https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2023.1988986.2954

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۲، شماره ۱۲۷، پاییز ۱۴۰۲

صفحات ۱۱۵ - ۹۵

ارزیابی و مقایسه دقت منطقه‌ای محصولات جهانی سنجش از دوری در ایران
مطالعه موردی: محصولات پوشش اراضی در استان مازندران

غدیر عشورنژاد [۱]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۳

****

چکیده

سنجش از دور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع داده مکانی در عصر حاضر محسوب می‌شود که روز به روز شاهد توسعه آن در ابعاد مختلف هستیم. انتشار محصولات (پروداکت‌های) جهانی این داده‌ها در سال‌های اخیر با هدف دسترسی و استفاده راحت‌تر متخصصان علوم مکانی یکی از ابعاد این توسعه محسوب می‌شود. محصول پوشش اراضی یکی از این محصولات محسوب می‌شود که سهم بیشتری در استفاده نسبت به سایر محصولات سنجش از دوری دارد. هنگام ارائه این محصولات ویژگی‌های کیفی و کمّی آن‌ها از جمله دقت جهانی آن‌ها نیز منتشر می‌شود. بیان دقت این محصولات به‌صورت جهانی، ارزیابی مجدد دقت آن‌ها را به‌صورت منطقه‌ای برای کاربران این محصولات در مناطق مختلف دنیا لازم و ضروری می‌نماید. در این تحقیق پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)، محصول پوشش اراضی GlobeLand30 و محصول پوشش اراضی Esri از جمله محصولات جهانی پوشش اراضی هستند که ضمن مقایسه ویژگی‌های اسمی، از لحاظ کمّی برای استفاده به‌صورت منطقه‌ای در کشور (استان مازندران) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج، دقت منطقه‌ای پوشش اراضی CGLS، GlobeLand30 و Esri را به‌ترتیب برابر با ۸۴، ۸۱ و ۷۵ درصد نسبت به دقت جهانی آن‌ها (۸۰، ۸۳ تا ۸۵ و ۸۶ درصد) نشان می‌دهند. در ارزیابی دقت منطقه‌ای کلاس‌ها، هر سه محصول مورد مطالعه دقتی بالای ۹۰ درصد در کلاس‌های برف و یخ، جنگل، پهنه‌های آبی و ساخت‌وساز انسانی داشته‌اند. برای کلاس اراضی کشاورزی دقتی برابر با ۹۲، ۶۹ و ۸۴ درصد برای پوشش‌های اراضی CGLS، GlobeLand30 و Esri به‌دست آمد. در سه کلاس بوته‌زار، پوشش علفی و تالاب، نتایج دقتی کمتری را نسبت به سایر کلاس‌ها برای هر سه محصول پوشش اراضی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، پوشش اراضی، CGLS، GlobeLand30، پوشش اراضی Esri، استان مازندران، ایران

****

۱- استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران ashournejad@umz.ac.ir

۱- مقدمه

سنجش از دور با ویژگی‌هایی همچون پوشش جهانی، دقت بالا و دسترسی آسان و در برخی موارد رایگان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع داده مکانی در عصر حاضر محسوب می‌شود که روز به روز شاهد توسعه آن در ابعاد مختلف هستیم (Wang et al., 2017; Chaves et al., 2017). با مروری در برنامه‌های مختلف سنجش از دوری در سرتاسر دنیا متوجه می‌شویم که این توسعه، ابعاد کمّی و کیفی را با هم در بر گرفته است (Kang et al., 2019 & Wang et al., 2019).

در ابعاد کمّی می‌توان به افزایش شمار کشورهایی که به‌دنبال دسترسی به این فناوری هستند اشاره نمود که به‌صورت مستقل و یا به‌صورت اشتراکی با سایر کشورها یا سازمان‌های پیشرو، این هدف را دنبال می‌کنند (Guo et al., 2019). نتیجه این توسعه، افزایش تعداد سنجنده‌های سنجش از دوری است. حتی در برخی موارد بیش از یک نوع سنجنده یکسان با هدف افزایش قدرت تفکیک زمانی در مدار قرار گرفته است که می‌توان به لندست (۸ و ۹)، سنتینل- ۱(A و B)، سنتینل-۲ (A و B)، سنتینل-۳ (A و B) اشاره نمود (Guo et al., 2020; Phiri et al., 2020; You et al., 2022).

در ابعاد کیفی نیز می‌توان به توسعه سنجنده‌ها با کاربردها و قابلیت‌های گوناگون در محدوده‌های مختلف طیف الکترومغناطیس (بهبود قدرت تفکیک طیفی) اشاره نمود (Guo et al., 2019). علاوه بر این، بهبود قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریکی سنجنده‌ها از دیگر مواردی است که می‌توان به آن اشاره نمود (Guo et al., 2020).

در کنار این توسعه همه‌جانبه کمّی و کیفی نباید از توسعه الگوریتم‌ها و انتشار ابزارهایی که طی این سال‌ها توسط محققین و سازمان‌ها صورت گرفته است غافل شویم که نقش کلیدی در افزایش کاربران این داده‌ها در جهان داشته‌اند (Yang et al., 2022). همه این موارد باعث شد تا متولیان تولید داده‌های سنجش از دوری یک گام فراتر روند و علاوه‌بر عرضه داده‌های خام، دست به انتشار محصولات (پروداکت‌های) این داده‌ها بزنند (Buchhorn et al., 2020). پوشش اراضی، شاخص‌های پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، میزان رطوبت سطح و غیره از جمله محصولاتی هستند که از طریق داده‌های سنجش از دوری قابل تهیه و تولید می‌باشند (Araujo-Barbosa et al., 2015).

در این بین، بررسی تحقیقات مختلف نشان‌دهنده آن است که از میان این محصولات سهم استفاده از محصول پوشش اراضی بیشتر از سایر محصولات است (Wang et al., 2022; Nasiri et al., 2022; Ding et al., 2022). محصول پوشش زمین نشان می‌دهد که چه مقدار از یک منطقه توسط جنگل‌ها، تالاب‌ها، سطوح غیرقابل نفوذ، کشاورزی و دیگر انواع اراضی خشکی و آبی پوشانده شده است (Chen et al., 2017; Venter et al., 2022). اطلاعات مربوط به پوشش اراضی و تغییرات آن در گذر زمان توسط مدیران، سیاست‌گذاران و دانشمندانی که موضوعات مختلفی از قبیل چرخه جهانی کربن، تنوع زیستی و تخریب زمین را در طرح‌های مختلف با هدف توسعه پایدار مطالعه می‌کنند، استفاده می‌شود (Chen et al., 2015; Xu et al., 2022; Kavvada et al., 2020). از دیگر کاربردهای مهم این محصول به‌عنوان یکی از لایه‌های اطلاعاتی در برنامه‌های ارزیابی و پایش محیطی و تهیه طرح‌های برنامه‌ریزی است (ashournejad et al., 2019; Liu et al., 2021). لایه پوشش اراضی در طرح‌های ملی و منطقه‌ای آمایش سرزمین، ارزیابی توان اکولوژیک، تنوع زیستی و عملکردهای اکوسیستم، ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستمی، جنگل‌زدایی، بیابان‌زدایی، فرسایش زمین، مدیریت منابع آب، کشاورزی و امنیت غذایی، توسعه شهری و منطقه‌ای و تغییرات آب و هوایی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد (Gao et al., 2020; Sun et al., 2022; Delgado-Artés et al., 2022; Soliman et al., 2022). در هنگام انتشار این محصولات، مشخصاتی همچون محدوده جغرافیایی تحت پوشش، داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده، الگوریتم طبقه‌بندی داده‌ها، دقت محصولات به‌دست آمده و اندازه پیکسل سایز محصولات (در حالت رستری بودن آن‌ها) ارائه می‌شود و کاربران با توجه به این مشخصات از آن‌ها استفاده می‌کنند.

سؤالات اصلی تحقیق در این قسمت شکل می‌گیرند و نخست این است که در محصولات ارائه شده با پوشش جهانی آیا دقت بیان شده در تمامی مناطق دنیا یکسان است؟ و سؤال دوم اینکه آیا متناسب با اندازه پیکسل سایز بیان شده در این محصولات، پوشش‌های اراضی مختلف به درستی از هم تفکیک شده‌اند؟ به عبارت دیگر، هدف سؤالات مطرح شده این است که آیا می‌توان به این محصولات اعتماد کرد و در طرح‌های مختلف ملی و منطقه‌ای از آن‌ها استفاده کرد؟

با مروری بر تحقیقات مشابه که به‌دنبال پاسخگویی به سؤالاتی مشابه سؤالات این تحقیق هستند شاهد آن هستیم که زمینه اشتراک تمامی آن‌ها در ارزیابی منطقه‌ای محصولات جهانی است. بروولی[1] و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی نخستین ارزیابی دقت را در سطح ملی بر روی داده‌های پوشش اراضی GlobeLand30 انجام دادند. آن‌ها در هشت منطقه از ایتالیا که غالباً شامل شمال این کشور می‌شد به ارزیابی دقت محصولات ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ میلادی پرداختند که نتایج کار آن‌ها دقتی بالاتر از ۸۰ درصد را برای تمامی مناطق نشان می‌دهد.

وانگ[2] و همکاران در سال ۲۰۲۲ با هدف ایجاد راهنمایی برای استفاده از داده‌های پوشش اراضی با پیکسل سایز ۱۰ متری تحقیقی را در جنوب غربی چین انجام دادند. آن‌ها پوشش اراضی FROM-GLC، WorldCover ESA، Esri را ارزیابی و مورد مقایسه قرار دادند. آن‌ها از منابع مختلفی به‌عنوان داده‌های واقعیت زمینی استفاده کردند و نتایج ارزیابی آن‌ها برای هر کدام از محصولات مورد اشاره به ترتیب دقتی برابر با ٤٩/٤٧ تا ٦٢/٤٢ درصد، ٤٥/١٣ تا ٦٤/٥٠ درصد و ٣٩/٠٣ تا ٦١/٩٤ درصد به‌دست آمد. همچنین ضریب همبستگی این محصولات براساس مساحت پوشش اراضی برای FROM-GLC و ESA WorldCover به میزان ٠/٩٤ به‌دست آمده است ولی نسبت به محصول Esri این همبستگی بسیار پایین است.

هوآن[3] در سال ۲۰۲۲ به بررسی محصول پوشش اراضی Esri در یکی از استان‌های ویتنام پرداخت. نتایج تحقیق او دقتی برابر با ۷۹/۷۲ درصد را برای این محصول در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همچنین او برای افزایش دقت این محصول در منطقه مورد مطالعه، شیوه‌ای را در تلفیق این داده‌ها با داده‌های توپوگرافی نظیر مدل رقومی ارتفاعی و شیب زمین ارائه کرده که موجب افزایش دقت این محصول به مقدار ٨٤/٣٤ درصد شده است.

در کنار این تحقیقات که به مطالعه منطقه‌ای محصولات جهانی پوشش اراضی می‌پردازند، تحقیقاتی وجود دارند که چارچوبی را برای ارزیابی عملیاتی محصولات جهانی سنجش از دور به‌صورت سالانه ارائه می‌کنند. به‌عنوان نمونه تسندبازار[4] و همکاران در سال ۲۰۲۱ میلادی چارچوبی را که شامل به‌روزرسانی منظم یک مجموعه داده ارزیابی و ارزیابی پیوسته می‌شد، ارائه دادند. آن‌ها چارچوب خود را بر روی محصولات پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS) از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ پیاده کردند.

با توجه به مطالب بیان شده و مرور تحقیقات انجام شده، در این تحقیق سه محصول، پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)، محصول پوشش اراضی GlobeLand30 و محصول پوشش اراضی Esri مورد بررسی قرار می‌گیرند تا علاوه بر معرفی و مقایسه آن‌ها از لحاظ ویژگی‌های اسمی (دقت، اندازه پیکسل سایز، تعداد کلاس‌ها، هزینه استفاده، دامنه پوشش جغرافیایی، سیستم مختصات، پوشش زمانی، درصد احتمال کلاس‌ها، قابلیت دسترسی در Google Earth Engine، منبع داده‌ها، فرمت در دسترس و برنامه آتی)، از لحاظ منطقه‌ای در کشور (استان مازندران) ارزیابی کمّی شوند.

1- Brovelli
2- Wang
3- Huan
4- Tsendbazar

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محصولات سنجش از دوری

در این تحقیق سه محصول پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)، محصول پوشش اراضی GlobeLand30 و محصول پوشش اراضی Esri با مشخصات و ویژگی‌هایی که در جدول (۱) ارائه شده، مورد ارزیابی و مقایسه دقت به‌صورت منطقه‌ای قرار گرفته است.

۲-۱-۱- محصول پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)

این محصول سنجش از دوری در ۲۳ کلاس با پوششی جهانی و با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر مربع از سنجنده ماهواره PROBA-V با دقتی بالای ۸۰ درصد از سال ۲۰۱۵ به‌صورت سالانه تولید می‌شود ***(Buchhorn et al., 2020)***. کاربران علاوه بر دریافت این محصول، امکان دریافت احتمال طبقه‌بندی برای هر کلاس را به‌صورت لایه‌ای مجزا خواهند داشت. آخرین محصول پوشش اراضی قابل دسترس از این برنامه متعلق به سال ۲۰۱۹ است و بر اساس گزارش‌های منتشر شده داده‌های Sentinel-2 جایگزین داده‌های PROBA-V برای تولید محصولات آتی خواهند شد. این محصول علاوه بر دریافت مستقیم در موتور پردازش مجازی Google Earth Engine ارائه می‌شود. ۲۳ کلاس این محصول به همراه مشخصات هر کدام از این کلاس‌ها که بر اساس سیستم طبقه‌بندی پوشش اراضی سازمان ملل تعریف شده است در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات و ویژگی‌های اصلی محصولات مورد بررسی

	CGLS	GlobeLand30	Esri Land Cover
اندازه پیکسل سایز	۱۰۰ متر	۳۰ متر	۱۰ متر
الگوریتم طبقه‌بندی	Random Forest	pixel- and object-based methods with knowledge (POK)	Deep learning
دقت	۸۰ درصد	۸۳ تا ۸۵ درصد	۸۶ درصد
تعداد کلاس‌ها	۲۳ کلاس	۱۰ کلاس	۱۰ کلاس
هزینه استفاده	رایگان	رایگان	رایگان
دامنه پوشش جغرافیایی	جهانی	جهانی	جهانی
سیستم مختصات	GCS_WGS_1984	WGS_1984_UTM	WGS_1984_UTM
پوشش زمانی	۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹	۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰	۲۰۲۰
درصد احتمال کلاس‌ها	دارد	ندارد	ندارد
Google Earth Engine	قابل دسترس	غیر قابل دسترس	غیرقابل دسترس
منبع داده‌ها	PROBA-V	Landsat	Sentinel-2
فرمت در دسترس	GeoTIFF	GeoTIFF	GeoTIFF
برنامه آتی	سالیانه (با داده‌های Sentinel-2)	گزارش نشده (بر اساس پیشینه تولید محصول، هر ۱۰ سال)	سالیانه
سایت دسترسی	https://land.copernicus.eu	http://www.globeland30.org	https://www.arcgis.com

جدول ۲: مشخصات ۲۳ کلاس محصول پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)

ردیف	نام کلاس	کد کلاس	تعریف کلاس
۱	بوته‌زار	۲۰	گیاهان چوبی دائمی (در طول سال) با ساقه‌های پایدار و چوبی و بدون هیچ گونه ساقه اصلی مشخص که کمتر از ۵ متر ارتفاع دارند. شاخ و برگ درختچه می‌تواند همیشه سبز یا برگریز باشد.
۲	پوشش علفی	۳۰	شامل گیاهان بدون ساقه مداوم یا شاخه‌های بالای زمین می‌شود که فاقد ساختار محکم مشخص هستند. پوشش درختان و درختچه‌ها کمتر از ۱۰ است.
۳	اراضی کشاورزی	٤۰	زمین‌های پوشیده از محصولات موقت که به دنبال آن همراه با برداشت محصول و دوره‌ای پوشیده با خاک برهنه هستند (به‌عنوان مثال، سیستم‌های تک و چند محصولی). محصولات چوبی دائمی (در طول سال) به‌عنوان پوشش جنگلی یا بوته‌زار طبقه‌بندی می‌شوند.
٤	ساخت و ساز انسانی	۵۰	اراضی که توسط ساختمان‌ها و دیگر سازه‌های ساخته شده توسط انسان پوشانده شده‌اند.
۵	بایر/ گیاهان پراکنده	٦۰	اراضی که با خاک ، ماسه یا سنگ پوشیده شده و هیچ وقت پوشش گیاهی آن‌ها در هر زمان از سال بیش از ۱۰ درصد نمی‌شود.
٦	برف و یخ	۷۰	اراضی که در طول سال در زیر پوشش برف یا یخ قرار می‌گیرند.
۷	آب‌های دائمی	۸۰	دریاچه‌ها ، آب انبارها و رودخانه‌ها را شامل می‌شود که می‌تواند از پهنه‌های آبی شیرین یا آب شور باشد.
۸	تالاب	۹۰	اراضی با ترکیب دائمی از آب و پوشش گیاهی علفی یا چوبی را شامل می‌شود. پوشش گیاهی می‌تواند در هر کدام از آب‌های نمکی، شور یا آب شیرین وجود داشته باشد.
۹	خزه و گلسنگ	۱۰۰	شامل اراضی پوشیده با خزه و گلسنگ است.
۱۰	جنگل متراکم، سوزنی برگ همیشه سبز	۱۱۱	درختانی با تاج پوشش ۷۰ درصد را شامل می‌شود، تقریباً تمام درختان سوزنی برگ در این کلاس در تمام طول سال سبز می‌مانند. تاج پوشش هرگز بدون شاخ و برگ سبز نیست.
۱۱	جنگل متراکم، پهن برگ همیشه سبز	۱۱۲	درختانی با تاج پوشش ۷۰ درصد را شامل می‌شود، تقریباً تمام درختان پهن برگ در این کلاس در تمام طول سال سبز می‌مانند. تاج پوشش هرگز بدون شاخ و برگ سبز نیست.
۱۲	جنگل متراکم، سوزنی برگ برگریز	۱۱۳	درختانی با تاج پوشش ۷۰ درصد را شامل می‌شود، این کلاس درختان سوزنی برگ فصلی با یک چرخه سالانه همراه با رویش برگ و ریزش برگ را در بر می‌گیرد.
۱۳	جنگل متراکم، پهن برگ برگریز	۱۱٤	درختانی با تاج پوشش ۷۰ درصد را شامل می‌شود، این کلاس درختان پهن برگ فصلی با یک چرخه سالانه همراه با رویش برگ و ریزش برگ را در بر می‌گیرد.
۱٤	جنگل متراکم، مخلوط	۱۱۵	این کلاس جنگل‌های متراکم با ترکیبی از انواع درختان را شامل می‌شود.
۱۵	جنگل متراکم، نامعلوم	۱۱٦	این کلاس جنگل‌های متراکم را شامل می‌شود که با هیچ یک از تعاریف دیگر مطابقت ندارد.
۱٦	جنگل پراکنده، سوزنی برگ همیشه سبز	۱۲۱	کلاسی با پوشش ۱۵ الی ۷۰ درصدی درختان سوزنی برگ همراه با پوششی از بوته‌زارها و علفزارها که تقریباً تمام درختان سوزنی برگ در این کلاس در تمام طول سال سبز می مانند. تاج پوشش هرگز بدون شاخ و برگ سبز نیست.

ادامه جدول ۲: مشخصات ۲۳ کلاس محصول پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)

۱۷	جنگل پراکنده، پهن برگ همیشه سبز	۱۲۲	کلاسی با پوشش ۱۵ الی ۷۰ درصدی درختان پهن برگ همراه با پوششی از بوته‌زارها و علفزارها که تقریباً تمام درختان پهن برگ در این کلاس در تمام طول سال سبز می‌مانند. تاج پوشش هرگز بدون شاخ و برگ سبز نیست.
۱۸	جنگل پراکنده، سوزنی برگ برگریز	۱۲۳	کلاسی با پوشش ۱۵ الی ۷۰ درصدی درختان سوزنی برگ همراه با پوششی از بوته‌زارها و علفزارها که درختان سوزنی برگ فصلی با یک چرخه سالانه همراه با رویش برگ و ریزش برگ را در بر می‌گیرد.
۱۹	جنگل پراکنده، پهن برگ برگریز	۱۲٤	کلاسی با پوشش ۱۵ الی ۷۰ درصدی درختان پهن برگ همراه با پوششی از بوته‌زارها و علفزارها که درختان پهن برگ فصلی با یک چرخه سالانه همراه با رویش برگ و ریزش برگ را در بر می‌گیرد.
۲۰	جنگل پراکنده،مخلوط	۱۲۵	این کلاس جنگل‌های پراکنده با ترکیبی از انواع درختان را شامل می‌شود.
۲۱	جنگل پراکنده،نامعلوم	۱۲٦	این کلاس جنگل‌های پراکنده را شامل می‌شود که با هیچ یک از تعاریف دیگر مطابقت ندارد.
۲۲	آب‌های آزاد	۲۰۰	اقیانوس‌ها و دریاها را شامل می‌شود که می‌تواند از پهنه‌های آبی شیرین یا آب شور باشد.
۲۳	فاقد داده	۰	–

منبع: (Buchhorn et al., 2020)

۲-۱-۲- محصول پوشش اراضی GlobeLand30

محصول پوشش اراضی GlobeLand30، محصولی با ابعاد پیکسل ۳۰ متری است که توسط کشور چین توسعه داده شده است. نسخه ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ در سال ۲۰۱٤ به‌صورت آزاد در دسترس قرار گرفت و آخرین نسخه آن برای سال ۲۰۲۰ است. این محصول با پوشش جهانی و با بهره‌گیری از داده‌های Landsat در ۱۰ کلاس که شامل اراضی کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع، بوته‌زارها، تالاب، پهنه‌های آبی، توندرا، سطوح مصنوعی، اراضی بایر، برف و یخ دائمی است در دسترس عموم قرار دارد (جدول ۳). همچنین براساس گزارش‌های ارائه شده از تصاویر ماهواره‌های چینی HJ-1 (ماهواره محیط زیست و کاهش بلایای چین) و GF-1 (ماهواره قدرت تفکیک مکانی بالای چین) نیز در تهیه این محصول برای سال ۲۰۲۰ استفاده شده است.

دقت کلی پوشش اراضی GlobeLand30 برای سال ۲۰۱۰ برابر با ۸۳/۵۰ درصد و ضریب کاپای آن برابر با ۰/۷۸ گزارش شده است. این نتیجه حاصل اعتبارسنجی بیش از ۱۵۰۰۰۰ نقطه کنترل می‌باشد. همچنین گزارش‌های دقت کلی پوشش اراضی سال ۲۰۲۰ را ۸۵/۷۲ درصد و ضریب کاپا را برابر با ۰/۸۲ نشان می‌دهد. دقت به‌دست آمده براساس اعتبارسنجی بیش از ۲۳۰۰۰۰ نقطه از کل مجموعه داده‌ها با استفاده از مدل نمونه‌گیری شاخص چشم‌انداز[1] است *(Chen et al., 2014)*.

۲-۱-۳- محصول پوشش اراضی Esri

محصول پوشش اراضی Esri به‌وسیله یک مدل یادگیری عمیق[2] آموزش داده شده با استفاده از بیش از ۵ میلیارد پیکسل بر روی تصاویر Sentinel-2 تهیه شده است. برای جمع‌آوری این نمونه‌های آموزشی، اطلاعات بیش از ۲۰۰۰۰ سایت توزیع شده در تمام بیوم‌های اصلی جهان به کار گرفته شد. جدول (٤)، ۱۰ کلاس این محصول را نشان می‌دهد.

1- landscape index sampling model
2-Deep learning

جدول۳: مشخصات ۱۰ کلاس محصول پوشش اراضی GlobeLand30

ردیف	نام کلاس	کد کلاس	تعریف کلاس
۱	اراضی کشاورزی	۱۰	به زمین‌هایی اطلاق می‌شود که برای کشت محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شالیزارها، اراضی کشاورزی آبی، اراضی کشاورزی دیم، زمین‌های نباتی، مرتع زیر کشت، زمین‌های گلخانه‌ای، زمین‌هایی که عمدتاً با محصولات زراعی به ندرت با درختان میوه یا درختان دیگر کاشته می‌شوند، باغ چای، باغ قهوه و سایر اراضی زراعی اقتصادی و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.
۲	جنگل ها	۲۰	به زمین‌های پوشیده از درخت اطلاق می‌شود که تراکم بالای آن بیش از ۳۰ درصد را اشغال می‌کند. جنگل‌های پهن برگ، جنگل‌های پهن برگ همیشه سبز، جنگل‌های سوزنی برگ‌ریز، جنگل‌های همیشه سبز، جنگل‌های مخلوط و جنگل‌های تنک که تراکم بالای آن ۱۰ تا ۳۰ درصد را شامل می‌شود، در این دسته قرار می‌گیرند.
۳	مراتع	۳۰	به اراضی پوشیده از چمن طبیعی با تراکم پوشش بیش از ۱۰ درصد اطلاق می‌شود. چمنزارها، استپ‌های علفزاری، مراتع آلپ، استپ‌های بیابانی و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.
٤	بوته‌زارها	٤۰	به اراضی پوشیده از بوته و تراکم پوشش بیش از ۳۰ درصد اطلاق می‌شود. درختچه‌های کوهستانی، درختچه‌های خزان‌پذیر و همیشه سبز و جنگل‌های بیابانی در ناحیه کویری با تراکم پوشش بیش از ۱۰ درصد در این دسته قرار می‌گیرند.
۵	تالاب	۵۰	به اراضی اتصال ناحیه خشکی و ناحیه آبی اطلاق می‌شود که دائماً توسط گیاهان آبزی و آب‌های کم عمق یا خاک‌های مرطوب پوشیده شده است. مرداب داخلی، مرداب دریاچه‌ای، تالاب دشت سیلابی رودخانه‌ای، تالاب جنگلی/درختی، باتلاق تورب، جنگل‌های مانگرو، باتلاق نمکی و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.
٦	پهنه‌های آبی	٦۰	به منطقه تحت پوشش آب در ناحیه خشکی اطلاق می‌شود. رودخانه، دریاچه، مخزن، حوضچه و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.
۷	توندرا*	۷۰	به اراضی پوشیده از گلسنگ، خزه، گیاه چند ساله مقاوم و درختچه در نواحی سردسیر و مرتفع کوهستانی اطلاق می‌شود. توندرای بوته‌ای، توندرای چمنی، توندرای مرطوب، توندرای آلپی، و توندرای بایر و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.
۸	سطوح مصنوعی	۸۰	به سطوحی اطلاق می‌شود که در اثر فعالیت‌های انسان‌ساخته شده‌اند. انواع سکونتگاه‌ها در نواحی شهری و روستایی، مناطق صنعتی و معدنی، تأسیسات حمل و نقل و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.
۹	اراضی بایر	۹۰	به اراضی پوشیده طبیعی با تراکم پوشش کمتر از ۱۰ درصد اطلاق می‌شود. بیابان، ماسه، زمین شن، سنگ‌های برهنه، زمین‌های شور و قلیایی و ... در این دسته قرار می‌گیرند.
۱۰	برف و یخ دائمی	۱۰۰	به سرزمین‌هایی اطلاق می‌شود که پوشیده از برف دائمی، یخچال‌های طبیعی و پوشش یخی است. برف دائمی، یخچال‌های طبیعی در منطقه مرتفع کوهستان، و یخ در قطب و غیره در این دسته قرار می‌گیرند.

منبع: (Chen et al., 2014)

**** کدهای ۷۱، ۷۲، ۷۳ و ۷٤ برای زیر کلاس‌های توندراری بوته‌زار، توندراری علفزار، توندراری تالابی و توندراری اراضی بایر از کلاس اصلی توندرا***

جدول٤: مشخصات ۱۰ کلاس محصول پوشش اراضی Esri

ردیف	نام کلاس	کد کلاس	تعریف کلاس
۱	آب	۱	مناطقی که آب به‌طور عمده در طول سال وجود دارد. ممکن است مناطقی با آب پراکنده یا زودگذر را پوشش ندهد. دارای پوشش گیاهی کم یا تنک، بدون رخنمون سنگ و یا ویژگی‌های ساخته شده مانند اسکله است. مثال‌ها: رودخانه‌ها، برکه‌ها، دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها، دشت‌های نمکی پر آب.
۲	درختان	۲	هر گونه خوشه بندی قابل توجهی از پوشش گیاهی متراکم بلند (حدود ۱۵ متر یا بالاتر)، معمولاً با یک تاج پوشش بسته یا متراکم را شامل می‌شود. مثال‌ها: پوشش گیاهی جنگلی، خوشه‌هایی از پوشش گیاهی متراکم و بلند در داخل ساوان‌ها، مزارع، باتلاق‌ها یا مانگرو (پوشش گیاهی متراکم/ بلند با آب زودگذر یا تاج پوشش بسیار ضخیم برای تشخیص آب در زیر).
۳	علفزار	۳	نواحی باز پوشیده از علف‌های همگن با پوشش گیاهی کم یا نه خیلی بلند را در بر می‌گیرد. حبوبات و علف‌های وحشی بدون دخالت آشکار انسانی (یعنی مزرعه ترسیم شده) را شامل می‌شود. مثال‌ها: مراتع و مزارع طبیعی با پوشش درختی کم تا بدون درخت، ساوانای باز با درختان کم یا بدون درخت، پارک‌ها/زمین‌های گلف/چمن‌زارها، مراتع.
٤	پوشش گیاهی غرقاب شده	٤	مناطقی از هر نوع پوشش گیاهی با در هم آمیختگی آشکار آب در اکثر اوقات سال را شامل می‌شود. منطقه غرقابی فصلی که ترکیبی از چمن/بوته/درخت/زمین برهنه است. به‌عنوان مثال‌ها: مانگروهای غرقاب، پوشش گیاهی نوظهور، شالیزارهای برنج و سایر کشاورزی به شدت آبیاری شده و غرق‌شده
٥	محصولات زراعی	٥	غلات، علف‌ها و محصولات زراعی کاشته/برنامه‌ریزی شده توسط انسان را در بر می‌گیرد و محصولات زراعی در ارتفاع درختان را شامل نمی‌شود. مثال‌ها: ذرت، گندم، سویا، قطعات آیش از زمین‌ساخت‌یافته.
٦	بوته‌زار	٦	ترکیبی از خوشه‌های کوچک گیاهان یا گیاهان منفرد که روی منظره‌ای پراکنده شده‌اند و خاک یا سنگ در معرض دید قرار دارد. محوطه‌های پر از بوته در جنگل‌های انبوه که به وضوح از درختان بلندتر نیستند. به‌عنوان مثال: پوشش متوسط تا کم بوته‌ها، بوته‌ها و توده‌های چمن، ساوانا با علف‌های بسیار کم، درختان یا گیاهان دیگر.
۷	منطقه ساخته شده	۷	سازه‌های ساخت بشر؛ شبکه‌های اصلی جاده‌ای و ریلی؛ سطوح غیر قابل نفوذ همگن بزرگ از جمله سازه‌های پارکینگ، ساختمان‌های اداری و مسکونی را شامل می‌شود. به‌عنوان مثال: خانه‌ها، روستاهای متراکم، شهرها، جاده‌های سنگفرش شده و آسفالت.
۸	زمین برهنه	۸	مناطق سنگی یا خاکی با پوشش گیاهی بسیار کم یا بدون پوشش گیاهی در تمام سال را شامل می‌شود. همچنین مناطق وسیعی از ماسه و بیابان بدون پوشش گیاهی کم را نیز در بر می‌گیرد. به‌عنوان مثال: سنگ یا خاک در معرض دید، تپه‌های بیابانی و شنی، نمک‌زارهای خشک، بستر دریاچه‌های خشک شده، معادن.
۹	برف و یخ	۹	مناطق همگن بزرگ از برف یا یخ دائمی را شامل می‌شود و معمولاً فقط در مناطق کوهستانی یا بالاترین عرض های جغرافیایی مشاهده می‌شود. به‌عنوان مثال: یخچال‌های طبیعی، برف دائمی، زمین‌های برفی.
۱۰	ابر	۱۰	به دلیل پوشش ابر مداوم اطلاعاتی درباره پوشش زمین وجود ندارد.

منبع: (Wang et al., 2022)

شش باند آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه (۲ باند) Sentinel-2 در مدل یادگیری عمیق برای تولید این محصول مورد استفاده قرار گرفت. برای ایجاد محصول نهایی از تلفیق نتایج مجموعه تصاویر مربوط به یک سال استفاده شد. ماتریس خطا برای محصول تولید شده دقت کلی برابر با ۸۶ درصد را نشان می‌دهد ***(Wang et al., 2022)***.

۲-۲- روش تحقیق و منطقه مورد مطالعه

گام نخست در این تحقیق شامل محاسبه مساحت هر کدام از کلاس‌ها برای سه محصول پوشش اراضی سرویس جهانی اراضی برنامه کوپرنیک آژانس فضایی اروپا (CGLS)، محصول پوشش اراضی GlobeLand30 و محصول پوشش اراضی Esri در استان مازندران می‌شود. استان مازندران (نگاره۱) چهارمین استان پرجمعیت ایران از لحاظ تراکم جمعیتی (۱۳۷/۷ نفر در کیلومترمربع) به‌شمار می‌آید. این استان با وسعتی معادل ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت ایران را شامل می‌شود و براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیتی بالغ بر ۳۲۸۳۵۷۷ نفر دارد. استان مازندران بر اساس آخرین تقسیم‌بندی سیاسی، دارای ۲۲ شهرستان است و با داشتن ۲/۳ درصد اراضی کشاورزی، از لحاظ اقتصادی دارای رتبه نخست تولید محصولات کشاورزی در کشور (سه برابر میانگین کشوری) است.

پس از محاسبه مساحت کلاس‌ها برای هر کدام از محصولات پوشش اراضی، ضریب همبستگی پیرسون[1] برای محاسبه میزان همبستگی میان آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت ***(Kang et al., 2020)***:

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^{9}(X_k - \bar{X})(Y_k - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^{9}(X_k - \bar{X})^2 (Y_k - \bar{Y})^2}}$$

رابطه(۱)

که R_i ضریب همبستگی مساحت، i نشان‌دهنده iامین ترکیب از دو محصول پوشش اراضی، k نشان‌دهنده نوع پوشش اراضی، X_k مساحت کلاس نوع k را در مجموعه داده X، Y_k مساحت کلاس نوع k را در مجموعه داده Y، $\bar{X}$ نشان‌دهنده میانگین مساحت تمامی ۹ کلاس در مجموعه داده X، $\bar{Y}$ نشان‌دهنده میانگین مساحت تمامی ۹ کلاس در مجموعه داده Y است.

برای ارزیابی کمّی، از ماتریس خطا به‌عنوان یکی از رایج‌ترین شیوه‌های ارزیابی دقت محصولات پوشش اراضی استفاده شد ***(Congalton, 1991)***. این شیوه مبتنی بر مقایسه داده‌های طبقه‌بندی شده و داده‌های واقعیت زمینی است. دقت تولیدکننده[2] (PA)، دقت کاربر[3] (UA)، دقت کلی[4] (OA) و کاپا[5] از ماتریس خطا به‌دست می‌آید:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{r} x_{ii}}{n^2} \times 100\%$$

رابطه(۲)

$$PA = \frac{x_{ii}}{x_{+i}} \times 100\%$$

رابطه(۳)

$$UA = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \times 100\%$$

رابطه(۴)

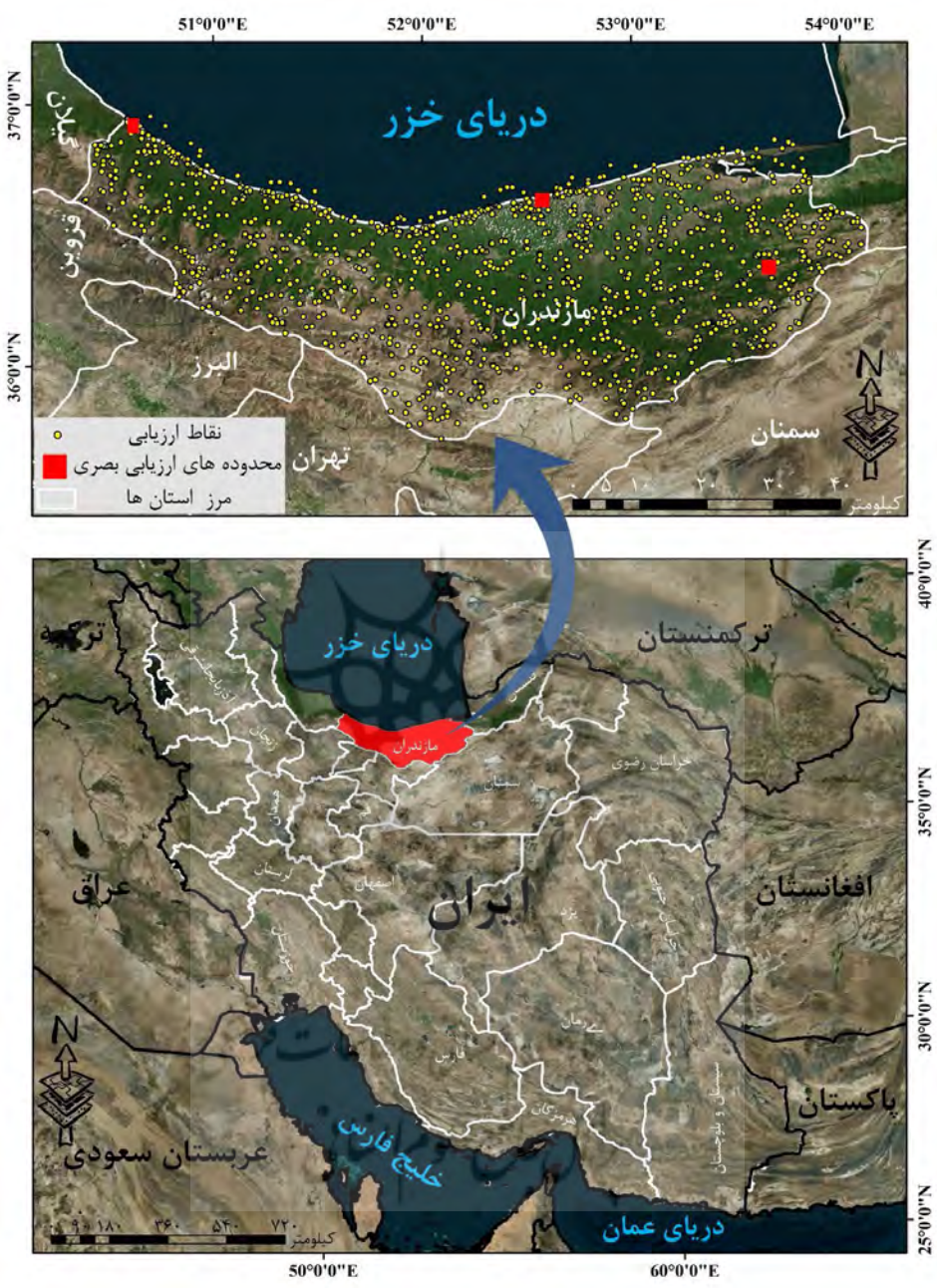
$$Kappa = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

رابطه(۵)

که در آن x_{ii} تعداد پیکسل‌های طبقه‌بندی شده درست از نوع i، n تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه مورد مطالعه، x_{i+} تعداد کل پیکسل‌های نوع i در داده‌هایی است که باید تأیید شود، x+i تعداد کل پیکسل‌های نوع i در داده‌های مرجع، r تعداد سطرها در ماتریس در هم ریختگی[6] را نشان می‌دهد و N تعداد کل نقاط نمونه است.

1- Pearson correlation coefficient

2- Producer Accuracy
3- User Accuracy
4- Overall Accuracy
5- Kappa
6- Confusion matrix



نگاره۱: نقشه منطقه مورد مطالعه به همراه پراکندگی نقاط ارزیابی کمّی و محدوده‌های ارزیابی بصری

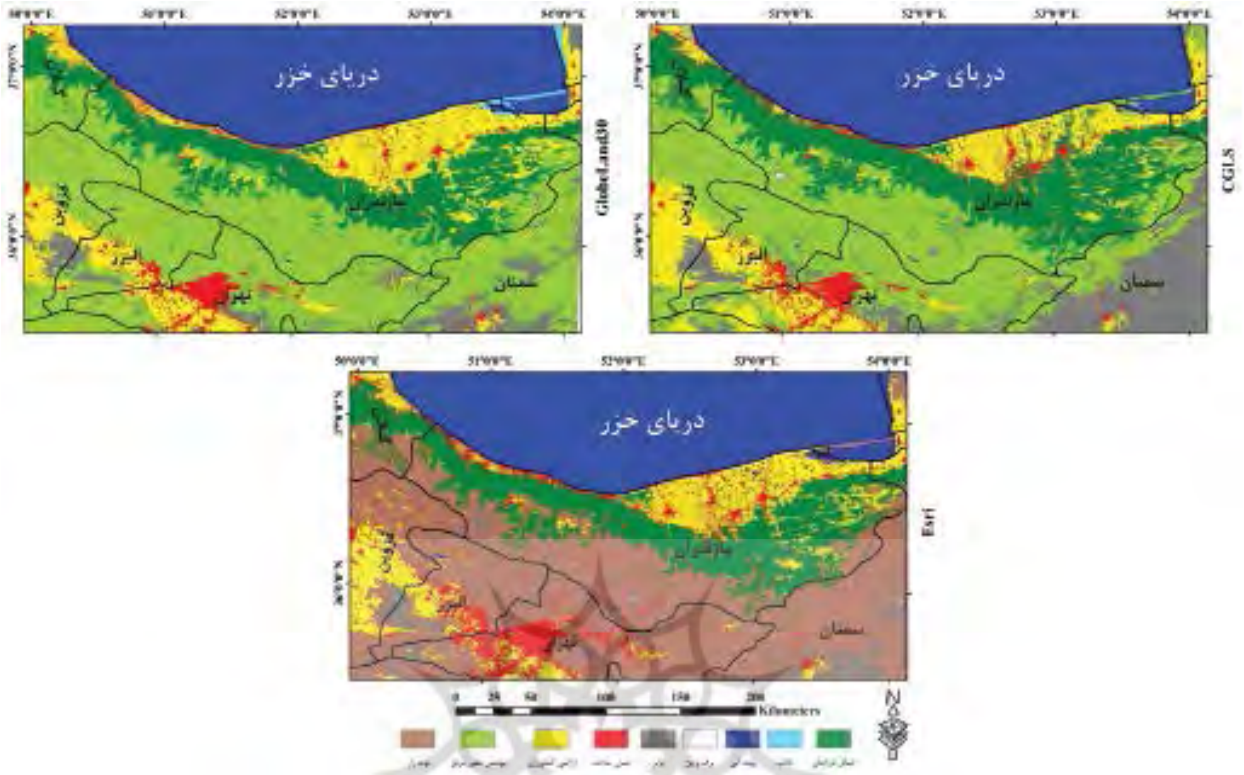
همچنین روش نمونه‌برداری تصادفی دسته‌بندی شده[1] برای انتخاب ۱۳۲۹ نمونه ارزیابی (نگاره۱) در استان مازندران به‌کار گرفته شد ***(Lyons et al., 2018)***. برای ارزیابی بصری سه محدوده با ابعاد ٦*٦ کیلومتر انتخاب شد (نگاره۱).

1- Stratified Random Sampling method

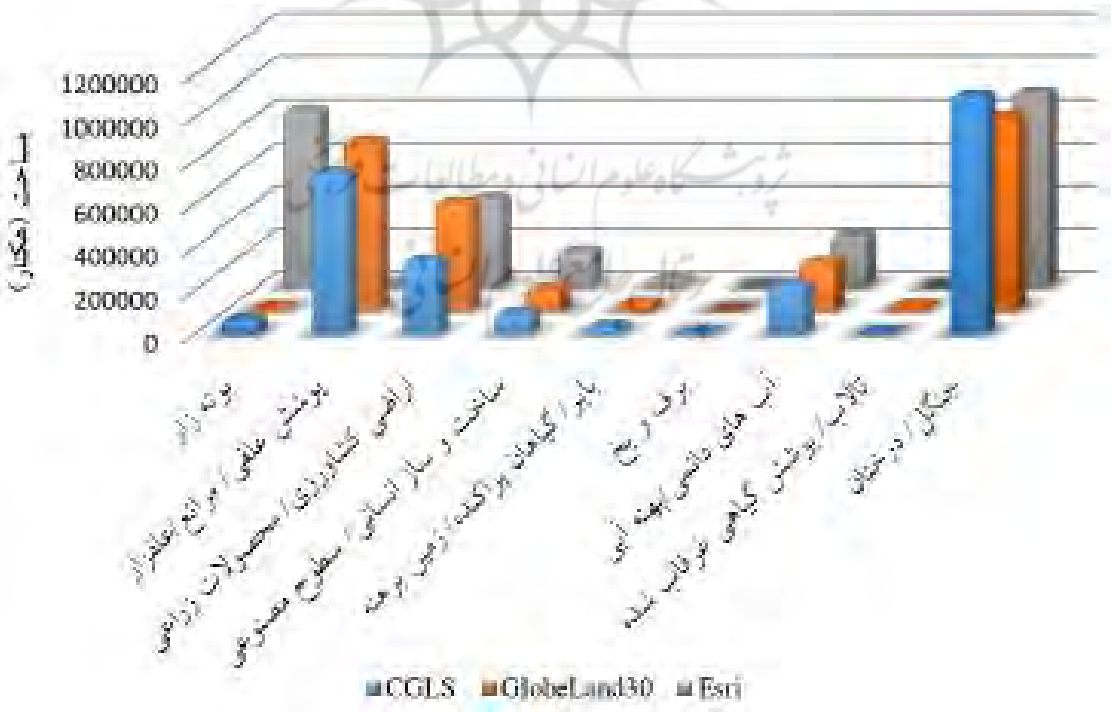
۳- یافته‌های تحقیق

۳-۱- مقایسه و تحلیل پوشش اراضی

نگاره‌های (۲ و ۳) و جدول (۵) میزان پوشش اراضی در استان مازندران را براساس محصولات پوشش اراضی مورد مطالعه (GlobeLand30، CGLS و Esri) نشان می‌دهند.



نگاره۲: توزیع مکانی پوشش اراضی استان مازندران به تفکیک محصولات پوشش اراضی مورد مطالعه



نگاره۳: مساحت پوشش اراضی استان مازندران به تفکیک محصولات پوشش اراضی مورد مطالعه

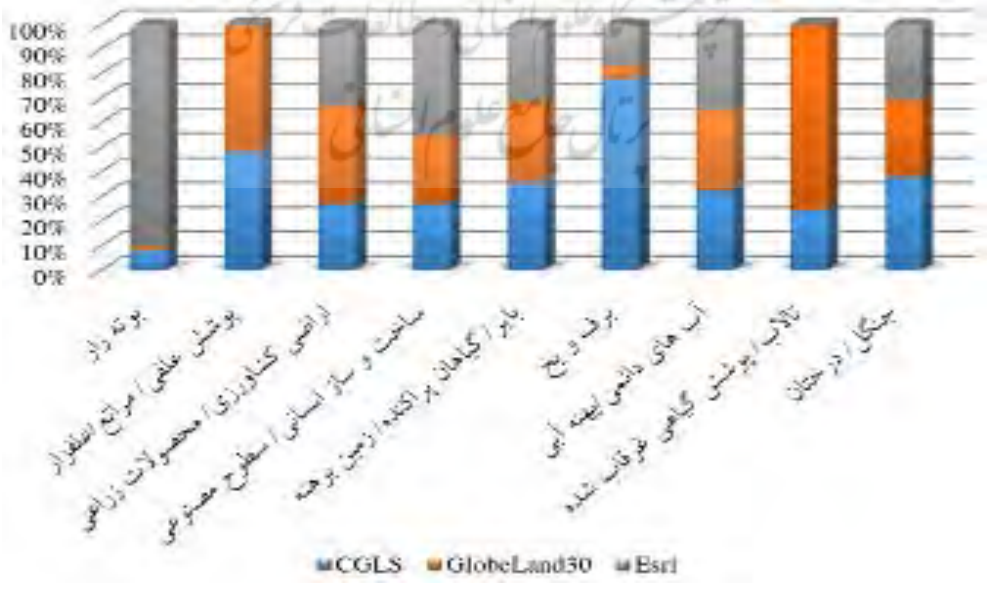
جدول۵: مساحت پوشش اراضی استان مازندران به تفکیک محصولات پوشش اراضی مورد مطالعه

پوشش اراضی CGLS		پوشش اراضی GlobeLand30		پوشش اراضی Esri	
نام کلاس	مساحت	نام کلاس	مساحت	نام کلاس	مساحت
بوته‌زار	۷۲۱۳۳ (۲/۷۱ درصد)	بوته‌زارها	۱۴۰۲۳ (۰/۵۴ درصد)	بوته‌زار	۸۲۲۶۹۲ (۳۱/۵۸ درصد)
پوشش علفی	۷۵۰۷۷۸ (۲۸/۲۵ درصد)	مراتع	۷۸۹۵۸۲ (۳۰/۳۰ درصد)	علفزار	۹۷۰۵ (۰/۳۷ درصد)
اراضی کشاورزی	۳۴۶۲۵۲ (۱۳/۰۳ درصد)	اراضی کشاورزی	۵۰۶۶۵۷ (۱۹/۴۵ درصد)	محصولات زراعی	۴۱۶۵۴۹ (۱۵/۹۹ درصد)
ساخت و ساز انسانی	۱۰۱۶۷۶ (۳/۸۳ درصد)	سطوح مصنوعی	۱۰۳۵۸۰ (۳/۹۸ درصد)	منطقه ساخته شده	۱۶۸۷۷۰ (۶/۴۸ درصد)
بایر/ گیاهان پراکنده	۴۰۱۱۲ (۱/۵۱ درصد)	اراضی بایر	۳۶۴۷۲ (۱/۴۰ درصد)	زمین برهنه	۳۵۱۳۱ (۱/۳۵ درصد)
برف و یخ	۲۰۰۵ (۰/۰۸ درصد)	برف و یخ دائمی	۱۳۸ (۰/۰۱ درصد)	برف و یخ	۴۲۹ (۰/۰۲ درصد)
آب‌های دائمی	۲۲۹۵۱۵ (۸/۶۴ درصد)	پهنه های آبی	۲۲۸۵۵۸ (۸/۷۷ درصد)	آب	۲۴۴۷۴۵ (۹/۳۹ درصد)
تالاب	۷۷۶۵ (۰/۲۹ درصد)	تالاب	۲۴۰۲۶ (۰/۹۲ درصد)	پوشش گیاهی غرقاب شده	۱۶۵ (۰/۰۱ درصد)
جنگل متراکم، سوزنی برگ همیشه سبز	۵۲۰۷	جنگل‌ها	۹۰۲۴۷۵ (۳۴/۶۴ درصد)	درختان	۹۰۷۳۲۳ (۳۴/۸۲ درصد)
جنگل متراکم، پهن برگ برگریز	۷۸۱۸۱۱				
جنگل متراکم، مخلوط	۱۱۹۷				
جنگل متراکم، نامعلوم	۱۰۸۸۵۲				
جنگل پراکنده، سوزنی برگ همیشه سبز	۱۷۹۴				
جنگل پراکنده، پهن برگ برگریز	۱۰۱۸				
جنگل پراکنده، نامعلوم	۲۰۷۶۳۴				
	۱۱۰۷۵۱۳ (۴۱/۶۷ درصد)				
مجموع	۲۶۵۷۷۴۹	مجموع	۲۶۰۵۵۱۲	مجموع	۲۶۰۵۵۰۹

واحد: هکتار

براساس این نتایج، برای محصول CGLS، بیشتر سهم اراضی مربوط به کلاس‌های جنگل، پوشش علفی و اراضی کشاورزی با مساحتی برابر با ۱۱۰۷۵۱۳، ۷۵۰۷۷۸ و ۳٤٦۲۵۲ هکتار (٤۱/٦۷، ۲۸/۲۵ و ۱۳/۰۳ درصد) است و بعد از آن‌ها، کلاس‌های آب دائمی، ساخت‌وساز انسانی و بوته‌زار با مساحتی برابر با ۲۲۹۵۱۵، ۱۰۱٦۷٦ و ۷۲۱۳۳ هکتار (۸/٦٤، ۳/۸۳ و ۲/۷۱ درصد) قرار دارد. کلاس‌های بایر، تالاب و برف و یخ نیز کمترین میزان مساحت را برابر با ٤۰۱۱۲، ۷۷٦۵ و ۲۰۰۵ هکتار (۱/۵۱، ۰/۲۹ و ۰/۰۸ درصد) به خود اختصاص داده‌اند. برای محصول GlobeLand30، همانند محصول قبلی، بیشترین اراضی به کلاس‌های جنگل، مراتع و اراضی کشاورزی با مساحتی برابر با ۹۰۲٤۷۵، ۷۸۹۵۸۲ و ۵۰٦٦۵۷ هکتار (۳٤/٦٤، ۳۰/۳۰ و ۱۹/٤۵ درصد) تعلق دارد. کلاس‌های پهنه‌های آبی، سطوح مصنوعی و اراضی بایر، مساحتی برابر با ۲۲۸۵۵۸، ۱۰۳۵۸۰ و ۳٦٤۷۲ هکتار (۸/۷۷، ۳/۹۸ و ۱/٤۰ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند و کلاس‌های تالاب، بوته‌زار و برف و یخ دائمی، کمترین مساحت را برابر با ۲٤۰۲٦، ۱٤۰۲۳ و ۱۳۸ هکتار (۰/۹۲، ۰/۵٤ و ۰/۰۱ درصد) داشته‌اند. مساحت کلاس‌ها در محصول Esri نسبت به دو محصول CGLS و GlobeLand30 تفاوت بیشتری را نشان می‌دهد. در این محصول همچنان کلاس مربوط به پوشش گیاهان بیشترین سهم را با مساحتی برابر با ۹۰۷۳۲۳ هکتار (۳٤/۸۲ درصد) دارد ولی برخلاف دو محصول قبلی که کلاس مراتع (پوشش علفی) در جایگاه دوم قرار داشت، این کلاس بوته‌زار است که مساحتی برابر با ۸۲۲٦۹۲ هکتار (۳۱/۵۸ درصد) دارد. همانگونه که در نگاره ۲ مشخص است اراضی که در دو محصول CGLS و GlobeLand30 به‌عنوان مراتع (پوشش علفی) طبقه‌بندی شده بودند در محصول Esri با کلاس بوته‌زار طبقه‌بندی شده‌اند. در محصول Esri کلاس‌های محصولات زراعی، آب، منطقه ساخته شده و زمین برهنه، مساحتی برابر با ٤۱٦۵٤۹، ۲٤٤۷٤۵، ۱٦۸۷۷۰ و ۳۵۱۳۱ هکتار (۱۵/۹۹، ۹/۳۹، ٦/٤۸ و ۱/۳۵ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند و کلاس‌های علفزار، برف و یخ و پوشش گیاهی غرقاب شده، کمترین مساحت را برابر با ۹۷۰۵، ٤۲۹ و ۱٦۵ هکتار (۰/۳۷، ۰/۰۲ و ۰/۰۱ درصد) داشته‌اند.

با مقایسه این نتایج (نگاره ٤)، شاهد تشابه بالای مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی (درختان و جنگل)، اراضی بایر، پهنه‌های آبی، اراضی کشاورزی و ساخت‌وساز انسانی در



نگاره٤: نسبت مساحت پوشش اراضی استان مازندران به تفکیک محصولات پوشش اراضی مورد مطالعه

سه محصول مورد مطالعه هستیم. این درحالی است که برای کلاس‌های تالاب‌ها، پوشش‌های علفی، بوته‌زار و پوشش برف و یخ این تشابه در سه محصول دیده نمی‌شود.

ضریب همبستگی میان این سه محصول نیز (جدول ٦)، از همبستگی بالای میان محصول CGLS و GlobeLand30 به میزان ۰/۹۷ و از همبستگی پایین محصول Esri نسبت به دو محصول CGLS و GlobeLand30 به میزان ۰/٤۷ و ۰/۳۷ حکایت می‌کند.

جدول ٦: میزان همبستگی محصولات سنجش از دوری مورد مطالعه بر اساس مساحت پوشش اراضی استان مازندران

محصول پوشش اراضی	CGLS	GlobeLand30	Esri
CGLS	۱	۰/۹۷	۰/٤۷
GlobeLand30	۰/۹۷	۱	۰/۳۷
Esri	۰/٤۷	۰/۳۷	۱

۳-۲- ارزیابی دقت

ارزیابی دقت منطقه‌ای محصولات مورد مطالعه (جدول۷) نتایج معکوسی را نسبت به دقت جهانی این محصولات نشان می‌دهد. براساس دقت جهانی گزارش شده برای محصولات مورد مطالعه، بیشترین دقت برای محصول Esri به میزان ۸٦ درصد و سپس برای محصولات GlobeLand30 و CGLS به میزان ۸۳ تا ۸۵ و ۸۰ درصد محاسبه شده است. این در حالی است که براساس دقت منطقه‌ای به‌دست آمده از نتایج این تحقیق، بیشترین دقت منطقه‌ای برای محصول CGLS به میزان ۸٤ درصد و سپس برای محصولات GlobeLand30 و Esri به میزان ۸۱ و ۷۵ درصد محاسبه شده است.

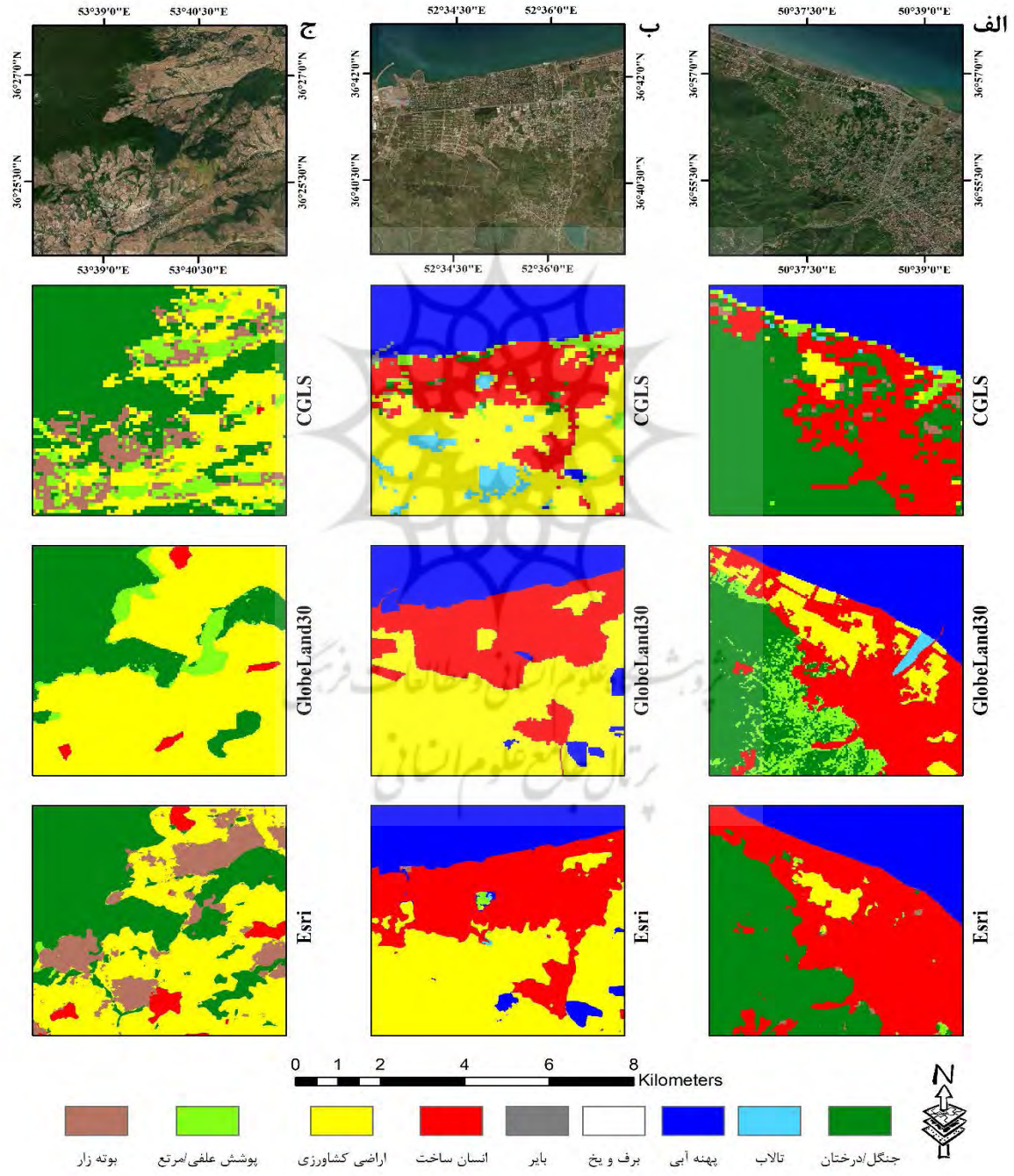
در ارزیابی دقت منطقه‌ای کلاس‌ها (جداول پیوست)، هر سه محصول مورد مطالعه (CGLS، GlobeLand30 و Esri) دقت قابل قبولی (بالای ۹۰ درصد) در کلاس‌های برف و یخ (۱۰۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ درصد)، جنگل (۹۰، ۹۵ و ۹۸ درصد)، پهنه‌های آبی (۹٦، ۹٤ و ۹۰ درصد) و ساخت‌وساز انسانی (۹٤، ۹۱ و ۹۰ درصد) داشته‌اند. برای کلاس اراضی کشاورزی دقتی برابر با ۹۲، ٦۹ و ۸٤ درصد برای پوشش‌های اراضی CGLS، GlobeLand30 و Esri به‌دست آمد. در سه کلاس بوته‌زار، پوشش علفی و تالاب، نتایج دقت کمتری را نسبت به سایر کلاس‌ها برای هر سه محصول پوشش اراضی و به مقدار (۰/۲۹ و ۱۳ درصد)، (٦٦/٦٥ و ٤۲ درصد) و (۳۸/٦۷ و ۰ درصد) نشان می‌دهد.

جدول۷: میزان دقت جهانی و منطقه‌ای محصولات سنجش از دوری مورد مطالعه

دقت	CGLS	Globe Land 30	Esri Land Cover
دقت جهانی	۸۰ درصد	۸۳ تا ۸۵ درصد	۸٦ درصد
دقت منطقه‌ای	۸٤ درصد	۸۱ درصد	۷۵ درصد
کاپا منطقه‌ای	۸۰ درصد	۷٦ درصد	٦۹ درصد

سه محصول CGLS، GlobeLand30 و Esri، در سه محدوده جغرافیایی مورد ارزیابی بصری قرار گرفتند (نگاره۵). با بررسی محدوده جغرافیایی (الف) در نگاره (۵) شاهد آن هستیم که محصول CGLS در تفکیک کلاس‌های جنگل، کشاورزی و اراضی انسان‌ساخت متناسب با اندازه پیکسل سایز (۱۰۰ متر) خوب عمل کرده است. تنها نکته‌ای که در این قسمت قابل اشاره است، باغات کشاورزی جلگه‌ای این محدوده جغرافیایی است که در این محصول با عنوان جنگل برچسب‌گذاری شده است. در بررسی محدوده جغرافیایی (الف) برای محصول GlobeLand30، شاهد برچسب‌گذاری اشتباه دو کلاس تالاب در دهانه رودخانه و پوشش علفی در پای کوه هستیم. در محدوده مورد نظر تالاب و پوشش علفی وجود ندارد و مناسب‌ترین کلاس برای این منطقه، پهنه آبی و اراضی کشاورزی است. در محدوده مورد نظر همچنین باغات موجود در منطقه جلگه‌ای این محدوده طبقه‌بندی نشده‌اند و در کلاس اراضی کشاورزی و اراضی انسان‌ساخت قرار گرفته‌اند. در بررسی محدوده جغرافیایی (الف) برای محصول Esri، مهم‌ترین نکته‌ای که قابل

استنباط است، عدم تفکیک مناسب کلاس‌ها به نسبت اندازه پیسکل سایز این محصول می‌باشد. همانگونه که در نگاره (۵) مشخص است این محصول، بر خلاف اندازه پیکسل سایز بیان شده (۱۰ متر)، تفکیک‌پذیری پایینی نسبت به دو محصول دیگر CGLS و GlobeLand30 با پیکسل سایزهای بزرگ‌تر (۱۰۰ و ۳۰ متر) دارد و مهم‌ترین دلیل در پایین بودن دقت منطقه‌ای به‌دست آمده از این محصول نسبت به دو محصول دیگر است (جدول ۷). در این محصول، اراضی کشاورزی و باغات موجود در منطقه جلگه‌ای محدوده جغرافیایی مورد بررسی طبقه‌بندی نشده‌اند.



نگاره۵: ارزیابی بصری پوشش اراضی استان مازندران به تفکیک محصولات پوشش اراضی مورد مطالعه

در محدوده جغرافیایی (ب)، وجود تالاب، آب‌بندان (پهنه آبی) و اسکله در کنار اراضی انسان‌ساخت و کشاورزی برای سه محصول GlobeLand30، CGLS و Esri مورد بررسی قرار گرفت. از سه محصول مورد مطالعه، محصول CGLS در تفکیک تالاب نسبت به دو محصول دیگر عملکرد بهتری داشت. در دو محصول GlobeLand30 و Esri این کلاس به‌عنوان پهنه آبی برچسب‌گذاری شده‌اند. اسکله موجود در محدوده مورد بررسی (ب) در محصول GlobeLand30 به‌عنوان اراضی انسان‌ساخت و در محصول CGLS به‌عنوان اراضی بایر طبقه‌بندی شده‌اند. این درحالی است که محصول Esri با وجود پیکسل سایز ۱۰ متری، طبقه‌بندی از این اسکله نداشته و آن را در کلاس پهنه آبی قرار داده است.

محدوده جغرافیایی (ج) ترکیبی از کلاس‌های جنگل، اراضی کشاورزی، انسان‌ساخت، بوته‌زار و پوشش علفی است. محصول CGLS در تفکیک کلاس‌های جنگل، اراضی کشاورزی، بوته‌زار و پوشش علفی عملکرد مطلوبی داشته اما در این محصول کلاس اراضی انسان‌ساخت طبقه‌بندی بندی نشده است. برای محصول GlobeLand30 در محدوده (ج)، شاهد عملکرد مطلوب در کلاس‌های جنگل، اراضی کشاورزی، انسان‌ساخت و پوشش علفی بوده‌ایم. این در حالی است که برای کلاس بوته‌زار اینگونه نبوده است. محصول Esri در کلاس اراضی انسان‌ساخت در محدوده (ج) بهترین عملکرد را نسبت به دو محصول CGLS و GlobeLand30 داشته است. این در حالی است که در بعضی مناطق شاهد برچسب خوردن کلاس بوته‌زار به جای کلاس پوشش علفی در این محصول هستیم.

٤- بحث

در مقایسه با سایر مطالعات مشابه که به ارزیابی و مقایسه دقت منطقه‌ای محصولات سنجش از دوری پرداخته‌اند ***(Brovelli et al., 2015; Wang et al., 2022; Huan, 2022)***، این تحقیق سه محصول پوشش اراضی GlobeLand30، CGLS و Esri را به‌صورت منطقه‌ای در شمال ایران (استان مازندران) مورد ارزیابی و مقایسه قرار داده است.

با مقایسه تحقیق بروولی[1] و همکاران که در سال ۲۰۱۵ به ارزیابی دقت منطقه‌ای محصول پوشش اراضی GlobeLand30 در هشت منطقه شمالی ایتالیا پرداخته‌اند، نزدیکی نتایج به‌دست آمده از تحقیق آن‌ها (دقت بالای ۸۰ درصد) و نتایج تحقیق حاضر (دقت ۸۱ درصد) با دقت جهانی بیان شده که ۸۳ تا ۸۵ درصد است، مشاهده شد.

تحقیق وانگ[2] و همکاران در سال ۲۰۲۲ دقت منطقه‌ای محصول پوشش اراضی Esri را برای جنوب غربی چین ۳۹/۰۳ تا ٦١/٩٤ درصد و تحقیق هوآن[3] در سال ۲۰۲۲ آن را ۷۹/۷۲ درصد برای یکی از استان‌های ویتنام تخمین زد. مقایسه نتایج این دو تحقیق (۳۹/۰۳ تا ٦١/٩٤ و ۷۹/۷۲ درصد) و دقت به‌دست آمده از تحقیق حاضر (۷۵ درصد) با دقت جهانی بیان شده که برابر با ۸٦ درصد است، حکایت از پایین بودن دقت واقعی این محصول دارد.

وانگ و همکاران (۲۰۲۲)، که این محصول را با سایر محصولات ۱۰ متری FROM-GLC و WorldCover ESA مورد مقایسه قرار داده‌اند، تفاوت در سیستم‌های طبقه‌بندی، روش‌های طبقه‌بندی و نمونه‌های تعلیمی را به‌عنوان سه دلیل در پایین بودن دقت این محصول نسبت به دقت سایر محصولات مشابه شناسایی کرده‌اند. علاوه بر این در تحقیق آن‌ها، میزان همبستگی محصول Esri با دو محصول FROM-GLC و WorldCover ESA برابر ۰/۳۷ و ۰/٤۰ به‌دست آمد. این میزان از همبستگی در تحقیق حاضر برای محصول Esri نسبت دو محصول CGLS و GlobeLand30 برابر با ۰/٤۷ و ۰/۳۷ به‌دست آمد که نشان‌دهنده عدم همبستگی نتایج به‌دست آمده در این محصول نسبت به سایر محصولات پوشش اراضی با صورت جهانی است.

1- Brovelli
2- Wang
3- Huan

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق با ارزیابی و مقایسه دقت منطقه‌ای سه محصول CGLS، GlobeLand30 و Esri، در پاسخگویی به این سؤال که آیا می‌توان به دقت بیان شده در محصولات جهانی پوشش اراضی برای مطالعات و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای اعتماد کرد؟ پاسخ داد.

نتایج، دقت منطقه‌ای پوشش اراضی CGLS، GlobeLand30 و Esri را به‌ترتیب برابر با ۸٤، ۸۱ و ۷۵ درصد نسبت به دقت جهانی آن‌ها (۸۰، ۸۳ تا ۸۵ و ۸٦ درصد) نشان می‌دهند. این نتایج، تفاوت به‌دست آمده را برای محصول Esri بیشتر از دو محصول CGLS و GlobeLand30 نشان می‌دهد. این در حالی است که داده‌های سنجش از دوری مورد استفاده برای محصول Esri (داده‌های Sentinel-2) و اندازه پیکسل سایز آن (۱۰ متر) نسبت به دو محصول دیگر از کیفیت و کمیت بالاتری برخوردار است. در واقع این نتایج بیان‌کننده این نکته است که تنها توجه به نوع داده‌های مورد استفاده و دقت بیان شده جهانی برای استفاده از محصولات در مقیاس‌های منطقه‌ای کافی نیست و نیازمند ارزیابی‌هایی پیش از استفاده از آن‌ها نیز هست. علاوه بر این، با ارزیابی کلاس‌های هر کدام از محصولات و مقایسه آن‌ها با هم، لزوم این ارزیابی پیش از استفاده از این محصولات ضروری به نظر می‌رسد. نتایج نشان داد در ارزیابی دقت منطقه‌ای کلاس‌ها، هر سه محصول مورد مطالعه دقتی بالای ۹۰ درصد در کلاس‌های برف و یخ، جنگل، پهنه‌های آبی و ساخت وساز انسانی داشته‌اند. برای کلاس اراضی کشاورزی دقتی برابر با ۹۲، ٦۹ و ۸٤ درصد برای پوشش‌های اراضی CGLS، GlobeLand30 و Esri به‌دست آمد. در سه کلاس بوته‌زار، پوشش علفی و تالاب، نتایج دقتی کمتری را نسبت به سایر کلاس‌ها برای هر سه محصول پوشش اراضی نشان می‌دهد. در ارزیابی بصری هم نتایج قابل توجهی به‌دست آمد که لزوم توجه به این ارزیابی پیش از کاربردهایی که توجه به کلاسی خاص اهمیت دارد، ضروری به‌نظر می‌رسد.

٦- پیشنهادات

از جمله مواردی که می‌توان به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی در این زمینه به آن‌ها اشاره کرده شامل موارد زیر می‌شود:

در مرور تحقیقات مشابه خارج از کشور شاهد آن بودیم که علاوه بر محصولات جهانی سنجش از دوری، محصولات منطقه‌ای نیز توسط سازمان‌های متولی کشورهای مورد مطالعه به‌طور منظم تهیه می‌شود. پیشنهاد می‌شود سازمان‌های مرتبط در کشور، نظیر سازمان فضایی، سازمان نقشه‌برداری و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح در جهت تهیه این محصولات برنامه‌ریزی لازم را اتخاذ کنند و با بهره‌گیری از داده‌های موجود محصولاتی با دقت قابل قبول تولید و در اختیار محققان و پژوهشگران به‌صورت آزاد و رایگان قرار دهند. هر چند محصولاتی توسط پژوهشگران به‌صورت موردی و مقطعی (یک سال) برای کل کشور تهیه شده است ***(Ghorbanian et al., 2020)*** که عدم تداوم تولید آن‌ها و عدم دسترسی آزاد و رایگان به این محصولات از جمله محدودیت‌های آن‌ها برای سایر پژوهشگران و محققان محسوب می‌شود.

یکی دیگر از مواردی که خلاء آن در کشور نسبت به سایر کشورهای مورد بررسی مشاهده شد، عدم داده‌های واقعیت زمینی به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برای کشور بود. در تحقیقات مورد بررسی داده‌های واقعیت زمینی به‌صورت سالانه توسط سازمان‌های متولی تهیه و در اختیار محققان و پژوهشگران قرار می‌گیرد. تهیه این داده‌ها، ضمن صرفه‌جویی وقت پژوهشگران، امکان پژوهش‌های متنوع بر روی محصولات مختلف و در ابعاد مکانی وسیع (کل کشور) را فراهم می کند.

از آنجایی که محصولات سنجش از دوری بر اساس استانداردهای جهانی برای پوشش‌های اراضی تهیه می‌شوند از یک الگوی خاصی پیروی می‌کنند که معمولاً کلاس‌های تعیین شده، نماینده تمامی بیوم‌های موجود در دنیا نیست (همانند آبسنگ‌های مرجانی، جنگل‌های مانگرو، خورها،

دشت‌های سیلابی و ...). برای رفع این مشکل سازمان‌های مرتبط به موازات در جهت تهیه این کلاس‌ها با استفاده از داده‌های سنجش از دوری اقدام می‌کنند. پیشنهاد می‌شود در برنامه‌های آتی به تهیه این محصولات نیز توجه شود تا با ادغام داده‌ها امکان تحقیقات متنوع برای محققان و پژوهشگران فراهم شود.

در زمان انجام این پژوهش محصول جدیدی توسط سازمان فضایی اروپا با عنوان ESA WorldCover ارائه شد، این محصول مشخصاتی همچون محصول Esri دارد، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی این محصول نیز مورد استفاده و ارزیابی قرار گیرد.

منابع و مآخذ

1- Araujo-Barbosa, C.C.; Atkinson, P.M.; Dearing, J.A., (2015), Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. Ecol. Indic.52, 430–443.

2- Ashournejad, Q.; Amiraslani, F.; Kiavarz Moghadam, M.; Toomanian, A., (2019), Assessing the changes of mangrove ecosystem services value in the Pars Special Economic Energy Zone, Ocean & Coastal Management, 179, 104838.

3- Brovelli, Maria Antonia, Monia Elisa Molinari, Eman Hussein, Jun Chen, and Ran Li. (2015). "The First Comprehensive Accuracy Assessment of GlobeLand30 at a National Level: Methodology and Results" Remote Sensing 7, no. 4: 4191-4212.

4- Buchhorn, M., Lesiv, M., Tsendbazar, N. - E., Herold, M., Bertels, L., Smets, B., (2020). Copernicus Global Land Cover Layers—Collection 2. Remote Sensing 2020, 12 (6), 1044.

5- Chaves, M.E.D.; Picoli, M.C.A.; Sanches, I.D. (2020). Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/ MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review. Remote Sens., 12, 3062.

6- Chen J., Ban Y., Li S. (2014), Open access to Earth land-cover map [J]. Nature, 2014, 514(7523): 434-434.

7- Chen J, Cao X, Peng S, Ren H. (2017). Analysis and applications of GlobeLand30: A review. Isprs Int J Geo-Inf, 6: 230.

8- Chen J, Chen J, Liao A, Cao X, Chen L, Chen X, He C, Han G, Peng S, Lu M, Zhang W, Tong X, Mills J. (2015). Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. Isprs-J Photogramm Remote Sens, 103: 7–27.

9- Congalton, R.G., (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sens. Environ. 37, 35–46.

10- Delgado-Artés, R.; Garófano-Gómez, V.; Oliver-Villanueva, J.; Rojas-Briales, E. (2022). Land use/cover change analysis in the Mediterranean region: A regional case study of forest evolution in Castelló (Spain) over 50 years. Land Use Policy, 114, 105967.

11- Ding, Y.; Yang, X.; Wang, Z.; Fu, D.; Li, H.; Meng, D.; Zeng, X.; Zhang, J. (2022). A Field-Data-Aided Comparison of Three 10 m Land Cover Products in Southeast Asia. Remote Sensing, 14, 5053

12- Gao, Y.; Skutsch, M.; Paneque-Gálvez, J.; Ghilardi, A. (2020). Remote Sensing of Forest Degradation: A Review. Environ. Res. Lett., 15, 103001.

13- Ghorbanian, A.; Kakooei, M.; Amani, M.; Mahdavi, S.; Mohammadzadeh, A.; Hasanlou, M. (2020). Improved Land Cover Map of Iran Using Sentinel Imagery within Google Earth Engine and a Novel Automatic Workflow for Land Cover Classification Using Migrated Training Samples. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 167, 276–288.

14- Guo, Huadong, Michael F. Goodchild, and Alessandro Annoni. (2020). Manual of Digital Earth. Singapore: Springer.

15- Guo, Huadong, Wenxue Fu, and Guang Liu. (2019). Scientific Satellite and Moon-Based Earth Observation for Global Change. Singapore: Springer.

16- Huan V D, (2022), Accuracy assessment of land use land cover LULC (2020). (ESRI) data in Con Dao island, Ba Ria – Vung Tau province, Vietnam, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

17- Kang, J.; Sui, L.; Yang, X.; Liu, Y.;Wang, Z.;Wang, J.; Yang, F.; Liu, B.; Ma, Y. (2019). Sea Surface-Visible Aquaculture Spatial-Temporal Distribution Remote Sensing: A Case Study in Liaoning Province, China from 2000 to 2018. Sustainability, 11, 7186.

18- Kang, J.;Wang, Z.; Sui, L.; Yang, X.; Ma, Y.;Wang, J. (2020). Consistency analysis of remote sensing land

Bruin, S.; Masiliunas, D.; Lesiv, M.; Fritz, S.; Buchhorn, M.; Smets, B.; et al. (2021). Towards Operational Validation of Annual Global Land Cover Maps. Remote Sens. Environ., 266, 112686.

27- Venter, Z.S.; Barton, D.N.; Chakraborty, T.; Simensen, T.; Singh, G. (2022). Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. Remote Sens, 14, 4101

28- Wang, J.; Sui, L.; Yang, X.; Wang, Z.; Liu, Y.; Kang, J.; Lu, C.; Yang, F.; Liu, B. (2019). Extracting Coastal Raft Aquaculture Data from Landsat 8 OLI Imagery. Sensors, 19, 1221.

29- Wang, J.; Yang, X.;Wang, Z.; Cheng, H.; Kang, J.; Tang, H.; Li, Y.; Bian, Z.; Bai, Z. (2022). Consistency Analysis and Accuracy Assessment of Three Global Ten-Meter Land Cover Products in Rocky Desertification Region—A Case Study of Southwest China. ISPRS Int. J. Geo-Inf., 11,202.

30- Wang, Q.; Blackburn, G.A.; Onojeghuo, A.O.; Dash, J.; Zhou, L.; Zhang, Y.; Atkinson, P.M. (2017). Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI Data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 55, 3885–3899.

31- Xu, L.; Herold, M.; Tsendbazar, N.-E.; Masiliunas, D.; Li, L.; Lesiv, M.; Fritz, S.; Verbesselt, J. (2022). Time Series Analysis for Global Land ¯ Cover Change Monitoring: A Comparison Across Sensors. Remote Sens. Environ., 271, 112905.

32- Yang, Liping, Joshua Driscol, Sarigai Sarigai, Qiusheng Wu, Haifei Chen, and Christopher D. Lippitt. (2022). "Google Earth Engine and Artificial Intelligence (AI): A Comprehensive Review" Remote Sensing 14, no. 14: 3253.

33- You, H.; Tang, X.; Deng, W.; Song, H.; Wang, Y.; Chen, J. (2022). A Study on the Difference of LULC Classification Results Based on Landsat 8 and Landsat 9 cover products in the tropical rainforest climate region: A case study of Indonesia. Remote Sens., 12, 1410.

19- Kavvada, A.; Metternicht, G.; Kerblat, F.; Mudau, N.; Haldorson, M.; Laldaparsad, S.; Friedl, L.; Held, A.; Chuvieco, E. (2020). Towards Delivering on the Sustainable Development Goals Using Earth Observations. Remote Sens. Environ., 247, 111930.

20- Liu, L.; Zhang, X.; Gao, Y.; Chen, X.; Shuai, X.; Mi, J. (2021). Finer-Resolution Mapping of Global Land Cover: Recent Developments, Consistency Analysis, and Prospects. J. Remote Sens., 2021, 5289697.

21- Lyons, M. B.; Keith, D. A.; Phinn, S. R.; Mason, T. J.; Elith, J., (2018). A comparison of resampling methods for remote sensing classification and accuracy assessment. Remote Sens. Environ. 208, 145–153.

22- Nasiri, Vahid, Azade Deljouei, Fardin Moradi, Seyed Mohammad Moein Sadeghi, and Stelian Alexandru Borz. (2022). "Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods" Remote Sensing 14, no. 9: 1977.

23- Phiri, D.; Simwanda, M.; Salekin, S.; Nyirenda, V.R.; Murayama, Y.; Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. Remote Sens., 12, 2291.

24- Soliman, M.; Morsy, M.M.; Radwan, H.G. (2022). Assessment of Implementing Land Use/Land Cover LULC 2020-ESRI Global Maps in 2D Flood Modeling Application. Water, 14, 3963.

25- Sun, W.Y.; Ding, X.T.; Su, J.B.; Mu, X.M.; Zhang, Y.Q.; Gao, P.; Zhao, G.J. (2022). Land use and cover changes on the Loess Plateau: A comparison of six global or national land use and cover datasets. Land Use Policy, 119, 106165.

26- Tsendbazar, N.; Herold, M.; Li, L.; Tarko, A.; De

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported (CC BY-ND 3.0)

جدول پیوست ۱: میزان دقت منطقه‌ای محصول CGLS

نام کلاس	بوته‌زار	پوشش علفی/ ...	اراضی کشاورزی/ ...	ساخت‌وساز انسانی/ ...	بایر/ ...	برف و یخ	آب‌های دائمی/...	تالاب/ ...	جنگل/ ...	تعداد کل	دقت کاربر	کاپا
بوته‌زار	۱۰	٤	۱۳	٤	۰	۰	۰	۰	٤	۳۵	۰/۲۹	–
پوشش علفی/ ...	۲۲	۱۸۲	۱٦	۲۰	۲۸	۰	٦	۰	۸	۲۸۲	۰/٦۵	–
اراضی کشاورزی/ ...	۰	۵	۱۸٤	۸	۰	۰	۱	۰	۱	۱۹۹	۰/۹۲	–
ساخت و ساز انسانی/ ...	۱	۱	۵	۱۸۳	۱	۰	۰	۰	۳	۱۹٤	۰/۹٤	–
بایر/ ...	۰	۱	۰	۰	۱۱	۰	۲	۰	۰	۱٤	۰/۷۹	–
برف و یخ	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱	۰	۰	۰	۱۱	۱/۰۰	–
آب‌های دائمی/...	۰	۰	۰	۰	٤	۰	۹۷	۰	۰	۱۰۱	۰/۹٦	–
تالاب/ ...	۰	۰	۲	۰	۱	۰	۱	۸	۰	۱۲	۰/٦۷	–
جنگل/ ...	۹	۸	۱۵	۱۲	۰	۰	۲		٤۳۵	٤۸۱	۰/۹۰	–
تعداد کل	٤۲	۲۰۱	۲۳۵	۲۲۷	٤۵	۱۱	۱۰۹	۸	٤۵۱	۱۳۲۹	–	–
دقت تولیدکننده	۰/۲٤	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۲٤	۱/۰۰	۰/۸۹	۱/۰۰	۰/۹٦	–	۰/۸٤	–
کاپا	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۸۰

جدول پیوست ۲: میزان دقت منطقه‌ای محصول GlobeLand30

نام کلاس	بوته‌زار	پوشش علفی/ ...	اراضی کشاورزی/ ...	ساخت‌وساز انسانی/ ...	بایر/ ...	برف و یخ	آب‌های دائمی/...	تالاب/ ...	جنگل/ ...	تعداد کل	دقت کاربر	کاپا
بوته‌زار	۰	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳	۰/۰۰	–
پوشش علفی/ ...	۲۹	۱۷۱	٤	۷	۲٦	٤	۱	۱	۱۷	۲٦۰	۰/٦٦	–
اراضی کشاورزی/ ...	۵	۱٤	۲۲۱	۲۹	۲	۰	۱۰	۱	۳٦	۳۱۸	۰/٦۹	–
ساخت و ساز انسانی/ ...	۱	۰	٦	۱۸۷	٦	۰	۳	۰	۳	۲۰٦	۰/۹۱	–
بایر/ ...	۰	٤	۰	۱	۵	۰	۰	۱	۰	۱۱	۰/٤۵	–
برف و یخ	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۰	۰	۰	۷	۱/۰۰	–
آب‌های دائمی/...	۰	۰	۰	۰	٤	۰	۹۵	۱	۱	۱۰۱	۰/۹٤	–
تالاب/ ...	۱	۲	۰	۰	۲	۰	۰	۳	۰	۸	۰/۳۸	–
جنگل/ ...	٦	۸	٤	۳	۰	۰	۰	۱	۳۹۳	٤۱۵	۰/۹۵	–
تعداد کل	٤۲	۲۰۱	۲۳۵	۲۲۷	٤۵	۱۱	۱۰۹	۸	٤۵۱	۱۳۲۹	–	–
دقت تولیدکننده	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۹٤	۰/۸۲	۰/۱۱	۰/٦٤	۰/۸۷	۰/۳۸	۰/۸۷	–	۰/۸۱	–
کاپا	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/۷٦

جدول پیوست ۳: میزان دقت منطقه‌ای محصول Esri

نام کلاس	بوته‌زار	پوشش علفی/ ...	اراضی کشاورزی/ ...	ساخت و ساز انسانی/ ...	بایر/ ...	برف و یخ	آب‌های دائمی/...	تالاب/ ...	جنگل/ ...	تعداد کل	دقت کاربر	کاپا
بوته‌زار	۳۵	۱۷۳	۱۸	۳	۲۲	۰	۰	۳	۱۶	۲۷۰	۰/۱۳	–
پوشش علفی/ ...	۱	۵	٤	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۱۲	۰/٤۲	–
اراضی کشاورزی/ ...	۳	۱۱	۲۰۲	۰	٤	۰	۱	۳	۱۶	۲٤۰	۰/۸٤	–
ساخت و ساز انسانی/ ...	۱	۳	۱۰	۲۲۳	۱	۰	۱	۰	۱۰	۲٤۹	۰/۹۰	–
بایر/ ...	۰	٤	۰	۰	۱۰	۷	۰	۰	۰	۲۱	۰/٤۸	–
برف و یخ	۰	۰	۰	۰	۰	٤	۰	۰	۰	٤	۱/۰۰	–
آب‌های دائمی/...	۰	۱	۱	۰	۷	۰	۱۰۷	۲	۱	۱۱۹	۰/۹۰	–
تالاب/ ...	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰	–
جنگل/ ...	۲	٤	۰	۱	۱	۰	۰	۰	٤۰٦	٤۱٤	۰/۹۸	–
تعداد کل	٤۲	۲۰۱	۲۳۵	۲۲۷	٤۵	۱۱	۱۰۹	۸	٤۵۱	۱۳۲۹	–	–
دقت تولید کننده	۰/۸۳	۰/۰۲	۰/۸٦	۰/۹۸	۰/۲۲	۰/۳٦	۰/۹۸	۰/۰۰	۰/۹۰	–	۰/۷۵	–
کاپا	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۰/٦۹

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی