



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۰ | دی ۱۴۰۰ (ص ۲۵۸۰-۲۵۶۹)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.330075.669068>

(مقاله علمی - پژوهشی)

Investigation of Land Use Changes in Karkheh Watershed during 1990 and 2020 Using Google Earth Engine Platform and Landsat Satellite Images

ALI SADIAN¹, HOSEIN SHAFIZADEH-MOGHADAM^{*}

1- Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
(Received: Sep. 6, 2021- Revised: Oct. 17, 2021- Accepted: Oct. 26, 2021)

ABSTRACT

Karkheh is one of the most important watersheds for water resources management and croplands in Iran, where the largest dam in Iran and the Middle East is located there. Karkheh is considered as Iran's food basket and exploring land-use changes in this watershed has highly strategic. In the present study, land-use changes during 1990 and 2020 in the Karkheh basin have been extracted and evaluated using Landsat satellite images and random forest algorithm in the Google Earth Engine platform. In this paper, the changes of 11 classes, including forest, shrubland, grassland, irrigated, rainfed, garden, barren, water body, wetland, urban, and riparian have been quantified. The largest area of the region was belong to grassland and barren. In this research, the classification process has been done separately for each Landsat image scene in the Karkheh basin, and finally, all the scenes have been mosaic together. Using this method, most of the images in a scene are used, and the time series of indexes specific to each class of each scene is used for classification, which achieves more accurate results than the method of classifying the whole area in one place. The results show urban areas have increased by 113%, water bodies by 149%, garden by 163%, riparian by 39%, irrigated by 122%, wetland by 10% and rainfed by 34%. However, forest 22%, barren 20%, and shrubs 20% were reduced. As a result, this statistic indicates an expansion of agriculture and reduction of grassland. The accuracy assessment of the classified images confirmed the overall accuracy and kappa coefficient as being 96% and 95% for 1990, 94%, and 93% for 2020. These indices show the appropriate accuracy of classification maps and the validity of the results.

Keywords: Karkheh Watershed, Land Use, Google Earth Engine, Random Forest.

* Corresponding Author's Email: h_shafizadeh@modares.ac.ir

بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز کرخه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره‌ای لندست

علی سعدیان^۱، حسین شفیع‌زاده مقدم^{۱*}

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۷/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۴)

چکیده

حوضه کرخه یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز ایران از نظر مدیریت منابع آب و اراضی کشاورزی می‌باشد جاییکه بزرگترین سد خاکی ایران و خاورمیانه در آن قرار گرفته است. تغییرات کاربری اراضی در این حوضه از اهمیت استراتژیک زیادی برخوردار است چرا که به‌عنوان سبب غذایی ایران محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی در پلتفرم گوگل ارث انجین، تغییرات کاربری اراضی حوضه کرخه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ استخراج و بررسی شده است. در این بررسی، تغییرات ۱۱ کلاس جنگل، درختچه‌زار، مرتع، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، باغ، زمین بایر، پهنه آبی، تالاب، شهری و پوشش گیاهی ساحلی مورد ارزیابی قرار گرفته است که بیشترین مساحت منطقه را کلاس‌های مرتع و بایر در بر می‌گیرند. در این تحقیق، فرآیند طبقه‌بندی برای هر سین تصویر لندست در حوضه کرخه به‌صورت جداگانه انجام گرفته است و در نهایت تمامی سین‌ها باهم موزائیک شده است. با استفاده از این روش، اکثر تصاویر موجود در یک سین مورد استفاده قرار می‌گیرد و سری زمانی شاخص‌های مختص هر کاربری در هر سین برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود که موجب دستیابی به نتایج دقیق‌تر نسبت به روش طبقه‌بندی کل منطقه به‌صورت یک‌جا، می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد مناطق شهری ۱۳۳ درصد، پهنه‌های آبی ۱۴۹ درصد، باغ ۱۶۳ درصد، حاشیه رودخانه‌ها ۳۹ درصد، کشاورزی آبی ۱۲۲ درصد، تالاب ۱۰ درصد و کشاورزی دیم ۳۴ درصد افزایش داشته، درحالیکه جنگل ۲۲ درصد، زمین‌های بایر ۲۰ درصد و درختچه‌زار ۲۰ درصد کاهش داشته‌اند. در نتیجه، این آمار نشان دهنده گسترش کشاورزی و از بین رفتن زمین‌های مرتعی می‌باشد. در فرآیند صحت‌سنجی تصاویر طبقه‌بندی شده، دقت کل و ضریب کاپای به‌ترتیب ۹۶٪ و ۹۵٪ برای سال ۱۹۹۰ و ۹۴٪ و ۹۳٪ برای سال ۲۰۲۰ به دست آمد که این مقادیر نشان دهنده‌ی دقت مناسب طبقه‌بندی انجام شده و اعتبار نتایج این تحقیق می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز کرخه، کاربری اراضی، گوگل ارث انجین، جنگل تصادفی.

مقدمه

می‌کنند (Steinhausen et al., 2018; Wagner et al., 2019). برای درک چگونگی تأثیر و تعامل تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با سیستم‌های محیطی، به اطلاعاتی در مورد اینکه چه تغییراتی رخ می‌دهد، در کجا و چه زمانی رخ می‌دهد، میزان وقوع آن‌ها و عوامل اجتماعی و فیزیکی که آن تغییرات را منجر می‌شوند، نیاز است (Lambin et al., 2003). با توجه به بررسی و مرور مطالعات انجام شده، تغییرات کاربری اراضی در مناطق مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است اما به‌نظر می‌رسد که در سال‌های اخیر مطالعه جامعی در یک دوره زمانی بلند مدت در مورد تغییرات کاربری اراضی حوضه کرخه با استفاده از حداکثر تصاویر موجود و با در نظر گرفتن تمامی کلاس‌ها با بالاترین دقت، انجام نگرفته است. در مطالعه‌ای (Salajegheh et al. (2011)

کاربری اراضی و پوشش زمین^۱ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات محیط‌زیستی در جهان همواره مورد توجه محققین، دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی قرار داشته است. به دلیل اثرات گسترده تغییر کاربری اراضی بر اقلیم، منابع آب، زیستگاه‌ها، امنیت غذایی، بیابان‌زایی و جنگل‌زدایی، مطالعات بسیاری در زمینه نظارت، ارزیابی، سنجش، پایش و پیش‌بینی کاربری اراضی و پوشش زمین در سراسر جهان انجام شده است (Yan et al., 2009; El-Tantawi et al., 2019; Shanani, 2016). نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین می‌تواند درک ما را از مداخلات انسانی در محیط‌زیست افزایش دهد. علاوه بر این، این نقشه‌ها داده‌های مهمی را برای مدل‌سازی محیط‌زیستی و مدیریت منابع آب فراهم

* نویسنده مسئول: h_shafizadeh@modares.ac.ir

کشاورزی و شرب موجب تغییرات شدید کاربری اراضی این حوضه در سال‌های اخیر شده است که اهمیت مطالعه در این حوضه را دوچندان می‌کند. از این رو هدف از این پژوهش بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه کرخه در یک بازه ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) در ۱۱ کلاس جنگل، درختچه‌زار، مرتع، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، باغ، زمین بایر، پهنه آبی، تالاب، شهری و پوشش گیاهی ساحلی با استفاده از روش سین-مبنا در پلتفرم گوگل ارث انجین می‌باشد که باعث افزایش بسیار زیاد دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کرخه در غرب کشور و در مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوه‌های زاگرس قرار دارد. از نظر مختصات جغرافیایی بین $36^{\circ} 06'$ و $49^{\circ} 10'$ طول شرقی و بین $30^{\circ} 58'$ و $34^{\circ} 56'$ عرض شمالی قرار گرفته است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز سفید رود و از غرب به حوضه‌های آبریز مرزی، از شرق به حوضه آبریز دز و از جنوب به کرخه سفلی محدود می‌شود (Watershed management plan of Karkheh dam basin 1999). نمایی از موقعیت این حوضه نسبت به کل کشور در شکل شماره (۱) به نمایش گذاشته شده است. حوضه آبریز رودخانه کرخه با نام اختصاری کرخه بزرگ یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. آبراهه اصلی حوضه، رود کرخه است که از تلاقی رودهای سیمره و زال در جنوب پلدختر تشکیل شده است و مساحت این حوضه، 51643 کیلومتر مربع است. تغییرات ارتفاعی این حوضه از 0 تا 3626 متر می‌باشد و میانگین بارش سالانه در حوضه کرخه از حداقل 150 میلی‌متر در مناطق جنوبی تا بیش از 1000 میلی‌متر در ارتفاعات شمالی و مناطق شرقی تغییر می‌نماید و رژیم بارش آن اغلب مدیترانه‌ای است. حوضه آبریز کرخه بزرگ بیش از نیمی از استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان را در بر می‌گیرد.

تصاویر ماهواره‌ای لندست

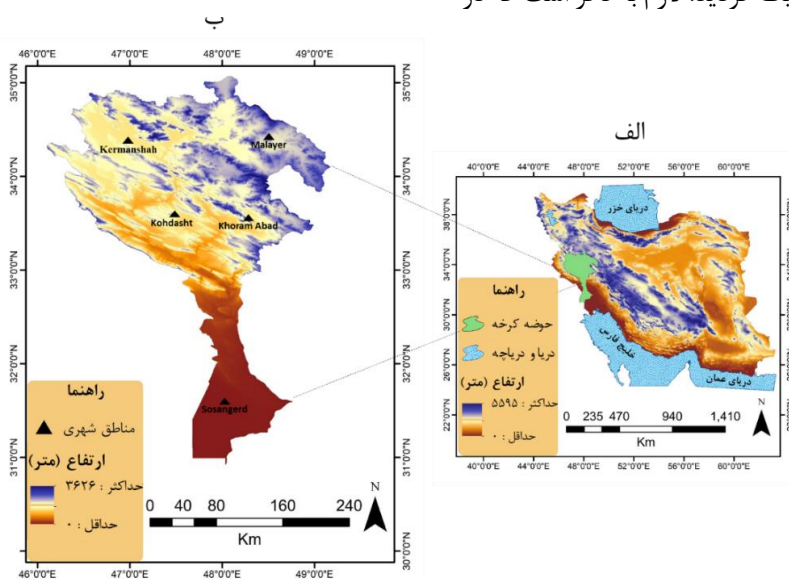
در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ برای طبقه‌بندی در سال ۱۹۹۰ و لندست ۸ برای سال ۲۰۲۰ با قدرت تفکیک مکانی 30 متر برای باند مرئی و 120 متر برای باند مادون قرمز حرارتی استفاده شده است. به دلیل گستردگی حوضه کرخه و همچنین حجم بالای تصاویر ماهواره‌ای، از پلتفرم گوگل ارث انجین برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده می‌شود و در ادامه، نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ میلادی به همراه بررسی

تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر کیفیت آب رودخانه در حوضه آبریز کرخه را با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM ماهواره لندست در دوره زمانی ۱۳۶۷ و ۱۳۸۱ مورد بررسی قرار دادند و نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تغییرات کاربری اراضی به سمت کاهش اراضی مرتعی، جنگلی، باغ‌ها و اراضی زراعی و نیز افزایش اراضی بایر و اراضی شهری پیش رفته است بطوری که در نتیجه این تغییرات، کاهش شدید کیفیت آب در منطقه مطالعاتی رخ داده است. در مطالعه‌ای دیگر Kaabzadeh et al. (2021) تاثیر احداث و بهره‌برداری سد مخزنی کرخه را بر روی کاربری اراضی منطقه در دوره زمانی ۱۳۶۳-۱۳۹۳ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این پژوهش عنوان کردند که پس از بهره‌برداری سد کرخه، روند تغییرات کاربری اراضی تشدید شده و کاربری کشاورزی آبی بیشترین تغییر را پس از احداث سد داشته است. همچنین در مطالعه‌ای (Kazemi et al. 2021) تحت عنوان ارزیابی کمی و کیفی تغییرات جریان، تغییرات کاربری اراضی حوضه کرخه را در سه دوره زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۵-۲۰۱۲ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها فقط ۵ کلاس را در این سه دوره مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۲، جنگل نزدیک به ۷۰ درصد کاهش، کشاورزی آبی ۱۰۰ درصد افزایش، کشاورزی دیم ۱۳ درصد کاهش، مرتع (چمن‌زار) ۳ درصد کاهش و مناطق شهری ۱۶۰ درصد افزایش داشته است. روش‌ها و مطالعات زیادی نیز در مورد استخراج کاربری اراضی با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین در مناطق مختلف دنیا صورت گرفته است. (Becker et al. 2021) در مطالعه‌ای، یک روش برای طبقه‌بندی خودکار کاربری اراضی و پوشش زمین در پلتفرم گوگل ارث انجین با استفاده از تصاویر لندست ۸ در حوضه رودخانه Sao Francisco برزیل ایجاد کردند. آن‌ها در این مطالعه تنها ۴ کلاس جنگل، پهنه‌های آبی، مرتع و کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از میانه و انحراف معیار شاخص NDVI برای طبقه‌بندی تصاویر استفاده کردند و برای کاهش خطا، مناطق شهری را حذف کردند. در مطالعه‌ای دیگر، Oliphant et al. (2019) زمین‌های کشاورزی جنوب شرقی و شمال شرقی آسیا را از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این مطالعه با استفاده از میانه باندهای تصاویر لندست و شاخص‌هایی نظیر NDVI و NDWI در هر فصل در پلتفرم گوگل ارث انجین، منطقه مورد مطالعه را تنها در دو کلاس کشاورزی و غیرکشاورزی طبقه‌بندی کردند.

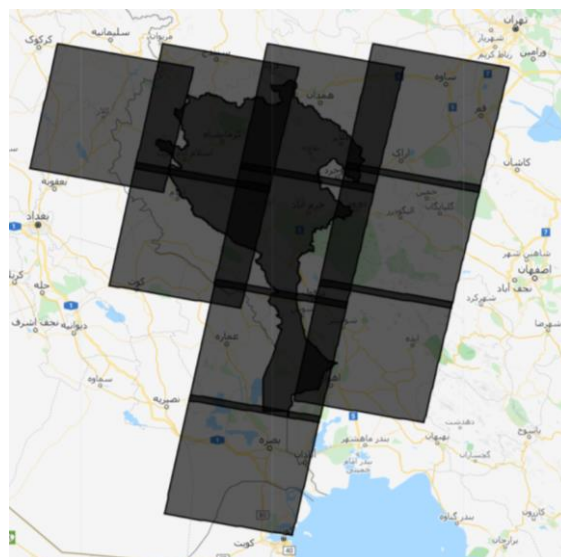
حوضه آبریز کرخه با مساحتی نزدیک به ۵ میلیون هکتار و وجود بزرگترین سد خاکی خاورمیانه اهمیت خاصی را دارا است. استفاده گسترده از آب رودخانه کرخه در امور مختلف نظیر

مجموع ۸۷ تصویر برای سال ۱۹۹۰ و ۹۰ تصویر برای سال ۲۰۲۰ که دارای حداقل پوشش ابری بودند مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). پس از حذف پیکسل‌های ابری از این تصاویر، شاخص‌های مورد نیاز برای شناسایی و استخراج کاربری اراضی در هر سین محاسبه شد. شاخص $NDVI^1$ برای مشخص کردن مناطق دارای پوشش گیاهی از جمله زمین‌های کشاورزی، مرتع، جنگل و درختچه‌زار، شاخص $NDWI^2$ برای تشخیص پهنه‌های آبی و شاخص $MNDBI^3$ جهت تفکیک زمین‌های بایر و شهری انتخاب شدند.

تغییرات زمانی و مکانی کاربری‌های مختلف ارائه می‌گردد. حوضه آبریز کرخه دربرگیرنده ۱۰ سین از تصاویر ماهواره‌ای لندست می‌باشد که از گذر ۱۶۵ تا ۱۶۸ و ردیف ۳۶ تا ۳۹ را شامل می‌شود (شکل ۲) که ۴ عدد از سین‌های این منطقه به دلیل همپوشانی سین‌های مجاور، نیاز به کلاس‌بندی ندارند. بنابراین عملیات طبقه‌بندی فقط بر روی ۶ سین صورت می‌پذیرد. تمامی مراحل نمونه‌گیری و طبقه‌بندی تصاویر برای هر سین، به صورت جداگانه اعمال شد زیرا عدم تطابق زمانی تصاویر هر سین با دیگر سین‌ها می‌تواند باعث ایجاد خطا در طبقه‌بندی شود. در نهایت خروجی طبقه‌بندی سین‌ها با هم موزائیک گردید. لازم به ذکر است که در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرخه در ایران، الف) نقشه ایران ب) حوضه کرخه



شکل ۲- گذر و ردیف ماهواره لندست در حوضه آبریز کرخه

۱ Normalized Difference Vegetation Index

۲ Normalized Difference Water Index

۳ Modified Normalized Difference Bare-land Index

شاخص MNDBI

جدا کردن منطقه شهری از خاک‌های بایر همواره یکی از چالش‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی می‌باشد (Li et al., 2015; Zhang et al., 2014). برای این منظور شاخص‌های زیادی از جمله NDBI، NDBLI و Buc توسعه داده شده است (Li et al., 2015; He et al., 2010; Zha et al., 2003). این شاخص‌ها تا حدی قادر به تفکیک مناطق شهری از زمین‌های بایر هستند. با این حال، جدایی کامل آن‌ها هنوز یک چالش است، زیرا مقدار بازتاب مناطق شهری بسیار شبیه به زمین‌های بایر است (Faridatul et al., 2018). بعد از سعی خطاهای بسیار در بین شاخص‌های مختلف برای جداسازی زمین‌های بایر از مناطق شهری، مشاهده شد که شاخص MNDBI نتیجه بهتری نسبت به دیگر شاخص‌ها دارد و بنابراین ما در این پژوهش از شاخص MNDBI که از باندهای آبی و فرورسرخ کوتاه ۲ استفاده می‌کند، بهره می‌بریم. این شاخص از رابطه ۳ محاسبه می‌شود که در آن SWIR2، باند فرورسرخ کوتاه ۲ و Blue، باند آبی می‌باشد.

$$MNDBI = \frac{SWIR2 - Blue}{SWIR2 + Blue} \quad (\text{رابطه ۳})$$

پیاده سازی الگوریتم طبقه بندی

پلتفرم گوگل ارث انجین^۲

گوگل ارث انجین یک بستر مبتنی بر فضای ابری است که برای تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاکنون از قابلیت‌های گسترده محاسباتی گوگل ارث انجین برای بررسی جنگل زدایی، خشکسالی، بلایای طبیعی، بیماری، امنیت غذایی، مدیریت آب، نظارت بر تغییر اقلیم، حفاظت محیط زیست و غیره استفاده شده است. گوگل ارث انجین در قالب یک پلتفرم یکپارچه طراحی شده است که نه تنها محققان سنتی سنجش از دور، بلکه مخاطبان بسیار زیادی که دسترسی لازم به ابر رایانه‌ها یا منابع محاسبات ابری در مقیاس بزرگ را ندارند، بتوانند از آن استفاده کنند (Gorelick et al., 2017). طبقه‌بندی کاربری اراضی در مناطق بزرگ مقیاس مستلزم استفاده از حجم زیادی از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد و پردازش این داده‌ها در رایانه‌های معمولی بسیار دشوار می‌باشد؛ به‌خصوص زمانی که از سری زمانی تصاویر استفاده می‌شود. بنابراین در این پژوهش تمامی مراحل طبقه‌بندی شامل نمونه-گیری، پیاده سازی طبقه‌بندی و صحت‌سنجی در پلتفرم گوگل ارث انجین صورت گرفت.

در هر سین با استفاده از تصاویر موجود در طول سال، بیش‌ترین، کم‌ترین و میانگین به همراه سری زمانی شاخص‌ها محاسبه شده و به عنوان ورودی به الگوریتم جنگل تصادفی^۱ اضافه می‌شود. علاوه بر استفاده از شاخص‌های NDVI، NDWI و MNDBI، برای طبقه‌بندی کاربری اراضی، از باندهای مادون قرمز نزدیک ۱ و ۲ به همراه نقشه ارتفاع و شیب، جهت تفکیک بهتر عارضه‌ها و افزایش دقت استفاده شده است.

جدول ۱- تعداد تصاویر هر سین در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

گذر-ردیف	۱۹۹۰	۲۰۲۰
	تعداد تصاویر	تعداد تصاویر
۱۶۵-۳۸	۱۶	۱۵
۱۶۶-۳۶	۱۳	۱۴
۱۶۶-۳۷	۱۵	۱۴
۱۶۶-۳۸	۱۵	۱۷
۱۶۷-۳۶	۱۴	۱۵
۱۶۷-۳۷	۱۴	۱۵

شاخص NDVI

از این شاخص برای برآورد پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی در سطح زمین استفاده می‌شود. این شاخص از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. (رابطه ۱)

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

در رابطه فوق NIR باند مادون قرمز نزدیک و Red باند قرمز می‌باشد. محدوده تغییرات شاخص از منفی یک تا مثبت یک می‌باشد. که معمولاً هرچه مقادیر شاخص به مثبت یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده بالا بودن تراکم پوشش گیاهی و مقادیر کمتر از صفر نشان دهنده پهنه‌های آبی و مقادیر مثبت نزدیک به صفر نیز زمین‌های بدون پوشش گیاهی (زمین‌های بایر) می‌باشد.

شاخص NDWI

شاخص NDWI بر مبنای بیشترین مقدار جذب آب و بیشترین مقدار بازتاب برای پوشش گیاهی در باند مادون قرمز نزدیک طراحی شده است. هدف از استخراج این رابطه مشخص کردن پهنه‌های آبی بوده است (McFeeters, 1996). این شاخص از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در رابطه فوق NIR، باند مادون قرمز نزدیک و Green، باند سبز می‌باشد. محدوده شاخص بین ۱- تا ۱ قرار دارد. مقادیر صفر تا ۱ پهنه‌های آبی و مقادیر کمتر از صفر پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

۱ Random Forest (RF)

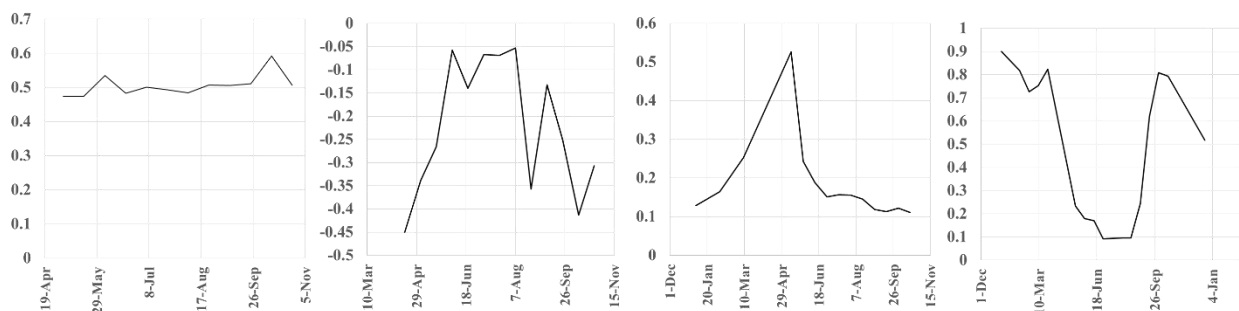
۲ Google Earth Engine (GEE)

نمونه‌برداری نقاط آموزش^۱

برای نمونه‌برداری جهت آموزش مدل یادگیری ماشینی نیاز است که در ابتدا شناخت کلی از منطقه به دست آید. بدین جهت با استفاده از تصاویر گوگل ارث و آمارنامه‌های کشاورزی کشور در مورد کلاس‌های مختلف در منطقه کرخه اطلاعات لازم به دست آمد. سپس با استفاده از سری زمانی شاخص‌های مختلف به خصوص شاخص NDVI اقدام به نمونه‌برداری از کلاس‌ها شد که در شکل (۳) نمونه‌ای از سری زمانی NDVI برای تفکیک کلاس‌های کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، پهنه آبی و جنگل در سال ۲۰۲۰ آورده شده است. در این پژوهش ۱۱ کلاس جهت طبقه‌بندی تصاویر انتخاب شده که مشخصات هر کلاس و نام تعریف شده برای آن‌ها به شرح زیر می‌باشد.

جنگل، زمین‌هایی که دارای تراکم تاج پوشش هوایی بیش‌تر از ۵۰ درصد می‌باشند. مرتع، زمین‌هایی که پوشش گیاهی

بالقوه آن‌ها عمدتاً گیاهان علوفه‌ای و چمن باشد. کشاورزی آبی، به اراضی اطلاق می‌شود که برای آبیاری چندانی به نزولات جوی ندارد و از طریق روش‌های آبیاری نیاز آبی گیاهان برطرف می‌شود. کشاورزی دیم، به اراضی اطلاق می‌شود که برای آبیاری کاملاً متکی به نزولات جوی هستند. باغ، زمین‌هایی که شامل انواع باغات میوه می‌باشند. درختچه‌زار، زمین‌هایی که دارای تراکم تاج پوشش هوایی کم‌تر از ۵۰ درصد می‌باشند. بایر، به زمینی اطلاق می‌شود که توانایی محدودی برای رشد گیاه را دارد. پهنه آبی، مناطقی که بیش از ۶ ماه از سال را دارای آب باشند. تالاب، مناطقی که قسمتی از سال را دارای آب و قسمتی از سال را خشک یا دارای پوشش گیاهی باشند. شهری، کلیه مناطق انسان-ساخت شامل شهر و روستا و هر نوع سازه قابل تشخیص در تصاویر ندرست. حاشیه رودخانه، بافت‌های گیاهی اطراف رودخانه که رابط بین رودخانه و خشکی است.



شکل ۳- نوع کاربری اراضی و سری زمانی NDVI برای نمونه‌های آموزش: الف) کشاورزی آبی ب) کشاورزی دیم ج) پهنه آبی د) جنگل

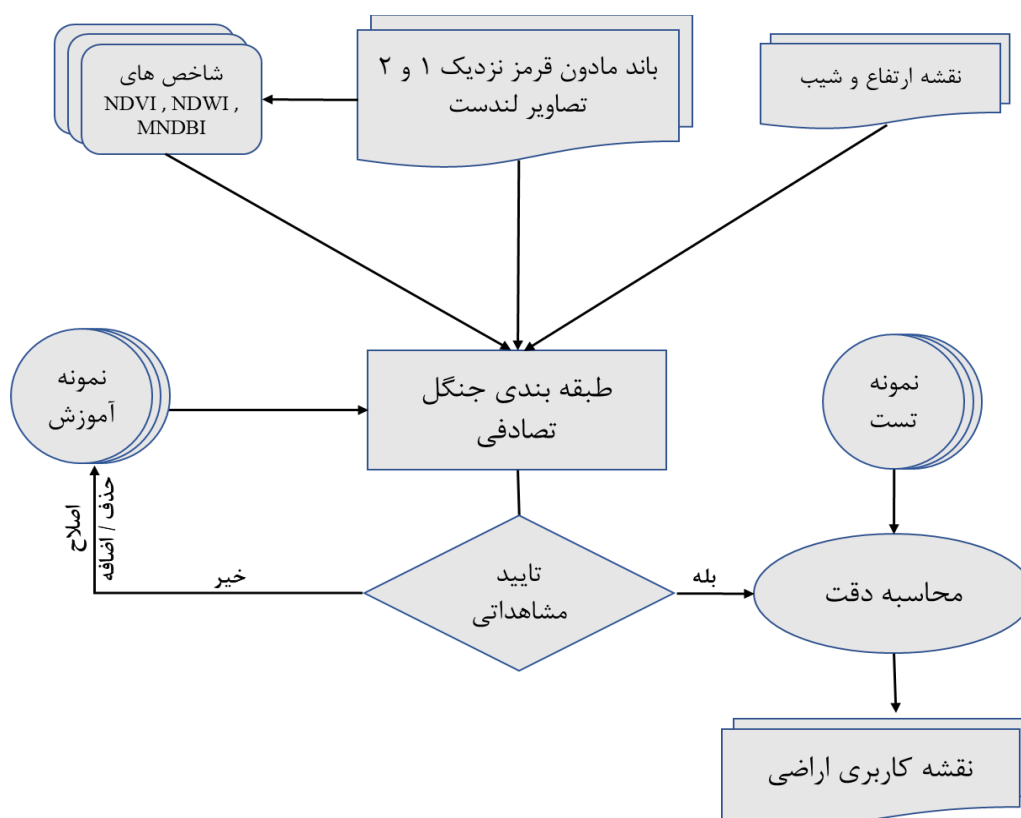
جنگل تصادفی

الگوریتم جنگل تصادفی در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری ماشینی است (Talebi et al., 2018). این الگوریتم یک روش یادگیری ناپارامتری مبتنی بر انبوهی از درخت‌های تصمیم است. تعداد بسیاری درخت تصمیم در طبقه‌بندی الگوریتم جنگل تصادفی رشد می‌یابند. پیکسل یا پدیده طبقه‌بندی نشده با توجه به ویژگی‌های خود در یک کلاس گنجانده

می‌شود. این امر با عبور دادن پیکسل از میان n درخت تصمیم انجام می‌شود. به گونه‌ای که تعلق پیکسل به یکی از کلاس‌ها (Y) تعداد کلاس) میان درختان تصمیم به رای گذاشته می‌شود و هر درخت رای خود را در مورد گنجاندن پیکسل در یک کلاس اعلام می‌کند. جنگل، پیکسل به رای گذاشته شده را به کلاسی که دارای بیش‌ترین رای درخت باشد، اختصاص می‌دهد. درختان تصمیم‌گیری به صورت مجزا با استفاده از روش نمونه‌گیری بوت

استرپینگ (نمونه‌گیری با جایگزینی) رشد می‌کنند. با استفاده از این روش، دو سوم از مجموعه داده‌های اصلی برای آموزش و یک سوم برای اعتبارسنجی هر درخت استفاده می‌شود. بدین طریق با نمونه‌گیری با جایگزینی، یک سوم باقیمانده داده‌ها در آموزش درخت دخالت نخواهند داشت تا برای صحت‌سنجی درونی الگوریتم مورد استفاده قرار گیرند. کارایی جنگل تصادفی در مورد مجموعه‌های بسیار بزرگ به اثبات رسیده است از این‌رو می‌تواند در تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گیرد

درخت تصادفی مبتنی بر پیکسل با تعداد درخت ۵۰۰ عدد ساخته شد. (Basukala et al., 2017). در الگوریتم جنگل تصادفی از چندین درخت تصمیم استفاده می‌شود. در واقع مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم، باهم یک جنگل را تولید می‌کنند و این جنگل می‌تواند تصمیم‌های بهتری نسبت به یک درخت اتخاذ نماید (Jahanbakhshi, 2019). بنابراین در این پژوهش با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین، یک الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی مبتنی بر پیکسل با تعداد درخت ۵۰۰ عدد ساخته شد.



شکل ۴- فلوجارت طبقه‌بندی کاربری اراضی برای هر سین

تست	آموزش	تست	آموزش	
۶۵	۱۸۳	۹۱	۳۱۶	جنگل
۱۴۰	۲۷۰	۱۶۳	۳۳۸	مرتع
۱۹۰	۴۴۷	۲۷۵	۶۹۰	کشاورزی آبی
۸۸	۱۸۲	۱۸۶	۴۳۵	کشاورزی دیم
۱۰۴	۲۲۷	۱۲۶	۳۱۳	باغ
۸۰	۱۲۹	۱۱۰	۲۳۶	درختچه‌زار
۱۹۷	۴۲۳	۱۸۷	۵۳۷	بایر
۹۲	۲۲۶	۲۸	۱۰۴	پهنه آبی
۳۷	۶۷	۶۳	۱۴۴	تالاب
۱۱۵	۲۴۰	۷۰	۱۷۳	شهری
۱۵	۳۵	۱۵	۳۲	پوشش گیاهی ساحلی

اعتبارسنجی

ارزیابی دقیق تصویر طبقه‌بندی شده با استفاده از داده‌های اعتبارسنجی انجام می‌شود. جدول (۲) تعداد داده‌های اعتبارسنجی در مقابل داده‌های آموزش را نشان می‌دهد. داده‌های اعتبارسنجی مستقل از داده‌های آموزش بوده و فقط برای اعتبارسنجی اختصاص یافته‌اند و در طبقه‌بندی کلاس یا شناسایی کلاس استفاده نمی‌شوند. دقت کاربری اراضی با استفاده از ماتریس خطا بدست می‌آید (Oliphant et al., 2017) که با استفاده از ماتریس خطا می‌توان دقت کلی، دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا را مشخص کرد.

ماتریس خطا یک ماتریس مربعی است که تعداد سطر و ستون‌های آن برابر تعداد کل کلاس‌های کاربری است. در این

جدول ۲- تعداد نمونه‌های آموزشی و اعتبارسنجی به تفکیک هر کلاس	
۲۰۲۰	۱۹۹۰
کلاس	کلاس

گروه داده کم می‌شود:

$$Kappa = \frac{OA-CA}{OA} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن CA از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$CA = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n N_{ij} N_{i+}}{N} \quad (\text{رابطه ۸})$$

نتایج و بحث

نقشه کاربری اراضی حوضه کرخه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست که دارای تفکیک مکانی ۳۰ متر می‌باشند در پلتفرم گوگل ارث انجین و با استفاده از مدل یادگیری ماشینی جنگل تصادفی که در بخش‌های گذشته درباره آن توضیح داده شد، بدست آمد. این نقشه‌ها دارای ۱۱ کلاس می‌باشند که تصاویر این نقشه‌ها در شکل (۵) آورده شده است. بعد از استخراج کامل نقشه کاربری اراضی، معمولاً در پردازش‌های مبتنی بر پیکسل یک عملیات پس‌پردازش صورت می‌گیرد که در آن پیکسل‌های جزیره‌ای^۱ را حذف می‌کنند به صورتی که پیکسل‌های منفرد در پیکسل‌های مجاور ادغام می‌شوند، بدین منظور از الگوریتم هموارسازی کرنل^۲ با ارزش میانه^۳ و ماتریس ۳در۳ استفاده شد (Gumma et al., 2020).

ماتریس N (i,j) تعداد نقاطی است که در روی نقشه در کلاس i ولی در روی زمین در کلاس j قرار گرفته‌اند. صحت کلی نقشه (OA) از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا (نقاطی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند) تقسیم بر تعداد کل نقاط (N)، همانند رابطه زیر به دست می‌آید:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n N_{ii}}{N} \quad (\text{رابطه ۴})$$

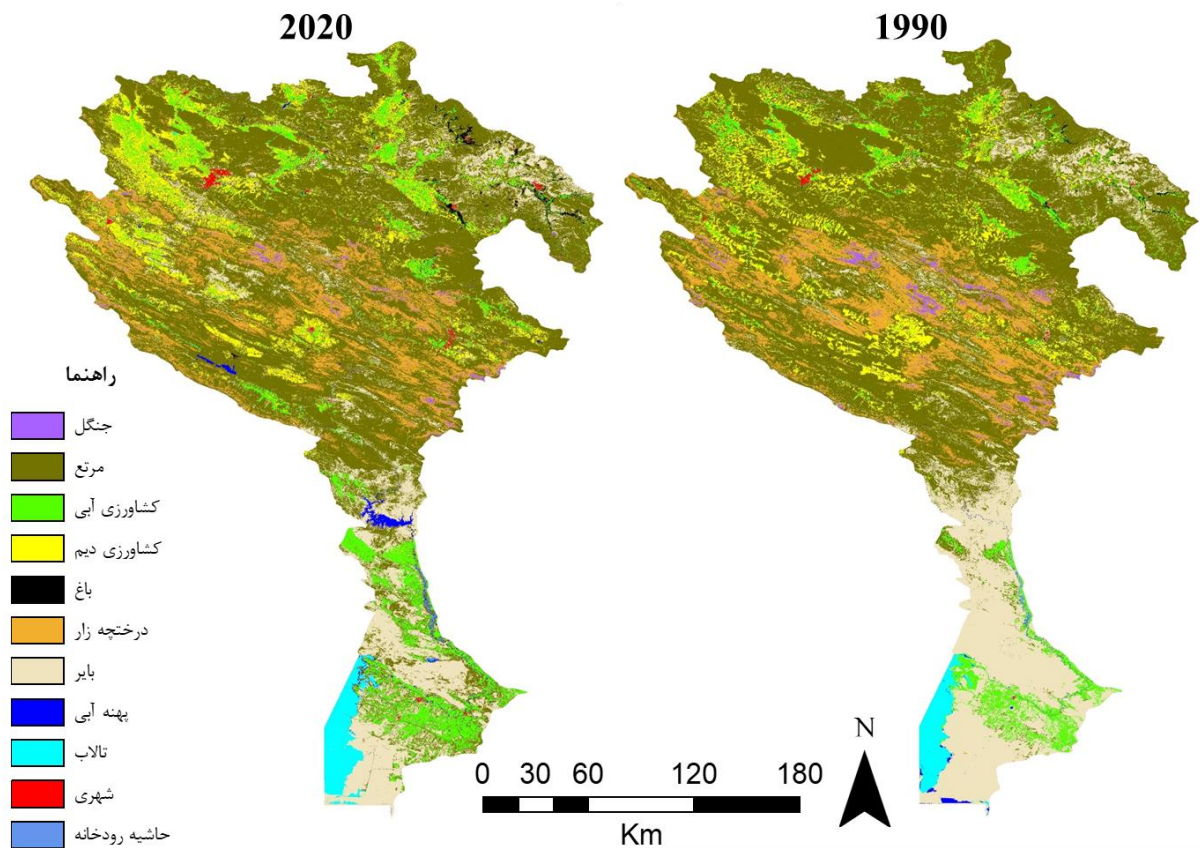
شاخص‌های دقت تولید کننده (PA) و دقت کاربر (UA) برای هر کدام از کلاس‌ها تعریف می‌شوند. دقت تولید کننده احتمال اینکه یک نقطه در روی زمین به درستی در کلاس مربوط به خود در نقشه طبقه‌بندی شده باشد را نشان می‌دهد و دقت کاربر احتمال اینکه یک نقطه در روی نقشه به درستی در کلاس مربوط به خود طبقه‌بندی شده باشد را نشان می‌دهد:

$$PA = \frac{N_{jj}}{N_{+j}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$UA_j = \frac{N_{ii}}{N_{i+}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در روابط بالا، N(+j) مجموع تعداد ستون زام و N(i+) مجموع ستون نام می‌باشد.

ضریب کاپا یک شاخص قوی‌تر از OA است که در آن مقدار توافقی که در اثر شانس حاصل می‌شود (CA) از توافق کلی دو



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی حوضه کرخه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

تعداد زیاد کلاس برای طبقه‌بندی به خصوص در مقیاس-های بزرگ، باعث ایجاد مشکلات زیادی در برآورد کاربری اراضی می‌شود. اما نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان دهنده‌ی دقت بالای روش سین-مبنا در تفکیک کلاس‌های مختلف از هم-دیگر که در مطالعات قبلی باعث افزایش خطا شده بود، می‌باشد. یکی از چالش‌های استخراج کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست که در مطالعات قبلی مشاهده می‌شود، تفکیک مناطق شهری از مناطق بایر می‌باشد که در این پژوهش با استفاده از بیش‌ترین، کم‌ترین، میانگین و سری زمانی شاخص MNDI و روش سین-مبنا به خوبی این کاربری‌ها از هم تفکیک شده‌اند. یکی دیگر از چالش‌ها، شباهت تغییرات شاخص NDVI در کلاس-های باغ و جنگل و از طرف دیگر احداث باغات در دل جنگل‌ها موجب سخت‌تر شدن تفکیک این دو کلاس از هم دیگر شده است که این چالش با کم و زیاد کردن نمونه‌های برداشت شده در این کلاس‌ها با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین به راحتی برطرف شد. به دلیل وجود تفاوت زمانی بین سین‌های مجاور و به تبع آن تفاوت سری زمانی شاخص‌ها در هر سین، طبقه‌بندی تصاویر لندست برای کل منطقه به صورت یک‌جا با خطای نسبتاً زیادی همراه می‌باشد؛ اما در روش سین-مبنا، طبقه‌بندی برای هر سین به صورت جداگانه صورت گرفته است که موجب افزایش چشم‌گیر در دقت طبقه‌بندی شده است.

بررسی تغییرات مساحت‌ها نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ مناطق شهری ۱۳۳٪ افزایش، پهنه‌های آبی ۱۴۹٪ افزایش، باغ ۱۶۳٪ افزایش، حاشیه رودخانه ۳۹٪ افزایش، کشاورزی آبیاری ۱۲۲٪ افزایش، کشاورزی دیم ۳۴٪ افزایش و تالاب ۱۰٪ افزایش یافته‌اند و از طرف دیگر جنگل ۲۲٪ کاهش، زمین‌های بایر ۲۰٪ کاهش و درختچه‌زار ۲۰٪ کاهش داشته‌اند. با توجه به خشکسالی‌های متعدد در کشور انتظار کاهش مساحت-های مناطق تالابی و پهنه‌های آبی را داشتیم اما بارش‌های سال-های اخیر و بروز سیلاب در جنوب کشور به خصوص در سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ (سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ شمسی) شاهد آبیگری تالاب‌ها و مخازن سدها هستیم. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود مساحت تالاب هورالعظیم در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۱۹۹۰ افزایش داشته است. افزایش جمعیت در ۳۰ سال گذشته می‌تواند یکی از دلایل احتمالی افزایش مساحت مناطق شهری باشد و نیز دلیل افزایش نیاز به محصولات کشاورزی می‌باشد، در پی این افزایش نیاز، شاهد افزایش سدسازی در منطقه و به تبع آن افزایش مساحت پهنه‌های آبی و افزایش زمین‌های کشاورزی

آبیاری هستیم که باعث شده است زمین‌های بایر در جنوب حوضه تبدیل به کشاورزی آبیاری شوند. از طرف دیگر سیاست‌های دولت به منظور خودکفایی در محصولات کشاورزی به خصوص گندم، باعث رو آوردن کشاورزان به افزایش سطح زیرکشت و تبدیل مناطق مرتعی به کشاورزی دیم شده است. عدم توجه به مناطق جنگلی و درختچه‌زارها و از طرف دیگر خشکسالی‌های بلند مدت در منطقه باعث شده است که این اراضی به شدت کاهش یافته و آسیب‌پذیر شوند. بنابراین نیاز است که رویکرد مدیران در جهت حفاظت از این منابع طبیعی باشد. همچنین گسترش کشاورزی آبی در مناطق بایر و تبدیل زمین‌های بی‌استفاده به منبع درآمدی برای مردم منطقه موجب استفاده بیش‌از حد از آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است که این امر فشار زیادی بر محیط‌زیست تحمیل می‌کند که می‌تواند در بلندمدت آسیب‌های جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی وارد کند. از طرف دیگر گسترش مناطق شهری موجب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی مرغوب در اطراف شهرها شده است که این امر باعث روی آوردن کشاورزان به گسترش زمین‌های کشاورزی در مناطق مرتعی و از بین رفتن مراتع شده است. به همین دلیل نیاز است که سیاست‌گذاری‌ها در جهت کنترل سطح زیرکشت کشاورزان صورت بگیرد تا بتوان از منابع طبیعی محافظت کرد. همانطور که در جدول (۳) و شکل (۵) مشخص است، مناطق شهری به شدت افزایش داشته‌اند. افزایش مناطق شهری می‌تواند باعث ایجاد تغییر در میزان رواناب-ها و سیلاب‌ها شوند و بروز غیرمنتظره سیلاب‌ها و ایجاد خسارات جانی و مالی را در پی خواهند داشت.

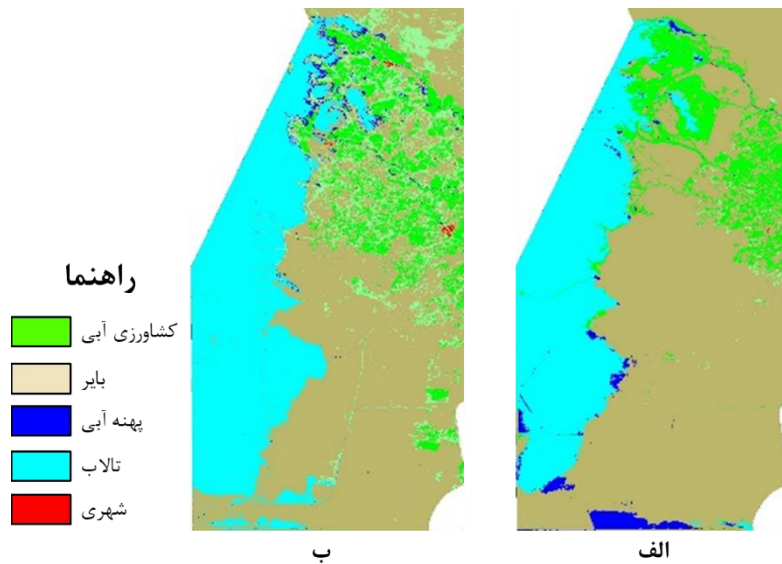
باید توجه داشت که کاهش ۲۲٪ جنگل‌ها و کاهش ۲۰٪ درختچه‌زار به معنی از بین رفتن کامل جنگل‌ها و درختچه‌زار نیست بلکه قسمت زیادی از این کاهش مربوط به انتقال کلاس جنگل به درختچه‌زار و انتقال کلاس درختچه‌زار به مرتع می‌باشد. در واقع مجموع کلاس‌های جنگل، درختچه‌زار و مرتع از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ فقط ۱۳٪ کاهش داشته است. مقدار مساحت هر کلاس به همراه درصد هر کلاس در منطقه به صورت جدولی در زیر آورده شده است (جدول ۳).

ارزیابی دقت

ارزیابی دقت یک جزء مهم از مراحل تولید نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور است. دقت کلی، دقت تولیدکننده (یا خطاهای حذف)، دقت کاربر (یا خطاهای کمسیون^۲) و ضریب کاپا با استفاده از ماتریس خطا با مجموعه داده‌های اعتبارسنجی مستقل ارزیابی شد. در سال ۱۹۹۰ مجموع

شهری می‌باشد و این موضوع به دلیل پیچیدگی طیفی محیط‌های شهری و مشکلات در نمونه برداری از تصاویر ۳۰ سال پیش و سختی تفکیک پیکسل‌های شهری از زمین‌های بایر داخل و اطراف شهرها می‌باشد. در سال ۲۰۲۰ کمترین دقت کاربر برای کلاس درختچه‌زار می‌باشد که کاهش تراکم درختچه‌زارها در سال ۲۰۲۰ می‌تواند یکی از عواملی باشد که برخی از پیکسل‌های این مناطق در کلاس مرتع طبقه‌بندی شوند. مابقی کلاس‌ها از دقت بالایی برخوردار می‌باشند که این نشانه موثر بودن روش طبقه‌بندی سین-مبنا و شاخص‌های استفاده شده در این مطالعه می‌باشد.

تعداد نقاط اعتبارسنجی شامل ۱۳۱۴ عدد و در سال ۲۰۲۰ شامل ۱۱۲۳ عدد می‌باشد. نقشه‌ی کاربری اراضی در سال ۱۹۹۰ با دقت کلی ۰/۹۶٪ و ضریب کاپای ۰/۹۵٪ به دست آمد و نیز این دقت‌ها برای نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ به ترتیب مقدار ۰/۹۴٪ و ۰/۹۳٪ به دست آمد که این دقت برای نقشه‌های کاربری اراضی تولید شده توسط داده‌های سنجنده از دور، دقتی قابل قبول می‌باشد. با توجه به جدول (۴) مشخص می‌شود که کمترین دقت تولید کننده در هر دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ مربوط به کلاس مرتع می‌باشد. در کلاس مرتع، تنوع پوشش گیاهی و تغییرات متفاوت سری زمانی NDVI آن‌ها در منطقه می‌تواند یکی از عوامل کاهش دقت تولید کننده باشد. در سال ۱۹۹۰ کمترین دقت کاربر مربوط به کلاس



شکل ۶- مساحت تالاب هورالعظیم در سال‌های الف) ۱۹۹۰ و ب) ۲۰۲۰

جدول ۳- مساحت و درصد کاربری اراضی در منطقه در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

کلاس	مساحت (Km ²)	درصد	مساحت (Km ²)	درصد
جنگل	۷۴۶	۱/۴۵	۵۸۰	۱/۱۲
مرتع	۲۶۱۹۵	۵۰/۷۸	۲۳۲۱۹	۴۵/۰۱
کشاورزی آبی	۲۷۵۱	۵/۳۳	۶۱۲۴	۱۱/۸۷
کشاورزی دیم	۶۰۲۳	۱۱/۶۸	۸۰۷۹	۱۵/۶۶
باغ	۱۷۶	۰/۳۴	۴۶۳	۰/۹۰
درختچه‌زار	۵۲۱۴	۱۰/۱۱	۴۱۵۴	۸/۰۵
بایر	۹۳۷۵	۱۸/۱۸	۷۴۱۸	۱۴/۳۸
پهنه آبی	۱۱۸	۰/۲۳	۲۹۵	۰/۵۷
تالاب	۸۰۷	۱/۵۶	۸۹۳	۱/۷۳
شهری	۱۴۸	۰/۲۹	۳۱۵	۰/۶۱
پوشش گیاهی ساحلی	۳۰	۰/۰۶	۴۱	۰/۰۸

جدول ۴- دقت تولیدکننده و دقت کاربر به تفکیک هر کلاس در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰

کلاس	۱۹۹۰		۲۰۲۰	
	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر
جنگل	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۲
مرتع	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۸۳	۰/۹۲
کشاورزی آبی	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۵
کشاورزی دیم	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۹۵
باغ	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۶
درختچه‌زار	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۵
بایر	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۳
پهنه آبی	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۰/۹۷
تالاب	۰/۹۷	۰/۹۷	۱	۰/۹۷
شهری	۱	۰/۹۰	۱	۰/۹۶
پوشش گیاهی ساحلی	۱	۰/۹۳	۱	۱
	دقت کل	کاپا	دقت کل	کاپا
	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳

نتیجه‌گیری

حوضه آبریز کرخه به دلیل وجود سومین رودخانه بزرگ ایران و احداث یکی از بزرگ‌ترین سدهای خاکی ایران و خاور میانه بر روی این رودخانه و به تبع آن توسعه چشم‌گیر کشاورزی از اهمیت بسیاری در مطالعات کاربری اراضی و منابع آبی برخوردار است. در تحقیق حاضر، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی در پلتفرم گوگل ارث انجین، تغییرات کاربری اراضی حوضه کرخه در طول ۳۰ سال استخراج و بررسی شده است. در این بررسی، تغییرات ۱۱ کلاس جنگل، درختچه‌زار، مرتع، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، باغ، زمین بایر، پهنه آبی، تالاب، شهری و پوشش گیاهی ساحلی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از روش سین-مبنا، از اکثر تصاویر موجود در یک سین برای طبقه‌بندی تصاویر لندست و همچنین بیشترین، کمترین، میانگین و سری زمانی شاخص‌های NDVI، NDWI و MNDBI استفاده شد که موجب

دستیابی به نتایج دقیق‌تری شده است. این روش با وجود وقت-گیر بودن (به دلیل طبقه‌بندی جداگانه برای هر سین) از دقت بسیار بالایی در تفکیک کلاس‌ها از همدیگر برخوردار است. نتایج کلی این تحقیق نشان دهنده‌ی افزایش مناطق شهری، پهنه‌های آبی، باغ، حاشیه رودخانه‌ها، کشاورزی آبی، تالاب و کشاورزی دیم، و کاهش جنگل، زمین‌های بایر و درختچه‌زار می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند کمک شایانی برای مدیران در جهت شناسایی مناطق مرتعی که مستعد تغییر کاربری در حوضه رودخانه کرخه هستند، باشد و نیاز است بعد از شناسایی این مناطق، رویکردی جهت حفظ این منابع صورت بگیرد. همچنین این پژوهش می‌تواند برای مطالعات آبی در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی کاربری اراضی و برآورد پتانسیل تغییرات کاربری‌ها در منطقه، زمینه مساعدی را فراهم نماید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCE

- Basukala, A. K., Oldenburg, C., Schellberg, J., Sultanov, M., & Dubovyk, O. (2017). Towards improved land use mapping of irrigated croplands: Performance assessment of different image classification algorithms and approaches. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 187-201.
- Becker, W. R., Ló, T. B., Johann, J. A., & Mercante, E. (2021). Statistical features for land use and land cover classification in Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21, 100459.
- El-Tantawi, A. M., Bao, A., Chang, C., & Liu, Y. (2019). Monitoring and predicting land use/cover changes in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang-China (1990–2030). *Environmental monitoring and assessment*, 191(8), 1-18.
- Faridatul, M. I., & Wu, B. (2018). Automatic classification of major urban land covers based on novel spectral indices. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12), 453.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Gumma, M. K., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P. G., Oliphant, A., Xiong, J., Giri, C., ... & Whitbread, A. M. (2020). Agricultural cropland extent and areas of South Asia derived using Landsat satellite

- 30-m time-series big-data using random forest machine learning algorithms on the Google Earth Engine cloud. *GIScience & Remote Sensing*, 57(3), 302-322.
- He, C., Shi, P., Xie, D., & Zhao, Y. (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 213-221.
- Jahanbakhshi, f., Ekhtesasi, M, R., (2019). Performance evaluation of three image classification methods (random forest, support vector machine and the maximum likelihood) in land use mapping. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 22(4):235-247. (In Persian)
- Kaabzadeh, S., Ghodousi, J., Arjmandi, R., & Jaafarzadeh Haghighifard, N. (2021). The effects of constructing and exploiting Karkheh Storage Dam on the land uses and quality of regional water. *Journal of Environmental Science and Technology* (In Persian).
- Kazemi, H., Hashemi, H., Maghsood, F. F., Hosseini, S. H., Sarukkalige, R., Jamali, S., & Berndtsson, R. (2021). Climate vs. Human Impact: Quantitative and Qualitative Assessment of Streamflow Variation. *Water*, 13(17), 2404.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1), 205-241.
- Li, E., Du, P., Samat, A., Xia, J., & Che, M. (2015). An automatic approach for urban land-cover classification from Landsat-8 OLI data. *International Journal of Remote Sensing*, 36(24), 5983-6007.
- Mallupattu, P. K., & Sreenivasula Reddy, J. R. (2013). Analysis of land use/land cover changes using remote sensing data and GIS at an Urban Area, Tirupati, India. *The Scientific World Journal*, 2013.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- Oliphant, A. J., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P., Xiong, J., Congalton, R. G., Yadav, K., ... & Smith, C. (2017). NASA Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSUREs) Global Food Security-support Analysis Data (GFSAD) Cropland Extent 2015 Southeast Asia 30 m V001.
- Oliphant, A. J., Thenkabail, P. S., Teluguntla, P., Xiong, J., Gumma, M. K., Congalton, R. G., & Yadav, K. (2019). Mapping cropland extent of Southeast and Northeast Asia using multi-year time-series Landsat 30-m data using a random forest classifier on the Google Earth Engine Cloud. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 81, 110-124.
- Salajegheh, A., Razavizadeh, S., Khorasani, N., Hamidifar, M., Salajegheh, S. (2011). Land use changes and its effects on water quality (Case study: Karkheh watershed). *Journal of environmental studies* 37(58):81-86. (In Persian)
- Shanani, H S M., Zarei, H. (2016). Investigation of land use changes during the past two last decades (Case Study: Abolabas Basin). *Journal of Watershed Management Research*, 14(7):237-244. (In Persian)
- 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.
- Sundarakumar, K., Harika, M., Begum, S. A., Yamini, S., & Balakrishna, K. (2012). Land use and land cover change detection and urban sprawl analysis of Vijayawada city using multitemporal landsat data. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(01), 170-178.
- Talebi, A., Goodarzi, S., Pourghsemi, H. (2018). Investigation of the possibility of landslide hazard mapping using the Random Forest algorithm (Case study: Sardarabad Watershed, Lorestan Province). *Journal of Natural Environment Hazards* 7(16):45-64. (In Persian)
- Wagner, P. D., Bhallamudi, S. M., Narasimhan, B., Kumar, S., Fohrer, N., & Fiener, P. (2019). Comparing the effects of dynamic versus static representations of land use change in hydrologic impact assessments. *Environmental Modelling & Software*, 122, 103987.
- Watershed management plan of Karkheh dam basin (1999) A model for managing water and soil resources in the vast and fertile area of the Zagros. Karkheh Dam Watershed Management Plan Office, Jihad Watershed Management Documentation Center Library (In Persian).
- Yan, H., Liu, J., Huang, H. Q., Tao, B., & Cao, M. (2009). Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. *Global and planetary change*, 67(1-2), 13-19.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 24(3), 583-594.
- Zhang, Y., Zhang, H., & Lin, H. (2014). Improving the impervious surface estimation with combined use of optical and SAR remote sensing images. *Remote Sensing of Environment*, 141, 155-167.