



سجش از دور

GIS ایران



سجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۱
Vol.14, No. 3, Autumn 2022 Iranian Remote Sensing & GIS

۱-۱۴

مقاله پژوهشی

تهیه و صحت‌سنجی نقشه پراکنش صنوبرکاری‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و داده‌های زمینی در استان زنجان

محمود بیات^{۱*}، خسرو میرآخرو^۲، محمدحسین صادق‌زاده حلاج^۳، سحر حیدری مستعلی^۴

۱. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
۲. مربی پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
۳. کارشناس پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
۴. دکتری محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱

چکیده

فقدان اطلاعات بهنگام، مستند و علمی از وضعیت موجود (سطح و پراکنش) صنوبرکاری‌های استان زنجان یکی مشکلات اصلی مدیران بخش زراعت چوب به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت تأمین چوب در استان است. در این پژوهش، از داده‌های چندزمانه ماهواره سنتینل-۲ برای تهیه نقشه عرصه‌های صنوبرکاری استان استفاده شد. این داده‌ها براساس فنولوژی و دوره رویش صنوبر (نیمه دوم مارس تا پایان نوامبر) سال ۲۰۱۸ م، در شش مقطع زمانی به‌فاصله سی تا چهل روز، انتخاب شد. تعداد ۱۴۴ پلی‌گون نمونه‌تعلیمی (۱۰۲ هکتار)، حاصل از برداشت میدانی محدوده صنوبرکاری، با داده‌های ذکرشده و طبقه‌بندی نظارت‌شده در الگوریتم ماشین بردار تصمیم‌گیری و نقشه پراکنش عرصه‌های صنوبرکاری استان استخراج شد. نقشه حاصل با ششصد نمونه (حدود ۱/۵٪) به‌صورت تصادفی انتخاب و در عرصه میدانی، کنترل و ارزیابی صحت شد. نتایج نشان داد مساحت کل عرصه‌های صنوبرکاری استان ۲۷۴۴ هکتار است که ۰/۱۲٪ از کل مساحت استان زنجان را دربر می‌گیرد. در این تحقیق، موقعیت دقیق مکانی و مساحت صنوبرکاری‌ها با صحت کلی ۹۶٪ برآورد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با ترکیب تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و داده‌های زمینی مناسب، می‌توان سطح صنوبرکاری‌ها و یا سطح و درصد تراکم هر نوع از جنگل راه، چه طبیعی و چه دست‌کاشت، در سطح محلی و منطقه‌ای و جهانی، با دقت مورد قبولی برآورد کرد.

کلیدواژه‌ها: داده‌های ماهواره‌ای، صحت کلی، صنوبرکاری، نقشه پراکنش.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران. تلفن: ۰۹۱۸۳۶۱۱۵۶۱

۱- مقدمه

صنوبر کاری مهم‌ترین راهکار کاهش فشار بهره‌برداری از جنگل‌هاست و در حالت بهینه، میزان تولید در هکتار آنها حتی به ۴۵ مترمکعب (پانزده تن) در هکتار می‌رسد (Lashkarbloki & Kahneh, 2015). اهداف چندگانه کاشت صنوبرها به‌طور گسترده‌ای، در قالب طرح‌های تولیدی بی‌شماره زراعی، با دیگر محصولات زراعی متداول شده و رو به افزایش است. چوب صنوبر ماده اولیه بسیار مناسبی برای تولیدات گوناگون چوبی، مانند خمیر کاغذ، فیبر و تخته فیبر عایق است (Lashkarbloki & Kahneh, 2015). از مجموع جنگل‌های ایران، فقط ۱/۲ میلیون هکتار دارای توان تولید است و این سطح، با توجه به نیاز کشور، مقدار بسیار ناچیزی شمرده می‌شود و حتی همین مقدار هم با روند تخریب سریع و نگران‌کننده روبه‌روست. از دیگر سو، طرح تنفس و بهره‌برداری نکردن از همین جنگل‌ها نیز به بحث توسعه صنوبر کاری‌ها اهمیتی بیش از پیش می‌بخشد. توسعه درختکاری درمورد درختان سریع‌الرشدی مانند صنوبر، متناسب با شرایط اقلیمی مناطق متفاوت کشور، می‌تواند در کاهش وابستگی به منابع سلولزی و همچنین ایجاد اشتغال در میان جنگل‌نشینان و کاهش وابستگی آنان به عرصه‌های جنگلی اثرگذار باشد (Mohammadpour et al., 2011). فقدان اطلاعات بهنگام، مستند و علمی درباره وضعیت فعلی (سطح و پراکنش) صنوبر کاری‌ها یکی از مشکلات اصلی مدیران بخش تولید چوب برای برنامه‌ریزی و مدیریت تأمین چوب در کشور است. از طرفی، گسترده‌گی پراکنده‌گی عرصه‌های صنوبر کاری، تنوع اقلیمی و شرایط محیطی همواره از عوامل محدودکننده در ارزیابی این عرصه‌ها بر پایه پیمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های زمینی به‌شمار می‌آید و به‌رغم دقت بسیار در گردآوری این اطلاعات از طریق کار میدانی، این کار مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است (Bourque et al., 2019; Bourque & Bayat, 2015). در مقابل داده‌های سنجش از دور با

توجه به ویژگی‌هایی از قبیل بهنگام‌بودن، دقت و صحت نسبتاً مناسب، هزینه کمتر و پوشش وسیع‌تر، قادرند اطلاعات باارزشی مانند مساحت، پراکنش، موقعیت دقیق مکانی عرصه‌های کشت را برای پروژه‌های گوناگون تحقیقاتی، اجرایی و ارتقای فعالیت‌های مدیریت زراعت چوب در اختیار قرار دهند (Bayat et al., 2019).

قربانیان^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل^۲ - ۱ و ۲، به نقشه‌سازی جنگل‌های مانگرو در قشم ایران پرداختند و توانستند، با صحت کلی بالای ۹۰٪ این نقشه را تهیه کنند. جیا^۳ و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل - ۲، شاخص گیاهی جدیدی ایجاد کردند که در قبال جنگل‌های مانگرو حساسیت ویژه‌ای داشته باشد. آنها توانستند به این شاخص با دقت مورد قبولی دست بیابند. گرابسکا^۴ و همکاران (۲۰۱۹) به نقشه‌سازی توده‌های جنگلی در منطقه کوه‌های کارپات^۵ در لهستان پرداختند و نتایج نشان داد که استفاده از سری زمانی سنتینل - ۲ دقت کلی نقشه‌برداری از گونه‌های درختان جنگل را بهبود چشمگیر (حدود ۵ تا ۱۰٪) بخشیده است. تان نوبی و کاپاس^۶ (۲۰۱۷) روش‌های هوش مصنوعی مانند RF، SVM و k-Nearest Neighbor را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل - ۲، به‌منظور طبقه‌بندی پوشش اراضی در منطقه دلتای رودخانه سرخ^۷ در ویتنام مقایسه کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در بیشتر این روش‌ها، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل - ۲ با دقت حدود ۹۵٪، طبقات پوشش اراضی را تفکیک کرده است. باقری^۸ و همکاران (۲۰۲۱) سرانه فضای سبز شهر خمین را با استفاده از

1. Ghorbanian
2. Sentinel
3. Jia
4. Grabska
5. Carpathian Mountains
6. Thanh Noi & Kappas
7. Red River Delta
8. Bagheri

مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها، بیشترین قابلیت را در تفکیک صنوبر از توده‌های جنگل طبیعی دارد (Eslami & Zahedi, 2011). درویش‌صفت و همکاران (۲۰۱۶)، در ارزیابی امکان تهیه نقشه صنوبر کاری‌ها با داده‌های لندست-۸ در شهرستان‌های تالش و صومعه‌سرا، پنج مجموعه تصویر از زمان‌های متفاوت در فصل‌های رویش و خزان را انتخاب کردند. براساس نتایج، در دو منطقه حفظ‌آباد و طولارود تالش، در دو تاریخ تیر ۱۳۹۱ و مرداد ۱۳۹۲، صحت کلی حدود ۹۵٪ و ضریب کاپا به ترتیب برابر با ۰/۷۴ و ۰/۶۹ به دست آمد. در منطقه هفت‌دغنان و شیخ‌نشین صومعه‌سرا، بهترین نتیجه فقط در تاریخ تیر ۱۳۹۱ و با صحت کلی ۸۳/۲۸٪ و کاپای پایین ۰/۴۳ به دست آمد. باقری و همکاران (۲۰۲۰) نیز، با توجه به معیارهای RMSE و R^2 بر قابلیت تصاویر سنتینل-۲، به ترتیب در تفکیک توده‌های جنگلی زاگرس و فضای سبز شهری استان مرکزی، تأکید کردند. در خارج از کشور نیز مطالعات اندکی در این زمینه انجام شده است. برگن و درونوا^۳ (۲۰۰۷) توانایی سنجنده ETM+ را در تفکیک و تبیین الگوی توالی توده‌های صنوبر، در بیش از ۴۲۰۰ هکتار صنوبر کاری در شمال میشیگان آمریکا، بررسی کردند. در این تحقیق، نقشه پوشش صنوبر با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی با صحت کلی ۸۹/۹٪ تهیه شد. در تحقیقی دیگر، قابلیت داده‌های QuickBird در تفکیک صنوبر کاری‌ها و دیگر توده‌های جنگلی از اراضی کشاورزی، در سه بخش کوچک کشور ایتالیا، با روش شیء‌پایه بررسی شده است. این تحقیق نشان داد که تفکیک صنوبر کاری‌های جوان از دیگر پدیده‌ها، به دلیل تداخل طیفی زیاد بازتاب صنوبر و دیگر پدیده‌ها امکان‌پذیر نیست.

تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و رویکرد سیمای سرزمین، بررسی کردند و نتیجه گرفتند تصاویر این ماهواره به خوبی توانسته است فضای سبز شهری را بین نواحی شهری خمین، تفکیک کند. آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که شهر خمین، از لحاظ وسعت، پیوستگی، ماهیت، ترکیب و توزیع فضای سبز دچار فقدان تناسب شدیدی است. دلفان و همکاران (۱۳۹۸) قابلیت تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ را در تهیه نقشه کاربری اراضی، در منطقه بسطام استان لرستان، مقایسه کردند. آنها نتیجه گرفتند که با توجه به صحت کلی و میزان ضریب کاپا، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در دسته‌بندی طبقات پوشش کاربری، عملکردی بهتر از لندست-۸ داشته‌اند.

در ارتباط با تهیه نقشه صنوبر کاری‌ها تحقیقات اندکی صورت گرفته است. درویش‌صفت^۱ و همکاران (۲۰۱۴) قابلیت تصاویر سنجنده‌های IRS-P6-LISSIII&IV و TM، با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، در مورد صنوبر کاری‌های شهرستان صومعه‌سرا در استان گیلان را بررسی کردند. روش‌های متفاوت طبقه‌بندی (نظارت‌شده و نظارت‌نشده) و طبقه‌بندی فازی با استفاده از سه راهکار گوناگون برای تجزیه و تحلیل به کار رفت. نتایج ارزیابی صحت نشان داد که راهکار اول و دوم نتوانستند طبقات صنوبر را با صحت زیادی تفکیک کنند. در مقابل، در راهکار سوم، صحت کلی و ضریب کاپا در هر سه زیرمنطقه افزایش یافت. بهترین نتیجه طبقه‌بندی به زیرمنطقه یک، با صحت کلی ۸۰٪ و ضریب کاپای ۰/۵۸، براساس تصویر TM سال ۱۳۸۸ اختصاص داشت. این پژوهشگران، در نتیجه‌گیری کلی، بیان کردند که در منطقه مورد بررسی و با رویکرد مورد استفاده، امکان تهیه نقشه صنوبر کاری‌ها وجود نداشته است. نتایج مطالعه‌ای که به‌منظور تهیه نقشه صنوبر کاری‌ها با استفاده از تصاویر سنجنده LISSIII در کل استان گیلان با روش نظارت‌شده انجام گرفت، نشان داد که الگوریتم ML^۲ با صحت کلی ۹۱/۴۸٪، در

1. Darvishsefat
2. Maximum Likelihood
3. Bergen & Dronova

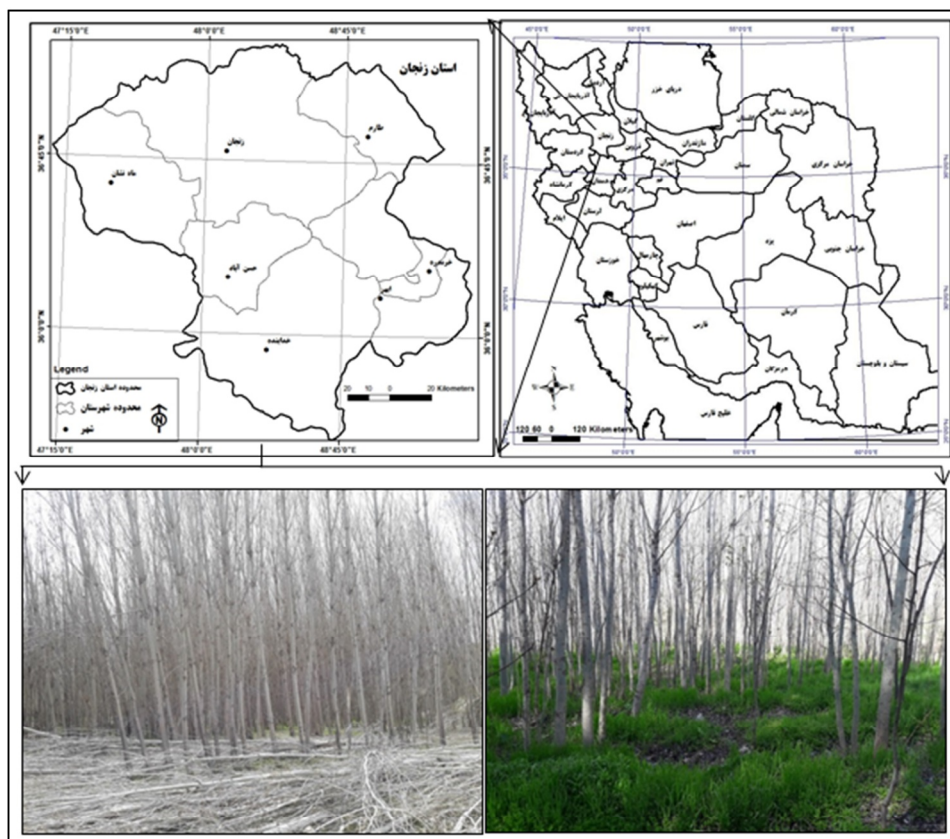
به‌منزله اطلاعات مبنا، برای پایش و ارزیابی تغییرات سطح صنوبرکاری در استان زنجان، به‌منظور استفاده در برنامه‌ریزی و مدیریت زراعت چوب از اهداف دیگر است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد بررسی

استان زنجان از شمال به استان‌های آذربایجان شرقی و اردبیل و گیلان، از شرق به استان‌های قزوین و گیلان، از جنوب به استان‌های همدان و قزوین و از غرب به استان‌های آذربایجان غربی و کردستان محدود است و براساس آخرین تقسیمات کشوری، هشت شهرستان زنجان، ماه‌نشان، طارم، سلطانیه، ابهر، خرم‌دره، ایجرود و خدابنده به آن تعلق دارد. این استان، با مساحت ۲۲۱۶۴۰۰ هکتار، در ناحیه رویشی ایران- تورانی واقع شده است (شکل ۱). از این مقدار، حدود ۵۶٪ شامل اراضی منابع ملی می‌شود که ۹۷۳۵۵ هکتار آن را

در زمینه تعیین راهکار برای تهیه نقشه‌های بهنگام از صنوبرکاری‌ها و پایش دوره‌ای آن در کشور، تا کنون تحقیقات اندکی با داده‌های سایر ماهواره‌ها انجام شده است (Eslami & Darvishsefat et al., 2014; 2016; Zahedi, 2011). درباره کارایی داده‌های سنجنده سنتینل-۲ در تهیه نقشه محدوده‌های صنوبرکاری کشور، تا کنون نتایجی بیان نشده است؛ بنابراین ادامه تحقیقات کاربردی دقیق با استفاده از داده‌های این ماهواره، به دلیل داشتن قدرت تفکیک مکانی و طیفی بیشتر در قیاس با دیگر ماهواره‌های دارای مأموریت مشابه، ضرورت می‌یابد. مهم‌ترین هدف این تحقیق مشخص کردن محدوده‌های صنوبرکاری و پراکنش آنها در استان زنجان، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، به‌منظور تعیین سطح و ظرفیت عرصه‌های موجود صنوبرکاری‌های کشور است. تهیه نقشه و مساحی محدوده‌های صنوبرکاری و استفاده از نقشه‌های تولیدشده



شکل ۱. موقعیت محدوده استان زنجان در کشور، شهرستان‌های تابع و تصاویری از صنوبرکاری‌های استان

ابتدای خزان نیمه دوم مهر و خزان کامل نیمه دوم آبان انتخاب شده است. چون مراحل رشد و فنولوژی دوره رویش صنوبر با سایر گونه‌های درختی مثمر و غیرمثمر مثل چنار و بید و گردو متفاوت است، بازتاب طیفی متفاوتی با دیگر گونه‌های یادشده دارد و تفکیک جنس صنوبر را از گونه‌های درختی مثمر و غیرمثمر دیگر ممکن می‌کند. انتخاب یک مقطع زمانی، مثلاً زمان اوج رویش و انبوهی برگ‌ها، در تفکیک صنوبر از گونه‌های دیگر خطای زیادی ایجاد می‌کند که دلیل آن تشابه نزدیک بازتاب طیفی است؛ اما در شش مقطع زمانی، اختلاف بازتاب طیفی صنوبر با سایر گونه‌ها بارزتر و امکان تفکیک آن با خطای کمتر امکان‌پذیر می‌شود.

۲-۲-۲- پیش‌پردازش تصاویر

پردازش‌های اولیه

داده‌های سری زمانی سنتینل-۲ از تارنمای <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> در محدوده استان مورد تحقیق، به تعداد چهار فریم ۱۰۰×۱۰۰ کیلومتر، استخراج شد. تصحیحات اتمسفری با استفاده از نرم‌افزار Sen2Cor^۴ انجام شده است که پردازنده‌ای تخصصی برای تصحیحات اتمسفری داده‌های سنتینل-۲ محسوب می‌شود. داده‌های تولیدشده سطح IC این ماهواره براساس فایل با فرمت xml که همراه تصاویر است، شامل اطلاعات Solar Irradiance، Physical-Gains و سایر پارامترها می‌شود. پردازنده یادشده، طبق این اطلاعات، تصحیحات تصاویر را از سطح IC به سطح 2A ارتقا می‌دهد. این تصحیحات شامل ابر، ذرات معلق گردوغبار و بخار آب اتمسفر و تصحیحات هندسی می‌شود. در مرحله بعد، فریم‌های تصحیح‌شده مربوط به یک تاریخ موزاییک شد و تصویر محدوده استان از فریم‌های استخراج‌شده به‌دست آمد.

1. Visible
2. VNIR
3. SWIR
4. <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor>

جنگل‌های طبیعی استان تشکیل می‌دهد. به‌عبارت دیگر، ۷/۹٪ عرصه‌های ملی و ۴/۴٪ مساحت کل استان را مناطق جنگل طبیعی تشکیل داده و با احتساب مساحت حدود هفده‌هزارهکتاری جنگل‌های دست‌کاشت، سرانه جنگل در استان زنجان ۰/۱۲ هکتار برای هر نفر است. استان زنجان، هم به‌لحاظ داشتن تنوع نقاط ارتفاعی و هم تأثیرپذیری از چند توده هوایی خزری و مدیترانه‌ای و صحرای مرکزی، صاحب اقلیم‌ها و اکوسیستم‌های متنوعی است. با اینکه استان یادشده یکی از استان‌های سردسیر و کوهستانی شمال باختری کشور به‌شمار می‌آید، از اکوسیستم‌های بسیار متنوع دشتی، بیابانی، تالابی و رودخانه‌ای، جنگلی، درختچه‌ای، کوهستانی مرتفع و تپه‌ماهوری نیز بی‌نصیب نمانده است. بیشتر از ۷۰٪ مناطق این استان آب‌وهوای نیمه‌خشک فراسرد دارد و ۳۰٪ دیگر دارای تنوع اقلیمی و آب‌وهوایی است. میزان بارندگی سالیانه این استان حدود ۳۲۳ میلی‌متر برآورد شده و میانگین بارندگی سالیانه در آن ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه آن ۹ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد است (Hamzeh et al., 2020).

۲-۲-۲- مراحل اجرای پژوهش

۲-۲-۱- انتخاب تصاویر ماهواره‌ای

در این تحقیق، از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ استفاده شد. این ماهواره دارای مدار قطبی و متشکل از سیزده باند طیفی در محدوده‌های مرئی^۱، فروسرخ نزدیک^۲ و فروسرخ کوتاه^۳ است. این باندها، از لحاظ تفکیک مکانی، سه دسته می‌شوند. باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ دارای تفکیک مکانی ده متر و باندهای ۵، ۶، ۷، ۸a، ۱۱ و ۱۲ دارای تفکیک مکانی بیست متر و باندهای ۱، ۹ و ۱۰ دارای تفکیک مکانی شصت متر هستند. براساس فنولوژی و دوره رویش صنوبر (نیمه دوم مارس تا پایان نوامبر) سال ۲۰۱۸ م.، داده‌های چندزمانه این ماهواره با شش مقطع زمانی، به‌فاصله سی تا چهل روز استفاده شد. انتهای فصل خزان هفته آخر اسفند، ابتدای جوانه‌زنی نیمه دوم فروردین، جوانه‌زنی کامل نیمه دوم اردیبهشت، اوج انبوهی برگ‌ها نیمه اول تیر،

۲-۲-۳- پردازش تصاویر

برای این کار، از نرم‌افزار ERDAS Imagine 2014 (نرم‌افزار تخصصی پردازش و تفسیر تصاویر رقومی ماهواره‌ای) استفاده شد. برای پردازش ثانویه، به‌منظور هم‌سازسازی تفکیک مکانی باندهای بیست‌متری (b5، b6، b7 و b8a) به ده متر (b2، b3، b4 و b8)، ابتدا تفکیک باندهای بیست‌متری داده‌های سن‌تینل-۲ از تمامی سری‌های زمانی، به ده متر تبدیل شد. نمونه‌تعلیمی با کار میدانی درمورد همه‌ی طبقات پوشش (زراعت سالیانه، درختان خزان‌کننده، درختان همیشه‌سبز، صنوبر، مسکونی و سایر پوشش‌های اراضی) به تعداد ۱۴۴ محدوده (پلی‌گون) و به مساحت ۱۰۲ هکتار، معادل ۱۰۲۰۰ پیکسل، برداشت شد. این نمونه‌ها، برای استفاده در طبقه‌بندی تصاویر، وارد نرم‌افزار شد. پس از آن، تصاویر نیمه‌اول مهرماه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم بیشترین شباهت و ترکیب باندی ۸۴۳ برای دو طبقه با پوشش درختی و غیردرختی (سایر پوشش‌ها)، طبقه‌بندی شد؛ در نتیجه، اراضی بدون پوشش درختی حذف شد. در مرحله بعد، با به‌کارگیری تصویر نیمه‌دوم اسفند و روش مرحله پیشین، محدوده‌های دارای پوشش درختی به دو دسته درختان خزان‌کننده و همیشه‌سبز تفکیک شدند و اراضی دارای پوشش درختان همیشه‌سبز نیز حذف شد.

الگوریتم ماشین بردار تصمیم‌گیری

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که نتایج آن با توجه به تنظیم صحیح پارامترهای ورودی مدل مشخص می‌شود (Eshaghi & Shataei, 2016). این روش یک روش آماری ناپارامتری و نظارت‌شده است که در واقع، گونه‌ای طبقه‌بندی به حساب می‌آید. در این مطالعه، چهار نوع هسته از نوع خطی، چندجمله‌ای، سیگموئید و کرنل تابع پایه شعاعی که با استفاده از γ در رابطه (۱) تعریف شده است، بررسی شد (Vafaei et al., 2018). پارامترهای هسته شامل ظرفیت (c)، گاما (γ) و

اپسیلون (ε) می‌شود. جست‌وجوی شبکه مشخص شامل محدوده‌ای از ۱ تا ۵۰ ظرفیت برابر با دامنه متغیرهای ورودی است. نرخ اپسیلون از ۰/۱ تا ۰/۵ تفاوت دارد. در داخل، SVM مدل را برای بهینه‌سازی محاسبه می‌کند. دقت این نتایج بهینه‌سازی با استفاده از پارامترهای ظرفیت و اپسیلون کنترل می‌شود.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \gamma > 0k(x_i, x) = \exp(-\gamma|x_i - x|^2)$$

در نرم‌افزار R، برای تفکیک عرصه‌های صنوبرکاری، از سایر گونه‌های خزان‌کننده استفاده شد. بدین‌منظور داده‌های سری زمانی سن‌تینل-۲ (Mar10، May19، Jun27، Aug5، Oct13، Nov23) و نمونه‌تعلیمی حاصل از برداشت میدانی در مدل SVM به زبان برنامه‌نویسی نرم‌افزار R، به این نرم‌افزار معرفی شد و در نهایت، نقشه محدوده‌های صنوبرکاری استخراج شد.

۲-۲-۴- پردازش‌های نهایی (استخراج نقشه)

در این مرحله، محدوده‌های غیرصنوبر حذف و محدوده‌های صنوبرکاری شده استخراج شد. با استفاده از دستور Dissolve، Eliminate در نرم‌افزار ERDAS Imagine 2014، پیکسل‌های مشابه ادغام و پیکسل‌های پرت حذف شدند و در نهایت، برای کاستن حجم فایل و سهولت استفاده آن در نرم‌افزار ArcMap 10.4، این نقشه به ساختار وکتوری (پلی‌گون) تبدیل شد.

۲-۲-۵- تهیه نقشه صنوبرکاری‌ها با استفاده از نقاط

کنترل زمینی

برای این کار، بازدید میدانی از محدوده صنوبرکاری‌ها در شش مقطع زمانی انجام شد. تمامی نقاط منتخب برای ارزیابی صحت نقشه تولیدی (نقاط کنترل زمینی)^۲ با استفاده از GPS مشخص و کنترل شد. سپس نتایج به دقت ثبت و میزان صحت و خطا بررسی شد و با استفاده از رابطه (۱)، صحت کلی نقشه برآورد شد.

1. Support Vector Machine (SVM)

2. Ground Control Points

۲-۲-۶- ارزیابی صحت نقشه‌های نهایی

به‌منظور برآورد آماری ارزیابی صحت کلی، نقشه عرصه‌های صنوبرکاری به تعداد ۳۶۰۵۵ پلی‌گون تولید شد (مرحله پیشین). حدود ۱/۵٪، به تعداد ششصد پلی‌گون از عرصه‌های صنوبرکاری استان زنجان، به‌صورت تصادفی و با استفاده از دستور Geostatistical Analyst در نرم‌افزار ArcMap10.4 انتخاب و در عرصه پیاده شد. سپس براساس نتایج بازدید میدانی، طبق رابطه (۱)، صحت کلی نقشه استخراج شده به‌دست آمد.

$$OA = \frac{1}{N} \sum p_{ii} \quad \text{رابطه (۲)}$$

OA = صحت کلی N برابر است با تعداد کل پیکسل‌های مورد مقایسه و p_{ii} نیز تعداد پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده است.

در گام آخر، مختصات جغرافیایی مرکز پلی‌گون‌های تصادفی (ششصد پلی‌گون) محدوده عرصه‌های صنوبرکاری، به‌منظور بازدید میدانی، استخراج شد. مختصات جغرافیایی در GPS ثبت و در بازدید میدانی، به آن مراجعه و پلی‌گون‌های نادرست شناسایی شد؛ طبق رابطه (۱) نیز، صحت کلی نقشه نهایی برآورد شد.

۳- نتایج

براساس جدول‌های ۱ و ۲، برگرفته از مساحی نقشه عرصه‌های صنوبرکاری استخراج‌شده از تصاویر چندزمانه ماهواره سنتینل-۲ در فصل رویش جنس صنوبر (شکل ۲)، سطح کل صنوبرکاری‌های استان ۲۷۴۳/۶ هکتار برآورد شد. نزدیک به ۷۸/۸٪ از عرصه‌های صنوبرکاری استان مساحتی کمتر از پانصد مترمربع دارند که ۲۰/۲٪ سطح صنوبرکاری‌های استان را شامل می‌شود. فقط ۰/۹٪ و به تعداد ۳۰۹ عرصه دارای مساحت بیشتر از یک هکتار است؛ درصورتی‌که ۳۸/۸٪ مساحت صنوبرکاری استان، برابر با ۱۰۶۴/۸ هکتار، در دسته بیشتر از یک هکتار قرار دارد. اگر قطعات بیشتر از ۰/۵ هکتار را کشت متمرکز و چوب

استحصال شده از این قطعات را مختص مصارف صنعتی در نظر بگیریم، فقط حدود ۲٪ عرصه‌های کشت‌شده، برابر با ۶۸۰ قطعه و معادل ۱۳۱۸/۱ هکتار از سطح کشت صنوبر استان، به کشت متمرکز و مصارف صنعتی اختصاص دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت چوب حاصل از ۹۸٪ قطعات که کمتر از ۰/۵ هکتار مساحت دارند، از کشت غیرمتمرکز و سنتی به‌دست می‌آید و به مصرف کارگاه‌های محلی و روستایی می‌رسد. براساس مشاهدات میدانی و کنترل‌های زمینی، مشخص شد که بیشتر قطعات صنوبرکاری کمتر از ۰/۵ هکتار، به‌صورت نواری یا خطی در حاشیه باغ‌ها و نهرهای انتقال آب به مزارع، کشت شده‌اند که علاوه‌بر تولید چوب، نقش بادشکن و حصار باغ را به‌عهده دارند. طبق جدول ۱، بیشترین سطح عرصه‌های صنوبرکاری استان با مساحت ۸۵۴ هکتار و کمترین سطح صنوبرکاری با مساحت ۰/۲۱ هکتار، به‌ترتیب در شهرستان‌های زنجان و ایجرود واقع شده است.

جدول ۱ سطح صنوبرکاری و تعداد عرصه‌های صنوبرکاری را در کل استان زنجان و به‌تفکیک شهرستان‌های استان، و جدول ۲ توزیع طبقات مساحت عرصه‌های صنوبرکاری را در این استان نشان می‌دهد.

جدول ۱. مساحت کل و میانگین سطح عرصه‌های صنوبرکاری در

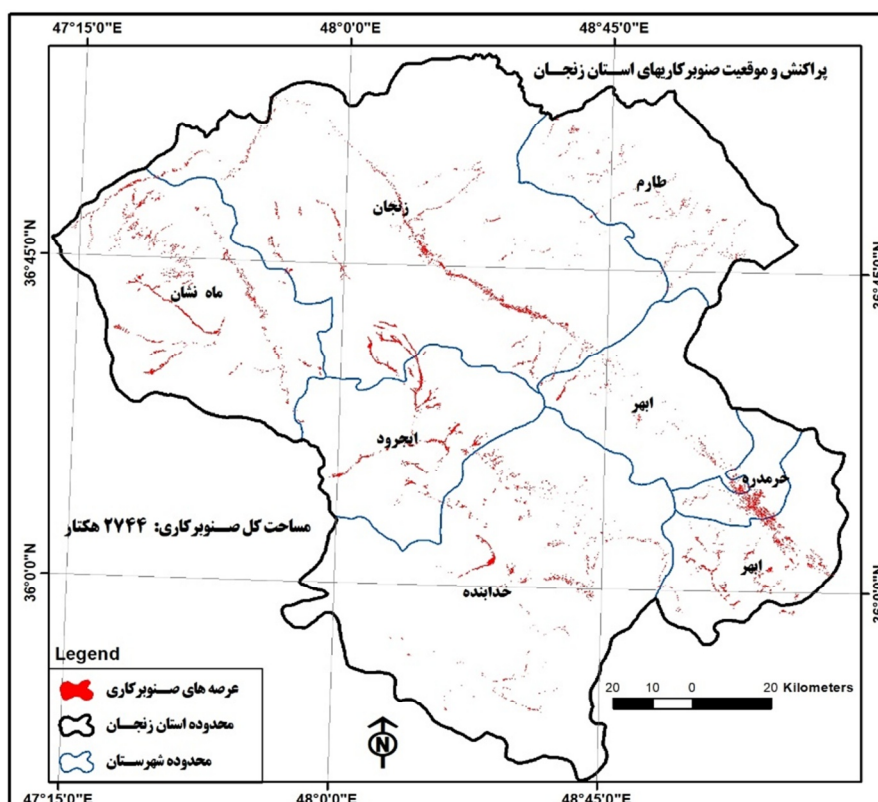
استان زنجان و شهرستان‌های آن

نام شهرستان	میانگین مساحت عرصه (مترمربع)	مساحت کل عرصه (هکتار)	درصد مساحت
ایهر	۴۵۰	۴۴۸/۵	۱۶/۳۷
ایجرود	۱۹۰	۰/۲۱	۰/۰۱
خدابنده	۳۳۷	۳۲۶/۲	۱۱/۸۶
خرم‌دره	۳۶۳	۱۱۸	۴/۲۷
زنجان	۵۸۱	۸۵۲	۳۱/۱۳
ماه‌نشان	۵۵۶/۹	۵۶۶/۷	۲۰/۶۵
طارم	۴۴۵	۴۳۲	۱۵/۷۲
کل استان	۴۶۷/۹	۲۷۴۳/۶	۱۰۰

در جدول ۲، مساحت عرصه‌های صنوبرکاری به تفکیک مساحت طبقه عرصه صنوبرکاری‌های استان زنجان، آمده است. شکل ۳ نمودار توزیع طبقات گوناگون سطح عرصه‌های صنوبرکاری در استان زنجان را نشان می‌دهد.

جدول ۲. توزیع طبقه مساحت عرصه‌های صنوبرکاری در استان زنجان

درصد	مساحت (هکتار)	درصد	تعداد	طبقه قطعات (مترمربع)
۲۰/۲	۵۵۳/۷	۷۸/۸	۲۸۴۲۷	کمتر از ۵۰۰
۹/۸	۲۶۷/۶	۱۰/۹	۳۹۱۳	۵۰۰-۱۰۰۰
۲۲	۶۰۴/۲	۸/۴	۳۰۳۵	۱۰۰۰-۵۰۰۰
۹/۲	۲۵۳/۳	۱	۳۷۱	۵۰۰۰-۱۰۰۰۰
۳۸/۸	۱۰۶۴/۸	۰/۹	۳۰۹	بیشتر از ۱۰۰۰۰
۱۰۰	۲۷۴۳/۶	۱۰۰	۳۶۰۵۵	جمع



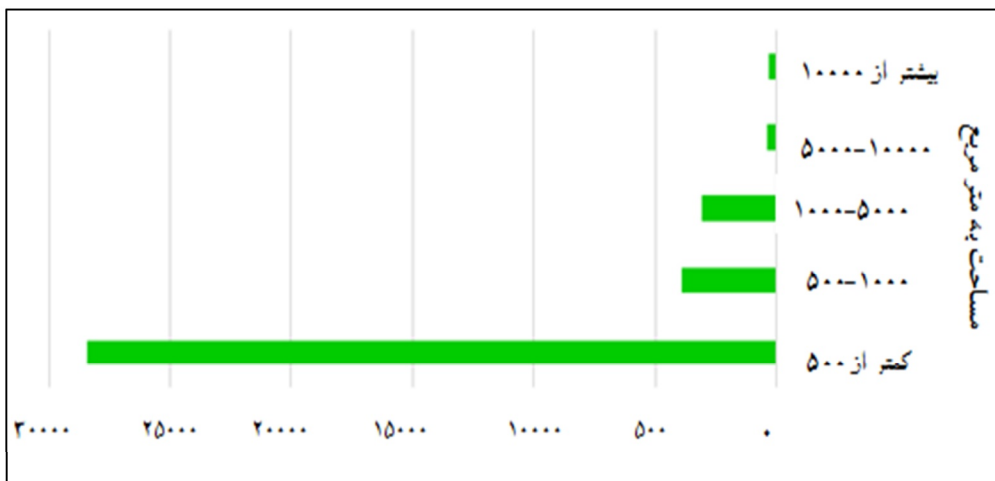
شکل ۲. نقشه پراکنش و موقعیت عرصه‌های صنوبرکاری استان زنجان

شهرستان‌های زنجان و ماه‌نشان بالغ بر ۱۴۱۸/۷ هکتار، معادل ۵۱/۷۸٪ سطح عرصه‌های صنوبرکاری کل استان را به خود اختصاص داده‌اند و از شهرستان‌های صنوبرخیز به‌شمار می‌آیند. شکل ۴ نمودار فراوانی عرصه‌های صنوبرکاری استان زنجان و شهرستان‌های آن را نشان می‌دهد.

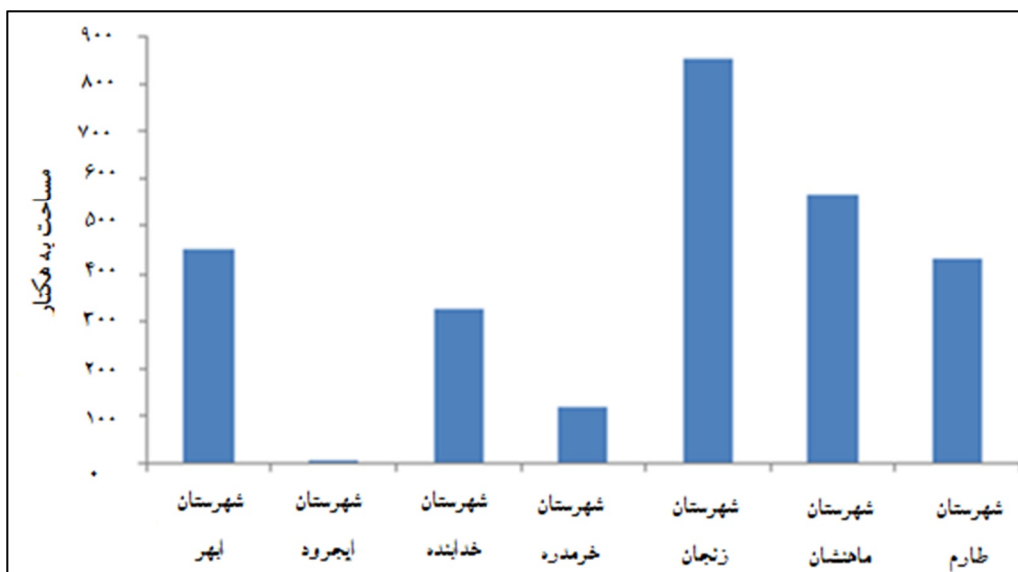
۳-۱- مقایسه سطح صنوبرکاری‌های

شهرستان‌های استان زنجان

طبق جدول ۱، سطح صنوبرکاری‌های استان، به‌ترتیب فراوانی در شهرستان‌های زنجان ۸۵۲، ماه‌نشان ۵۶۶/۶، ابهر ۴۴۸/۵، طارم ۴۳۲، خدابنده ۳۲۶/۲، خرم‌دره ۱۱۸ و ایجرود ۰/۲۱ هکتار است. در این میان،



شکل ۳. نمودار توزیع طبقات گوناگون سطح عرصه‌های صنوبرکاری در استان زنجان



شکل ۴. نمودار فراوانی عرصه‌های صنوبرکاری استان زنجان و شهرستان‌های آن

۳-۲- ارزیابی صحت نقشه پراکنش عرصه‌های صنوبرکاری در استان

نقشه پراکنش عرصه‌های صنوبرکاری استان که از تصاویر چندزمانه ماهواره سنتینل-۲ تهیه شده بود، طبق روش مورد اشاره در بخش پیشین، با ششصد محدوده از ۳۶۰۵۵ عرصه صنوبرکاری (براساس انتخاب تصادفی از نقشه مورد نظر) در بازدید میدانی بررسی شد. نتایج این بررسی، با به کارگیری رابطه (۱)، صحت کلی ۹۶٪ را نشان داد که نمایانگر ۴٪ خطا در نقشه‌های تولیدشده این تحقیق از عرصه‌های صنوبرکاری در استان زنجان است.

در جدول ۳، به پارامترهایی اشاره شده است که برای تعیین صحت طبقه‌بندی تصاویر استفاده شده در این تحقیق، به کار رفته‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، صحت کلی ۹۶/۷٪ برآورد شده است.

جدول ۳. پارامترهای تعیین صحت طبقه‌بندی به کاررفته در

تحقیق	
نوع طبقه‌بندی	صحت کلی
(Classification type)	(Overall accuracy)
مدل SVM	96.7%

۴- بحث

به‌طور کلی تهیه اطلاعات در زمینه پراکنش درختان از طریق عملیات میدانی صورت می‌گیرد اما این شیوه گردآوری اطلاعات نیازمند صرف زمان و هزینه‌های زیادی است (Sivanpilla et al., 2006). داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان، به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی شمرده می‌شود (Pal & Mather, 2005). این داده‌ها، به‌دلیل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، امکان تکرار و سهولت پردازش همراه با داده‌های میدانی، می‌توانند به‌منزله گزینه‌ای در جمع‌آوری اطلاعات مطرح شوند (Guisan & Theurillat, 2000). استان زنجان یکی از قطب‌های تولید صنوبر در کشور است که سطح بسیار گسترده‌ای را به صنوبرکاری

اختصاص داده و این صنوبرکاری‌ها تراکم و شادابی بسیار خوبی دارند. صنوبرکاری در استان زنجان بسیار رواج دارد، تقریباً بیشتر شهرستان‌های آن صنوبرکاری شده‌اند و بیشترین سطح صنوبرکاری در شهرستان زنجان و حاشیه زنجان‌رود به چشم می‌خورد. برآورد دقیقی از مساحت صنوبرکاری‌های استان زنجان در منابع گوناگون دیده نمی‌شود و گزارش‌های مرتبط فقط دیدگاه‌های کارشناسانه درباره کاهش سطح صنوبرکاری‌ها را دربر می‌گیرد. اسدی^۱ (۱۹۹۴) عوامل گوناگونی را مسبب کاهش ۲۲ درصدی سطح صنوبرکاری در حاشیه زنجان‌رود دانسته است. در این گزارش، به وجودنداشتن رقابت میان صنوبرکاری با دیگر محصولات زراعی، از نظر درآمد و زمان، به‌منزله علل اصلی کاهش سطح صنوبرکاری‌ها اشاره شده زیرا زمان بهره‌برداری این گیاه، در مقایسه با زراعت‌های یک‌ساله، نسبتاً طولانی‌تر است. البته کشت تلفیقی گیاهان علوفه‌ای به‌همراه صنوبر در مطالعات گوناگونی بررسی شده است که می‌تواند راهکاری برای افزایش درآمد کشاورزان محسوب و در نظر گرفته شود. همان‌گونه که در بخش نتایج مشاهده شد، بیشترین میزان سطح صنوبرکاری‌ها، در استان زنجان، در شهرستان زنجان با ۳۰٪ است و شهرستان ماه‌نشان در رتبه بعد قرار دارد. شهرستان‌های ابهر، طارم، خدابنده و خرم‌دره نیز به‌ترتیب با میانگین سطح صنوبرکاری ۴۹۹ هکتار، ۴۸۳ هکتار، ۳۴۶ هکتار و ۱۳۸ هکتار در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. شهرستان ایجرود، با میانگین سطح صنوبرکاری فقط ۰/۲۱ هکتار و اختصاص نسبی ۰/۰۷٪ از مساحت کل صنوبرکاری‌های استان، در رده هفتم و آخر قرار دارد. بالاتر بودن سطح صنوبرکاری در شهرستان‌های زنجان و ماه‌نشان، علاوه بر شرایط اقلیمی مناسب، چه بسا ناشی از عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز باشد که خود این نکته نیاز به بررسی و تحقیقی جامع دارد. در این زمینه،

1. Asadi

محمدپور^۲ و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود، در مورد بررسی روند سطح زراعت چوب طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در شرق گیلان، به این نتیجه رسیدند که صنوبر کاری از منطقه آستانه اشرفیه، به تدریج به منطقه لاهیجان و لنگرود کشیده می‌شود که ممکن است دلایل اجتماعی-اقتصادی داشته باشد. آنها در مجموع، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به این نتیجه دست یافتند که در سال ۲۰۱۰، ۳۰۷۲ هکتار در شرق گیلان به صنوبر کاری اختصاص یافته که اندکی بیش از سطح ۲۹۱۹ هکتاری حاصل از تحقیق حاضر در مورد استان زنجان است. نتایج تحقیق پیش رو، در مقایسه با نتایج درویش‌صفت و همکاران (۲۰۱۶)، به‌منظور تهیه نقشه صنوبر کاری در شهرستان‌های تالش و صومعه‌سرا با استفاده از تصاویر لندست-۸ با صحت ۸۳/۲۸٪ و کاپای نسبتاً اندک ۰/۴۳، نشان می‌دهد در مقایسه با تصاویر لندست-۸ که قابلیت متوسطی در تهیه نقشه صنوبر کاری‌ها دارند، صحت استفاده از تصاویر سنتینل-۲ در تفکیک صنوبر کاری‌ها بیشتر بوده است. همچنین درویش‌صفت و همکاران (۲۰۱۴)، در پژوهش دیگری، قابلیت تصاویر ماهواره‌ای LISSIII و LISSIV را در تفکیک صنوبر کاری‌های شهرستان صومعه‌سرا بررسی و از روش‌های گوناگون طبقه‌بندی سخت و شیوه طبقه‌بندی فازی در سه راهکار متفاوت برای تجزیه و تحلیل استفاده کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد، در سومین راهکار که ناحیه مورد بررسی به سه زیرمنطقه تبدیل و سپس طبقه‌بندی به‌طور مستقل و با روش‌های یادشده انجام شد، در هر سه زیرمنطقه صحت کلی و ضریب کاپا افزایش یافت. بهترین نتیجه طبقه‌بندی به زیرمنطقه یک، با صحت کلی ۸۰٪ و ضریب کاپای ۰/۵۸ براساس تصویر TM سال ۱۳۸۸ بازمی‌گردد و این محققان بیان کردند، در مجموع، صحت تصاویر TM بهتر از IRS بوده است.

کمبود تسهیلات دولتی و کمبود آب از مشکلات مسیر پرورش این درختان، در شهرستان‌هایی مانند ایجرود، شمرده می‌شوند. اگرچه افزایش دما و تبخیر را می‌توان با افزایش بارش یا آبیاری جبران کرد، در مورد مناطقی با میزان بارندگی کم و دسترسی اندک به منابع آبی در دوره‌ای طولانی، کشت صنوبر امکان‌پذیر نیست. با کاهش بارندگی و توزیع‌نشدن آن در دوره رویش و کاهش ظرفیت آبی خاک، به موازات افزایش دما، رشد درختان صنوبر دچار کاهش می‌شود. آموزش و ترویج الگوهای موفق می‌تواند یکی از اقدامات مهم در توسعه صنوبر کاری در استان به‌شمار آید. علیزاده انارکی^۱ و همکاران (۲۰۱۲) علل اقتصادی-اجتماعی کاهش سطح صنوبر کاری در منطقه زنجان‌رود را پایین‌بودن سطح تحسیلات، چندشغله‌بودن صنوبر کاران و جایگزینی کشت‌های دیگر، مانند یونجه و دوره بهره‌برداری طولانی می‌دانند. اقداماتی نظیر آماده‌سازی رویشگاه، به‌همراه انتخاب فاصله کاشت مناسب و رعایت اصول فنی کاشت، داشت و برداشت می‌تواند موجب افزایش رویش درختان صنوبر شود (Asadi et al., 2015). به‌طور کلی به‌منظور بررسی دقیق همراه با صحت بالا، در مورد سطح صنوبر کاری‌های استان‌های گوناگون کشور، تحقیقات کافی انجام نشده است اما، با مرور تحقیقات موردی در این زمینه، می‌توان اظهار داشت که سطح صنوبر کاری‌های کشور و به‌ویژه استان‌های غربی مانند همدان، کردستان، کرمانشاه و زنجان در دهه‌های اخیر کاهش محسوسی نشان می‌دهد (Yousefi & Modirrahmati, 2018). عواملی مانند درآمد بیشتر کشت‌های زراعی و حمایت ناچیز از زراعت چوب، در مقایسه با حمایت‌ها و برنامه‌های دولت در مورد سایر محصولات کشاورزی (تأمین نقدینگی، تأمین نهاد و تضمین خرید) و نیز وجود تنش‌های محیطی، از جمله خشکسالی‌های مکرر در دهه‌های اخیر، در کاهش سطح صنوبر کاری نقش اساسی داشته‌اند. تنش آبی یکی از موانع اصلی در تولید محصولات زراعی و باغی در بسیاری از نقاط دنیا، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، محسوب می‌شود.

1. Alizadeh Anaraki
2. Mohammadpour

صنوبرکاری‌های این استان داشته است. با توجه به نبود اطلاعات مستند دارای دقت مناسب و بهنگام در زمینه مقدار و پراکنش اراضی صنوبرکاری‌ها در استان، یافته‌های این پژوهش می‌تواند اطلاعات پایه و مبنایی باارزشی، برای استفاده در پایش سطح صنوبرکاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در زمینه زراعت چوب در استان فراهم کند.

۵- منابع

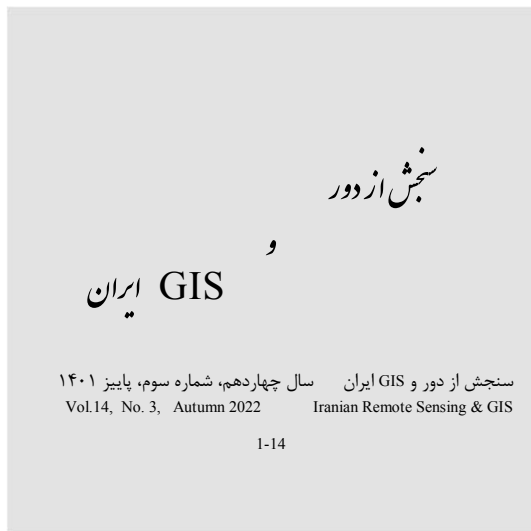
- Asadi, F., 1994, **Investigation of Economic and Social Causes of Population Reduction in Zanjanrood Area**, M.Sc., Faculty of Natural Resources, Tehran University, 110 PP. (In Persian).
- Asadi, F., Nouri, F. & Yousefi, B., 2015, **Vegetative Changes of Populus Nigra L. on the Rivers Margins of Kermanshah Province**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(2), PP. 221-209 (In Persian).
- Alizadeh Anaraki, K., Lashkar Ara, F. & Kiadaliri, H., 2012, **Socioeconomic Factors Influencing Population Development in Guilan Province (Case Study: Somesara County)**, Iranian Forest and Poplar Research, 20(2), PP. 346-356 (In Persian).
- Bagheri, M., Ansari, A., Kazemi, A., Bayat, M., Heidari Masteali, S. & Ahmadloo, F., 2020, **Estimation and Survey of Parks and Green Spaces Per Capita in Khomein Using Remote Sensing and Satellite Imagery**, J. of Environmental Science and Ttechnology, under press.
- Bagheri, M., Ansari, A., Kazemi, A., Bayat, M. & Heidari Masteali, S., 2021, **Investigating the Spatial Distribution of Parks and Urban Green Spaceareas in Khomein Using Landscape Approach and Sentinel-2 Satellite Images**, Scientific Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), 118, PP. 203-218.

1. Eslami & Zahedi
2. Oukrop

با مقایسه این نتیجه با نتایج تحقیق پیش رو، می‌توان دریافت که قدرت و صحت تصاویر سنتینل-۲ در تفکیک محدوده‌های صنوبرکاری بیشتر بوده است. نتایج تحقیق اسلامی و زاهدی^۱ (۲۰۱۱) نیز، در تهیه نقشه صنوبرکاری‌های استان گیلان با استفاده از تصاویر IRS، نشان داد که روش حداکثر احتمال با ۹۱/۴۸٪ از دقت کلی و ۹۰/۷۵٪ ضریب کاپا بهترین روش برای تفکیک کاشت اراضی صنوبر است. نتایج این روش، در مقایسه با تحقیق حاضر، نشان می‌دهد که استفاده از تصاویر IRS نیز دارای صحت خوب، اما کمتر از تصاویر سنتینل-۲، در تفکیک محدوده صنوبرکاری بوده است. برگن و درونوا (۲۰۰۷) توانایی سنجنده ETM+ در تفکیک و تبیین الگوی توالی توده‌های صنوبر را در بیش از ۴۲۰۰ هکتار صنوبرکاری شمال می‌شیگان آمریکا، بررسی کردند و در نتیجه پژوهش آنها، نقشه پوشش صنوبر به‌روش طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی با صحت کلی ۸۹/۹٪ مشاهده شد. اوکروپ^۲ (۲۰۱۲) نیز توده‌های صنوبر لرزان را به سه طبقه سالم، آسیب‌دیده و مخلوط با سوزنی‌برگان، به‌روش تصمیم‌گیری درختی و داده‌های ETM+ تفکیک و تیپ‌بندی کرد. وی اظهار داشت، با استفاده از داده‌های کمکی شیب، جهت و اطلاعات مدیریتی می‌توان به صحت کلی و ضریب کاپای حدود ۸۱٪ و ۰/۶۹ دست یافت. درویش‌صفت و همکاران (۲۰۱۴) در مقایسه با نتایج این تحقیق، در نقشه تفکیک صنوبر در مناطق مورد بررسی خود، به صحت کمتری دست یافته‌اند. بدین ترتیب طبق تحقیق حاضر، استان زنجان، در صورت مهیا شدن شرایط مناسب، می‌تواند به یکی از مهم‌ترین قطب‌های زراعت چوب کشور مبدل شود و چنانچه پیش‌تر هم اشاره شد، بررسی جامع و دقیقی درباره تعیین عوامل مهم اثرگذار در کاهش یا افزایش سطح صنوبرکاری‌های این استان لازم به‌نظر می‌رسد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، می‌توان نتیجه گرفت تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ دقت و صحت مورد قبولی در تعیین و پایش سطح

- Bayat, M., Noi, P.T., Zare, R. & Bui, D.T., 2019, **A Semi-Empirical Approach Based on Genetic Programming for the Study of Biophysical Controls on Diameter-Growth of Fagus Orientalis in Northern Iran**, J. of Remote Sensing, 11(14), PP. 1-18.
- Bergen, K.M. & Dronova, I., 2007, **Observing Succession on Aspen-Dominated Landscapes Using a Remote Sensing-Ecosystem Approach**, J. of Landscape Ecology, 22, PP. 1395-1410.
- Bourque, C.P.A. & Bayat, M., 2015, **Landscape Variation in Tree Species Richness in Northern Iran Forests**, PloS one., 10(4), PP. 1-18.
- Bourque, C.P.A., Bayat, M. & Zhang, C., 2019, **An Assessment of Height-Diameter Growth Variation in an Unmanaged Fagus Orientalis-Dominated Forest**, European J of Forest Research, 138(4), PP. 607-621.
- Eshaghi, M.A. and Shataee Joybari, S., 2016. **Preparation map of Forest Fire Risk Using SVM, RF & MLP Algorithms (Case Study: Golestan National Park, Northeastern Iran)**. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 23(4), pp.1333-154
- Darvishsefat, A. & Shetaei, Sh., 1997, **Forest Landscape Data Mapping Using Digital Method**, Iranian Journal of Natural Resources, 50(2), PP. 40-35 (In Persian).
- Darvishsefat, A., Ghaffari, F. & Bonyad, A., 2014, **Evaluation of Satellite Imaging Capabilities in Population Separation (Case Study: Somaye Sara City)**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(3), PP. 401-392.
- Darvishsefat, A., Arzhang, R., Bonyad, A. & Renoud, Gh., 2016, **Evaluating the Feasibility of Mapping Poplar Trees with Landsat 8 Data (Case Study: Talesh and Somaye Sara Counties)**, Iranian Forest Journal, 3, PP. 312-301 (In Persian).
- Delfan E, Naghavi H, Maleknia R, Nouredini A. **Comparing the Capability of Sentinel 2 and Landsat 8 Satellite Imagery in Land Use and Land Cover Mapping Using Pixel-based and Object-based Classification Methods**. DEEJ. 2020; 8 (25) :1-12
URL: <http://deej.kashanu.ac.ir/article-1-646-fa.html>
- Eslami, A. & Sobheh Zahedi, Sh., 2011, **Providing Poplar Plantation Map by Indian Remote Sensing (IRS) Satellite Imagery in Northern Iran**, African Journal of Agricultural Research, 6(20), PP. 4769-4774.
- Ghorbanian, A., Zaghian, S., Asiyabi, R.M., Amani, M., Mohammadzadeh, A. & Jamali, S., 2021, **Mangrove Ecosystem Mapping Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Satellite Images and Random Forest Algorithm in Google Earth Engine**, Remote Sensing, 13(13), P. 2565.
- Grabska, E., Hostert, P., Pflugmacher, D. & Ostapowicz, K., 2019, **Forest Stand Species Mapping Using the Sentinel-2 Time Series**, Remote Sensing, 11(10), P. 1197.
- Guisan, A. & Theurillat, J., 2000, **Equilibrium Modeling of Alpine Plant Distribution: How Far Can We Go?**, Phytocoenologia, 30, PP. 353-384.
- Hamzeh, B., Ashoori, P., Jalili, A., Habibi, R. & Mousavi, A., 2020, **Comparison of Soil Seed Bank and Vegetation in Semi-Steppe Rangelands of Zanjan Province, Case Study: Anguran Protected Area, Ghara-Boogh Station**, Nature of Iran, 24, PP. 69-80 (In Persian).
- Jia, M., Wang, Z., Wang, C., Mao, D. & Zhang, Y., 2019, **A New Vegetation Index to Detect Periodically Submerged Mangrove Forest Using Single-Tide Sentinel-2 Imagery**, Remote Sensing, 11(17), P. 2043.
- Lashkarbloki, A. & Kohneh, A., 2015, **Seedling Production from Natural Poplar Hybrid Cultivars and their Use in the Comprehensive Timber Program**, Journal of Forest Research and Development, 1(4), PP. 317-307 (In Persian).
- Mohammadpour, P., Kordovani, P. & Ebadattalab, M., 2011, **Investigating the Development of Wood Agriculture in Guilan East Region**, Geographical Land Quarterly, 32, PP. 32-25 (In Persian).
- Pal, M. & Mather, P.M., 2005, **Support Vector Machines for Classification in Remote**

- Sensing**, International Journal of Remote Sensing, 26(5), PP. 1007-1011.
- Richards, J.A., 2013, **Remote Sensing Digital Image Analysis**, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Fifth Edition.
- Sivanpilla, R., Smith, C.T., Srinivasan, R., Messina, M.G. & Ben Wu, X., 2006, **Estimation of Managed Loblolly Pine Stands Age and Density with Landsat ETM+ Data**, Forest Ecology and Management, 223, PP. 247-254.
- Thanh Noi, P. & Kappas, M., 2017, **Comparison of Random Forest, K-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery**, Sensors, 18(1), P. 18.
- Vafaei S, Soosani J, Adeli K, Fadaei H, Naghavi H, Pham TD, Tien Bui D. **Improving Accuracy Estimation of Forest Aboveground Biomass Based on Incorporation of ALOS-2 PALSAR-2 and Sentinel-2A Imagery and Machine Learning: A Case Study of the Hyrcanian Forest Area (Iran)**. Remote Sensing. 2018; 10(2):172. <https://doi.org/10.3390/rs10020172>
- Yousefi, B. & Modirrahmati, A., 2018, **Evaluation of Growth and Production of Poplar (Populus Nigra) Cultivars under a Period of Severe Drought in a Comparative Populetum of Sanandaj**, Iranian Forest and Poplar Research, 26(2), PP. 276-290 (In Persian).



Preparation and Verification of Poplar Plantation Mapping Using Satellite Data of Sentinel-2 and Ground Data in Zanjan Province

Bayat M.*¹, Mirakhorloo² Kh., Sadeghzadeh Hallaj M.H.³, Heidari S.⁴

1. Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran
2. Research Instructor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran
3. Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran
4. Ph.D. of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Abstract

Lack of up-to-date, documented and scientific information on the current situation (area and distribution) of Zanjan poplar plantation is one of the main problems of wood production managers for planning and management of wood supply in the province and the country. In this study, Sentinel-2 satellite data with spatial resolution of 10 m in spectral bands were used and the ground truth map of existing poplar fields with 600 points was plotted in all cities and villages from field surveys. From the beginning to the end of the poplar growing season (first half of March to December 2018), at least 6 time periods of 30 to 40 days were used in the SVM classifier. Post-test and calibration of SVM model based on the phenology of poplar genus and field samples were extracted, populated area distribution map of province was extracted. The results showed that the total area of poplar areas is 2744 hectares which covers 0.12% of total area of Zanjan province. One percent of the total polygons were randomly selected for field control and after field control, the overall mapping error was obtained and calculated. In this study, the exact location and area of poplar mills were estimated with acceptable accuracy (96%). So that using extracted information (distribution map of poplars of the province) can provide studies on comprehensive planning of poplars and sustainable management of wood production from the poplars of the province.

Keyword: Distribution map, Overall accuracy, Poplar population, Satellite data.

* Correspondence Address: Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran. Tel: 09183611561
Email: Mbayat@rifr-ac.ir