



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۲، دوره ۶، شماره ۳، صص ۱۲۳-۱۰۲

طبقه‌بندی و شناسایی تغییرات اراضی ساخته‌شده شهر اردبیل با استفاده از سنجش از دور ماهواره

## لندست

جابر جهانبخش<sup>۱</sup>، توحید ملک زاده دیلمقانی<sup>۲</sup>، الهامه پورقاسمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته سنجش از دور، دانشکده ی فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

۲- استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

### چکیده

کاربری اراضی و بررسی تغییرات آن یکی از اساسی‌ترین نیازهای سازمان‌ها جهت برنامه‌ریزی توسعه شهری و سایر طرح‌های عمرانی نظیر توسعه فضای سبز شهری می‌باشد. در این تحقیق به طبقه‌بندی و شناسایی تغییرات اراضی ساخته شده شهر اردبیل طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۱ به کمک علم سنجش از دور و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا تصویر ماهواره‌ای مورد نظر و محدوده مورد مطالعه در سامانه Google Earth مشخص گردیده سپس با استفاده از آن به تهیه نقشه پوشش شهری پرداخته شد. تصاویر ارائه شده در این مطالعه، از لحاظ اتمسفری، رادیومتریکی و هندسی تصحیح گردیده و آماده اعمال پردازش‌های بعدی شدند. برای این منظور منطقه مورد بررسی به ۵ کاربری مجزا اراضی کشاورزی، اراضی بایر، باغات، مناطق ساخته شده و آب، تفکیک گردید. پس از طبقه‌بندی تصاویر، به منظور ارزیابی دقت آن‌ها از داده‌های برداشت زمینی و ماتریس خطا استفاده شده است که بر اساس آن تصاویر لندست ۸ سال ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ به ترتیب با دقت کلی ۸۲ و ۸۰ همچنین ضریب کاپای ۰/۷۸ و ۰/۷۲ درصد در رتبه‌های اول و دوم از جهت طبقه‌بندی تصاویر قرار گرفته‌اند. نتایج روندیابی تغییرات کاربری‌ها بیانگر سیر صعودی سطح اراضی ساخته شده (۴/۹۶ کیلومتر مربع) و اراضی کشاورزی (۱/۵۴ کیلومتر مربع)، همچنین سیر نزولی مساحت اراضی بایر (۶/۵۸ کیلومتر مربع) و باغات (۰/۲۴ کیلومتر مربع) می‌باشد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت در طی دوره مورد مطالعه، در شهر اردبیل نیز مانند اکثر نقاط کشور طی سال‌های گذشته با توسعه شهرنشینی مواجه بوده است که این امر در نتیجه تبدیل اراضی بایر و باغات به اراضی مسکونی بوده است که در نهایت باعث افزایش مساحت اراضی ساخته شده در طی سال‌های گذشته گردیده است.

کلید واژه‌ها: تصاویر ماهواره‌ای لندست، تغییرات کاربری اراضی، شهر اردبیل.

## مقدمه

کاربری اراضی شامل انواع بهره‌برداری از زمین به منظور رفع نیازهای گوناگون انسان است. نقشه‌های پوشش سطح زمین، نمایی واقعی از پدیده زیستی و فیزیکی موجود مثل پوشش گیاهی، آب، بیابان، یخ، برف و پدیده‌های ایجاد شده توسط انسان است. تغییرات کاربری اراضی نتیجه‌ی تبدیل اراضی طبیعی، مانند جنگل و مرتع، به کاربری‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و بالعکس است. اطلاعات روزآمد و دقیق در مورد پوشش و کاربری اراضی همواره مورد نیاز تصمیم‌گیران و پژوهشگران در تمامی سطوح است. با تحقیق و مشاهدات صحرائی و تفسیر عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس، می‌توان نقشه پوشش و کاربری اراضی را تولید کرد، ولی هر دو روش مذکور وقت‌گیر و هزینه‌بر است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، راه مناسبی برای تهیه نقشه‌ی پوشش اراضی و پایش آن به‌ویژه در مناطق جغرافیایی بزرگ و وسیع است (عبدلی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴). طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی یکی از پرکاربردترین موارد در استفاده از داده‌های سنجش از دور است. در روند تهیه و تدوین برنامه‌های ارزیابی و آمایش سرزمین، تشخیص و درک به موقع و دقیق تغییرات کاربری و پوشش اراضی از فاکتورهای مهم است (نجارکلایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۴). با استفاده از تصاویر سنجش از دور، می‌توان داده‌های متنوع، ارزان تر، به هنگام، باکیفیت بهتر، و البته با تکرار زیاد برای اهداف مختلف به دست آورد. تجزیه و تحلیل این داده‌ها می‌تواند بینش‌های صحیحی برای تعامل انسان با محیط طبیعی فراهم کند. به خصوص استفاده از تجزیه و تحلیل تصاویر چند طیفی می‌تواند به انسان برای شناسایی پوشش زمین کمک کند کاربری زمین یکی از مهم‌ترین عواملی است که انسان از طریق آن محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاربری اراضی بیشتر بر جنبه اجتماعی استفاده از زمین تأکید دارد و به عبارتی خروجی فعالیت‌هایی است که انسان برحسب نیازهای اقتصادی و اجتماعی خود انجام می‌دهد. به دلیل افزایش تغییرات مخرب کاربری اراضی، که عمدتاً به وسیله فعالیت‌های انسانی انجام می‌گیرد، کشف و بارزسازی تغییرات و ارزیابی اثرهای محیط زیستی آن‌ها برای برنامه ریزی و مدیریت آتی منابع ضروری است. با اطلاع از نسبت تغییرات کاربری‌ها در گذر زمان، می‌توان تغییرات آتی را پیش‌بینی کرد و اقدامات مقتضی را انجام داد (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۹: ۴۲۰). در تحقیق پیش رو هدف کشف تغییرات کاربری اراضی در منطقه شهر اردبیل بین سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ می‌باشد. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ استفاده گردیده است.

## پیشینه تحقیق

در چند دهه اخیر مطالعات متعددی در زمینه به کارگیری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای جهت استخراج نقشه‌های کاربری اراضی و بررسی تغییرات ایجاد شده در پوشش زمین انجام گرفته است که به چند مورد از آنها اشاره می‌شود. عبدال-کافی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای لندست طی سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۹، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ تغییرات کاربری و پوشش اراضی دلتای شرقی رود نیل مصر را بررسی نموده‌اند. با مقایسه تصاویر پس از طبقه‌بندی به این نتیجه رسیدند که بیشترین تغییرات در تبدیل زمین‌های بایر به مزارع کشاورزی بوده است. راوات و کومار<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر لندست تغییرات کاربری/پوشش اراضی را در بلوک هاوالباق در هندوستان از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ بررسی نمودند. در این تحقیق از روش بیشترین شباهت جهت طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد و منطقه به پنج کلاس پوشش گیاهی، کشاورزی، بایر، مناطق ساخته شده و سطوح آبی تقسیم گردید. نتایج نشان داد پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده طی این مدت بیست ساله ۳/۵۱ درصد و ۳/۵۵ درصد افزایش و کشاورزی، زمین بایر و سطوح آبی به ترتیب ۱/۵۲ درصد، ۵/۴۶ درصد و ۰/۰۸ درصد کاهش یافته‌اند. مادوراپروما و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های دورسنجی و روش طبقه‌بندی نظارت شده در بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۱ به مطالعه شناسایی تغییرات کاربری اراضی در حوضه پیستن کریک در داکوتای شمالی پرداخته و بیان می‌کردند که داده‌های دورسنجی الگوی تغییرات پوشش زمین را به صورت رقومی درآورده و می‌تواند به عنوان یک ورودی ضروری در سیاست‌های مدیریت اراضی لحاظ شود. آگاتونا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) به منظور پایش کشف تغییرات اراضی منطقه حوضه آبخیز کیتا روم در غرب استان جاوه اندونزی از تصاویر TM 1997، TM 2005 و OLI 2014 ماهواره لندست و روش آشکارسازی پس از طبقه‌بندی استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات در دوره زمانی مورد مطالعه به کاهش اراضی جنگلی و تبدیل شدن آن به اراضی کشاورزی و مسکونی بوده است. حمد و

1. El-Kawy et al

2. Rawat & Kumar

3. Madurapperuma et al

4. Agaton et al

همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با استفاده از مدل CA-Markov در منطقه هالگرود ساکران در شمال شرق اربیل عراق از تصاویر TM 1993، TM 1998، TM 2003، TM 2008 و OLI 2017 ماهواره‌ها لندست استفاده و سپس آشکارسازی تغییرات منطقه را بررسی و تغییرات را سال‌های ۲۰۲۳ پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که منطقه در آینده با رشد اراضی مرتعی و کاهش اراضی جنگلی همراه بوده است. هابتومی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مطالعه‌ای در زمینه‌ی استفاده از زمین در مراتع بورانا انجام دادند. از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۱۹۷۳، ۱۹۸۶ و ۲۰۰۳ برای بررسی تغییرات پوشش در طی زمان استفاده شد. تجزیه و تحلیل تصاویر نشان داد پوشش جنگل مراتع بورانا از ۱۱/۳ درصد در سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۰ افزایش یافته است. با این حال، میزان پوشش علف‌های هرز در طی همان دوره از ۵۸ تا ۳۲ درصد کاهش یافته است. شاخص‌های پوشش گیاهی طبیعی در سال ۲۰۰۳ نسبت به سال ۱۹۷۳ کاهش یافته است. نامبردگان اظهار داشتند که دلایل این تغییرات خشک سالی شدید، افزایش جمعیت، ضعف دولت در سیاست میان محرک‌های اصلی است. تیان و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۰) به بررسی شناسایی سیر و گندم زمستانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فعال و غیرفعال در شمال چین پرداختند. نامبردگان ابتدا، از تصاویر ماهواره‌ای غیرفعال (تصاویر Sentinel-2 و Landsat-8) جهت استخراج محصولات زمستانی (سیر و گندم زمستانی) با دقت بالا استفاده کردند. دوم از تصاویر ماهواره‌ای فعال (تصاویر Sentinel-2) استفاده شد تا سیر را از گندم زمستانه تشخیص دهند. سوم، با جفت کردن دو نتیجه طبقه‌بندی فوق، نقشه‌ای از سیر و گندم زمستانی به دست آمد. برای ارزیابی طبقه‌بندی، دقت کلی ۹۵.۹۷٪، با ضریب کاپا ۰.۹۴ توسط هجده چهار اعتبارسنجی (۳ کیلومتر در ۳ کیلومتر) بود. دقت پیمایش توسط کاربر و تولیدکننده به ترتیب ۹۵.۸۳٪ و ۹۵.۸۵٪ است. برای گندم زمستانه، این دو دقت به ترتیب ۹۷.۲۰٪ و ۹۷.۴۵٪ است. با استفاده از نتایج این مطالعه، اکتشاف عملی شناسایی محصول هدفمند در مناطق کاشت ترکیبی

---

<sup>1</sup> . Hamad et al

<sup>2</sup> . Habtamu et al

<sup>3</sup> . Tian et al

را فراهم می‌شود. مکرونی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی تغییرات کاربری اراضی محدوده تالاب هورالعظیم را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مورد ارزیابی قرار دادند در این تحقیق از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد و نتایج طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۹۱ و ۸۹ درصد به دست آمد همچنین نتایج پایش تغییرات نشان داد که در طول دوره کاربری‌های مسکونی و مرتع بیشتر و اراضی کشاورزی و سطح تالاب کم‌تر شده است. موسوی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به پایش و روندیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه‌ی کویر ابرکوه در بازه زمانی ۳۸ ساله (۲۰۱۴-۱۹۷۶) پرداختند. در این راستا از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنجنده‌های MSS (۱۹۷۶)، TM (۱۹۹۰)، ETM+ (۲۰۰۰ و ۲۰۰۶) و OLI (۲۰۱۴)؛ استفاده شده است. نتایج نشان داد که، سطح منطقه مطالعاتی با تغییرات افزایشی کاربری روبرو بوده، و در مجموع روند کلی تغییرات طبقات افزایشی، صعودی است. بیشترین تغییرات کاربری از نوع مخرب و ویرانگر بوده و از لحاظ فضایی منطبق بر محدوده اطراف مراکز تجمع انسانی مانند شهرهای ابرکوه و مهردشت می‌باشد. نجارکلایی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به مقایسه‌ی دقت طبقه‌بندی سری زمانی تصاویر لندست در پایش تغییرات کاربری اراضی پرداختند. در این زمینه پس از تصحیحات هندسی و اتمسفری، تصاویر سال ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵، تحت سه الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، حداکثر احتمال و حداقل فاصله در پنج کلاس کاربری طبقه‌بندی شدند. نتایج حاصل از ارزیابی صحت روش‌ها، نشان‌دهنده برتری روش حداکثر احتمال در مقایسه با دو روش دیگر در سال ۱۹۸۹ بوده است. همچنین نتایج نشان داد که مناطق انسان ساخت و زراعت آبی به ترتیب ۳۶۱۵ و ۵۷۵ هکتار افزایش داشته‌اند ولی مناطق بایر، باغ و جنگل ۱۷۹۱، ۱۱۲۷ و ۱۲۷۲ هکتار روند رو به کاهشی را داشته‌اند با توجه به نتایج گرفته شده، دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی مناسب بود. ایرج‌پور و اسمعیلی (۱۴۰۰) به برآورد تغییرات مکانی - زمانی تابش خالص دریافتی شهرستان داراب با استفاده از سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. زنده دل (۱۳۹۹) به پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست و مدل مارکوف در شهرستان بابل پرداخت. در این مطالعه ابتدا پیش پردازش و طبقه‌بندی تصاویر در نرم افزار ENVI انجام

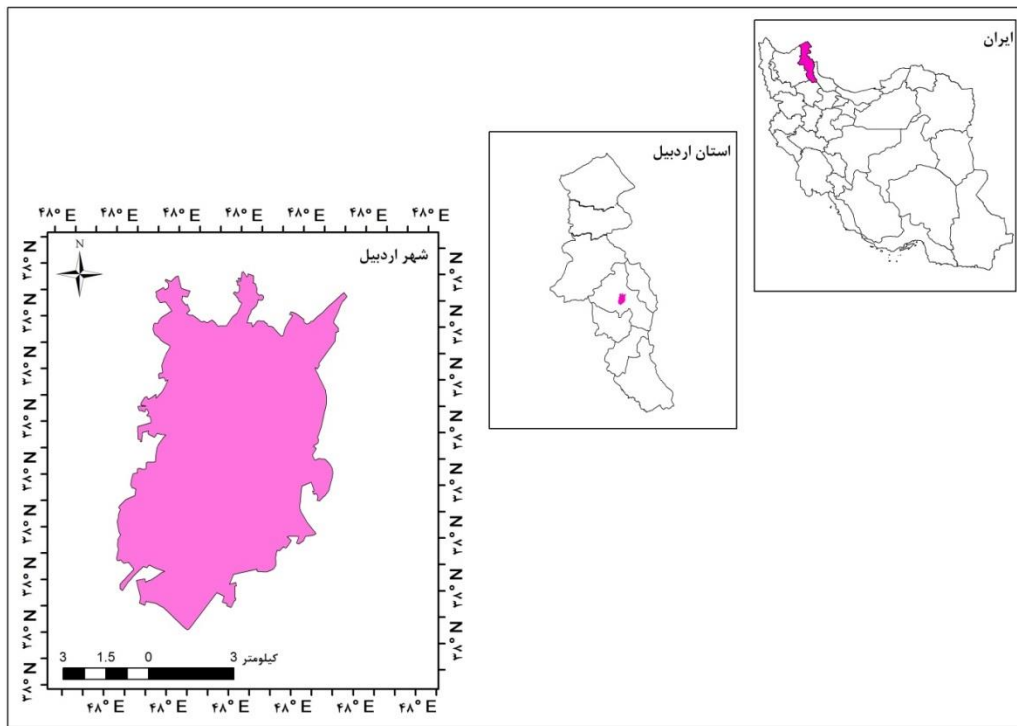
گرفت و در ادامه با استفاده از مدل CA-Markov تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی گردید. نتایج با صحت کلی بیش از ۸۰ درصد نشان داد طی دوره‌ی ۳۲ ساله اراضی پوشش گیاهی و نواحی بایر کاهش و اراضی کشاورزی و نواحی مسکونی رشد داشته است. رشد اراضی مسکونی به دلیل نیاز جمعیت به مصرف مواد غذایی منجر به رشد اراضی کشاورزی شده است به طوریکه طی دوره مورد مطالعه اراضی کشاورزی ۵۵/۱۲۲ کیلومتر مربع رشد داشته و از طرفی اراضی مسکونی نیز طی همین دوره ۲۰ کیلومتر مربع توسعه داشته است. همچنین اراضی پوشش گیاهی و نواحی بایر به ترتیب ۶/۲۹ و ۹۲/۹۲ کیلومتر مربع کاهش یافته اند. همچنین براساس مدل CA-Markov اراضی کشاورزی و مسکونی در سال ۲۰۳۵ نسبت به سال ۲۰۱۹ حدود ۳۱/۳۷ و ۵۴/۱۲ هکتار افزایش خواهند یافت. اما روند تغییرات کاهشی اراضی پوشش گیاهی نسبت به دوره‌ی قبل کمتر خواهد شد و تخریب اراضی پوشش گیاهی به حداقل خواهد رسید. کریمیان و همکاران (۱۳۹۹) به پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست در دشت خان میرزا پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی دقت این دو روش با استفاده از تعیین ضریب کاپا نشان داد الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نسبت به الگوریتم حداکثر احتمال با ضریب از دقت بیشتری برخوردار است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل حاصل از تغییرات نشان داد کاربری‌های کشاورزی و مسکونی روند افزایشی داشته اند؛ به طوری که میزان این افزایش به ترتیب برابر با ۶۲/۵ و ۳/۵ درصد بوده است و از اراضی پست نم دار، مراتع، و اراضی سنگی و لخت کاسته است. همچنین بیشترین تغییر کاربری‌ها مربوط به تبدیل کاربری اراضی سنگی و لخت به کاربری کشاورزی بوده است.

## روش‌شناسی

### منطقه مورد مطالعه

محدوده شهر اردبیل در ناحیه شمال غربی ایران و در محدوده‌ای بین عرض شمالی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده است. ارتفاع متوسط آن ۱۳۶۰ متر از سطح دریاها آزاد می‌باشد. وسعت آن حدود ۶۰ کیلومترمربع بوده و جزئی از حوضه آبخیز قره‌سو به شمار

می‌رود. شهر اردبیل یک دشت میانکوهی است که در بین ارتفاعات مرتفع و بلند اطرافش محصور شده است. در غرب آن توده آتشفشانی سبلان (به ارتفاع ۴۸۳۰ متر)، از سطح دریا است. پایین‌ترین نقطه در محدوده مورد مطالعه، دشت اردبیل می‌باشد که ارتفاع آن حدود ۱۳۱۰ متر از سطح دریا است. در شرق آن رشته کوه تالش (به ارتفاع ۳۳۰۰ متر)، از طرف شمال به ادامه کوه‌های تالش که در اردبیل کوه‌های ارسق نامیده می‌شود و از طرف جنوب به کوه‌های کم ارتفاع که در حقیقت ادامه ارتفاعات بزغوش به شمار می‌روند، محدود می‌گردد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل.

## مواد و روش

### داده‌ها و نرم افزارهای مورد استفاده

برای انجام هر پژوهشی نیاز به داده و اطلاعات است. از آنجا که برای پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، حداقل به دو سری داده از دوره‌های زمانی مختلف مورد نیاز است در این تحقیق از دو تصویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده که در جدول (۱) آورده شده است. داده‌های ماهواره‌ای به فرمت Geo TIFF از

سایت USGS تهیه شدند، با این توضیح که ابتدا تصاویر مورد نیاز از سازمان زمین شناسی آمریکا درخواست و از سایت مربوط دریافت شد.

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده در تحقیق.

ردیف	داده‌ها	توضیحات
۱	سنجنده OLI	ماهواره لندست سری ۸ سال ۲۰۱۳
۲	سنجنده OLI	ماهواره لندست سری ۸ سال ۲۰۲۱

نرم افزار مورد استفاده:

- ✓ نرم افزار تخصصی ENVI 5.3 به منظور پردازش نهایی تصاویر ماهواره‌ای به کار گرفته خواهد شد.
  - ✓ نرم افزار ArcGIS 10.3 جهت تحلیل‌های مکانی و تهیه نقشه‌های پایه‌ای مورد نیاز استفاده خواهد شد.
  - ✓ نرم افزار SAGA GIS جهت طبقه‌بندی و نمونه‌برداری از تصاویر ماهواره‌ای
  - ✓ نرم افزار Excel
- به‌طور کلی روش مورد استفاده در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به سه دسته کلی؛ پیش پردازش، پردازش و پس پردازش تقسیم می‌شوند.

### پیش پردازش

قبل از بکارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی و خطای اتمسفری مورد بررسی قرار گرفت. به منظور آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای تعریف باند، تعریف سنجنده، وارد کردن طول موج‌های مربوط به هر یک از باندهای مربوطه، یکی کردن لایه‌های مورد استفاده با قدرت تفکیک



یکسان جهت طبقه‌بندی تصاویر مربوطه، موزائیک تصاویر مورد استفاده و در نهایت برش تصاویر ماهواره‌ای در قالب منطقه مورد مطالعه انجام گرفت.

## پردازش

### ۱- روش حداکثر احتمال

حداکثر احتمال طبقه بندی حداکثر احتمال رایج ترین فرآیند مورد استفاده برای طبقه بندی تصاویر سنجش از دور است. را به  $\alpha$  الگوریتم طبقه بندی بیشترین احتمال، پیکسل مجهول کلاسی که محتمل ترین کلاس برای آن پیکسل است اختصاص می دهد. این روش فرض را بر آن می گذارد که توزیع داد ههای آموزشی هر کلاس، به صورت نرمال است. روش طبقه بندی به صورت حداکثر احتمال طی سه مرحله زیر صورت می گیرد؛ محاسبه بردار میانگین واریانس و همبستگی برای کلاس ها در نمونه های آموزشی، لحاظ کردن پراکندگی پیکسل های اطراف بردار میانگین از طریق تابع احتمالات. معرفی کل داده ها به رده هایی که حداکثر احتمال عضویت در آن را داشته باشند (نچارکلایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۶).

### ۲- جمع آوری نمونه های آموزشی

انتخاب مجموعه ای از پوشش های زمینی که باید در تصاویر مشخص شوند، که به آنها کلاس اطلاعاتی گفته می - شود. انتخاب نقاط نماینده هر کلاس که نمونه آموزشی نیز نامیده می شوند. تخمین پارامترهای خاص طبقه بندی با استفاده از اطلاعات نمونه های آموزشی تعیین پوشش زمینی، طبقه بندی و برچسب زدن به تمام پیکسل های تصویر، با استفاده از سیستم آموزش داده شده جمع بندی نتایج بصورت جدول یا نقشه های موضوعی. در این مرحله برای هر کلاس تعدادی نقطه آموزشی انتخاب می گردد.

### ۳- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌های

طبقه‌بندی تصاویر به دو روش نظارت شده و نظارت نشده انجام می‌گیرد. در این تحقیق جهت طبقه‌بندی تصاویر از روش نظارت شده استفاده شده است. در این روش تعدادی از پیکسل‌ها بعنوان معرف و نمونه انتخاب می‌شود. الگوریتم‌های طبقه‌بندی موجود در سامانه گوگل ارث انجین با استفاده از این پیکسل‌های معلوم در مورد باقی پیکسل‌های تصویر تصمیم‌گیری می‌کنند. پیکسل‌های معلوم به آن دسته از پیکسل‌هایی گفته می‌شود که متناسب به یک کلاس مشخص در منطقه هستند. بنابراین همیشه قبل از انجام طبقه‌بندی نظارت شده به تعدادی پیکسل معلوم نیاز است. در این تحقیق شش کلاس کاربری اراضی مرتع، آب، کشاورزی، شهر و جنگل و بایر جهت طبقه‌بندی انتخاب خواهد شد.

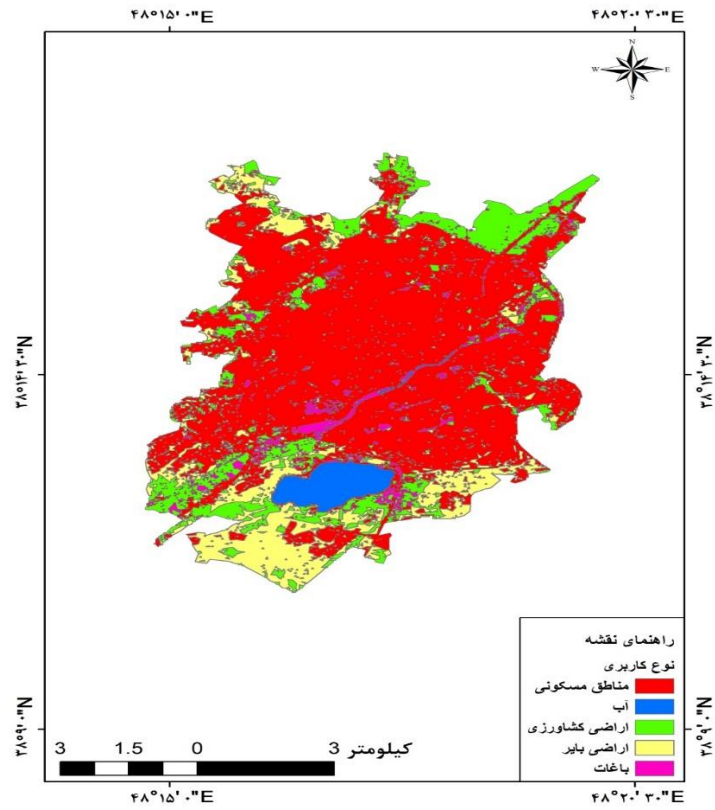
### پس پردازش یا ارزیابی صحت

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از درستی و صحت آن است بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند اقدام به ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده می‌گردد. در پژوهش حایر جهت ارزیابی صحت هر یک از طبقه‌بندی انجام شد از کاربری ارایی منطقه مورد مطالعه برای هر یک از کاربری مورد نظر از طریق نرم‌افزار Google Earth نقاط برداشته شد و در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 یریب کاپا و دقت کلی کاربری‌های استخراج شد تهیه گردید.

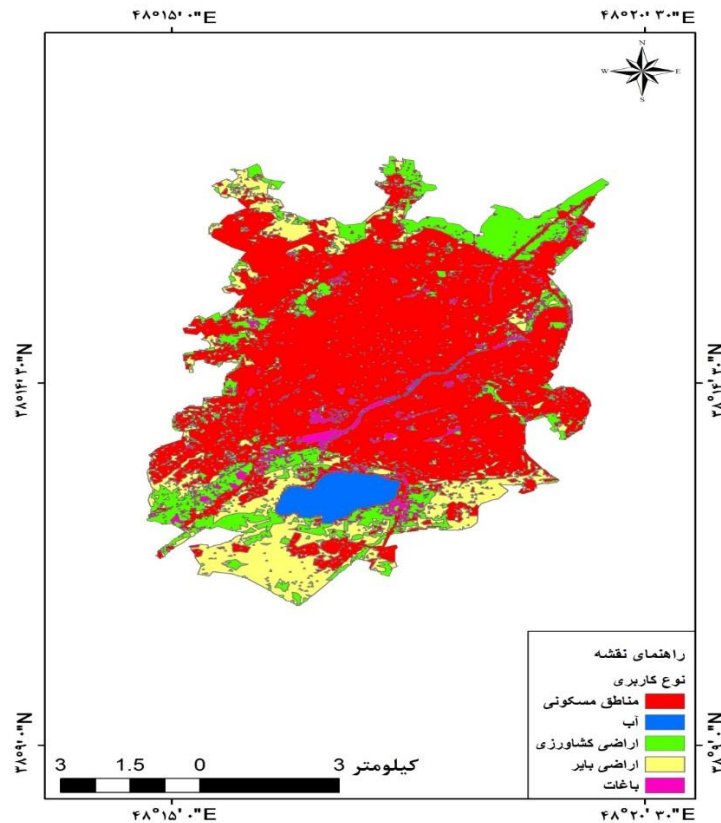
## نتایج و یافته‌ها

### نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

از دخالت‌های مهم بشر در عرصه‌های طبیعی، تغییر کاربری اراضی است. تغییر کاربری هم بر روی اقلیم منطقه و هم بر روی ناپایداری بستر محیط زیست تأثیر می‌گذارد. تأثیر تغییر کاربری گاهی بعد از گذشت زمان مشخص می‌گردد و گاهی هم در مدت زمان کوتاهی باعث تنش‌های محیطی می‌شود. در دهه‌های اخیر، بخش وسیعی از اراضی با قابلیت کاربری جنگلی و مرتعی و حتی باغی و زراعی به اراضی صنعتی، مسکونی و جاده تبدیل شده، و در حال حاضر بجای تولید زیست توده، کوهی از آهن، آجر و سیمان آن را فرا گرفته است، پدیده‌ای که غالباً غیر قابل جبران و برگشت ناپذیر می‌باشد. مدیریت نادرست انسان به عنوان یک عامل مؤثر در تخریب اراضی عموماً در بخش تغییر کاربری زمین نمایان می‌شود. از مهمترین آن می‌توان به مواردی نظیر تغییر کاربری جنگل به کشاورزی و نهایتاً کشاورزی به بایر و لم یزرع اشاره نمود که نمونه بارز کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک اکوسیستم در اثر سوء مدیریت است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳۷). در این تحقیق بعد از اینکه از لحاظ اتمسفری، رادیومتریکی و هندسی تصحیح گردیده و آماده اعمال پردازش‌های بعدی قرار گرفت. بعد از این مراحل جهت اعمال طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای چند مرحله اصلی انجام گرفته است. در ابتدا ۵ کلاس برای طبقه‌بندی انتخاب شده‌اند که عبارتند از: مناطق مسکونی، آب، اراضی کشاورزی، اراضی بایر و باغات (باغ و فضای سبز داخل شهر). در ادامه به جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی و استخراج ویژگی‌های طیفی آن‌ها پرداخته شده است و در نهایت با اعمال الگوریتم طبقه‌بندی Random Forest، تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده‌اند نتایج حاصل از آن در شکل-های (۲ و ۳) آورده شده است که حاکی از نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ میلادی است.



شکل ۲: تصویر طبقه‌بندی شده شهر اردبیل سال ۲۰۱۳ میلادی.



شکل ۳: تصویر طبقه‌بندی شده شهر اردبیل سال ۲۰۲۱ میلادی.

### ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده

یکی از مهم‌ترین مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه تصاویر طبقه‌بندی، ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده می‌باشد. برای این منظور در این تحقیق از ماتریس خطا به منظور ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده بر اساس جدول (۲) استفاده گردیده است و بر اساس آن شاخص‌های دقت کلی و ضریب کاپا استخراج گردیده است. برای اینکه ما در پردازش تصاویر نتایج حاصل از طبقه‌بندی را ارزیابی دقت انجام دهیم از ماتریس خطا استفاده می‌کنیم. در واقع ماتریس خطا دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. ضریب کاپا میزان دقت را بر عکس روش دقت کلی بر اساس تمامی پیکسل‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده اند محاسبه می‌نماید. این فاکتور از اعتبار بالاتری در مقایسه با دقت کلی برای ارزیابی دقت نقشه طبقه‌بندی برخوردار است. در ارزیابی دقت کلی هر چه مقدار دقت کلی بالای ۸۰ درصد باشد بهتر و نتیجه قابل قبول خواهد بود. میزان ضریب کاپا هم بین ۰ و ۱ می‌باشد هر چه مقدار ضریب کاپا به عدد ۱ نزدیک باشد بهتر می‌باشد.

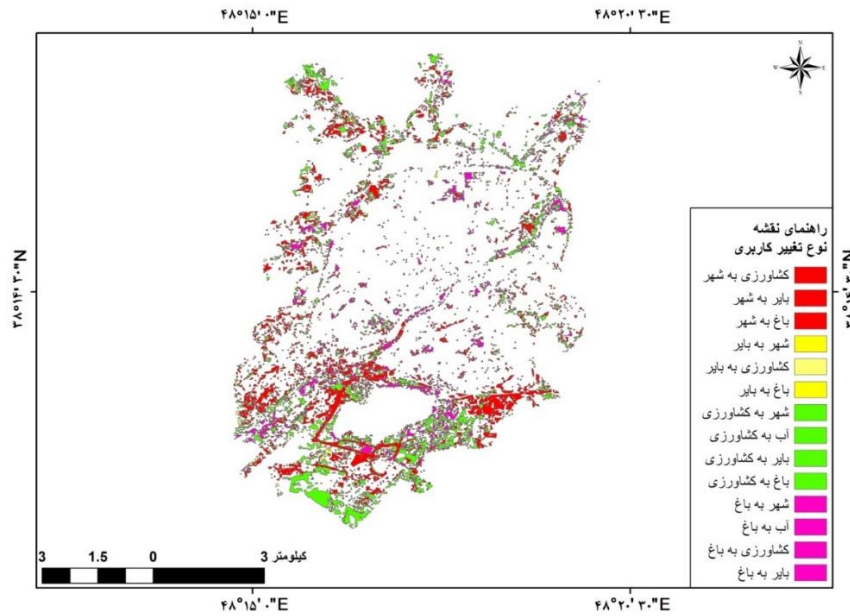
## جدول ۲: ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده

تصویر	دقت کلی به درصد	ضریب کاپا به درصد
لندست ۲۰۱۳	۸۲	۰/۷۸
لندست ۲۰۲۱	۸۰	۰/۷۲

نتایج حاصل از ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده، به صورت جدول (۲) می‌باشد که در آن مقدار ضرایب دقت کی و ضریب کاپا نیز گزارش شده است. مقادیر بالای ضرایب مذکور نشان از دقت قابل قبول جهت تعیین کاربری با استفاده از داده‌های دورسنجی تصاویر لندست می‌باشد. در این میان، بالاترین مقادیر ضریب کاپا و دقت کل مربوط به تصاویر لندست ۸ برای سال ۲۰۱۳ با دقت کلی ۸۲ درصد و ضریب کاپای ۰/۷۸ درصد بعد از آن تصویر طبقه‌بندی شده لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۲۱ با دقت کلی ۸۰ درصد و ضریب کاپای ۰/۷۲ درصد اختصاص دارد. به طور کلی هر دو تصویر دقت مناسبی را در طبقه‌بندی کاربری اراضی ارائه داده‌اند و می‌توان به نقشه‌های به‌دست آمده از آن‌ها به‌عنوان نقشه‌های کاربری اراضی استناد کرد (شکل ۲ و ۳).

## تغییرات کاربری اراضی در طول دوره‌ی مورد مطالعه

شکل (۴) آمار کلی از تغییرات ایجاد شده بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ را ارائه می‌دهد. آن چه که مسلم است افزایش مناطق مسکونی با کاهش زمین بایر و کشاورزی همراه شده است. علاوه بر این کاهش زمین بایر با افزایش نواحی کشاورزی و باغات همراه بوده است. بر اساس ماتریس تغییرات ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ جدول (۳) ۴/۲۶ کیلومتر مربع از باغات به کاربری مسکونی تغییر کاربری یافته‌اند. در ادامه تغییرات جزء به جزء ارائه شده است.



شکل ۴: تغییر کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ میلادی.

جدول ۳: تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ میلادی.

درصد تغییرات	مساحت (کیلومتر مربع)	نوع تغییر کاربری
۱۰/۳۵	۰/۶۴	کشاورزی به شهر
۲۰/۷۱	۱/۲۸	بایر به شهر
۶۸/۹۳	۴/۲۶	باغ به شهر
۷۶/۶۸	۱/۴۸	شهر به باغ
۴/۱۴	۰/۰۸	آب به باغ
۱۹/۱۷	۰/۳۷	کشاورزی به باغ
۰/۱۵	۰/۰۰۳	بایر به باغ
۶۸/۱۸	۰/۳۰	شهر به بایر
۲۹/۵۴	۰/۱۳	کشاورزی به بایر
۲/۲۷	۰/۰۱	باغ به بایر
۲۱/۶۷	۰/۸۸	شهر به کشاورزی
۱۹/۹۵	۰/۸۱	آب به کشاورزی
۵۶/۴۹	۲/۳۵	بایر به کشاورزی
۰/۴۹	۰/۰۲	باغ به کشاورزی

### اراضی تغییر یافته به شهر

همانگونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، ۶۸/۹۳ درصد از کل تبدیلات شهر مربوط به عرصه‌ی باغ می‌باشد. پس از آن بایر و کشاورزی به ترتیب با ۲۰/۷۱ و ۱۰/۳۵ درصد از این تغییرات را به خود اختصاص داده است. در دلایل عمده این امر افزایش شهرنشینی و نرخ جمعیت در دهه‌ی اخیر می‌باشد. طبیعی است با افزایش نرخ جمعیت و شهرنشینی تقاضا برای مسکن و در نهایت تبدیل کاربری به شهر بیشتر خواهد شد.

### اراضی تغییر یافته به باغ

همانگونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، ۷۶/۶۸ درصد از کل تبدیلات باغ مربوط به عرصه‌ی شهر می‌باشد. پس از آن کشاورزی و آب به ترتیب با ۱۹/۱۷ و ۴/۱۴ درصد از این تغییرات را به خود اختصاص داده است. یکی از دلایل این امر توجه امر زیباسازی و فضای سبز شهری می‌باشد. توجه به این باعث گردیده مناطقی از شهر به باغات تبدیل گردد.

### اراضی تغییر یافته به بایر

همانگونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، ۶۸/۱۸ درصد از کل تبدیلات بایر مربوط به عرصه‌ی شهر می‌باشد. پس از آن کشاورزی و باغات به ترتیب با ۲۹/۵۴ و ۲/۲۷ درصد از این تغییرات را به خود اختصاص داده است. یکی از دلایل تبدیل اراضی کشاورزی به بایر را می‌توان به رها نمودن اراضی کشاورزی سال‌های قبل، که بازده و کارایی خود را از دست داده‌اند نسبت داد. تبدیل مناطق شهری هم آن دسته اراضی می‌باشد که قبلاً برای ایجاد شغل توسط دولت احداث گردیده بعدها بلااستفاده رها شده است و به زمین بایر تبدیل شده است.

### اراضی تغییر یافته به کشاورزی

همانگونه که در جدول (۳) ملاحظه می‌شود، ۵۶/۴۹ درصد از کل تبدیلات کشاورزی مربوط به عرصه‌ی بایر می‌باشد. پس از آن شهر و آب به ترتیب با ۲۱/۶۷ و ۱۹/۹۵ درصد از این تغییرات را به خود اختصاص داده است. عمده‌ی این تغییرات مربوط به محدوده‌ی روستاها و اطراف حوضه‌ی مطالعاتی است. از دلایل این امر می‌توان به



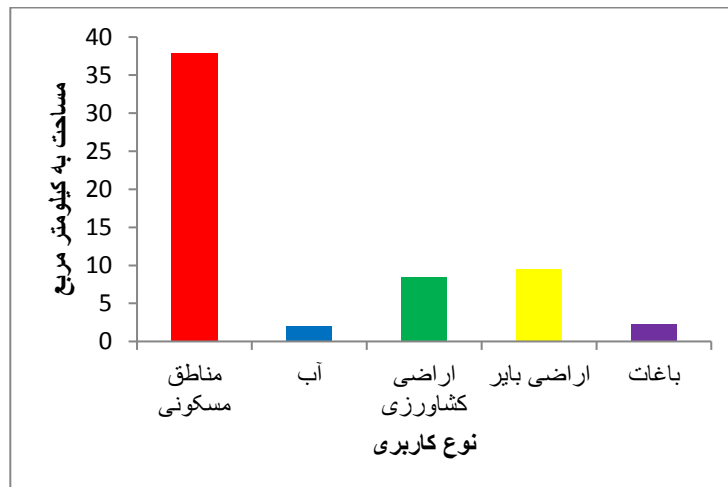
روند افزایشی نرخ جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی می‌باشد. در زمینه تبدیل کاربری آب تغییرات چشم‌گیری نداشتیم به همین دلیل از توضیح آن صرف نظر کردیم.

### تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل

بررسی مساحت طبقات مختلف و تغییرات آن می‌تواند شناخت بهتری نسبت به تغییرات محیطی رخ داده در منطقه به دست دهد. در ادامه با استفاده از جداول (۵ و ۴) و شکل (۵ و ۶) وضعیت تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است.

جدول ۴: مساحت کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳.

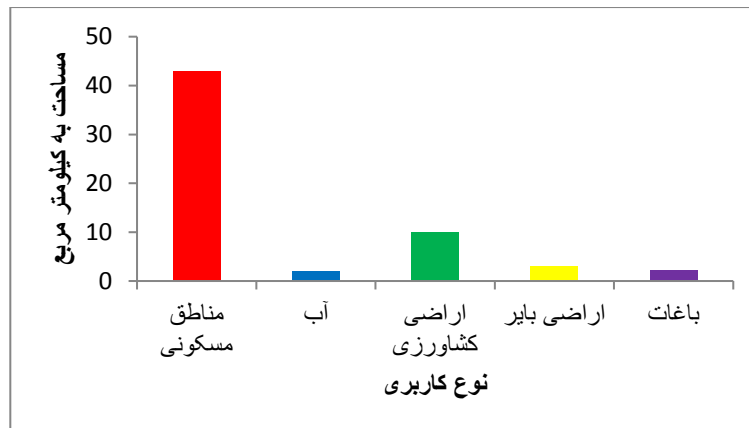
کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)
مناطق مسکونی	۳۷/۸۷
آب	۲
اراضی کشاورزی	۸/۴۰
اراضی بایر	۹/۴۷
باغات	۲/۳۵



شکل ۵: نمودار تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل در سال ۲۰۱۳.

جدول ۵: مساحت کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۲۱.

کلاس	مساحت (کیلومتر مربع)
مناطق مسکونی	۴۲/۸۳
آب	۱/۹۵
اراضی کشاورزی	۹/۹۴
اراضی بایر	۲/۸۹
باغات	۲/۱۱



شکل ۶: نمودار تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل در سال ۲۰۲۱.

نتایج حاصل از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ میلادی نشان می‌دهد که بیش‌ترین و کمترین مساحت را به ترتیب کاربری مسکونی با ۳۷/۸۷ کیلومتر مربع و کاربری آب با ۲ کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است. بعد از مسکونی کاربری کشاورزی با ۹/۹۴ کیلومتر مربع، بایر با ۲/۸۹ کیلومتر مربع و باغات با ۲/۱۱ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده از مساحت هر یک از طبقات در سال‌های مورد مطالعه جداول (۴ و ۵) و شکل-های (۵ و ۶) مشخص می‌شود که، کاربری مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی روند افزایشی داشته‌اند دلیل این امر ناشی از تبدیل اراضی بایر به منطقه مسکونی و کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین کاربری‌های بایر،

باغ و آب روند کاهشی داشته‌اند. که این امر لزوم توجه به تخریب باغات و فضای سبز در منطقه را دو چندان می‌کند. با توجه به توسعه شهرنشینی در اکثر مناطق کشور، شهر اردبیل نیز از این امر مستثنی نبوده و مساحت مناطق ساخته شده در شهر اردبیل در طی این سال‌ها دارای روند افزایشی می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

کاربری اراضی نمونه‌ای از تأثیرگذاری انسان بر محیط است، بنابراین به منظور مدیریت و کنترل زمین و تغییرات روی آن لازم است عوامل تأثیرگذار و مهم شناسایی و ارزشیابی شوند. تصاویر ماهواره‌ای و عکسه‌ای هوایی فارغ از نوع رزلوشن طیفی و مکانی امکان بررسی روند تغییرات کاربری اراضی را در طول زمان فراهم می‌کنند. داده‌های سنجش از دور اطلاعات مفیدی را برای مدیران و تصمیم‌گیران تهیه می‌کنند که اغلب از هیچ منبع دیگری نمی‌توان آن‌ها را بدست آورد (نسب‌درزی، ۱۳۹۹: ۶۱). بدین منظور در این تحقیق تغییرات کاربری اراضی شهر اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سنجنده OLI طی سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۲۱ میلادی بررسی گردیده است. پس از اعمال مراحل پیش پردازش تصاویر اقدام به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در ۵ کلاس کاربری شده است. کاربری‌های مورد نظر شامل: مناطق مسکونی، آب، اراضی کشاورزی، اراضی بایر و باغات می‌باشند. پس از طبقه‌بندی تصاویر به منظور ارزیابی دقت آن‌ها از داده‌های برداشت زمینی و ماتریس خطا استفاده شده است که بر اساس آن تصاویر لندست ۸ سال ۲۰۱۳ و ۲۰۲۱ به ترتیب با دقت کلی ۸۲ و ۸۰ ضریب کاپای ۰/۷۸ و ۰/۷۲ درصد در رتبه‌های اول و دوم از جهت طبقه‌بندی تصاویر قرار گرفته‌اند. بر اساس مساحت هر یک از کلاس‌ها در سال‌های مورد مطالعه، مشخص شده است که کاربری مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی در طی این سال‌ها افزایش، باغ و اراضی بایر کاهش یافته است. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت در طی این سال‌ها در شهر اردبیل نیز مانند اکثر نقاط کشور در طی سال‌های گذشته با توسعه شهرنشینی مواجه شده است که این امر

باعث افزایش مساحت اراضی ساخته شده در این شهر در طی سال‌های گذشته گردیده است. با توجه به یافته های اغلب پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور گویای آن است که در سه دهه گذشته توسعه شهر اردبیل به صورت تدریجی از جهات مختلف باعث کاهش اراضی باغی، کشاورزی و آبی و بایر گردیده است. چنانکه این نوشتارها نشان داد اند طی دوره ی ۱۰ ساله اراضی پوشش گیاهی و نواحی بایر کاهش و اراضی کشاورزی و نواحی مسکونی رشد داشته است. رشد اراضی مسکونی به دلیل نیاز جمعیت به مصرف مواد غذایی منجر به رشد اراضی کشاورزی شده است به طوریکه طی دوره مورد مطالعه مناطق مسکونی ۴/۹۶ کیلومتر مربع رشد داشته و از طرفی اراضی کشاورزی نیز طی همین دوره ، ۱/۵۴ کیلومتر مربع توسعه داشته است. همچنین اراضی بایر و باغات به ترتیب ۶/۵۸ و ۰/۲۴ کیلومتر مربع کاهش یافته اند. بررسی تغییرات کاربری اراضی یکی از ابزارهای مدیریتی مهم برای کنترل تغییرات کاربری اراضی در منطقه و تعیین سیاست‌های کارآمد برای مدیریت این روند در منطقه می‌باشد. فناوری سنجش از دور در این زمینه بسیار تأثیرگذار می‌باشد و با استفاده از آن می‌توان روند تغییرات کاربری اراضی را در منطقه پایش کرد.

## منابع

- ۱- ایرج‌پور، ع.ا و اسمعیلی، ح (۱۴۰۰)، برآورد تغییرات مکانی - زمانی تابش خالص دریافتی شهرستان داراب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۴، شماره ۳، صص ۲۰۴-۱۸۴
- ۲-زنده دل، م (۱۳۹۹)، پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر لندست و مدل CA-Markov (مطالعه موردی: شهرستان بابل)، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی آبان هراز، دانشکده

علوم محیط

۳-نسب‌درزی، ح (۱۳۹۹)، بررسی و شناسایی تغییرات کاربری اراضی شهرستان بابل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نقشه‌برداری گرایش سیستم اطلاعات جغرافیایی، وزارت علوم تحقیقات و فناوری

۴- کریمیان، ک؛ امینی، ع؛ بداغ آبادی، م. ب؛ قیومی محمدی، ح (۱۳۹۹)، پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست مطالعه موردی: دشت خان میرزا، پژوهش های جغرافیای انسانی، دوره ۲۵، شماره ۵، صص ۴۳۶-۴۱۹

۵- موسوی، ح؛ رنجبر، ا؛ حاصلی، م (۱۳۹۵)، پایش و روندیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه ابرکوه با استفاده از تصاویر ماهواره ای ( ۲۰۱۴ - ۱۹۷۶)، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات، دوره ۲۵، شماره ۹۷

۶- نجارکلایی، ا؛ جمالی، ع. ا؛ سید زین‌العابدین، ح (۱۳۹۶)، مقایسه دقت طبقه بندی سری زمانی تصاویر لندست در پایش تغییرات کاربری اراضی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هشتم، شماره دوم، صص ۴۷-۳۳

۷- عبدلی لاکتاسرائی، م؛ خان‌محمدی، م؛ پناهنده، م (۱۳۹۷)، مطالعه تغییرات کاربری اراضی به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های سنجش از دور، پژوهش و فناوری محیط زیست، دوره سوم، شماره پنج، صص ۸-۳

۸- مکرونی، س؛ سبزقبایی، غ. ر؛ یوسفی خانقاه، ش؛ سلطانیان، س (۱۳۹۵)، آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۷، شماره ۳، صص ۹۹-۸۹

10. El-Kawy, O. A., J. Rød, H. Ismail and A. Suliman, 2011. "Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data, " *Applied Geography* 31(2): 483-494

11. Hamad, R., Balzter, H., Kolo, K, 2018. Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA- Markov Model under Two Different Scenarios, 1-23

12. Habtamu, Teka., Madakadze, I.C., Joel Botai, Ondego., Hassen, Abubeker, 2018. Evaluation of land use land cover changes using remote sensing Landsat images and

- pastoralists perceptions on range cover changes in Borana rangelands, Southern Ethiopia, *International Journal of Biodiversity and Conservation*, Vol. 10(1), pp. 1-11
13. Madurapperuma, B., Rozario, P., Oduor, P., Kotchma L, 2015. Land-use and land-cover change] detection in Pipestem Creek watershed, North Dakota. *International Journal of GEOMATICS and GEOSCIENCES*, Vol. 5, No 3, Pp. 416-426
14. Rawat, J. and M. Kumar, 2015. "Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India." *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1): 77-84
15. Tian, H. Pei, J. Huang, J. Li, X, 2020. Garlic and Winter Wheat Identification Based on Active and Passive Satellite Imagery and the Google Earth Engine in Northern China, *Remote Sens*, 12(21), 3539
9. Agaton, N., Setiawan, Y., Effendi, H, 2016. Land use/land cover change detection an urban watershed: a case study of upper Citarum watershed, West Java Province Indonesia, 33: 54-660