

Original Article



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 کاری های شهرستان لنگرود با استفاده از سنجنده سنتینل-۲ و داده های زمینی

فاطمه احمدلو^{۱*}، سعیده اسکندری^۱، محمود بیات^۱، مهرداد میرزایی^۲، شهریار صبح زاهدی^۳، امین نصراللهیان^۴

سمت

۱. مؤسسه تحقیقات جنگل ها 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 کاری ها در تصمیمات مدیریتی برای توسعه جنگل کاری ها در آینده بسیار مهم است. این مطالعه به منظور پایش سطح، پراکنش و سلامت جنگل کاری ها، در شهرستان لنگرود استان گیلان، انجام شد. مدیریت پایدار عرصه های جنگل کاری های سنوایی در حال و آینده نیازمند مطالعاتی درمورد وضعیت جنگل کاری ها، با تمرکز بر سلامت جنگل کاری ها و مناطق جنگل کاری شده سالم می تواند عملکرد محیط زیستی بهتری را در مقایسه با جنگل کاری های ناسالم، داشته باشند. هدف این مطالعه تهیه نقشه و مساحی محدوده های جنگل کاری های شهرستان لنگرود، با استفاده از برداشت های زمینی، نرم افزار GPS اندروید (GFAMP) و سامانه گوگل ارث برای حفاظت، غنی سازی و توسعه جنگل کاری ها در آینده است. همچنین در آن سلامت توده ها، با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۲ و شاخص های پوشش گیاهی NDVI، TNDVI، SAVI و RVI ارزیابی می شود.

مواد و روش ها: در این مطالعه، ابتدا برداشت های میدانی از جنگل کاری های کنونی، در قالب نقاط زمینی، انجام شد و نقشه پراکنش جنگل کاری ها با استفاده از برداشت های زمینی، نرم افزار 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، شاخص های پوشش گیاهی گوناگون مانند NDVI، TNDVI، SAVI و RVI مربوط به فصل رویش استخراج و نقشه های آنها در محدوده جنگل کاری ها تهیه شد. در ادامه، میزان هر شاخص پوشش گیاهی در نقاط برداشت های زمینی استخراج شد و میزان همبستگی مقادیر هر شاخص پوشش گیاهی (حاصل از تصاویر فصل رویش سنجنده سنتینل-۲) با سلامت جنگل کاری ها (با استفاده از برداشت های میدانی) بررسی شد. بدین منظور ضریب همبستگی پیرسون به کار رفت. سپس شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت جنگل کاری های شهرستان لنگرود داشت به منزله مهم ترین شاخص برای برآورد سلامت جنگل کاری ها انتخاب شد و رابطه رگرسیونی آن نیز با سلامت جنگل کاری ها به دست آمد. در ادامه، با استفاده از نقشه مطلوب ترین شاخص پوشش گیاهی، اطلاعات برداشت های میدانی و ارتباط بین این دو مورد، نقشه سلامت جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود تهیه شد.

نتایج و بحث: براساس یافته های این پژوهش، در مجموع، ۶۶ قطعه جنگل کاری در این شهرستان شناسایی شد؛ مساحت کل این قطعات، با استفاده از روش آماری برداری صددرد و کنترل زمینی، به میزان ۷۴۶/۲ هکتار به دست آمده است که معمولاً در جنوب غرب شهرستان پراکنش دارند. به علاوه، نتایج نشان داد که شاخص NDVI مطلوب ترین شاخص پوشش گیاهی، برای برآورد سلامت جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود، شمرده می شود 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 دیگر سو دو شاخص TNDVI و RVI همبستگی بسیار کمتری را با سلامت درختان، در محدوده جنگل کاری های لنگرود، نشان دادند و از این رو استفاده از آنها، برای ارزیابی سلامت درختان در مطالعات بعدی، توصیه نمی شود. از مجموع مساحت فعلی جنگل کاری ها، ۴۰/۵۶ 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 کاری ها در این پژوهش ۰/۸۰، صحت تولیدکننده ۰/۷۹، صحت کاربر ۰/۷۸ و ضریب کاپا ۰/۷۳ است. این نتایج نشان می دهد نقشه سلامت جنگل کاری ها به خوبی در دسته های گوناگونی طبقه بندی شده که گویای سلامت و شادابی متفاوت درختان است. به طور کلی، جنگل کاری های این شهرستان اغلب در سلامت کامل اند اما برخی از عرصه های کچلین، لرزبان، گندم بیجاران، قازی دشت، خورش سرا و چاکسر (چاکدشت)، به دلیل انجام نشدن عملیات حفاظتی و نداشتن فرق بان در سال های اولیه، موفقیت کمتری داشته اند.

استناد:

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

نتیجه گیری: نتایج این پژوهش، در زمینه پایش کمی و کیفی جنگل کاری ها و تداوم آن در دوره های زمانی معین و همچنین برنامه های توسعه جنگل کاری در آینده، به مدیران جنگل کمک شایانی می کند. مدل رگرسیونی مطرح شده براساس همبستگی بالای شاخص NDVI با سلامت جنگل کاری ها امکان برآورد سریع و ارزیابی کمی، کم هزینه، مقرون به صرفه و اقتصادی وضعیت سلامت جنگل کاری ها در سطح وسیع و مناطق دوزادسترس را فراهم می کند. نتایج این تحقیق، با شناخت وضعیت کنونی جنگل کاری ها، درباره توان و پتانسیل های شهرستان لنگرود برای جنگل کاری، با توجه به شرایط محیطی و اکولوژیکی این شهرستان، دید مناسبی ارائه می دهد.

واژه های کلیدی: توسعه جنگل، سامانه گوگل ارث، شاخص های پوشش گیاهی، غنی سازی، 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 عهده دار مکاتبات: ahmadloo@rifr-ac.ir

شناسه دیجیتال مقالات: <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 براساس 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). براساس 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

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، اندازه گیری می کنند. محققان این داده های طیفی را به صورت تک باندهای یا ترکیب باندهای و شاخص های گیاهی، برای تعیین و تهیه نقشه سلامت جنگل، به کار می برند (Cotrozzi, 2022). تصاویر چندطیفی و شاخص های پوشش گیاهی اطلاعات مفیدی برای تشخیص سلامت گیاه دربردارند (Zhang et al., 2022).

مدیریت پایدار عرصه های جنگل کاری های سنواتی در حال و آینده نیازمند مطالعاتی درباره وضعیت جنگل کاری ها، با تمرکز بر سلامت آنهاست زیرا مناطق جنگل کاری شده سالم، در مقایسه با جنگل کاری های ناسالم، می توانند عملکرد محیط زیستی بهتری داشته باشند. با این حال تحقیقاتی که تا کنون درمورد حفاظت و پایش سلامت جنگل کاری ها و سلامت توده در داخل کشور انجام شده بسیار محدود بوده است که به برخی از آنها اشاره می شود. برازمنند^۲ و همکاران (۲۰۱۲)، طی مطالعه ای در جنگل شصت کلاته گرگان، امکان تشخیص سرخشیدگی تاج درختان را با استفاده از تصاویر ماهواره ای Quickbird بررسی کردند. این پژوهشگران، در این بررسی، شاخص های 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 نهال های افراپلت، بلوط و مخلوط این دو گونه در عرصه های جنگل کاری واقع در طرح جنگل داری نکا ظالمرو، در نه منطقه یک تا سه هکتاری، از سنجند نور مرئی پهباد با پرواز عمودی

چهارموتوره بسیار سبک و دارای دوربین دوازده مگاپیکسل و همچنین شاخص های 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 ماهواره ای لندست- ۸ ارائه دادند که در نتیجه آن، طبقات متفاوت خشکیدگی مشخص شد. جهدی و حزباوی^{۱۳} (۲۰۲۴) سلامت بوم سازگان جنگل در مقیاس حوضه آبخیز شنود سیاهکل را با استفاده از سنجش از دور و ترکیب شش 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.

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 جنگل‌کاری باید در مقیاس منطقه‌ای به‌صورت 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 جنگل‌کاری‌ها بررسی شود و همچنین پیشنهادهای اجرایی برای بهبود کمی و کیفی هر جنگل‌کاری مطرح شود.

با توجه به اینکه تا کنون آمار سطح جنگل‌کاری‌ها به‌صورت موردی گزارش شده و سلامت و موفقیت جنگل‌کاری‌ها نیز بررسی نشده و یا به‌صورت خلاصه، در کتابچه‌های طرح آورده شده است، تحقیق حاضر به‌منظور ایجاد بانک اطلاعاتی بهنگام و دقیق از وضعیت جنگل‌کاری‌های لنگرود در استان گیلان، در راستای برنامه‌های راهبردی به‌منظور تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت صحیح و پایدار منابع جنگلی، انجام شده است. هدف این مطالعه تهیه نقشه و مساحی محدوده‌های جنگل‌کاری‌های شهرستان لنگرود، با استفاده از برداشت‌های زمینی، نرم‌افزار GPS اندروید (GFAMP) و سامانه گوگل ارث برای حفاظت، غنی‌سازی و توسعه جنگل‌کاری‌ها در آینده بوده است و همچنین سلامت توده‌ها، با استفاده از تصاویر سنجنده سنیتل-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 سنیتل-۲ و شاخص پوشش گیاهی NDVI بررسی کردند. ارزیابی سراسری وضعیت سلامت جنگل‌ها نشان داد که در کل مناطق جنگلی در جمهوری چک، جنگل‌ها به‌میزان ۱/۱۶٪ به‌شدت آسیب‌دیده، ۱۲/۵٪ آسیب‌دیده، ۷۹/۲٪ دارای شرایط پایدار، ۶/۳٪ احیاشده و ۰/۴٪ به‌شدت 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 جنگل‌کاری‌ها، 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، به‌دلیل 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 جنگل‌کاری، ناپیوستگی

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

است که از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهرستان سیاهکل، از غرب به شهرستان لاهیجان و از سمت شرق به شهرستان های رودسر و املش محدود می شود. آب و هوای این شهرستان معتدل خزری و شبه مدیترانه ای است و تابستان های گرم و شرجی و زمستان های سرد و مرطوب دارد. متوسط بارندگی ماهیانه منطقه ۱۰۸ میلی متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۵/۵ درجه سانتی گراد است (Ahmadi, 2011). این شهرستان دارای دو ناحیه عمده جغرافیایی جلگه ای و کوهستانی است؛ در ناحیه جلگه ای، نوار باریک ساحلی و در ناحیه کوهستانی، محدوده های کوهپایه ای، جنگلی و مرتعی در ارتفاعات به چشم می خورد. 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 نام های لنگرود، کومله، اطاقور، سلمان 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 دهستان های آن در شکل ۱ ارائه شده است. از نظر پستی و بلندی، ۲۳۹۷۱/۶ هکتار از شهرستان لنگرود در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰-۶۸۸۶/۳۹ 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 می دهد بیشترین سطح این شهرستان در مناطق کم ارتفاع و پست قرار گرفته است. این شهرستان ۲۸ رودخانه اصلی و فرعی دارد که طولانی ترین آنها بارگیلی رود، به طول ۲۱۸۷۷ متر و

کوتاه ترین آنها ترکه رود، به طول ۳۴ متر است.

۲-۲- داده های مورد استفاده

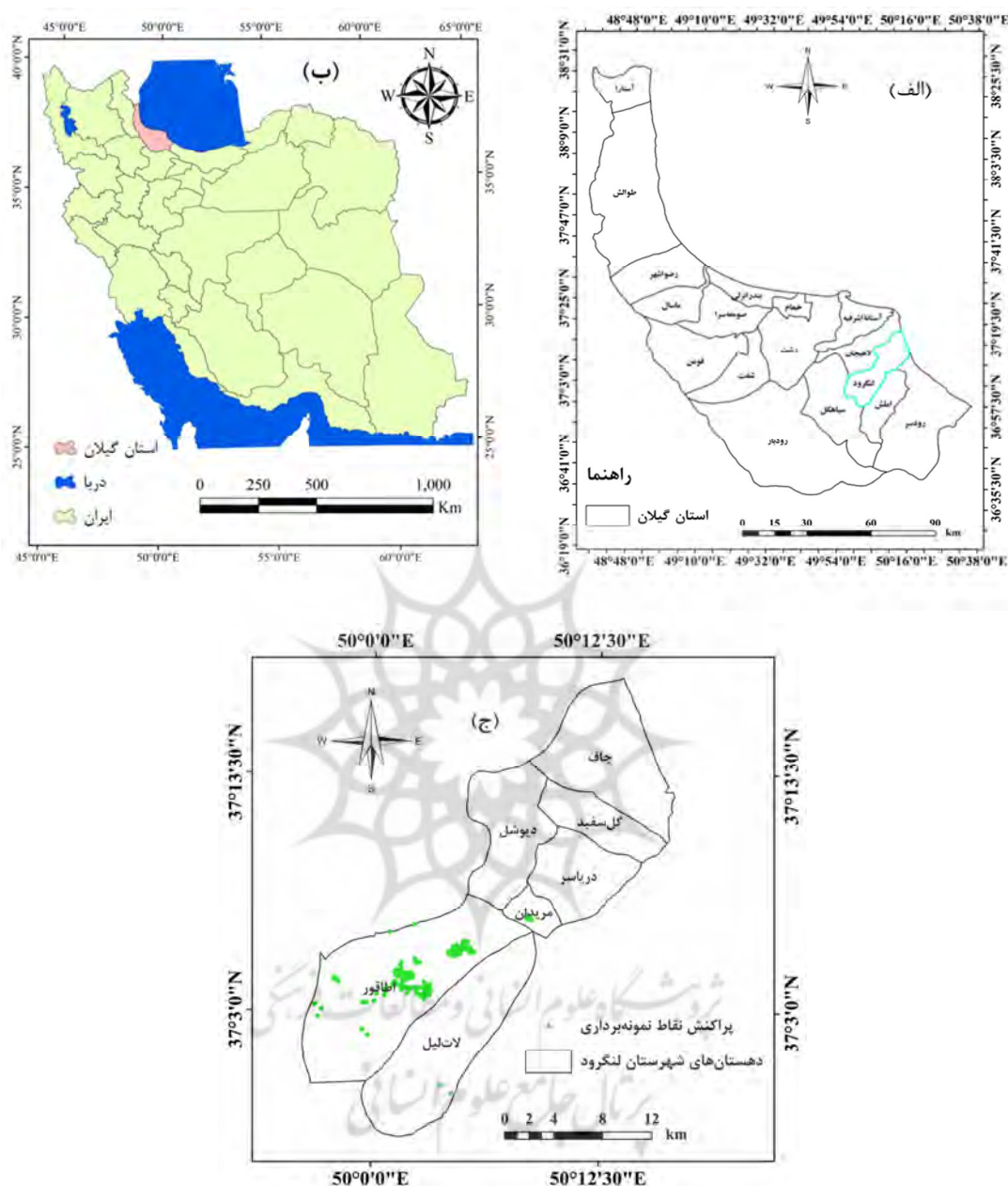
داده های به کاررفته در این پژوهش شامل تصاویر سنجنده سنتینل-۲، متعلق به فصل رویش (تابستان)، چهار شاخص پوشش گیاهی SAVI, TNDVI, NDVI و RVI در فصل رویش (که شادابی و سلامت تاج درختان کاملاً مشخص است)، داده های عرصه های جنگل کاری دریافت شده از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و داده های میدانی می شود.

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 هم زمان دو ماهواره مشابه (2A و 2B) عمل می کند. هریک از این ماهواره ها دارای یک سنجنده چندطیفی (MSI) است و بازتاب پدیده های روی زمین را در سیزده باند طیفی، از مرئی (V) تا فروسرخ نزدیک (NIR) و فروسرخ با طول موج کوتاه (SWIR)، اندازه گیری می کند (Thales Alenia Space, 2017).

شاخص های مورد استفاده نیز چهار تاست که در جدول ۲ آورده شده است. این شاخص ها براساس مطالعات پیشین و توانایی بیشتر آنها در شناسایی سلامت و مشخصات تاج درختان به کار رفت؛ NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده، NIR بازتاب طیفی در باند فروسرخ 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 می شود (Erdas Imagine, 2014).

1. Copernicus



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

۳-۲- روش پژوهش

۳-۲-۱- روش تهیه نقشه پراکنش جنگل کاری ها

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

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

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. شاخص های 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 عرصه های جنگل کاری به دست آمد. پس از ترسیم پلی گون های جنگل کاری در گوگل ارث، همه آنها به نرم افزار ArcGIS انتقال یافتند و به لایه پلی گونی یکپارچه، به فرمت shp (شیپ فایل)، تبدیل شدند. باید اشاره کنیم، با توجه به دقت مورد نیاز، از تصاویر ماهواره ای بینگ و گوگل ارث با تفکیک مکانی ۵۰ سانتی متر استفاده شد و برای برخی نقاط نیز تصاویر ارتوشده سازمان نقشه برداری کشور، با تفکیک مکانی ۱۰ سانتی متر و مقیاس ۱/۲۰۰۰، به کار رفت. پس از اتمام آنالیزهای نقشه هر دهستان، نقشه پراکنش و موقعیت کل جنگل کاری های شهرستان لنگرود تهیه شد.

در اطراف هر قطعه جنگل کاری شده، مختصات جغرافیایی محدوده جنگل کاری ها ثبت و مساحت هر قطعه برداشت و نوع گونه های آن قطعه نیز یادداشت شد. سپس عرصه جنگل کاری هر دهستان با GPS و نرم افزار اندازه گیری مساحت با GPS اندروید (GFAMP) (GPS Fields Area Measure PRO) جانمایی و روی گوگل ارث بازیابی شد. نرم افزار 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 نرم افزار 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 کاری ها و ارزیابی صحت آن

برای انجام دادن این پژوهش، تصاویر سنتینل-۲ پس از دریافت، به اندازه مرز جنگل کاری های 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 نرم افزار Envi 5,3 انجام شد و تصویر رنگی کاذب در محدوده جنگل کاری ها به دست آمد. از آنجاکه تصویر دریافتی متعلق به منطقه جنگل کاری های لنگرود با پوشش ابری کمتر از ۵٪ بود و خطای اتمسفریک و راهراه شدگی 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 ارتوفوتوشده ای^۱ هستند که تصحیحات هندسی در آنها انجام شده و در سیستم UTM WGS84 ژئورفرنس شده اند. همچنین تصاویر این سطح در سیستم هندسی کارتوگرافیک، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM)، پروجکت شده اند. بنابراین تصحیحات هندسی در این محصولات انجام شده بود و این تصاویر به تصحیحات هندسی نیاز نداشتند (ESA, 2018).

پس از آن، چهار شاخص RVI، SAVI، NDVI و TNDVI برای محدوده جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود محاسبه شد و نقشه های آنها به دست آمد. هدف این بود که از این شاخص ها برای تهیه نقشه سلامت جنگل کاری های منطقه استفاده شود. این شاخص ها، به ویژه 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 نشان دهنده پوشش گیاهی در منطقه است. هرچه مقدار این شاخص به +۱

نزدیک تر باشد، پوشش گیاهی سالم تر، شاداب تر و انبوه تر است. برعکس، هرچه مقدار این شاخص به صفر نزدیک تر باشد، پوشش گیاهی خشکیده تر و تنک تر است.

سپس همبستگی بین شاخص های متفاوت و درجه سلامت جنگل کاری ها در ۷۰٪ نقاط واقعیت زمینی (۱۰۵ نقطه) محاسبه شد. داده ها در زمینه بررسی شادابی و سلامت درختان شامل ۱۵۰ نقطه تصادفی در سراسر محدوده جنگل کاری ها 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 به صورت اعداد متفاوتی کدگذاری شد. بدین منظور 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 نسبیتی و فاصله ای داده ها، ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص های گوناگون و درجه سلامت درختان به کار رفت (Bihamta & Zare Chahouki, 2015). همچنین برای شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت درختان نشان داد (دقیق ترین شاخص)، رابطه رگرسیونی در نرم افزار IBM SPSS Statistics ver. 22 محاسبه شد.

نقاط برداشت شده تصادفی بودند؛ از این رو برای هر طبقه سلامت جنگل کاری ها (کاملاً سالم، سلامت متوسط و ناسالم)، تعداد متفاوت نقاط وجود داشت که از اطلاعات آنها برای طبقه بندی و ارزیابی صحت نقشه دقیق ترین شاخص در سه طبقه سلامت جنگل استفاده شد. بنابراین طبقه بندی محدوده جنگل کاری ها 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 رابطه ها، OA صحت کلی، k ضریب کاپا، PA صحت تولیدکننده، UA صحت کاربر، n تعداد کل پیکسل های واقعیت زمینی، n_{ii} مجموع عناصر روی قطر اصلی (تعداد نقاط یا پیکسل های طبقه بندی شده صحیح) و j 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

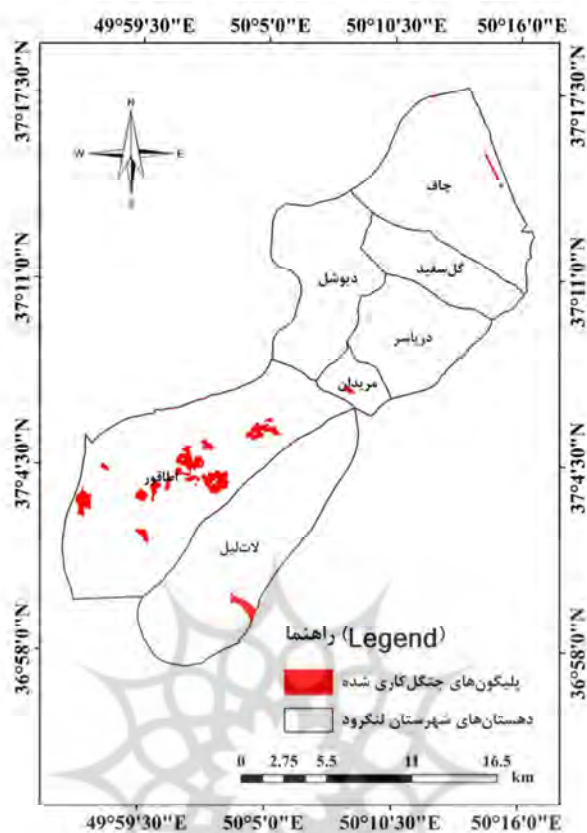
پراکنش و موقعیت عرصه های جنگل کاری شهرستان لنگرود در شکل ۲ آورده شده است. براساس یافته های این پژوهش، در مجموع، ۶۶ قطعه جنگل کاری در این شهرستان شناسایی شد که مساحت کل این قطعات، با استفاده از روش آماربرداری صددرد و کنترل زمینی، به میزان ۷۴۶/۲ هکتار به دست آمده است. بیشترین عرصه جنگل کاری به دهستان اطاقور، 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 کاری ها در طبقات متفاوت ارتفاعی، بیشتر عرصه های 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 عرصه های جنگل کاری شده 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 (دقیق ترین شاخص)، مقدار این شاخص در نقاط برداشت زمینی (۷۰٪ نقاط: ۱۰۵ نقطه) و شادابی درختان انجام شد. درمورد شاخص NDVI، پیکسل هایی که مقدار NDVI آنها بین ۰/۰۴ تا ۰/۲۲ بود جزء جنگل کاری های با کمترین میزان سلامت (ناسالم)، پیکسل های دارای مقدار NDVI بین ۰/۲۲ تا ۰/۴۰ جزء جنگل کاری های با سلامت متوسط و پیکسل های با مقدار NDVI بین ۰/۴۰ تا ۰/۵۸ جزء جنگل کاری های کاملاً سالم طبقه بندی شدند و نقشه دربردارنده سه طبقه سلامت برای جنگل کاری ها در لنگرود به دست آمد. بنابراین درپایان، علاوه بر نقشه پراکنش جنگل کاری ها، نقشه سلامت جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود نیز با اندازه پیکسل ۱۰×۱۰ متر به دست آمد (Eskandari et al., 2020). تهیه نقشه با ابعاد ۱۰×۱۰ متر نشان دهنده ابعاد پیکسل در تصاویر سنتینل-۲ است.

در نهایت، نقشه سلامت جنگل کاری ها 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 شاخص های متفاوت ارزیابی صحت (صحت کلی، ضریب کاپا و موارد دیگر) به دست آمد. برای این کار، از شاخص های صحت کلی (Overall accuracy: OA)، ضریب کاپا (k)، صحت تولیدکننده (Producer accuracy: PA) و صحت کاربر (User accuracy: UA) استفاده شد. این شاخص ها طبق روابط زیر به دست آمدند:

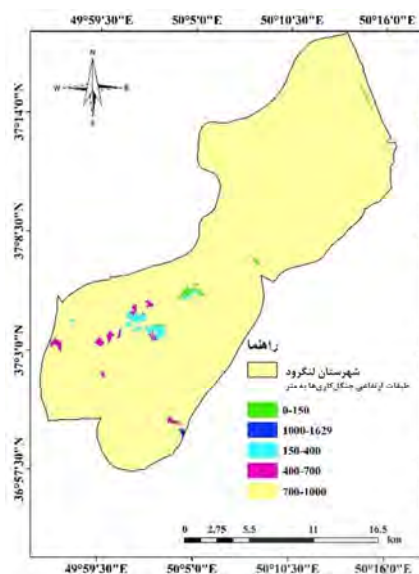
$$OA = \frac{\sum_{i=1}^j n_{ii}}{n} * 100 \quad \text{رابطه (۵)}$$



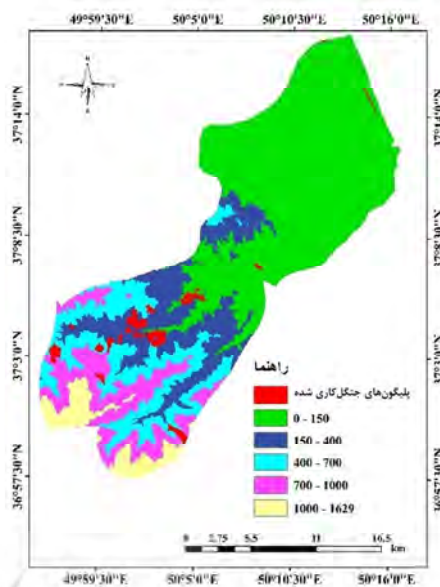
شکل ۲. نقشه پراکنش و موقعیت عرصه های جنگل کاری شده شهرستان لنگرود، با ۶۶ قطعه به مساحت ۷۴۶/۲ هکتار

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
لاتلیل	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 عرصه های جنگل کاری شده شهرستان لنگرود



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

۲-۳- نقشه های شاخص های مورد بررسی و نقشه سلامت جنگل کاری ها

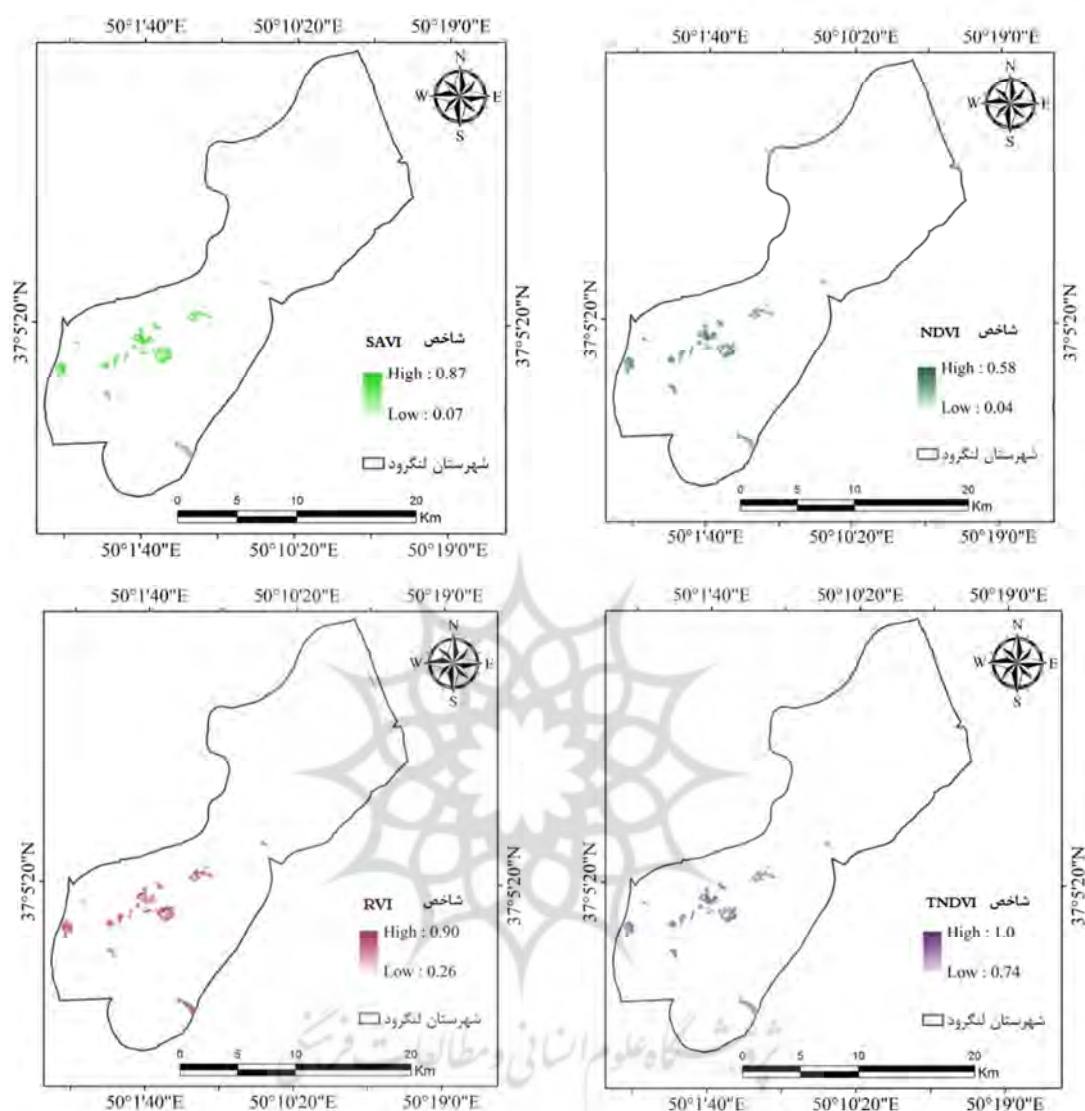
نقشه های شاخص های مورد بررسی در محدوده جنگل کاری های لنگرود در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس نتایج، مقدار شاخص NDVI در داخل محدوده جنگل کاری های مورد مطالعه بین ۰/۰۴ تا ۰/۵۸ متغیر بود. مقدار ۰/۰۴ به مناطق جنگل کاری با کمترین سلامت و مقدار ۰/۵۸ به مناطق جنگل کاری کاملاً سالم متعلق بود. مقدار شاخص SAVI،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

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

جدول ۴. مساحت محدوده های 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 سیاه خانی، اولردهی با ۱۵۸ هکتار تعلق دارد که در سال ۱۳۹۳، به منظور توسعه جنگل، کشت شده است. عرصه های آلمان لنگه، تیکسر، سوزنی برگ چاف و چمخاله و مریدان جزء جنگل کاری های سنواتی اند که به خوبی مستقر شده اند. در بیشتر جنگل کاری ها، از گونه های بومی توسکا، افرا و ون استفاده شده است. کمترین درصد موفقیت به عرصه گندم بیجاران تعلق دارد که نهال های کاشته شده بر اثر چرای دام و انجام نشدن مراقبت و نگهداری از بین رفته اند.



شکل ۵. نقشه های شاخص های مورد بررسی در محدوده جنگل کاری های شهرستان لنگرود

جدول ۵. همبستگی شاخص های مورد بررسی با سلامت جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود

شاخص	دامنه شاخص در جنگل کاری ها	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٪

براساس نتیجه همبستگی، درمورد شاخصی که بیشترین همبستگی را با سلامت جنگل کاری ها داشت، تحلیل رگرسیونی انجام شد که نتایج آن در جدول های ۶ و ۷ آمده است.

نقشه سلامت جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود، با اندازه پیکسل 10×10 متر، در شکل ۶ نشان داده شده است. شایان ذکر است که این نقشه براساس طبقه بندی شاخص NDVI که بیشترین همبستگی را با سلامت جنگل کاری ها داشت (دقیق ترین شاخص)، به دست آمد.

نقشه پراکنش نقاط در طبقات گوناگون سلامت جنگل کاری و مساحت طبقات گوناگون سلامت جنگل کاری ها در شهرستان لنگرود نیز، به ترتیب، در جدول های ۷ و ۸ نشان داده شده است. براساس نتایج، بیشتر جنگل کاری های شهرستان لنگرود در سلامت کامل قرار دارند ($40.0/56$ هکتار)؛ درحالی که مساحت جنگل کاری های ناسالم بسیار محدودتر است ($40.0/4$ هکتار). این نکته نشان می دهد که جنگل کاری های شهرستان لنگرود، در اغلب موارد، موفق بوده است.

جدول ۶. خلاصه مدل رگرسیونی

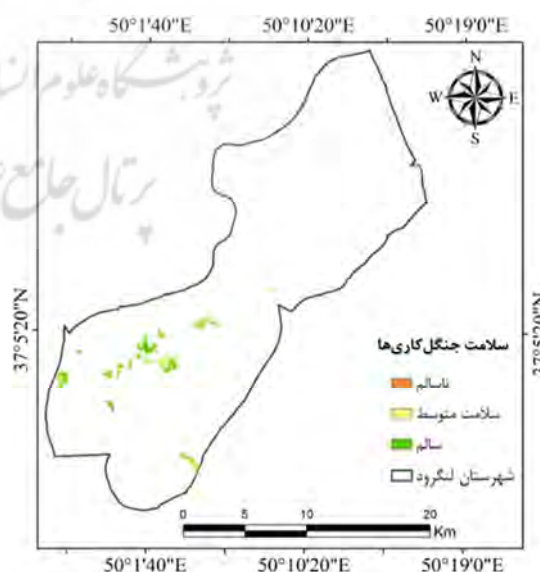
مدل	ضریب همبستگی (R)	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین تعدیل شده (Adjusted R Square)	خطای استاندارد برآورد (Std. Error of the Estimate)
رگرسیونی	۰/۸۷۴	۰/۷۶۵	۰/۷۶۳	۰/۳۹۶

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 کاری ها در شهرستان لنگرود



شکل ۶. نقشه سلامت جنگل کاری ها 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 آماری برداری 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 سلمان‌رود از ارتفاعات بخش اطاقور سرچشمه گرفته‌اند و در نهایت، سلمان‌رود را تشکیل می‌دهند. یکی از شاخه‌هایی که موجب افزایش میزان آب‌دهی این رودخانه می‌شود، بارگیلی‌رود است که از ارتفاعات جنوب غرب و غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیری طولانی، در غرب روستای خرشتوم، به سلمان‌رود وارد می‌شود. سلمان‌رود در نهایت، با طی مسیر ۲۵ کیلومتر، در چمخاله وارد دریای خزر می‌شود (Esmaeili 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

طبقه 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

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

دو نکته در موفقیت جنگل کاری ها، 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 کاری های انجام شده است (Mosayeb Neghad et al., 2007). تنوع بسیار زیاد گونه های به کاررفته در جنگل کاری ها متناسب با شرایط اکولوژیکی متنوع کشور، اهداف و رژیم های کاشت و داشت گوناگون، به انضمام تفاوت های سنی و پراکندگی سطوح این جنگل کاری ها سبب حاکم شدن شرایطی بسیار متفاوت بر این جنگل کاری ها شده است و اعمال مدیریتی یکپارچه و همسان بر آنها را ناممکن می سازد. در کنار توسعه این جنگل کاری ها، مسئله حفاظت از این عرصه ها نیز بسیار اهمیت دارد. به منزله اصلی کلی، هر گونه ای که برای جنگل کاری انتخاب می شود باید با شرایط محیطی و خاکی منطقه سازگار باشد. در شهرستان لنگرود، جنگل کاری های افرا، ون و توسکا گستردگی بیشتری از گونه های دیگر داشت. گونه های سوزنی برگ نیز، در برخی مناطق، همراه با پهن برگان کشت شده و به صورت خالص در حاشیه روستاها، به صورت کمربندی سبز بوده است. به منظور جنگل کاری در رویشگاه های جنگلی فعلی، ابتدا باید برای حفاظت، احیا و غنی سازی رویشگاه ها و در گام بعدی، توسعه جنگل اقدام شود. بسیاری از نهال های کاشته شده قبلی بنابه دلایل گوناگونی از بین رفته اند یا رشد چندان ندارند. برنامه ریزی و اجرای طرح های جنگل داری، برای نگه داشت نهال ها، اولویت دارد. با هدف استقرار بهینه نهال های غرس شده و کاهش تلفات، به برنامه و طرح مدون مبتنی بر تجربه های گذشته نیاز است. در انتخاب نوع گونه، بهتر است از گونه ها و اکوتیپ های بومی آن منطقه، متناسب با هر منطقه رویشی و با ملاحظات بوم‌شناختی و رعایت مراحل توالی، و ترجیحاً گونه های پیشگام سازگار با شرایط منطقه و الگوی کاشت آمیخته استفاده شود.

حذف چرای دام از عرصه های جنگلی و جنگل کاری ها ضرورتی اجتناب ناپذیر است. آب مورد نیاز برای طرح جنگل کاری، منابع اعتباری کافی و برنامه ریزی برای تأمین آب نهال های کاشته شده باید ارزیابی شود. حفاظت از عرصه های جنگل کاری و تأمین نیروهای قرق بانی باید در قالب برنامه مدیریت طرح جنگل داری باشد و سرلوحه کارها قرار بگیرد. برنامه پایش وضعیت جنگل کاری ها، نگهداری، واکاری، دوباره کاری و ملاحظات پرورشی آینده نهال های کاشته شده و سازمان متولی آن باید کاملاً مشخص و مدون باشد.

شناخت وضعیت محیطی کنونی اساسی ترین موضوع برنامه ریزی منطقه ای به شمار می رود. بر همین اساس، آگاهی درباره وضعیت جنگل کاری ها و پایش سلامت آنها در حال حاضر نیز اهمیت بسیاری برای برنامه ریزی های بعدی دارد. برای پایش سلامت جنگل، تغییر در بازتابش طیفی تاج درختان بررسی می شود. افزایش در بازتابش نور در باند قرمز، به علت کاهش میزان کلروفیل و تغییر در محدوده لبه قرمز^۱، در منحنی پراکنش طیفی هنگام پایش سلامت جنگل به کار می رود (Levesque & King, 2003). در این زمینه، اسلام زاده^۲ و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه سلامت پوشش گیاهی از سنجه های سیمای سرزمین، از جمله شاخص شکل، نسبت محیط به مساحت، پیوستگی، فاصله اقلیدسی و NDVI به منزله 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 عامل های گوناگون، انواع تصاویر ماهواره ای و تکنیک های متفاوت بیان کرده اند (Waser et al., 2014) اما، در زمینه سلامت جنگل کاری ها در داخل کشور، تحقیق جامعی با این

1. Red-edge
2. Islamzadeh

موضوع انجام نشده است. شاخص های پوشش گیاهی، با پایش وضعیت سلامت جنگل کاری ها، بینش شایان توجهی را در اولویت بندی و تدوین استراتژی های مدیریت جنگل کاری ها در اختیار مدیران قرار می دهند (Haywood & Stone, 2011). در این پژوهش، وضعیت سلامت جنگل کاری ها براساس تحلیل داده های سنجنده سنتینل-۲، در مقیاس پیکسل های ده متری و با استفاده از چهار باند منتخب و چهار شاخص پوشش گیاهی گوناگون، ارزیابی شد که نوعی اندازه گیری سنجنده نوری از سطح سبزیگی طیفی درختان است. از آنجا که در هریک از شاخص های پوشش گیاهی از روابط و طول موج های قرمز و فروسرخ نزدیک در قالب باندهای طیفی مورد نظر استفاده می شود، مقادیر آنها نیز متفاوت است. شاخص های 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 مطلوب ترین شاخص پوشش گیاهی برای برآورد سلامت جنگل کاری ها 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 می دهد. درمقابل، دو شاخص TNDVI و RVI همبستگی بسیار کمتری با سلامت درختان در محدوده جنگل کاری های لنگرود داشتند که استفاده از آنها، برای ارزیابی سلامت درختان در مطالعات بعدی، توصیه نمی شود. باید اشاره کنیم که بازتاب طیفی در باند فروسرخ نزدیک (NIR) نماد بسیار خوبی برای سلامت

پوشش گیاهی است. به عبارت دیگر، پوشش گیاهی در وضعیت سلامت کامل، امواج باند فروسرخ نزدیک را به خوبی منعکس می کند. در این تحقیق، سعی شد از شاخص هایی استفاده شود که بازتاب طیفی در باند فروسرخ نزدیک (NIR) در آنها دخیل است. از آنجا که طبق رابطه شاخص NDVI، رابطه مستقیمی بین میزان این شاخص با میزان بازتاب طیفی در باند فروسرخ نزدیک (NIR) وجود دارد، بازتاب طیفی بیشتر در این باند به NDVI بیشتر منتج خواهد شد؛ بنابراین پوشش گیاهی سالم تر و شاداب تر خواهد بود. اثرگذاری بیشتر شاخص NDVI که در تحقیق حاضر به آن اشاره شده است، با یافته های پژوهش بارکی و نورساپوترا (۲۰۱۷) و ریکاناتسی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. طی پژوهشی، نتایج ارزیابی شاخص NDVI، در جنگل های 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 داده های سری زمانی انجام شد (Schultz et al., 2016). شایان ذکر است که در مناطق مرطوب، سلامت و شادابی درختان بیشتر است و بنابراین میزان شاخص های پوشش گیاهی بیشتر از مناطق دیگر خواهد بود. گیلان از استان های مرطوب کشور است اما به طور کلی، چون ایران کشوری نیمه خشک است، معمولاً مقدار شاخص NDVI در جنگل و جنگل کاری ها کمتر از سایر مناطق جهان به دست می آید 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.

درمجموع، داده های ماهواره ای قادر به تفسیر علت تغییر مشاهده شده در وضعیت سلامت جنگل نیستند. در بررسی های بارکا و همکاران (۲۰۱۸)، علاوه بر سهم

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 قرق‌بان در سال‌های اولیه، موفقیت کمتری داشته‌اند. در جنگل کاری‌ها، نهال‌های کاشته شده به میزان ۱۰۰٪ 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 دورازدسترس 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 هیکیلا^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 سرخشیدگی 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 سرخشیدگی توده صنوبر را در دامنه کوه آلبرتا، کانادا، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ارزیابی سرخشیدگی 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، ۴۰۰/۵۶ هکتار در وضعیت سلامت کامل، ۳۰۵/۶۰ 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>.
- Bihamta, 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. به علاوه، 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. & Hasanazad 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 melanophrys*) 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/ifer3155-012>.
- 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., Barbeta, A., Başnou, 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



پروہشگاہ علوم انسانی ومطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی