

Original Article



Iranian Remote Sensing GIS
Journal of Sensing

Preparation of Distribution and Health Map of Afforestation in Langroud County Using Sentinel-2 Sensor Images and Field Data

Fatemeh Ahmadloo^{1*}, Saeedeh Eskandari¹, Mahmood Bayat¹, Mehrdad Mirzaei², Shahryar Sobh Zahedi³, Amin Nasrollahian⁴

Affiliation

1. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran
2. Forest Expert, Department of Natural Resources of Langroud, Guilan Natural Resources and Watershed Administration, Rasht, Iran
3. Researcher Expert, Research Division of Natural Resources, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Rasht, Iran
4. Forest Expert, Guilan Natural Resources and Watershed Administration, Rasht, Iran

Citation:

Ahmadloo, F., Eskandari, S., Bayat, M., Mirzaei, M., Sobh Zahedi, Sh., Nasrollahian, A., Preparation of Distribution and Health Map of Afforestation in Langroud County Using Sentinel-2 Sensor Images and Field Data, *Iran J Remote Sens GIS*. 17(3):1-22.

ABSTRACT

Background and aim: Monitoring the current status of existing afforestation's in management decisions is very important for the development of afforestation's in the future. This study was conducted in order to monitor the area, distribution and health of afforestation's in Langroud County, Guilan province. Sustainable management of current and future annual afforestation's requires studies on the status of the afforestation's with focusing on their health, and healthy afforestation's can have greater environmental performance compared to unhealthy ones. The aim of this study is to prepare a map and survey of the areas of afforestation's in Langroud County using ground surveys, Android GPS software (GFAMP), and Google Earth for the protection, enrichment, and development of afforestation's in the future. The health of the stands is also assessed using Sentinel 2 sensor images and vegetation cover indices of SAVI, TNDVI, NDVI, and RVI.

Materials and Methods: For this purpose, first, field surveys were done in the form of land points from the existing afforestation, and the distribution map of afforestation was prepared using the land surveys, GPS Fields Area Measure PRO application (GFAMP), and Google Earth system. Then the Sentinel 2 sensor image related to the growing season in Langroud County was prepared from the Copernicus site. From the Sentinel 2 sensor images, various vegetation indices such as NDVI, TNDVI, SAVI and RVI related to the growing season were extracted and their maps were prepared in the area of afforestation. In the following, the amount of each vegetation index was extracted at the points of land harvesting and the correlation of the values of each vegetation index (resulting from images of the growing season of Sentinel 2 sensor) with the health of afforestation (resulting from field harvesting) was investigated. For this purpose, Pearson's correlation coefficient was used. Then, the index that showed the highest correlation with the health of afforestation in Langroud County (NDVI) was selected as the most important index to estimate the health of afforestation and its regression relationship with the health of afforestation was obtained. In the following, using the map of the most favorable vegetation index, information of field survey and the relationship between these two cases, a health map of afforestation in Langroud County was prepared.

Results and Discussion: Based on the findings of this study, a total of 66 afforestation plots were identified in this county that the total area of these plots was obtained using the 100% inventory method and ground control as 746.2 ha, which are mainly distributed in the southwest of the county. In addition, the results showed that the NDVI Index is the most favorable vegetation index for estimating the health of afforestation in Langroud County, which indicates the ability of this index to assess the health of trees during the growing season. After that, the SAVI index showed the highest correlation with tree health, which also shows the good ability of this index in monitoring tree health. While the two indices TNDVI and RVI showed a much lower correlation with tree health within the Langroud afforestation area, their use for assessing tree health in future studies is not recommended. Of the current total area of afforestation, 400.56 ha are in full health status, 305.60 ha are in medium health status, and 40.04 ha are in unhealthy status. The overall accuracy (OA) of the afforestation's health map in this study was 80 %, the producer accuracy was 79%, the user accuracy was 78 %, and the kappa coefficient was 0.73. These results indicate the optimal classification of the afforestation's health map into different tree health and vigor classes. In general, the afforestation's in this county are mostly in perfect health, but some areas of Kachlebon, Larzian, Gandom Bijaran, Ghazi Dasht, Khorsh Sara, and Chaksar (Chakdasht) are less successful due to the lack of conservation operations and the lack of guards in the early years.

Conclusion: The results of this research will help the forest managers for quantitative and qualitative monitoring of afforestation and its continuity in certain time periods as well as future afforestation development plans. The presented regression model, based on the high correlation of the NDVI index with the health of afforestation, allows for rapid estimation, quantitative, low-cost, affordable, and economic assessment of the health status of afforestation on a large scale and in inaccessible areas. The results of this research, by understanding the current status of afforestation, provide a good view of the capacity and potential of Langroud County for afforestation, considering the environmental and ecological conditions of this county.

Keywords: Forest development, Google Earth system, Vegetation indices, Enrichment, Ground reference.

* Corresponding Author: ahmadloo@rifr-ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.234675.1202>

Received: 2024.02.02
Accepted: 2024.04.20





تهیه نقشه پراکنش و سلامت جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ و داده‌های زمینی

فاطمه احمدلو^{۱*}، سعیده اسکندری^۱، محمود بیات^۱، مهرداد میرزایی^۱، شهریار صبح زاهدی^۲، امین نصراللهیان^۳

سمت

۱. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲. اداره منابع طبیعی شهرستان لنگرود، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، رشت، ایران
۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۴. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان، رشت، ایران

چکیده

سابقه و هدف: پایش وضعیت فعلی جنگل کاری‌ها در تصمیمات مدیریتی برای توسعه جنگل کاری‌ها در آینده بسیار مهم است. این مطالعه به منظور پایش سطح، پراکنش و سلامت جنگل کاری‌ها، در شهرستان لنگرود استان گیلان، انجام شد. مدیریت پایدار عرصه‌های جنگل کاری‌های سنوایی در حال و آینده نیازمند مطالعاتی در مورد وضعیت جنگل کاری‌ها، با تمرکز بر سلامت جنگل کاری‌هاست و مناطق جنگل کاری‌شده سالم می‌توانند عملکرد محیط‌زیستی بهتری را در مقایسه با جنگل کاری‌های ناسالم، داشته باشند. هدف این مطالعه تهیه نقشه و مساحی محدوده‌های جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود، با استفاده از برداشت‌های زمینی، نرم‌افزار GPS اندروید (GFAMP) و سامانه گوگل ارث برای حفاظت، غنی‌سازی و توسعه جنگل کاری‌ها در آینده است. همچنین در آن سلامت توده‌ها، با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۲ و شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، TNDVI، SAVI و RVI ارزیابی می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، ابتدا برداشت‌های میدانی از جنگل کاری‌های کنونی، در قالب نقاط زمینی، انجام شد و نقشه پراکنش جنگل کاری‌ها با استفاده از برداشت‌های زمینی، نرم‌افزار GPS اندروید (GFAMP) و سامانه گوگل ارث تهیه شد. سپس تصویر سنجنده سنتینل-۲، مختص فصل رویش در شهرستان لنگرود، از وب‌گاه کوپرنیکوس تهیه شد. از تصاویر سنجنده سنتینل-۲، شاخص‌های پوشش گیاهی گوناگون مانند NDVI، TNDVI، SAVI و RVI مربوط به فصل رویش استخراج و نقشه‌های آنها در محدوده جنگل کاری‌ها تهیه شد. در ادامه، میزان هر شاخص پوشش گیاهی در نقاط برداشت‌های زمینی استخراج شد و میزان همبستگی مقادیر هر شاخص پوشش گیاهی (حاصل از تصاویر فصل رویش سنجنده سنتینل-۲) با سلامت جنگل کاری‌ها (با استفاده از برداشت‌های میدانی) بررسی شد. بدین منظور ضریب همبستگی پیرسون به کار رفت. سپس شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود داشت به‌منزله مهم‌ترین شاخص برای برآورد سلامت جنگل کاری‌ها انتخاب شد و رابطه رگرسیونی آن نیز با سلامت جنگل کاری‌ها به دست آمد. در ادامه، با استفاده از نقشه مطلوب‌ترین شاخص پوشش گیاهی، اطلاعات برداشت‌های میدانی و ارتباط بین این دو مورد، نقشه سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود تهیه شد.

نتایج و بحث: براساس یافته‌های این پژوهش، در مجموع، ۶۶ قطعه جنگل کاری در این شهرستان شناسایی شد؛ مساحت کل این قطعات، با استفاده از روش آماربرداری صددرصد و کنترل زمینی، به‌میزان ۷۴۶/۲ هکتار به دست آمده است که معمولاً در جنوب‌غرب شهرستان پراکنش دارند. به‌علاوه، نتایج نشان داد که شاخص NDVI مطلوب‌ترین شاخص پوشش گیاهی، برای برآورد سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود، شمرده می‌شود و این نکته حاکی از توانایی این شاخص در ارزیابی سلامت درختان طی فصل رویش است. پس از آن، شاخص SAVI بیشترین همبستگی را با سلامت درختان نشان داد که این نکته نیز گویای توانایی مطلوب این شاخص در پایش سلامت درختان است. از دیگرسو دو شاخص TNDVI و RVI همبستگی بسیار کمتری را با سلامت درختان، در محدوده جنگل کاری‌های لنگرود، نشان دادند و از این‌رو استفاده از آنها، برای ارزیابی سلامت درختان در مطالعات بعدی، توصیه نمی‌شود. از مجموع مساحت فعلی جنگل کاری‌ها، ۴۰۰/۵۶ هکتار در وضعیت سلامت کامل، ۳۰۵/۶۰ هکتار در وضعیت سلامت متوسط و ۴۰/۰۴ هکتار در وضعیت ناسالم قرار دارند. صحت کلی (OA) نقشه سلامت جنگل کاری‌ها در این پژوهش ۰/۸۰، صحت تولیدکننده ۰/۷۹، صحت کاربر ۰/۷۸ و ضریب کاپا ۰/۷۳ است. این نتایج نشان می‌دهد نقشه سلامت جنگل کاری‌ها به‌خوبی در دسته‌های گوناگونی طبقه‌بندی شده که گویای سلامت و شادابی متفاوت درختان است. به‌طور کلی، جنگل کاری‌های این شهرستان اغلب در سلامت کامل‌اند اما برخی از عرصه‌های کچل‌بن، لرزبان، گندم بیجاران، قازی‌دشت، خورش‌سرا و چاکسر (چاکدشت)، به‌دلیل انجام نشدن عملیات حفاظتی و نداشتن فرق‌بان در سال‌های اولیه، موفقیت کمتری داشته‌اند.

استناد:

احمدلو، ف.، اسکندری، س.، بیات، م.، میرزایی، م.، صبح زاهدی، ش.، نصراللهیان، ا.، تهیه نقشه پراکنش و سلامت جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ و داده‌های زمینی، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴: ۱-۲۲.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش، در زمینه پایش کمی و کیفی جنگل کاری‌ها و تداوم آن در دوره‌های زمانی معین و همچنین برنامه‌های توسعه جنگل کاری در آینده، به مدیران جنگل کمک شایانی می‌کند. مدل رگرسیونی مطرح‌شده براساس همبستگی بالای شاخص NDVI با سلامت جنگل کاری‌ها امکان برآورد سریع و ارزیابی کمی، کم‌هزینه، مقرون‌به‌صرفه و اقتصادی وضعیت سلامت جنگل کاری‌ها در سطح وسیع و مناطق دوزاردسترس را فراهم می‌کند. نتایج این تحقیق، با شناخت وضعیت کنونی جنگل کاری‌ها، درباره توان و پتانسیل‌های شهرستان لنگرود برای جنگل کاری، با توجه به شرایط محیطی و اکولوژیکی این شهرستان، دید مناسبی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: توسعه جنگل، سامانه گوگل ارث، شاخص‌های پوشش گیاهی، غنی‌سازی، واقعیت زمینی.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ahmadloo@rif-ac.ir

شناسه دیجیتال مقالات: 10.48308/gisj.2024.234675.1202 <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.234675.1202>

۱- مقدمه

جنگل های شمال کشور، به دلیل بهره برداری های غیراصولی و تجدید نشدن حیات طبیعی در مناطق گوناگون، در معرض تهدید قرار گرفته است اما با انجام دادن عملیات جنگل کاری می توان به احیا، توسعه و غنی سازی آنها کمک کرد. لازمه موفقیت جنگل کاری های انجام شده، علاوه بر شناسایی عرصه های مستعد و مکان یابی دقیق محل های کاشت، انتخاب گونه های متناسب با شرایط اکولوژیک مناطق کاشت و بردبار در برابر تنش های محیطی و همچنین پایش سلامت جنگل کاری هاست (Cavalli et al., 2023). در بیانیه های کنفرانس استکهلم (۱۹۷۲)، ریو (۱۹۹۲)، ژوهانسبورگ (۲۰۰۲) و برنامه های فائو و سازمان ملل متحد بر اهمیت جنگل کاری، احیا و توسعه جنگل ها برای داشتن محیط زیستی سالم تأکید شده است (Lago, 2009). اولین جنگل کاری شاخص در شمال کشور طی سال ۱۳۴۰، در شهر پشت نوشهر و در قطعه ای به مساحت ۴۰ هکتار، با گونه های متنوع سوزنی برگ انجام شد. در سال ۱۳۴۱ با ملی شدن جنگل ها و مراتع کشور، جنگل کاری دامنه ای گسترده تر یافت و در مجموع، از سال ۱۳۴۱ تا پایان ۱۳۸۵، حدود ۴۳۷ هزار هکتار جنگل کاری در شمال کشور انجام شده است (Hedayati, 2001). این در حالی است که مجموع جنگل کاری انجام شده در جنگل های غیر از شمال کشور، در همین محدوده زمانی، حدود ۶۵۰ هزار هکتار بوده است. طی سال های ۱۲۹۸ تا ۱۳۵۷، مساحت کل اراضی جنگل کاری شده در شمال (منطقه مرطوب) و سایر نقاط کشور (مناطق خشک و نیمه خشک) به ترتیب، ۲۹۴۰۰ هکتار و ۱۳۳۰۰ هکتار بوده و تا سال ۱۳۷۷، مساحت کل اراضی جنگل کاری شده در ایران به ۷۸۱۲۰۰ هکتار رسیده است. پروژه های جنگل کاری در سال های اخیر، با توجه به اهمیت محیط زیستی و اقتصادی- اجتماعی، رشد فزاینده ای داشته و به صورت فعالیتی عمرانی و توسعه ای، در سطح بین المللی مطرح شده است. در این راستا، نتایج ارزیابی سلامت این

جنگل کاری ها نیز برای تعیین میزان موفقیت و افزایش عملکرد آنها، با توجه به اهداف گوناگون کاشت، در اجرای جنگل کاری های آینده اهمیت بسیار زیادی دارد. انتخاب گونه در طرح های جنگل کاری نیز از مهم ترین مسائلی است که در موفقیت یا شکست این طرح ها نقش اساسی ایفا می کند و باید میزان سازگاری گونه ها با شرایط عرصه کاشت، به منظور برنامه ریزی های آینده، بررسی شود.

سلامت جنگل متغیر مهمی است که برای تصمیم گیری مدیریت جنگل باید پایش شود اما ارزیابی و پایش سلامت جنگل، صرفاً بر اساس بررسی های میدانی، دشوار است. استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجش از دور به دلیل ویژگی هایشان، از جمله سطح پوشش وسیع، امکان تصویربرداری تکراری در دوره های زمانی معین و امکان دریافت تصویر از مناطق دور از دسترس، امکان بررسی تغییرات در سلامت گیاهان، مانند بروز خشکیدگی درختان را فراهم می کند (Hosseini et al., 2019). بر اساس بازتاب طیفی از پدیده ها در بوم سازگان جنگلی، گیاهان منطقه، مشخصات تاج پوشش و وضعیت سلامت و شادابی گیاهان که از طریق سنجنده های ماهواره ای ثبت می شود، تهیه نقشه سلامت پوشش گیاهی امکان پذیر است؛ این نکته در پژوهش های اوگایا^۱ و همکاران (۲۰۱۵) تأیید شده است. امروزه داده های ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی^۲ و زمانی^۳ چشمگیر، برای پایش سلامت جنگل، قابلیت های بسیاری دارند (Liu et al., 2006). در زمینه کاربرد تصاویر ماهواره ای برای بررسی سلامت جنگل و یا موارد مربوط به کاربرد سنجش از دور در جنگل کاری ها، پژوهش های بسیاری انجام شده است که می توان به تحقیقات حسینی^۴ و همکاران (۲۰۲۱)، شفیعیان^۵ و همکاران (۲۰۲۳)، صبا^۶ و

1. Ogaya
2. Spatial Resolution
3. Temporal Resolution
4. Hosseini
5. Shafeian
6. Saba

چهارموتوره بسیار سبک و دارای دوربین دوازده مگاپیکسل و همچنین شاخص‌های گیاهی اختلاف رنگ سبز- قرمز نرمال شده (NGRDI)^۹ و سبز افزوده شده (EXG)^{۱۰} بهره بردند. باقری و عرفانی فرد^{۱۱} (۲۰۲۰) نقشه پراکنش مکانی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم استان فارس را تهیه کردند؛ بدین منظور، آنها پراکنش مکانی درختان خشکیده را با استفاده از تلفیق تکنیک زمین آمار و سنجش از دور، تحلیل و تشریح کردند. جعفری^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۱) نقشه پراکنش و فراوانی درصد خشکیدگی درختان بلوط در واحدهای فیزیوگرافی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست- ۸ ارائه دادند که در نتیجه آن، طبقات متفاوت خشکیدگی مشخص شد. جهدی و حزباوی^{۱۳} (۲۰۲۴) سلامت بوم‌سازگان جنگل در مقیاس حوضه آبخیز شنود سیاهکل را با استفاده از سنجش از دور و ترکیب شاخص شاخص، شامل NDVI، شاخص پوشش گیاهی افزایش یافته (EVI)^{۱۴}، پوشش گیاهی تعدیل شده برحسب خاک (SAVI)^{۱۵}، شاخص تفاضلی نرمال شده آب (NDWI)^{۱۶}، شاخص بازتاب آنتوسیانین ۱ (ARI1)^{۱۷} و شاخص بازتاب کاروتنوئید ۱ (CRI1)^{۱۸}، براساس تصاویر لندست- ۸ ارزیابی کردند.

همکاران (۲۰۲۴) و قاسمی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) اشاره کرد. فناوری سنجش از دور میزان انرژی الکترومغناطیسی ساطع شده از برگ و تاج درختان را در داخل باندهایی که غالباً در محدوده ۳۵۰ نانومتر تا ۲۵۰۰ نانومتر قرار دارند، اندازه‌گیری می‌کند. محققان این داده‌های طیفی را به صورت تک‌باندی یا ترکیب باندی و شاخص‌های گیاهی، برای تعیین و تهیه نقشه سلامت جنگل، به کار می‌برند (Cotrozzi, 2022). تصاویر چندطیفی و شاخص‌های پوشش گیاهی اطلاعات مفیدی برای تشخیص سلامت گیاه دربردارند (Zhang et al., 2022).

مدیریت پایدار عرصه‌های جنگل کاری‌های سنواتی در حال و آینده نیازمند مطالعاتی درباره وضعیت جنگل کاری‌ها، با تمرکز بر سلامت آنهاست زیرا مناطق جنگل کاری شده سالم، در مقایسه با جنگل کاری‌های ناسالم، می‌توانند عملکرد محیط‌زیستی بهتری داشته باشند. با این حال تحقیقاتی که تا کنون در مورد حفاظت و پایش سلامت جنگل کاری‌ها و سلامت توده در داخل کشور انجام شده بسیار محدود بوده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. برازمنند^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، طی مطالعه‌ای در جنگل شصت کلاته گرگان، امکان تشخیص سرخشکیدگی تاج درختان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Quickbird بررسی کردند. این پژوهشگران، در این بررسی، شاخص‌های گیاهی مانند شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)^۳، شاخص تبدیل پوشش گیاهی نرمال شده (TNDVI)^۴، شاخص مجدد پوشش گیاهی نرمال شده (RVI)^۵، شاخص پوشش گیاهی (VI)^۶، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده سبز (GNDVI)^۷ و الگوریتم برش تراکمی را به کار بردند. حسین پور^۸ و همکاران (۲۰۱۹) در تشخیص تنش برگ نهال‌های افراپلت، بلوط و مخلوط این دو گونه در عرصه‌های جنگل کاری واقع در طرح جنگل‌داری نکا ظالم‌رود، در نه منطقه یک تا سه‌هکتاری، از سنجنده نور مرئی پهباد با پرواز عمودی

1. Ghasemi
2. Barazmand
3. Normalized Difference Vegetation Index
4. Transformed Normalized Difference Vegetation Index
5. Renormalized Vegetation Index
6. Vegetation Index
7. Green Normalized Difference Vegetation Index
8. Hoseinpour
9. Normalized Green-Red Difference Index
10. Excess Green
11. Bagheri & Erfanifard
12. Jafari
13. Jahdi & Hazbavi
14. Enhanced Vegetation Index
15. Soil Adjusted Vegetation Index
16. Normalized Difference Water Index
17. Anthocyanin Reflectance Index 1
18. Carotenoid Reflectance Index 1

سطح آنها، ناهمگنی گونه‌ها و روش کاشت و اقدامات مدیریتی انجام‌شده، هر جنگل کاری باید در مقیاس منطقه‌ای به صورت مجزا تحت عملیات پایش و ارزیابی مستمر قرار گیرد و با توجه به ارزیابی‌های صورت‌گرفته در زمینه‌های متفاوت تحقیقاتی، بانک اطلاعاتی بهنگام و دقیق شکل بگیرد و نتیجه اجرای جنگل کاری‌ها بررسی شود و همچنین پیشنهادهای اجرایی برای بهبود کمی و کیفی هر جنگل کاری مطرح شود.

با توجه به اینکه تا کنون آمار سطح جنگل کاری‌ها به صورت موردی گزارش شده و سلامت و موفقیت جنگل کاری‌ها نیز بررسی نشده و یا به صورت خلاصه، در کتابچه‌های طرح آورده شده است، تحقیق حاضر به منظور ایجاد بانک اطلاعاتی بهنگام و دقیق از وضعیت جنگل کاری‌های لنگرود در استان گیلان، در راستای برنامه‌های راهبردی به منظور تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت صحیح و پایدار منابع جنگلی، انجام شده است. هدف این مطالعه تهیه نقشه و مساحی محدوده‌های جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود، با استفاده از برداشت‌های زمینی، نرم‌افزار GPS اندروید (GFAMP) و سامانه گوگل ارث برای حفاظت، غنی‌سازی و توسعه جنگل کاری‌ها در آینده بوده است و همچنین سلامت توده‌ها، با استفاده از تصاویر سنجنده سنیتینل-۲ و شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، TNDVI، SAVI و RVI، ارزیابی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- شرایط اکولوژیکی منطقه اجرای پروژه

شهرستان لنگرود، در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ، در شرق استان گیلان واقع شده

منگ^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی جنگل‌های ملی چین، منطقه گوانگشی ژوانگ^۲، شاخص جامعی را در مورد سلامت جنگل به دست آوردند. آنها این کار را با استفاده از پانزده ویژگی توده جنگلی استخراج‌شده از قطعات موجودی جنگل و نیز تحلیل همبستگی پیرسون و ساخت مدل رگرسیون برای بررسی رابطه بین شاخص سلامت جنگل و معیارهای طیفی و بافتی استخراج‌شده از تصاویر SPOT-5 انجام دادند. بارکی و نورساپوترا^۳ (۲۰۱۷) سلامت جنگل‌های حوضه آبخیز ماروس^۴ را با استفاده از تصویر لندست-۸ بررسی کردند و برنامه مدیریتی برای احیا و توسعه جنگل، در مناطقی با تأمین آبی مناسب را تدوین نمودند. بارکا^۵ و همکاران (۲۰۱۸) نیز سلامت جنگل را در جمهوری چک و اسلواکی و نقاط قوت و ضعف جنگل‌های منطقه را براساس تفسیر داده‌های ماهواره سنیتینل-۲ و شاخص پوشش گیاهی NDVI بررسی کردند. ارزیابی سراسری وضعیت سلامت جنگل‌ها نشان داد که در کل مناطق جنگلی در جمهوری چک، جنگل‌ها به میزان ۱/۱۶٪ به شدت آسیب‌دیده، ۱۲/۵٪ آسیب‌دیده، ۷۹/۲٪ دارای شرایط پایدار، ۶/۳٪ احیاشده و ۰/۴٪ به شدت احیاشده بودند. در اسلواکی نیز، سهم کل توده‌های آسیب‌دیده (یعنی با برگ‌زدایی بیشتر از ۴۰٪) از ۶ تا ۸٪ در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ به ۱۳ تا ۱۵٪ در سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ افزایش یافته بود.

در راستای پایش و سلامت جنگل کاری‌ها، سازمان خواربار جهانی از سال ۱۹۴۸، با همکاری کشورهای عضو سازمان ملل، اقدام به پایش منابع جنگلی دنیا، اعم از طبیعی و دست‌کاشت، کرده است و نتایج ارزیابی‌ها را در قالب گزارش‌های پنج‌ساله منتشر می‌کند (Köhl et al., 2015). این درحالی است که اطلاعات بیان‌شده، علاوه بر اینکه کلی و اغلب ناظر بر مواردی مانند سطح منابع جنگلی‌اند، به دلیل نداشتن مشارکت صحیح برخی کشورهای عضو، مانند ایران، دقت لازم را در مقیاس منطقه‌ای و ملی ندارند. افزون‌بر آن، با توجه به اهداف متفاوت هر جنگل کاری، ناپیوستگی

1. Meng
2. Guangxi Zhuang
3. Barkey & Nursaputra
4. Maros Watershed
5. Barka

کوتاه‌ترین آنها ترکه‌رود، به طول ۳۴ متر است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های به‌کاررفته در این پژوهش شامل تصاویر سنجنده سنتینل-۲، متعلق به فصل رویش (تابستان)، چهار شاخص پوشش گیاهی SAVI، TNDVI، NDVI و RVI در فصل رویش (که شادابی و سلامت تاج درختان کاملاً مشخص است)، داده‌های عرصه‌های جنگل کاری دریافت‌شده از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و داده‌های میدانی می‌شود.

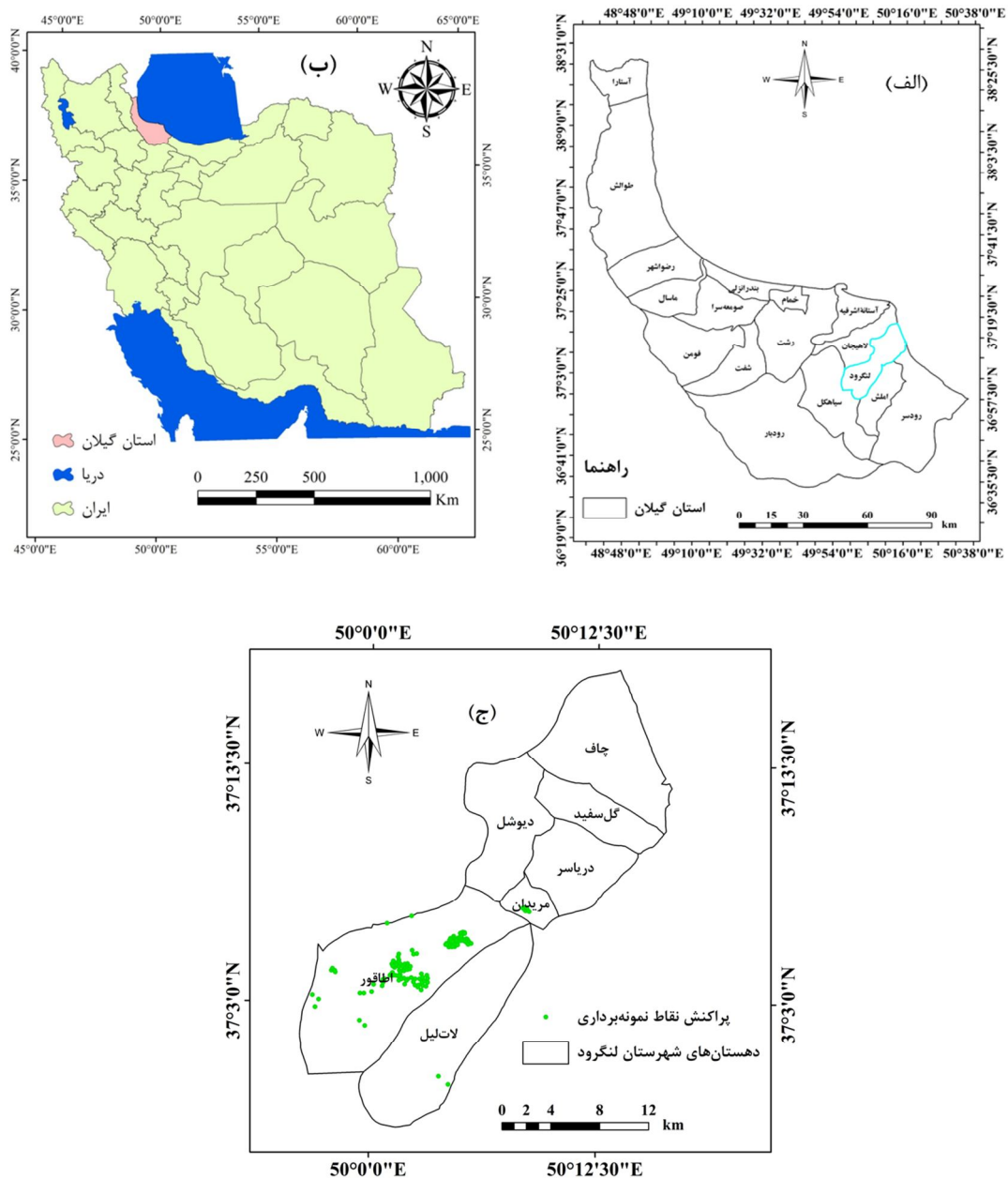
تصاویر سنتینل-۲، متعلق به تاریخ ۲۰۲۳/۸/۱۳، از سایت کوپرنیکوس^۱ به آدرس <https://scihub.copernicus.eu> دریافت شد. در جدول ۱، به مشخصات این تصاویر اشاره شده است.

سنجنده سنتینل-۲ براساس عملکرد هم‌زمان دو ماهواره مشابه (2A و 2B) عمل می‌کند. هریک از این ماهواره‌ها دارای یک سنجنده چندطیفی (MSI) است و بازتاب پدیده‌های روی زمین را در سیزده باند طیفی، از مرئی (V) تا فرورسرخ نزدیک (NIR) و فرورسرخ با طول موج کوتاه (SWIR)، اندازه‌گیری می‌کند (Thales Alenia Space, 2017).

شاخص‌های مورد استفاده نیز چهارتاست که در جدول ۲ آورده شده است. این شاخص‌ها براساس مطالعات پیشین و توانایی بیشتر آنها در شناسایی سلامت و مشخصات تاج درختان به کار رفت؛ NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده، NIR بازتاب طیفی در باند فرورسرخ نزدیک و RED بازتاب طیفی در باند قرمز است (Rouse et al., 1973). L فاکتور همبستگی پوشش گیاهی و ضریب ثابتی است که مقدار آن ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (Erdas Imagine, 2014).

است که از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهرستان سیاهکل، از غرب به شهرستان لاهیجان و از سمت شرق به شهرستان‌های رودسر و املش محدود می‌شود. آب‌وهوای این شهرستان معتدل خزری و شبه‌مدیترانه‌ای است و تابستان‌های گرم و شرجی و زمستان‌های سرد و مرطوب دارد. متوسط بارندگی ماهیانه منطقه ۱۰۸ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد است (Ahmadi, 2011). این شهرستان دارای دو ناحیه عمده جغرافیایی جلگه‌ای و کوهستانی است؛ در ناحیه جلگه‌ای، نوار باریک ساحلی و در ناحیه کوهستانی، محدوده‌های کوهپایه‌ای، جنگلی و مرتعی در ارتفاعات به چشم می‌خورد. در این منطقه از نظر پوشش گیاهی، امکان رویش درختان جنگلی طبیعی صنعتی شامل توسکا، آزاد، ممرز، راش، بلوط و موارد دیگری تحت تأثیر شرایط اقلیمی و قابلیت اراضی وجود دارد. شهرستان لنگرود با ۴۵۵۲۸/۱ هکتار مساحت، براساس نتایج آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۵، دارای پنج شهر به نام‌های لنگرود، کومله، اطاقور، شلمان و چاف و چمخاله و ۱۷۷ آبادی است (Deputy of Statistic and Information of Guilan Province, 2021). نقشه موقعیت استان گیلان در ایران، شهرستان لنگرود و دهستان‌های آن در شکل ۱ ارائه شده است. از نظر پستی‌وبلندی، ۲۳۹۷۱/۶ هکتار از شهرستان لنگرود در طبقه ارتفاعی ۱۵۰-۰ متر، ۶۸۸۶/۳۹ هکتار آن در طبقه ارتفاعی ۱۵۰-۴۰۰ متر، ۷۰۹۱/۸۳ هکتار آن در طبقه ارتفاعی ۴۰۰-۷۰۰ متر، ۴۷۰۹/۷۸ هکتار آن در طبقه ارتفاعی ۷۰۰-۱۰۰۰ متر و در نهایت، ۲۸۵۰/۹۱ هکتار لنگرود در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۶۲۹ متر از سطح دریا قرار دارد که نشان می‌دهد بیشترین سطح این شهرستان در مناطق کم‌ارتفاع و پست قرار گرفته است. این شهرستان ۲۸ رودخانه اصلی و فرعی دارد که طولانی‌ترین آنها بارگیلی‌رود، به طول ۲۱۸۷۷ متر و

1. Copernicus



شکل ۱. نقشه موقعیت استان گیلان در ایران (الف)؛ شهرستان لنگرود (ب)؛ پراکنش نقاط نمونه برداری در دهستان های این شهرستان (ج)

۲-۲- روش پژوهش

۲-۲-۱- روش تهیه نقشه پراکنش جنگل کاری ها

شناسایی جنگل کاری ها و ثبت مختصات و ویژگی های آنها بر مبنای اطلاعات بایگانی شده سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان و اداره منابع طبیعی شهرستان

لنگرود و نیز بازدیدهای میدانی از تمامی مناطق جنگل کاری ها طی سال های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و به این صورت بود که از هر نقطه، در تمامی فصل ها، برداشت زمینی انجام شد. در نخستین گام از اجرای تحقیق در مهر ۱۴۰۱، ابتدا از طریق عملیات میدانی و با پیمایش

جدول ۱. مشخصات باندهای طیفی تصویر سنتینل-۲

شماره باند	نام باند	میانگین طول موج (میکرومتر)	توان تفکیک مکانی (متر)
B01	گردوغبار ساحلی	۰/۴۳	۶۰
B02	آبی	۰/۴۹	۱۰
B03	سبز	۰/۵۶	۱۰
B04	قرمز	۰/۶۵	۱۰
B05	لبه قرمز پوشش گیاهی	۰/۷۰	۲۰
B06	لبه قرمز پوشش گیاهی	۰/۷۴	۲۰
B07	لبه قرمز پوشش گیاهی	۰/۷۸	۲۰
B08	فروسرخ نزدیک	۰/۸۴	۱۰
B08a	فروسرخ نزدیک باریک	۰/۸۶	۲۰
B09	بخار آب	۰/۹۴	۶۰
B10	فروسرخ طول موج کوتاه سیروس	۱/۳۷	۶۰
B11	فروسرخ طول موج کوتاه	۱/۶۱	۲۰
B12	فروسرخ طول موج کوتاه	۲/۱۹	۲۰

جدول ۲. شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده

ردیف	نام شاخص	معادله	منبع
۱	NDVI	$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$	Rouse et al., 1973
۲	SAVI	$SAVI = (NIR - RED) * (1 + L) / (NIR + RED + L)$	Huete, 1988
۳	RVI	$RVI = RED / NIR$	Jordan, 1969
۴	TNDVI	$TNDVI = SQRT (NIR - RED) / (NIR + RED) + 5$	Deering et al., 1975

برداشت شده، محدوده دقیق عرصه‌های جنگل کاری به دست آمد. پس از ترسیم پلی‌گون‌های جنگل کاری در گوگل ارث، همه آنها به نرم‌افزار ArcGIS انتقال یافتند و به لایه پلی‌گونی یکپارچه، به فرمت shp (شیپ‌فایل)، تبدیل شدند. باید اشاره کنیم، با توجه به دقت مورد نیاز، از تصاویر ماهواره‌ای بینگ و گوگل ارث با تفکیک مکانی ۵۰ سانتی‌متر استفاده شد و برای برخی نقاط نیز تصاویر ارتوشده سازمان نقشه‌برداری کشور، با تفکیک مکانی ۱۰ سانتی‌متر و مقیاس ۱/۲۰۰۰، به کار رفت. پس از اتمام آنالیزهای نقشه هر دهستان، نقشه پراکنش و موقعیت کل جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود تهیه شد.

در اطراف هر قطعه جنگل کاری شده، مختصات جغرافیایی محدوده جنگل کاری‌ها ثبت و مساحت هر قطعه برداشت و نوع گونه‌های آن قطعه نیز یادداشت شد. سپس عرصه جنگل کاری هر دهستان با GPS و نرم‌افزار اندازه‌گیری مساحت با GPS اندروید (GFAMP) (GPS Fields Area Measure PRO) جانمایی و روی گوگل ارث بازبینی شد. نرم‌افزار GFAMP قادر است، هم به صورت دستی و هم به صورت اتوماتیک و با استفاده از نقاط ثبت شده از طریق GPS، محیط و مساحت قطعات را تعیین کند. خروجی این نرم‌افزار به صورت KMZ و یا KML بود و از راه تطبیق عکس و تصویر ماهواره گوگل با نقاط

۳-۲-۲- روش تهیه نقشه سلامت جنگل کاری‌ها و ارزیابی صحت آن

برای انجام دادن این پژوهش، تصاویر سنتینل-۲ پس از دریافت، به اندازه مرز جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود برش زده شدند. سپس ترکیب باندی تصاویر سنتینل-۲ از باندهای آبی، سبز، قرمز و فروسرخ نزدیک (با تفکیک مکانی ۱۰ متر) با روش Layer stacking، در نرم‌افزار Envi 5,3 انجام شد و تصویر رنگی کاذب در محدوده جنگل کاری‌ها به دست آمد. از آنجاکه تصویر دریافتی متعلق به منطقه جنگل کاری‌های لنگرود با پوشش ابری کمتر از ۵٪ بود و خطای اتمسفریک و راه‌راه‌شدگی در آن وجود نداشت، نیازی به اصلاحات اتمسفریک و رادیومتریکی نبود. به علاوه، تصویر اخذ شده از سنتینل-۲ محصول سطح 1C بود؛ این موارد تصاویر ارتوفتوشده‌ای^۱ هستند که تصحیحات هندسی در آنها انجام شده و در سیستم UTM WGS84 ژئورفرنس شده‌اند. همچنین تصاویر این سطح در سیستم هندسی کارتوگرافیک، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، پروجکت شده‌اند. بنابراین تصحیحات هندسی در این محصولات انجام شده بود و این تصاویر به تصحیحات هندسی نیاز نداشتند (ESA, 2018).

پس از آن، چهار شاخص NDVI، SAVI، RVI و TNDVI برای محدوده جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود محاسبه شد و نقشه‌های آنها به دست آمد. هدف این بود که از این شاخص‌ها برای تهیه نقشه سلامت جنگل کاری‌های منطقه استفاده شود. این شاخص‌ها، به‌ویژه شاخص NDVI، نماد سلامت و شادابی تاج درختان جنگل است (Eskandari et al., 2020) و در مطالعات گوناگون، با انبوهی تاج درختان و سلامت آنها همبستگی بالایی نشان داده است (Karlson et al., 2015; Soares et al., 2018). مقدار NDVI بین -۱ تا +۱ متغیر است و مقادیر بالای صفر نشان‌دهنده پوشش گیاهی در منطقه است. هرچه مقدار این شاخص به +۱

نزدیک‌تر باشد، پوشش گیاهی سالم‌تر، شاداب‌تر و انبوه‌تر است. برعکس، هرچه مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، پوشش گیاهی خشکیده‌تر و تنک‌تر است.

سپس همبستگی بین شاخص‌های متفاوت و درجه سلامت جنگل کاری‌ها در ۷۰٪ نقاط واقعیت زمینی (۱۰۵ نقطه) محاسبه شد. داده‌ها در زمینه بررسی شادابی و سلامت درختان شامل ۱۵۰ نقطه تصادفی در سراسر محدوده جنگل کاری‌ها بودند که در طبقات متفاوت سلامت درختان پراکنش داشتند. از مجموع ۱۵۰ نقطه داده زمینی، ۷۰٪ آنها (۱۰۵ نقطه) برای فرایند آموزش مدل و تهیه نقشه سلامت جنگل کاری و ۳۰٪ آنها (۴۵ نقطه) برای ارزیابی صحت مدل و نقشه سلامت جنگل کاری به کار رفت. از آنجاکه سلامت درختان شاخصی کیفی است، ابتدا درجات گوناگون سلامت به‌صورت اعداد متفاوتی کدگذاری شد. بدین‌منظور برای درختان کاملاً سالم کد ۳، برای درختان دارای سلامت متوسط کد ۲ و برای درختان ناسالم کد ۱ در نظر گرفته شد. سپس با توجه به مقیاس نسبی و فاصله‌ای داده‌ها، ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های گوناگون و درجه سلامت درختان به کار رفت (Bihanta & Zare Chahouki, 2015). همچنین برای شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت درختان نشان داد (دقیق‌ترین شاخص)، رابطه رگرسیونی در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics ver. 22 محاسبه شد.

نقاط برداشت شده تصادفی بودند؛ از این‌رو برای هر طبقه سلامت جنگل کاری‌ها (کاملاً سالم، سلامت متوسط و ناسالم)، تعداد متفاوت نقاط وجود داشت که از اطلاعات آنها برای طبقه‌بندی و ارزیابی صحت نقشه دقیق‌ترین شاخص در سه طبقه سلامت جنگل استفاده شد. بنابراین طبقه‌بندی محدوده جنگل کاری‌ها به

1. Ortho-photo

$$\hat{k} = \frac{n \sum_{i=1}^j n_{ii} - \sum_{i=1}^j n_{i+n+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^j n_{i+n+i}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$PA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه‌ها، OA صحت کلی، k ضریب کاپا، PA صحت تولیدکننده، UA صحت کاربر، n تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، n_{ii} مجموع عناصر روی قطر اصلی (تعداد نقاط یا پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده صحیح) و Z تعداد طبقات نقشه است (Congalton & Green, 2008). مقدار ضریب کاپا بین ۰ تا ۱ متغیر است؛ حال آنکه صحت کلی، صحت کاربر و صحت تولیدکننده مقادیری بین ۰ تا ۱۰۰ دارند.

۳- نتایج

۳-۱- پراکنش و سطح قطعات جنگل کاری

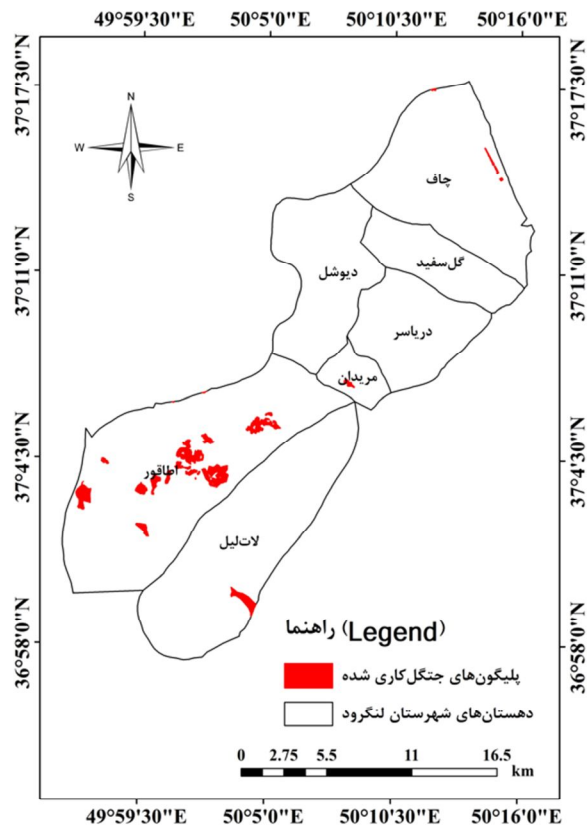
پراکنش و موقعیت عرصه‌های جنگل کاری شهرستان لنگرود در شکل ۲ آورده شده است. براساس یافته‌های این پژوهش، در مجموع، ۶۶ قطعه جنگل کاری در این شهرستان شناسایی شد که مساحت کل این قطعات، با استفاده از روش آماربرداری صددرد و کنترل زمینی، به میزان ۷۴۶/۲ هکتار به دست آمده است. بیشترین عرصه جنگل کاری به دهستان اطاقور، با مساحت ۶۳۸/۵۵ هکتار، تعلق داشت. به طور کلی، حدود ۱/۶۴٪ از سطح شهرستان لنگرود به جنگل کاری اختصاص داشت (جدول ۳).

براساس تحلیل نتایج جنگل کاری‌ها در طبقات متفاوت ارتفاعی، بیشتر عرصه‌های جنگل کاری در طبقه ارتفاعی ۱۵۰-۴۰۰ متر قرار گرفته (جدول ۴) و در طبقه ارتفاعی بیش از ۱۰۰۰ متر، جنگل کاری فقط به مقدار ۳۲/۱۳ هکتار انجام شده است. نقشه طبقات ارتفاعی شهرستان لنگرود در شکل ۳ ارائه شده و طبقات ارتفاعی عرصه‌های جنگل کاری‌شده این شهرستان نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.

درجات متفاوت سلامت، با توجه به دامنه مقادیر شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت درختان داشت (دقیق‌ترین شاخص)، مقدار این شاخص در نقاط برداشت زمینی (۷۰٪ نقاط: ۱۰۵ نقطه) و شادابی درختان انجام شد. در مورد شاخص NDVI، پیکسل‌هایی که مقدار NDVI آنها بین ۰/۰۴ تا ۰/۲۲ بود جزء جنگل کاری‌های با کمترین میزان سلامت (ناسالم)، پیکسل‌های دارای مقدار NDVI بین ۰/۲۲ تا ۰/۴۰ جزء جنگل کاری‌های با سلامت متوسط و پیکسل‌های با مقدار NDVI بین ۰/۴۰ تا ۰/۵۸ جزء جنگل کاری‌های کاملاً سالم طبقه‌بندی شدند و نقشه دربردارنده سه طبقه سلامت برای جنگل کاری‌ها در لنگرود به دست آمد. بنابراین در پایان، علاوه بر نقشه پراکنش جنگل کاری‌ها، نقشه سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود نیز با اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر به دست آمد (Eskandari et al., 2020). تهیه نقشه با ابعاد ۱۰×۱۰ متر نشان‌دهنده ابعاد پیکسل در تصاویر سن‌تینل-۲ است.

در نهایت، نقشه سلامت جنگل کاری‌ها با ۳۰٪ از ۱۵۰ نقطه واقعیت زمینی (۴۵ نقطه) که در فرایند آموزش مدل دخالت داده نشده بودند، ارزیابی صحت شد. بنابراین مدل و نقشه حاصل، با استفاده از ۳۰٪ قطعات نمونه زمینی که در فرایند آموزش مدل استفاده نشده بودند، اعتبارسنجی شد؛ بدین معنی که میزان سلامت درختان در این قطعات، روی عرصه و روی نقشه، مقایسه شد و شاخص‌های متفاوت ارزیابی صحت (صحت کلی، ضریب کاپا و موارد دیگر) به دست آمد. برای این کار، از شاخص‌های صحت کلی (Overall accuracy: OA)، ضریب کاپا (k)، صحت تولیدکننده (Producer accuracy: PA) و صحت کاربر (User accuracy: UA) استفاده شد. این شاخص‌ها طبق روابط زیر به دست آمدند:

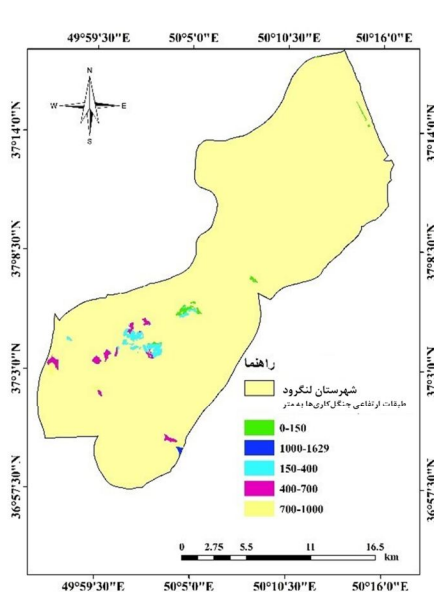
$$OA = \frac{\sum_{i=1}^j n_{ii}}{n} * 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$



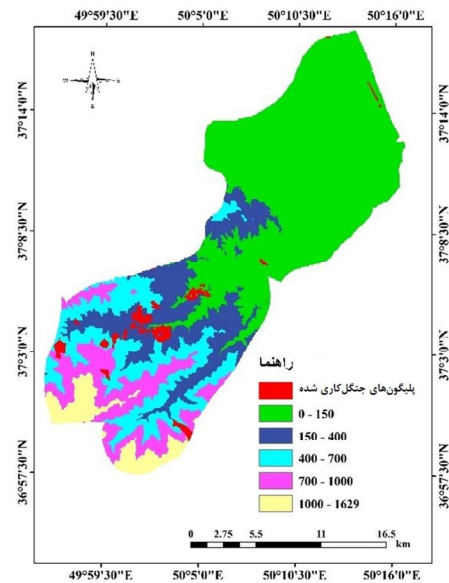
شکل ۲. نقشه پراکنش و موقعیت عرصه های جنگل کاری شده شهرستان لنگرود، با ۶۶ قطعه به مساحت ۷۴۶/۲ هکتار

جدول ۳. وضعیت کمی جنگل کاری در شهرستان لنگرود، به تفکیک هر دهستان

مرکز دهستان	تعداد قطعات	کمینه مساحت قطعه (هکتار)	میانگین مساحت قطعه (هکتار)	بیشینه مساحت قطعه (هکتار)	سطح کل جنگل کاری (هکتار)	سطح دهستان (هکتار)	درصد تخصیص سرزمین به جنگل کاری
اطاقور	۵۶	۰/۳۳	۱۱/۴	۶۹/۱۴	۶۳۸/۵۵	۱۳۶۹۹/۹۹	۴/۶۶
لات لیل	۱	۸۱/۲۷	۸۱/۲۷	۸۱/۲۷	۸۱/۲۷	۹۶۸۷/۳	۰/۸۴
دریاسر	۰	۰	۰	۰	۰	۴۳۳۸/۷۳	۰
مردان	۲	۱/۱۶	۶/۱۸	۱۱/۲	۱۲/۳۶	۱۱۳۰/۶۹	۱/۰۹
چاف	۷	۱	۲	۳/۵۹	۱۴/۰۲	۷۹۱۰/۴۳	۰/۱۸
دیوشل	۰	۰	۰	۰	۰	۵۶۳۲/۸۹	۰
گل سفید	۰	۰	۰	۰	۰	۳۱۲۸/۰۷	۰
مجموع	۶۶	۸۳/۷۶	۱۰۰/۸۵	۱۶۵/۲	۷۴۶/۲	۴۵۵۲۸/۱	۱/۶۴



شکل ۴. نقشه طبقات ارتفاعی عرصه‌های جنگل کاری شده شهرستان لنگرود



شکل ۳. نقشه طبقات ارتفاعی شهرستان لنگرود و جانمایی عرصه‌های جنگل کاری شده

۲-۳- نقشه‌های شاخص‌های مورد بررسی و نقشه سلامت جنگل کاری‌ها

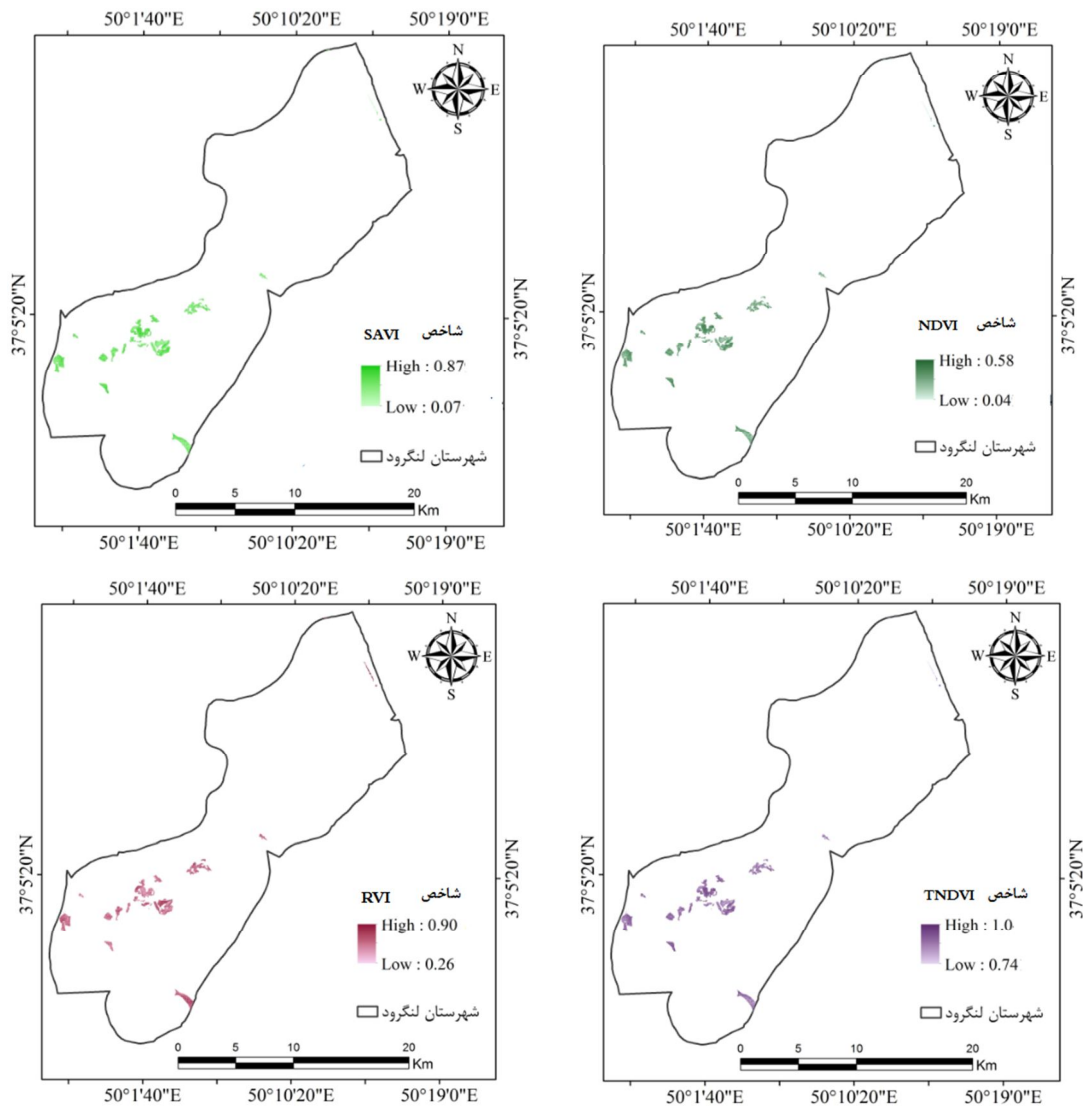
نقشه‌های شاخص‌های مورد بررسی در محدوده جنگل کاری‌های لنگرود در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس نتایج، مقدار شاخص NDVI در داخل محدوده جنگل کاری‌های مورد مطالعه بین ۰/۰۴ تا ۰/۵۸ متغیر بود. مقدار ۰/۰۴ به مناطق جنگل کاری با کمترین سلامت و مقدار ۰/۵۸ به مناطق جنگل کاری کاملاً سالم متعلق بود. مقدار شاخص SAVI، در داخل محدوده جنگل کاری‌های مورد مطالعه، بین ۰/۰۷ تا ۰/۸۷ متغیر بود. شاخص TNDVI نیز در محدوده جنگل کاری‌ها بین ۰/۷۴ تا ۱ متغیر بود. در نهایت، دامنه مقدار شاخص RVI در محدوده جنگل کاری‌ها بین ۰/۲۶ تا ۰/۹۰ بود (شکل ۵).

نتایج همبستگی شاخص‌ها با سلامت جنگل کاری‌ها در جدول ۵ آمده است. براساس این نتایج، شاخص NDVI بیشترین همبستگی را با سلامت درختان جنگل کاری شده نشان داد.

جدول ۴. مساحت محدوده‌های جنگل کاری شده واقع در هر طبقه ارتفاعی

ردیف	طبقات ارتفاعی (متر)	مساحت (هکتار)
۱	۱۵۰-۰	۹۳/۶۵
۲	۴۰۰-۱۵۰	۲۸۰/۰۷۷
۳	۷۰۰-۴۰۰	۲۳۸/۱۷
۴	۱۰۰۰-۷۰۰	۱۰۲/۲۱
۵	۱۶۲۹-۱۰۰۰	۳۲/۱۳

براساس پیمایش میدانی، بیشترین سطح کاشت جنگل کاری به عرصه سیاه‌خانی، اولردهی با ۱۵۸ هکتار تعلق دارد که در سال ۱۳۹۳، به‌منظور توسعه جنگل، کشت شده است. عرصه‌های آلمان‌نگه، تیکسر، سوزنی‌برگ چاف و چمخاله و مریدان جزء جنگل کاری‌های سنواتی‌اند که به‌خوبی مستقر شده‌اند. در بیشتر جنگل کاری‌ها، از گونه‌های بومی توسکا، افرا و ون استفاده شده است. کمترین درصد موفقیت به عرصه گندم بیجاران تعلق دارد که نهال‌های کاشته شده برآثر چرای دام و انجام نشدن مراقبت و نگهداری از بین رفته‌اند.



شکل ۵. نقشه‌های شاخص‌های مورد بررسی در محدوده جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود

جدول ۵. همبستگی شاخص‌های مورد بررسی با سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود

شاخص	دامنه شاخص در جنگل کاری‌ها	همبستگی پیرسون	رابطه رگرسیونی	معنی داری
NDVI	۰/۵۸-۰/۰۴	۰/۸۷۴	Forest Health= 7.41 NDVI-0.76	۰/۰۰۰**
SAVI	۰/۸۷-۰/۰۷	۰/۸۷۰	-	۰/۰۰۰**
TNDVI	۱-۰/۷۴	۰/۵۹۱	-	۰/۰۰۰**
RVI	۰/۹-۰/۲۶	۰/۵۴۷	-	۰/۰۰۰**

** معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪

نقشه پراکنش نقاط در طبقات گوناگون سلامت جنگل کاری و مساحت طبقات گوناگون سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود نیز، به ترتیب، در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. براساس نتایج، بیشتر جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود در سلامت کامل قرار دارند (۴۰/۵۶ هکتار)؛ در حالی که مساحت جنگل کاری‌های ناسالم بسیار محدودتر است (۴۰/۰۴ هکتار). این نکته نشان می‌دهد که جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود، در اغلب موارد، موفق بوده است.

براساس نتیجه همبستگی، در مورد شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت جنگل کاری‌ها داشت، تحلیل رگرسیونی انجام شد که نتایج آن در جدول‌های ۶ و ۷ آمده است.

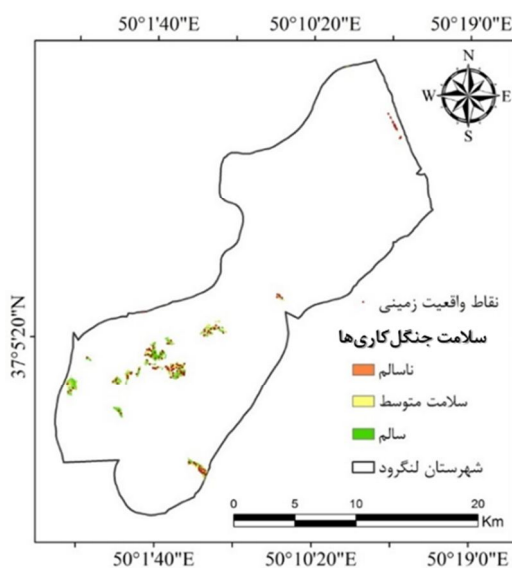
نقشه سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود، با اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر، در شکل ۶ نشان داده شده است. شایان ذکر است که این نقشه براساس طبقه‌بندی شاخص NDVI که بیشترین همبستگی را با سلامت جنگل کاری‌ها داشت (دقیق‌ترین شاخص)، به دست آمد.

جدول ۶. خلاصه مدل رگرسیونی

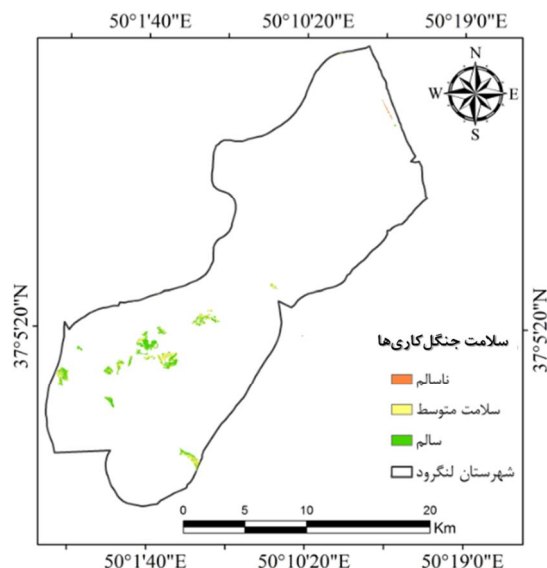
مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R ²)	ضریب تعیین تعدیل شده (Adjusted R Square)	خطای استاندارد برآورد (Std. Error of the Estimate)
رگرسیونی	۰/۸۷۴	۰/۷۶۵	۰/۷۶۳	۰/۳۹۶

جدول ۷. نتایج آنالیز واریانس (ANOVA)

مدل	مجموع مربعات (Sum of Squares)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (Mean Square)	شاخص F	معنی داری (Sig.)
رگرسیون	۷۴/۹۱	۱	۷۴/۹۱	۴۷۷/۴۸۲	۰/۰۰۰
باقی مانده	۲۳/۰۶	۱۴۸	۰/۱۵۷		
کل	۹۷/۹۷	۱۴۹			



شکل ۷. موقعیت نقاط واقعیت زمینی در طبقات متفاوت سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود



شکل ۶. نقشه سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود

نتایج ارزیابی صحت نقشه سلامت جنگل کاری‌ها، در شهرستان لنگرود، در جدول ۹ آورده شده است. براساس نتایج، ۳۶ نقطه از ۴۵ نقطه واقعیت زمینی که برای ارزیابی صحت در نظر گرفته شده بودند (۳۰٪ کل نقاط واقعیت زمینی)، به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و در این پژوهش، صحت کلی نقشه سلامت جنگل کاری‌ها ۸۰٪، صحت تولیدکننده ۷۹٪، صحت کاربر ۷۸٪ و ضریب کاپا ۰/۷۳ است.

۴- نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، مساحت کل جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود با استفاده از روش آماربرداری صددرصد کنترل زمینی، به میزان ۷۴۶/۲ هکتار به دست آمد که اغلب در جنوب غرب شهرستان پراکنده‌اند. بیشترین عرصه جنگل کاری در دهستان اطاقور، در جنوب غرب شهرستان، به مساحت ۶۳۸/۵۵ هکتار وجود داشت و می‌توان بیان کرد در سایر

دهستان‌ها، به دلیل آبادی و مستثنیات و باغات افراد محلی، جنگل کاری کمتر انجام شده است. این دهستان، از نظر توپوگرافی، در شرایط کوهپایه‌ای و کوهستانی قرار دارد. ارتفاع دهستان در بخش‌های جنوبی به ۱۵۰۰ متر و در بخش‌های غربی به حدود ۱۰۵۰ متر می‌رسد. سرشاخه‌های مهم زیرحوضه رودخانه شلمان رود از ارتفاعات بخش اطاقور سرچشمه گرفته‌اند و در نهایت، شلمان رود را تشکیل می‌دهند. یکی از شاخه‌هایی که موجب افزایش میزان آب‌دهی این رودخانه می‌شود، بارگیلی رود است که از ارتفاعات جنوب غرب و غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری طولانی، در غرب روستای خرشتم، به شلمان رود وارد می‌شود. شلمان رود در نهایت، با طی مسیر ۲۵ کیلومتر، در چمخاله وارد دریای خزر می‌شود (Esmacili Varaki et al., 2012). به دلیل وجود این رودخانه، عرصه‌های جنگلی نیز در این منطقه گسترش یافته است.

جدول ۸. مساحت طبقات متفاوت سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود

طبقة سلامت جنگل کاری	کد سلامت جنگل کاری	تعداد نقاط واقعیت زمینی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
کاملاً سالم	۳	۴۵	۴۰۰/۵۶	۵۴٪
سلامت متوسط	۲	۵۸	۳۰۵/۶۰	۴۱٪
ناسالم	۱	۴۷	۴۰/۰۴	۵٪
مجموع	-	۱۵۰	۷۴۶/۲	۱۰۰٪

جدول ۹. ارزیابی صحت نقشه سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود

طبقة سلامت جنگل کاری	کد سلامت جنگل کاری	تعداد نقاط واقعیت زمینی			تعداد نقاط به درستی طبقه‌بندی شده	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)
		واقعیت زمینی برای ارزیابی صحت	تعداد نقاط	تولیدکننده					
کاملاً سالم	۳	۱۴	۱۲	۸۴	۸۵٪	۰/۷۹	۸۴	۸۲	
سلامت متوسط	۲	۱۷	۱۳	۷۴	۷۶٪	۰/۷۰	۷۴	۷۳	
ناسالم	۱	۱۴	۱۱	۷۵	۷۸٪	۰/۷۱	۷۵	۷۲	
مجموع	-	۴۵	۳۶	۷۹	۸۰٪	۰/۷۳	۷۹	۷۸	

حذف چرای دام از عرصه‌های جنگلی و جنگل کاری‌ها ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. آب مورد نیاز برای طرح جنگل کاری، منابع اعتباری کافی و برنامه‌ریزی برای تأمین آب نهال‌های کاشته‌شده باید ارزیابی شود. حفاظت از عرصه‌های جنگل کاری و تأمین نیروهای قرق‌بانی باید در قالب برنامه مدیریت طرح جنگل‌داری باشد و سرلوحه کارها قرار بگیرد. برنامه پایش وضعیت جنگل کاری‌ها، نگهداری، واکاری، دوباره‌کاری و ملاحظات پرورشی آینده نهال‌های کاشته‌شده و سازمان متولی آن باید کاملاً مشخص و مدون باشد.

شناخت وضعیت محیطی کنونی اساسی‌ترین موضوع برنامه‌ریزی منطقه‌ای به شمار می‌رود. بر همین اساس، آگاهی درباره وضعیت جنگل کاری‌ها و پایش سلامت آنها در حال حاضر نیز اهمیت بسیاری برای برنامه‌ریزی‌های بعدی دارد. برای پایش سلامت جنگل، تغییر در بازتاب طیفی تاج درختان بررسی می‌شود. افزایش در بازتاب نور در باند قرمز، به علت کاهش میزان کلروفیل و تغییر در محدوده لبه‌قرمز^۱ در منحنی پراکنش طیفی هنگام پایش سلامت جنگل به کار می‌رود (Levesque & King, 2003). در این زمینه، اسلام‌زاده^۲ و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه سلامت پوشش گیاهی از سنج‌های سیمای سرزمین، از جمله شاخص شکل، نسبت محیط به مساحت، پیوستگی، فاصله اقلیدسی و NDVI به‌منزله جایگزین پیچیدگی ساختاری پوشش گیاهی بخشی از استان گلستان، بهره بردند و وضعیت سلامت ساختار پوشش گیاهان را بررسی کردند. توانایی سنجش از دور در تهیه نقشه سلامت جنگل را پژوهشگران بسیاری در مناطق گوناگون جهان، در رابطه با عامل‌های گوناگون، انواع تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های متفاوت بیان کرده‌اند (Waser et al., 2014) اما، در زمینه سلامت جنگل کاری‌ها در داخل کشور، تحقیق جامعی با این

دو نکته در موفقیت جنگل کاری‌ها، برای دستیابی به بوم‌نظامی جدید و تقریباً پایدار، دارای اهمیت است که شامل، نخست، انتخاب گونه مناسب مطابق با شرایط خاک و اقلیم منطقه مورد نظر و دوم، عملیات داشت مناسب و پایش مداوم رشد و عملکرد جنگل کاری‌های انجام‌شده است (Mosayeb Neghad et al., 2007). تنوع بسیار زیاد گونه‌های به‌کاررفته در جنگل کاری‌ها متناسب با شرایط اکولوژیکی متنوع کشور، اهداف و رژیم‌های کاشت و داشت گوناگون، به‌انضمام تفاوت‌های سنی و پراکنندگی سطوح این جنگل کاری‌ها سبب حاکم شدن شرایطی بسیار متفاوت بر این جنگل کاری‌ها شده است و اعمال مدیریتی یکپارچه و همسان بر آنها را ناممکن می‌سازد. در کنار توسعه این جنگل کاری‌ها، مسئله حفاظت از این عرصه‌ها نیز بسیار اهمیت دارد. به‌منزله اصلی کلی، هر گونه‌ای که برای جنگل کاری انتخاب می‌شود باید با شرایط محیطی و خاکی منطقه سازگار باشد. در شهرستان لنگرود، جنگل کاری‌های افرا، ون و توسکا گستردگی بیشتری از گونه‌های دیگر داشت. گونه‌های سوزنی‌برگ نیز، در برخی مناطق، همراه با پهن‌برگان کشت شده و به‌صورت خالص در حاشیه روستاها، به‌صورت کمربندی سبز بوده است. به‌منظور جنگل کاری در رویشگاه‌های جنگلی فعلی، ابتدا باید برای حفاظت، احیا و غنی‌سازی رویشگاه‌ها و در گام بعدی، توسعه جنگل اقدام شود. بسیاری از نهال‌های کاشته‌شده قبلی بنابه دلایل گوناگونی از بین رفته‌اند یا رشد چندانی ندارند. برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های جنگل‌داری، برای نگرانداشت نهال‌ها، اولویت دارد. با هدف استقرار بهینه نهال‌های غرس‌شده و کاهش تلفات، به برنامه و طرح مدون مبتنی بر تجربه‌های گذشته نیاز است. در انتخاب نوع گونه، بهتر است از گونه‌ها و اکوتیپ‌های بومی آن منطقه، متناسب با هر منطقه رویشی و با ملاحظات بوم‌شناختی و رعایت مراحل توالی، و ترجیحاً گونه‌های پیشگام سازگار با شرایط منطقه و الگوی کاشت آمیخته استفاده شود.

1. Red-edge
2. Islamzadeh

پوشش گیاهی است. به عبارت دیگر، پوشش گیاهی در وضعیت سلامت کامل، امواج باند فرسرخ نزدیک را به خوبی منعکس می‌کند. در این تحقیق، سعی شد از شاخص‌هایی استفاده شود که بازتاب طیفی در باند فرسرخ نزدیک (NIR) در آنها دخیل است. از آنجاکه طبق رابطه شاخص NDVI، رابطه مستقیمی بین میزان این شاخص با میزان بازتاب طیفی در باند فرسرخ نزدیک (NIR) وجود دارد، بازتاب طیفی بیشتر در این باند به NDVI بیشتر منتج خواهد شد؛ بنابراین پوشش گیاهی سالم‌تر و شاداب‌تر خواهد بود. اثرگذاری بیشتر شاخص NDVI که در تحقیق حاضر به آن اشاره شده است، با یافته‌های پژوهش بارکی و نورساپوترا (۲۰۱۷) و ریکاناتسی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. طی پژوهشی، نتایج ارزیابی شاخص NDVI، در جنگل‌های گرمسیری مرطوب برزیل و اتیوپی و ویتنام، مقدار بیش از ۰/۷۵ را برای این شاخص نشان داد؛ این مشاهده طی دوره سیزده ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ و طبق داده‌های سری زمانی انجام شد (Schultz et al., 2016). شایان ذکر است که در مناطق مرطوب، سلامت و شادابی درختان بیشتر است و بنابراین میزان شاخص‌های پوشش گیاهی بیشتر از مناطق دیگر خواهد بود. گیلان از استان‌های مرطوب کشور است اما به طور کلی، چون ایران کشوری نیمه‌خشک است، معمولاً مقدار شاخص NDVI در جنگل و جنگل کاری‌ها کمتر از سایر مناطق جهان به دست می‌آید و در پژوهش حاضر نیز چنین بوده و حداکثر مقدار آن ۰/۵۸ بوده است. پایین بودن بیشینه این شاخص در پژوهش اسکندری^۲ و همکاران (۲۰۲۰) نیز مشاهده شد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

در مجموع، داده‌های ماهواره‌ای قادر به تفسیر علت تغییر مشاهده شده در وضعیت سلامت جنگل نیستند. در بررسی‌های بارکا و همکاران (۲۰۱۸)، علاوه بر سهم

موضوع انجام نشده است. شاخص‌های پوشش گیاهی، با پایش وضعیت سلامت جنگل کاری‌ها، بینش شایان توجهی را در اولویت‌بندی و تدوین استراتژی‌های مدیریت جنگل کاری‌ها در اختیار مدیران قرار می‌دهند (Haywood & Stone, 2011). در این پژوهش، وضعیت سلامت جنگل کاری‌ها براساس تحلیل داده‌های سنجنده سنتینل-۲، در مقیاس پیکسل‌های ده متری و با استفاده از چهار باند منتخب و چهار شاخص پوشش گیاهی گوناگون، ارزیابی شد که نوعی اندازه‌گیری سنجنده نوری از سطح سبزیگی طیفی درختان است. از آنجاکه در هریک از شاخص‌های پوشش گیاهی از روابط و طول موج‌های قرمز و فرسرخ نزدیک در قالب باندهای طیفی مورد نظر استفاده می‌شود، مقادیر آنها نیز متفاوت است. شاخص‌های پوشش گیاهی، در این پژوهش، شامل چهار شاخص NDVI، SAVI، TNDVI و RVI بودند و از تصاویر فصل رویش سنتینل-۲ استخراج شدند که دارای مشخصات بسیار خوبی برای اصلاحات جوی خودکار با کیفیت بالاست. به علاوه تصاویر سنتینل-۲ با پوشش ابری کمتر از ۵٪ استفاده شد تا خطاهای اتمسفریک به کمترین میزان ممکن برسد. در تحقیق حاضر، شاخص NDVI بیشترین همبستگی (۰/۸۷۴) را با سلامت درختان نشان داد. به عبارت دیگر، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده مطلوب‌ترین شاخص پوشش گیاهی برای برآورد سلامت جنگل کاری‌ها در شهرستان لنگرود بود؛ این نکته بیانگر قابلیت این شاخص در ارزیابی سلامت درختان طی فصل رویش است. پس از آن، شاخص SAVI بیشترین همبستگی را با سلامت درختان داشت که قابلیت خوب این شاخص را نیز در پایش سلامت درختان نشان می‌دهد. در مقابل، دو شاخص TNDVI و RVI همبستگی بسیار کمتری با سلامت درختان در محدوده جنگل کاری‌های لنگرود داشتند که استفاده از آنها، برای ارزیابی سلامت درختان در مطالعات بعدی، توصیه نمی‌شود. باید اشاره کنیم که بازتاب طیفی در باند فرسرخ نزدیک (NIR) نماد بسیار خوبی برای سلامت

1. Recanatesi
2. Eskandari

صحت در نظر گرفته شده بودند (۳۰٪ کل نقاط واقعیت زمینی)، در نقشه نهایی، به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و صحت کلی (OA) نقشه سلامت جنگل کاری‌ها، در این پژوهش، ۸۰٪ است. این نتایج نشان می‌دهد نقشه سلامت جنگل کاری‌ها به درستی، در طبقات متفاوت سلامت و شادابی درختان، قرار گرفته است. این نقشه، به منزله یک نقشه رقومی مکانی، می‌تواند در پایش کمی و کیفی سلامت جنگل کاری‌ها و تداوم آن در دوره‌های زمانی معین و همچنین برنامه‌های توسعه جنگل کاری در آینده، به مدیران جنگل کمک شایانی کند. به طور کلی، جنگل کاری‌های این شهرستان عمدتاً دارای سلامت کامل‌اند اما برخی عرصه‌های کچل‌بن، لرزیان، گندم بیجاران، قازی‌دشت، خورش‌سرا، چاکسر (چاکدشت)، به دلیل انجام نشدن عملیات حفاظتی و نداشتن فرق بان در سال‌های اولیه، موفقیت کمتری داشته‌اند. در جنگل کاری‌ها، نهال‌های کاشته شده به میزان ۱۰٪ مستقر نمی‌شود زیرا ممکن است نهال‌ها، بر اثر خشکسالی و یا یخ‌بندان در زمستان، آسیب ببینند و خشک شوند.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده، تشخیص سلامت جنگل مبتنی بر سنجش از دور در منطقه مورد مطالعه، با نتایج بررسی‌های میدانی در جنگل کاری‌ها سازگار بود. مدل رگرسیونی مطرح شده بر اساس همبستگی بالای شاخص NDVI با سلامت جنگل کاری‌ها امکان برآورد سریع و ارزیابی کمی، کم‌هزینه، مقرون به صرفه و اقتصادی وضعیت سلامت جنگل کاری‌ها در سطحی وسیع و در مناطق دوراز دسترس را فراهم می‌کند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند اطلاعات پایه‌ای و ارزشمندی را برای استفاده در پایش سطح و سلامت جنگل کاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در زمینه جنگل کاری‌های آینده و شناخت مناطق مستعد

بالای توده‌های صنوبر آسیب‌دیده، برگ‌زدایی زیاد در توده‌های کاج در اسلواکی نیز از طریق تصاویر ماهواره‌ای مشاهده شد. این نتایج می‌تواند علاوه بر سلامت جنگل، تحت تأثیر تراکم کمتر تاج درختان و وضعیت پوشش گیاهی کف جنگل باشد. افزون بر اینها امکان بررسی پایش سلامت جنگل با تصاویر ماهواره‌ای، در سطح وسیع، وجود دارد. برای نمونه، نتایج تحقیق هیکیل^۱ و همکاران (۲۰۰۲) که درباره برگ‌ریزی جنگل‌های سوزنی‌برگ کاج در جنگل‌های طبیعی فنلاند بود و با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست TM، عکس‌های هوایی و داده‌های زمینی انجام شد، نشان داد که شناسایی سرخشکیدگی در سطح قطعات نمونه کوچک و درختان منفرد امکان‌پذیر نیست اما، در سطح توده، امکان‌پذیر است. مسکال و فرانکلین^۲ (۲۰۰۴) نیز ارتباط بین تصاویر چندطیفی و سرخشکیدگی توده صنوبر را در دامنه کوه آلبرتا، کانادا، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ارزیابی سرخشکیدگی توده صنوبر، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی زیاد، در سطح وسیع امکان‌پذیر است.

نتایج این پژوهش نشان داد که از مجموع مساحت فعلی جنگل کاری‌ها، ۴۰/۵۶ هکتار در وضعیت سلامت کامل، ۳۰/۶۰ هکتار در سلامت متوسط و ۴۰/۰۴ هکتار در وضعیت ناسالم قرار دارند. بنابراین بیشتر مساحت جنگل کاری‌های شهرستان لنگرود در سلامت کامل قرار دارد؛ در حالی که مساحت جنگل کاری‌های ناسالم بسیار محدودتر است. این نکته نشان می‌دهد جنگل کاری‌های این شهرستان اغلب موفق بوده و این، خود، حاکی از عملکرد مطلوب اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گیلان در انتخاب عرصه‌های مناسب برای جنگل کاری، انتخاب گونه مناسب و بومی برای این کار و نگهداری صحیح و نظارت مناسب بر عرصه‌های جنگل کاری شده است.

نتایج این پژوهش در زمینه ارزیابی صحت نقشه سلامت جنگل کاری‌ها، در شهرستان لنگرود، نشان داد ۳۶ نقطه از ۴۵ نقطه واقعیت زمینی که برای ارزیابی

1. Heikkilä
2. Moskal & Franklin

- Barka, I., Lukeš, P., Bucha, T., Hlásny, T., Strejček, R., Mlčoušek, M. & Křístek, Š., 2018, **Remote Sensing-Based Forest Health Monitoring Systems-Case Studies from Czechia and Slovakia**, Central European Forestry Journal, 64(3-4), PP. 259-275, <https://doi.org/10.1515/forj-2017-0051>.
- Barkey, R.A. & Nursaputra, M., 2017, **The Detection of Forest Health Level as an Effort to Protecting Main Ecosystem in the Term of Watershed Management in Maros Watershed, South Sulawesi**, The 1st Biennial Conference on Tropical Biodiversity, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 270(1), P. 012006, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/270/1/012006>.
- Bihanta, M.R. & Zare Chahouki, M.A., 2015, **Principles of Statistics for the Natural Resources Science**, University of Tehran Press, Tehran.
- Cavalli, A., Francini, S., McRoberts, R.E., Falanga, V., Congedo, L., De Fioravante, P., Maesano, M., Munafò, M., Chirici, G. & Scarascia Mugnozza, G., 2023, **Estimating Afforestation Area Using Landsat Time Series and Photointerpreted Datasets**, Remote Sensing, 15(4), PP. 1-26, <https://doi.org/10.3390/rs15040923>.
- Congalton, R.G. & Green, K., 2008, **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, <https://doi.org/10.1201/9781420055139>.
- Cotrozzi, L., 2022, **Spectroscopic Detection of Forest Diseases: A Review (1970–2020)**, Journal of Forestry Research, 33(1), PP. 21-38, <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01378-w>.
- Deering, D.W., Rouse, J.W., Haas, R.H. & Schell, J.A., 1975, **Measuring Forage Production of Grazing Units from Landsat MSS Data**, In Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment; Cook, J.J. (Ed.); Ann Arbor, Michigan, USA, PP. 1169-1178.
- Deputy of Statistic and Information of Guilan Province, 2021, **Data and Statistical Information**, The Statistical Yearbook, Publications of Management and Planning Organization of Guilan Province, Rasht, P. 56, <https://www.amar.org.ir/Portals/0/PropertyAgent/3909/Files/26995/400-01-01>.
- جنگل کاری، در راستای توسعه و غنی‌سازی جنگل‌ها، فراهم کند. چنین مطالعاتی را می‌توان در زمینه بررسی موفق بودن/ نبودن کاشت گونه‌ها در مناطق متفاوت، به کار برد و این ارزیابی‌ها به طرح راهکارهای مدیریتی متناسب با شرایط هر منطقه برای جنگل کاری می‌انجامد تا تصمیم‌گیران و متولیان این اقدامات از آنها بهره‌مند شوند. نتایج ارزیابی صحت نقشه سلامت جنگل کاری، در این مطالعه، مورد قبول بودن روش به‌کاررفته در مطالعه سلامت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق، به دلیل استفاده هم‌زمان از تصاویر سنجنده‌ها و بررسی‌های میدانی، می‌تواند دید بسیار مناسبی در مورد سلامت درختان در جنگل کاری‌ها ارائه دهد که سبب برنامه‌ریزی مناسب مدیران حوزه جنگل‌داری برای مدیریت بهینه جنگل کاری‌ها و همچنین برآورد میزان چوب تولیدی جنگل می‌شود. به‌علاوه، آگاهی در مورد وضعیت کنونی جنگل کاری‌ها دید مناسبی درباره توان و پتانسیل‌های شهرستان لنگرود، به‌ویژه شرایط محیطی و اکولوژیکی آن، برای جنگل کاری فراهم می‌کند.

۶- منابع

- Ahmadi Malakut, E., Soltani, A. & Hasanzad Navrodi, I., 2011, **A Comparison between Understory Phytodiversity of a Natural Forest and Forest Plantations (Case Study: Langerud – Guilan)**, Iranian Journal of Forest, 3(2), PP. 157-167.
- Bagheri, R. & Erfanifard, Y., 2020, **Spatial Distribution of Persian Oak Decline Using a Combination of Geostatistical Techniques and Remote Sensing (Case Study: Barm Plain, Fars Province)**, Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(1), PP. 104-120, <https://doi.org/10.30495/girs.2020.672379>.
- Barazmand, S., Shataee Joybari, S. & Abdi, O., 2012, **Recognition Possibility of Trees Canopy Die Back Using High Resolution Satellite Image of Quick Bird (Case Study: Shastkolate Forest, Gorgan)**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19(4), PP. 477-466, <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2011.107504>.

- ERDAS Imagine, 2014, **Hexagon Geospatial, Peachtree Corners Circle Norcross, US.**
- ESA (European Space Agency), 2018, **Sentinel Online, Level-1C**, Available at: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-1c> (accessed on 17 June 2018).
- Eskandari, S., Jaafari, M.R., Oliva, P., Ghorbanzadeh, O. & Blaschke, Th., 2020, **Mapping Land Cover and Tree Canopy Cover in Zagros Forests of Iran: Application of Sentinel-2, Google Earth, and Field Data**, Remote Sensing, 12(12), PP. 1-32, <https://doi.org/10.3390/rs12121912>.
- Esmaeili Varaki, M., Zamani, A. & Kazemirad, M., 2012, **Numerical Simulation of Various Cut-Offs on Meandering Rivers, A Case Study: Shalman Rood River in Guilan Province**, 11th Iranian Hydraulic Conference, Urmia University, Urmia, Iran, November 6-8th.
- Ghasemi, M., Latifi, H., Shafeian, E., Naghavi, H. & Pourhashemi, M., 2024, **A Novel Linear Spectral Unmixing-Based Method for Tree Decline Monitoring by Fusing UAV-RGB and Optical Space-Borne Data**, International Journal of Remote Sensing, 45(4), PP. 1079-1109, <https://doi.org/10.1080/01431161.2024.2305630>.
- Haywood, A. & Stone, C., 2011, **Mapping Eucalypt Forest Susceptible to Dieback Associated with Bell Miners (*Manorina melanophys*) Using Laser Scanning, SPOT 5 and Ancillary Topographical Data**, Ecological Modelling, 222(5), PP. 1174-1184, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.12.012>.
- Hedayati, M.A., 2001, **The Stages of Afforestation in Iran**, Range and Forest Magazine, 52, PP. 13-19.
- Heikkilä, J., Nevalainen, S. & Tokola, T., 2002, **Estimating Defoliation in Boreal Coniferous Forests by Combining Landsat TM, Aerial Photographs and Field Data**, Forest Ecology and Management, 158(1-3), PP. 9-23, [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00671-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00671-X).
- Hoseinpour, A., Oladi, J., Akbari, H. & Sarajian, M., 2019, **Recognizing Plant Tension in Plantations by Use of UAVs Visible Light Detector, (Case Study: Nekazalemrood Forestry Plan)**, Ecology of Iranian Forests, 7 (13), PP. 20-28, <https://doi.org/10.29252/ifej.7.13.20>.
- Hosseini, Z., Naghavi, H., Latifi, H. & Bakhtiari Bakhtiarvand, S., 2019, **Estimating Biomass and Carbon Sequestration of Plantations around Industrial Areas Using Very High Resolution Stereo Satellite Imagery**, iForest, 12(6), PP. 533-541, <https://doi.org/10.3832/ifor3155-012>.
- Hosseini, Z., Latifi, H., Naghavi, H., Bakhtiarvand Bakhtiari, S. & Fassnacht, F.E., 2021, **Influence of Plot and Sample Sizes on Aboveground Biomass Estimations in Plantation Forests Using Very High Resolution Stereo Satellite Imagery**, Forestry: An International Journal of Forest Research, 94(2), PP. 278-291, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa028>.
- Huete, A.R., 1988, **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25(3), PP. 295-309, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).
- Islamzadeh, N., Mikaeili Tabrizi, A.R., Mahiny, A.S. & Ghorbani, R., 2022, **Landscape Health Mapping by Landsat Images**, Journal of Environmental Studies, 47(4), PP. 395-411, <https://doi.org/10.22059/JES.2021.332755.1008242>.
- Jafari, M., Hosseini, A., Asgari, S., Najafifar, A. & Tahmasebi, M., 2021, **Evaluation of Oak Forest Drying in Physiographic and Landuse Units Ilam Province Using Landsat Satellite Images 8**, Ecology of Iranian Forests, 9(18), PP. 1-9, <https://doi.org/10.52547/ifej.9.18.1>.
- Jahdi, R. & Hazbavi, Z., 2024, **Evaluation of Watershed Scale Forest Ecosystem Health by Remote Sensing and Forest Health Monitoring (FHM) Method**, Journal of Environmental Science Studies, 8(4), PP. 7612-7627, <https://doi.org/10.22034/JESS.2023.387287.1980>.
- Jordan, C.F., 1969, **Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on Forest Floor**, Ecology, 50(4), PP. 663-666, <https://doi.org/10.2307/1936256>.
- Karlson, M., Ostwald, M., Reese, H., Sanou, J., Tankoano, B. & Mattsson, E., 2015, **Mapping Tree Canopy Cover and Aboveground Biomass in Sudano-Sahelian Woodlands Using Landsat 8 and Random Forest**, Remote Sensing, 7(8), PP. 10017-10041, <https://doi.org/10.3390/rs70810017>.

- Köhl, M., Lasco, R., Cifuentes, M., Jonsson, Ö., Korhonen, K.T., Mundhenk, P., Jesus Navar, J. & Stinson, G., 2015, **Changes in Forest Production, Biomass and Carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment**, Forest Ecology and Management, 352(7), PP. 21-34, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.036>.
- Lago, A.A.C.d., 2009, **Stockholm, Rio, Johannesburg: Brazil and the Three United Nations Conferences on the Environment**, Fundação Alexandre de Gusmão, Brazil.
- Levesque, J. & King, D., 2003, **Spatial Analysis of Radiometric Fractions from High-Resolution Multispectral Imagery for Modelling Individual Tree Crown and Forest Canopy Structure and Health**, Remote Sensing of Environment, 84(4), PP. 589-602, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00182-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00182-7).
- Liu, D., Kelly, M. & Gong, P., 2006, **A Spatiotemporal Approach to Monitoring Forest Disease Spread Using Multi-Temporal High Spatial Resolution Imagery**, Remote Sensing of Environment, 101(2), PP. 167-180, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.12.012>.
- Meng, J., Li, S., Wang, W., Liu, Q., Xie, S. & Ma, W., 2016, **Mapping Forest Health Using Spectral and Textural Information Extracted from SPOT-5 Satellite Images**, Remote Sensing 8(9), PP. 1-20, <https://doi.org/10.3390/rs8090719>.
- Mosayeb Neghad, I., Rostami Shahraji, T., Kahneh, E. & Porbabaii, H., 2007, **Evaluation of Native Broadleaved Forest Plantations in East of Guilan Province**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(4), PP. 311-319.
- Moskal, L.M. & Franklin, S.E., 2004, **Relationship between Airborne Multispectral Image Texture and Aspen Defoliation**, International Journal of Remote Sensing, 25(14), PP. 2701-2711, <https://doi.org/10.1080/01431160310001642304>.
- Ogaya, R., Barbata, A., Bañnou, C. & Peñuelas, J., 2015, **Satellite Data as Indicators of Tree Biomass Growth and Forest Dieback in a Mediterranean Holm Oak Forest**, Annals of Forest Science, 72(1), PP. 135-144, <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0408-y>.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, W.D., 1973, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS** In Proceedings of the Third ERTS Symposium, NASA SP-351, NASA. Washington, DC, USA, PP. 309-317.
- Saba, F., Latifi, H., Valadan Zoej, M.J. & Heipke, C., 2024, **Analysis of the Spatio-Temporal Dynamics of *Buxus hyrcana* Pojark Defoliation Using Spaceborne Satellite Data**, Forestry: An International Journal of Forest Research, cpae005, PP. 1-15, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpae005>.
- Schultz, M., Clevers, J.G.P.W., Carter, S., Verbesselt, J., Avitabile, V., Quang, H.V. & Herold, M., 2016, **Performance of Vegetation Indices from Landsat Time Series in Deforestation Monitoring**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 52, PP. 318-327, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.020>.
- Shafeian, E., Fassnacht, F.E. & Latifi, H., 2023, **Detecting Semi-Arid Forest Decline Using Time Series of Landsat Data**, European Journal of Remote Sensing, 56(1), P. 2260549, <https://doi.org/10.1080/22797254.2023.2260549>.
- Soares, C., Príncipe, A., Köbel, M., Nunes, A., Branquinho, C. & Pinho, P., 2018, **Tracking Tree Canopy Cover Changes in Space and Time in High Nature Value Farmland to Prioritize Reforestation Efforts**, International Journal of Remote Sensing, 39(14), PP. 4714-4726, <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1475777>.
- Thales Alenia Space, 2017, **Sentinel-2 Products Specification Documents**, Eesa Publication, P. 487.
- Recanatesi, F., Giuliani, C. & Ripa, M.N., 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), PP. 1-10, <https://doi.org/10.3390/su10093308>.
- Waser, L.T., Küchler, M., Jütte, K. & Stampfer, T., 2014, **Evaluating the Potential of WorldView-2 Data to Classify Tree Species and Different Levels of Ash Mortality**, Remote Sensing, 6(5), PP. 4515-4545, <https://doi.org/10.3390/rs6054515>.
- Zhang, J., Cong, S., Zhang, G., Ma, Y., Zhang, Y. & Huang, J., 2022, **Detecting Pest-Infested Forest Damage through Multispectral Satellite Imagery and Improved UNet++**, Sensors (Basel), 22(19), PP. 1-21, <https://doi.org/10.3390/s22197440>.

This Page is Intentionally Left Blank