



سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال دوازدهم / شماره سوم) پاییز ۱۴۰۰

نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیولیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت: <http://girs.iaubushehr.ac.ir>



کارایی سامانه گوگل ارث انجین (GEE) در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پیش بینی آن با مدل مارکوف (مطالعه موردی دشت ارومیه)

مقاله پژوهشی

ناصر سلطانی، وحید محمدنژاد

دریافت: ۳ دی ۱۳۹۹ / پذیرش: ۳ بهمن ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۱ مهر ۱۴۰۰

چکیده

متفاوتی حاصل می‌شود. سامانه گوگل ارث انجین (GEE)، سیستمی مبتنی بر وب و محاسبات ابری است که توسط شرکت گوگل و به منظور ذخیره‌سازی و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها در مقیاس پتابایت (از جمله تصاویر مختلف ماهواره‌ای، مدل‌های رقمی ارتفاعی، داده‌های اقلیمی، داده‌های وکتوری)، راه‌اندازی شده است. سرعت در پردازش و دسترسی به داده‌های متنوع از مسائل و مشکلات مطالعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است. این مشکلات به لطف سامانه گوگل ارث انجین، برطرف شده است. هدف مقاله حاضر طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش یادگیری ماشین بردار در دو دوره ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ و تهیه نقشه کاربری اراضی این دو دوره در محیط سامانه گوگل ارث انجین است.

مواد و روش‌ها در پژوهش حاضر شهر ارومیه به همراه نواحی اطراف آن (دشت ارومیه)، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و مطالعه تغییرات آن، تصاویر مربوط به سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ برای سال ۲۰۰۰ و سنجنده OLI لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۰ استفاده شده است. از تصاویر مربوط به ماه جون، زمانی که پوشش گیاهی به حداکثر رشد رویشی رسیده است، استفاده گردید. روش‌های مختلفی برای پایش و اندازه‌گیری تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی توسعه پیدا کرده است. در مقاله حاضر کارایی سامانه گوگل ارث انجین به منظور گردآوری، مدیریت و پردازش داده‌های سنجش از دور مورد ارزیابی قرار گرفته است تا بتوان سرعت و دقت این سامانه را اثبات و

پیشینه و هدف کاربری اراضی منعکس‌کننده ویژگی‌های تعاملی بین انسان و محیط‌زیست و تشریح نحوه بهره‌برداری انسان برای یک یا چند هدف بر روی زمین است. کاربری اراضی، معمولاً بر اساس استفاده انسان از زمین، با تأکید بر نقش کاربردی زمین در فعالیت‌های اقتصادی تعریف می‌شود. نقشه کاربری اراضی یکی از فاکتورهای اساسی در مطالعات منابع طبیعی و مدیریت محیط‌زیست است. اطلاع از تغییرات کاربری اراضی و بررسی علل و عوامل آن‌ها در یک دوره زمانی می‌تواند مورد توجه برنامه ریزان و مدیران باشد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرارپذیری، دسترسی آسان، دقت بالای اطلاعات به دست آمده و سرعت بالای تجزیه و تحلیل ابزار مناسبی برای تهیه نقشه کاربری اراضی مخصوصاً در مناطق جغرافیایی وسیع است. یکی از روش‌های پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی است که به کاربران امکان تولید اطلاعات مختلف را می‌دهد. برای تفکیک پدیده‌های موضوعی و استخراج دقیق‌تر اطلاعات، با توجه به نوع روش طبقه‌بندی، منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های نقاط تعلیمی نتایج

ناصر سلطانی^۱، وحید محمدنژاد^۱ (✉)

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: v.mohammadnejad@urmia.ac.ir
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>

مشهود است. بیشترین تغییرات مربوط است به کاربری باغات با روند مثبت که طی آن بسیاری از زمین‌های کشاورزی آبی تبدیل به اراضی باغی شده‌اند. همین تغییرات سبب شده تا میزان تولید محصولات باغی شهرستان ارومیه افزایش یافته و به یکی از قطب‌های تولید محصولات باغی به‌ویژه سیب تبدیل بشود. از طرف دیگر مساحت زمین‌های انسان‌ساخت تقریباً دو برابر شده است که این امر معمولاً در سایر نقاط کشور نیز اتفاق می‌افتد و امری عادی است. معمولاً با افزایش جمعیت شهرها و همچنین روستاها و نیاز به احداث ساختمان‌های جدید و امکانات زیرساختی مثل کارخانه‌ها، زمین‌های ورزشی، جاده‌ها، فضاهای سرگرمی و غیره، کاربری‌های انسان‌ساخت افزایش پیدا کرده است. طبق نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از CA-Markov در نرم‌افزار ادریسی، بیشترین رشد مربوط به کاربری کشاورزی دیم است. پیش‌بینی می‌شود طی این دوره مساحت زمین‌های دیم به ۷۳/۴۰ کیلومترمربع برسد. زمین‌ساخته شده به ۹۰/۹ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. درحالی‌که مقدار آن در سال ۲۰۲۰، ۷۶/۳۸ کیلومترمربع بوده است. از طرف دیگر مساحت باغات از ۳۱/۶۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ به ۷۲/۱۵ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. زمین‌های کشاورزی آبی نیز با روند افزایشی به ۲۷/۳۸ کیلومترمربع خواهد رسید.

نتیجه‌گیری بررسی‌ها نشانگر آن است که رشد اراضی ساخته‌شده در شهر ارومیه و پیرامون آن، متناسب و همسو با سایر کاربری‌ها نیست و این مسئله منجر به پیشی گرفتن رشد مساحت کاربری اراضی ساخته‌شده نسبت به سایر کاربری‌ها شده است و این مسئله باعث ایجاد پدیده گسترده‌تری در شهر ارومیه شده است. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که بررسی و مطالعه کاربری اراضی با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای، صرفه‌جویی در زمان و هزینه است و همان‌طور که در مقاله اشاره شده است، کاربری‌های مختلف برای سال‌ها ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین تهیه و تغییرات آن‌ها مشخص شد.

واژه‌های کلیدی: گوگل ارث انجین، طبقه‌بندی، کاربری اراضی، ارومیه

معرفی کرد. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine)، استفاده شده است. تفاوت عمده این مقاله با سایر پژوهش‌ها این است که مدیریت و پردازش تصاویر در سامانه گوگل ارث انجین صورت گرفته است که این امر سبب می‌شود تا محقق نیازی به نرم‌افزارهای پرهزینه و سنگین مانند ENVI نداشته باشد و تنها با دسترسی به اینترنت بتواند پردازش‌های موردنظر را انجام دهد. با توسعه کد مربوط به طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، اقدام به طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ شد. شش کلاس کاربری شامل زمین‌های بایر، اراضی انسان‌ساخت، باغات، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم و پهنه‌های آبی مشخص گردید. پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نتایج کار در گوگل درایو ذخیره و برای تحلیل‌های بعدی آماده شد. نتایج طبقه‌بندی وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS شد و صحت طبقه‌بندی با استفاده از نقاط کنترلی به‌دست‌آمده از تصاویر گوگل ارث و همچنین داده‌های مربوط به طرح آمایش سرزمین استان آذربایجان غربی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مقاله حاضر علاوه بر تهیه نقشه کاربری اراضی در سامانه گوگل ارث انجین، به پیش‌بینی و مدل‌سازی کاربری‌ها برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از تخمینگر انتقال مارکوف استفاده شد.

نتایج و بحث پس از فراخوانی و اعمال طبقه‌بندی در محیط گوگل ارث انجین با استفاده از روش SVM، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ تهیه شد. نقشه‌های تهیه‌شده شامل کاربری‌های اراضی ساخته‌شده، پهنه‌های آبی، باغات، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم و زمین‌های بایر است. مقایسه کاربری‌های مختلف بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که تغییرات گسترده‌ای در آن‌ها رخ داده است. برخی از این تغییرات افزایشی و برخی کاربری‌ها، منفی است. زمین‌های بایر در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰، در حدود ۱۰ کیلومترمربع، اراضی ساخته‌شده (انسان‌ساخت)، ۴۲/۶۲ کیلومترمربع، باغات ۶۷ کیلومترمربع و پهنه‌های آبی ۰/۳۹ کیلومترمربع افزایش مساحت را نشان می‌دهد. در مقابل کشاورزی دیم ۳۹/۴۵ و کشاورزی آبی ۸۰ کیلومترمربع از مساحت خود را از دست داده‌اند. دلیل افزایش باغات را می‌توان در تغییر کاربری‌های کشاورزی آبی به باغی و همچنین توسعه شهری و ایجاد زیرساخت‌های انسانی مختلف دانست که در سال‌های اخیر بسیار

طبیعی را فراهم کند به خصوص استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی می‌تواند به انسان جهت شناسایی پوشش زمین کمک کند (۲۰).

در مهر و موم‌های اخیر به دلیل در دسترس قرار گرفتن تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مناسب، کمک فراوانی به تهیه انواع نقشه‌های موضوعی شده است. وجود این داده‌ها به همراه توسعه روش‌های مختلف استخراج و طبقه‌بندی اراضی مانند یادگیری ماشین (۲۶، ۲۷، ۳۰، ۳۲ و ۳۵)، طبقه‌بندی شیء‌گرا (۵، ۱۴ و ۲۹)، ترکیب‌های باندی (۴، ۱۳، ۱۶ و ۳۱)، تحلیل‌های رگرسیونی (۲۳)، جنگل تصادفی و یادگیری عمیق، موجب شده تا محققان مختلف بتوانند مطالعات مربوط به کاربری اراضی را انجام دهند. روش‌های مطرحه در بالا نیازمند سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری قدرتمندی است که تحلیل‌های پیچیده‌ای را شامل می‌شوند (۵). بنابراین باید به منظور رفع این مشکلات، از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای برخط و روش‌ها و نرم‌افزارهای ساده‌تری برای این منظور استفاده کرد. به طوری که بتوان با سرعت و دقت بالا بدون نیاز به سیستم کامپیوتری قدرتمند و برای یک منطقه وسیع مطالعات را انجام داد (۷).

سامانه گوگل ارث انجین (GEE)، سیستمی مبتنی بر وب و محاسبات ابری است که توسط شرکت گوگل و به منظور ذخیره‌سازی و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها در مقیاس پتابایت (از جمله تصاویر مختلف ماهواره‌ای، مدل‌های رقومی ارتفاعی، داده‌های اقلیمی، داده‌های وکتوری)، راه‌اندازی شده است (۲۲). ویژگی بسیار خوب این سامانه، مجانی بودن آن، عدم نیاز به سخت‌افزار پیشرفته و گران‌قیمت و دسترسی آزاد و آنلاین به پایگاه داده‌های سازمان فضایی اروپا و آمریکا و بسیاری از پایگاه‌های اطلاعاتی دیگر است (۶، ۱۹ و ۲۴). این امر سبب می‌شود تا بدون صرف هزینه و با صرف زمان اندک بتوان به تصاویر مختلف ماهواره‌ای از جمله تصاویر راداری دسترسی داشت. برای مثال در زمینه مطالعات پوشش گیاهی می‌توان توسط این سیستم شاخص تراکم پوشش گیاهی، تاج پوشش گیاهی، میزان فتوسنتز گیاهی و میزان رطوبت موجود

کاربری اراضی منعکس‌کننده ویژگی‌های تعاملی بین انسان و محیط‌زیست و تشریح نحوه بهره‌برداری انسان برای یک یا چند هدف بر روی زمین است. کاربری اراضی، معمولاً بر اساس استفاده انسان از زمین، با تأکید بر نقش کاربردی زمین در فعالیت‌های اقتصادی تعریف می‌شود (۲). تغییر کاربری زمین شامل تغییر نوع کاربری‌ها و تغییر در نحوه پراکنش و الگوهای فضایی فعالیت‌ها و کاربری‌ها است. آشکارسازی تغییرات فرآیندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت‌ها و اختلافات سری زمانی پدیده‌ها، عارضه‌ها و الگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند (۱۵). نقشه کاربری اراضی یکی از فاکتورهای اساسی در مطالعات منابع طبیعی و مدیریت محیط‌زیست است. اطلاع از تغییرات کاربری اراضی و بررسی علل و عوامل آن‌ها در یک دوره زمانی می‌تواند مورد توجه برنامه ریزان و مدیران باشد (۱۱). آشکارسازی به هنگام و دقیق تغییرات عوارض سطح زمین، درک بهتری از روابط و کنش‌های میان انسان و پدیده‌های طبیعی به منظور مدیریت و استفاده مناسب از منابع را فراهم می‌کند (۱). معمولاً، آشکارسازی تغییرات فرآیندی ناشی از تشخیص مناطق تغییر یافته در دو تصویر و دو زمان متفاوت است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرارپذیری، دسترسی آسان، دقت بالای اطلاعات به دست آمده و سرعت بالای تجزیه و تحلیل ابزار مناسبی برای تهیه نقشه کاربری اراضی مخصوصاً در مناطق جغرافیایی وسیع است (۲۵). یکی از روش‌های پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی است که به کاربران امکان تولید اطلاعات مختلف را می‌دهد. برای تفکیک پدیده‌های موضوعی و استخراج دقیق‌تر اطلاعات، با توجه به نوع روش طبقه‌بندی، منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های نقاط تعلیمی نتایج متفاوتی حاصل می‌شود (۱۷). داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان جهت تهیه نقشه کاربری اراضی است. تجزیه و تحلیل این داده‌ها می‌تواند بینش‌های صحیح جهت تعامل انسان با محیط

مساحت عرصه تحقیق ۲۸۵ کیلومترمربع است. ویژگی‌های ارتفاعی و شیب منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر به دست آمد. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۹۶۷ و حداقل آن ۱۲۸۱ متر و متوسط ارتفاع منطقه ۱۳۲۶ متر از سطح دریاست. به لحاظ وضعیت توپوگرافیکی، بخش اعظم منطقه هموار بوده و تنها در بخش‌های غربی آن ناهمواری وجود دارد. از نظر شیب، شیب‌های زیر ۲ درصد با مساحتی برابر با ۱۱۷/۶ کیلومترمربع، بیشترین فراروانی را دارند. در کل شیب‌های زیر ۱۲ درصد که معمولاً برای توسعه مراکز انسانی و کشاورزی مناسب هستند ۲۰۹/۱۶ کیلومترمربع از کل مساحت منطقه را شامل می‌شوند. این امر به همراه وجود رودخانه شهر چای که از وسط منطقه عبور می‌کند، سبب تشکیل خاک‌های غنی شده که خود منجر به توسعه زمین‌های کشاورزی در قالب باغات میوه و کشت آبی شده است. از طرف دیگر دسترسی به آب‌های سطحی و همچنین آب‌های زیرزمینی مناسب سبب توسعه هر چه بیشتر زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی شده است.

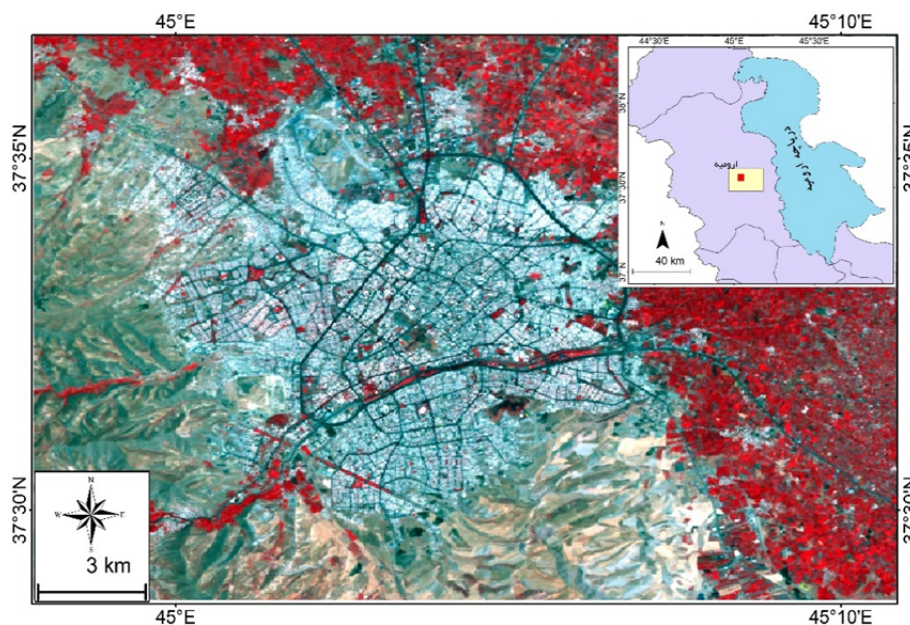
در گیاهان را پایش کرد (۲۱، ۲۶ و ۳۰). تهیه نقشه‌های مربوط به پوشش زمین (۳۲)، و بررسی ویژگی‌های آن‌ها مانند محاسبه دمای سطح زمین (۲۷)، پایش مناطق حفاظت‌شده (۳۳)، پایش منابع آب و مناطق مرطوب (۱۴) نیز در این سیستم قابل انجام هستند. همچنین در زمینه کشاورزی و پایش محصولات کشاورزی (۲۹)، تهیه نقشه فرسایش خاک (۵)، مطالعات مربوط به مخاطرات محیطی مطالعات زیادی با استفاده از سامانه گوگل ارث انجام شده است (۴ و ۳۱).

هدف مقاله حاضر طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش یادگیری ماشین بردار در دو دوره ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ و تهیه نقشه کاربری اراضی این دو دوره در محیط سامانه گوگل ارث انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر شهر ارومیه به همراه نواحی اطراف آن (دشت ارومیه)، مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

Fig. 1. The study area

روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده

به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و مطالعه تغییرات آن، تصاویر مربوط به سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۷ برای سال ۲۰۰۰ و سنجنده OLI لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۰ استفاده شده است (جدول ۱). تصاویر مذکور در محیط سامانه گوگل ارث انجین (GEE)، فراخوانی گردیده و مورد پردازش قرار گرفت. با توجه به این امر نیازی به انجام تصحیحات

اتمسفیری تصاویر نیست. چراکه این سامانه تصاویر تصحیح شده به صورت بازتاب زمینی (Surface reflectance) را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این امر سبب بهبود ویژگی‌های تصویر و استخراج بهتر عوارض از آن‌ها می‌شود (۲۸). در انتخاب زمان تصاویر بازه زمانی یکسان در نظر گرفته شد. یعنی از تصاویر مربوط به ماه جون (June)، زمانی که پوشش گیاهی به حداکثر رشد رویشی رسیده است، استفاده گردید.

جدول ۱. تصاویر مورد استفاده در تحقیق

Table 1. The images used in this research

ماهواره	سنجنده	شماره ردیف و گذر	ترکیب بانندی	قدرت تفکیک مکانی	تاریخ	ایستگاه گیرنده زمینی
لندست ۷	ETM^+	۰۳۴-۱۶۹	۲-۳-۴	۳۰	۱ جون الی ۱ جولای ۲۰۰۰	SGS00
لندست ۸	OLI	۰۳۴-۱۶۹	۳-۴-۵	۳۰	۱ جون الی ۱ جولای ۲۰۲۰	LGN01

روش طبقه‌بندی

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، فرآیند پیچیده‌ای است. مراحل کلی طبقه‌بندی تصویر شامل: انتخاب روش مناسب طبقه‌بندی، پردازش، انتخاب نمونه‌های تعلیمی و پردازش پس از طبقه‌بندی و ارزیابی دقت و صحت نتایج است (۱۰). هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است، تکمیل نیست و برای کسب اطمینان از نسبت صحت نقشه استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای دقت آن باید مورد ارزیابی قرار گیرد. دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده است (۸). نتایج ارزیابی دقت معمولاً به صورت ماتریس خطا ارائه می‌شود. این ماتریس حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است (۹ و ۳۴). روش‌های مختلفی برای پایش و اندازه‌گیری تغییرات پوشش زمین و کاربری اراضی توسعه پیدا کرده است. در مقاله حاضر کارایی سامانه گوگل ارث انجین به منظور گردآوری، مدیریت و پردازش داده‌های

سنجش‌ازدور مورد ارزیابی قرار گرفته است تا بتوان سرعت و دقت این سامانه را اثبات و معرفی کرد. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine)، استفاده شده است.

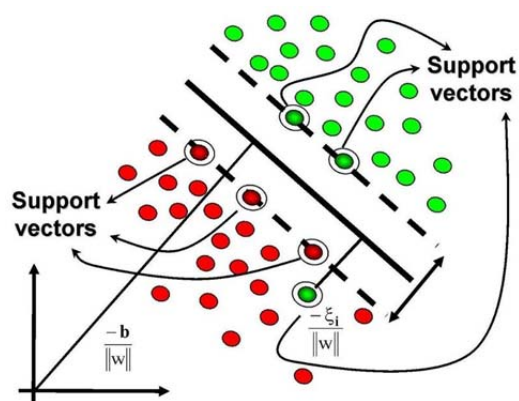
ماشین بردار پشتیبان در واقع یک طبقه‌بندی کننده دودویی است (۱۲) که اولین بار توسط وپنینگ در سال ۱۹۹۸ معرفی شد (۳). این روش طبقه‌بندی یک روش آماری غیر پارامتریک نظارت شده است (۱۸). در این روش با استفاده از همه باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست می‌آیند و با استفاده از آن‌ها یک مرز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جدا کردن کلاس‌ها محاسبه می‌شود. این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان می‌گویند (۱۷). برای محاسبه مرز تصمیم‌گیری دو کلاس کاملاً جدا از هم، از روش حاشیه بهینه استفاده می‌شود. این حاشیه به گونه‌ای محاسبه می‌شود که تمام نمونه‌های کلاس +۱ در یک طرف مرز و تمام نمونه‌های کلاس -۱ در طرف دیگر مرز واقع شوند و مرز

موردمطالعه و برش تصاویر براساس محدوده و مشخص کردن نمونه‌های تعلیمی؛ پ: طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان؛ ت: ارزیابی صحت طبقه‌بندی و ج: خروجی گرفتن از نتایج. در مرحله اول تصاویر ماهواره لندست ۷ و ۸ برای منطقه موردمطالعه فراخوانی شد و سپس با به‌کارگیری فیلتر تاریخ و محدوده موردمطالعه و پوشش ابری کمتر از ۵ درصد، تصاویر نهایی موردنظر انتخاب شد. سپس با اعمال ترکیب بانندی مناسب اقدام به تعریف نمونه‌های تعلیمی گردید (شکل ۳). سپس با توسعه کد مربوط به طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، اقدام به طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ شد. شش کلاس کاربری شامل زمین‌های بایر، اراضی انسان‌ساخت، باغات، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم و پهنه‌های آبی مشخص گردید. پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نتایج کار در گوگل درایو ذخیره و برای تحلیل‌های بعدی آماده شد. نتایج طبقه‌بندی وارد محیط نرم‌افزار ArcGIS شد و صحت طبقه‌بندی با استفاده از نقاط کنترلی به‌دست‌آمده از تصاویر گوگل ارث و همچنین داده‌های مربوط به طرح آمایش سرزمین استان آذربایجان غربی مورد ارزیابی قرار گرفت.

جهت برآورد صحت و دقت تصاویر طبقه‌بندی‌شده، ضرایب کاپا، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و صحت کلی تصاویر محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت. بدین منظور در نرم‌افزار ArcGIS، و بر اساس محدوده موردمطالعه، به‌صورت تصادفی و به‌طور متوسط ۲۵۰ نقطه نمونه ایجاد شد. بدین‌صورت که دو تصویر مستخرج از سامانه GEE، یک‌به‌یک وارد محیط نرم‌افزار GIS شد. نقاط ایجادشده با روش تصادفی، ارزش‌های بین ۱ و ۶ را به خود گرفته و با مقایسه این ارزش‌ها با تصاویر گوگل مپ و داده‌های مربوط به طرح آمایش سرزمین استان آذربایجان غربی، صحت یا عدم صحت نقاط انتخابی ارزیابی شد. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد که تصاویر گوگل مپ منطقه موردمطالعه، مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۰ هستند که این امر بیانگر مناسب بودن تصاویر مرجع انتخابی جهت سنجی نتایج است.

تصمیم‌گیری به‌گونه‌ای است که فاصله نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی هر دو کلاس از هم در راستای عمود بر مرز تصمیم‌گیری تا جایی که ممکن است حداکثر شود. اگر بخواهیم مرز تصمیم‌گیری را به‌طور موازی توسط دو خط از دو طرف گسترش دهیم تا از بین نزدیک‌ترین نمونه‌های دو کلاس بگذرد مرز تصمیم‌گیری بهینه به وجود می‌آید که مرزی است که بیشترین فاصله بین نمونه‌های دو کلاس دارد (شکل ۲).

همان‌طور که قبلاً اشاره‌شده تفاوت عمده این مقاله با سایر پژوهش‌ها این است که مدیریت و پردازش تصاویر در سامانه گوگل ارث انجین صورت گرفته است که این امر سبب می‌شود تا محقق نیازی به نرم‌افزارهای پرهزینه و سنگین مانند ENVI نداشته باشد و تنها با دسترسی به اینترنت بتواند پردازش‌های موردنظر را انجام دهد.



شکل ۲. مفهوم ماشین بردار پشتیبان

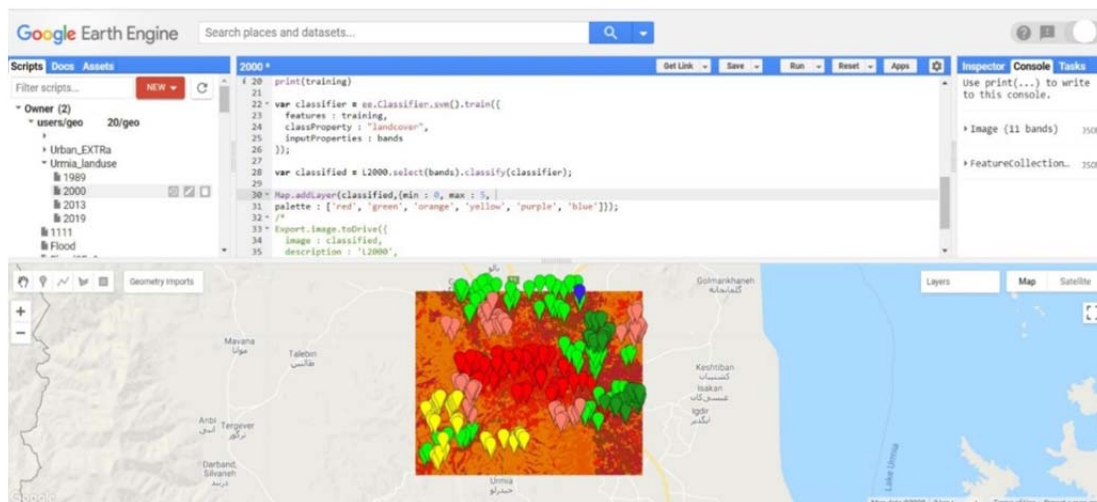
Fig. 2. The concept of Support Vector Machine (SVM)

پردازش تصاویر در گوگل ارث انجین (GEE)

جهت تهیه نقشه‌های کاربری منطقه موردمطالعه برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰، کدهای اسکریپتی در سامانه گوگل ارث انجین توسعه داده شد. بدین منظور هم از کتابخانه اسکریپتی این سامانه و هم از سایر کتابخانه‌ها بهره گرفته شده است. این کدها هم برای سال ۲۰۰۰ و هم برای ۲۰۲۰ ایجاد شد که دارای پنج جزء اصلی هستند. الف: فراخوانی تصاویر سنجنده‌های ETM⁺ و OLI؛ ب: مشخص کردن محدوده

شد. ضریب کاپای میانگین برابر با ۸۵/۹۶۱ درصد است. میانگین صحت کل ۹۲/۳۱ درصد، صحت تولیدکننده ۹۲/۰۲۳ درصد و صحت کاربر برابر با ۹۱/۹۶ درصد است.

در نهایت با تشکیل ماتریس نقاط نمونه برداری شده مقادیر صحت نقشه‌ها به دست آمد. صحت کاربر، صحت تولیدکننده، صحت کل و ضریب کاپا برای دو تصویر طبقه‌بندی شده محاسبه گردید. همچنین میانگین صحت دو تصویر نیز برآورد



شکل ۳. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در گوگل ارث انجین

Fig. 3. Classify satellite images in Google Earth Engine (GEE)

مورد مطالعه، نقشه‌های طبقه‌بندی شده برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰، وارد نرم‌افزار ادیسی و مدل Land Change Model (LCM)، گردید و ابتدا آشکارسازی تغییرات صورت گرفت. در مرحله بعد کاهش، افزایش و تغییر خالص کاربری‌های مختلف و نقشه تغییرات و انتقال کاربری‌های مدل‌سازی شد. زنجیره مارکوف سه خروجی دارد. ماتریس احتمال انتقال که احتمال کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. این ماتریس نتیجه جدول حاصل از تطابق نقشه‌های دو تصویر است که توسط خطای نسبی اصلاح شده است. ماتریس مساحت انتقال یافته که تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک پوشش به نوع دیگر در یک دوره زمانی مشخص را ثبت می‌کند. این ماتریس با ضرب هر ستون از ماتریس احتمال انتقال در تعداد سلول‌های کاربری زمین مربوطه به آن در تصویر دوم ایجاد می‌شود.

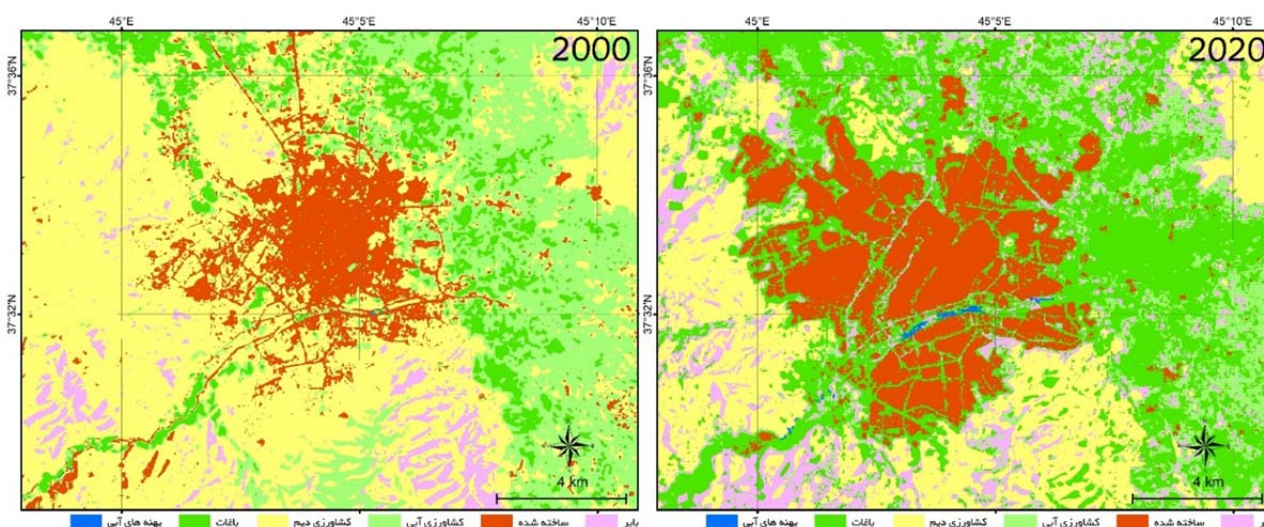
در این مطالعه علاوه بر تهیه نقشه کاربری اراضی در سامانه گوگل ارث انجین، به پیش بینی و مدل‌سازی کاربری‌ها برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از تخمینگر انتقال مارکوف پرداخته شده است. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابزاری ضروری برای تجزیه و تحلیل‌های محیط زیستی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی است. زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی زمین درجایی که توصیف تغییرات و فرآیندهای سیمای سرزمین مشکل باشد ابزاری مناسب است. هر فرآیند مارکوف درجایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به‌طور کلی بر اساس وضعیت ماقبل آن سیستم مدل‌سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری را از یک دوره به دوره دیگر بیان می‌کند و از آن به‌عنوان یک پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد. به‌منظور مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه

نتایج و بحث

پس از فراخوانی و اعمال طبقه‌بندی در محیط گوگل ارث انجین با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان SVM، نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ تهیه شد (شکل ۴). نقشه‌های تهیه‌شده شامل کاربری‌های اراضی ساخته‌شده، پهنه‌های آبی، باغات، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم و زمین‌های بایر است. مقایسه کاربری‌های مختلف بین سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که تغییرات گسترده‌ای در آن‌ها رخ داده است. برخی از این تغییرات افزایشی و برخی کاربری‌ها، منفی است. زمین‌های بایر در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال ۲۰۰۰، در حدود ۱۰ کیلومترمربع، اراضی ساخته‌شده (انسان‌ساخت)، ۴۲/۶۲ کیلومترمربع، باغات ۶۷ کیلومترمربع و پهنه‌های آبی ۰/۳۹ کیلومترمربع افزایش مساحت را نشان می‌دهد. در مقابل کشاورزی دیم ۳۹/۴۵ و کشاورزی آبی ۸۰ کیلومترمربع از مساحت خود را ازدست‌داده‌اند. دلیل افزایش باغات را می‌توان در تغییر کاربری‌های کشاورزی آبی به باغی و همچنین توسعه شهری و ایجاد زیرساخت‌های انسانی مختلف دانست که در سال‌های اخیر بسیار مشهود است.

مشخصات و مساحت هر یک از کاربری‌ها برای دو بازه زمانی مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده‌شده است. تحلیل جدول مشخص می‌کند که بیشترین تغییرات مربوط است به

کاربری باغات با روند مثبت که طی آن بسیاری از زمین‌های کشاورزی آبی تبدیل به اراضی باغی شده‌اند. همین تغییرات سبب شده تا میزان تولید محصولات باغی شهرستان ارومیه افزایش‌یافته و به یکی از قطب‌های تولید محصولات باغی به‌ویژه سیب تبدیل بشود. از طرف دیگر مساحت زمین‌های انسان‌ساخت تقریباً دو برابر شده است که این امر معمولاً در سایر نقاط کشور نیز اتفاق می‌افتد و امری عادی است. معمولاً با افزایش جمعیت شهرها و همچنین روستاها و نیاز به احداث ساختمان‌های جدید و امکانات زیرساختی مثل کارخانه‌ها، زمین‌های ورزشی، جاده‌ها، فضاهای سرگرمی و غیره، کاربری‌های انسان‌ساخت افزایش پیدا کرده است. بیشترین کاهش کاربری نیز به زمین‌های زراعی آب با ۸۰ کیلومترمربع برمی‌گردد که عمدتاً یا به باغات تبدیل شده‌اند و یا تحت تأثیر توسعه عمرانی قرار گرفته و به کاربری‌های انسان‌ساخت تبدیل شده است. تنها پهنه آبی منطقه مورد مطالعه، رودخانه شهر چای است که مساحت آن در سال ۲۰۲۰ افزایش داشته است. این افزایش عمدتاً به دلیل دخالت انسانی در بستر رودخانه و تعریض آن و همچنین ایجاد بند‌های رسوب‌گیر بسیار کوچک در مسیر آن است. این امر سبب جمع شدن آب در پشت‌بندها و در نتیجه افزایش پهنه‌های آبی شده است.



شکل ۴. نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در محیط گوگل ارث انجین (GEE)

Fig. 4. Classification results of satellite images in Google Earth Engine (GEE)

جدول ۲. مساحت هر یک از کاربری‌ها به کیلومتر مربع

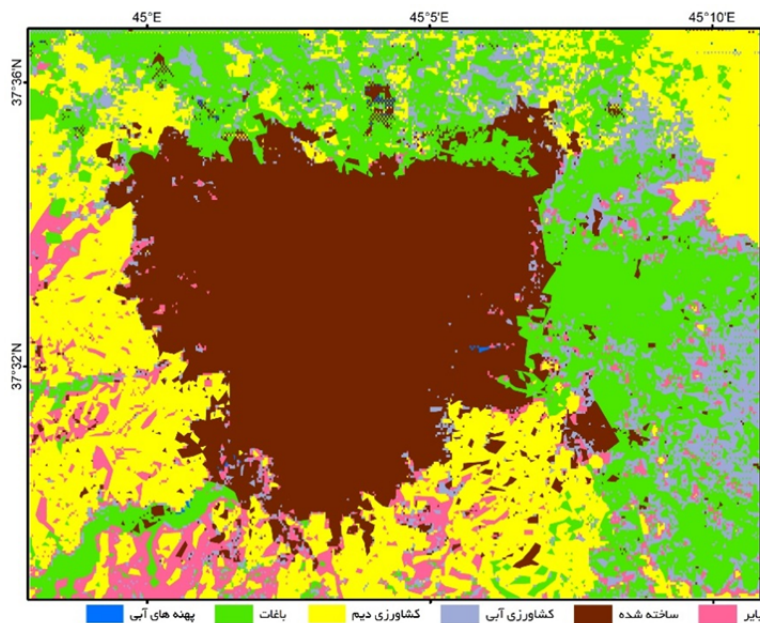
Table 2. Area of each land use in square kilometers

کاربری‌ها	سال ۲۰۲۰		سال ۲۰۰۰		تغییرات
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	
بایر	۲۰/۰۷	۷/۰۶	۳/۴۹	۹/۹۶	+۱۰/۱۱
ساخته شده	۷۶/۳۸	۲۶/۸۹	۱۱/۸۵	۳۳/۷۶	+۴۲/۶۲
کشاورزی دیم	۳۰/۸۶	۱۰/۸۳	۲۴/۶۹	۷۰/۳۱	-۳۹/۴۵
کشاورزی آبی	۶۷/۱۳	۲۳/۶۳	۵۱/۹۴	۱۴۷/۹۱	-۸۰/۷۸
باغات	۸۹/۸۷	۳۱/۶۱	۷/۹۹	۲۲/۷۸	+۶۷/۰۹
پهنه آبی	۰/۴۲	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۳۰	+۰/۳۹
مجموع	۲۸۴	۱۰۰	۲۸۴	۱۰۰	

پیش‌بینی تغییرات برای سال ۲۰۴۰

در این مقاله نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۰۰ با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان در

محیط سامانه گوگل ارث انجین تهیه شد و سپس با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین (LCM)، در نرم‌افزار ادریسی، نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۴۰ تهیه گردید (شکل ۵).



شکل ۵. نقشه کاربری پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۴۰

Fig. 5. The user map forecast for 2040

نقشه پیش‌بینی شده برای سال ۲۰۴۰ با استفاده از CA-Markov در نرم‌افزار ادریسی، نشان می‌دهد که تغییرات زیادی در منطقه مورد مطالعه روی داده است. تحلیل مساحت پهنه‌ها نشان می‌دهد که بیشترین رشد مربوط به کاربری

کشاورزی دیم است. پیش‌بینی می‌شود طی این دوره مساحت زمین‌های دیم به ۷۳/۴۰ کیلومتر مربع برسد. زمین ساخته شده به ۹۰/۹ کیلومتر مربع افزایش خواهد یافت. درحالی‌که مقدار آن در سال ۲۰۲۰، ۷۶/۳۸ کیلومتر مربع بوده است. از طرف دیگر

زمان و سرعت در پردازش بسیار سودمند است. بنابراین نتیجه اینکه سامانه GEE قادر است حجم زیادی از داده‌های سری زمانی (در اینجا تصاویر ماهواره‌ای)، مناطق مختلف جهان را با سرعت بسیار بالا و زمان بسیار اندک پردازش کرده و نتایج را به صورت نقشه‌ها و نمودارهای مختلف ارائه دهد. این یافته‌ها در ارتباط با کارایی سامانه گوگل ارث انجین با نتایج گولدبلت (۶)، که محدودهای شهری را با استفاده از سامانه GEE در هندوستان مشخص کرده بود، پاتل (۱۹)، که نقشه گسترش سکونتگاه‌های انسانی را با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست برآورد کرده و همچنین شلستوی و همکاران (۲۴)، سان و همکاران (۲۷) و وهاپ و شفری (۲۸) که بررسی کارایی سامانه گوگل ارث انجین در پردازش حجم زیادی از داده‌های ماهواره‌ای را بررسی کرده‌اند، مطابقت دارد.

References

1. Afify HA. 2011. Evaluation of change detection techniques for monitoring land-cover changes: A case study in new Burg El-Arab area. *Alexandria Engineering Journal*, 50(2): 187-195. doi:https://doi.org/10.1080/014311698216062.
 2. Asghari S, Mohammadnejad V, Emami H. 2019. Investigation land use change with use of a pixel-based method and object-oriented method and analysis of the effect of land use change on soil erosion (Case study of Maragheh county) *Quantitative Geomorphological Researches*, 29(8): 160-178. (In Persian).
 3. Burges CJ. 1998. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2): 121-167. doi:https://doi.org/10.1023/A:1009715923555.
 4. Civco DL, Hurd JD, Wilson EH, Arnold CL, Prisloe Jr MP. 2002. Quantifying and describing urbanizing landscapes in the Northeast United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(10): 1083-1090. http://worldcat.org/issn/00991112.
 5. Deng C, Wu C. 2012. BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 127: 247-259. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.009.
 6. Goldblatt R, You W, Hanson G, Khandelwal AK. 2016. Detecting the boundaries of urban areas in india: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing of Environment*, 182: 103-115. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.014.
- مساحت باغات از ۳۱/۶۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۰ به ۷۲/۱۵ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. زمین‌های کشاورزی آبی نیز با روند افزایشی به ۲۷/۳۸ کیلومترمربع خواهد رسید. البته این نکته را نباید فراموش کرد که این پیش‌بینی‌ها صرفاً بر اساس تصاویر ماهواره‌ای گذشته و حال است. درحالی‌که عوامل متعددی قادر هستند این روند و پیش‌بینی را دچار اختلال کنند.

نتیجه‌گیری

با افزایش سریع جمعیت شهرنشین، تحولات مربوط به کالبد و فضای شهری، شتاب‌آلود می‌شود و این تحولات منجر به پیدایش پدیده گستردگی و تغییر کاربری و انهدام فضاهای سبز، باغات و اراضی کشاورزی در اطراف شهر می‌گردد. بررسی‌ها نشانگر آن است که رشد اراضی ساخته‌شده در شهر ارومیه و پیرامون آن، متناسب و همسو با سایر کاربری‌ها نیست و این مسئله منجر به پیشی گرفتن رشد مساحت کاربری اراضی ساخته‌شده نسبت به سایر کاربری‌ها شده است و این مسئله باعث ایجاد پدیده گستردگی در شهر ارومیه شده است. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که بررسی و مطالعه کاربری اراضی با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای، صرفه‌جویی در زمان و هزینه است و همان‌طور که در مقاله اشاره شده است، کاربری‌های مختلف برای سال‌ها ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین تهیه و تغییرات آن‌ها مشخص شد. ضریب کاپای میانگین برابر با ۸۵/۹۶۱ درصد است. میانگین صحت کل ۹۲/۳۱ درصد، صحت تولیدکننده ۹۲/۰۲۳ درصد و صحت کاربر برابر با ۹۱/۹۶ درصد است. از دیگر نتایج مهم این مقاله، مشخص شدن کارایی بسیار بالای سامانه GEE در پردازش حجم عظیمی از تصاویر ماهواره‌ای است. استفاده از این سامانه نیاز به هیچ نرم‌افزار تخصصی سنجش‌ازدور نداشته و کاربر به راحتی می‌تواند با استفاده از مرورگر کامپیوتر و حتی گوشی خود داده‌های مختلف را پردازش کند. نکته مهم دیگر این است که در این سامانه نیاز به دانلود تصاویر مختلف نیست بلکه کاربر می‌تواند فقط نتیجه پردازش را دانلود کند. این امر به لحاظ

- Sensing, 8(8): 634.
doi:<https://doi.org/10.3390/rs8080634>.
7. Hansen MC, Loveland TR. 2012. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote sensing of Environment*, 122: 66-74.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>.
 8. Hartter J, Lucas C, Gaughan AE, Aranda LL. 2008. Detecting tropical dry forest succession in a shifting cultivation mosaic of the Yucatán Peninsula, Mexico. *Applied Geography*, 28(2): 134-149.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2007.07.013>.
 9. Herold M, Scepan J, Clarke KC. 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and planning A*, 34(8): 1443-1458.
doi:<https://doi.org/10.1068/a3496>.
 10. Heydariyan P, Rangzan K, Maleki S, Taghizadeh A. 2014. Land use change detection using post classification comparison LandSat satellite images (Case study: land of Tehran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 4(4): 1-10.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_516552_en.html. (In Persian).
 11. Johnson RD, Kasischke E. 1998. Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *International Journal of Remote Sensing*, 19(3): 411-426.
doi:<https://doi.org/10.1080/014311698216062>.
 12. Keshavarz A, Ghasemiyani H. 2005. A fast algorithm based on support vector machine for classification of hyperspectral images using spatial correlation. *Iranian Journal of Electrical Engineering and Computer Engineering*, 3: 44-37. (In Persian).
 13. Li G, Lu D, Moran E, Hetrick S. 2013. Mapping impervious surface area in the Brazilian Amazon using Landsat Imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 50(2): 172-183.
doi:<https://doi.org/10.1080/15481603.2013.780452>.
 14. Liu C, Shao Z, Chen M, Luo H. 2013. MNDISI: a multi-source composition index for impervious surface area estimation at the individual city scale. *Remote Sensing Letters*, 4(8): 803-812.
doi:<https://doi.org/10.1080/2150704X.2013.798710>.
 15. Lu D, Mausel P, Brondizio E, Moran E. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12): 2365-2401.
doi:<https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>.
 16. Lu D, Weng Q. 2004. Spectral mixture analysis of the urban landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(9): 1053-1062.
doi:<https://doi.org/10.14358/PERS.70.9.1053>.
 17. Mokhtari M, Najafi A. 2015. Comparison of support vector machine and neural network classification methods in land use information extraction through Landsat TM data. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 19(72): 35-45.
doi:<https://doi.org/10.1080/014311698216062>. (In Persian).
 18. Mountrakis G, Im J, Ogole C. 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(3): 247-259.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>.
 19. Patel NN, Angiuli E, Gamba P, Gaughan A, Lisini G, Stevens FR, Tatem AJ, Trianni G. 2015. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35: 199-208.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>.
 20. Pourahmad A, Seifodini F, Parnon Z. 2011. Migration and land use change in Islamshahr city. *Arid Regions Geographic Studies*, 2(5): 131-150.
<https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=251656>. (In Persian).
 21. Schneider A, Friedl MA, Potere D. 2010. Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: New methods and datasets based on 'urban ecoregions'. *Remote Sensing of Environment*, 114(8): 1733-1746.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.03.003>.
 22. Seto KC, Fragkias M, Güneralp B, Reilly MK. 2011. A meta-analysis of global urban land expansion. *PloS one*, 6(8): e23777.
doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>.
 23. Shao Y, Li GL, Guenther E, Campbell JB. 2015. Evaluation of topographic correction on subpixel impervious cover mapping with CBERS-2B data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(8): 1675-1679.
doi:<https://doi.org/10.1109/LGRS.2015.2419135>.
 24. Shelestov A, Lavreniuk M, Kussul N, Novikov A, Skakun S. 2017. Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5(7): 1-17.
doi:<https://doi.org/10.3389/feart.2017.00017>.
 25. Soffianian AR, Khodakarami L. 2011. Land Use Mapping Using Fuzzy Classification: Case Study in Three Catchment Areas in Hamedan Province. *Town and Country Planning*, 3(4): 95-114.
https://jtcp.ut.ac.ir/article_23206_23200.html?lang=en. (In Persian).
 26. Sun Z, Guo H, Li X, Lu L, Du X. 2011. Estimating urban impervious surfaces from Landsat-5 TM imagery using multilayer perceptron neural

- network and support vector machine. *Journal of Applied Remote Sensing*, 5(1): 053501. doi:<https://doi.org/10.1117/1.3539767>.
27. Sun Z, Xu R, Du W, Wang L, Lu D. 2019. High-resolution urban land mapping in China from sentinel 1A/2 imagery based on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 11(7): 752. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11070752>.
 28. Wahap N, Shafri HZ. 2020. Utilization of Google Earth Engine (GEE) for land cover monitoring over Klang Valley, Malaysia. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol 1. IOP Publishing, pp 012003. <https://iopscience.iop.org/article/012010.011088/011755-011315/012540/012001/012003/meta>.
 29. Wang Z, Gang C, Li X, Chen Y, Li J. 2015. Application of a normalized difference impervious index (NDII) to extract urban impervious surface features based on Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 36(4): 1055-1069. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1007250>.
 30. Weng Q, Hu X. 2008. Medium spatial resolution satellite imagery for estimating and mapping urban impervious surfaces using LSMA and ANN. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(8): 2397-2406. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.917601>.
 31. Wu C, Murray AT. 2003. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. *Remote sensing of Environment*, 84(4): 493-505. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00136-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00136-0).
 32. Wu M, Zhao X, Sun Z, Guo H. 2019. A hierarchical multiscale super-pixel-based classification method for extracting urban impervious surface using deep residual network from worldview-2 and LiDAR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(1): 210-222. doi:<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.288628>.
 33. Xu H. 2010. Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the normalized difference impervious surface index (NDISI). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(5): 557-565. doi:<https://doi.org/10.14358/PERS.76.5.557>.
 34. Yousef S, Tazeh M, Mirzaee S, Moradi H, Tavangar S. 2011. Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). *Journal of RS and GIS for Natural Resource*, 5(3): 67-76. (In Persian).
 35. Zhang C, Sargent I, Pan X, Li H, Gardiner A, Hare J, Atkinson PM. 2018. An object-based convolutional neural network (OCNN) for urban land use classification. *Remote Sensing of Environment*, 216: 57-70. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.034>.



Original
paper

Efficiency of Google Earth Engine (GEE) system in land use change assessment and predicting it using CA-Markov model (Case study of Urmia plain)

Naser Soltani, Vahid Mohammadnejad

Received: 23 December 2020 / Accepted: 22 January 2021
Available online 23 September 2021

Abstract

Background and Objective Land use reflects the interactive features between humans and the environment and describes how humans are exploited for one or more purposes on earth. Land use is usually defined based on human use of land, with an emphasis on the functional role of land in economic activities. Land use map is one of the main factors in the study of natural resources and environmental management. Knowing the changes in land use and examining their causes and factors in a period of time can be of interest to planners and managers. The use of satellite data is a good tool for land use mapping, especially in large geographical areas, due to the provision of a wide and integrated view of an area, reproducibility, easy access, high accuracy of information obtained, and high-speed analysis. One of the most widely used methods of extracting information from satellite images is image classification, which allows users to generate different information. Google Earth Engine (GEE) is a web, cloud-based system developed by Google to store and analyze large amounts of data at the petabyte scale (including various satellite imagery, digital models, climatic and vector data). Speed in processing and access to diverse data is one of the issues and problems of land use change studies.

N. Soltani¹, V. Mohammadnejad[✉]¹

1. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Urmia, Urmia, Iran

e-mail: v.mohammadnejad@urmia.ac.ir

<http://doi.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.1.2>

The purpose of this paper is to classify satellite images using the support vector machine learning method in the two periods of 2000 and 2020 and to produce a land use map of these two periods in the Google Earth engine system.

Materials and Methods In this paper, Urmia city and its surrounding areas (Urmia plain) have been evaluated. In order to prepare land use maps and study its changes, Landsat 7 ETM⁺ sensor for 2000 and Landsat OLI 8 for 2020 have been used. Images from June were used, when vegetation reached its maximum vegetative growth. Various methods have been developed to monitor and measure land cover and land use changes. In this paper, the efficiency of the Google Earth Engine system for collecting, managing, and processing remote sensing data has been evaluated in order to prove and introduce the speed and accuracy of this system. In order to produce the land use map, the Support Vector Machine classification method has been used. The main difference between this paper and other research is that the management and processing of images have been done in the Google Earth Engine system, which means that the researcher does not need expensive and licensed software such as ENVI and only by access to the Internet can do the processing. By developing the code for image classification using the support vector machine method, the images of 2000 and 2020 were classified. Six land use classes were identified, including barren lands, man-made lands, orchards, irrigated agriculture, rainfed agriculture, and irrigated areas. After classifying images, the results were stored in Google Drive and prepared for further analysis.

The classification results were entered into ArcGIS software and the classification accuracy was evaluated using control points obtained from Google Earth images as well as data related to the land use management plan of West Azerbaijan province. In this paper, in addition to preparing a land use map in the Google Earth Engine system, it was used to forecast and model land uses for 2040 using the CA-Markov transfer estimator.

Results and Discussion After calling and classification of images in the Google Earth engine environment using the SVM method, land use map for 2000 and 2020 was produced. The prepared maps include man-made lands, orchards, irrigated agriculture, rainfed agriculture, and barren lands. A comparison of different land use in 2000 and 2020 shows that extensive changes have taken place in them. Some of these changes are positive and some are negative. The area of barren lands in 2020 compared to 2000 has increased by about 10 square kilometers, man-made lands, 42.62 square kilometers, orchards 67 square kilometers, and water bodies 0.39 square kilometers. In contrast, rainfed agriculture has lost 39.45 and irrigated agriculture has lost 80 square kilometers. The reason for the increase in orchards can be seen in the change of irrigated agricultural uses to orchards, as well as urban development and the creation of various human infrastructures, which is very evident in recent years. Most of the changes are related to the use of orchards with a positive trend during which many irrigated agricultural lands have become garden lands. These changes have increased the production of horticultural products in Urmia and become one of the hubs of horticultural production, especially apples. The area of man-made land has almost doubled, which usually happens in other parts of the country and is normal. Usually, with the increase in the population of cities as well as villages and the need to build new buildings and infrastructure facilities such as factories, sports fields, roads, entertainment spaces, etc., man-made uses have

increased. According to the forecast for 2040 using the CA-Markov method in Idrisi software, the highest growth is related to rainfed agricultural use. It is predicted that during this period, the area of rainfed lands will reach 73.40 square kilometers. The man-made land will increase to 90.9 square kilometers. While its value in 2020 was 76.38 square kilometers. On the other hand, the area of orchards will increase from 31.61 square kilometers in 2020 to 72.15 square kilometers. Irrigated agriculture will increase to 27.38 square kilometers with an increasing trend.

Conclusion Studies show that the growth of man-made lands in Urmia city and its surroundings is not commensurate with other land uses and this has led to the growth of land use area of the man-made lands compared to other uses and this issue has caused the phenomenon of expansion has become in Urmia city. On the other hand, the results show that the study of land use using the time series of satellite images is a time saver and cost, and as mentioned in the paper. different land uses for the years 2000 and 2020, prepared using the Google Earth system, and their changes were identified. Another important result of this paper is the high efficiency of the GEE system in processing large volumes of satellite images. Using this system does not require any specialized remote sensing software and the user can easily process various data using a computer browser or even a smartphone. Another important point is that in this system, there is no need to download different images, but the user can only download the processing result. This is very useful in terms of time and processing speed. The GEE system is able to process large volumes of time series data (here satellite imagery), different regions of the world with very high speed and very low time, and present the results in the form of various maps and graphs.

Keywords: Google Earth Engine, Classification, Landuse, Urmia