



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۱، دوره ۵، شماره ۳، صص ۳۷۳-۳۵۷

چندفصلی سنتینل ۱ و ۲ به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی در فضای ابری گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: استان گیلان)

- سعید راستی^{۱*}، مصطفی مهدوی فرد^۲ سید هدایت شیخ قادری^۳ دکتر ابودر نصیری^۴ نازنین زهرا نکتاز
- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران saeed.rasti95@ut.ac.ir
- ۲- کارشناسی ارشد سنجش از راه دور دانشگاه تبریز
- ۳- کارشناسی ارشد سنجش از راه دور دانشگاه خوارزمی تهران
- ۴- استادیار آموزش عالی فیروزآباد
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از راه دور دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

چکیده

نقشه‌های به‌روز و دقیق کاربری اراضی نقش مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کند. هدف از این پژوهش علاوه بر تهیه نقشه دقیق پوشش اراضی استان گیلان، مقایسه و ارزیابی نقشه‌های تولید شده با استفاده از داده‌های چندفصلی راداری و اپتیکی و همچنین ترکیب این داده‌ها با یکدیگر به منظور بهبود دقت نقشه طبقه‌بندی شده می‌باشد. در این راستا داده‌های با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر سنتینل ۲ و قطبش VH راداری سنتینل ۱ در باند C به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی در محیط پردازشی گوگل ارث انجین مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد که نتایج استفاده از داده‌ی راداری سنتینل ۱ به تنهایی یا استفاده از تصاویر سنتینل ۲ به تنهایی، به ترتیب دارای ضریب کاپای ۰.۷۲ و ۰.۸۴ درصد و دقت کلی به ترتیب ۷۸.۵۱ و ۸۷.۴۱ درصد است. این در حالی است که استفاده هم‌زمان از داده‌ی سنتینل ۱ و سنتینل ۲ با رویکرد ترکیب داده‌ها در محیط گوگل ارث انجین، نتایجی بسیار مطلوب‌تری را حاصل و باعث بهبود دقت طبقه‌بندی می‌شود. به طوری که نقشه‌ی تهیه شده با استفاده از ترکیب چندفصلی هم‌زمان تصاویر سنتینل ۱ و ۲ دارای ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۰.۹۷ و ۹۷.۷۷ درصد برآورد گردید. در این پژوهش پیکسل‌های کاربری بایر در تصاویر سنتینل ۱ به دلیل شباهت میزان بازپراکنش و در تصاویر سنتینل ۲ به علت شباهت طیفی، سبب عملکرد نامناسب الگوریتم طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان در تفکیک کلاس بایر و شهر از هم گردید. به طور کلی نتایج این پژوهش بیانگر آن است که ترکیب هم‌زمان داده‌های سنتینل ۱ و ۲ برای بهبود دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی جهت نقشه‌برداری می‌تواند بسیار مناسب عمل کند و کلاس‌های اراضی را با توانایی بالا از هم جدا سازد.

کلید واژگان: کاربری اراضی، گوگل ارث انجین، سنتینل ۱، سنتینل ۲، ترکیب داده، گیلان

مقدمه

نقشه‌های دقیق و به‌موقع کاربری اراضی نقش مهمی در فرایند برنامه‌ریزی و توسعه در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه دارد که از آن جمله می‌توان به امنیت غذایی، برنامه‌ریزی کاربری زمین و برنامه‌ریزی برای مدیریت محیط‌زیست و منابع طبیعی اشاره کرد (Saah et al, 2019:150; Shetai et al, 2008:129). تغییرات کاربری اراضی بسته به کارکرد و شرایط آب و هوایی، بر وضعیت و فرایندهای اکولوژیکی منطقه تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین ارزیابی و بررسی وضعیت آن‌ها به‌طور مداوم، می‌تواند نقش اساسی در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های درخور این مناطق داشته باشد. امروزه رشد سریع فناوری سنسور از دور امکاناتی فراهم آورده که از طریق تصاویر ماهواره‌ای با ماهیت راداری و اپتیکی می‌توان در مقیاس‌های زمانی و مکانی نقشه‌های به‌روز کاربری اراضی تولید کرد. اگرچه مدت‌هاست که داده‌های سنسور از دور چند طیفی با موفقیت برای طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش اراضی مورد استفاده عموم قرار می‌گیرند (Wanger & Anser et al, 2017:1; Waske, 2016:245; Wanger et al, 2017:1) اما سیستم‌های مشاهدات نوری با مشکل ابرناکی شدید در برخی مناطق روبرو هستند که این عملکرد نامناسب و محدودکننده در مطالعات مختلف به آن اشاره شده است (Anser et al, 2001:3855; Leinenkugel et al, 2014:2799)؛ بنابراین استفاده از داده‌های راداری برای طبقه‌بندی پوشش اراضی در مناطق مستعد ابر همانند مناطق پوشیده از جنگل می‌تواند مناسب باشد (Steinhausen et al, 2018:595). در این راستا داده‌های راداری با روزه مصنوعی هنگامی که با تصاویر چندطیفی ترکیب می‌شوند، اطلاعات مختلف اما مکملی برای بهبود طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری اراضی ارائه می‌دهند. اگرچه ترکیب داده‌های^۱ راداری و نوری به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش اراضی جذاب است اما از ترکیب هم‌زمان داده‌ها به‌ندرت استفاده می‌شود (Joshi et al, 2016:1). ادغام داده‌ها^۲ اساساً شامل ترکیب یا تلفیق^۳ داده‌ها در منابع متعدد به‌منظور استخراج هرچه بهتر اطلاعات است؛ در واقع این روش شامل یکپارچه‌سازی داده‌هایی که ماهیت چندزمانه^۴، چندتفکیکی^۵، چندسنسورهی^۶ یا چند داده‌ای^۷ دارند، می‌باشد (CCRS, 2005: 164). در این میان مطالعات مربوط به کاربری اراضی و تهیه نقشه‌های گوناگون از آن‌ها با استفاده از سنسورهای مختلف به‌طور هم‌زمان نیازمند اخذ و پیش‌پردازش‌های زیادی است که می‌تواند زمان تجزیه و تحلیل و پردازش‌ها را تا حد زیادی بالا ببرد. لذا در دسترس بودن منبعی که بتواند این زمان و حجم این پردازش‌ها را کاهش حائز اهمیت است. در این راستا افزایش تعداد سنسورهای داده‌های ماهواره‌ای رایگان منجر به ظهور پلتفرم‌های جدیدی همانند گوگل ارث انجین شده است (Carrasco et al, 2019:288). گوگل ارث انجین^۸ یک پلتفرم رایانش ابری است که در سال ۲۰۱۰ توسط شرکت گوگل راه‌اندازی شد (Kumar & Mutanga, 2018:1509). این سامانه آبی با استفاده از یک زیرساخت محاسباتی پردازشی با کارایی بالا پژوهشگران را قادر می‌سازد تا به راحتی و با سرعت بالا به آرشیوی از داده‌های رایگان دسترسی و آن‌ها را پردازش کند (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۹:۲۱۵). در این راستا جهت بهره‌مندی از ویژگی سنسورهای ماهیت‌های متفاوت و ترکیب آن‌ها باهم مطالعات زیادی به‌منظور بهبود دقت طبقه‌بندی که بعضاً هم با سامانه‌ی گوگل ارث انجین بوده انجام گرفته است. در ادامه به بعضی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

1- Data composition

2- Data integration

3- fusion

4- Multi Temporal

5- Multi Resolution

6- Multi Sensor

7- Multi Data

8- Google Earth Engine

(مهدوی فرد و همکاران، ۱۳۹۹) در پژوهشی با استفاده از ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ با استفاده از سامانه GEE به منظور تهیه نقشه کشت برنج در شهرستان جویبار پرداختند. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن بود که با ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و ۲ با استفاده از فناوری گوگل ارث انجین دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۸۷٪ و ۹۵٪ به دست آمده است که به نحو بهتری طبقات مختلف کاربری اراضی شناسایی و از هم جدا کرده است. (Sim et al, 2013) در تحقیقی با ترکیب تصاویر نوری با تصاویر راداری ALOS PALSAR و استفاده از طبقه‌بندی حداکثر احتمال به تهیه نقشه کاربری اراضی و پوششی پرداختند. نتایج تحقیق فوق حاکی از آن بود که ترکیب تصاویر چندسنگنده‌ای باهم کیفیت طبقه‌بندی را بالاتر برده و دقت کلی طبقه‌بندی افزایش پیدا کرده است. (Hirschmugl et al, 2018) در تحقیقی با ترکیب تصاویر سری زمانی سنتینل ۱ (راداری) و سنتینل ۲ (نوری) به تهیه نقشه پوشش جنگل و اراضی برای برنامه‌های REDD+^۱ در مالاوی پرداختند. یافته‌های حاصل از این تحقیق حاکی از آن بود که دقت کلی نقشه تولیدی برای کاربری جنگل با استفاده سری زمانی تصاویر نوری ۸٪ بیشتر از تصاویر تک زمانه است و از طرف دیگر با ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ دقت کلی برای نقشه پوشش زمین ۵٪ و برای نقشه جنگل ۱۰۵٪ افزایش یافته است. (Steinhausen et al, 2018) برای بهبود نقشه پوشش زمین و کاربری اراضی در مناطق موسمی از ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ و الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی بهره جستند. نتایج حاصله حاکی از آن بود که با ترکیب ۱ فصل از تصاویر سنتینل ۲ و ۸ فصل از سنتینل ۱ بالاترین دقت کلی در نقشه طبقه‌بندی به دست آمده است. (Zhen et al, 2018) جهت بهبود طبقه‌بندی جنگل‌های حرا از ترکیب تصاویر راداری SAR سنجنده‌ی Radarsat-2 و تصاویر اپتیک لندست ۸ و الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند. یافته‌های پژوهش نشان داد که دقت کلی تنها با استفاده از اطلاعات تصاویر نوری ۸۳۰۵ درصد است، در حالی که با ترکیب از تصاویر نوری و راداری باهم دقت طبقه‌بندی میزان متفاوتی بهبود یافته و بالاترین دقت کلی ۹۵٪ به دست آمده است. (Lopes et al, 2020) در پژوهشی با ترکیب سری زمانی تصاویر راداری و اپتیک (سنتینل ۱ و ۲) در ساواناها به تهیه نقشه پوشش گیاهی طبیعی پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ و ترکیب سری زمانی سنتینل ۲ برای تهیه نقشه پوشش گیاهی کیفیت و دقت طبقه‌بندی افزایش و بهبود پیدا می‌کند. (Borges et al, 2020) تحقیقی به منظور تهیه و بهینه‌سازی نقشه پوششی زمین منطقه ساواناها از ترکیب سه فصل تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ استفاده کردند. نتایج حاصله حاکی از آن بود که اولاً دقت کلی تصاویر اپتیک سنتینل ۲ نسبت به تصاویر راداری سنتینل ۱ بالاتر است و به‌طور کلی در همه‌ی شرایط با ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ دقت کلی نقشه‌های تولیدشده بهبود پیدا می‌کنند. (Dong et al, 2020) در پژوهشی با استفاده از ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ در محیط سامانه‌ی گوگل ارث انجین و الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی به شناسایی و تهیه نقشه یک‌گونه‌ی مهاجم خطرناک درخور ژانگ‌جیانگ چین پرداختند. نتایج حاصله حاکی از آن بود که در یک محدوده‌ی زمانی بهینه مربوط به سه ماه مختلف، دقت طبقه‌بندی بالا بوده و دقت کلی به ۹۹٫۳۵٪، ۹۹٫۶۳٪ و ۹۹٫۶۳٪ به دست آمده است.

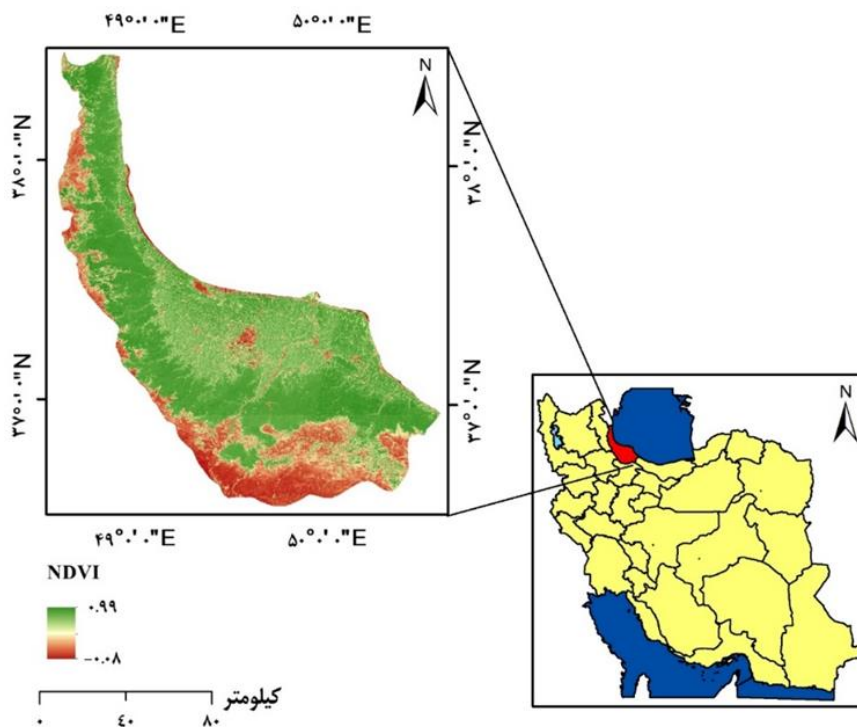
همان‌طور که از ادبیات تحقیق مشخص است ترکیب تصاویر با ماهیت‌های مختلف راداری و اپتیک دقت نقشه‌های خروجی طبقه‌بندی را تا حد زیادی بهبود بخشیده است و در این راستا مطالعات محدود و ناقصی در داخل کشور انجام گرفته است. لذا هدف این تحقیق ارزیابی و مقایسه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی استان گیلان حاصل از تصاویر چندفصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) راداری و نوری (سنتینل ۱ و ۲) و ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و ۲ با یکدیگر با بهره‌گیری از سامانه‌ی تحت وب گوگل ارث انجین (GEE) می‌باشد. به این صورت که عملکرد هرکدام از تصاویر فوق و ترکیب آن‌ها باهم جهت بهبود دقت طبقه‌بندی تهیه نقشه کاربری اراضی سنجنده و به ارزیابی عملکرد و تفاوت خروجی‌های حاصله پرداخته خواهد شد.

¹- Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation

مواد و روش

منطقه‌ی مورد مطالعه

استان گیلان یکی از استان‌های شمالی ایران به مرکزیت کلانشهر رشت است. استان گیلان در مختصات، $۲۷^{\circ} ۳۸'$ تا $۳۶^{\circ} ۳۴'$ شمالی و $۵۳^{\circ} ۴۸'$ تا $۵۰^{\circ} ۳۴'$ شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان، از شمال به دریای کاسپین و کشور آذربایجان که از طریق آستارا با آن دارای مرز بین‌المللی است، از غرب به استان اردبیل، از جنوب به استان زنجان و قزوین و از شرق به استان مازندران محدود می‌شود. مساحت گیلان ۱۴۶۰۴۴ کیلومتر مربع و جمعیت آن طبق سرشماری ۱۳۹۵ ۲۰۵۳۰۶۹۶ نفر است. در کرانه استان گیلان دریای خزر واقع شده است. اقلیم و طبیعت این منطقه تفاوت بسیاری با دیگر مناطق ایران دارد؛ به طوری که تعداد زیاد رودخانه‌هایی که از کوه‌ها سرازیرند باعث شده این منطقه از وفور رطوبت در رنج باشد نه از نبود آن. این استان تنوع بالایی در کاربری جنگل در دامنه‌های کوهستانی پرشیب دارد و به لحاظ تنوع اقلیمی و امنیت غذایی کشور از اهمیت بالایی برخوردار است و به همین علت سطح گسترده‌ای از استان گیلان به اراضی کشاورزی اختصاص یافته است (نورالدینی و بنیاد، ۱۳۹۹).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

داده‌های مورد استفاده

در مطالعه کنونی، به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی منطقه مطالعاتی از تصاویر چندفصلی اپتیک سنتینل ۲ و تصاویر راداری سنتینل ۱ در سال ۲۰۲۰ بهره گرفته شد (جدول ۱). ماهواره سنتینل ۲ جزء ماهواره‌های چندطیفی آژانس فضایی اروپاست. این ماهواره دارای ۱۳ باند طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی با توان تفکیک مکانی‌های متفاوت (۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر) است. در سوی دیگر ماهواره‌ی سنتینل ۱ که ماهیتی راداری دارد در باند C و در دو قطبش عمودی-عمودی^۱ و عمودی-افقی^۲ از زمین با دقت مکانی ۵ تا ۲۰ متر تصویر برداشت می‌کند. با وجود دوقلو بودن سری ماهواره‌های سنتینل، دوره بازبینی مجدد از منطقه مطالعاتی در استوا به ۵ روز کاهش یافته است. در این مطالعه از میانگین تصاویر چندفصلی بدون ابر بازتاب پایین جو سنجنده سنتینل ۲ و همچنین تصاویر چند فصلی GRD سنتینل ۱ در گوگل ارث انجین استفاده شد. بسیاری از محققین قطبش عمودی - افقی را به منظور پایش پوشش اراضی پیشنهاد داده‌اند (Walker et al, 2014; Baghdadi et al, 2017)، بنابراین در این پژوهش از میزان بازپراکنش قطبش VH استفاده گردید.

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده

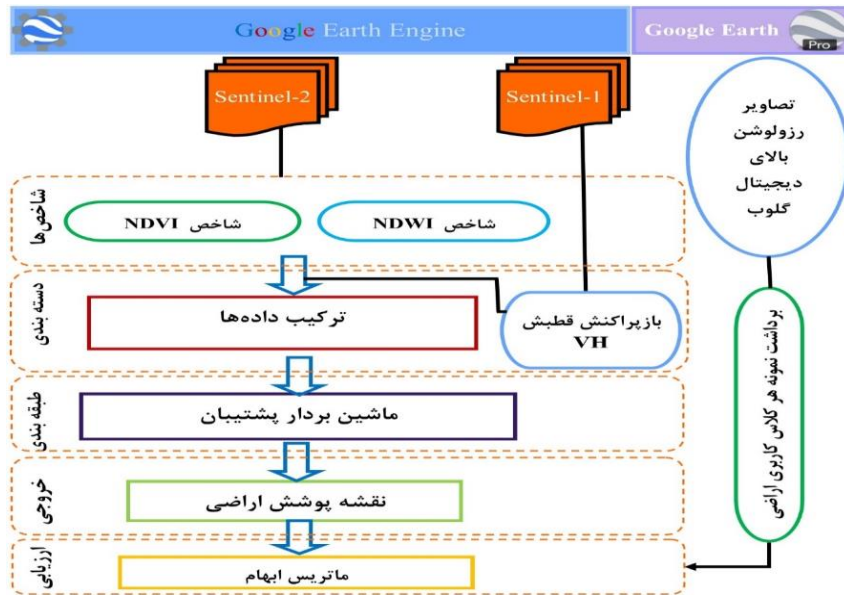
ماهواره	ID	بازه زمانی (میانگین فصول)	باند / قطبش	مکانی توان (متر)
Sentinel-1	COPERNICUS / S1	۲۰۲۰/۴/۱	VH	
		۲۰۲۰/۱/۱		
Sentinel-2	COPERNICUS/ S2	۲۰۲۰/۷/۱	۴ و ۸	۱۰
		۲۰۲۰/۴/۱		
		۲۰۲۰/۱۰/۱		
		۲۰۲۰/۷/۱		
		۲۰۲۱/۱/۱		
		۲۰۲۰/۱۰/۱		
Google Earth Engine				

1- Vertical Vertical (VV)

2- Vertical Horizontal (VH)

پردازش تصاویر

همان‌طور که مراحل انجام تحقیق در نمودار جریان‌ی شکل (۲) نشان داده شده است، به‌منظور پیاده‌سازی انواع شاخص طیفی چند فصلی، پیش‌پردازش و پردازش داده‌های چند فصلی راداری، ترکیب داده‌ها و درنهایت تهیه نقشه پوشش اراضی از سامانه پردازشگر آنلاین گوگل ارث انجین استفاده به عمل آمد.



شکل ۲. مدل مفهومی پژوهش

به دلیل وجود پوشش گیاهی متنوع در منطقه مطالعاتی اعم از زمین‌های کشاورزی و پوشش جنگلی که از روش‌نمایی مشابهی نسبت به یکدیگر برخوردار بودند و در یک تصویر از هم قابل تفکیک نبودند از شاخص‌های چند فصلی طیفی بهره گرفته شد. شاخص‌های طیفی باعث افزایش خواص طیفی گیاهان، آب‌وخاک می‌شوند. در این مطالعه از ۲ شاخص پرکاربرد پوشش گیاهی و پهنه آبی برای تمیز و جدایش هر چه بهتر اراضی استفاده شد (جدول ۲). با توجه به اینکه باندهای لبه قرمز و مادون‌قرمز نزدیک باریک ۲۰ متر بودند از این باندها برای محاسبات شاخص‌ها صرف‌نظر شد و فقط از باندهای ۱۰ متری مرئی و مادون‌قرمز نزدیک بهره گرفته شد.

جدول ۲. شاخص‌های مورد استفاده

منبع	معادله	اختصار	شاخص
Rouse, ۱۹۷۴	$\frac{\text{قرمز} - \text{مادون قرمز نزدیک}}{\text{قرمز} + \text{مادون قرمز نزدیک}}$	NDVI	تفاضلی نرمال شده گیاه
McFeeters, ۱۹۸۶	$\frac{\text{مادون قرمز نزدیک} - \text{سبز}}{\text{مادون قرمز نزدیک} + \text{سبز}}$	NDWI	تفاضلی نرمال شده آب

ترکیب داده‌ها، طبقه‌بندی و ارزیابی نتایج

پس از محاسبه شاخص‌های طیفی چندفصلی بروی تصاویر سنتینل ۲، برای کاهش نویز فلغل نمکی تصاویر چندفصلی بازپراکنش راداری قطبش عمودی-افقی^۱ محصول GRD، فیلتر کاهش نویز میانه^۲ ۳۰ درصد اعمال شد. این فیلتر از یک هسته نام‌گذاری شده یا سفارشی و فیلتر کاهش دهنده مورفولوژی برای هر بانده از تصویر استفاده می‌کند (تارنمای: گوگل ارث انجین). سپس تمامی شاخص‌ها و تصاویر بازپراکنش چندفصلی با قطبش عمودی افقی در یک دیتاست واحد باهم ترکیب شدند. در مجموع تعداد دیتاست ترکیبی سنتینل ۲ و سنتینل ۱ شامل ۱۲ بانده (۴ شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی^۳، ۴ شاخص نرمال شده اختلاف پهنه آبی^۴ و ۴ تصویر بازپراکنش عمودی-افقی) بودند. تمامی این فرایندها در سامانه نوین گوگل ارث انجین مورد پردازش قرار گرفتند. در گام آخر به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی از طبقه‌بندی نظارت‌شده بهره گرفته شد. طبقه‌بندی نظارت‌شده بر اساس دانش موجود از نواحی تصویر مورد مطالعه صورت می‌گیرد. در این روش‌ها ابتدا لازم است مقادیری (کلاس‌های پوشش اراضی) توسط کاربر وارد الگوریتم شوند. به‌طور کلی این روش‌ها بر اساس الگوریتم‌های آماری یا شبکه عصبی کار می‌کنند (Mather, 2011). ماشین بردار پشتیبان^۵ یکی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است که می‌تواند در سامانه گوگل ارث انجین استفاده شود. این الگوریتم پرکاربرد یک الگوریتم یادگیری آماری غیر پارامتریک نظارت‌شده است و می‌تواند برای طبقه‌بندی یا رگرسیون استفاده شود (Mahendra et al, 2019). طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نیازمند تعداد کافی نمونه آموزشی با پراکندگی مناسب در کلاس‌های مختلف اراضی است. بدین منظور تعداد ۱۵۰ نمونه با پراکندگی مناسب برای هر کلاس انتخاب گردید که با احتساب ۵ کلاس پوشش اراضی مجموع ۷۵۰ نمونه آموزشی انتخاب گردید که در نهایت این نمونه‌ها در ورودی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی تصاویر چندفصلی اپتیک و رادار قرار گرفتند. شایان‌ذکر است که در این مطالعه یک‌بار شاخص‌های چندفصلی و تصاویر بازپراکنش راداری به‌صورت مجزا به‌منظور تهیه نقشه پوشش اراضی طبقه‌بندی شدند و بار دیگر به‌صورت ترکیبی تصاویر چندفصله اپتیک و راداری باهم برای تهیه

^۱- Vertical-Horizontal (VH)

^۲- Median

^۳- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

^۴- Normalized Difference Water Index (NDWI)

^۵- Support Vector Machine (SVM)

نقشه پوشش اراضی مورد طبقه‌بندی واقع شدند. در مطالعه کنونی به منظور ارزیابی نقشه‌های پوشش اراضی ایجاد شده از تصاویر رزولوشن بالای شرکت دیجیتال گلوب در گوگل ارث استفاده شد. بدین منظور تعداد ۱۳۵ نمونه با میانگین ۲۷ نمونه برای هر کاربری با پراکندگی مناسب از گوگل ارث برداشت گردید. (Foody, 2020) پیشنهاد کرده است که برای ارزیابی دقت نقشه‌های موضوعی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای معمولاً نایست به تنهایی از پارامتر ضریب کاپا استفاده شود؛ بنابراین در این مطالعه برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی هر یک از نقشه‌های طبقه‌بندی شده از پارامترهای دقت کلی^۱، دقت تولیدکننده^۲ و دقت کاربر^۳ در ماتریس ابهام استفاده شد. معادلات این پارامترها در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳. پارامترهای آماری ماتریس خطای استفاده شده در پژوهش

منبع	شرح	فرمول	پارامتر ابهام
Jansen ۲۰۱۵	در اینجا k تعداد ردیف‌ها (به‌عنوان مثال: کلاس‌های پوشش زمین) در ماتریس خطا، x _{ii} تعداد مشاهدات در سطر i و ستون i است و x _{i+} + و x _{+j} به ترتیب مجموع حواشی برای سطر i و ستون j است و N تعداد کل نمونه‌ها است.	$\frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}$	ضریب کاپا
	در اینجا x _{ii} تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده است و x ₁₊ تعداد پیکسل‌های یک دسته و x _{+j} تعداد پیکسل‌های یک نمونه در دسته است.	$UA = \frac{x_{ii}}{x_{1+}}$	دقت کاربر
		$PA = \frac{x_{j+}}{x_{+j}}$	دقت تولیدکننده
محمدی و همکاران، ۲۰۲۰	در اینجا OA دقت کل مدل را تعریف می‌کند، پیکسل‌های آموزشی توسط N شرح داده می‌شوند و P pii تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده صحیح را نشان می‌دهد.	$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii}$	دقت کلی

- 1- Overall Accuracy
- 2- Producer Accuracy
- 3- User Accuracy

بحث و نتایج

نتایج ارزیابی دقت نقشه‌های پوشش اراضی حاصل از تصاویر راداری سنتینل ۱، تصاویر چندطیفی سنتینل ۲ و ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و ۲ با استفاده از تعداد ۱۵۰ نمونه آموزشی در جداول (۴، ۵ و ۶) آورده شده است. دقت کلی نقشه‌های حاصله از S1، S2 و S1+S2 به ترتیب ۷۸.۵۱، ۸۷.۴۰ و ۹۷.۷۷ است. همچنین ضریب کاپای نقشه‌های تهیه‌شده از S1، S2 و S1+S2 به ترتیب ۰.۷۲، ۰.۸۴ و ۰.۹۷ است. نتایج به‌دست‌آمده نشان از دقت بالای نقشه حاصله از ترکیب تصاویر راداری و اپتیک دارد.

جدول ۴. نتایج پارامتر آماری ماتریس ابهام نقشه پوشش اراضی ترکیبی سنتینل ۱ و ۲

ماهواره	کاربری	جنگل	کشاورزی	پهنه آبی	شهر	بایر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر
سنتینل ۲ ۱+	جنگل	۱۰۰	۳.۳۳	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۶.۷۷
	کشاورزی	۰	۹۶.۶۷	۰	۰	۰	۹۶.۶۷	۱۰۰
	پهنه آبی	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
	شهر	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰	۱۰۰	۹۳.۷۵
	بایر	۰	۰	۰	۰	۰	۹۰	۱۰۰
	دقت کلی: (۱۳۲/۱۳۵) ۹۷.۷۷							
ضریب کاپا: ۰.۹۷								

جدول ۵. نتایج پارامتر آماری ماتریس ابهام نقشه پوشش اراضی سنتینل ۱

ماهواره	کاربری	جنگل	کشاورزی	پهنه آبی	شهر	بایر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر
سنتینل ۱	جنگل	۷۰	۰	۰	۲۳.۳۳	۲۰.۰	۷۰	۶۵.۶۳
	کشاورزی	۳.۳۳	۹۶.۶۷	۴.۰	۰	۱۰.۰	۹۶.۶۷	۸۷.۸۸
	پهنه آبی	۳.۳۳	۰	۹۶.۰	۰	۲۵.۰	۹۶.۰	۸۰.۰
	شهر	۱۶.۶۷	۰	۰	۷۶.۶۷	۱۰	۷۶.۶۷	۸۲.۱۴
	بایر	۶.۶۷	۳.۳۳	۰	۰	۰	۴۵.۰	۷۵.۰
دقت کلی: (۱۰۶/۱۳۵) ۷۸.۵۱								
ضریب کاپا: ۰.۷۲								

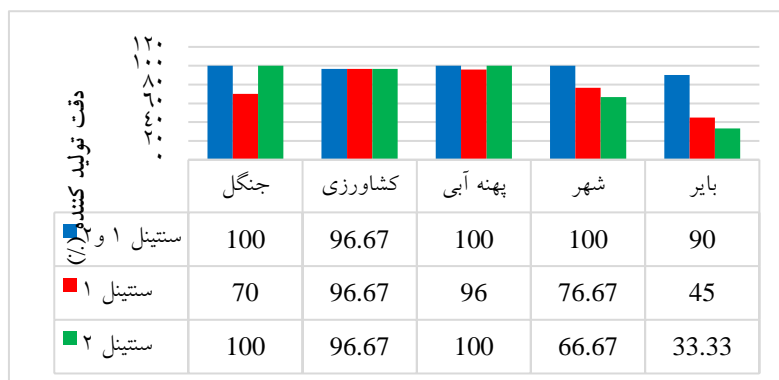
جدول ۶. نتایج پارامتر آماری ماتریس ابهام نقشه پوشش اراضی سنتینل ۲

ماهواره	کاربری	جنگل	کشاورزی	پهنه آبی	شهر	بایر	دقت تولیدکننده	دقت کاربر
سنتینل ۲	جنگل	۱۰۰	۳.۳۳	۰	۰	۰	۱۰۰	۹۶.۷۷
	کشاورزی	۰	۹۶.۶۷	۰	۰	۰	۹۶.۶۷	۱۰۰
	پهنه آبی	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۱۰۰
	شهر	۰	۰	۰	۶۶.۶۷	۳۰.۰	۶۶.۶۷	۷۶.۹۲
	بایر	۰	۰	۰	۳۳.۳۳	۷۰.۰	۷۰	۵۸.۳۳
دقت کلی: (۱۱۸/۱۳۵) ۸۷.۴۰								
ضریب کاپا: ۰.۸۴								

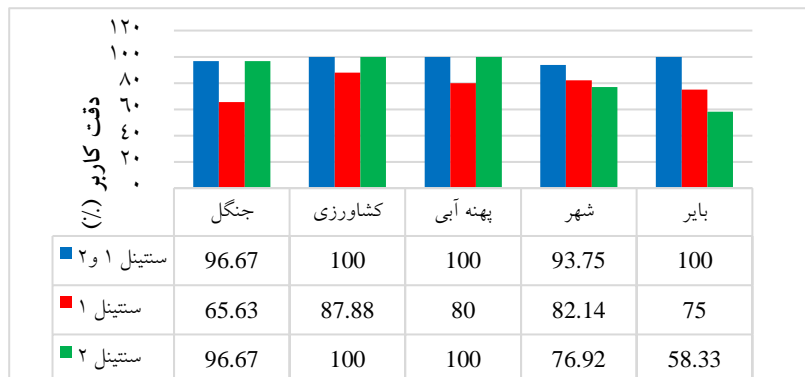
نتایج نشان داد که ترکیب داده‌های راداری سنتینل ۱ با داده‌های چندطیفی سنتینل ۲ باعث افزایش دقت کلی تا حدود ۹۷.۷۷ و ضریب کاپای حدود ۰.۹۷ می‌شود. شکل (۳ و ۴) به ترتیب نشان‌دهنده نمودار دقت تولیدکننده و دقت کاربر نقشه حاصل از تصویر سنتینل ۱، سنتینل ۲ و ترکیب سنتینل ۱ و ۲ است. کلاس کشاورزی در هر سه سناریو دقت تولیدکننده برابری (۹۶.۶۷) را برآورد نموده است. در این بین دقت تولیدکننده کلاس بایر در تصاویر سنتینل ۱ و سنتینل ۲ به ترتیب برابر با ۴۵ و ۳۳.۳۳ درصد حاصل شد که نشان از

دقت نامناسب کلاس طبقه‌بندی توسط تولیدکننده است. به‌طورکلی ترکیب دو تصویر سنتینل ۱ و ۲ باعث بهبود دقت کلی بیش از ۹۶ درصد در تمامی کلاس‌های کاربری شده است.

شکل (۴) دقت کاربر کلاس‌های نقشه‌های حاصل از سه سناریو استفاده‌شده را نشان می‌دهد. بر طبق این نمودار دقت کاربر کلاس پهنه آبی و کشاورزی در سه سناریو استفاده‌شده بیش از ۸۰ درصد است. به‌طورکلی دقت کاربر کلاس‌های نقشه مستخرج از ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و ۲ بیش از ۹۰ درصد و به ترتیب در نقشه مستخرج از سنتینل ۱ و ۲ بیش از ۶۵ و ۵۸ درصد است.

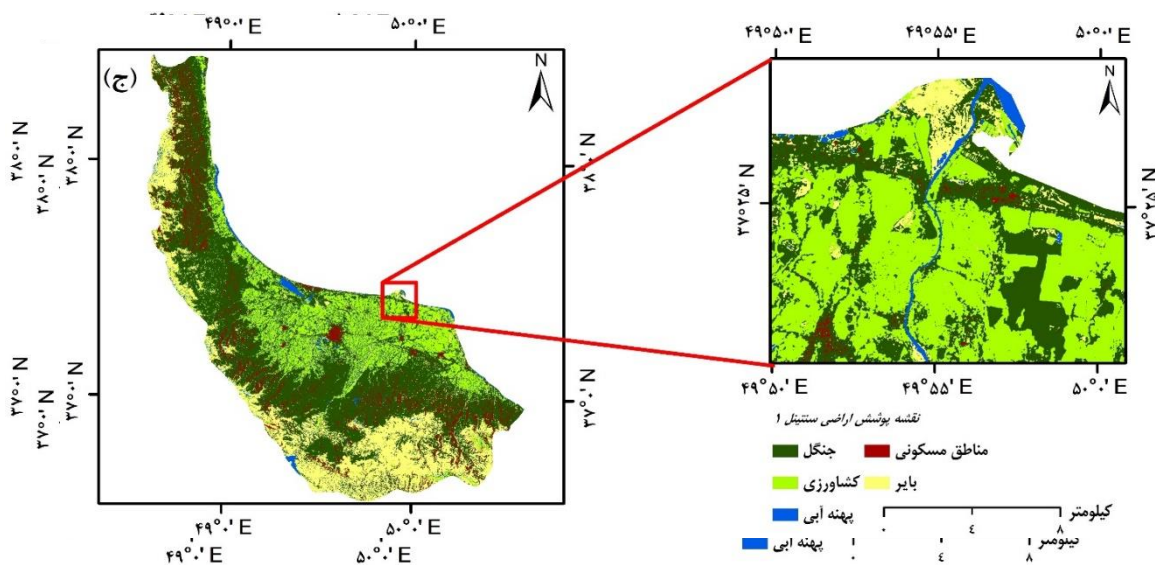


شکل ۳. دقت تولیدکننده کلاس‌های اراضی سه سناریو مورد استفاده



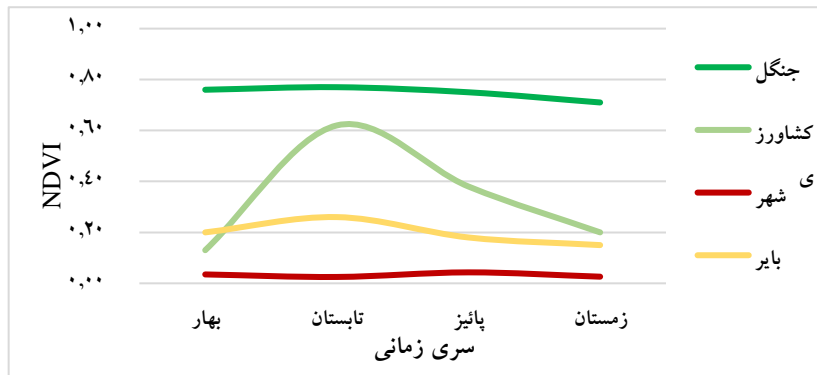
شکل ۴. دقت کاربر کلاس‌های اراضی سه سناریو مورد استفاده

شکل (۵) نتایج تهیه نقشه پوشش اراضی با استفاده از تصاویر چندفصلی به‌تنهایی سستینل ۱، سستینل ۲ و ترکیب تصاویر سستینل ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نمایان است تصویر چندفصلی سستینل ۱ در استخراج کلاس بایر و جنگل به‌صورت مطلوب عمل نکرده است و در سوی دیگر تصویر چندفصلی سستینل ۲ کلاس بایر و شهر را از هم به‌خوبی استخراج نکرده است. این در حالی است که ترکیب تصاویر چندفصلی سستینل ۱ و ۲ به‌صورت مطلوب توانسته کلاس‌های اراضی را از هم تمیز و تفکیک کند.



شکل ۵. نقشه پوشش اراضی تهیه‌شده با استفاده از ترکیب تصاویر چندفصلی سستینل ۱ و ۲ (الف)، تصویر سستینل ۲ (ب) و تصویر سستینل ۱ (ج).

میانگین شاخص اختلافی نرمال شده پوشش گیاهی چند فصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) در شکل (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل نمایان است مقدار این شاخص برای پوشش جنگلی در طی فصول تقریباً برابر (بیش از ۰.۷) است. این در حالی است که مقدار این شاخص برای زمین کشاورزی یا زیر کشت محصول در طی فصول دارای نوسان شدیدی است. مقدار فصلی پوشش کوهستانی و بایر نیز دارای مقادیر نسبتاً مشابهی در حدود ۰.۲۳ و همچنین برای پوشش شهری نیز این مقدار در فصول کاملاً یکسان است.



شکل ۶. پروفیل NDVI چندفصلی جنگل، کشاورزی، شهر و بایر تصاویر سنتینل-۲ در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰

در این پژوهش تلاش شد با استفاده از پردازشگر آئی گوگل ارث انجین (GEE) به ارزیابی و مقایسه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی استان گیلان حاصل از تصاویر راداری و نوری سری سنتینل و ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و ۲ با یکدیگر، پرداخته شود. در همین راستا مطالعات زیادی توسط محققین صورت پذیرفته است. (Veloso et al, 2017; Whyte et al, 2017) نشان دادند که ترکیب داده‌های نوری و SAR می‌تواند دقت استخراج اطلاعات پوشش زمین در مناطق کاملاً ناهمگن را بهبود بخشد. در مطالعه‌ای دیگر (Hirschmugl et al, 2018) با ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و ۲ دقت طبقه‌بندی نقشه‌های خویش را به‌منظور تهیه نقشه‌ی کاربری پوشش زمین و جنگل افزایش دادند. همچنین (Lopes et al, 2020) نتایجشان حاکی از آن است که ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و ۲ دقت نقشه‌های پوش گیاهی تولیدی را بهبود بخشیده است. در ادامه همین پژوهش‌ها، مطالعات (Dong et al, 2020) و (Borges et al, 2020) نیز بیانگر آن است که دقت نقشه‌های تولیدی حاصل از ترکیب سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ و ۲ در تمامی شرایط به‌صورت چشم‌گیری افزایش پیدا می‌کند. در واقع تمامی این پژوهش‌ها تأییدی بر مطالعه کنونی است. همان‌طور که از جدول (۵) هم قابل استناد است دقت نقشه ایجادشده با داده سنتینل ۱ به‌تنهایی، حاکی از آن است که استفاده از این تصاویر به دلیل ماهیت آن‌ها به‌تنهایی برای تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی مناسب نبوده و ادغام کلاسی و اختصاص دادن پیکسل‌های یک کلاس به کلاس‌های دیگر به‌وفور در آن نمایان است. از دلایل عملکرد نامناسب این نوع داده به‌تنهایی می‌توان به تن سیاه‌وسفید برخی اراضی در تصویر و نویزهای فلغل نمکی اشاره کرد که باعث کاهش دقت طبقه‌بندی‌شده است. از طرف دیگر نظر به جدول (۶)، دقت طبقه‌بندی نقشه‌ی تولیدی حاصل از تصویر سنتینل ۲ نسبت به خروجی سنتینل ۱ به‌صورت قابل‌توجهی بهبود پیدا کرده است، اما با این حال نیز پیکسل‌های زیادی هستند که به کلاس‌های اشتباه تعلق‌گرفته‌اند و دلیل این امر بازتاب‌های طیفی کاربری‌هایی است که شباهت طیفی بالایی باهم دارند؛ بنابراین این عامل باعث شده که طبقه‌بندی‌کننده دچار چالش شود و در تفکیک کلاس‌های مختلف به‌صورت مناسب عملکردی را ارائه ندهد. درنهایت با توجه به نتایج پارامترهای ماتریس ابهام می‌توان پی برد که ترکیب تصاویر چندفصلی سنتینل ۱ و سنتینل ۲ شامل ترکیب شاخص‌ها و تصاویر بازپراکنش چندفصلی با قطبش VH در یک دیتاست (۴ شاخص NDVI، ۴ شاخص

NDWI و ۴ تصویر بازپراکنش (VH) دقت طبقه‌بندی را به صورت بالقوه‌ای افزایش داده است. این بدین معنا است که ادغام کلاسی در نتایج حاصل از آن به صورت قابل توجهی کاهش داده است و دقت کلی و ضریب کاپا نسبت به خروجی‌های حاصل از نقشه‌های سنتینل ۱ و سنتینل ۲ افزایش چشم‌گیری داشته است. در واقع با ترکیب سری زمانی خصوصیات طیفی تصاویر سنتینل ۲ و تصاویر بازپراکنشی با قطبش VH سنتینل ۱ نقاط ضعف هر کدام از تصاویر را به نحو مطلوب پوشش و باعث شده که الگوریتم طبقه‌بندی کننده با میزان خطای کمتری کلاس‌های مختلف را از هم تفکیک کند. در این میان همان‌طور که در شکل (۵) نمایان است، منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر تعدد کلاس اراضی و همچنین ناهمگن بودن کلاس‌ها به علت شباهت طیفی و بازپراکنش پدیده‌ها پیچیده است و استفاده تنهایی از تصاویر سنتینل ۱ و حتی سنتینل ۲ باعث کاهش جزئیات و ادغام کلاس‌های مختلف شده و تفکیک کلاس‌ها را به مراتب پایین آورده است. از طرف دیگر ترکیب هم‌زمان این تصاویر باهم نه تنها کلاس‌ها را با دقت بالاتری از هم تفکیک کرده است بلکه با جزئیات بیشتری کلاس‌های اراضی را استخراج کرده است. نظر به شکل (۶) که منحنی چندفصلی پوشش اراضی را نشان می‌دهد، پوشش پاییز و شهری در طی فصول مختلف دارای تن تیره‌تری نسبت به سایر پوشش اراضی بوده است چراکه این دو پوشش دارای مقدار شاخص ۰ تا منفی بوده است و در واقع این دلیلی بر عدم تفکیک مناسب اراضی شهر و بایر در تصویر نوری سنتینل ۲ است اما از سویی دو پوشش دیگر به دلیل رفتار شاخصی مختلفی که طی فصول از خود نشان داده‌اند دلیلی بر توانایی تفکیک مناسب این دو پوشش توسط داده‌های چندفصلی سنتینل ۲ بوده است.

نتیجه‌گیری

نقش علم سنجش‌ازدور برای نقشه‌برداری به‌موقع از کاربری‌های سطح زمین برای بهبود قابلیت‌های پایش، جلوگیری از دست رفتن تنوع زیستی، برنامه‌ریزی دقیق جهت مدیریت آن‌ها و ... غیرقابل‌انکار است. در این میان تهیه‌ی نقشه‌ی دقیق و به هنگام از سطح کاربری‌های زمین، نیازمند سنجنده‌های با ماهیت مختلف تصویربرداری می‌باشد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی‌های نرم‌افزاری و توسعه‌ی سنجنده‌های ماهواره‌ای با ماهیت راداری و اپتیکی، امکان استفاده‌ی هم‌زمان و مکمل از تصاویر راداری و اپتیکی باهم جهت برطرف کردن رخنه‌ها و نواقص یکدیگر فراهم شده است. این تحقیق باهدف ارزیابی عملکرد تصاویر چندفصلی سنتینل ۱، ۲ و ترکیب آن‌ها به‌منظور تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی استان گیلان اعم از پوشش جنگل، پوشش زمین، شهری و درنهایت مقایسه و ارزیابی نتایج آن‌ها باهم در محیط سامانه‌ی GEE انجام گرفت. با توجه به یافته‌های حاصل از پژوهش کنونی و مطالعات قبلی، می‌توان به این قضیه پی برد که نتایج این پژوهش موفقیت‌آمیز و با تحقیقات پیشین تطابق و همبستگی بالایی دارد. به‌طورکلی در کنار نتایج مطلوب حاصل شده از ترکیب تصاویر سنتینل ۱ و ۲ در تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی و پوشش زمین و دقت بالای آن، یافته‌های حاصل از این پژوهش توانایی سامانه‌ی تحت وب گوگل ارث انجین را در پردازش و ارزیابی تصاویر راداری و اپتیکی سنتینل نشان می‌دهد. به این صورت که استفاده از سامانه‌ی گوگل ارث انجین به کاربران این امکان را می‌دهد تا بدون پردازش داده‌های حجیم و سنگین با ترکیب سری زمانی تصاویر راداری و اپتیکی و پروداکت‌های حاصل از آن‌ها، اعمال شاخص‌های طیفی و الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری و پوشش زمین را با دقت بالا تهیه کرد. در پایان به برنامه‌ریزان و مدیران ذی‌ربط برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای با

دقت بالا و در کلاس‌های متعدد توصیه می‌گردد که از ترکیب هم‌زمان دو سنجنده اپتیک و رادار به‌منظور جدایش هر چه بهتر کلاس‌های اراضی استفاده شود.

منابع

- ۱) محمودزاده، حسن، مهدوی فرد، مصطفی، عزیزمرادی، مجید، زنجانی ثانی، ملیحه (۱۳۹۹). مدل‌سازی توسعه فیزیکی شهر با ترکیب قابلیت‌های گوگل ارث انجین (GEE) و شبکه عصبی مصنوعی (MLP) مطالعه موردی: شهر تبریز. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۴(۷۴)، ۲۱۵-۲۳۲.
- ۲) مهدوی فرد، مصطفی، شیخ‌قادری، سیده‌هدایت، مرادی، نسرین و عیوضی، علی، ترکیب داده‌های سری زمانی ماهواره‌ی سنتینل ۱-۲ (رادار و اپتیک) با استفاده از سامانه‌ی Google Earth Engine به‌منظور تهیه نقشه سطح زیر کشت برنج (مطالعه موردی: شهرستان جویبار)، کنفرانس ملی فناوری‌ها و کاربردهای نوین ژئوماتیک، دانشگاه تبریز ۱۳۹۹
- ۳) نورالدینی، سید احمدرضا، بنیاد، امیر اسلام. (۱۳۹۹). قابلیت الگوریتم‌های نظارت‌شده در تهیه نقشه پوشش اراضی در مقیاس محلی (مطالعه موردی: استان گیلان). فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲(۶)، ۲۹۵-۳۰۹.
- ۴) مبانی سنجنش‌ازدور کاربردی، تألیف مرکز سنجنش‌ازدور کانادا (۲۰۰۵). ترجمه ولیزاده کامران، خلیل و مهدوی فرد، مصطفی. (۱۳۹۸). چاپ اول، انتشارات ماهواره.
- ۵) رحیمی فاطمه، رضایی مقدم محمد حسین، نیکجو محمد رضا. بررسی تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل خیزی حوضه سقز جای قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی با استفاده از مدل Arcswat جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۰، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۲۷

References

- 1) Asner, G.P., 2001. Cloud cover in landsat observations of the Brazilian amazon. *Int. J. Remote Sens.* 22 (18), 3855–3862.
- 2) Baghdadi, N., El Hajj, M., Zribi, M., & Bousbih, S. (2017). Calibration of the water cloud model at C-band for winter crop fields and grasslands. *Remote Sensing*, 9(9), 969.
- 3) Borges, J., Higginbottom, T. P., Symeonakis, E., & Jones, M. (2020). Sentinel-1 and Sentinel-2 Data for Savannah Land Cover Mapping: Optimising the Combination of Sensors and Seasons. *Remote Sensing*, 12(23), 3862.
- 4) Carrasco, L., O'Neil, A. W., Morton, R. D., & Rowland, C. S. (2019). Evaluating combinations of temporally aggregated Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 for land cover mapping with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(3), 288.
- 5) data of Sentinel 2-1 satellite (radar and optics) using Google Earth Engine system to map the area of rice cultivation (Case study: Joybar city), the first international conference and the second national conference on new technologies and applications of geomatics, Tabriz (in Persian).
- 6) Dong, D., Wang, C., Yan, J., He, Q., Zeng, J., & Wei, Z. (2020). Combing Sentinel-1 and Sentinel-2 image time series for invasive *Spartina alterniflora* mapping on Google Earth Engine: a case study in Zhangjiang Estuary. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(4), 044504.

- 7) Fundamentals of Applied Remote Sensing, by the Canadian Remote Sensing Center (2005). Translated by Valizadeh Kamran, Khalil and MahdaviFard, Mustafa. (1398). First Edition, Satellite Publications (in Persian).
- 8) Hirschmugl, M., Sobe, C., Deutscher, J., & Schardt, M. (2018). Combined use of optical and synthetic aperture radar data for REDD+ applications in Malawi. *Land*, 7(4), 116.
- 9) <https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinel1#metadata-and-filtering>
- 10) Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 4th edition
- 11) Joshi, N., Baumann, M., Ehammer, A., Fensholt, R., Grogan, K., Hostert, P., Jepsen, M.R., Kuemmerle, T., Waske, B., 2016. A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring. *Remote Sens. (Basel)* 8 (1), 1–23.
- 12) Kumar, L., & Mutanga, O., 2018. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509
- 13) Leinenkugel, P., Wolters, M.L., Kuenzer, C., Oppelt, N., Dech, S., 2014. Sensitivity analysis for predicting continuous fields of tree-cover and fractional land-cover distributions in cloud-prone areas. *Int. J. Remote Sens.* 35 (8), 2799–2821.
- 14) Lopes, M., Frison, P. L., Durant, S. M., Schulte to Bühne, H., Ipavec, A., Lapeyre, V., & Pettorelli, N. (2020). Combining optical and radar satellite image time series to map natural vegetation: savannas as an example. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6(3), 316-326.
- 15) Mahendra, WK., Jamaluddin, II., Kamal, M. (2020). Mangroves Change Detection using Support Vector Machine Algorithm on Google Earth Engine (A Case Study in Part of Gulf of Bone, South Sulawesi, Indonesia). *The 40th Asian Conference on Remote Sensing*, 1.
- 16) Mahmoudzadeh, Hassan and MahdaviFard, Mostafa and Aziz Moradi, Majid and Zanjani Thani, Maliheh, 1399, Modeling the physical development of the city by combining the capabilities of Google Earth Engine (GEE) and artificial neural network (MLP) Case study: Tabriz, <https://doi.org/10.22034/jest.2021.25422.3481> (in Persian).
- 17) Mather, P. M., & Koch, M. (2011). *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. John Wiley & Sons.
- 18) McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., 1974. *Monitoring Vegetation Systems in the Great*
- 19) Mohammadi, A., Karimzadeh, S., Valizadeh Kamran, K., & Matsuoka, M. (2020). Extraction of land information, future landscape changes and seismic hazard assessment: A case study of Tabriz, Iran. *Sensors*, 20(24), 7010.
- 20) Nouredini, Seyed Ahmad Reza, Foundation, Amiraslam. (1399). Capability of supervised algorithms in preparing land cover maps at local scale (Case study: Guilan province. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*, 22 (6), 295-309. Doi: 10.22034 / jest.2021.25422.3481 (in Persian).
- 21) Plains with ERTS, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, 1, 48-62.
- 22) Saah, D., Tenneson, K., Matin, M., Uddin, K., Cutter, P., Poortinga, A., ... & Chishtie, F. (2019). Land cover mapping in data scarce environments: challenges and opportunities. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 150.
- 23) Shetaii, S. H., & Abdi, O. (2008). Mapping of land use in mountainous regions of Zagros using ETM+ data. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 57, 129-138.
- 24) Sim, C. K., Abdullah, K., Jafri, M. Z. M., & San Lim, H. (2013, July). Combination of radar and optical remote sensing data for land cover/use mapping. In *2013 IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace)* (pp. 224-227). IEEE.

- 25) Steinhausen, M. J., Wagner, P. D., Narasimhan, B., & Waske, B. (2018). Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improved land use and land cover mapping of monsoon regions. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 73, 595-604.
- 26) Steinhausen, M. J., Wagner, P. D., Narasimhan, B., & Waske, B. (2018). Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improved land use and land cover mapping of monsoon regions. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 73, 595-604.
- 27) Veloso, A., Mermoz, S., Bouvet, A., Le Toan, T., Planells, M., Dejoux, J. F., & Ceschia, E. (2017). Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote sensing of environment*, 199, 415-426.
- 28) Wagner, P.D., Waske, B., 2016. Importance of spatially distributed hydrologic variables for land use change modeling. *Environ. Model. Softw.* 83, 245–254.
- 29) Wagner, Paul D., et al., 2017. Comparing the Effects of Dynamic versus Static Representations of Land Use Change in Hydrologic Impact Assessments. *Environ. Modell. Softw.* 1–9.
- 30) Walker, W. (2014). Introduction to RADAR Remote Sensing for Vegetation Mapping and Monitoring. A Ph. D. presentation: Woods Hole Research Center.
- 31) Whyte, A., Ferentinos, K. P., & Petropoulos, G. P. (2018). A new synergistic approach for monitoring wetlands using Sentinels-1 and 2 data with object-based machine learning algorithms. *Environmental Modelling & Software*, 104, 40-54.
- 32) Zhen, J., Liao, J., & Shen, G. (2018). Mapping mangrove forests of Dongzhaigang nature reserve in China using Landsat 8 and Radarsat-2 polarimetric SAR data. *Sensors*, 18(11), 4012.