وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دستورالعمل فنی

استخراج نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری با ادغام محصول کوپرنیکوس و تصاویر سنتینل در سامانه گوگل‌ارث‌انجین

نویسندگان:
بهرام چوبین، امید کریمی

شماره ثبت: ۶۷۱۱۷
۱۴۰۴

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

دستورالعمل فنی:

استخراج نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری با ادغام محصول کوپرنیکوس و تصاویر سنتینل در سامانه گوگل‌ارث‌انجین

نویسندگان:
بهرام چوبین، امید کریمی

شماره ثبت:
۶۷۱۱۷

۱۴۰۴

وزارت جهادکشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

عنوان اثر: استخراج نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری با ادغام محصول کوپرنیکوس و تصاویر سنتینل در سامانه گوگل‌ارث‌انجین

نام و نام خانوادگی نویسندگان: بهرام چوبین، امید کریمی

ویراستار ادبی: سعید نبی‌پی لشکریان

صفحه‌آرایی و طراحی جلد: عباس صدیق

ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

شمارگان: ۱۰ نسخه

تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴

این اثر در مورخه **۱۴۰۴/۰۱/۱۸** با شماره **۶۷۱۱۷** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

پیشگفتار

در عصر حاضر، نبود نقشه‌های دقیق و به‌روزکاربری اراضی چالش‌های جدی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری ایجاد می‌کند. این کمبود می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست در توسعه زیرساخت‌ها، مدیریت ناکارآمد منابع آب و تخریب محیط زیست شود. یکی از مشکلات اساسی در این زمینه، عدم دسترسی به نقشه‌های کاربری اراضی که به‌طور سالانه بروزرسانی شوند، است. تغییرات سریع کاربری زمین، گسترش شهرنشینی و محدودیت‌های فنی باعث شده‌اند که فرآیند استخراج این نقشه‌ها همواره با چالش‌هایی همراه باشد. با وجود اینکه محصولات کوپرنیکوس داده‌های سالانه ارائه می‌دهند، همچنان نیاز به روش‌های کارآمد برای تولید نقشه‌های دقیق و به‌روز احساس می‌شود. استخراج این نقشه‌ها عمدتاً با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. روش‌های پیشرفته مانند یادگیری عمیق و پردازش ابر نقاط نیز در حال توسعه هستند. ارتباط مستقیم نقشه‌های کاربری اراضی با مدیریت منابع آب غیرقابل‌انکار است. در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک که استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی به یک بحران تبدیل شده است، به‌روزرسانی سالانه نقشه‌های کاربری اراضی می‌تواند به مدیریت بهتر این منابع کمک کند. این نقشه‌ها در شناسایی منابع آبی، پیش‌بینی رواناب‌ها و مدیریت حوضه‌های آبریز نقش حیاتی دارند. با توجه به اهمیت این موضوع، هدف این پژوهش ارائه دستورالعملی نوین برای استخراج سالانه نقشه‌های کاربری اراضی با دقت بالا و بررسی کاربرد آن در مدیریت منابع آب است. امید است نتایج این تحقیق گامی مؤثر در بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظت از منابع طبیعی باشد. دستورالعمل حاضر برگرفته از دو پروژه تحقیقاتی با عناوین «پهنه‌بندی تغییرات اقلیمی و مخاطرات طبیعی در ناحیه زاگرس» و «ارزیابی پتانسیل سیل‌گیری کشور با رویکرد بیابان‌زایی و با تاکید بر نقش آن در تولید گرد و غبار» به ترتیب با کدهای مصوب ۰۰۰۰۹۵-۰۰۲-۰۹-۰۹-۰۰ و ۰۴۰۰۱۳-۰۰۱-۰۹-۰۹-۰۰ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی است.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

چکیده ۱
۱- مقدمه ۲
۲- گام‌های اجرایی دستورالعمل ۴
۲-۱- فراخوانی منطقه موردمطالعه به‌صورت Shape file ۴
۲-۲- معرفی پروداکت Copernicus و تعریف کلاس‌های استاندارد ۶
۲-۳- پیاده‌کردن مجموعه Copernicus و نوشتن کد آن در محیط GEE ۷
۲-۴- بهبود کانتراست تصویر (Improve image contrast) ۸
۲-۵- فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 ..... ۱۱
۲-۶- فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 ..... ۱۳
۲-۷- شاخص‌های طیفی NDWI و NDVI ۱۵
۲-۸- تلفیق داده‌های اپتیکی و راداری با تشکیل دیتاسیت ۱۶
۲-۹- فرآیند طبقه‌بندی (Classification Procedure) ۱۷
۲-۱۰- فرایند طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم Random Forest ۱۹
۲-۱۱- آماده‌سازی نقشه طبقه‌بندی‌شده ۲۰
۲-۱۲- خروجی گرفتن نقشه طبقه‌بندی‌شده ۲۱
۲-۱۳- پس‌پردازش و اعتبارسنجی نقشه ۲۳
۳- جمع‌بندی نتایج ۲۶
۴- منابع ۲۶
پیوست ۱ ..... ۲۷
Abstract ۳۱

فهرست شکل‌ها

عنوان | صفحه

شکل ۱- منطقه موردمطالعه ۵
شکل ۲- مشخصات و ویژگی‌های پروداکت Copernicus ۶
شکل ۳- کد نوشته شده جهت فراخوانی تصاویر Copernicus ۷
شکل ۴- اجرای کد برای فراخوانی نقشه Copernicus منطقه موردمطالعه ۸
شکل ۵- مشخصات و کدهای رنگی هر باند ۹
شکل ۶- پیاده‌کردن نقشه Copernicus ۹
شکل ۷- کد موردنیاز جهت ذخیره خروجی نقشه Copernicus ۱۰
شکل ۸- کد فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای سنیتل ۱ ..... ۱۱
شکل ۹- فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 ..... ۱۲
شکل ۱۰- کد تبدیل تصاویر دسیبل به حالت بک‌اسکتر ۱۳
شکل ۱۱- خروجی تبدیل تصاویر دسیبل به حالت بک‌اسکتر ۱۳
شکل ۱۲- تصویری از کد موردنظر جهت فراخوانی تصاویر ماهواره ای سنتیل ۲ ..... ۱۴
شکل ۱۳- فراخوانی تصاویر ماهواره ای Sentinel-2 ..... ۱۵
شکل ۱۴- پیاده‌کردن شاخص‌های طیفی ۱۶
شکل ۱۵- معرفی پارامترهای راداری ۱۶
شکل ۱۶- افزودن داده‌های کوپرنیکوس به دیتاست قبلی ۱۷
شکل ۱۷- طبقه‌بندی کلاس‌ها ۱۹
شکل ۱۸- پیاده‌سازی الگوریتم جنگل تصادفی ۲۰
شکل ۱۹- ویژگی‌های پروداکت Copernicus ۲۰
شکل ۲۰- نقشه کاربری اراضی با مشخصات پروداکت Copernicus ۲۱
شکل ۲۱- کد جهت گرفتن خروجی نقشه ۲۱
شکل ۲۲- نقشه کاربری اراضی استان اصفهان با دقت ۱۰ متری با استفاده از پروداکت Copernicus ۲۳
شکل ۲۳- خلاصه مراحل استخراج نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری ۲۵

چکیده

یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت منابع طبیعی و در حوزه سنجش از دور، استخراج نقشه‌های به‌روز و دقیق کاربری اراضی است. این نیاز به‌خصوص با توجه به تغییرات سریع محیطی و انسانی هر ساله بیشتر احساس می‌شود. با وجود این، در دسترس‌بودن داده‌های سالانه و باکیفیت از محصولات کوپرنیکوس، این امکان را فراهم آورده است که نقشه‌های کاربری اراضی به‌صورت سالانه به‌روزرسانی و استخراج شوند. در این مطالعه، با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ و تلفیق داده‌های اپتیکی و راداری، نقشه‌های کاربری اراضی با دقت بالا تولید شده است. استفاده از گوگل‌ارث‌انجین به‌عنوان پلتفرمی قدرتمند، فرآیند پردازش و تحلیل داده‌ها را تسهیل می‌کند و امکان به‌روزرسانی سالانه این نقشه‌ها را فراهم می‌سازد. این روش نه تنها از مزایای هر دو نوع داده بهره‌مند است، بلکه امکان دستیابی به نقشه‌هایی با دقت ۱۰ متری را نیز فراهم می‌کند که به مراتب دقیق‌تر از محصولات استاندارد ۱۰۰ متری کوپرنیکوس هستند. کدهای ارائه شده در این دستورالعمل قابلیت اجرا برای تمامی مناطق را دارند و می‌توان از این روش برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی در مناطق مختلف جغرافیایی بهره برد. این دستورالعمل به دنبال ارائه مراحل تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از محصولات کوپرنیکوس، تصاویر ماهواره سری سنتینل و بهره‌گیری از سامانه گوگل‌ارث‌انجین است. روش مورداستفاده بر پایه طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) است. مراحل اصلی شامل آماده‌سازی تصاویر مبنا، جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی، اجرای الگوریتم طبقه‌بندی و ارزیابی دقت نتایج است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های کوپرنیکوس و ابزارهای تحلیل نوین، راهکاری مؤثر برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی به‌روز و دقیق است که می‌تواند در مدیریت منابع آب، پایش تغییرات محیطی و برنامه‌ریزی شهری مورداستفاده قرار گیرد. با توجه به اهمیت روزافزون مدیریت پایدار منابع، این دستورالعمل می‌تواند ابزاری کارآمد در اختیار پژوهشگران، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان باشد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر سنتینل، سامانه گوگل‌ارث‌انجین، کاربری اراضی، جنگل تصادفی

۱- مقدمه

کاربری اراضی مجموعه‌ای از خاک و موجودات زنده است که شامل پوشش طبیعی، کشاورزی و سازه‌های انسانی بوده و رابط مهمی بین فعالیت‌های انسانی و محیط زیست طبیعی است. همچنین مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی در مقیاس جهانی، موجودیت آب مناسب و اقلیم بوده (Mohammady، ۲۰۱۵) و عامل مشترک موازنه میان عوامل اقتصاد، هیدرولوژی و اکولوژی است (Varamesh، ۲۰۱۷). نقشه‌های دقیق و به موقع کاربری اراضی نقش مهمی در فرآیند برنامه‌ریزی و توسعه در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه دارد که از آن جمله می‌توان به امنیت غذایی، برنامه‌ریزی کاربری زمین و برنامه‌ریزی برای مدیریت محیط زیست و منابع طبیعی اشاره کرد (Sahh و همکاران، ۲۰۱۹). تغییر کاربری و پوشش اراضی از طریق تغییر در فعل و انفعالات بین انسان و محیط زیست با خدمات اکوسیستم ارتباط نزدیکی دارد و میتواند خدمات مختلفی از تنوع زیستی گرفته تا اقلیم را تحت تأثیر قرار دهد.گسترش شهر و توسعه شهرنشینی و به‌دنبال آن تخریب بی‌رویه اراضی کشاورزی و جنگل‌ها و مراتع و تبدیل آن به مناطق مسکونی، مسائل و مشکلاتی را در کشورهای در حال توسعه بوجود آورده است (Tolessa و همکاران، ۲۰۱۷). امروزه برنامه‌ریزی و مدیریت فضاهای شهری و روستایی نیازمند دستیابی به اطلاعات دقیق فضایی در زمان‌های متوالی در خصوص تغییرات کاربری‌های اراضی می‌باشد. در حقیقت نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی مدیران و برنامه‌ریزان را در امر اتخاذ تدابیر صحیح و تصمیم‌گیری‌های اصولی یاری نموده و نقش بسیار مهمی را در توسعه و برنامه‌ریزی منطقه‌ای ایفا می‌نماید. بدین منظور دانش مربوط به کاربری و پوشش اراضی در رابطه با برنامه‌ریزی و مدیریت فعالیت‌های زمینی بسیار ضروری است. بنابراین اولین اقدام در مدیریت کاربری اراضی تهیه نقشه دقیق آن بوده که روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی آن ارائه شده است. فناوری سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دامنه

وسیعی از قدرت تفکیک مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتری ابـزار اساسـی بـرای تجزیـه و تحلیل کلی این تغییرات و داده‌های پوشـش سـطح زمـین و تغییـرات موردنیـاز، در مطالعات کاربری اراضی محسوب می‌شود.

امروزه رشد سریع فناوری سنجش از دور امکاناتی فراهم آورده است که از طریق تصاویر ماهواره‌ای با ماهیت راداری و اپتیکی می‌توان در مقیاس‌های زمانی و مکانی نقشه‌های بروز کاربری اراضی تولید کرد. اگرچه مدت‌هاست که داده‌های سنجش از دور چند طیفی با موفقیت برای طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش اراضی مورداستفاده عموم قرار می‌گیرند اما سیستم‌های مشاهدات نوری با مشکل ابرناکی شدید در برخی مناطق روبه رو هستند که این عملکرد نامناسب و محدود کننده در مطالعات مختلف به آن اشاره شده است (Asner و همکاران، ۲۰۱۴؛ Leinenkugel و همکاران، ۲۰۱۶؛ Wagner و همکاران، ۲۰۰۱). بنابرین استفاده از داده‌های راداری برای طبقه‌بندی پوشش اراضی در مناطق مستعد ابر همانند مناطق پوشیده از جنگل می‌تواند مناسب باشد (Steinhausen و همکاران، ۲۰۱۸). در این راستا داده‌های راداری با روزنه مصنوعی هنگامی که با تصاویر چند طیفی ترکیب می‌شوند، اطلاعات مختلف اما مکملی برای بهبود طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری اراضی ارائه می‌کنند. اگرچه ترکیب داده‌های راداری و نوری به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش اراضی جذاب است اما از ترکیب هم زمان داده‌ها به ندرت استفاده می‌شود (Joshi و همکاران، ۲۰۱۶). ادغام داده‌ها اساساً شامل ترکیب یا تلفیق داده‌ها در منابع متعدد به منظور استخراج هر چه بهتر اطلاعات است. در واقع در این روش شامل یکپارچه‌سازی داده‌هایی که ماهیت چند زمانه، چند تفکیکی، چند سنجنده‌ای، یا چند داده‌ای دارند می‌باشد. در این میان مطالعات مربوط به کاربری اراضی و تهیه نقشه‌های گوناگون از آن‌ها با استفاده از سنجنده‌های 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 دهد حائز اهمیت است. در این راستا افزایش تعداد سنجنده‌ها و داده‌های ماهواره‌ای رایگان منجر به ظهور پلاتفرم‌های جدید همانند گوگل‌ارث‌انجین شده است (Carrasco و همکاران، ۲۰۱۹). گوگل‌ارث‌انجین یک پلتفرم رایانش ابری است که در سال ۲۰۱۰ توسط شرکت گوگل راه‌اندازی شد (Kumar و Mutanga، ۲۰۱۸). این سامانه آنی با استفاده

از یک زیرساخت محاسباتی-پردازشی با کارایی بالا، پژوهشگران را قادر می‌سازد تا به راحتی و با سرعت بالا به آرشیوهایی از داده‌های رایگان دسترسی داشته و آن‌ها را پردازش کنند. در این راستا جهت بهره‌مندی از ویژگی سنجنده‌ها با ماهیت‌های متفاوت و ترکیب آنها با هم مطالعات زیادی به منظور بهبود دقت طبقه‌بندی که بعضاً هم با سامانه‌ی گوگل‌ارث‌انجین بوده انجام گرفته است. در این راستا، هدف این دستورالعمل فنی ارائه مراحل استخراج تولید نقشه کاربری اراضی با دقت ۱۰ متری با استفاده از تصاویر اپتیکی و راداری سری ماهواره سنتیل و استفاده از پروداکت کوپرنیکوس است. استاندارد روش استخراج نقشه کاربری اراضی مبتنی بر ۲۳ کلاس است اما بعضی از استان‌ها و شهرها ممکن است تعداد کلاس‌های آن کمتر از این مقدار باشد و لزوماً تمامی این ۲۳ کلاس در تمامی نقاط وجود نخواهد داشت.

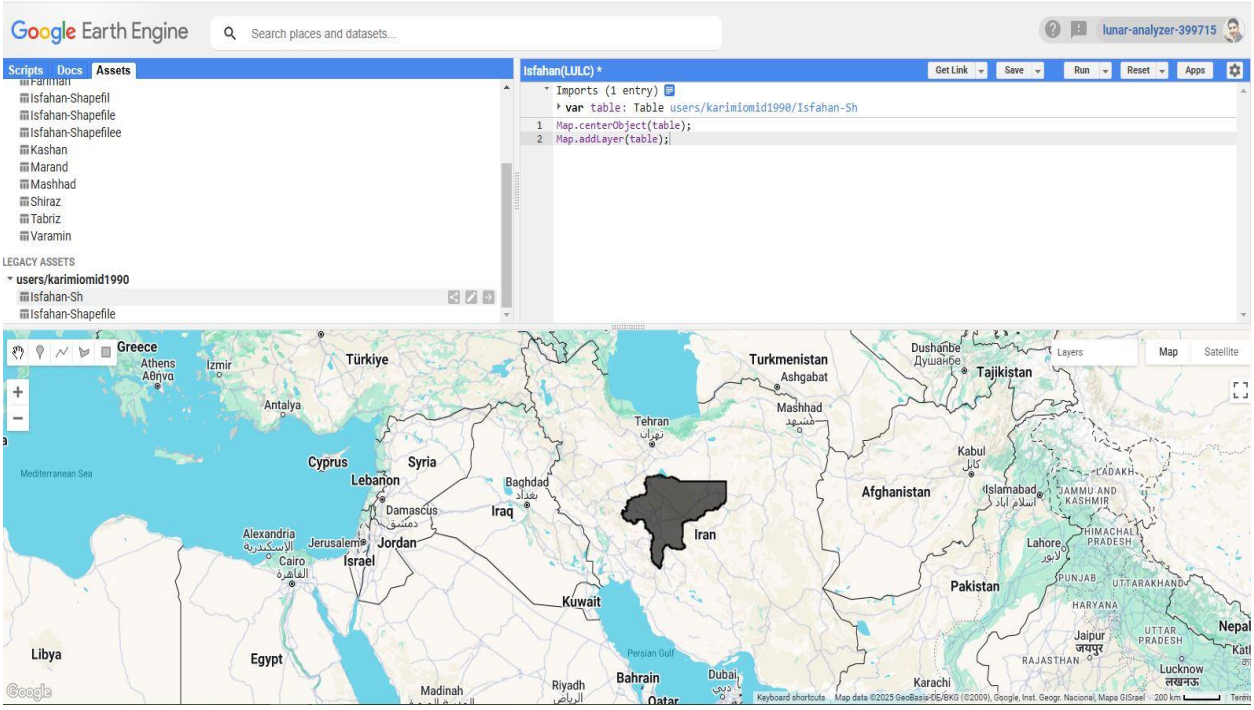
۲- گام‌های اجرایی دستورالعمل

ابتدا می‌بایست منطقه موردمطالعه را تعیین و آن را در محیط گوگل‌ارث‌انجین فراخوانی کرد. در این تحقیق استان اصفهان در نظر گرفته شده است، که دلیل انتخاب آن تنوع بالا و طیق وسیعی از کلاس‌ها برای تدوین دستورالعمل است. پس از فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و ۲ و نقشه محصول کوپرنیکوس اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی خواهد شد. ساختار و شکل کد نویسی به این صورت است که یک کد ثابت نوشته شده و به‌صورت خودکار فرآیند طبقه‌بندی برای هر منطقه‌ای قابل‌انجام خواهد بود. تنها لازم است، زمان کاربری اراضی و منطقه موردمطالعه تنظیم شود.

۲-۱- فراخوانی منطقه موردمطالعه به‌صورت Shape file

ابتدا shape file را در نرم‌افزار ArcGIS باز کرده و بررسی می‌شود که سیستم مختصات جغرافیایی آن براساس WGS1984 تنظیم شده باشد. سپس جدول ویژگی‌های (Attribute Table) shape fileرا بررسی کرده و اطمینان حاصل می‌شود که فقط یک سطر در آن وجود داشته باشد. درصورتی‌که shape file شامل چندین

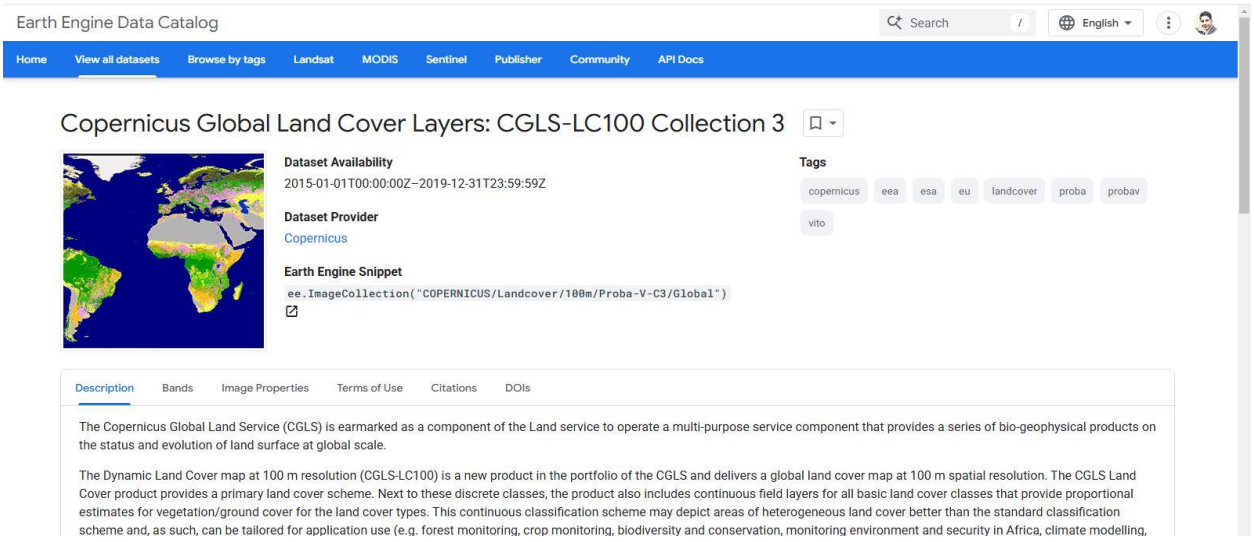
سطر باشد، از دستور Dissolve برای ادغام آن‌ها به یک سطر واحد استفاده می‌شود. پس از این مرحله، روی لایه shape file کلیک راست کرده، گزینه Data و سپس Export را انتخاب کرده و خروجی در مسیری دلخواه ذخیره می‌کنیم. در این مرحله، باید پوشه‌ای با همان نام shape file ایجاد کرده و دقت شود که نام پوشه و فایل ذخیره‌شده یکسان باشند. پس از ذخیره، shape file بایستی به فرمت ZIP تبدیل شود. سپس وارد سامانه Google Earth Engine شده و در بخش Assets، گزینه NEW انتخاب شود. در قسمت Table Upload، shape file فشرده (*.zip) را بارگذاری کرده، که پس از مدت کوتاهی (حدود یک دقیقه)، فایل به بخش Assets اضافه می‌شود. با کلیک بر روی فایل و انتخاب گزینه Import، نقشه shape file به محیط کدنویسی وارد می‌شود. سپس با استفاده از دستور Map.centerObject (table)، موقعیت نقشه گوگل براساس shape file تنظیم می‌شود (به‌عبارتی نقشه گوگل بر روی منطقه موردمطالعه زوم می‌شود) و برای نمایش لایه shape file از دستور Map.addLayer (table) استفاده می‌شود. درنهایت، با ذخیره کد و فشار دادن دکمه RUN، منطقه موردنظر بر روی نقشه نمایش داده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه موردمطالعه

۲-۲- معرفی پروداکت Copernicus و تعریف کلاس‌های استاندارد

برای طبقه‌بندی هر منطقه، لازم است که یک پروداکت به‌عنوان راهنما انتخاب شود تا کلاس‌های استاندارد را معرفی کند. سپس براساس این کلاس‌ها، نمونه‌برداری انجام شده و طبقه‌بندی اعمال شود. در این پژوهش، از تصاویر سنتینل استفاده خواهد شد. یکی از پروداکت‌های کاربری اراضی که توسط سازمان کوپرنیکوس برای کل دنیا ارائه شده است، با نام Copernicus global land cover شناخته می‌شود. این پروداکت در سامانه گوگل‌ارث‌انجین موجود بوده و نقشه کاربری اراضی کل جهان را با ۲۳ کلاس و دقت ۱۰۰ متر ارائه می‌دهد. این پروداکت برای هر سال، یک نقشه کاربری اراضی جدید در اختیار کاربران قرار می‌دهد. جهت فراخوانی این پروداکت در محیط کد نویسی گوگل‌ارث‌انجین در قسمت Search عبارت Copernicus Global Landcover را جست‌وجو کرده و بین لایه‌های موجود، CGLS-LC100 انتخاب می‌شود. با زدن دکمه Inter صفحه پروداکت باز خواهد شد سپس در قسمت View، می‌توان اطلاعات کامل‌تری درباره ویژگی‌های این پروداکت، توان تفکیکی آن، باندهای مختلف و سایر اطلاعات مربوطه مشاهده کرد (شکل ۲). در این پژوهش، ابتدا این پروداکت را برای منطقه موردمطالعه پیاده، ویژگی‌های بصری آن را بررسی و در نهایت، نقشه‌ای با دقت بالاتر از نقشه کوپرنیکوس تهیه خواهد شد.



شکل ۲- مشخصات و ویژگی‌های پروداکت Copernicus

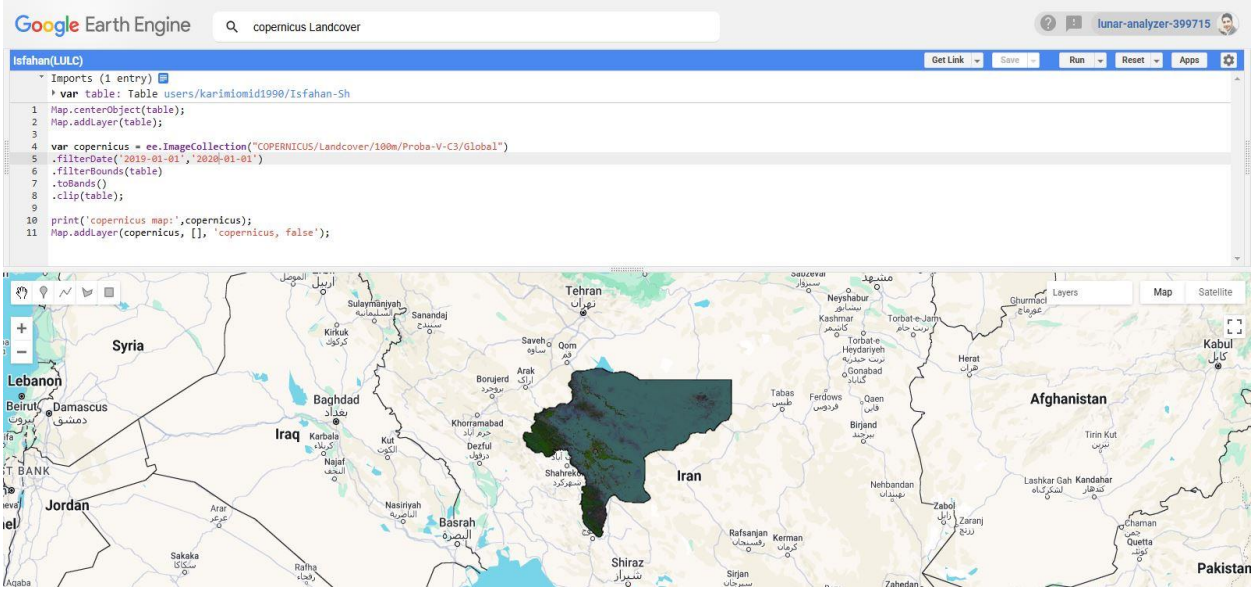
۳-۲- پیاده‌کردن مجموعه Copernicus و نوشتن کد آن در محیط GEE

در این بخش، ابتدا باید گزینه Collection snippet را انتخاب کرده و ID مربوط به Image Collection این پروداکت کپی شود. برای پیدا کردن ID مربوط به پروداکت کوپرنیکوس در صفحه پروداکت به قسمت Image Collection موردنظر رفته و در بخش Details شناسه منحصر به فرد (ID) مربوط به پروداکت را کپی کرده و در محیط کدنویسی گوگل‌ارث‌انجین کپی می‌شود. سپس در محیط کدنویسی، یک متغیر با نام کوپرنیکوس بایستی تعریف شود. این متغیر تصاویر کالکشن را برای سال موردنظر ما فراهم می‌کند. سپس یک فیلتر زمانی برای انتخاب سال دلخواه بایستی اعمال شود و نقشه‌ی سال موردنظر را برای منطقه مطالعه که با متغیر table مشخص شده است، بارگذاری شود. برای این کار، از دستور ()filterBounds. استفاده می‌شود. برای تبدیل مجموعه تصاویر (مجموعه[1]) به یک تصویر واحد، از دستور ()toBands. استفاده می‌شود. سپس برای محدود کردن تصویر به مرز منطقه مطالعه، از دستور ()clip. استفاده می‌شود. برای مشاهده محتویات کدها و خروجی‌ها، می‌توان از دستور ()print استفاده کرد. در نهایت، برای نمایش نقشه، از دستور ()Map.addLayer استفاده می‌شود (شکل ۳). پس از اتمام کدنویسی، کد را ذخیره کرده و گزینه RUN اجرا می‌شود (شکل ۴).

```
Isfahan(LULC)
Imports (1 entry)
  var table: Table users/karimiomid1990/Isfahan-Sh
Map.centerObject(table);
Map.addLayer(table);

var copernicus = ee.ImageCollection("COPERNICUS/Landcover/100m/Proba-V-C3/Global")
.filterDate('2019-01-01','2020-01-01')
.filterBounds(table)
.toBands()
.clip(table);

print('copernicus map:',copernicus);
Map.addLayer(copernicus, [], 'copernicus, false');
```

شکل ۳- کد نوشته شده جهت فراخوانی تصاویر Copernicus

[1] Collection



شکل ۴- اجرای کد برای فراخوانی نقشه Copernicus منطقه موردمطالعه

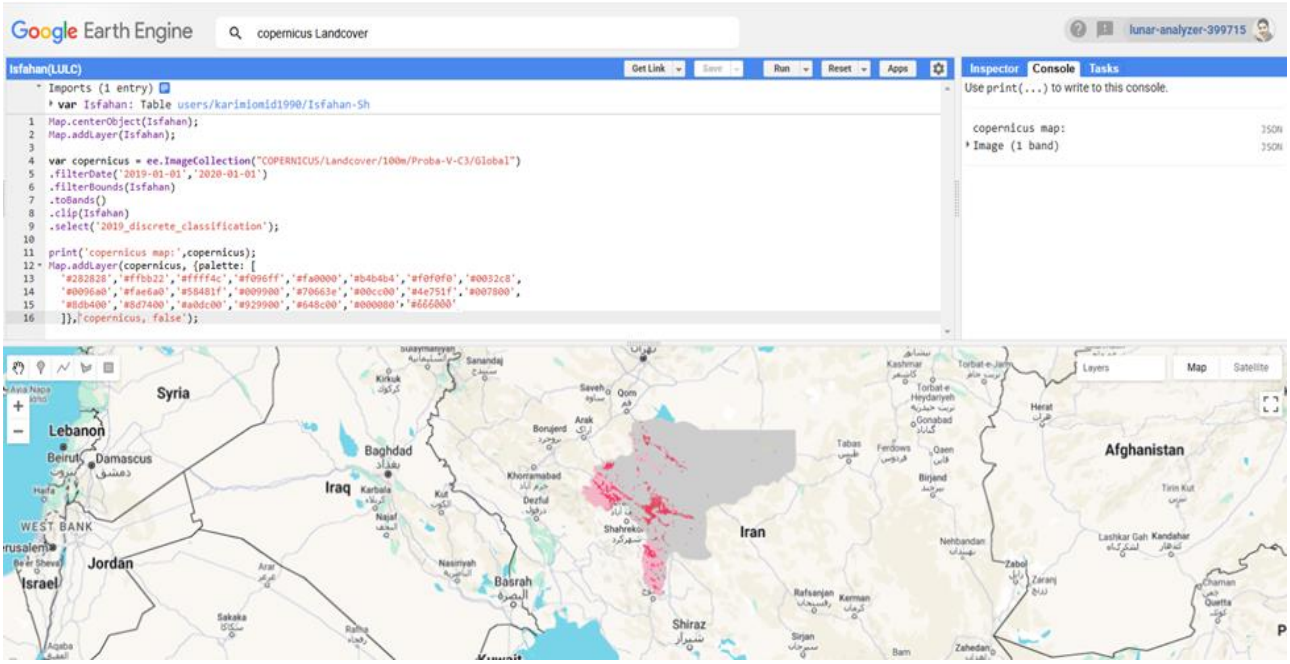
۴-۲- بهبود کانتراست تصویر (Improve image contrast)

برای بهبود کنتراست تصویر، در قسمت تنظیمات نقشه تولیدشده، گزینه ۱ band-را فعال می‌کنیم. این بخش شامل باندهای مختلفی است که هر کدام حاوی اطلاعات خاصی هستند. از میان این باندها، باندی که شامل ۲۳ کلاس طبقه‌بندی است، باند description classification نام دارد. اطلاعات مربوط به این باند در قسمت Console قابل‌مشاهده است (شکل ۵). بر همین اساس، از دستور select استفاده شده تا تنها نقشه ۲۳ کلاسه سال موردنظر استخراج شود. در نهایت، با اجرای کد، نقشه ۲۳ کلاسه برای سال انتخاب‌شده نمایش داده می‌شود. پس از بارگذاری نقشه، برای بهبود نمایش آن در بخش Custom، تنظیم stretch را روی مقدار ۹۰ قرار داده تا نقشه به‌صورت grayscale (مقیاس خاکستری) نشان داده شود. برای افزایش ویژگی‌های بصری و بهبود کیفیت دید کلاس‌ها، همچنین مشخص کردن رنگ کلاس‌ها، در محیط کدنویسی و در قسمت Map.addLayer، پالت‌های رنگی تعریف‌شده توسط کوپرنیکوس را بایستی جای‌گذاری کرد. رنگ هر کلاس در بخش توضیحات پروداکت مشخص شده است. با واردکردن کد رنگ هر کلاس در محیط برنامه‌نویسی، ترکیب رنگ‌بندی پالت‌ها تعیین می‌شود (شکل ۶).

discrete_classification Class Table

Value	Color	Description
0	#282828	Unknown. No or not enough satellite data available.
20	#ffbb22	Shrubs. Woody perennial plants with persistent and woody stems and without any defined main stem being less than 5 m tall. The shrub foliage can be either evergreen or deciduous.
30	#ffff4c	Herbaceous vegetation. Plants without persistent stem or shoots above ground and lacking definite firm structure. Tree and shrub cover is less than 10 %.
40	#f096ff	Cultivated and managed vegetation / agriculture. Lands covered with temporary crops followed by harvest and a bare soil period (e.g., single and multiple cropping systems). Note that perennial woody crops will be classified as the appropriate forest or shrub land cover type.
50	#fa0000	Urban / built up. Land covered by buildings and other man-made structures.
60	#b4b4b4	Bare / sparse vegetation. Lands with exposed soil, sand, or rocks and never has more than 10 % vegetated cover during any time of the year.
70	#f0f0f0	Snow and ice. Lands under snow or ice cover throughout the year.
80	#0032c8	Permanent water bodies. Lakes, reservoirs, and rivers. Can be either fresh or salt-water bodies.
90	#0096a0	Herbaceous wetland. Lands with a permanent mixture of water and herbaceous or woody vegetation. The vegetation can be present in either salt, brackish, or fresh water.
100	#fae6a0	Moss and lichen.
111	#58481f	Closed forest, evergreen needle leaf. Tree canopy >70 %, almost all needle leaf trees remain green all year. Canopy is never without green foliage.
112	#009900	Closed forest, evergreen broad leaf. Tree canopy >70 %, almost all broadleaf trees remain green year round. Canopy is never without green foliage.
113	#70663e	Closed forest, deciduous needle leaf. Tree canopy >70 %, consists of seasonal needle leaf tree communities with an annual cycle of leaf-on and leaf-off periods.

شکل ۵- مشخصات و کدهای رنگی هر باند



شکل ۶- پیاده‌کردن نقشه Copernicus

ممکن است هر منطقه لزوماً تمامی ۲۳ کلاس را نداشته باشد. در صورتی که بخواهیم این پروداکت را دانلود کرده و شماره و کد هر یک از کلاس‌ها را بررسی کنیم، می‌توان از دستور export.image استفاده کرد. پس از

نوشتن این دستور، آرگومان‌های ذخیره‌سازی را باید وارد کرد. تصویری که قصد گرفتن خروجی از آن وجود دارد، تصویر کوپرنیکوس خواهد بود که با نام نقشه کوپرنیکوس ذخیره می‌شود. مقدار scale بایستی ۱۰۰ متر در نظر گرفته شود، زیرا توان تفکیک مکانی این پروداکت ۱۰۰ متر است. سپس، منطقه موردمطالعه را بر روی تصویر تنظیم کرده و مقدار maxPixels را بایستی معادل 1e13 تنظیم کرد. برای سیستم مختصات، از EPSG استفاده کرده که برای کل جهان استاندارد است. لازم به ذکر است که برخی از محصولات[1] سیستم مختصات خاص خود را دارند. در اینجا، برای این محصول، از EPSG:3875 استفاده می‌شود. پس از وارد کردن کد، آن را ذخیره کرده و دستور RUN بایستی اجرا شود (شکل ۷).

```
Export.image.toDrive({
  image: copernicus,
  description: 'copernicus_map',
  scale: 100,
  region: Isfahan,
  maxPixels: 1e13,
  crs: 'EPSG:3857'
});
```

شکل ۷- کد موردنیاز برای ذخیره خروجی نقشه Copernicus

پس از فرآیند ذخیره‌سازی، نقشه در گوگل درایو آپلود خواهد شد. سپس نقشه را دانلود کرده و در نرم‌افزار ArcGIS و یا نرم‌افزارهای پردازش تصویر مانند ENVI، SNAP و یا سایر نرم‌افزارهای مشابه امکان فراخوانی و پردازش وجود دارد. در این مرحله، مشخص می‌شود که هر کد مربوط به کدام کلاس است.

[1] Products

۵-۲- فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1

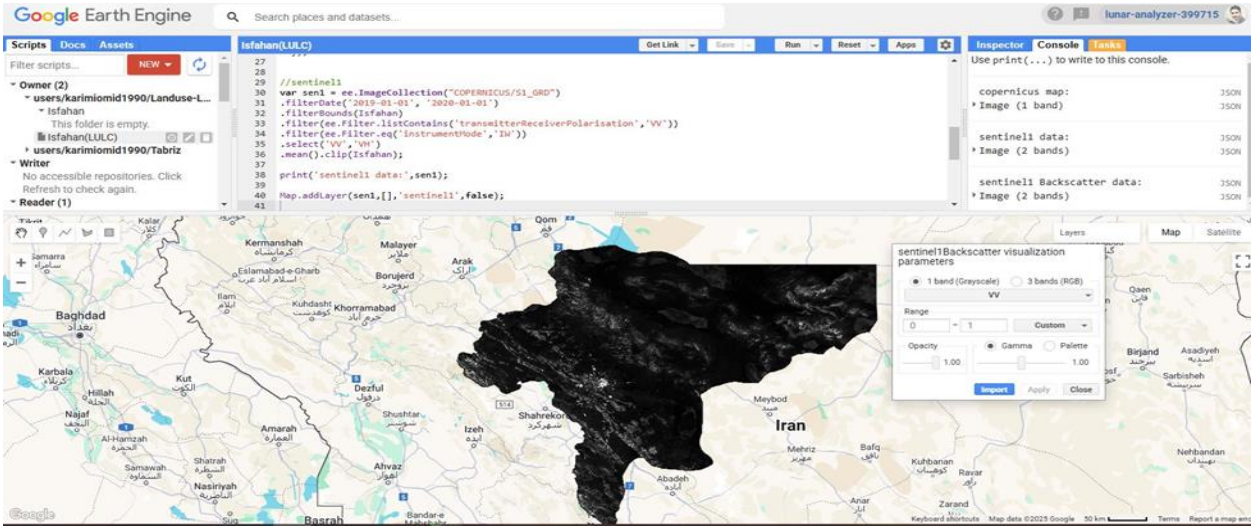
این تصاویر در مراحل بعدی برای طبقه‌بندی کلاس‌ها استفاده خواهند شد؛ بنابراین نیاز است تصاویر ماهواره‌ای سنتینل فراخوانی کرد. در محیط کدنویسی، یک متغیر جدید به نام sen1 تعریف کرده و سپس در قسمت جستجو، sentinel1 را وارد کرده و داده‌های GRD در باند C که در دسترس است انتخاب می‌شود. پس از انتخاب، Collection Snippet را کپی کرده و در محیط برنامه‌نویسی Paste می‌کنیم. با این کار، Image Collection ID فراخوانی می‌شود و تصاویر سال موردنظر برای منطقه مشخص‌شده استخراج می‌شود. هنگامی که داده‌های راداری فراخوانی می‌شود، باید چند فیلتر اضافی برای آن‌ها تعریف شود. یکی از این فیلترها، filter(ee.Filter.listContains). است که در آن تصاویری را فراخوانی می‌کند که در داخل فایل متادیتای آن‌ها، transmitterReceiverPolarisation در حالت VV باشد. سپس یک فیلتر دیگر به شکل filter(ee.Filter.eq). تعریف کرده که در آن ذکر می‌شود تصاویری که فراخوانی می‌شوند باید instrumentMode در حالت IW قرار داشته باشند. بعد از این مراحل، با استفاده از دستور select('VV', 'VH')، باندهای 'VV' و 'VH' از داده‌های ورودی انتخاب می‌شود. سپس پس از فراخوانی داده‌ها، میانگین آن‌ها را برای یک سال محاسبه کرده و با استفاده از دستور clip()، داده‌ها برای منطقه موردمطالعه انتخاب می‌شود (شکل ۸).

```
//sentinel1
var sen1 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")
.filterDate('2019-01-01', '2020-01-01')
.filterBounds(Isfahan)
.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation','VV'))
.filter(ee.Filter.eq('instrumentMode','IW'))
.select('VV','VH')
.mean().clip(Isfahan);

print('sentinel1 data:',sen1);

Map.addLayer(sen1,[],'sentinel1',false);
```

شکل ۸- کد فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای سنیتل ۱

با زدن دکمه RUN، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل محاسبه شده و باندهای VV و VH در دسترس قرار خواهند گرفت (شکل ۹). پروداکت‌هایی که پولاریزیشن امواج ارسالی و دریافتی آن‌ها یکسان است (VV و VH)، میزان

انرژی بیشتری تولید می‌کنند و تصاویر آن‌ها حاوی انرژی‌های ثبت‌شده بالاتری هستند. در مقابل، تصاویر VH تصاویری هستند که قطبش[1] امواج ارسالی و دریافتی آن‌ها یکسان نیست و شدت انرژی دریافتی توسط سنجنده کمتر است. در این دستورالعمل، از هر دو باند استفاده خواهد شد تا در فرآیند طبقه‌بندی، به تشخیص و تفکیک دقیق‌تر کلاس‌ها کمک کند. یکی از مزایای مهم تصاویر راداری در طبقه‌بندی این است که عوارض شهری و انسان‌ساخت را به‌وضوح نشان می‌دهند. این امر به‌این‌دلیل است که امواج راداری با برخورد به سازه‌های مختلف، شدت انرژی بیشتری ثبت کرده و عوارض شهری را به شکلی واضح‌تر مشخص می‌کنند.



شکل ۹- فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1

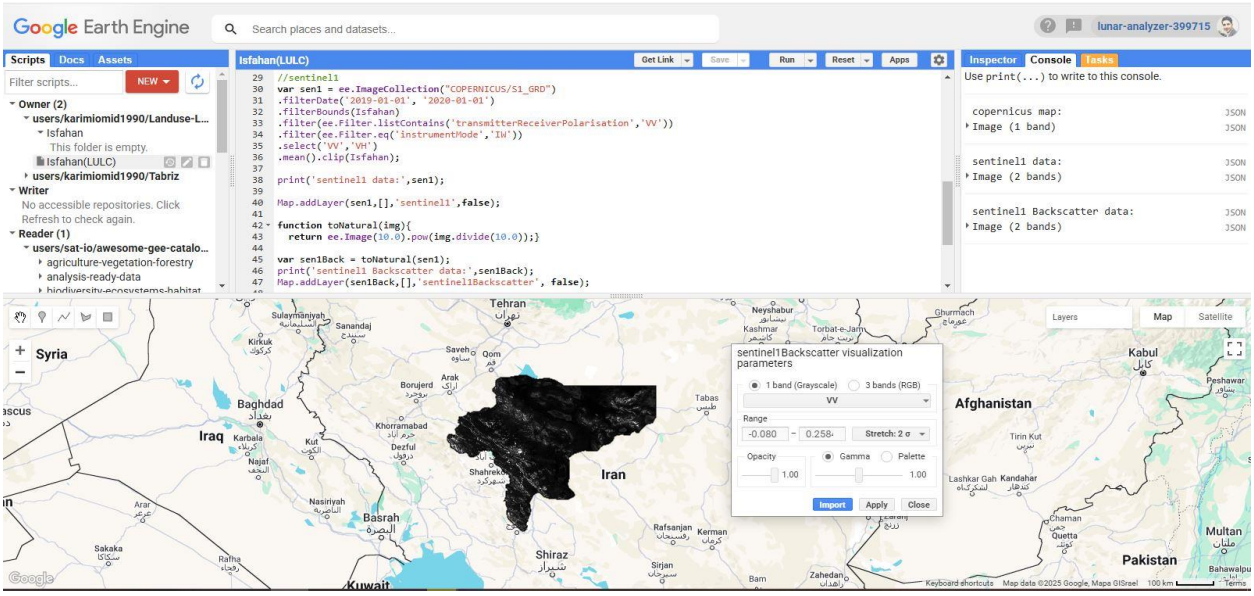
یکی از مزایای ا ستفاده از ت صاویر راداری و اپتیکی به صورت مکمل در نق شه‌های کاربری ارا ضی، ت شخیص عوارض شهری ا ست. علاوه بر این، از آن‌جایی که امواج راداری نسبت به توپوگرافی حساس هستند، این ویژگی باعث می شود که مناطق مرتعی در نق شه‌های کاربری ارا ضی بهتر شنا سایی شوند. پس از فراخوانی داده‌های سنتینل-۱، این داده‌ها به‌صورت د سیبل هستند، یعنی از حالت بازپخش[2] به حالت د سیبل تبدیل شده‌اند. چون این تصاویر برای ما کاربردی نیستند، با تعریف یک تابع، تصاویر دسیبل به حالت بازپخش (یعنی به حالت

[1] Polarization
[2] Backscatter

طبیعی خود) تبدیل خواهد شد. پس از نو شتن کد خام تابع، یک متغیر برای تصاویر سنتینل تعریف می شود (شکل ۱۰). پس از نوشتن کد، آن را ذخیره و اجرا می‌کنیم (شکل ۱۱):

```
function toNatural(img){
  return ee.Image(10.0).pow(img.divide(10.0));}

var sen1Back = toNatural(sen1);
print('sentinel1 Backscatter data:',sen1Back);
Map.addLayer(sen1Back,[],'sentinel1Backscatter', false);
```

شکل ۱۰- کد تبدیل تصاویر دسیبل به حالت بک‌اسکتر



شکل ۱۱- خروجی تبدیل تصاویر دسیبل به حالت بک‌اسکتر

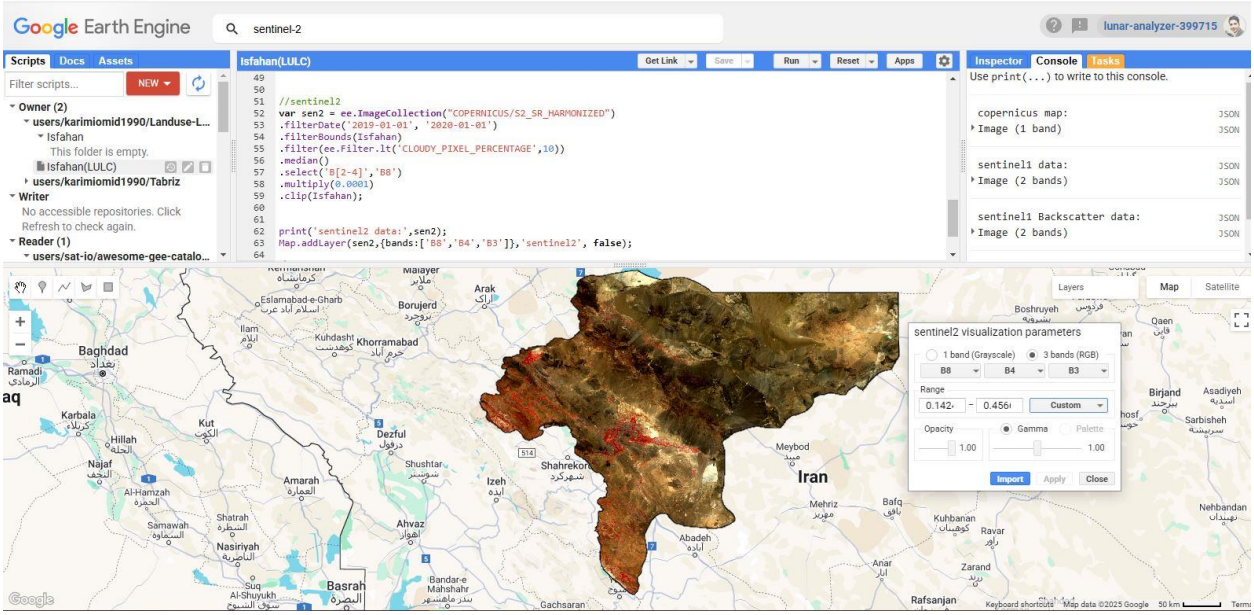
۶-۲- فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2

در این مرحله یک متغیر جدید به نام sen2 ایجاد کرده و برای دسترسی به آی‌دی و مشخصات داده‌های آن، در قسمت جستجو عبارت Sentinel-2 جستجو می‌شود. داده‌های سنتینل-۲ به دو پروداکت Level-1C و Level-2A تقسیم می‌شوند. داده‌های Level-2A از لحاظ رادیومتریکی و اتمسفری تصحیح شده‌اند و دقت بالاتری دارند، در حالی که داده‌های Level-1C تنها از لحاظ رادیومتریکی تصحیح شده‌اند و اثرات اتمسفری از روی آن‌ها برداشته نشده‌اند. بنابراین، داده‌های Level-2A را انتخاب کرده که از سال ۲۰۱۷ تاکنون دردسترس هستند. سپس

فیلترهای زمانی و مکانی تعریف می‌شود. در گام بعدی، با استفاده از یک فیلتر مربوط به ابر مانند filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 10))، تصاویری را که میزان ابر موجود در آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد فراخوانی می‌کند. پس از اجرای کد، تعداد تصاویری که میزان ابر موجود در آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد است برای ما فراخوانی می‌شود (در اینجا ۳۲۱ تصویر). بعد از آن، میانگین یا میانه داده‌های موجود را می‌توان محاسبه کرد. یکی از مزایای این فیلتر، حذف تصاویر با مقدار ابر بیش از ۱۰ درصد است. در مرحله بعد، باندهای هدف را با استفاده از فیلتر SELECT انتخاب کرده و (باندهایی که باید بیشترین تفکیک طیفی را نسبت به هم داشته باشند قابل انتخاب هستند). با توجه به اینکه به‌دنبال استخراج نقشه کاربری ۱۰ متری هستیم، باندهای ۲ تا ۴ به همراه باند شماره ۸ را انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه در راهنمای دانلود تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲، یک scale factor برابر با ۰/۰۰۰۱ پیاده‌سازی شده است، این فیلتر نیز بایستی تعریف شود. سپس با استفاده از دستور CLIP، منطقه موردمطالعه را برش زده و با استفاده از دستور MAP.ADDLAYER، پروداکت موردنظر را نمایش داده می‌شود (شکل ۱۲ و ۱۳).

```
//sentinel2
var sen2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
.filterDate('2019-01-01', '2020-01-01')
.filterBounds(Isfahan)
.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',10))
.median()
.select('B[2-4]','B8')
.multiply(0.0001)
.clip(Isfahan);


print('sentinel2 data:',sen2);
Map.addLayer(sen2,{bands:['B8','B4','B3']},'sentinel2', false);
```

شکل ۱۲- تصویری از کد موردنظر جهت فراخوانی تصاویر ماهواره ای سنتیل ۲



شکل ۱۳- فراخوانی تصاویر ماهواره ای Sentinel-2

۷-۲- شاخص‌های طیفی NDWI و NDVI

با توجه به اینکه شاخص‌های طیفی به طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی کمک خواهند کرد، در اینجا دو شاخص طیفی مهم تعریف می‌شود. اولین شاخص NDVI است که به منظور محاسبه پوشش گیاهی به‌کار می‌رود. برای محاسبه این شاخص، ابتدا تصویر سنتینل-۲ فراخولانی شده را با استفاده از دستور normalizedDifferenc، باندهای B8 (مادون قرمز نزدیک) و B4 (قرمز) را انتخاب کرده تا تفاوت نرمال‌شده این دو باند محاسبه شود. این شاخص معمولاً برای شناسایی مناطق با پوشش گیاهی مفید است. در گام بعدی، مشابه همین فرآیند را برای NDWI (شاخص پوشش آبی) انجام شود. این شاخص برای شناسایی مناطق آبی و منابع آبی مانند دریاچه‌ها و رودخانه‌ها کاربرد دارد. مشابه دستور قبلی، با استفاده از دستور normalizedDifference.، باندهای B3 (سبز) و B8 (مادون قرمز نزدیک) را انتخاب کرده و تفاوت نرمال‌شده این دو باند محاسبه می‌شود. این شاخص‌ها به کمک اطلاعات طیفی به طبقه‌بندی بهتر نقشه کاربری اراضی و تفکیک دقیق‌تر کلاس‌ها کمک خواهند کرد (شکل ۱۴).

```
var ndvi = sen2.normalizedDifference(['B8','B4']).rename('ndvi');
var ndwi = sen2.normalizedDifference(['B3','B8']).rename('ndwi');

Map.addLayer(ndvi,[],'ndvi',false);
Map.addLayer(ndwi,[],'ndwi',false);
```

شکل ۱۴- پیاده‌کردن شاخص‌های طیفی

۸-۲- تلفیق داده‌های اپتیکی و راداری با تشکیل دیتاسیت

در این بخش، داده‌های راداری و اپتیکی کنار هم تجمیع خواهند شد. ابتدا یک متغیر به نام optic تعریف کرده که در آن تصویر میانه سنتینل-۲ را گرفته و سپس شاخص‌های NDVI و NDWI را محاسبه کرده و با استفاده از دستور addBands. این دو شاخص به تصویر میانه سنتینل-۲ اضافه می‌شود. با این کار یک دیتاست اپتیکی ایجاد می‌شود که شامل اطلاعات تصویری و شاخص‌های طیفی است. سپس یک متغیر دیگر به نام dataset بایستی تعریف شود. در این متغیر، داده‌های اپتیکی که قبلاً ایجاد شده است را به‌همراه داده‌های راداری به آن اضافه می‌شود. این کار را با استفاده از دستور (dataset = optical.addBands(radar)) انجام داده که به ما این را امکان می‌دهد که داده‌های اپتیکی و راداری را در یک دیتاست واحد ترکیب کرد. در نهایت، یک دیتاست جدید با ترکیب داده‌های راداری و اپتیکی تولید می‌شود که می‌توان از آن برای انجام تحلیل‌های بیشتر و طبقه‌بندی استفاده کرد (شکل ۱۵).

```
//dataset

var radar = sen1Back;
var optical = sen2.addBands(ndvi).addBands(ndwi);
print('optical data:',optical);
var dataset = optical.addBands(radar);
print('dataset:',dataset);
```

شکل ۱۵- معرفی پارامترهای راداری

بعد از ایجاد دیتاست، به‌منظور استفاده در طبقه‌بندی، نقشه کوپرنیکوس که پیش‌تر استخراج کرده‌ایم، قرار است به‌عنوان یک لایه کاربری اراضی برای مبنای جداسازی کلاس‌ها و برداشت نمونه‌ها مورداستفاده قرار گیرد. به همین دلیل، یک متغیر به نام datasetMap ایجاد کرده که علاوه بر داده‌های اصلی طبقه‌بندی، با استفاده از دستور addBands.، داده‌های کوپرنیکوس نیز به آن اضافه می‌شود. این کار با هدف جداسازی کلاس‌ها و برداشت نمونه‌ها انجام می‌شود، چرا که در پروداکت کوپرنیکوس، کلاس‌های استاندارد برای کاربری اراضی وجود دارند. بنابراین، برای برداشت نمونه‌ها و جداسازی دقیق‌تر کلاس‌ها، باید باندی را که حاوی اطلاعات کاربری اراضی کوپرنیکوس است، به دیتاست اصلی اضافه کرد. این مرحله به ما این امکان را می‌دهد که از اطلاعات کوپرنیکوس به‌عنوان یک مبنای اصلی برای تفکیک و طبقه‌بندی دقیق‌تر استفاده کرد (شکل ۱۶).

```
var datasetMap = dataset.addBands(copernicus);
print('dataset & copernicus map:',datasetMap);
```

شکل ۱۶- افزودن داده‌های کوپرنیکوس به دیتاست قبلی

۹-۲- فرآیند طبقه‌بندی (Classification Procedure)

در این بخش ابتدا یک متغیر به نام bandNames ایجاد کرده که در آن اسم باند داده‌های موجود در دیتاست اصلی ثبت خواهد شد. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، باندهایی که قرار است در فرایند طبقه‌بندی به کار برده شوند، باندهای موجود در متغیر دیتاست هستند. بنابراین، برای استخراج نام باندها، از کد زیر استفاده می‌شود var bandNames = dataset.bandNames(). بعد از استخراج نام باندها، باید نمونه‌هایی از هر کلاس برای آموزش الگوریتم طبقه‌بندی برداشت شود. به همین منظور، یک متغیر به نام trainingData ایجاد کرده که این متغیر شامل باندهای اصلی به علاوه داده‌های کوپرنیکوس برای برداشت نمونه‌های کلاس‌ها خواهد بود. سپس، با استفاده از دستور stratifiedSample. نمونه‌ها برای آموزش الگوریتم طبقه‌بندی از داده‌ها برداشت می‌شود. برای مشاهده

آرگومان‌ها یا المان‌های ورودی این دستور، در داخل پرانتز دکمه Control + Space را فشار داده تا تمامی المان‌های لازم نمایش داده شوند. در این دستورالعمل، المان‌های موردنیاز عبارتند از:

numPoints: تعداد نمونه‌هایی که باید از هر کلاس برداشت شود. چون تعداد کلاس‌ها ۲۳ است، باید برای هر کلاس تعدادی نمونه مشخص کرد. مجموع کل نمونه‌ها نباید از ۵۰۰۰ نمونه بیشتر شود. مثلاً اگر برای هر کلاس ۱۰۰ نمونه برداشت شد، مجموع آن‌ها برابر با ۲۳۰۰ نمونه خواهد شد که از ۵۰۰۰ نمونه بیشتر نیست.

classBand: باندی که برای تعریف و جداسازی کلاس‌ها استفاده می‌شود. در اینجا، باند map که شامل اطلاعات کاربری اراضی است، به‌عنوان مبنای جداسازی کلاس‌ها انتخاب می‌شود. یعنی برای هر کلاس، ۱۰۰ نمونه برداشته می‌شود.

region: در این قسمت، منطقه موردمطالعه بایستی تعریف شود. این منطقه باید به‌عنوان ناحیه‌ای برای نمونه‌برداری مشخص شود.

scale: مقیاسی که باید برای نمونه‌برداری انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه نقشه اصلی ما مقیاس ۱۰۰ متری دارد، باید مقدار Scale را بزرگتر از نقشه ی خروجی که ۱۰ متری است انتخاب شود گرفت. می‌توان مقیاس را کمتر از ۱۰۰ متر نیز انتخاب کرد، اما چون منطقه وسیع است، این کار ممکن است باعث افزایش خطای برش داده شود. بنابراین، انتخاب مقیاس بزرگتر به کاهش خطا کمک می‌کند. این فرآیند کمک می‌کند تا نمونه‌های کلاس‌ها به‌طور خودکار انتخاب شوند و این نمونه‌ها برای آموزش الگوریتم طبقه‌بندی مورداستفاده قرار گیرند (شکل ۱۷).

```
//classification procedure

var bandNames = dataset.bandNames();
var trainingData = datasetMap.stratifiedSample({
  numPoints:100,
  classBand:'map',
  region:Isfahan,
  scale:170
});

print('training data:',trainingData);
```

شکل ۱۷- طبقه‌بندی کلاس‌ها

۱۰-۲- فرایند طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم Random Forest

بعد از مشخص کردن تعداد نمونه‌ها، باید Classifier (مدل طبقه‌بندی) را انتخاب کرد. در این دستورالعمل از ee.Classifier.smileRandomForest(n) استفاده می‌شود، که در آن n تعداد درخت‌ها (شاخه‌ها) در مدل Random Forest را مشخص می‌کند. این مدل برای طبقه‌بندی داده‌ها از این درخت‌ها استفاده می‌کند تا بهترین تقسیم‌بندی را براساس ویژگی‌های موجود ایجاد کند. سپس برای آموزش مدل، دستور train را نوشته که به مدل این امکان را می‌دهد که براساس پارامترهای داده‌شده، مدل را آموزش دهد یا ارزیابی کند. در این دستور، باید چندین آرگومان وارد شود:

features: ویژگی‌های هر کلاس که در اینجا متغیر trainingData است. این داده‌ها شامل نمونه‌هایی هستند که الگوریتم طبقه‌بندی باید برای آموزش مدل از آن‌ها استفاده کند.

classProperty: باندی که ویژگی هر کلاس را مشخص می‌کند. در اینجا، نقشه‌ی map به‌عنوان باندی که اطلاعات مربوط به هر کلاس را نگه‌داری می‌کند، استفاده می‌شود.

inputProperties: اسامی باندهایی که فرایند طبقه‌بندی براساس آن‌ها انجام خواهد شد. در اینجا، اسم باندها از متغیر bandNames استخراج می‌شود. کد مربوط آن را در شکل ۱۸ ارائه شده است:

```
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(80).train({
  features: trainingData,
  classProperty:'map',
  inputProperties: bandNames

});
```

شکل ۱۸- پیاده‌سازی الگوریتم جنگل تصادفی

۲-۱۱- آماده‌سازی نقشه طبقه‌بندی‌شده

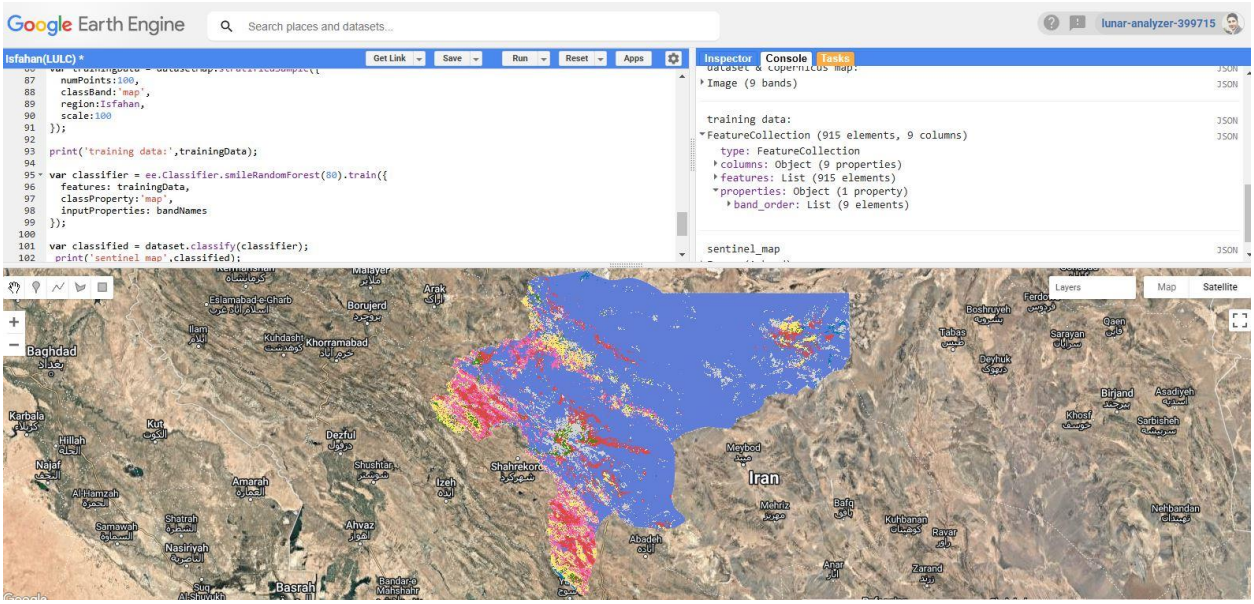
بعد از آموزش مدل، باید نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده خروجی گرفته شود. برای این کار از دستور زیر استفاده می شود:

var classified = dataset.classify(trainedClassifier)

سپس، برای بصری‌سازی نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده، از دستور Map.addLayer استفاده می‌کنیم. در اینجا، min و max برای تعریف مقادیر حداقل و حداکثر کلاس‌ها در نظر گرفته شده‌اند (در این مثال، از ۰ تا ۲۲ کلاس مختلف یعنی مجموعاً ۲۳ کلاس وجود دارند) (شکل ۱۹). همچنین، palette یک ارائه از رنگ‌ها است که به هر کلاس یک رنگ اختصاص داده می‌شود تا بتوان نقشه طبقه‌بندی‌شده را بصری‌سازی کرد. این فرایند به ما این امکان می‌دهد که داده‌ها را طبق کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی کرده و نقشه‌ای از کاربری اراضی یا سایر ویژگی‌های جغرافیایی ایجاد کرد (شکل ۲۰).

```
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(80).train({
  inputProperties: trainingData,
  classProperty:'map',
  inputProperties: bandNames

});

var classified = dataset.classify(classifier);
 print('sentinel_map',classified);

Map.addLayer(classified,{min:0, max:200, palette: [
  '#282828','#ffbb22','#ffff4c','#f096ff','#fa0000','#b4b4b4','#f0f0f0','#0032c8',
  '#0096a0','#fae6a0','#58481f','#009900','#70663e','#00cc00','#4e751f','#007800','#666000',
  '#8db400','#8d7400','#a0dc00','#929900','#648c00','#000080  '
  ]},'copernicus_updated', false);
```

شکل ۱۹- ویژگی‌های پروداکت Copernicus



شکل ۲۰- نقشه کاربری اراضی با مشخصات پروداکت Copernicus

۱۲-۲- خروجی گرفتن نقشه طبقه‌بندی‌شده

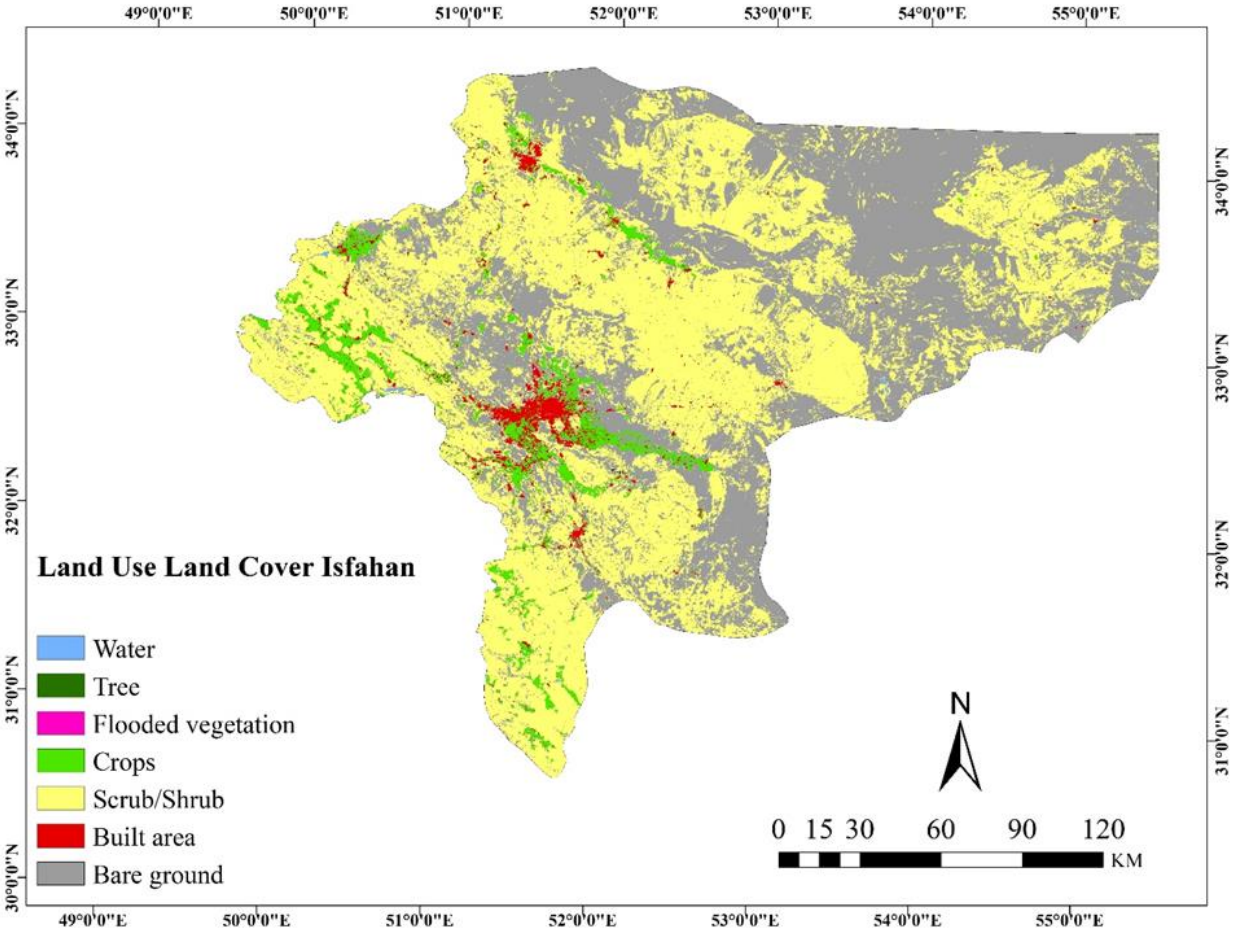
برای خروجی نقشه از کد ارائه شده در شکل ۲۱ استفاده می‌شود و نقشه کاربری اراضی محاسبه شده با استفاده از روش تلفیقی ارائه شده در فوق را استخراج می‌کند:

```
Export.image.toDrive({
    image: classified,
    description: 'copernicus_map_Updated',
    scale: 10,
    region: Isfahan,
    maxPixels: 1e13,
    crs: 'EPSG:3857'
  });
```

شکل ۲۱- کد برای گرفتن خروجی نقشه

وقتی مقدار scale روی عدد ۱۰ تنظیم شود، نقشه با بالاترین جزئیات و کیفیت به دست می‌آید. اما یکی از معایب این تنظیم، زمان طولانی دانلود است که بسته به مساحت نقشه ممکن است از یک ساعت تا دو ساعت طول بکشد. نقشه‌های استخراج‌شده از Google Earth Engine (GEE) به‌صورت Gray scale (مقیاس خاکستری) هستند، که در آن کلاس‌ها به‌صورت مقادیر عددی (value) از هم جدا شده‌اند. این نقشه‌ها به‌طور مستقیم قابل

استفاده نیستند، زیرا رنگ‌ها و لیبل‌ها برای هر کلاس به وضوح مشخص نشده‌اند و فرمت آن‌ها به‌صورت نقشه طبقه‌بندی‌شده نیست. برای تبدیل این نقشه‌ها به فرمت قابل استفاده، باید آن‌ها را به نرم‌افزارهای دسکتاپ مانند ArcGIS و یا ENVI منتقل کرد و سپس عملیات طبقه‌بندی مجدد را در آنجا انجام داد. یکی از روش‌های مؤثر برای این کار، استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (Decision Tree) است که به وضوح به‌تفکیک و شناسایی کلاس‌ها کمک می‌کند. در نهایت نقشه دانلود شده را در نرم افزار ENVI فراخوانی کرده، سپس در نرم‌افزار ENVI، برای طبقه‌بندی داده‌ها به روش Decision Tree، ابتدا به قسمت Classification رفته و از پوشه New Decision Tree گزینه مربوطه را انتخاب می‌شود. در ساختار ابزار، باید اسم هر کلاس را به همراه لیبل آن وارد کرد و مطابق با راهنمای موجود در نقشه کوپرنیکوس، اسامی و رنگ‌ها دقیقاً همانطور که در راهنما آمده، انتخاب می‌شود. برای مثال، کلاس اول را که نقاط تعریف‌نشده هستند، به‌عنوان Unknown تعریف کرده و رنگ آن مشکی گذاشته می‌شود. کلاس بعدی که دارای مقدار ۲۰ است، به‌عنوان Crops شناخته می‌شود و رنگ آن سبز انتخاب می‌شود. همینطور سایر کلاس‌ها را با توجه به مقادیر و توضیحات پرواداکت کوپرنیکوس، از جمله کلاس Flood Vegetation که مقدار آن ۳۰ است، تعریف می‌شود. پس از اتمام مراحل، نقشه منطقه موردمطالعه (مثلاً اصفهان) با دقت ۱۰ متری و ۷ کلاس طبقه‌بندی شده، خروجی داده می‌شود (شکل ۲۲). در این نقشه، کلاس‌هایی که در منطقه موجود نیستند، به‌صورت صفر نشان داده می‌شوند و درنهایت نقشه به‌صورت بصری برای تجزیه‌وتحلیل‌های بیشتر آماده می‌شود.



شکل ۲۲- نقشه کاربری اراضی استان اصفهان با دقت ۱۰ متری با استفاده از پروداکت Copernicus

۱۳-۲- پس‌پردازش و اعتبارسنجی نقشه

یکی از مراحل مهم در تولید نقشه کاربری ارااضی با هر روشی پس‌پردازش است. کاربر با ارجاع به منابع اطلاعاتی در دسترس و معتبر (مشاهدات میدانی، تصاویر گوگل‌ارث، نقشه‌های در دسترس و ...) اقدام به اصلاح نقشه کاربری تولید شده می‌کند. در نقشه تولید شده در این دستورالعمل کاربران می‌توانند برخی از اسامی کلاس‌ها را مطابق با منطقه موردمطالعه تغییر داده و یا حتی برخی از کلاس‌ها را با کلاس‌های دیگر تلفیق کنند. به‌عنوان مثال، یکی از کلاس‌های استاندارد جهانی ارائه شده در نقشه کوپرنیکوس Scrub/Shrub است، این کلاس در ایران گویای مراتع است و می‌تواند به این نام تغییر یابد. کلاس بعدی Flooded vegetation است که اشاره به نواحی مرطوب با حیات گیاهی است که در استان اصفهان سطح بسیار ناچیزی را دارد. با بررسی این مناطق، اگر در

محدوده‌های زراعی و کشاورزی قرار دارند می‌توان این اراضی را جزو کلاس Crops قرار داد؛ اما اگر در محدوده رودخانه‌ها و یا تالاب‌ها هستند بسته به موقعیت می‌تواند جزو مراتع و یا سطوح آبی طبقه‌بندی شود.

برای اعتبارسنجی، برای هر کلاس کاربری اراضی، کاربر می‌تواند تعدادی نمونه تعلیمی از گوگل‌ارث برداشت کرده و از آنها برای ارزیابی دقت نقشه تولیدی استفاده کند. این نمونه‌ها باید از مناطق مختلف و به‌صورت تصادفی در سطح کلاس‌های مختلف انتخاب شوند تا بازنمایی دقیقی از ویژگی‌های واقعی منطقه موردمطالعه داشته باشند. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها، از دستور Classification Accuracy Assessment در نرم‌افزار ENVI استفاده می‌شود که به‌طور خودکار Confusion Matrix را برای مقایسه نقشه پیش‌بینی شده با نمونه‌های تعلیمی می‌سازد.

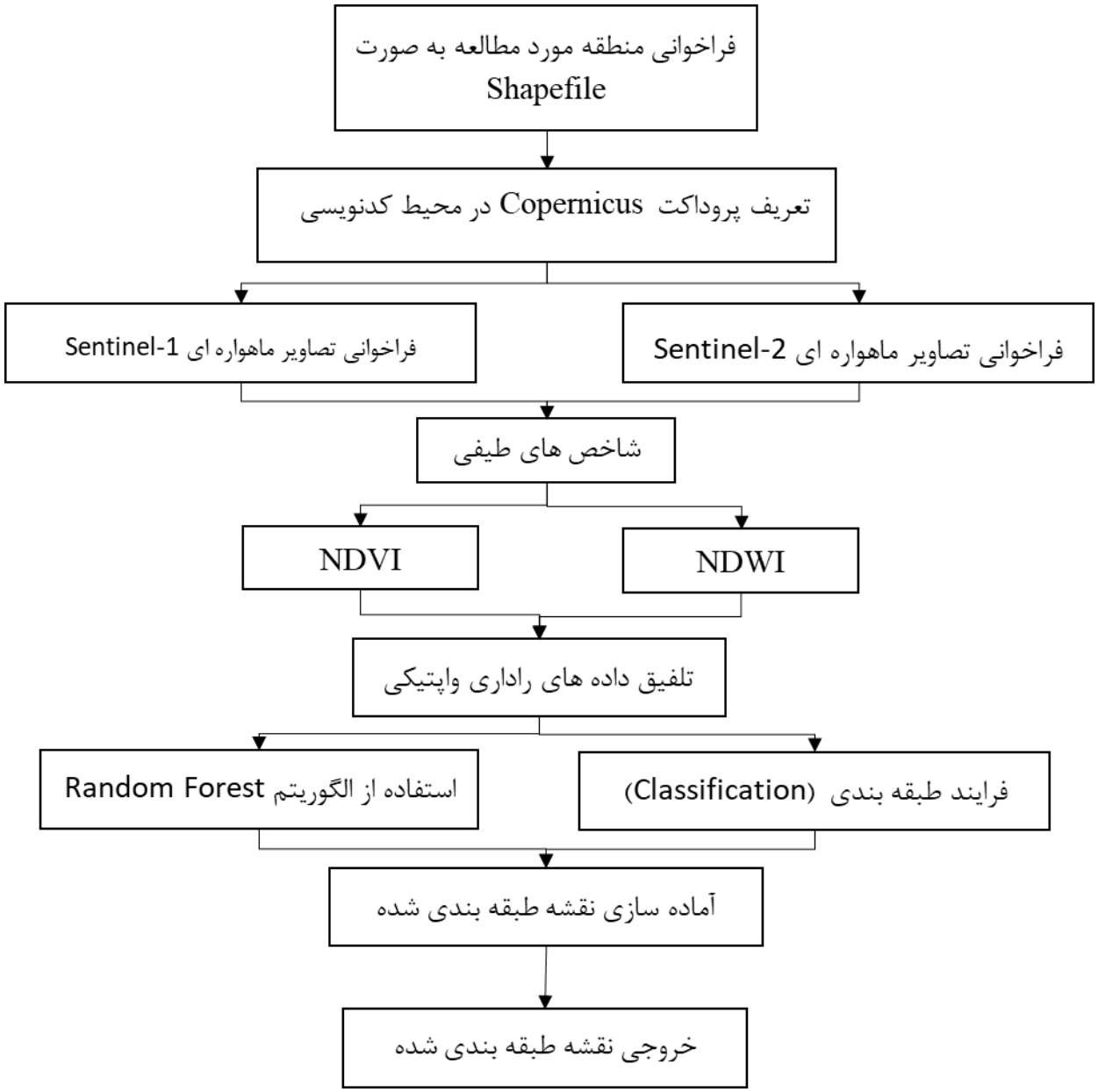
همچنین می‌توان از نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی R و Python برای محاسبه جدول توافقی استفاده کرد. کافی است مقادیر متناظر با نمونه‌های تعلیمی را از نقشه تولید شده استخراج کرد (مثلاً از طریق نرم‌افزار ArcGIS) و جهت انجام تحلیل‌های مرتبط با اعتبارسنجی وارد نرم‌افزارهای برنامه‌نویسی R و Python کرد و به محاسبه جدول توافقی پرداخت. برای این منظور لازم است که هر کاربری اراضی کدگذاری شود و سپس داده‌ها در دو ستون (ستون اول نمونه‌های تعلیمی مشاهداتی و ستون دوم مقادیر متناظر پیش‌بینی شده) تهیه شود. در نرم‌افزار R از طریق کتابخانه caret و دستورات زیر، ابتدا فراخوانی داده‌ها از یک فایل متنی (*.txt) انجام شده و سپس جدول توافقی و آماره‌های آن محاسبه می‌شود:

```
data<-read.table(file.choose(),header=T, sep="")
library(caret)
data <- as.data.frame(lapply(data, factor))
confusionMatrix(data[,1], data[,2],mode='everything')
```

جهت محاسبه جدول توافقی در نرم‌افزار Python از دستورات زیر استفاده می‌شود:

```
import pandas as pd
from sklearn.metrics import confusion_matrix, accuracy_score, precision_score, recall_score,
f1_score
import numpy as np
data =pd.read_csv("E:/data.txt", sep=',')
confusion_matrix(data['actual_column'], data['predicted_column'])
```

خلاصه گام‌های اجرایی جهت تهیه نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری با استفاده از پروداکت Copernicus در شکل ۲۳ ارائه شده است. همچنین، در پیوست ۱ کد مورداستفاده جهت استخراج کاربری اراضی در محیط گوگل‌ارث‌انجین که در مراحل قبلی تشریح شد، ارائه شده است.



شکل ۲۳- خلاصه مراحل استخراج نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری

۳- جمع‌بندی نتایج

به‌طورکلی نبود نقشه‌های دقیق و بروز کاربری اراضی چالش‌های جدی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری ایجاد می‌کند. این کمبود می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست در توسعه زیرساخت‌ها، مدیریت ناکارآمد منابع آب و تخریب محیط زیست شود. لذا در این دستورالعمل نحوه‌ی استخراج نقشه کاربری اراضی با دقت ۱۰ متری شرح داده شد. برای تهیه نقشه کاربری اراضی ۱۰ متری، ابتدا از پروداکت کوپرنیکوس لند کاور استفاده می‌شود که نقشه‌های کاربری اراضی را با ۲۳ کلاس در سطح جهانی ارائه می‌دهد. این نقشه به‌عنوان مبنای طبقه‌بندی و جداسازی کلاس‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس با فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲، داده‌های راداری و اپتیکی برای منطقه موردمطالعه استخراج می‌شود. تصاویر سنتینل-۱ با استفاده از باندهای VV و VH برای تشخیص بهتر عارضه‌های شهری و ویژگی‌های راداری استفاده می‌شوند. داده‌های سنتینل-۲ پس از تصحیح رادیومتریک و اتمسفری، با استفاده از فیلترهایی همچون میزان ابری بودن، برای تحلیل‌های دقیق‌تر انتخاب می‌شوند. سپس این داده‌ها با استفاده از تابع addBands تجمیع می‌شوند تا مجموعه‌ای از داده‌های راداری و اپتیکی تشکیل شود. بعد از آن، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی مانند Random Forest، نمونه‌ها استخراج شده و مدل طبقه‌بندی آموزش داده می‌شود. نقشه طبقه‌بندی شده پس از پردازش، به‌صورت بصری با استفاده از پالت‌های رنگی نمایش داده می‌شود. در نهایت، نقشه نهایی در نرم‌افزارهای تخصصی مانند ENVI به فرمت قابل استفاده برای تحلیل‌های بیشتر تبدیل می‌شود. این دستوالعمل می‌تواند ابزاری کارآمد و مفید در اختیار پژوهشگران باشد تا در هر سال دلخواه و برزو بتوانند نقشه‌های کاربری اراضی را استخراج کرده و تغییرات آن‌ها را پایش کنند.

۴- منابع

- Asner, G.P. 2001. Cloud cover in landsat observations of the Brazilian amazon. Int. J. Remote Sens. 22 (18): 3855–3862.
- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N.E., Herold, M., Bertels, L. and Smets, B. 2020. Copernicus global land cover layers—collection 2. Remote Sensing. 12(6): p.1044.
- 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.

- 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.
- Kumar, L., & Mutanga, O. 2018. Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. Remote Sensing. 10(10): 1509.
- 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 cloudprone areas. Int. J. Remote Sens. 35 (8): 2799–2821.
- Mohammady, M., Moradi, H.R., Zeinivand, H., Temme, A.J.A.M. 2014. A comparison of supervised, unsupervised and synthetic land use classification methods in the north of Iran. International Journal of Environmental Science and Technology. 12(5):1515-1526.
- 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.
- 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.
- Tolessa, T., Senbeta, F., Kidane, M. 2017. The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. Ecosystem Services. 23:47- 54.
- Varamesh, S., Hosseini.S.M., Rahimzadegan, M. 2017. Comparison of conventional and advanced classification approaches by landsat-8 imagery. Applied Ecology and Environmental Research. 15(3):1407-1416.
- Wagner, P.D., Waske, B. 2016. Importance of spatially distributed hydrologic variables for land use change modeling. Environ. Model. Softw. 83: 245–254.

پیوست ۱

در این بخش کد مورداستفاده جهت استخراج کاربری اراضی در محیط گوگل‌ارث‌انجین ارائه شده است:

```
var Isfahan = ee.FeatureCollection("projects/bahram368/assets/Isfahan");
Map.centerObject(Isfahan);
Map.addLayer(Isfahan);
var copernicus = ee.ImageCollection("COPERNICUS/Landcover/100m/Proba-V-C3/Global")
```

```
.filterDate('2019-01-01','2020-01-01')
.filterBounds(Isfahan)
.toBands()
.clip(Isfahan)
.select('2019_discrete_classification').rename('map');
print('copernicus map:',copernicus);
Map.addLayer(copernicus,{palette: [
 '#282828', '#ffbb22','#ffff4c', '#f096ff', '#fa0000', '#b4b4b4', '#f0f0f0', '#0032c8',
 '#0096a0', '#fae6a0', '#58481f', '#009900', '#70663e','#00cc00', '#4e751f', '#007800', '#666000',
 '#8db400', '#8d7400', '#a0dc00', '#929900', '#648c00','#000080'
]},'copernicus', false);
  Export.image.toDrive({
    image: copernicus,
    description: 'copernicus_map',
    scale: 100,
    region: Isfahan,
    maxPixels: 1e13,
    crs: 'EPSG:3857'
  });
//sentinel1
var sen1 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")
.filterDate('2019-01-01', '2020-01-01')
.filterBounds(Isfahan)
.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation','VV'))
.filter(ee.Filter.eq('instrumentMode','IW'))
.select('VV','VH')
.mean().clip(Isfahan);
print('sentinel1 data:',sen1);
Map.addLayer(sen1,[],'sentinel1',false);
function toNatural(img){
  return ee.Image(10.0).pow(img.divide(10.0));}
var sen1Back = toNatural(sen1);
print('sentinel1 Backscatter data:',sen1Back);
Map.addLayer(sen1Back,[],'sentinel1Backscatter', false);
//sentinel2
var sen2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
.filterDate('2019-01-01', '2020-01-01')
.filterBounds(Isfahan)
.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',10))
.median()
.select('B[2-4]','B8')
.multiply(0.0001)
.clip(Isfahan);
print('sentinel2 data:',sen2);
Map.addLayer(sen2,{bands:['B8','B4','B3']},'sentinel2', false);
 var ndvi = sen2.normalizedDifference(['B8','B4']).rename('ndvi');
```

```
var ndwi = sen2.normalizedDifference(['B3','B8']).rename('ndwi');
Map.addLayer(ndvi,[],'ndvi',false);
Map.addLayer(ndwi,[],'ndwi',false);


//dataset


var radar = sen1Back;
var optical = sen2.addBands(ndvi).addBands(ndwi);
print('optical data:',optical);
var dataset = optical.addBands(radar);
print('dataset:',dataset);
var datasetMap = dataset.addBands(copernicus);
print('dataset & copernicus map:',datasetMap);


//classification procedur
var bandNames = dataset.bandNames();
var trainingData = datasetMap.stratifiedSample({
  numPoints:100,
  classBand:'map',
  region:Isfahan,
  scale:170
});
print('training data:',trainingData);
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(80).train({
  features: trainingData,
  classProperty:'map',
  inputProperties: bandNames
});
var classified = dataset.classify(classifier);
 print('sentinel_map',classified);
Map.addLayer(classified,{min:0, max:200, palette: [
  '#282828','#ffbb22','#ffff4c','#f096ff','#fa0000','#b4b4b4','#f0f0f0','#0032c8',
  '#0096a0','#fae6a0','#58481f','#009900','#70663e','#00cc00','#4e751f','#007800','#666000',
  '#8db400','#8d7400','#a0dc00','#929900','#648c00','#000080     '
  ]},'copernicus_updated', false);
Export.image.toDrive({
    image: classified,
    description: 'copernicus_map_Updated',
    scale: 10,
    region: Isfahan,
    maxPixels: 1e13,
    crs: 'EPSG:3857'
})
```

در صورت داشتن هر گونه سوال یا ایراد در اجرای کد فوق با آدرس ایمیل‌های زیر با ما در تماس باشید:
bahram368@gmail.com; karimi.omid1990@gmail.com

Abstract

One of the main challenges in natural resource management and remote sensing is providing up-to-date and accurate land use maps. This need is increasingly felt each year, especially considering the rapid environmental and human changes. However, the availability of high-quality annual data from Copernicus products has made it possible to update and extract land use maps annually. In this study, high-precision land use maps have been produced by using Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images and by combining optical and radar data. Utilizing Google Earth Engine as a powerful platform facilitates the data processing and analysis, allowing for the annual updating of these maps. This method not only takes advantage of both types of data but also enables the generation of maps with an accuracy of 10 meters, significantly surpassing the standard 100-meter resolution of Copernicus products. The codes provided in this manual are applicable to all regions, and this method can be employed to produce land use maps in various geographical areas. This manual aims to outline the steps for preparing a land use map using Copernicus products, Sentinel series satellite images, and Google Earth Engine. The method employed is based on supervised classification using the Random Forest algorithm. The main steps include preparing base images, collecting training samples, running the classification algorithm, and evaluating the accuracy of the results. The findings of this research show that utilizing Copernicus data and modern analysis tools is an effective solution for preparing up-to-date and accurate land use maps, which can be utilized in water resource management, environmental change monitoring, and urban planning. Given the increasing importance of sustainable resource management, this manual can serve as an efficient tool for researchers, planners, and decision-makers.

Keywords: Sentinel images, Google Earth Engine, land use, random forest

Ministry of Agriculture Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI)
Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Title: Extracting a 10-Meter Land Use Map by Integrating Copernicus Product and Sentinel Images in the Google Earth Engine
Authors: Bahram Choobin, Omid Karimi
Editor: Saeed Nabipay Lashkarian
Document Formatting: Abbas Seddigh
Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Circulation: 10 Copies
Date of Publication: Spring 2025
This Scientific work has been registered with the series number of **67117** at the date of **2025-04-07** in the Agriculture Information and Scientific Documents Center.

Ministry of Agriculture Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI)
Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Technical Guideline:
Extracting a 10-Meter Land Use Map by Integrating Copernicus Product and Sentinel Images in the Google Earth Engine

Authors:
Bahram Choobin, Omid Karimi

Series Number:
67117

2025

Minstry of Agriculture - Jahad
Agriculture Research, Education and Extention Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Technical Guideline

Extracting a 10-Meter Land Use Map by Integrating Copernicus Product and Sentinel Images in the Google Earth Engine

Authors:
Bahram Choobin, Omid Karimi

Series Number: 67117

2025