تصاویر و فصل، هیچ‌گونه اختلاف زمان اخذ تصاویر مورد استفاده در این تحقیق از نظر فصل و روز برداشت و هیچ تفاوتی از نظر وضعیت رویشی جنگل وجود ندارد. از طرفی با توجه به زمستانه بودن بودن تصاویر، نداشتن تاج پوشش در آشکوب فوقانی، عدم وجود پوشش برف در محدوده مورد مطالعه و

بحث

این پژوهش با هدف بررسی روند شدت خشکیدگی شمشاد ناشی از بیماری بلایت و آفت شب‌پره شمشاد جنگل‌های هیرکانی شهرستان رضوانشهر در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹، از داده‌های سری زمانی شاخص نرمال‌شده تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) تصاویر لندست و سنتینل ۲ انجام گردید.

انتخاب منطقه مورد مطالعه که شرایط لازم جهت شناسایی گستره زیرآشکوب شمشاد و تعیین خسارت ناشی از خشکیدگی را داشته باشد، امری ضروری است. پس از بررسی و بازدید میدانی این منطقه که بخشی از ذخیره‌گاه شمشاد هیرکانی در استان گیلان می‌باشد، به دلیل تراکم مناسب گونه شمشاد و اثرات تخریبی کمتر بیماری بلایت، براساس سبزینگی بالاتر باقیمانده به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شد.

اختلاف در شرایط جوی در دو زمان مختلف، اختلاف

پیش‌بینی آنها است؛ نتایج حاصله مطالعه حاضر نیز موید این مطلب می‌باشد. استفاده از شاخص‌های گیاهی و کارایی آن در نشان دادن روند شدت خشکیدگی در مطالعه Mileti و همکاران (۲۰۲۴) نیز همانند پژوهش حاضر موثر واقع شده است.

همانگونه که Dallahi و همکاران (۲۰۲۳) به اهمیت شاخص NDVI در مطالعات پایش خشکیدگی جنگل‌ها پی بردند، در مطالعه پیش رو نیز اهمیت استفاده از این شاخص مشهود می‌باشد.

همچنین در مطالعه Haghghian و همکاران (۲۰۲۰) مشخص گردید که شاخص‌های گیاهی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 در مناطق تحت تاثیر آفت تفاوت بارزی با مناطق دارای پوشش گیاهی سالم دارد که در این مطالعه نیز این نتیجه مشخص گردید.

Wang و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای زمستانه به تشخیص تغییرات پوشش گیاهی زیرآشکوب پرداختند، در این مطالعه نیز با استفاده از تصاویر زمستانه تغییرات شمشاد در فصل خزان مشخص گردید.

پیشنهادات

معمولا حوادثی که در جنگل‌ها رخ می‌دهند به سرعت شرایط منابع جنگلی را تغییر می‌دهند و مهم‌تر این که این حوادث اغلب با دوره زمانی مشخص که کمتر از دوره آماربرداری‌های سنتی می‌باشند، اتفاق می‌افتند؛ لذا برنامه‌های پایش و نظارتی جنگل نمی‌توانند بر شیوه‌های سنتی تکیه نمایند. بنابراین ضرورت دارد که در برنامه پایش تغییرات و سلامت جنگل از منابعی که داده‌های بهنگام و با دوره تکرار مناسب را فراهم می‌آورند استفاده شود تا زمینه بررسی بهتر تغییرات و بحران در جنگل فراهم گردد. داده‌های سنجنش از دور به دلایل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار و به هنگام شدن مداوم و سهولت پردازش، توأمی با داده‌های میدانی می‌توانند در این زمینه نقش موثری ایفا نمایند و بعنوان یک گزینه در

همیشه سبز بودن گونه شمشاد تصاویر ماهواره لندست و سنتیل انتخاب شدند.

همانگونه که Atkins و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از شاخص NDVI سری زمانی لندست تغییرات پوشش گیاهی زیرآشکوب را تشخیص دادند، در این مطالعه هم بر اساس نتایج بدست‌آمده تنها ۱۵ درصد از پوشش گیاهی پوشیده شده از گونه شمشاد روند تغییرات ثابتی داشته است که نشان‌دهنده تغییرات پوشش گیاهی در اثر بروز آفات در سال‌های ابتدایی طغیان می‌باشد. از روش شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی تنها در صورتی استفاده می‌شود که هدف مشخص کردن مناطق تغییر از عدم تغییر در دوره زمانی مورد بررسی باشد، اما روش مقایسه پس از طبقه‌بندی این مزیت را دارد که علاوه بر مشخص کردن مناطق تغییر از عدم تغییر در دوره زمانی، نوع تغییرات اتفاق افتاده در آن منطقه نیز قابل تعیین است.

با انجام تحلیل‌ها به کمک روش من-کندال و حداقل مربعات معمولی و استخراج شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده، سبزی‌نگی بسیار اندک در جنگل‌های شمشاد در این پژوهش را شاهد بودیم. این امر می‌تواند ناشی از گسترش شدید بیماری باشد بر اساس این نتیجه با اینکه پوشش گیاهی شمشاد در سال‌های اخیر تحت تاثیر عوامل مختلف محیطی و انسانی دچار تخریب‌هایی شده در مجموع روند تغییرات شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده افزایشی با شیب رگرسیون اندک بوده است.

Gooshbor و همکاران (۲۰۱۶)، Valero و همکاران (۲۰۱۶) و Wang و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعات خود نشان دادند استفاده از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده محاسبه شده از داده‌های لندست برای سنجنش خسارت این آفات با ضریب همبستگی بالا مناسب می‌باشد. در این مطالعه نیز استفاده از شاخص‌های اشاره شده موثر و نتیجه‌بخش بوده است.

همچنین Wilfong و همکاران (2009) نیز در مطالعات خود مشخص نمودند که شاخص NDVI بهترین شاخص در زمینه مشخص نمودن تغییرات پوشش گیاهی آفات و

با سرعت بالا اطلاعات مورد نیاز را در اختیار برنامه‌ریزان و مسئولان ذیربط قرار دهند،

بسیار با ارزش خواهند بود. براساس پژوهش انجام شده نیز پیشنهاد می‌گردد از داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و زمانی بالا نظیر sentinel و داده‌های راداری استفاده گردد.

همچنین در بسط این پژوهش می‌توان به انجام مدل‌سازی‌های حاصل از نتایج تغییرات شاخص‌های گیاهی نیز اشاره نمود.

به طور خلاصه به‌عنوان پیشنهادات حاصل از مطالعه حاضر به موارد ذیل اشاره می‌شود:

۱- استفاده از داده‌های ماهواره‌ای sentinel به طور اختصاصی

۲- استفاده از سایر شاخص‌های گیاهی

۲- استفاده از روش‌های مدل‌سازی

۳- بررسی دقیق نمونه‌های تعلیمی از طریق آماربرداری زمینی

جمع‌آوری اطلاعات مطرح شوند. نگرانی اصلی در مدیریت جنگل، کنترل آفات تهدیدآمیز برای زنده‌مانی جنگل است. مدیریت آفات معمولاً متکی بر تشخیص مناسب است، که یک برآورد کافی از قسمت مورد هجوم می‌باشد که این امر آسانی نیست و تشخیص بصری یک توده مورد تهاجم در بعضی موارد به‌ویژه در جنگل‌های غیرقابل‌دسترس وسیع پیچیده می‌باشد. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل ویژگی‌های خاص از جمله دید وسیع، یکپارچگی، کم‌هزینه بودن، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف‌های الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، دوره بازگشت کوتاه، امکان تحلیل خودکار، سریع‌تر بودن بررسی و نیز فراهم کردن امکان پایش منطقه، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین با توجه به قابلیت‌های روزافزون سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، بکارگیری این روش‌ها می‌تواند به‌عنوان گزینه مناسب و راه حلی نوین در تهیه اطلاعات مکانی و توصیفی مطرح شود. از آنجایی که پیشروی بیماری و آفات در طبیعت معمولاً با سرعت بالایی اتفاق می‌افتد، منابع اطلاعاتی که بتواند به صورت به‌هنگام و

References

- Akhani, H., Djamali, M., Ghorbanalizadeh, A. and Ramezani, E., 2010. Plant biodiversity of Hyrcanian relict forests, Iran. An overview of the flora, vegetation, palaeoecology and conservation. *Pakistan Journal of Botany*, 42: 231-258.
- Atkins, J.W., Epstein, H.E. and Welsch, D.L., 2018. Using Landsat imagery to map understory shrub expansion relative to landscape position in a mid-Appalachian watershed. *Ecosphere*, 9(10): p.e02404.
- Bobak, H., 1994. Natural Forests and Woody Plants of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands Iran, 80p.
- Dallahi, Y., Boujraf, A., Meliho, M. and Ashianga Orlando, C., 2023. Assessment of forest dieback on the Moroccan Central Plateau using spectral vegetation indices. *Journal of Forestry Research*, 34: 793-808.
- Esmaili, R., Joibari, S.S., Soosani, J., Naghavi, H. and Poorshakori, F., 2018. Capability investigation on spectral images of Ikonos from leafless season for Box (*Buxus hyrcana* Pojark.) understory distribution mapping in the Hyrcanian forest (case study: Khiboos-Anjils Buxus reserved area, Mazandaran). *Forest and Poplar Research*, 26(1): 12-23 (In Persian).
- FAO, 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 (FRA) of Iran, electronic version. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/70aae432-4a3e-4d96-9083f0800bd959af/content>
- Forest Pests, 2000. Forestry & Society Fall 2003 J.G. Mexal. electronic version
- Franklin, S.E. 1989. Classification of Hemlock Looper defoliation using SPOT HRV imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 15(3): 178-182.
- Goodarzimehr, S., Alavipanah, S.K. and Darvishi Bloorani, A., 2013. Alteration mapping based on mixture tuned matched filtering method and with use of spectral images. *Physical Geography Research*. 45(1,83): 21-38 (In Persian).
- Gooshbor, L., Bavaghar, M.P., Amanollahi, J. and Ghobari, H., 2016. Monitoring infestations of oak forests by *Tortrix viridana* (Lepidoptera: Tortricidae) using Remote Sensing. *Plant Protection Science*, 52(4): 270-276.

- Habibi Kilak, S., Alavi, S.J. and Esmailzadeh, O., 2019. Analyzing the ecological niche of *Buxus hyrcana* Pojark in relation to some environmental variables in the northern forests of Iran. *Journal of Forest and Wood product (Iranian journal of natural resources)*, 72(1): 21-31.
- Haghighian, F., Yousefi, S. and Keesstra, S. 2020. Identifying tree health using sentinel-2 images: a case study on *Tortrix viridana* L. infected oak trees in Western Iran. *Geocarto International*, 37(1): 304-314.
- Jalili, A. and Jamzad, Z., 1999. Red data book of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 748p.
- Kazemzadeh, M., Malekian, A. and Rasoulzadeh, A., 2013. Analyzing the trend of river flows using parametric and non-parametric statistical approaches in Ardabil province. *Researches in Earth Sciences*, 15: 51-63.
- Kia Daliri, H., Kazemi Najafi, S. and Ahangaran, Y., 2007. The effect of leaf feeder moth (*Erannis defoliaria* & *Operophtera brumata*) on radial growth of 3 tree species in north of Iran (case study: Mashalak, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3): 301-309 (In Persian).
- Lierop, P.V., Lindquist, E., Sathyapala, S. and Franceschini, G., 2015. Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events. *Forest Ecology and Management*, 352: 78-88.
- Mafi, S.H. and Barari, H., 2020. An analysis on the consequences of damage caused by the boxwood moth (*Cydalima Perspectalis*) in Hyrcanian forests. *Promotional Journal of Protection and Exploitation of Hyrcanian forests*, 1(2): 3-12.
- Mally, R., and Nuss, M., 2010. Phylogeny and nomenclature of the box tree moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) comb. n., which was recently introduced into Europe (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae: Spilomelinae). *European Journal of Entomology*, 107(3): 393-400, <https://doi.org/10.14411/eje.2010.048>
- Marvie Mohajer, M.R., 2006. Silviculture. University of Tehran Printing and Publishing Institute. Iran. 388p.
- Masihpour, M., Darvishsefat, A.A. and Rahmani, R. 2019. Long-term trend analysis of vegetation changes using MODIS-NDVI time series during 2000-2017 (Case study: Kurdistan province). *Forest and Wood Products*, 72(3): 193-204.
- Miletić, B.R., Matović, B., Orlović, S., Gutalj, M., Đorem, T., Marinković, G., Simović, S., Dugalić, M. and Stojanović, D.B., 2024. Quantifying forest cover loss as a response to drought and dieback of norway spruce and evaluating sensitivity of various vegetation indices using remote sensing. *Forests*, 15: 662. <https://doi.org/10.3390/f15040662>
- Mirahsani, M.S., Salman Mahiny, A., Soffianian, A., Mohamadi, J., Modarres, R., Modares, R. and Pourmanafi, S., 2019. Evaluation of trend in vegetation variations using time series images and mann-kendall test over Gavkhuni Basin. *Journal of Environmental Studies*, 45(1): 99-114.
- Modarres, R. and da Silva, V.D.P.R., 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 70(2): 344-355.
- Moezipour, M. and Mohamadpour, K., 2022. Investigating the effectiveness of pheromone traps in attracting and hunting complete insects of boxwood moth (Crambidae Lepidoptera) (*Cydalima perspectalis* (Walker)). *Promotional Journal of Protection and Exploitation of Hyrcanian Forests*, 3(2): 57-62.
- Mori, A.S., 2017. Biodiversity and ecosystem services in forests: management and restoration founded on ecological theory. *Journal of Applied Ecology* 54(1): 7-11.
- Pasquarella, V.J., Bradley, B.A. and Woodcock, C.E., 2017. Near-real-time monitoring of insect defoliation using Landsat time series. *Forests*, 8(8): 275.
- Rezaee, S., Kia Daliri, H., Sharifi, K., Ahangaran, Y. and Hajmansoor, S., 2013. Boxwood blight caused by *Cylindrocladium buxicola* in Tonekabon forest. *Applied entomology and Phytopathology*, 80(2): 197-198.
- Sabeti, H., 1995. Iran's Forests, Trees and Shrubs. Yazd university. 888p.
- Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Yazdian, F., 2004. Forests of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Technical Publication, p.339-2003.
- Shojaeean, A., 2013. Usage of satellite images in land use changes by landuse multiplication matrix model-Case study: Dezful. *Scientific. Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR)*, 86: 55-62.
- Trumbore, S., Brando, P. and Hartmann, H., 2015. Forest health and global change. *Science*, 349(6250): 814-818.
- Valero, S., Morin, D., Inglada, J., Sepulcre, G., Arias, M., Hagolle, O., and Koetz, B., 2016. Production of a dynamic cropland mask by processing remote sensing image series at high temporal and spatial resolutions. *Remote Sensing*, 8(1): 55.
- Wang, L., Huang, H. and Luo, Y., 2010. Remote sensing of insect pests in larch forest based on physical model. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. p. 3299-3302.
- Wang, T., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G. and Liu, X., 2009. Understory bamboo discrimination using a winter image. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(1): 37-47.
- Wilfong, B.N., Gorchov, D.L. and Henry, M.C., 2009.

- Detecting an invasive shrub in deciduous forest understories using remote sensing. *Weed Science*, 57(5): 512-520.
- Wulder, M.A., Dymond, C.C., White, J.C., Leckie, D.G. and Carroll, A.L., 2006. Surveying mountain pine beetle damage of forests: a review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*. 1(3): 27-41.
- Zhu, C., Zhang, X., Zhang, N., Hassan, M.A. and Zhao, L., 2018. Assessing the defoliation of pine forests in a long time-series and spatiotemporal prediction of the defoliation using Landsat data. *Remote Sensing*, 10(3): 360.