

# ارزیابی سلامت بوم‌سازگان جنگل در مقیاس حوضه آبخیز با استفاده از سنجش از دور و روش پایش سلامت جنگل

رقیه جهدی<sup>\*</sup>، زینب حزباوی<sup>۲</sup>

۱- استادیار علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استادیار مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

## چکیده

یک بوم‌سازگان جنگلی سالم برای ارائه طیف وسیعی از خدمات محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی ضروری است. برای ارزیابی سلامت جنگل، لازم است شرایط بوم‌سازگان با استفاده از شاخص‌های مختلف اندازه‌گیری شود. در این تحقیق از ترکیب شش شاخص NDVI، SAVI، NDWI، ARI<sup>۱</sup> و CRI<sup>۱</sup> برای استخراج نقشه وضعیت سلامت جنگل‌های حوزه آبخیز شنرود سیاهکل با استفاده از تصویر Landsat ۸ OLI مربوط به سال ۱۴۰۰ و ابزار سلامت جنگل ENVI استفاده شد. سلامت جنگل در پنج درجه (از بسیار خوب تا بسیار ضعیف) ارزیابی شد. برای اعتبارسنجی داده‌های نتیجه تشخیص سطح سلامت جنگل‌ها در تیپ‌های جنگل مختلف در منطقه مورد مطالعه، بررسی و ارزیابی میدانی سطح سلامت جنگل با استفاده از ۴۰ قطعه نمونه و روش FHM (پایش سلامت جنگل) انجام شد. در این تحقیق، با توجه به تحلیل رگرسیون خطی چندگانه اثر شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در ارزیابی سلامت جنگل، شاخص NDVI با مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۷۷ بیشترین تأثیر را بر سطح سلامت جنگل در حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد که سطح سبزی‌نگی و نیز سطح تراکم توده‌های جنگلی را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل حاکی از آن است که اکثر جنگل‌های منطقه مورد مطالعه از سلامت متوسط برخوردار بودند. ۱۹/۴ درصد از مناطق جنگلی به عنوان «سالم»، ۵۶/۸ درصد به عنوان «متوسط سالم» و ۲۳/۸ درصد به عنوان «ناسالم» طبقه‌بندی شدند. علاوه بر این، تیپ‌های جنگل مختلف در منطقه مورد مطالعه دارای درصدهای متفاوتی از جنگل‌های سالم هستند. جنگلکاری‌ها به‌ویژه جنگلکاری پهن‌برگ دارای بیشترین مساحت جنگلی در شرایط ناسالم (ضعیف و بسیار ضعیف) است (تقریباً ۳۳ درصد). در مقابل جنگل‌های طبیعی شامل جنگل پهن‌برگ آمیخته و جنگل راش دارای بیشترین مساحت جنگلی در شرایط سالم (بسیار خوب و خوب) است (تقریباً ۲۱ درصد). به‌طور کلی، وضعیت فعلی بوم‌سازگان در منطقه مورد مطالعه عمدتاً در سلامت متوسط است که نتیجه جنگل‌زدائی بلندمدت، فرسایش خاک و بهره‌برداری نامناسب انسان است. تشخیص سلامت مبتنی بر سنجش از دور در این منطقه با نتایج بررسی میدانی مطابقت داشت. این فرآیند می‌تواند در تهیه نقشه دقیق وضعیت سلامت جنگل‌های کشور بسیار مفید باشد. پیشنهاد می‌شود تغییرات مکانی و زمانی سلامت جنگل در حوزه آبخیز تحت تغییرات اقلیمی آینده مورد مطالعه قرار گیرد.

## کلمات کلیدی

"پیمایش میدانی"، "تیپ‌های جنگل"، "Landsat ۸ OLI"، "حوضه آبخیز شنرود"

## ۱- مقدمه

مناطق جنگلی، حفاظت از ساختار و عملکرد بوم‌سازگان‌ها و احیای فعال بوم‌سازگان‌های تخریب شده برای اطمینان از یکپارچگی و حفظ سلامت آن ضروری است. در نتیجه، طیف وسیعی از شاخص‌های سلامت بوم‌سازگان جنگل با تأکید بر استفاده از شاخص‌های کمی و کیفی توسعه یافته است (Chen et al., ۲۰۱۶; Fei et al., ۲۰۱۳). ارزیابی سلامت بوم‌سازگان بر اساس این شاخص‌ها، پیش‌شرطی برای بازسازی اکولوژیکی و توسعه پایدار است.

در سال‌های اخیر مطالعاتی برای ارزیابی شرایط سلامت بوم‌سازگان‌ها در مقیاس حوضه آبخیز انجام شده است. در مطالعه USEPA (۲۰۱۲) ارزیابی سلامت حوضه به

سلامت بوم‌سازگان به عنوان مفهومی است که اغلب برای ارزیابی بوم‌سازگان‌ها استفاده می‌شود (Lu et al., ۲۰۱۵) و آن را می‌توان به عنوان درجه‌ای که یکپارچگی پوشش گیاهی، اقلیم و خاک قادر به حفظ ساختارها و فرآیندهای خودسازماندهی هستند، درک کرد (NRSC، ۱۹۹۴). بنابراین، یک بوم‌سازگان سالم را می‌توان به عنوان تاب-آور در برابر آشفتگی در نظر گرفت. در مقابل، تخریب زمانی اتفاق می‌افتد که حالت‌های مختلف بوم‌سازگان مرتبط با جریان انرژی، چرخه مواد مغذی و رژیم‌های هیدرولوژیکی تحت تأثیر منفی قرار گیرند. به‌ویژه برای

سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ کاهش یافته، سپس از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ افزایش یافته و از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ مجدداً کاهش یافته است. از لحاظ مکانی و زمانی اگرچه این تغییرات در حوضه آبخیز به صورت نوسانی رخ می‌دهد، اما تعداد حوضه‌های آبریز ناسالم در منطقه مورد مطالعه در حال افزایش است. مدیریت جنگل در حال و آینده نیازمند اطلاعاتی در مورد وضعیت جنگل با تمرکز بر سلامت جنگل است. زیرا جنگل‌های سالم می‌توانند عملکرد خود را در مقایسه با جنگل‌های ناسالم به خوبی انجام دهند. حفاظت و پایش جنگل‌ها به ویژه در ایجاد مدیریت یکپارچه حوضه آبخیز از جنبه‌های مدیریت پایدار جنگل اهمیت دارد. با این حال، امروزه حفاظت و پایش جنگل‌ها در ارتباط با سلامت جنگل‌ها هنوز وجود ندارد و تنها به مطالعات در مناطق کوچک محدود است. بنابراین این مطالعه به ارزیابی شرایط سلامت بوم‌سازگان جنگل در سطح حوضه آبخیز در شمال کشور می‌پردازد. در این تحقیق با استفاده از داده سنجش از دور و تهیه شاخص‌های گیاهی به همراه اطلاعات میدانی حاصل از پایش سلامت جنگل در حوضه آبخیز سنرود سیاهکل، به تحلیل این شاخص‌ها و درجه-بندی آنها در سطح سلامت جنگل پرداخته می‌شود. در مدیریت حوضه آبخیز، مطالعه حفاظت و پایش شرایط جنگل، به بررسی گسترده‌ای از تیپ‌های مختلف جنگل نیاز دارد که در داخل یک حوضه آبخیز قرار دارند. بنابراین، در این مطالعه روشی متناسب با شرایط جنگل‌های شمال ایران ارائه می‌شود که در تشخیص سطح سلامت جنگل بر پایه تیپ‌های مختلف آن در یک حوضه ضروری است. این مطالعه برای ارائه دانش مفید در زمینه ایجاد یک استراتژی مدیریت پایدار در جنگل‌های شمال ایران که بر اساس مدیریت آبخیز است، انجام می‌شود.

## ۲- روش انجام تحقیق

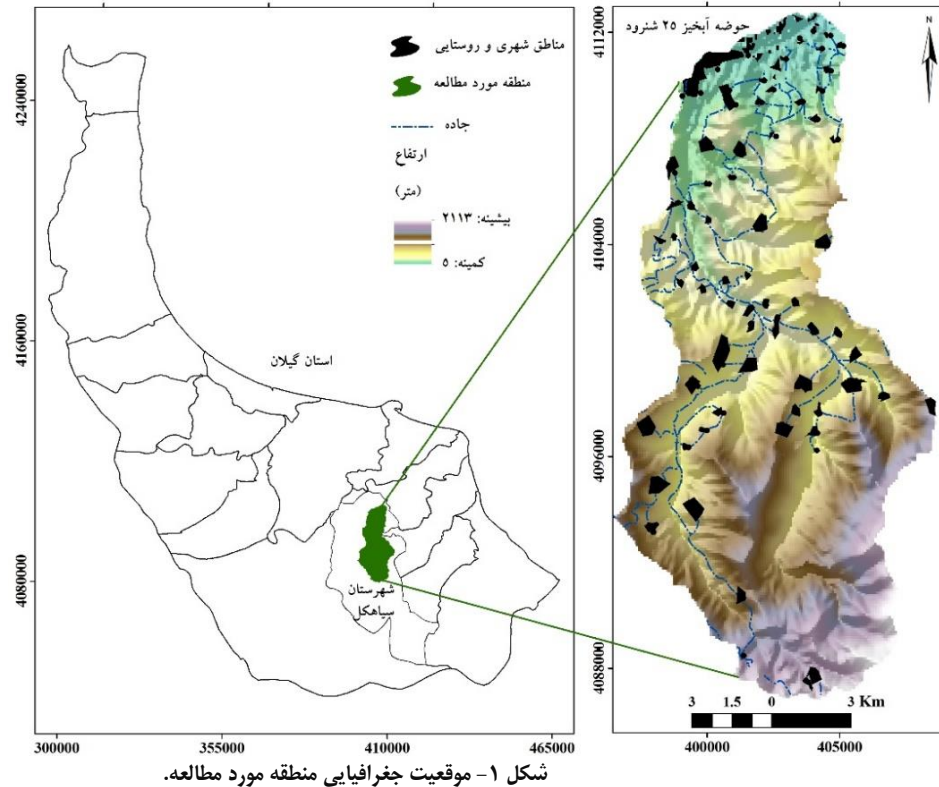
### • محدوده مورد مطالعه

این تحقیق در حوضه آبخیز سنرود سیاهکل واقع در منطقه مرکزی-جنوبی استان گیلان با مساحت کل ۱۹۰ کیلومترمربع انجام شد (شکل ۱). این حوضه در موقعیت جلگه‌ای واقع شده که رودخانه کوچکی به نام شمروود از وسط آن عبور می‌کند و ارتفاع آن از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این منطقه دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است که همچنین تحت تاثیر آب و هوای خنک‌تر قسمت کوهپایه‌ای قرار دارد. میانگین دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی بین ۸۰۰ میلی‌متر (بخش جنوبی) و ۱۲۰۰ میلی‌متر (بخش شمالی) در سال متفاوت است. به دلیل این اقلیم نسبتاً مطلوب، جنگل‌های

روشی یکپارچه شامل مولفه‌های شرایط سیمای سرزمین، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، کیفیت آب، شرایط زیستگاه و شرایط بیولوژیکی آب اعمال شده است. چندین محقق بعدی این رویکرد را با توصیف پارامترهای مورد استفاده در هر یک از این مؤلفه‌ها، به کار برده‌اند (Lee et al., ۲۰۲۱; Rolia et al., ۲۰۲۱). علاوه بر این، محققان دیگر برخی یا حتی یک جزء از شش مؤلفه ذکر شده توسط EPA ایالات متحده را اجرا کردند، از جمله Hoque و همکاران (۲۰۱۲) که فقط مؤلفه هیدرولوژیکی را اعمال کردند، Sadeghi و Hazbavi (۲۰۱۷) که فقط مؤلفه آب و هوا را اعمال کردند، Hazbavi و همکاران (۲۰۱۹) که فقط مؤلفه شرایط سیمای سرزمین را اعمال کردند و Sadeghi و همکاران (۲۰۱۹) که سه مؤلفه شامل آب و هوا، هیدرولوژی و کیفیت آب را اعمال کردند. اگرچه مطالعات زیادی با هدف ارزیابی سلامت حوضه آبخیز در مناطق مختلف ایران انجام شده است که در این زمینه می‌توان به مومنیان و همکاران (۱۳۹۷)، حزباوی و همکاران (۱۴۰۱) و Safaei و همکاران (۲۰۲۲) اشاره کرد. در داخل کشور تاکنون مطالعه‌ای مبنی بر ارزیابی سطوح سلامت تیپ‌های جنگل مختلف در بوم‌سازگان جنگل در سطح حوضه آبخیز انجام نشده است. در خارج از کشور، در بررسی وضعیت سلامت جنگل، در مطالعه Barkey و Nursaputra (۲۰۱۷) شناسایی وضعیت جنگل‌های حوضه آبخیز ماروس با تشخیص سطح سلامت جنگل در تیپ‌های مختلف از طریق تحلیل سلامت جنگل با استفاده از تصویر لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل سلامت جنگل، سطح خوبی از سلامت جنگل (بسیار سالم و سالم) و سلامت جنگل ضعیف (ناسالم و مرده) را به دست آورد. وجود شرایط ناسالم جنگلی در حوضه آبخیز ماروس بر نسبت بهینه مساحت جنگل در تأمین عملکرد آب تأثیرگذار بوده است. بنابراین لازم است اراضی جنگلی از طریق احیای جنگل (بهبود شرایط جنگل) و جنگلکاری (افزایش جنگل) بهینه‌سازی شود. همچنین، Marko و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه خود به ارزیابی سلامت و تغییرات حوضه آبخیز هر ده سال بر اساس درصد پوشش گیاهی به جز زمین‌های کشاورزی در حوضه آبخیزی در جاوه غربی پرداختند. اطلاعات کاربری اراضی از پردازش تصاویر لندست در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ بر اساس سنجش از دور با استفاده از روش طبقه-بندی نظارت شده به دست آمد. سطح سلامت حوضه با محاسبه درصد پوشش گیاهی ۱۷۳ حوضه آبریز تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که مساحت پوشش گیاهی از

تحت برنامه‌های جنگلکاری عمدتاً شامل درختان پهن‌برگ بلوط، افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، ون (*Fraxinus excelsior* L.) و توسکا به‌همراه درختان سوزنی‌برگ زربین (*Cupressus sempervirens* L.)، کاج تدا (*Pinus taeda* L.) و نونل (*Picea abies* L. Karst.) است. علاوه بر این، صنوبرکاری‌ها از گونه سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm.) نیز در بخش شمالی انجام شده است.

طبیعی عمدتاً شامل گونه‌های پهن‌برگ راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، بلوط (*Quercus Castaneifolia* C.A. Mey.)، انجیلی (*Parrotia persica* (DC.) C.A. Mey.)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata* C.A. Mey.) و توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) غالب است. در محدوده‌های با ارتفاع پایین‌تر (حدود ۸۰۰ متر از سطح دریا)، در نتیجه فشار بیشتر عوامل انسانی، این جنگل‌های طبیعی بیشتر دچار دست‌خوردگی و تخریب شده است. این نواحی تخریب‌شده در بخش‌های شمالی حوضه آبخیز

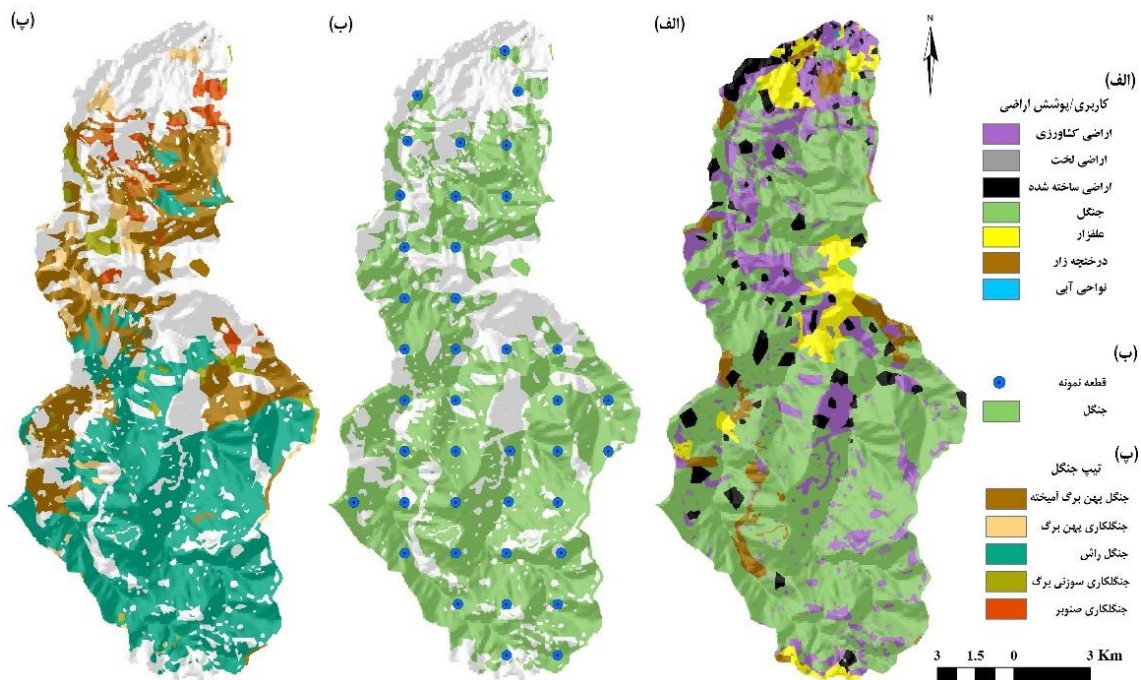


اتمسفری Hypercubes (FLAASH) قرار گرفت. در ادامه محدوده حوضه آبخیز با استفاده از ابزار Area of Interest در ENVI برای پردازش استخراج شد. طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Landsat <sup>۸</sup> OLI با ترکیبی از آنالیز بانندی پوشش گیاهی ۶۵۴ (مادون قرمز موج کوتاه- مادون قرمز نزدیک - قرمز) به منظور کسب اطلاعات در مورد انواع کاربری اراضی به‌ویژه تپ‌های جنگل و پراکندگی مساحت آن در حوضه آبخیز شنرود سیاهکل انجام شد. روش طبقه‌بندی نظارت-شده و الگوریتم حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های کاربری زمین استفاده شد. به‌منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی از تصاویر گوگل‌ارت با انتخاب ۳۰ نمونه تعلیمی استفاده شد که ارزش بالای ضریب کاپا به مقدار ۰/۹۲

#### • روش تحقیق

این تحقیق ترکیبی از روش‌های پیمایش و تحلیل سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای توصیف وضعیت سلامت بوم‌سازگان جنگل در حوضه آبخیز شنرود سیاهکل است. تصویر مورد استفاده در این مطالعه از ماهواره Landsat <sup>۸</sup> مربوط به مهر ماه ۱۴۰۰ به دست آمده از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)، انتخاب شد. در نرم‌افزار ENVI <sup>۵,۶</sup> کالیبراسیون رادیومتری به‌عنوان یک پیش‌پردازش انجام شد و بدین ترتیب اعداد دیجیتال به بازتاب ماهواره‌ای تبدیل شدند. داده از نظر هندسی تصحیح و در زون ۳۹ شمالی مرکاتور عرضی جهانی (UTM) نمایش داده شد. برای تجزیه و تحلیل بیشتر، تصویر تحت تحلیل آنالیز سریع خط دید

بدست آمد. نقشه کاربری اراضی در ۷ طبقه به همراه نقشه تیپ جنگل در ۵ طبقه در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی (الف)، توزیع قطعه‌های نمونه در کاربری جنگل (ب) و تیپ جنگل (ب).

(جدول ۱) که شامل موارد زیر است: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI): یکی از رایج‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که سطح سبزیگی را در پوشش گیاهی، به دلیل جذب نور قرمز و انعکاس نور مادون قرمز توسط گیاهان، اندازه‌گیری می‌کند (Bannari et al., ۱۹۹۵). NDVI یک شاخص پوشش گیاهی جهانی است که تا حدی به دلیل ویژگی‌های «نسبت» آن بیشترین کاربرد را دارد و آن را قادر می‌سازد تا بخش زیادی از نویز ناشی از تغییر زاویه‌های خورشید، توپوگرافی، ابرها یا سایه‌ها و شرایط جوی را حذف کند (Huete and Justice, ۱۹۹۹). با این حال، ساختار حلقه باز (بدون بازخورد) معادله NDVI آن را همچنان مستعد منابع خطا و عدم قطعیت در شرایط جوی متغیر و پس‌زمینه تاج می‌کند (Gao, ۱۹۹۶). مقدار NDVI از -۱ تا +۱ است. مقادیر منفی NDVI مربوط به مناطق دارای سطوح آبی، ابرها و برف است. خاک لخت، سازه‌های انسان‌ساخت و صخره‌ها معمولاً در محدوده  $0/2$  -  $0/1$  قرار می‌گیرند. گیاهان همیشه مقادیر مثبتی بین  $0/2$  -  $1$  خواهند داشت. تاج پوشش گیاهی سالم و متراکم باید بالای  $0/5$  باشد و پوشش گیاهی پراکنده به احتمال زیاد بین  $0/2$  -  $0/5$  خواهد بود (Zaitunah et al., ۲۰۲۱).

#### • محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

بعد از پیش‌پردازش، از تصویر Landsat<sup>۸</sup> برای محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی مطابق جدول ۱ استفاده شد. تمام شاخص‌های پوشش گیاهی با آستانه‌های مختلف برای ایجاد یک رستر نهایی نقشه سلامت جنگل در منطقه مورد مطالعه، جمع می‌شوند. در سنجش از دور، وضعیت سلامت جنگل را می‌توان با استفاده از ویژگی‌های شناخته شده به عنوان شاخص‌های گیاهی که معمولاً از مجموعه داده‌های سنجش از دور محاسبه می‌شود، ارزیابی کرد (Tuominen et al., ۲۰۰۹). ویژگی بازتاب پوشش گیاهی مولفه‌ای است که برای تولید این شاخص‌ها استفاده می‌شود. شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شده برای برجسته کردن یک ویژگی یا ویژگی خاص پوشش گیاهی استفاده می‌شود. در این مطالعه، از شاخص‌های سبزیگی (غلظت کلروفیل) پوشش گیاهی برای ارزیابی وضعیت سلامت جنگل استفاده شد که به دلیل توانایی آنها در کمی‌سازی جنبه‌های مختلف مانند غلظت کلروفیل، سطح تاج و ساختار تاج است که در بیشتر مواقع می‌تواند سطح سلامت جنگل را نشان دهد (Tuominen et al., ۲۰۰۹). با توجه به مرور منابع، شش شاخص رایج سبزیگی پوشش گیاهی به طور گسترده در تهیه نقشه یا پایش سلامت جنگل استفاده شده است

گیاهی کم دارد. تفاوت بین SAVI و NDVI بسته به پوشش گیاهی از ۰/۴ تا ۰/۲ متغیر است. NDVI با وجود پوشش گیاهی، نوع خاک، رطوبت خاک و نوع پوشش گیاهی همیشه مقادیر بالاتری نسبت به SAVI نشان می‌دهد (Huete, ۱۹۸۸). شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI): NDWI مشابه NDVI اما برای آب است. NDWI بالاتر نشان دهنده آب و NDWI پایین‌تر نشان دهنده ویژگی‌های غیرآبی است. NDWI برای پایش تغییرات مربوط به محتوای آب در نواحی آبی استفاده می‌شود. از آنجایی که نواحی آبی به شدت نور را در طیف الکترومغناطیسی مرئی نسبت به مادون قرمز جذب می‌کنند، NDWI از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک برای برجسته کردن نواحی آبی استفاده می‌کند. مقدار آن از ۱- تا ۱+ است. مقادیر نواحی آبی بزرگتر از ۰/۵ است. پوشش گیاهی مقادیر بسیار کمتری دارد، که باعث می‌شود پوشش گیاهی را از نواحی آبی راحت‌تر تشخیص دهیم. اراضی ساخته شده دارای مقادیر مثبت بین ۰/۲- تا ۰+ هستند. این شاخص به اراضی ساخته شده حساس است و می‌تواند منجر به برآورد بیش از حد نواحی آبی شود (Acharya et al., ۲۰۱۹). شاخص بازتاب آنتوسیانین ۱ (ARI): ARI یک اندازه‌گیری بازتاب است که به آنتوسیانین در شاخ و برگ گیاه حساس است. آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های رایج در گیاهان عالی هستند که باعث رنگ قرمز، آبی و بنفش آنها می‌شود. آنها اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فیزیولوژیکی گیاهان ارائه می‌دهند، زیرا به عنوان شاخص‌هایی برای انواع مختلف تنش‌های گیاهی در نظر گرفته می‌شوند. بیشترین بازتاب آنتوسیانین در حدود ۵۵۰ نانومتر است. با این حال، همان طول موج توسط کلروفیل نیز منعکس می‌شود. برای جداسازی آنتوسیانین‌ها، باند طیفی ۷۰۰ نانومتری که فقط کلروفیل و نه آنتوسیانین‌ها را منعکس می‌کند، کم می‌شود. افزایش ARI نشان دهنده تغییرات در شاخ و برگ از طریق رشد جدید یا مرگ است. مقادیر این شاخص از ۰ تا بیش از ۰/۲ متغیر است. محدوده رایج برای پوشش گیاهی سبز بین ۰/۰۱ تا ۰/۱ است (Gitelson et al., ۲۰۰۱). شاخص بازتاب کاروتنوئید ۱ (CRI): CRI نیز یک اندازه‌گیری بازتاب است که به رنگدانه‌های کاروتنوئیدی در شاخ و برگ گیاهان حساس است. تخمین مقدار کاروتنوئید برگ از بازتاب بسیار دشوارتر از تخمین کلروفیل است، زیرا همپوشانی بین پیک‌های جذب کلروفیل و کاروتنوئید وجود دارد و به دلیل غلظت بالاتر کلروفیل نسبت به کاروتنوئید در بیشتر برگ‌ها. در ۵۱۰ نانومتر، بازتاب متقابل کاروتنوئید حداکثر است، اما

شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته (EVI): برای غلبه بر محدودیت‌های NDVI، شاخص EVI بر اساس یک رویکرد مبتنی بر بازخورد توسعه یافت که هم تنظیمات پس‌زمینه و هم مفاهیم مقاومت جوی را در NDVI ترکیب می‌کند (Liu and Huete, ۱۹۹۵). بنابراین EVI یک NDVI اصلاح شده با حساسیت بهبود یافته به مناطق با زیست‌توده بالا و قابلیت پایش پوشش گیاهی بهبود یافته از طریق جداسازی سیگنال پس‌زمینه تاج و کاهش تأثیرات جوی در نظر گرفته شده است. به لطف عملکرد بهبود یافته آن نسبت به NDVI، EVI به عنوان دومین شاخص پوشش گیاهی جهانی برای پایش فعالیت فتوسنتزی پوشش گیاهی زمینی پذیرفته شده است (Huete and Justice, ۱۹۹۹). اگرچه EVI آثار نامطلوب عوامل محیطی مانند شرایط جوی و پس‌زمینه خاک را کاهش می‌دهد، اما اثر توپوگرافی را در نظر نمی‌گیرد، که به عنوان تغییر در تابش که با تغییر جهت از سطح افقی به سطح شیبدار همراه است، در پاسخ به تغییر در منبع نور و موقعیت سنجنده، تعریف می‌شود (Holben and Justice, ۱۹۸۱). برخلاف NDVI، EVI شامل یک عبارت ثابت، ضریب تعدیل خاک L، در مخرج خود است که یک عبارت بدون فرمت نسبت باندی را شامل شود. بنابراین، اثر توپوگرافی بر روی EVI را نمی‌توان به سادگی مانند NDVI نادیده گرفت. محدوده مقادیر EVI نیز از ۱- تا ۱+ است، مقادیر منفی منابع آب را نشان می‌دهد، مقادیر مثبت نشان دهنده خاک لخت و مناطق ساخته شده است. مقدار بیش از ۰/۲ به عنوان پوشش گیاهی در نظر گرفته می‌شود، مقادیر بالاتر (۰/۸- تا ۰/۲+) نشان دهنده پوشش گیاهی سالم با محتوای کلروفیل بالا است (Chen et al., ۲۰۰۶).

شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI): SAVI برای از بین بردن اثر خاک در مشاهده پوشش گیاهی برای مناطقی که پوشش رویشی ضعیف و سطح خاک در معرض دید است، استفاده می‌شود. فرمول SAVI همچنین حاوی پارامتر L است که مقدار آن بسته به میزان پوشش رویشی سبز متفاوت است. به طور کلی در مناطقی که پوشش گیاهی سبز وجود ندارد L برابر ۱، در مناطق با پوشش رویشی سبز متوسط L برابر ۰/۵ و در مناطق با پوشش گیاهی بسیار بالا L برابر صفر می‌باشد که معادل روش NDVI است. محدوده مقادیر SAVI از ۱- تا ۱+ است، با مقادیر کم مربوط به پوشش گیاهی سبز کم است (Candiago et al., ۲۰۱۵). SAVI در مقایسه با NDVI تأثیر کمی بر نویز خاک دارد، در حالی که NDVI تأثیر بسیار بالایی بر نویز خاک در مناطقی با درصد پوشش

است. مقادیر این شاخص از ۰ تا بیش از ۱۵ متغیر است. محدوده رایج برای پوشش گیاهی سبز بین مقادیر ۱ تا ۱۲ است (Gitelson et al., ۲۰۰۲).

این مقدار نیز تحت تأثیر کلروفیل است. برای حذف اثر کلروفیل، بازتاب متقابل در ۵۵۰ نانومتر استفاده می‌شود که بیشتر تحت تأثیر کلروفیل به تنهایی است. مقادیر بالاتر به معنای غلظت کاروتنوئید بیشتر نسبت به کلروفیل

جدول ۱- شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده برای ارزیابی سلامت جنگل در منطقه مورد مطالعه.

مرجع	معادله	شاخص گیاهی
Frampton, Dash, Watmough & Milton (۲۰۱۳)	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)
Huete et al. (۲۰۰۲)	$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)}$	شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI)
Bannari et al. (۱۹۹۵)	$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \times (1 + L)$ L=۰.۵	شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI)
Gao, ۱۹۹۶	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$	شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)
Gitelson et al. (۲۰۰۱)	$ARI1 = \frac{(1)}{(GREEN)} - \frac{(1)}{(NIR)}$	شاخص بازتاب آنتوسیانین (ARI) ۱
Gitelson et al. (۲۰۰۲)	$CRI1 = \frac{(1)}{(BLUE)} - \frac{(1)}{(GREEN)}$	شاخص بازتاب کاروتنوئید (CRI) ۱

از نتایج تجزیه و تحلیل می‌توان سطح سلامت تیپ‌های جنگل را تشخیص داد که با سطح شاخص ۱ تا ۵ نشان داده می‌شود که این سطوح در طبقات مختلف سلامت جنگل شامل (۱) بسیار خوب (بسیار سالم)؛ (۲) خوب (سالم)؛ (۳) متوسط (تحت استرس)؛ (۴) ضعیف (ناسالم)؛ (۵) بسیار ضعیف (مرده) مشخص می‌شود. بررسی میدانی برای پیوند دادن طبقات ارائه شده توسط ابزار سلامت جنگل با شرایط واقعی که آنها نشان می‌دهند ضروری است. لازم به ذکر است که اثر شاخص‌های پوشش گیاهی جداگانه بر شاخص نهایی سلامت جنگل محاسبه شده با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه در محیط SPSS تعیین شد.

• استخراج شاخص سلامت جنگل

شش شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده با یکدیگر ترکیب و برای ورودی شاخص سلامت جنگل (FHI) در نرم‌افزار ENVI طبقه‌بندی شدند. در این طبقه‌بندی برای هر شاخص ده کلاس تعریف شد و سپس در محاسبه شاخص FHI با ترکیب هر دو کلاس نزدیک، به ۵ کلاس کاهش یافت. شاخص FHI (معادله ۷) در جعبه ابزار سلامت جنگل ENVI موجود است که سلامت جنگل را بر اساس شاخص‌های طیفی (عامل) با استفاده از امتیاز عامل و تجزیه و تحلیل وزن عامل درجه‌بندی می‌کند (Gupta and Pandey, ۲۰۲۱).

$$FHI = \int_{FHI} (NDVI, EVI, SAVI, NDWI, ARI1, CRI1) \quad \text{معادله ۷}$$

نمونه مربعی شکل با ابعاد ۳۰ متر در ۳۰ متر پیاده شد. فعالیت‌های مشاهداتی با استفاده از راهنمای روش پایش سلامت جنگل (FHM)، سرویس جنگل ایالات متحده (USDA Forest Service, ۲۰۲۰) انجام شد (جدول ۲). در این روش با استفاده از پارامترهای اطلاعاتی مورد نیاز برای شناسایی عوامل اکولوژیکی که بر سطح سلامت درختان جنگلی تأثیر می‌گذارند مانند میزان خسارت درخت، شرایط تاج و کیفیت رویشگاه، فعالیت‌های مشاهداتی

• جمع‌آوری داده میدانی

برای اعتبارسنجی داده‌های تشخیص سطح سلامت جنگل در تیپ‌های مختلف حوضه آبخیز مورد مطالعه بر اساس داده‌های سنسور از دور، نیاز به بررسی میدانی و ارزیابی سطح سلامت آن جنگل است. داده‌های پیمایش میدانی از منطقه مورد مطالعه در شهریور و مهر ماه ۱۴۰۰ به دست آمد. روش نمونه‌برداری طبقه‌بندی شده قبل از پیمایش میدانی در محیط GIS به کار گرفته شد. بر این اساس ۴۰ قطعه-

## ۳- نتایج

## • شاخص‌های پوشش گیاهی

در این مطالعه سلامت جنگل در حوضه آبخیز شنرود از نتایج تجزیه و تحلیل شاخص‌های پوشش گیاهی به دست آمد که یک اندازه‌گیری نوری از سطح سبزی‌نگی طیفی است که توسط حسگر سنجنش از دور در تصویر ماهواره‌ای Landsat ۸ گرفته شده است. شش شاخص پوشش گیاهی استخراج شده برای جنگل‌ها در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده است. هر شاخص دارای ویژگی‌های متفاوتی در تفسیر سطح زمین است که می‌توان آن را از مقدار آستانه‌ای که هر شاخص در پوشش گیاهی ارائه می‌کند، مشاهده کرد. به عنوان مثال، شاخص‌های NDVI (۰/۹۱ - ۰/۵۷) و EVI (۰/۹۹ - ۰/۱۶) فاصله آستانه نسبتاً یکسانی دارند و شاخص‌های دیگر مانند شاخص SAVI. با این حال، شاخص‌های دیگر (به عنوان مثال، NDWI، ARI و CRI) تفاوت‌های فاصله قابل توجهی دارند. این موضوع مزیت شاخص طیفی پس از تفسیر طول موج مشخصه یک شیء در سطح زمین است که توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای منعکس و دریافت می‌شود (Li et al., ۲۰۲۲). بر اساس نتایج، ۹۵ درصد از جنگل‌ها در منطقه مورد مطالعه، شاخص NDVI بیش از ۰/۵ را نشان دادند که نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم است. همچنین، پوشش گیاهی سالم با محتوای کلروفیل بالا در ۹۱ درصد از منطقه مورد مطالعه با شاخص EVI بین ۰/۸-۰/۲ نشان داده شد.

انجام می‌شود. علائم درختان متأثر از بیماری‌ها، حشرات و آلودگی هوا که در مطالعات میدانی مشاهده شد، در جدول ۱ ارائه شده است. محاسبه سلامت جنگل با استفاده از معادله ۸ انجام شد. منطقه با خسارت کمتر از ۱۰ درصد به عنوان جنگل بسیار سالم، خسارت جنگل بین ۱۰ تا ۲۵ درصد به عنوان جنگل سالم طبقه‌بندی شد. خسارت ۲۵ تا ۵۰ درصد به عنوان جنگل با سلامت متوسط، ۵۰ تا ۷۵ درصد به عنوان سلامت ضعیف جنگل و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد خسارت به عنوان سلامت بسیار ضعیف جنگل طبقه‌بندی شد.

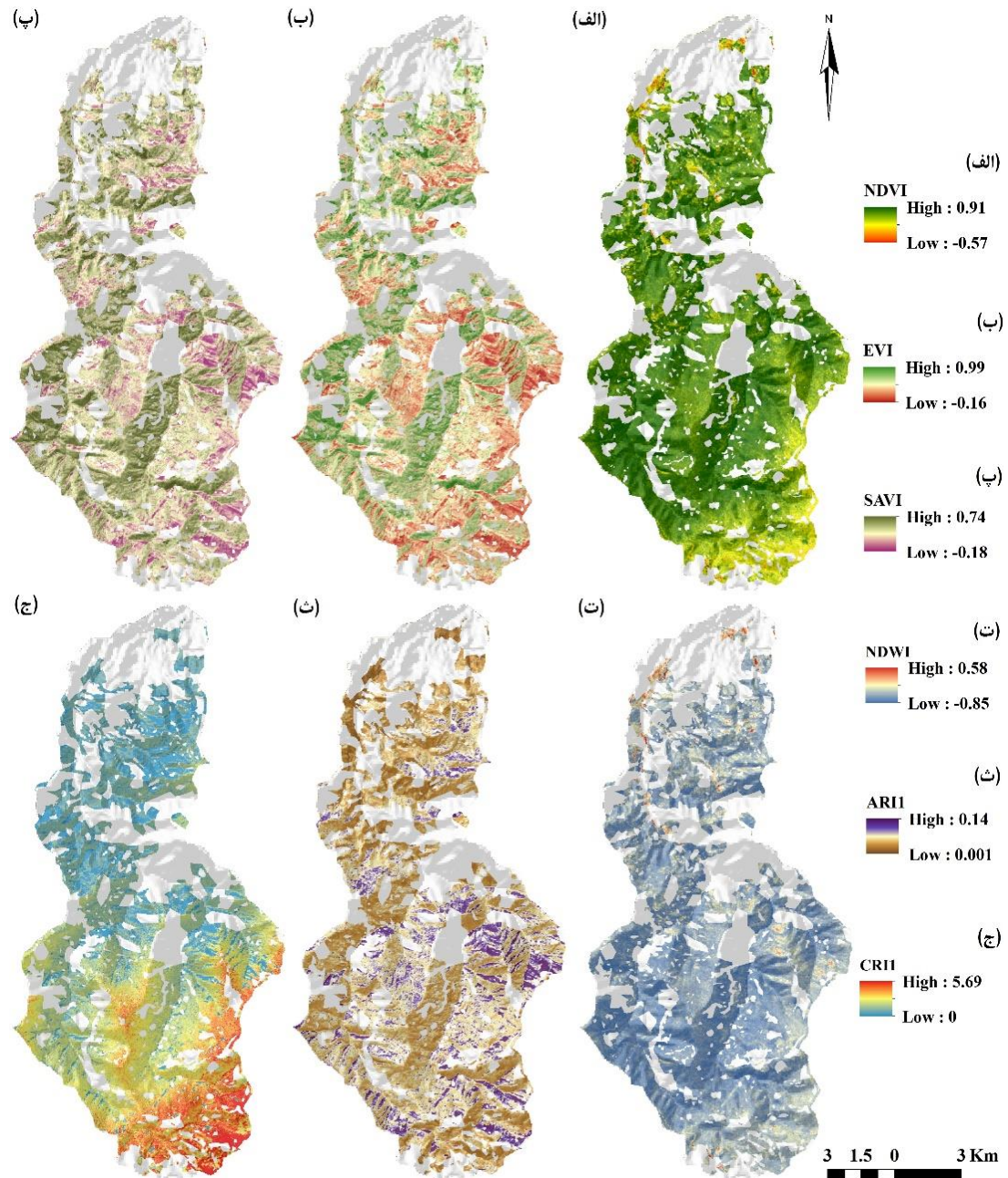
$$\text{معادله ۸} \quad (\%) = \frac{A}{B} \times 100 \quad \text{درختان آسیب دیده}$$

که در آن A برابر با تعداد کل درختان با علائم بیماری یا آسیب در بخش‌ها و B برابر با تعداد درختان است.

در نهایت، به منظور ارزیابی صحت محاسبه FHI از پیمایش میدانی و از طریق سنجنش از دور با استفاده از آماره‌های صحت کلی و کاپا انجام شد.

جدول ۲- راهنمای شرایط سلامت جنگل مورد استفاده در پیمایش میدانی در منطقه مورد مطالعه ( USDA Forest Service, ۲۰۲۰)

علامت	نشانه
درخت دارای برگ‌های پاره با سوراخ است	حشراتی که از برگ‌ها تغذیه می‌کنند
برگ‌های سیاه یا قهوه‌ای	بیماری ساقه یا برگ
لکه یا برجستگی روی برگ‌ها	حشرات و کنه‌ها
برگ‌های پیچ خورده یا بدفرم	حشرات و بیماری‌ها، علف‌کش‌ها
رنگ برگ‌ها قبل از پاییز تغییر می‌کند	افتادن تنه یا آسیب ریشه، خشکی، آلودگی
پوسیدگی شاخه	زخم‌های التیام نیافته
شاخه‌های در حال مرگ در یک طرف تاج	پوسیدگی ریشه، آسیب ریشه یا بیماری داخل تنه، حمله حشرات
لکه‌های سبز یا قهوه‌ای روی سوزن‌ها	آلودگی هوا



شکل ۳- شاخص‌های پوشش گیاهی استخراج شده برای جنگل‌ها در منطقه مورد مطالعه.

که سطح سبزیگی و نیز سطح تراکم توده‌های جنگلی را نشان می‌دهد. نتایج قابل مقایسه اثرگذاری شاخص‌های پوشش گیاهی توسط Tuominen و همکاران (۲۰۰۹) ارائه شده است. آنها به دنبال تفکیک شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شده از طریق داده سنجنش از دوری بین درختان سالم و برگ‌ریزی شده بودند. نتایج آنها نشان داد که NDVI بالاترین ارزش تفکیک‌پذیری را در بین ۱۶ شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده دارد. همچنین اثرگذاری بالاتر NDVI در این مطالعه مشابه با یافته‌های Barkey و Nursaputra (۲۰۱۷) و Oliech (۲۰۱۹) در

ضریب تعیین ( $R^2$ ) معمولاً برای ارزیابی کارایی مدل‌سازی استفاده می‌شود (Burkhardt and Tomé, ۲۰۱۲). Ozdemir و Karnieli (۲۰۱۱) بیان کردند که ۰/۵ آستانه انتخاب یک مدل پیش‌بینی قابل اعتماد است و استدلال کردند که مدل‌هایی با مقادیر  $R^2$  کمتر از آن قادر به ارائه پیش‌بینی‌های قابل اعتماد نیستند. در این تحقیق، با توجه به تحلیل رگرسیون خطی چندگانه از اثر شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در محاسبه سلامت جنگل، شاخص NDVI با مقدار  $R^2$  برابر با ۰/۷۷ بیشترین تأثیر را بر سطح سلامت جنگل در حوضه آبخیز مورد مطالعه دارد

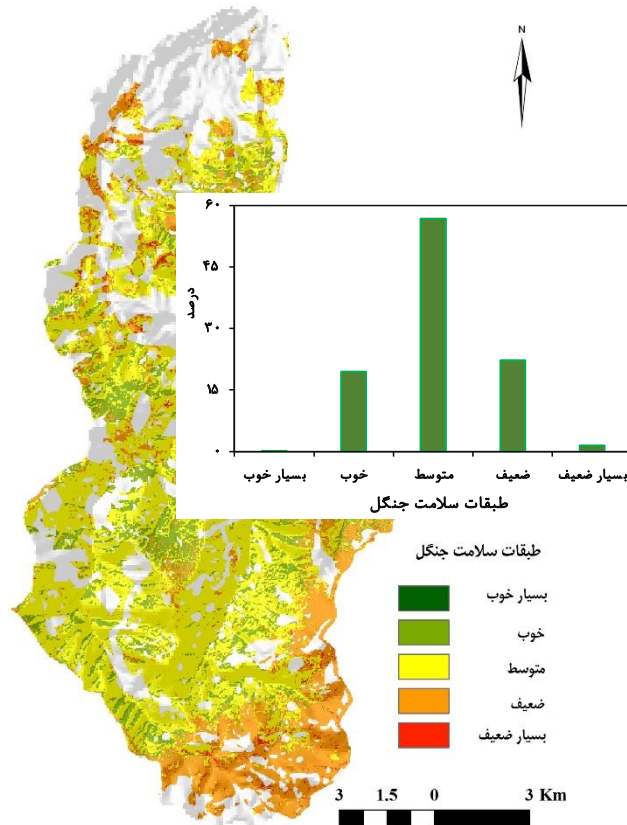


به دست آمده از پیمایش میدانی) و دقت کاربر (سطح اطمینان به دست آمده از تجزیه و تحلیل تصویر Landsat ۸)، صحت کلی مقدار نتایج آزمون ۸۶٪ به دست آمد که در رده دقت بسیار بالا قرار می‌گیرد. همچنین مقدار کاپای برابر با ۰/۸۱ بدست آمد. به طوری که نتایج تجزیه و تحلیل سطح سلامت جنگل در حوضه آبخیز مورد مطالعه با استفاده از تحلیل سلامت جنگل می‌تواند برای مطالعه بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. از نتایج این تجزیه و تحلیل می‌توان برای توصیف وضعیت جنگل در یک حوضه آبخیز هم از نظر کمیت جنگل و هم از نظر کیفیت جنگل استفاده کرد. شکل ۴ یک نمای کلی از وضعیت سلامت توده‌های تشکیل‌دهنده جنگل‌ها در حوضه آبخیز شنرود ارائه می‌دهد.

ارزیابی سلامت جنگل است. بعد از NDVI، مقادیر  $R^2$  برای شاخص‌های SAVI، EVI و  $AR^1$  به ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۷۳ و ۰/۷۲ و برای شاخص‌های NDWI و  $CRI^1$  برابر با ۰/۶۳ بدست آمد.

#### • شاخص سلامت جنگل

رابطه شش شاخص پوشش گیاهی محاسبه شده از تصویر Landsat ۸ برای تعیین سطح سلامت جنگل در حوضه آبخیز شنرود استفاده شد. سلامت جنگل به پنج طبقه تقسیم شد: ۱) بسیار خوب (بسیار سالم)؛ ۲) خوب (سالم)؛ ۳) متوسط (تحت استرس)؛ ۴) ضعیف (ناسالم)؛ ۵) بسیار ضعیف (مرده). بر اساس نتایج آزمون صحت کلی، صحت مشاهدات سطح سلامت جنگل در حوضه آبخیز شنرود بر اساس دقت تولیدکننده (سطح اطمینان داده‌های



شکل ۴- نقشه طبقات سلامت جنگل در منطقه مورد مطالعه.

جنگلداری پیاده شده در مناطق جنوبی حوضه در طی دو دهه گذشته باشد. آتش‌سوزی‌ها در این منطقه نیز بر ساختار و ترکیب پوشش گیاهی اثر گذاشته و تهدید بزرگی برای بهره‌وری بلندمدت و سلامت کلی جنگل است. به طور کلی ۵۶/۸ درصد از منطقه جنگلی در طبقه سلامت متوسط قرار دارد. جنگل‌های سالم (وضعیت خوب) و ناسالم (وضعیت ضعیف) با سطوح تقریباً نزدیک به هم، در مجموع

بر اساس شکل ۴، توزیع طبقات سلامت جنگل در منطقه مورد مطالعه یکنواخت نیست. مناطق مرکزی حوضه آبخیز از سطوح بالاتر سلامت جنگل برخوردار است، در مقابل مناطق جنوبی حوضه دارای سطوح پایین‌تر سلامت جنگل است. این مسئله می‌تواند به دلیل سابقه برداشت‌های چوب شدید، قطع‌گزینی و در نتیجه بازشدن گسترده توده‌های جنگل (جهدی و عربی، ۱۴۰۲)، در قالب طرح‌های

داشت. گروه‌های سنی با نگاهی بر استفاده‌ها از جنگل و گونه‌های غالب تعیین شد. جنگل‌هایی که برای تولید الوار استفاده می‌شوند، زمانی بالغ محسوب می‌شوند که گونه‌های غالب بیشترین مقدار چوب را تولید کنند یا دارای حداکثر ارزش اقتصادی باشند. جنگل‌هایی که برای تولید خدمات بوم‌سازگانی استفاده می‌شوند، زمانی بالغ در نظر گرفته می‌شوند که گونه‌های غالب به سن طبیعی بلوغ خود برسند. بر این اساس درصد بالایی از جنگل‌های طبیعی زمانی که به مرحله رشد بیش از حد رسیده‌اند، هنوز سالم هستند، در حالی که جنگلکاری‌ها در مراحل بلوغ و رشد بیش از حد، درصد نسبتاً پایینی از جنگل‌های طبقه «سالم» دارند. به‌طور کلی، عوامل زیادی بر میزان سلامت تپ‌های جنگل در حوضه آبخیز مورد مطالعه تأثیر می‌گذارد، بنابراین لازم است با فعالیت‌های مشاهداتی بیشتر، مواردی را که باعث سطح سلامت جنگل در پیمایش شده‌اند، شناسایی شود.

۱/۷ درصد از کل منطقه جنگلی را تشکیل می‌دهند. ۱/۵ درصد از منطقه جنگلی نیز در طبقه بسیار ضعیف سلامت قرار دارد (شکل ۴). اطلاعات سطوح سلامت جنگل در تپ‌های جنگلی حوضه آبخیز مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. جنگلکاری‌ها به‌ویژه جنگلکاری پهن‌برگ دارای بیشترین مساحت جنگلی در شرایط ناسالم (ضعیف و بسیار ضعیف) است (تقریباً ۳۳ درصد). در مقابل جنگل‌های طبیعی شامل جنگل پهن‌برگ آمیخته و جنگل راش دارای بیشترین مساحت جنگلی در شرایط سالم (بسیار خوب و خوب) است (تقریباً ۲۱ درصد). به‌صورت میانگین، تقریباً ۶۰ درصد همه تپ‌های جنگلی موجود از جنگل‌های طبیعی گرفته تا جنگلکاری‌ها در منطقه مورد مطالعه، در طبقه سلامت متوسط قرار دارند. در مطالعه Yang و همکاران (۲۰۱۵) نیز جنگل‌های با منشأ طبیعی دارای توزیع مشابهی از جنگل‌ها در شرایط مختلف سلامت با جنگلکاری‌ها بودند. با این حال، زمانی که گروه‌های سنی جنگل‌ها در نظر گرفته شد، بین جنگل‌های طبیعی و جنگلکاری‌ها تفاوت‌هایی وجود

جدول ۳- نسبت طبقات سلامت جنگل در تپ‌های مختلف جنگل در منطقه مورد مطالعه.

طبقات سلامت جنگل										
بسیار ضعیف		ضعیف		متوسط		خوب		بسیار خوب		تپ جنگل
درصد	km <sup>۲</sup>	درصد	km <sup>۲</sup>	درصد	km <sup>۲</sup>	درصد	km <sup>۲</sup>	درصد	km <sup>۲</sup>	
۱.۱۷	۰.۴۰	۱۴.۷۰	۵.۰۱	۶۲.۲۱	۲۱.۲۱	۲۱.۸۶	۷.۴۶	-	-	جنگل پهن‌برگ آمیخته
۳.۷۰	۰.۹۵	۲۹.۰۰	۱۸.۲۰	۵۳.۳۴	۳۸.۶۷	۱۳.۹۳	۱۴.۳۸	۰.۰۱۳	۰.۰۰۱	جنگل راش
۱.۳۲	۰.۳۶	۲۵.۲۲	۲.۰۷	۵۳.۵۹	۳.۸۰	۱۹.۹۳	۰.۹۹	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	جنگلکاری پهن‌برگ
۱.۹۸	۰.۰۷	۲۱.۷۸	۰.۸۲	۶۲.۴۶	۲.۳۶	۱۳.۴۵	۰.۵۱	-	-	جنگلکاری سوزنی‌برگ
۳.۳۱	۰.۱۷	۲۱.۵۱	۱.۰۹	۶۶.۰۳	۳.۳۳	۸.۹۲	۰.۴۵	-	-	جنگلکاری صنوبر

توان تغییر در سلامت جنگل را شناسایی کرد و استراتژی‌ها و سیاست‌های مدیریت جنگل مربوطه را تدوین کرد.

طبقات سلامت جنگل مشخص شده در این مطالعه به عوامل اقلیمی، آب و هوایی، زیستی و انسانی بستگی دارد. برگ‌ریزی تاج و خشکیدگی، مرگ و میر درختان و آسیب‌های بیماری‌زا جنبه‌های اصلی در ارزیابی سلامت جنگل‌ها هستند (Bussotti et al., ۲۰۱۸). بدتر شدن شرایط محیطی (به عنوان مثال، افزایش دما و رویدادهای خشکسالی) ممکن است باعث مرگ و میر درختان در مقیاس مکانی بزرگ و کاهش جنگل شود. همچنین تغییرات اقلیمی مداوم منجر به افزایش حشرات و بیماری‌ها می‌شود (Sáenz-Romero et al., ۲۰۲۰). همانطور که درختان از نظر فیزیولوژیکی با محیط خود سازگار نمی‌شوند، سلامت جنگل بدتر می‌شود و مرگ و میر رخ می‌دهد (Rehfeldt et al., ۲۰۲۰). بنابراین، مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر روی

در این مطالعه توسعه ابزار کمی یعنی مدل پیش‌بینی و نقشه سلامت جنگل برای مدیریت سلامت جنگل انجام شد. این ابزارها تصویری با جزئیات و کمی از توزیع وضعیت سلامت جنگل به مدیران جنگل ارائه می‌دهند و بنابراین، بینش قابل توجهی را در تدوین استراتژی‌های مدیریت جنگل ارائه می‌دهند. به‌طور مشابه، Haywood و Stone (۲۰۱۱) قبلاً بیان کرده‌اند که شناسایی وضعیت سلامت جنگل می‌تواند به مدیران جنگل در اولویت‌بندی و تدوین استراتژی‌های مدیریت جنگل کمک کند. به عنوان مثال، پایش آتش‌سوزی جنگل‌ها باید در مناطق با سلامت ضعیف تشدید شود، زیرا این جنگل‌ها بیشتر در معرض آتش‌سوزی جنگل هستند (Meng et al., ۲۰۱۶). همچنین نقشه سلامت جنگل می‌تواند برای تعیین منطقه با اولویت در هنگام انجام فعالیت‌های بازسازی جنگل استفاده شود. علاوه بر این، با نقشه‌های سلامت جنگل چندزمانی، می-

دارد. بیشینه مساحت حوضه یعنی ۶۹/۴ کیلومتر مربع نیز در شرایط سلامت متوسط قرار دارد. وضعیت سلامت بوم-سازگان جنگل عمدتاً سلامت متوسط است که نتیجه تخریب جنگل، فرسایش خاک و بهره‌برداری بیش از حد انسان است. برنامه‌های حفاظت از جنگل می‌تواند به طور موثری زوال جنگل را کنترل کرده و سلامت بوم‌سازگان محلی را بهبود بخشد. تشخیص سلامت جنگل مبتنی بر سنجش از دور در منطقه مورد مطالعه با نتایج بررسی میدانی سازگار بود. مدل مورد استفاده امکان اندازه‌گیری سریع، ارزیابی کمی و مقرون به صرفه اقتصادی وضعیت سلامت جنگل را فراهم می‌کند. همچنین این مطالعه رویکرد سیستماتیک را هدایت کرده و تکنیک‌های سنجش از دور را برای برنامه‌های سلامت جنگل و مدیریت پایدار جنگل ارائه کرد. این تحقیق به ایجاد برنامه‌های سلامت جنگل در سطح حوضه آبخیز از طریق تجزیه و تحلیل کلان داده کمک می‌کند. این کار به ذینفعان، برنامه‌ریزان و متخصصان منابع طبیعی و محیط‌زیست برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری با شناسایی مناطق حساس اکولوژیکی برای توسعه بهترین روش برای مدیریت جنگل، کمک می‌کند.

جنگل‌ها با تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی در آینده پیشنهاد می‌شود. روش اتخاذ شده در این مطالعه می‌تواند بر پیامدهای تغییر اقلیم برای ارزیابی سلامت گونه‌های درختان جنگلی متمرکز شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه پیشنهاد یک روش جامع و قابل تکرار برای تشخیص و پایش سلامت بوم‌سازگان جنگل است. پایش دقیق و مکرر شرایط سلامت جنگل با فناوری سنجش از دور امکان‌پذیر است. در این مطالعه، شاخص کمی سلامت جنگل با استفاده از شاخص‌های طیفی باند پهن و رنگدانه‌های مرتبط با استرس در قبل از خزان درختان با استفاده از داده سنجش از دور در اندازه تفکیک ۳۰ متر ارزیابی شد. این روش در جایی که داده‌های فراطیفی در دسترس نیست، بسیار سودمند است. با استفاده از تجزیه و تحلیل سلامت جنگل، شرایط کمی سلامت جنگل حوضه آبخیز شنود در سال ۱۴۰۰ با مساحت جنگل ۱۲۲/۲ کیلومتر مربع توصیف شد. از این مقدار، جنگل‌های سالم به وسعت ۲۳/۸ کیلومتر مربع و شرایط جنگلی ناسالم به وسعت ۲۹ کیلومتر مربع وجود

منابع

- Acharya TD, Subedi A, Huang H, Lee DH. ۲۰۱۹. Application of Water Indices in Surface Water Change Detection Using Landsat Imagery in Nepal. *Sensors and Materials*, ۳۱ (۵): ۱۴۲۹-۱۴۴۷.
- Bannari A, Morin D, Bonn F, Huete AR. ۱۹۹۵. 'A review of vegetation indices', *Remote Sensing Reviews*, ۱۳/۱-۲: ۹۵-۱۲۰. Taylor & Francis. DOI: ۱۰,۱۰۸۰/۰۲۷۵۷۲۵۹۵۰۹۵۳۲۲۹۸
- Barkey RA, Nursaputra M. ۲۰۱۷. The Detection of Forest Health Level as an Effort to Protecting Main Ecosystem in the term of Watershed Management in Maros Watershed, South Sulawesi. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* ۲۷۰, ۰۱۲۰۰۶.
- Burkhart HE, Tomé M. ۲۰۱۲. *Modeling Forest Trees and Stands*; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany, ۲۰۱۲.
- Bussotti F, Feducci M, Iacopetti G, Maggino F, Pollastrini M, Selvi F. ۲۰۱۸. Linking forest diversity and tree health: preliminary insights from a large-scale survey in Italy. *Forest Ecosystems*, ۵: ۱-۱۱.
- Candiago S, Remondino F, De Giglio M, Dubbini M, Gattelli M. ۲۰۱۵. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing*, ۷(۴): ۴۰۲۶-۴۰۴۷. [https://doi.org/10,3390/rs70404026](https://doi.org/10.3390/rs70404026)
- Chen XL, Zhao HM, Li PX, Yin ZY. ۲۰۰۶. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, ۱۰۴ (۲): ۱۳۳-۱۴۶.
- Chen S, Zhou Z, Yan L, Li B. ۲۰۱۶. Quantitative Evaluation of Ecosystem Health in a Karst Area of South China. *Sustainability*, ۸: ۹۷۵. [https://doi.org/10,3390/su8100975](https://doi.org/10.3390/su8100975)
- Fei Y, Xingyao Z, Liang J. ۲۰۱۳. Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry. *Acta Ecologica Sinica*, ۳۳(۱۲):۳۷۲۲-۳۷۳۳.
- Gao BC. ۱۹۹۶. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, ۵۸: ۲۵۷-۲۶۶.
- Gupta SK, Pandey AC. ۲۰۲۱. Spectral aspects for monitoring forest health in extreme season using multispectral imagery. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, ۲۴: ۵۷۹-۵۸۶.
- Hazbavi Z, Ghabelnezam E, Azizi E, Sharifi Z, Fatholouloumi S, Nikoo MR. ۲۰۲۲. Assessment of ecological quality in the Nir Watershed, Ardabil Province. *Watershed Management Research*. Article in Press, Available Online from ۲۱ December ۲۰۲۲.
- Hazbavi Z, Sadeghi SH, Gholamalifard M. ۲۰۱۹. Dynamic analysis of soil erosion-based watershed health *Geography, Environment, Sustainability*, ۱۲: ۴۳-۵۹.
- Holben BN, Justice CO. ۱۹۸۱. An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, ۲: ۱۱۵-۱۳۳.
- Hoque YM, Tripathi S, Hantush MM, Govindaraju RS. ۲۰۱۲. Watershed reliability, resilience and vulnerability analysis under uncertainty using water quality data. *Journal of Environmental Management*, ۱۰۹: ۱۰۱-۱۱۲.
- Huete AR, Didan K, Miura T, Rodriguez EP, Gao X, Ferreira LG. ۲۰۰۲. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens Environ*; ۸۳: ۱۹۵-۲۱۳. [https://doi.org/10,1016/S0034-4267\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4267(02)00096-2).
- Huete AR, Justice C. ۱۹۹۹. MODIS vegetation index (MOD۱۳) algorithm theoretical basis document. Ver. ۳, ۱۹۹۹.
- Huete AR. ۱۹۸۸. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, ۲۵: ۲۹۵-۳۰۹. (ESRI, ۲۰۱۸)
- Haywood A, Stone C. ۲۰۱۱. Mapping eucalypt forest susceptible to dieback associated with bell miners (*Manorina melanophys*) using laser scanning, SPOT ۵ and ancillary topographical data. *Ecol. Model.*, ۲۲۲: ۱۱۷۴-۱۱۸۴.
- Jahdi R, Arabi M. ۲۰۲۳. Surface and Crown Fuels and Wildfire Behavior in Natural and Planted Forests Ecosystem of the Watershed of ۲۵ (Shenroud, Siahkal). *Journal of Environmental Sciences Studies*. ۸ (۲): ۶۳۷۳-۶۳۸۷.

- Lee J, Chung J, Woo S, Lee Y, Jung C, Park D, Kim S. ۲۰۲۱. Evaluation of Land-Use Changes Impact on Watershed Health Using Probabilistic Approaches. *Water*, ۱۳: ۱۷.
- Li J, Ma R, Cao Z, Xue K, Xiong J, Hu M, Feng X. ۲۰۲۲. Satellite Detection of Surface Water Extent: A Review of Methodology. *Water*, ۱۴(۷):۱۱۴۸. <https://doi.org/10.3390/w14071148>
- Liu HQ, Huete AR. ۱۹۹۵. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, ۳۳: ۴۵۷-۴۶۵.
- Lu Y, Wang R, Zhang Y, Su H, Wang P, Jenkins A, Ferrier RC, Bailey M, Squire G. ۲۰۱۵. Ecosystem health towards sustainability. *Ecosystem Health and Sustainability* ۱(۱): ۲. <http://dx.doi.org/10.1890/EHS14-0013.1>
- Marko K, Sutjningsih D, Kusratmoko E. ۲۰۲۱. Watershed Health Changes based on Vegetated Land Cover in the Upper Citarum Watershed, West Java, Province, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* ۹۴۰: ۰۱۲۰۴۵.
- Momenian P, Nazarnehad H, Miryaghoubzadeh M, Mostafazadeh R. ۲۰۱۸. Assessment and Prioritizing of Subwatersheds Based on Watershed Health Scores (Case Study: Ghotorchay, Khoy, West Azerbaijan). *Journal of Watershed Management Research* ۹(۱۷): ۱-۱۳.
- National Research Council (NRSC). ۱۹۹۴. Rangeland health: new methods to classify, inventory, and monitor rangelands. Committee on rangeland classification. The National Academies Press, Washington. [https://aim.lands.cape.gov/wp-content/uploads/2010/09/NRC\\_Rangeland\\_Health\\_1994.pdf](https://aim.lands.cape.gov/wp-content/uploads/2010/09/NRC_Rangeland_Health_1994.pdf). Accessed ۱۹۹۴
- Oliech IO. ۲۰۱۹. Geo-spatial assessment of forest health status using UAS technology in Anopoli, Crete. ITC: Faculty of Geo-information Science and Earth Observation. *Geoinformation Science and Earth Observation MSc* (۷۵۰۱۴), ۷۳ p.
- Ozdemir I, Karnieli A. ۲۰۱۱. Predicting forest structural parameters using the image texture derived from Worldview-۲ multispectral imagery in a dryland forest, Israel. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, ۱۳: ۷۰۱-۷۱۰.
- Prabhakara K, Hively WD, McCarty GW. ۲۰۱۵. Evaluating the relationship between biomass, percent groundcover and remote sensing indices across six winter cover crop fields in Maryland, United States. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* ۳۹: ۸۸-۱۰۲.
- Penuelas J, Pinol J, Ogaya R, Filella I. ۱۹۹۷. Estimation of plant water concentration by the reflectance WaterIndex WI (R<sup>۹۰۰</sup>/R<sup>۹۷۰</sup>). *Int. J. Remote Sens.*, ۱۸: ۲۸۶۹-۲۸۷۵, doi:10.1080/014311697217396.
- Rehfeldt GE, Warwell Mv, Monserud RA. ۲۰۲۰. Species, Climatotypes, Climate Change, and Forest Health: A Conversion of Science to Practice for Inland Northwest (USA) Forests. *Forests*, ۱۱: ۱۲۳۷.
- Roia E, Sutjningsih D, Yasman Siswantining T. ۲۰۲۱. Modeling Watershed Health Assessment for Five Watersheds in Lampung Province, Indonesia. *Advances in Sciences Technology, and Engineering Systems Journal*, ۶: ۱.
- Sadeghi S H, Hazbavi Z and Gholamalifard M. ۲۰۱۹. Interactive impacts of climatic, hydrologic and anthropogenic activities on watershed health *Science of the Total Environment* ۶۴۸ ۸۸۰-۸۹۳.
- Sadeghi SH, Hazbavi Z. ۲۰۱۷. Spatiotemporal variation of watershed health propensity through reliability-resilience-vulnerability based drought index (case study: Shazand Watershed in Iran) *Science of the Total Environment*, ۵۸۷-۵۸۸: ۱۶۸-۱۷۶.
- Sáenz-Romero C, Mendoza-Maya E, Gómez-Pineda E, Blanco-García A, Endara-Agramont AR, Lindig-Cisneros R, López-Upton J, Trejo-Ramírez O, Wehenkel C, Cibrián-Tovar D. ۲۰۲۰. Recent evidence of Mexican temperate forest decline and the need for ex situ conservation, assisted migration, and translocation of species ensembles as adaptive management to face projected climatic change impacts in a megadiverse country. *Can. J. For. Res.* ۵۰(۹): ۸۴۳-۸۵۴.
- Safaei M, Bashari H, Kleinebecker T, Fakheran S, Jafari R, Grose-Stoltenberg A. ۲۰۲۲. Mapping terrestrial ecosystem health in drylands: comparison of field-based information with remotely sensed data at watershed level. *Landsc Ecol.*, <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01404-4>
- Shen L, Li C. ۲۰۱۰. Water Body Extraction from Landsat ETM Imagery using Adaboost Algorithm. In *Proceedings of the ۱۸th International Conference on Geoinformatics*, Beijing, China, ۱۸-۲۰; pp. ۱-۴.
- Tuominen J, Lipping T, Kuosmanen V, Haapane R. ۲۰۰۹. Remote Sensing of Forest Health. *Geoscience and Remote Sensing*, October. DOI: 10.1077/8283

- U.S. Department of Agriculture (USDA) Forest Service. ۲۰۲۰. Forest ecosystem health indicators. Forest Service, FS-۱۱۵۱, March ۲۰۲۰, ۲۸ pages. <https://usfs.maps.arcgis.com>.
- USEPA. ۲۰۱۲. Identifying and Protecting Healthy Watersheds: Concepts, Assessments, and Management Approaches (Washington D.C.-USEPA).
- Yang J, Dai G, Wang S. ۲۰۱۵. China's National Monitoring Program on Ecological Functions of Forests: An Analysis of the Protocol and Initial Results. *Forests*. ۶(۳): ۸۰۹-۸۲۶. <https://doi.org/10.3390/f6030809>
- Zaitunah A, Samsuri Sahara F. ۲۰۲۱. Mapping and assessment of vegetation cover change and species variation in Medan, North Sumatra. *Heliyon*, ۷(۷): e۰۷۶۳۷.

## Evaluation of Forest Ecosystem Health by Remote Sensing and Forest Health Monitoring (FHM) Method at the Watershed Scale

Roghayeh Jahdi<sup>۱\*</sup>, Zeinab Hazbavi<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>-Assistant Professor of Forest Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

<sup>۲</sup>-Assistance Professor of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

\*Corresponding Author Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

### Abstract

A healthy forest ecosystem is essential to provide a wide range of environmental, social, and economic services. To evaluate forest health level, it is necessary to quantify ecosystem conditions using a variety of indicators. In this study, a combination of six indices: NDVI, EVI, SAVI, NDWI, ARI<sup>۱</sup>, and CRI<sup>۱</sup> were used to derive the forest health condition map around Shenroud watershed, Siahkal using Landsat ۸ OLI image of ۲۰۲۱ and ENVI Forest Health Tool. We evaluated the forest health with five grades (A; very good to E; very poor). Forest health data validation in various forest types in the study area is conducted via field crosscheck and assessment regarding the forest health level using ۴۰ sample plots and FHM (Forest Health Monitoring) method. In this work, based on the multiple linear regression model of the effect of vegetation indices in forest health assessment, the NDVI vegetation index with an R<sup>۲</sup> value of ۰.۷۷ has the highest effect on the forest health level in the watershed, which shows the greenness level and the density level of forest stands. The results of the analysis show that most of the forests in the study area were moderately healthy. ۱۹.۴٪ of the forest areas were classified as “Healthy”, ۵۶.۸٪ as “Moderately healthy”, and ۲۳.۸٪ as “Unhealthy”. Furthermore, different forest types in the study area have different percentages of healthy forests. Plantations, especially broadleaf plantation, has the largest forest area in unhealthy conditions (weak and very weak) (approximately ۳۳٪). In contrast, natural forests, including mixed broadleaf forest and beech forest, have the largest forest area in healthy conditions (very good and good) (approximately ۷۱٪). In general, the current state of the ecosystem in the study area is mainly in middle health, which is a result of long-term deforestation, soil erosion, and inappropriate human exploitation. Our RS-based health diagnosis of the area was consistent with field survey results. The process could be very useful in mapping the health conditions of the forests of the country accurately. It is suggested to study the spatial and temporal variation of forest health in the watershed under future climate change.

### Introduction

Ecosystem health is a concept that is often used to evaluate ecosystems (Lu et al., ۲۰۱۵). A healthy ecosystem can be considered as resilient against disturbance. On the other hand, degradation occurs when different states of ecosystems related to energy flow, nutrient cycling, and hydrological regimes are negatively affected. Especially for forest areas, it is necessary to protect the structure and function of ecosystems and actively restore destroyed ecosystems to ensure their integrity and maintain their health. As a result, a wide range of forest ecosystem health indicators has been developed with an emphasis on the use of quantitative and qualitative indicators (Chen et al., ۲۰۱۶; Fei et al., ۲۰۱۳). Assessing the health of ecosystems based on these indicators is a prerequisite for ecological restoration and sustainable development. Forest management requires information about the state of the forest with a focus on forest health. Because healthy forests are able to perform well compared to unhealthy forests. Forest health monitoring is especially important in creating sustainable forest management and also the integrated watershed management. However, today, the protection and monitoring of forests concerning forest health still do not exist and are limited to small scale studies. Therefore, this study assesses the health conditions of forest ecosystems at the watershed level in the north of Iran. In this research, by using remote sensing data and preparation of vegetation indices along with field data obtained from forest health monitoring in the Siahkol Shenrud watershed, the analysis of these indices and their grading at the forest health level is discussed. The protection and monitoring of forest conditions requires an extensive investigation of different forest types that are located inside a watershed. Therefore, in this study, a method suitable to the conditions of the forests of northern Iran is presented, which is necessary for detecting forest health levels based on the

different types in a watershed. This study is conducted to provide useful knowledge in the field of creating a sustainable management strategy in the forests of northern Iran, which is based on watershed management.

## Methodology

### Study area

This research was carried out in the Siahkol Shenrod watershed located in Gilan province with a total area of ۱۹۰ km<sup>۲</sup> (Figure ۱). This basin is located in a plain where a small river named Shamrod passes through the middle and its height increases from north to south. This region has a mild and humid climate, which is also influenced by the cooler climate of the hills. The average annual temperature is ۱۸°C. The average rainfall varies between ۸۰۰ mm (southern part) and ۱۲۰۰ mm (northern part) per year.

### Research Method

This research is a combination of remote sensing survey and analysis methods and a geographic information system (GIS) to describe the health status of forest ecosystems in the Siahkol Shenrod watershed. Land use classification was done using the Landsat ۸ OLI satellite image of ۲۰۲۱. Supervised classification method and maximum likelihood algorithm were used to prepare land use maps. In order to evaluate the accuracy of the classification, Google-Earth images were used by selecting ۳۰ educational samples. For accuracy assessment, the high value of the Kappa coefficient (۰.۹۲) was obtained.

#### • Vegetation indices calculation

After pre-processing, the Landsat ۸ image was used to calculate vegetation indices according to Table ۱.

Vegetation Index	Equation	Reference
NDVI	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Frampton, Dash, Watmough & Milton (۲۰۱۳)
EVI	$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1)}$	Huete et al. (۲۰۰۲)
SAVI	$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \times (1 + L)$ L=۰.۵	Bannari et al. (۱۹۹۵)
NDWI	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$	Gao, ۱۹۹۶
ARI <sup>۱</sup>	$ARI1 = \frac{(1)}{(GREEN)} - \frac{(1)}{(NIR)}$	Gitelson et al. (۲۰۰۱)
CRI <sup>۱</sup>	$CRI1 = \frac{(1)}{(BLUE)} - \frac{(1)}{(GREEN)}$	Gitelson et al. (۲۰۰۲)

#### • Forest health index extraction

The six calculated vegetation indices (Table ۱) were combined and classified for the input of forest health index (FHI) in ENVI software. In this classification, ten classes were defined for all six indices, and then in calculating the FHI index, it was reduced to five classes by combining both related classes. The FHI index (Gupta and Pandey, ۲۰۲۱) is available in the ENVI forest health toolbox, as follows:

$$FHI = \int_{FHI} (NDVI, EVI, SAVI, NDWI, ARI1, CRI1)$$

#### • Field data collection



To validate the forest health levels in different forest types of the watershed obtained from remote sensing data, it is necessary to conduct a field survey. Field survey data were obtained from the study area in September and October ۲۰۲۱. A stratified sampling method was used before the field survey in the GIS environment. Based on this method, ۴۰ square-shaped samples (۳۰ m \* ۳۰ m) were built. Observational activities were conducted using the Forest Health Monitoring (FHM) method (USDA Forest Service, ۲۰۲۰). The area with less than ۱۰% damage was classified as a very healthy forest, and the forest damage between ۱۰ and ۲۵% was classified as a healthy forest. ۲۵-۵۰% damage was classified as medium health forest, ۵۰-۷۵% as poor forest health, and ۷۵-۱۰۰% damage was classified as very poor forest health.

## Results

### • Vegetation indicators

Six vegetation indices extracted for forests in the study area are presented in Figure ۳. Based on the results, ۹۵% of the forests in the study area showed an NDVI index of more than ۰.۵, which indicates healthy vegetation. Also, healthy vegetation with high chlorophyll content was shown in ۹۱% of the studied area with an EVI index between ۰.۲-۰.۸. In this research, according to the multiple linear regression analysis of the effect of vegetation indices used in calculating forest health, the NDVI index with an  $R^2$  value of ۰.۷۷ has the greatest effect on the level of forest health in the watershed, which is the greenness level. It also shows the density level of forest stands. Similar results of the influence of vegetation indices have been presented by Tuominen et al. (۲۰۰۹). Furthermore, the higher effectiveness of NDVI in this study is similar to the findings of Barkey and Nursaputra (۲۰۱۷) and Oliech (۲۰۱۹) in assessing forest health. After NDVI,  $R^2$  values for EVI, SAVI, and AR $\lambda$  indices were ۰.۷۵, ۰.۷۳, and ۰.۷۲, respectively, and for NDWI and CRI $\lambda$  indices were ۰.۶۳.

### • Forest health index

The relationship of six vegetation indices calculated from the Landsat ۸ image was used to determine the level of forest health in the Shenrod watershed. Forest health was divided into five categories: ۱) very good (very healthy); ۲) good (healthy); ۳) moderate (under stress); ۴) poor (unhealthy); ۵) very poor (dead). Based on the results, the overall accuracy was ۸۶%. Also, the kappa value of ۰.۸۱ was obtained. Figure ۴ presents the health status of forest stands in the Shenrod watershed. Based on Figure ۴, the distribution of forest health classes in the study area is not uniform. The central areas of the watershed have higher levels of forest health, while the southern areas of the watershed have lower levels of forest health. This can be due to the history of heavy wood harvesting, selective cutting, and as a result, the widespread opening of forest stands (Jahdi and Arabi, ۲۰۲۳), in the form of forestry plans implemented in the southern areas of the watershed during the last two decades. Wildfires in this area also affect the structure and composition of the vegetation and are a great threat to the long-term productivity and overall health of the forest. In general, ۵۶.۸% of the forest area is in the medium health category. Healthy and unhealthy forests with levels almost close to each other make up ۴۱.۷% of the total forest area. ۱.۵% of the forest area is also in the very poor health category (Figure ۴). The information on the forest health levels in the forest types of the watershed is presented in Table ۳. Plantation, especially broadleaf plantations, has the largest forest area in unhealthy conditions (approximately ۳۳%). In contrast, natural forests, including mixed broadleaf forest and beech forest, have the largest forest area in healthy conditions (approximately ۲۱%). On average, almost ۶۰% of all existing forest types in the study area are in the medium health category. In general, many parameters affect the health conditions of forest types in the watershed, so it is important to identify the factors that caused the forest health levels in the survey with more observational activities

## Conclusion

In this study, the quantitative index of forest health was evaluated using broadband spectral indices and stress-related pigments before tree fall using remote sensing data. Using forest health analysis, the quantitative health conditions of the forest were described in ۲۰۲۱ with a forest area of ۱۲۶.۲ km $^2$ . Of this amount, there are healthy forests with an area of ۲۳.۸ km $^2$  and unhealthy forest conditions with an area of ۲۹ km $^2$ . The maximum area of the watershed, i.e. ۶۹.۴ km $^2$ , is also in medium health conditions. The health status of forest ecosystems is mostly average health, which is the result of

forest destruction, soil erosion, and human overexploitation. Forest conservation programs can effectively control forest degradation and improve the health of local ecosystems. Forest health detection based on remote sensing in the study area was consistent with the field survey results. This study guided the systematic approach and provided remote sensing techniques for forest health monitoring programs and sustainable forest management. This research helps to create a forest health monitoring program at the watershed level through big data analysis. This work helps the stakeholders, planners, and experts of natural resources and the environment to plan and make decisions by identifying ecologically sensitive areas to develop the best method for forest management.

**Keywords**

Field survey, Forest types, Healthy forests, Landsat ^ OLI, Shenroud watershed.