مجله ترویجی مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، دوره ۷، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۴، صفحات: ۳۰-۲۳

چالش‌های استفاده از تصاویر نوری سکوهای فضایی در مناطق ابرناکی جنگل‌های هیرکانی

رمضانعلی خرمی[1*]، زهرا نعیمی[2]، حمید فلاح میری[3]، حسن قلیچ‌نیا[4]، مسعود نظیفی[5]، ابوذر ابوذری[6]، شهاب‌الدین میری‌نژاد[5]، سید احسان ساداتی[4]

[1*] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران khorrami20166@gmail.com

[2] گروه فیزیک، دانشگاه تهران، ایران

[3] اداره کل منابع طبیعی مازندران، ساری، ایران

[4] دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

[5] محقق، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

[6] استادیار آموزشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

چکیده

تصاویر نوری سکوهای فضایی به‌عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت کاربری اراضی و مطالعات جنگلداری شناخته می‌شود. این تصاویر که یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ای برای تشخیص و پایش پوشش جنگلی و تغییر کاربری اراضی هستند به‌دلیل دسترسی جهانی، وضوح مکانی مناسب و داده چندطیفی، در مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی کاربرد گسترده‌ای پیدا کردند. با وجود این، استفاده از این تصاویر در مناطقی از کره زمین مانند شمال ایران که در آن تعداد روزهای ابری سال زیاد است با چالش جدی همراه است، به‌طوری که نمی‌توان از آنها اطلاعات قابل اطمینانی را استخراج کرد. پوشش ابر در اغلب روزهای سال در یک منطقه، مانع از رسیدن بازتاب‌های طیفی سطح زمین به سنجنده‌های ماهواره‌ها می‌شود، در نتیجه تعداد تصاویر قابل استفاده به‌شدت کاهش می‌یابد که این موضوع تحلیل‌های چندزمانه و پایش پویایی و تغییرات پوشش گیاهی را با مشکلات فراوانی مواجه می‌سازد. استفاده از داده‌های چندمنبع و تحلیل سری زمانی، استفاده از ترکیب داده‌های لیدار و رادار برای پرکردن خلأ داده‌های ابری، اعمال روش‌های تصحیح ابری و بلوک‌بندی سری زمانی تصاویر به‌منظور استفاده بهینه از بلوک‌های متناظر بدون ابر تصاویر می‌تواند کیفیت تحلیل و دقت طبقه‌بندی را بهبود بخشد.

واژگان کلیدی: پوشش ابر، تصاویر نوری، جنگلداری، سکوهای فضایی، کاربری اراضی.

بیان مسئله

تصاویر نوری سکوهای فضایی به‌عنوان ابزاری کلیدی در مطالعات جنگلداری و مدیریت کاربری اراضی شناخته می‌شود. این تصاویر یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ای برای تشخیص و پایش پوشش جنگلی و تغییر کاربری اراضی هستند. در چند دهه اخیر، تصاویر نوری سنجش از دور در مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی کاربرد گسترده ای پیدا کردند.

تصاویر نوری ماهواره‌ای مانند لندست (Landsat)، سنتینل ۲ (Sentinel-2) پلانت اسکاپ (PlanetScope) به‌دلیل دسترسی جهانی، وضوح مکانی مناسب و داده چندطیفی، اقبال و کاربرد گسترده‌ای در مطالعات کشاورزی و منابع طبیعی پیداکرده‌اند (Liu *et al.*, 2018). با وجود این، استفاده از این تصاویر در مناطقی از کره زمین مانند شمال ایران که در آن تعداد روزهای ابری سال زیاد است با چالش‌ها و محدودیت‌های جدی همراه است، به‌طوری که نمی‌توان از آنها اطلاعات قابل اطمینانی را استخراج کرد. مناطقی از شمال کشور به‌ویژه در استان گیلان و بخش غربی استان مازندران با اقلیم مرطوب و بارش سالانه بالا، یکی از مناطق بحرانی در کاربرد تصاویر سنجش از دور هستند؛ زیرا بیش از ۵۰- ۳۰ درصد تصاویر ماهواره‌ای در بسیاری از فصول سال تحت پوشش ابری قرار دارند (Asner, 2009).

تکرار زیاد پوشش ابر در اغلب روزهای سال در یک منطقه، مانع از رسیدن بازتاب‌های طیفی سطح زمین به سنجنده‌های ماهواره‌ها می‌شود، در نتیجه تعداد تصاویر قابل استفاده به‌شدت کاهش می‌یابد که این موضوع تحلیل‌های چندزمانه و پایش پویایی و تغییرات پوشش گیاهی را با مشکلات فراوانی مواجه می‌سازد. علاوه بر پوشش ابر، سایه ابرها موجب کاهش بازتاب طیفی پوشش مختلف زمین شده و این وضعیت کارآیی الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده را در تمایز و تفکیک پدیده‌هایی مانند آب، خاک مرطوب و پوشش گیاهی ضعیف و به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. رطوبت بالا، بخار آب و مه نیز موجب افزایش اثرات جوی و کاهش دقت شاخص‌های طیفی مانند NDVI و NDWI می‌گردد، به‌گونه‌ای که حتی پس از اعمال تصحیحات جوی، بخشی از عدم قطعیت‌ها همچنان باقی می‌ماند.

در جنگل‌های پهن‌برگ متراکم هیرکانی به‌دلیل پدیده اشباع طیفی در باند مادون قرمز نزدیک، حساسیت شاخص‌های پوشش گیاهی نسبت به تغییرات واقعی بیوماس کاهش می‌یابد. مجموعه این عوامل موجب افت دقت تشخیص و طبقه‌بندی پوشش/کاربری اراضی و برآورد مشخصه‌های کلیدی در مطالعات کشاورزی و جنگلداری می‌شود.

دستاوردها

چالش‌های استفاده از تصاویر نوری سنجش از دور ماهواره‌ای مانند تصاویر ماهواره‌ای Landsat، Sentinel-2 یا WorldView در مناطق پر ابر برای مطالعات منابع زمینی، شناسایی و تولید نقشه پراکنش مکانی عرصه‌های زراعی، باغی و توده‌های جنگلی، متعدد است که برخی از آنها شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- پوشش ابری و کاهش دسترسی به داده‌ها

در برخی از مناطق ابری جهان، ممکن است فقط چند تصویر بدون ابر در سال در دسترس باشد. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها برای ماهواره‌های منابع زمینی، وجود ابرها است که می‌تواند دید سنجنده‌های ماهواره‌ها را در روزهای ابری به زمین مسدود و مانع دریافت بازتاب طیفی و تصویر واضح از پدیده‌های واقع بر روی زمین در مناطق ابرناکی شود. ابرها تا ارتفاع کمتر از ۲۰ کیلومتر حضور دارند، اما ماهواره‌های منابع زمینی در ارتفاع بیش از ۵۰۰ کیلومتر در مدارهایی معین به دور کره زمین در حرکت هستند و تصویربرداری می‌کنند. ماهواره‌های نوری تنها در شرایط روز و وجود نور خورشید قادر به تصویربرداری هستند. در مناطقی مانند استان های گیلان و مازندران و به‌ویژه غرب استان مازندران که تعداد روزهای ابری در

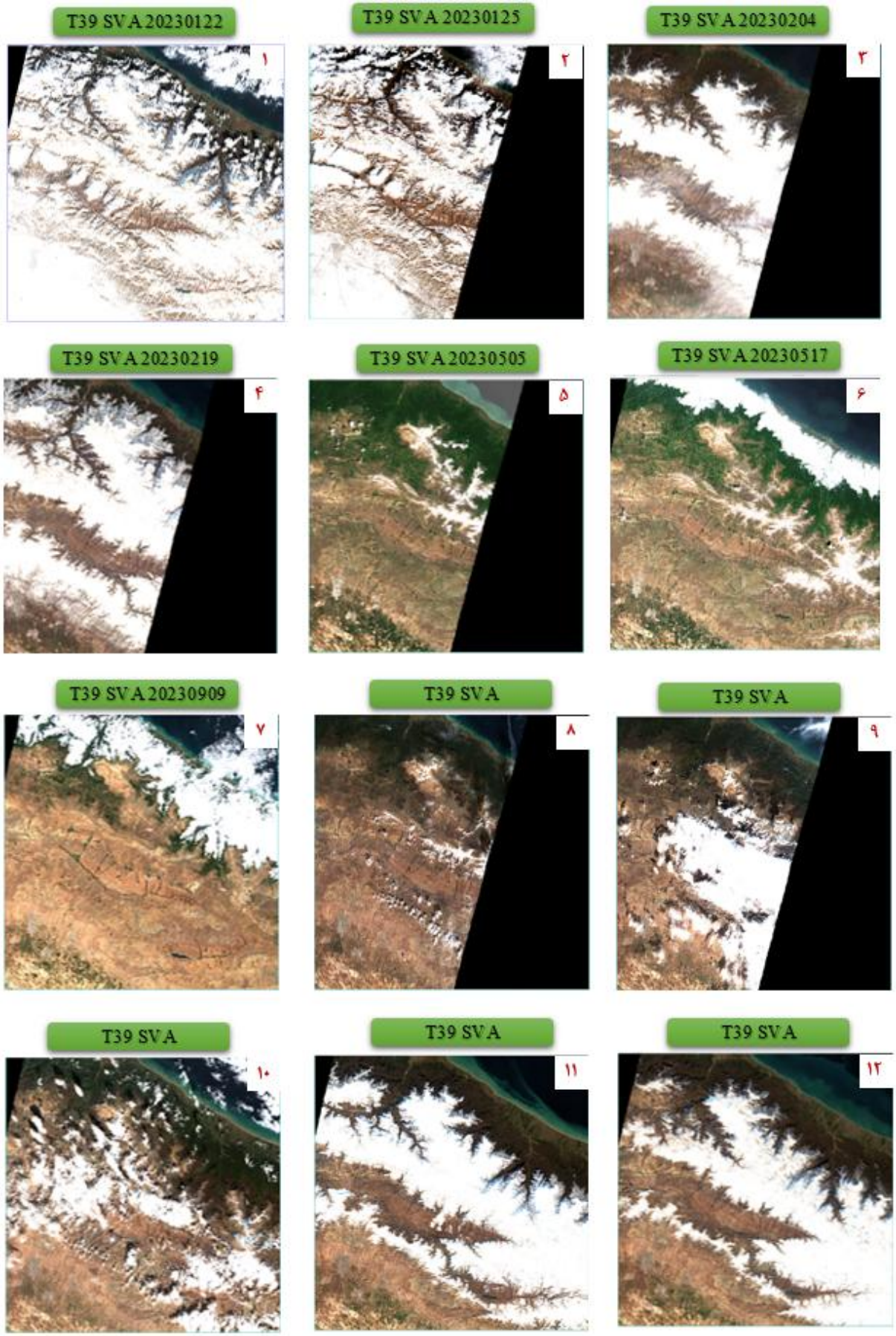
سال زیاد است، بسیاری از تصاویر نوری به‌طور کامل و یا بخشی از آنها پوشیده از ابر هستند، به‌طوری که بیش از دو سوم تصاویر سالانه در سطح وسیع عملاً غیرقابل استفاده هستند. این موضوع موجب می‌شود تا تعداد تصاویر قابل استفاده کاهش یابد و بررسی تغییرات فصلی یا سالانه پدیده‌ها با مشکل مواجه شود.

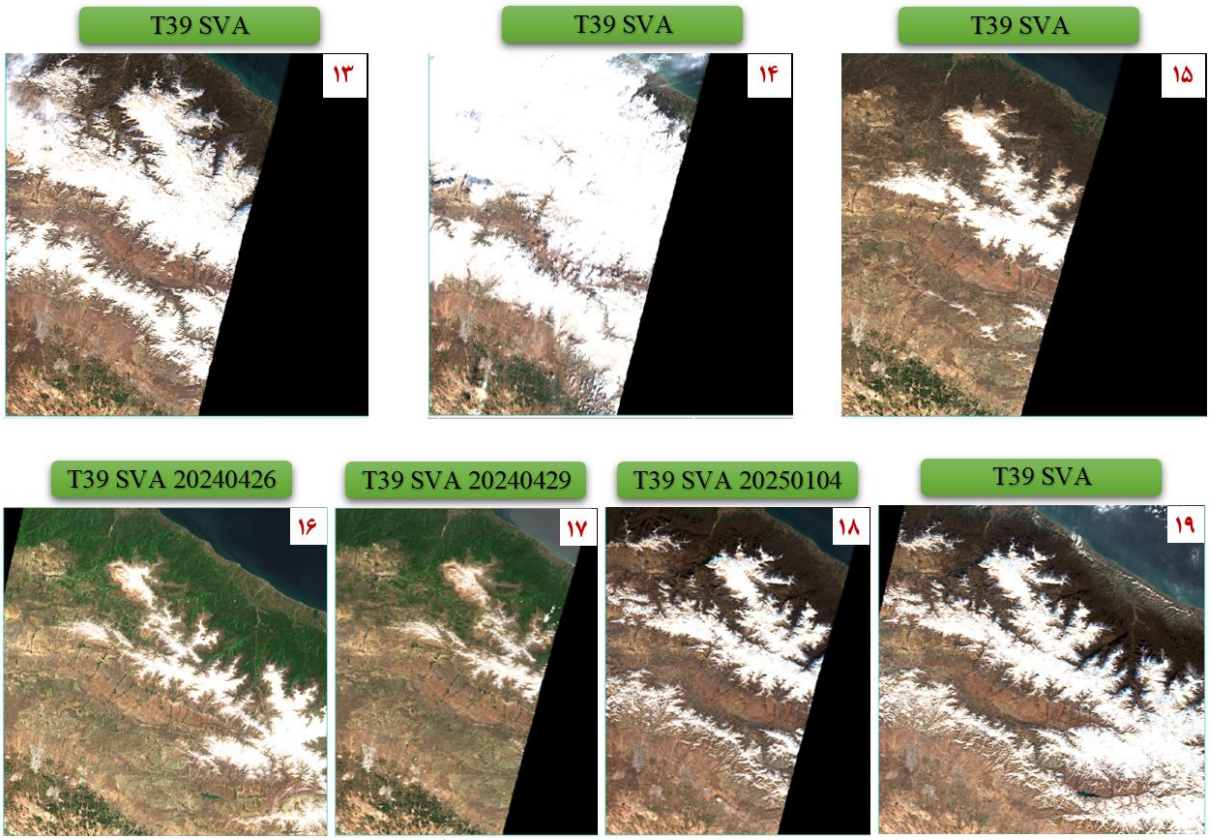
۲- محدودیت‌های زمانی تصویربرداری

به جز ماهواره پلانت اسکاپ که روزانه از نقاط مختلف کره زمین تصویربرداری می‌کند، اغلب ماهواره‌های منابع زمینی مانند لندست‌ها هر چند روز فقط یک تصویر از تمام منطقه کره زمین تولید می‌کنند. برای مثال لندست‌ها هر ۱۶ روز یک تصویر و ماهواره‌های سنتینل ۲ می‌توانند هر ۵ روز یک تصویر از یک منطقه به وسعت یک میلیون هکتاری (مربعی به ابعاد ۱۰۰ کیلومتر) تولید کنند (مرادی و همکاران، ۱۴۰۰). این به این معنی است که سنتینل ۲ می‌تواند فقط در یک ماه تعداد ۶ تصویر در ۶ روز و در یک سال تعداد ۷۲ تصویر در ۷۲ روز (تعداد یک پنجم روزهای سال) تولید کند. اما این به این معنی نیست که تمام ۷۲ تصویر بدون ابر و قابل استفاده باشند (خرمی و همکاران، ۱۴۰۳).

در مناطق هیرکانی، هم‌زمانی شرایط روزهای تصویربرداری ماهواره‌ها از یک منطقه و نبود ابر در آن منطقه در همان روز کاملاً تصادفی و به‌ندرت رخ می‌دهد که این موضوع تعداد تصاویر قابل استفاده را محدود می‌کند. بررسی چند سال متوالی تصاویر سنتینل ۲ در مناطق شمالی مانند استان‌های گیلان و مازندران به وضوح نشان داد که از ۷۲ تصویر برداشت شده در یک سال، کمتر از یک چهارم آنها مربوط به روزهای بدون ابر بوده است و بقیه شامل تصاویری می‌شوند که تمام تصاویر و یا بخش‌هایی از آنها را ابر پوشانیده است. تصاویر ماهواره‌ای زیر مربوط به یک فریم از تصویر سنتینل ۲ بوده که شامل شرق استان گیلان و غرب استان مازندران می‌شود (شکل ۱). در این تصاویر که مربوط به ماه‌های مختلف سال‌های ۲۰۲۳، ۲۰۲۴ و ۲۰۲۵ میلادی می‌باشد، به‌ندرت می‌توان تصویری یافت که بخش‌هایی از آن و یا بیشتر آن پوشیده از ابر نباشد (شکل ۲).

شکل ۱- محدوده استان گیلان و بخش غربی استان مازندران


T39 SVA 20230122
۱
T39 SVA 20230125
۲
T39 SVA 20230204
۳
T39 SVA 20230219
۴
T39 SVA 20230505
۵
T39 SVA 20230517
۶
T39 SVA 20230909
۷
T39 SVA
۸
T39 SVA
۹
T39 SVA
۱۰
T39 SVA
۱۱
T39 SVA
۱۲



شکل ۲- تصاویر ۱۹-۱ مربوط به یک فریم از تصویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ برداشت شده در تاریخ‌های مختلف سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ میلادی واقع در بخش مرزی استان‌های گیلان و مازندران

۳- وجود سایه‌های ابر

ابرها می‌توانند سبب ایجاد انعکاس نوری و سایه شوند که در نهایت منجر به اشتباه در تجزیه و تحلیل تصاویر می‌شود. سایه‌های ابر حتی اگر جزئی باشند می‌توانند در تشخیص نوع پوشش زمین خطا ایجاد کنند و ممکن است یک قطعه زمین زراعی یا بخشی از جنگل به‌اشتباه به‌عنوان خاک برهنه یا پوشش دیگر شناسایی شود. زیرا سایه‌ها موجب کاهش مصنوعی بازتاب طیفی پدیده‌های زیرین خود می‌شوند. همچنین این سایه‌ها می‌توانند به‌اشتباه به‌عنوان عوارضی مانند آب‌های سطحی، خاک مرطوب یا پوشش گیاهی ضعیف تفسیر شوند. در جنگل‌های متراکم هیرکانی، تفکیک سایه ابر از سایه تاج درختان نیز دشوارتر می‌شود.

۴- مشکل در شاخص‌های پوشش گیاهی

شاخص‌های رایج مانند NDVI و EVI تحت تأثیر ابر و سایه قرار می‌گیرند. در این حالت ارزیابی سلامت گیاهان و تراکم پوشش و یا تفکیک گونه‌ها به درستی انجام نمی‌شود.

۵- تشخیص نوع پوشش گیاهی

ابرها می‌توانند تشخیص نوع پوشش گیاهی را مختل کنند، به‌ویژه در مناطق جنگلی، مراتع و باغ‌ها که دارای تنوع گیاهی بسیار زیادی هستند.

۶- ایجاد خطا در طبقه‌بندی و برآورد پارامترها

کارآیی الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده، تابع دقت داده‌های ورودی و دقت نقشه‌های موضوعی است که کاملاً تحت تأثیر کیفیت تصاویر می‌باشد. وجود ابر در تصویر می‌تواند موجب افزایش خطای طبقه‌بندی شود و به‌طور کاذب بین زراعت و خاک برهنه، بین باغ و بوته‌زار و بین جنگل‌های متراکم و نیمه متراکم هم‌پوشانی طیفی ایجاد کند. وجود ابر، سایه و اثرات جوی علاوه بر کاهش دقت طبقه‌بندی کاربری/پوشش اراضی، موجب ایجاد خطای فاحشی در برآورد پارامترهایی مانند سطح زیرکشت، تراکم پوشش گیاهی و بیوماس نیز می‌شود.

۷- مشکل در مطالعات زمانی و پایش دوره‌ای

در مناطق پر ابر، ممکن است تصاویر کارآمد برای تجزیه و تحلیل زمان واقعی (مانند تغییرات فصلی) به سختی قابل دسترس باشد، زیرا نیاز به زمان‌های متعددی برای جمع‌آوری تصویر وجود دارد. پایش فنولوژی و رشد محصول و تغییرات منابع پایه و جنگل‌ها، مستلزم استفاده از تصاویر زیاد و پیوسته در بازه‌های زمانی کوتاه است. مناطق پر ابر سبب ایجاد فاصله زمانی طولانی بین دو تصویر متوالی قابل استفاده می‌شود که این وضعیت تحلیل و مطالعه روندهای کوتاه‌مدت و یا حتی فصلی را دشوار و ناممکن می‌سازد. این مسئله به‌ویژه در مطالعات کشاورزی که نیازمند پایش پیوسته مراحل مختلف رشد گیاه هست، موجب ایجاد شکاف‌های زمانی در داده‌ها می‌شود. تحلیل‌های چندزمانه که برای پایش تغییرات پوشش گیاهی، خشکسالی و عملکرد محصولات کشاورزی ضروری هستند، در مناطق ابرناک با چالش جدی مواجه‌اند. ناپیوستگی داده‌ها و کمبود تصاویر بدون ابر، استخراج الگوهای زمانی دقیق را با مشکل روبه‌رو می‌کند که می‌تواند منجر به برآوردهای نادرست شود.

۸- هزینه و پیچیدگی پردازش داده‌ها

به‌کارگیری تصاویر ابری مستلزم استفاده از فیلتر ابر، تصحیح اتمسفری و تکنیک‌های پرکردن فضای خالی (gap-filling)، ترکیب تصاویر چندزمانه، الگوریتم‌های حذف ابر (Cloud Masking) و داده‌های راداری می‌باشد که همه این موارد زمان و هزینه پردازش داده‌ها و طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد.

۹- پیچیدگی پردازش و افزایش عدم قطعیت

پردازش تصاویر نوری در مناطق ابرناک مستلزم استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته تشخیص ابر و سایه، ترکیب تصاویر چندزمانه و تصحیحات جوی پیچیده است. این اقدامات علاوه بر افزایش حجم محاسبات، با افزایش عدم قطعیت در تحلیل تغییرات، عدم قطعیت نهایی نتایج را نیز افزایش می‌دهد.

۱۰- محدودیت در مطالعات کشاورزی

برای مثال تشخیص تاریخ کاشت و برداشت و برآورد عملکرد محصولات با خطا همراه می‌باشد و در این وضعیت تنش آبی یا بیماری گیاهی با استفاده از تصویر سکوهای فضایی قابل پایش نیستند.

۱۱- محدودیت در منابع طبیعی

پایش تخریب جنگل‌ها، پایش تجاوز به عرصه‌های جنگلی واقع در همسایگی اراضی اشخاص و تغییر مرز جنگل‌ها در نتیجه تغییر کاربری به زمین‌های کشاورزی، ویلاسازی و مناطق مسکونی با تصاویری که دارای پوشش ابری باشند کاری دشوار

و واجد خطای فاحشی می‌باشد. با استفاده از این تصاویر تشخیص آتش‌سوزی‌های کوچک و شناسایی آبگیرها و استخرهای طبیعی در جنگل فاقد دقت کافی است.

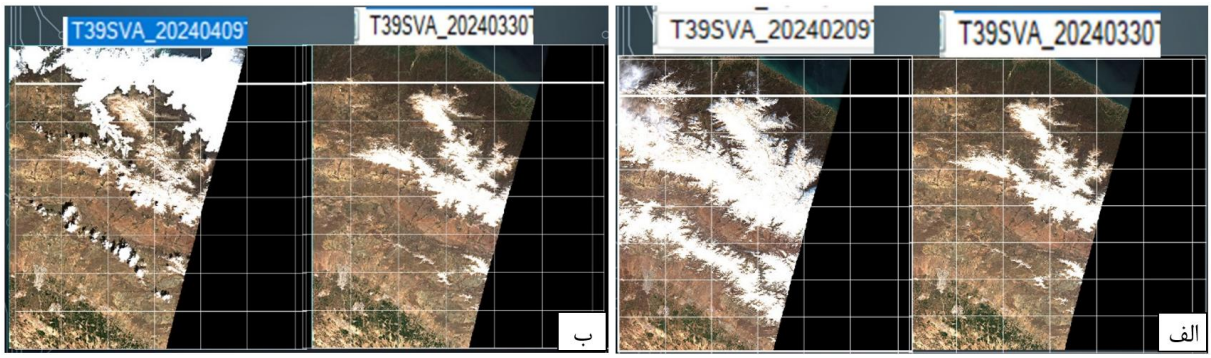
تصاویر نوری سکوهای فضایی یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ها برای پایش، مدل‌سازی و مدیریت پوشش‌های جنگلی، کاربری اراضی و تغییرات اکوسیستم هستند. با این حال، در مناطق شمالی ایران به‌ویژه در استان گیلان و بخش غربی استان مازندران، به‌دلیل پوشش ابری متراکم و ناپایداری جوی، استفاده از تصاویر نوری با چالش‌های جدی و محدودیت‌های قابل توجهی مواجه است. نتایج نشان می‌دهد که پوشش ابری زیاد عامل مهمی برای ایجاد خطاهای طبقه‌بندی، آشفتگی زمانی و از دست رفتن اطلاعات طیفی بوده و از مهم‌ترین موانع کاربری این تصاویر در مطالعات بلندمدت هستند. دستاورد محققان برای کاهش اثر محدودیت‌های استفاده از تصاویر نوری در مناطق ابرناکی و همچنین دستاورد پژوهش انجام شده توسط خرمی و همکاران (۱۴۰۳) برای تولید نقشه های موضوعی در مناطق یادشده به‌منظور بهبود کیفیت تحلیل و افزایش دقت طبقه‌بندی و کاهش خطاها شامل موارد زیر بوده است:

- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که فاصله زمانی بین دو تصویر متوالی کمترین و به‌عبارتی توان تفکیک زمانی تصاویر زیاد باشد تا از این طریق تعداد تصاویر بدون ابر و قابل استفاده افزایش یابد.
- بلوک‌بندی سری زمانی تصاویر به‌منظور استفاده بهینه از تصاویر مناطق مشابه بدون ابر در تحلیل‌ها
- ادغام تصاویر چند منبع مانند تصاویر Sentinel 2 + Landsat + PlanetScope
- استفاده از ترکیب داده‌های لیزری (LiDAR) یا رادار (SAR) برای پرکردن خلأ داده‌های ابری

ماهواره‌های سنتینل ۲ هر سه تا پنج روز یک تصویر از هر نقطه از کره زمین تولید می‌کند. یعنی از یک پارسل جنگلی از یک مزرعه و از هر نقطه دیگر کره زمین، هر ماه ۶ تا ۱۰ و سالانه ۷۲ تا ۱۲۰ تصویر تولید و به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌دهد. اما به‌دلیل ابرناکی مناطق شمالی مانند استان مازندران در طول سال، بسیاری از این تصاویر فاقد کیفیت لازم برای پردازش هستند. با وجود چالش ابرناکی در پژوهشی، خرمی و همکاران (۱۴۰۳) توانستند با استفاده از ۱۲ فریم تصویر سنتینل ۲ که به ۱۲ زمان مختلف (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آبان و آذر، بهمن) مربوط می‌شد نقشه پراکنش مکانی استان مازندران را با دقت بیش از ۹۰ درصد تولید کنند. نتایج به‌دست آمده در پژوهش یادشده بیانگر این است که در شرایط اقلیمی بخش مرکزی استان مازندران (در فاصله آمل تا نکا) تعدادی کافی از سری زمانی تصاویر سنتینل ۲ بدون پوشش ابر موجود است که بتوان با استفاده از آنها نقشه های موضوعی مانند نقشه پراکنش مکانی توده‌های جنگلی، باغ‌ها و محصولات زراعی را تولید کرد.

توصیه ترویجی

- استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای به‌جای استفاده از تصویر یک زمانه برای تولید نقشه‌های موضوعی مانند نقشه کاربری اراضی، نقشه پراکنش مکانی توده‌های جنگلی و محصولات زراعی
- در حال حاضر استفاده از تصاویر ماهواره‌های سنتینل ۲ به‌دلیل این که این ماهواره‌ها در هر ماه ۶ تا ۱۰ تصویر رایگان عرضه می‌کند و از توان تفکیک طیفی زیادی برخوردار است بر سایر داده‌ها ترجیح دارد. زیاد بودن تعداد تصاویر تولیدی در این ماهواره‌ها شانس استفاده از تصاویر بدون ابر را افزایش و ناپیوستگی و کمبود تصاویر را کاهش می‌دهد.
- بلوک‌بندی سری زمانی تصاویر به‌منظور استفاده بهینه از بلوک‌های بدون ابر تصاویر در تحلیل‌ها (شکل ۳)



شکل ۳- بلوک‌بندی سری زمانی تصاویر و استفاده از بلوک‌های فاقد پوشش ابر در تحلیل‌ها و طبقه‌بندی‌ها

الف) دو تصویر سنتینل ۲ مربوط به دو زمان ۲۰۲۴/۲/۹ و ۲۰۲۴/۳/۳۰ ب) دو تصویر سنتینل ۲ مربوط به دو زمان ۲۰۲۴/۴/۹ و ۲۰۲۴/۳/۳۰

فهرست منابع

خرمی، ر.، نعیمی، ز.، محمودی، م.، محمودی پاردکلایی، م.، فلاح میری، ح.، نظیفی، م.، مافی، ش. و مختارپور، ا. ۱۴۰۳. نقشه دقیق باغات مرکبات تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای مبنایی برای تعیین مرز جنگل. مجله ترویجی مدیریت پایدار جنگل‌های هیرکانی، ۶ (۲): ۲۳-۱۵.

مرادی، ت. و همکاران. ۱۴۰۰. کاربرد داده‌های Sentinel-2 در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی جنگل‌های هیرکانی. مجله محیط زیست ایران، ۲۹ (۱): ۱۳۰-۱۱۲.

Asner, G.P. 2009. Tropical forest carbon assessment: integrating satellite and airborne mapping approaches. Environmental Research Letters, 4 (3), 034009.

Liu, Y.A., Gong, W.S., Hu, X.Y. and Gong, J.Y. 2018. Forest Type Identification with Random Forest Using Sentinel-1A, Sentinel-2A, Multi-Temporal Landsat-8 and DEM Data. Remote Sens., 10, 946.