

تخمین تغییرات کاربری اراضی تحت آبیاری انهار سنتی شهرستان خوانسار

بابک ابراهیمی^۱، مهرداد پسندی^{۲*} و هانیه نیل‌فروشان^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۱)

چکیده

کاربری اراضی مختلف در محدوده تحت آبیاری انهار یازده‌گانه شهرستان خوانسار طی سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ از طریق بررسی عکس‌های هوایی و همچنین تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد و لندست در محیط گوگل ارث انجین (GEE) تشخیص و تعیین مساحت شده است. سپس مقایسه بین مساحت خالص و ناخالص اراضی تحت آبیاری انهار، مساحت کاربری‌های غیرکشاورزی اراضی، موقعیت و مساحت کاربری‌های کشاورزی اراضی تحت آبیاری انهار به تفکیک نوع فعالیت کشاورزی (باغی و یا زراعی) و به تفکیک هر نهر صورت گرفته است. عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۸ منطقه مطالعاتی مبنای ارزیابی وضعیت کشاورزی قبل از قانون توزیع عادلانه آب است. نتایج نشان می‌دهد، کاربری‌های غیرکشاورزی و به‌خصوص شهری و مسکونی از سال ۱۳۴۸ تاکنون روند افزایشی داشته است. به‌عبارت‌دیگر، کاربری بخشی از اراضی کشاورزی منطقه به کاربری‌های مسکونی و شهری تغییر یافته است. اگرچه روند کاهش اراضی کشاورزی در ۵۰ سال گذشته دیده می‌شود، اما میزان این تغییرات برای اراضی تحت کشت باغی و زراعی یکسان نبوده و سطح زیر کشت باغات افزایش پیدا کرده است که این تغییرات تأثیر زیادی بر نیاز آبی به انهار گذاشته است. تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ تغییر محسوسی نداشته است و در میزان اراضی کشاورزی، کشاورزی سبز و درصد اراضی باغی و زراعی تغییر محسوسی دیده نمی‌شود. نتایج این پژوهش تأییدی بر چشمگیر بودن تغییرات کاربری اراضی کشاورزی و به دنبال آن، مصرف آب در محدوده انهار یازده‌گانه خوانسار در دهه‌های اخیر است و به‌خوبی کارایی زیاد استفاده تلفیقی از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای طیفی با قدرت تفکیک مکانی متوسط و داده‌های ماهواره‌ای طیف مرئی با تفکیک مکانی زیاد و همین‌طور استفاده از امکانات سامانه ابری گوگل ارث انجین در بررسی تغییرات اراضی کشاورزی در ادوار مختلف را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، سطح زیر کشت، سنجش‌ازدور، گوگل ارث انجین (GEE)، شهرستان خوانسار

۱. شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، اصفهان، ایران

۲. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.pasandi@sci.ui.ac.ir

مقدمه

تغییر کاربری زمین یک فرایند تاریخی است که به نحوه استفاده مردم از زمین مربوط می‌شود و در دسترس بودن منابع مختلف از جمله پوشش گیاهی، خاک و آب را تغییر می‌دهد (۲). تغییرات کاربری اراضی به طور عمده تحت تأثیر افزایش و یا کاهش رشد جمعیت در سیستم (۲۰)، رشد اقتصادی و همچنین در اثر عوامل فیزیکی شامل توپوگرافی، وضعیت شیب، نوع خاک و آب‌وهوا است (۱۶). افزایش جمعیت و به دنبال آن نیازهای اقتصادی و اجتماعی فزاینده باعث اعمال تغییر در کاربری زمین شده است (۱۵). تغییرات طبیعی و انسان‌زاد پوشش زمین به دلیل ارتباط با اکوسیستم (۶) و تنوع زیستی و بوم‌شناسی، می‌تواند بر روی محیط‌زیست در سطح جهانی تأثیرگذار بوده (۱۴) و تأثیرات انسان بر محیط‌زیست را نیز در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی منعکس نماید (۱۲). تغییر کاربری زمین به طور مستقیم بر میزان تبخیر و تعرق، نفوذ و همچنین کیفیت آب‌های زیرزمینی و رواناب سطحی تأثیرگذار است (۲۰)؛ بنابراین وجود اطلاعات دقیق و به‌روز از کاربری زمین/پوشش گیاهی برای برنامه‌ریزی محیطی، درک تأثیر بر اکوسیستم زمینی و دستیابی به توسعه پایدار ضروری است (۶).

سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، ابزارهای قدرتمندی برای به‌دست‌آوردن اطلاعات دقیق و به‌موقع در مورد توزیع مکانی کاربری زمین و تغییرات سطح زمین در مناطق وسیع هستند. سیستم اطلاعات مکانی، یک محیط انعطاف‌پذیر برای جمع‌آوری، ذخیره، نمایش و تحلیل داده‌های رقومی لازم برای تشخیص این تغییرات را فراهم می‌کند و تصاویر سنجش‌ازدور مهم‌ترین منابع داده سیستم اطلاعات مکانی هستند (۱۵). سنجش‌ازدور رایج‌ترین ابزار برای تشخیص، اندازه‌گیری و نگاهت الگوهای تغییرات مکانی و زمانی کاربری و پوشش اراضی به دلیل امکان داده‌برداری مکرر توسط ماهواره، بایگانی غنی و وضوح طیفی تصاویر ماهواره‌ای و فراهم کردن داده‌های مناسب برای پردازش و زمین مرجع کردن دقیق است (۴ و ۹). در گذشته تغییرات کاربری اراضی

منحصر به عملیات میدانی و تفسیر عکس‌های هوایی برداشت شده در زمان‌های مختلف بود، ولی امروزه با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای می‌توان تغییرات محیطی به‌روز را پردازش و مدل‌سازی کرد (۷ و ۱۹). همچنین استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور پیوند محکمی بین تحقیقات زیست‌محیطی محلی و همچنین حفاظت و مدیریت منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی تنوع زیستی را برقرار می‌سازد (۲۳).

با وجود مزایای استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور چند زمانی و با منابع مختلف، استفاده از این اطلاعات برای تهیه نقشه از مناطق وسیع با چالش پیچیدگی محاسباتی زیادی مواجه است (۱۷)؛ بنابراین گوگل یک پلتفرم با قدرت رایانش ابری به نام Google Earth Engine (GEE) راه‌اندازی کرده که دسترسی رایگان به بیش از ۴۰ سال تصاویر ماهواره‌ای سراسر جهان را در مقیاس پتابایت فراهم می‌کند (۱۰). گوگل ارث انجین یک پلتفرم پردازش کاربر دوست و با قابلیت زیاد برای پردازش مجموعه‌داده‌های مکانی گسترده برای کاربردهای منطقه‌ای و جهانی است (۵) و مانند یک آرشیوی از تصاویر ماهواره‌ای رایگان، روزنه‌ای را برای پایش مستمر سطح زمین با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب گشوده است (۲۴). این ابزار مدل‌سازی سریع و آسان، تحلیل و تجسم داده‌های مکانی در مقیاس وسیع را از طریق پردازش موازی با استفاده محیط یکپارچه مبتنی بر وب فراهم می‌سازد. برخورداری از آرشیوی گسترده از تصاویر ماهواره‌ای، پارامترهای آب‌وهوایی و همچنین مجموعه‌ای از داده‌های توپوگرافی و محیطی، از مزایای گوگل ارث انجین است (۱۰). گوگل ارث انجین به‌صورت رایگان در دسترس بوده و می‌تواند به‌راحتی تصاویر ماهواره‌ای با منابع متفاوت را به کمک یک بسته نرم‌افزاری متشکل از الگوریتم‌های متفاوت، بدون دانلود تصاویر و بدون محدودیت عملیات زمان بر موزاییک، ثبت، نمایش و نمونه‌برداری مجدد پردازش کند (۹، ۲۲ و ۲۴). از این‌رو استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین برای استخراج اطلاعات

متنوب باعث شده است، بهره‌برداری از منابع آبی منطقه و به‌خصوص منابع آبی سرچشمه خوانسار که تأمین‌کننده انهار یازده‌گانه منطقه است، با چالش‌های فراوانی همراه باشد. بررسی مستندات موجود، سوابق اختلافات و پیگیری‌های صورت‌گرفته برای حل آن‌ها، حاکی از عدم وجود اطلاعات دقیق و فنی از روند تغییرات سطوح و الگوی کشت اراضی کشاورزی در ادوار مختلف و به دنبال آن تغییرات نیاز آبی اراضی است.

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی روند تغییرات اراضی کشاورزی با اتکا بر عکس‌های هوایی و داده‌های ماهواره‌ای بر اساس امکانات سامانه ابری گوگل ارث انجین است. در این راستا، تغییر کاربری اراضی کشاورزی و به دنبال آن مصرف آب در محدوده انهار یازده‌گانه شهرستان خوانسار در دهه‌های اخیر بررسی شده است و توانمندی استفاده تلفیقی از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای طیفی با قدرت تفکیک مکانی متوسط و داده‌های ماهواره‌ای طیف مرئی با تفکیک مکانی بالا و همچنین کاربرد سامانه گوگل ارث انجین برای بررسی روند تغییرات اراضی کشاورزی ارزیابی شده است.

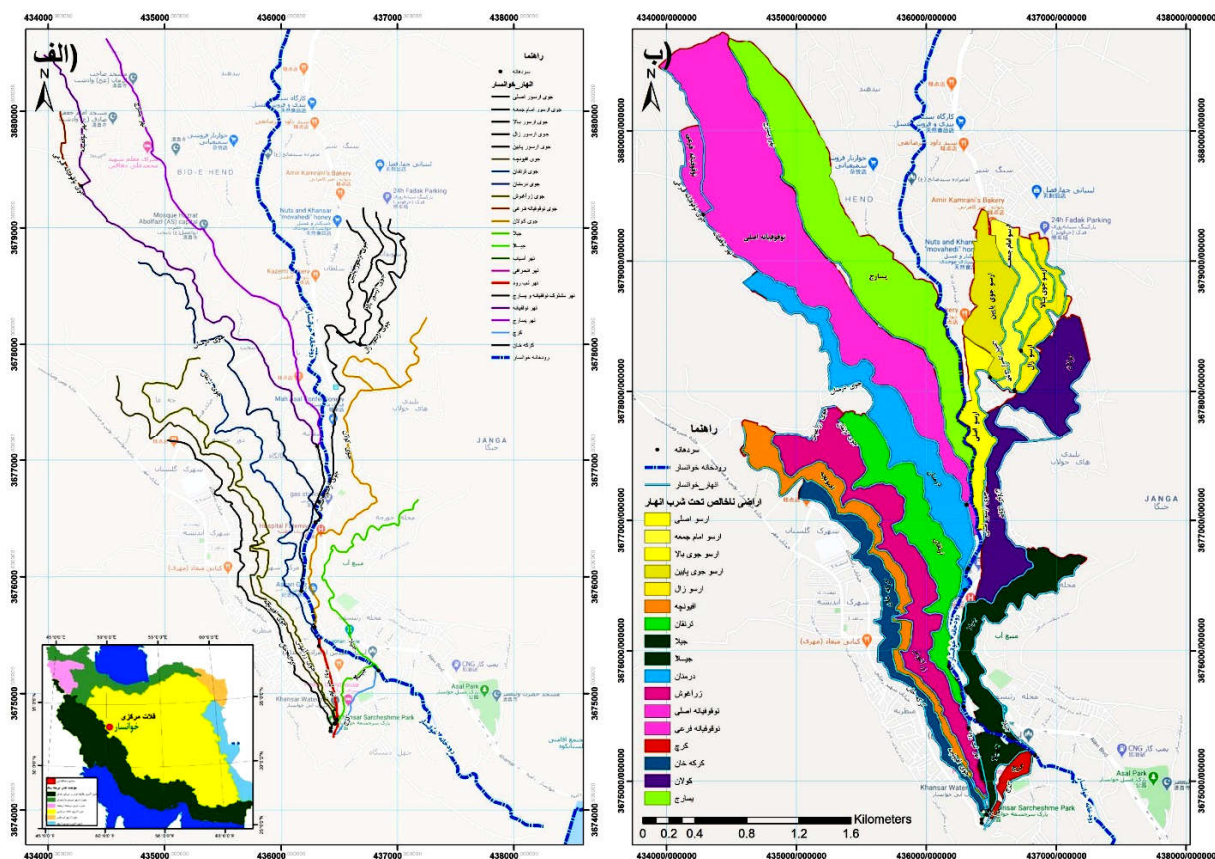
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در گستره‌ای به مساحت ۴۳۵۰ هکتار واقع در شهرستان خوانسار در فاصله ۱۷۵ کیلومتری شهر اصفهان قرار دارد و از شمال به شهرستان گلپایگان، از غرب به استان لرستان، از شرق به نجف‌آباد و از جنوب به فریدن محدود می‌شود. این منطقه در محدوده مطالعاتی گلپایگان واقع شده است که بخش کوچکی از حوضه آبریز فلات مرکزی محسوب می‌شود (شکل ۱). محدوده مطالعاتی گلپایگان، بخشی از حوضه آبریز رودخانه قمرود بوده که سرشاخه‌های جنوبی آن موسوم به رودخانه دربند و رودخانه خوانسار از ارتفاعات جنوبی محدوده سرچشمه گرفته و از به هم پیوستن آن‌ها، رودخانه غرقاب تشکیل و از ناحیه شمالی محدوده خارج می‌شود. آبیاری در حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی شهرستان خوانسار از طریق

کاربری زمین قابل اعتماد موجود و برای ارزیابی تغییر کاربری در ارتباط با داده‌های اجتماعی - اقتصادی دارای مزایای فراوانی است (۱۱ و ۱۸). برای نمونه، لندست (Landsat) یکی از متداول‌ترین داده‌های سنجنش‌ازدور برای طبقه‌بندی کاربری زمین است (۹ و ۱۰) و گوگل ارث انجین به چندین دهه مجموعه داده لندست با پوشش جهانی از جمله Landsat 4-8 (۱۹۸۴ تاکنون)، Landsat 5 TM (۱۹۸۴ تا ۱۹۹۹ تاکنون) و Landsat 7 ETM+ (۲۰۱۲ تاکنون) و Landsat 8 OLI/TIRS (۲۰۱۳ تاکنون) دسترسی رایگان دارد (۵). تاکنون گوگل ارث انجین برای مطالعه در مقیاس وسیع تخریب جنگل‌ها، پایش یخ‌زدگی رودخانه‌ها، نقشه‌برداری مناطق جزرومدی، تهیه نقشه مناطق شهری، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، طبقه‌بندی زمین‌های زراعی، برآورد دبی رودخانه‌ها، پایش سیلاب، طبقه‌بندی تالاب‌ها، مدل‌سازی تبخیر و تعرق، استخراج خطوط ساحلی، پایش سیل، پایش پوشش گیاهی، سنجنش‌ازدور شهری و برف‌سنجی استفاده شده است (۲۱).

گذر انهار از میان شهرستان خوانسار، تحت‌تأثیر سرچشمه و چشمه‌های زایشی در شکل‌گیری این شهر به‌صورت یک باغ شهر بسیار مؤثر بوده است. در شهرستان خوانسار، تأمین آب حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی از طریق مجموعه چشمه‌های سرچشمه خوانسار و سیستم انتقال و توزیع آب انهار یازده‌گانه منطبق بر رشن‌نامه به‌عنوان نوعی توافق‌نامه بین کشاورزان صورت می‌پذیرد. با این وجود، با گذشت زمان اختلاف میان بهره‌برداران انهار افزایش یافته است. وقوع خشکسالی، رشد جمعیت و افزایش تقاضای شرب و کشاورزی با توجه به توسعه کشاورزی و تغییر الگوی کشت در طول زمان و در نتیجه آن افزایش برداشت بی‌رویه آب بدون در نظر گرفتن ظرفیت آبدهی منابع آبی موجود، سبب ایجاد اختلاف بین ذی‌نفعان بخش‌های مختلف مصرف شده است. شواهد نشان می‌دهد، افزایش جمعیت شهرستان و در نتیجه نیاز به آب شرب بیشتر، توسعه کشاورزی، تغییرات اساسی در الگوی کشت در سالیان گذشته و همین‌طور احداث سد باغکل به همراه وقوع خشکسالی‌های



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه و شمالی از انهار و محدوده اراضی تحت آبیاری انهار سستی شهرستان خوانسار و موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی

کمتر از یک متر مانند تصاویر ماهواره کوئیک برد) به همراه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی متوسط (مانند تصاویر ماهواره‌های لندست و استر (ASTER) در اختیار عموم پژوهشگران قرار گرفته است. استفاده توأم تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی زیاد در کنار استفاده از روش‌های رایج طبقه‌بندی داده‌های طیفی با دقت متوسط، می‌تواند ابزار مناسبی برای تفکیک اراضی مختلف کشاورزی به شمار آید. همچنین با توجه به عدم وجود داده‌های ماهواره‌ای با دقت زیاد در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی، داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی متوسط، می‌تواند ابزار مناسبی برای بررسی وسعت اراضی کشاورزی در دهه‌های یادشده باشد. همچنین بررسی وضعیت کاربری اراضی در دهه‌های ۵۰ و ۶۰ به دلیل نبود تصاویر ماهواره‌ای، بر اساس تفسیر عکس‌های

مجموعه چشمه‌های سرچشمه خوانسار و سیستم انتقال و توزیع آب انهار یازده‌گانه صورت می‌پذیرد. چشمه‌سارهای محدوده سرچشمه خوانسار مانند چشمه مرزنگشت، باباپیر، کرکه خان و... مهم‌ترین منابع آبی این منطقه محسوب می‌شوند. نهرهای کرج، جولان، زراغوش، کرکه‌خان و ایلونجه به طور مستقیم از سرچشمه آبیگیری می‌کنند. ۶ نهر دیگر (ترنقان، درمنان، کولان، ارسو، نوقفیانہ، یسارج) به صورت تلفیقی از نهر لبرود و رودخانه خوانسار تغذیه می‌شوند (۱). شمالی انهار و محدوده اراضی تحت آبیاری انهار سستی شهرستان خوانسار و همچنین موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی در شکل ۱ ارائه شده است.

داده‌ها و اطلاعات

طی دهه اخیر، تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک مکانی بسیار خوب

تابستان در محیط گوگل ارث انجین و همین‌طور تفسیر چشمی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای کوئیک برد صورت گرفته است. برای این منظور از مراحل زیر پیروی شده است:

- بررسی‌های اولیه و آماده‌سازی داده‌های ماهواره کوئیک برد، عکس‌های هوایی و داده‌های رقومی ارتفاعی ۱۰ متری منطقه در محیط GIS: در این مرحله باتوجه‌به وجود یک بانده پانکروماتیک با قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر در داده‌های لندست و با استفاده از ابزار Pan-sharpened، اقدام به افزایش وضوح تصاویر شده است. همچنین از ابزار Orthorectify و مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متری برای فرایند ارتوفوتوگرافی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

- پیمایش زمینی و ترسیم انهار سنتی شهرستان خوانسار در محیط GIS

- ساخت تصاویر رنگی کاذب و محاسبه شاخص‌های گیاهی در محیط گوگل ارث انجین برای تدقیق اراضی باغی و زراعی) در هر سال، دو تصویر مختلف مربوط به دو فصل متفاوت سال (اواسط بهار و اواخر تابستان) و همین‌طور مقادیر متوسط و حداکثر سطح سبز در طول بهار و تابستان) برای تصاویر با پوشش ابر کمتر از ۱۰٪

- تفسیر چشمی تصاویر ماهواره کوئیک برد و استخراج اراضی کشاورزی، اراضی باغی و باغات در دست ساخت و تلفیق با داده‌های حاصل از برداشت‌های زمینی و مقایسه بصری لایه با تصاویر رنگی کاذب و شاخص‌های گیاهی و تهیه سری زمانی از لایه‌های کشاورزی: در این مرحله، تمامی اراضی کشاورزی که آثار کشت روی آن‌ها مشخص بوده و یا برخی نشانه‌های دیگر همانند آثار شخم، کرت‌بندی، مرز، بقایای گیاهان زراعی، وجود جوی آب، خطوط انتقال و توزیع آب و... قابل تشخیص هستند، استخراج شده‌اند.

- شناسایی اراضی باغی و زراعی و مرزبندی دقیق اراضی کشاورزی نیز بر اساس تصاویر ماهواره‌ای موجود صورت گرفته است. لازم به ذکر است، مبنای کار در این مرحله، بررسی کارشناسانه دقیق به روش چشمی و انطباق

هوایی میسر است. از این‌رو در این پژوهش، برای بررسی تغییرات اراضی کشاورزی در محدوده انهار سنتی شهرستان خوانسار، از داده‌های سنجنده TM (لندست ۵) و سنجنده OLI (لندست ۸) و همین‌طور تصاویر ماهواره کوئیک برد استفاده شده است. از تصاویر لندست ۸ برای سال‌های ۱۳۹۸ (۲۰۱۹ میلادی) و ۱۳۹۳ (۲۰۱۴ میلادی) و همین‌طور از تصاویر لندست ۵ برای سال ۱۳۷۴ (۱۹۹۵ میلادی) استفاده شده است. علاوه بر این، از تصاویر کوئیک برد با تفکیک مکانی زیاد برای تهیه نقشه پایه کشاورزی بهره برده شده است و در بررسی وضعیت اراضی کشاورزی در دهه‌های ۴۰ و ۷۰ شمسی، از عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۷۴ (۱۹۹۵ میلادی) و ۱۳۴۸ (۱۹۶۹) استفاده شده است.

دیگر داده‌های کمکی مورد استفاده در این پژوهش، فایل‌های رقومی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و همین‌طور مدل رقومی ارتفاعی با تفکیک مکانی ۱۰ متر منتشر شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور هستند. GPS، مهم‌ترین ابزار مورد استفاده در پیمایش زمینی به منظور تهیه نقشه انهار سنتی است. همچنین نرم‌افزار ArcGIS و توابع سامانه گوگل ارث انجین، مهم‌ترین ابزارها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش به منظور تهیه تصاویر ماهواره‌ای و همین‌طور انجام محاسبات مورد نیاز بر روی داده‌های طیفی محسوب می‌شوند.

روش تحقیق

کشف تغییرات با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، مستلزم استفاده از چندین تصویر مختلف متعلق به زمان‌های متفاوت است تا به کمک آن‌ها بتوان تغییرات رخ داده را که در طول زمان در ارتباط با پدیده مدنظر را کشف کرد و دید. تکنیک‌های زیادی برای مشخص کردن تغییرات پوشش و کاربری زمین توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است. در این پژوهش، کشف تغییرات بر اساس تفسیر داده‌های چندزمانه (داده‌های ماهواره‌های کوئیک برد و لندست و همچنین عکس‌های هوایی) با استفاده از ترکیب‌های رنگی، شاخص گیاهی NDVI داده‌های لندست در طول فصول بهار و

شده است (شکل ۳) و سپس مساحت خالص و ناخالص اراضی تحت آبیاری انهار شهرستان خوانسار، مساحت کاربری‌های غیرکشاورزی اراضی واقع در شبکه، موقعیت و مساحت کاربری‌های کشاورزی اراضی تحت آبیاری انهار به تفکیک نوع فعالیت کشاورزی (باغی و یا زراعی) و برای هر نهر در سال ۱۳۹۸ و سال ۱۳۹۳ به دست آمده است (شکل ۴). براین اساس، مجموع اراضی ناخالص تحت آبیاری در شبکه انهار شهرستان خوانسار حدود ۷۰/۱۹ هکتار و مجموع کاربری‌های غیرکشاورزی نیز حدود ۱۳۸/۶ هکتار است. همچنین مساحت خالص اراضی کشاورزی (اعم از باغ، زراعت، آیش و...) تحت آبیاری انهار برابر با ۵۶۳/۳ هکتار است. بیشترین مساحت کاربری‌های غیرکشاورزی (اعم از جاده، خیابان، ساختمان‌های شهری و...) در سال ۱۳۹۸ مربوط به نهر نوقیانه و کمترین مربوط به نهر ارسو زال است. برای سال ۱۳۹۳ نیز مشابه سال ۱۳۹۸ بررسی انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد، تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ تغییر محسوسی نداشته و از مجموع اراضی ناخالص تحت آبیاری انهار به میزان ۷۰۲ هکتار، حدود ۱۳۷/۵ هکتار دارای کاربری غیرکشاورزی و مابقی دارای کاربری کشاورزی هستند. همچنین در میزان اراضی کشاورزی و کشاورزی سبز (همین‌طور درصد اراضی باغی و زراعی)، تغییر محسوسی طی این سال‌ها دیده نمی‌شود.

گستره اراضی کشاورزی در ادوار گذشته

عکس‌های هوایی و همین‌طور تصاویر لندست در محیط گوگل ارث انجین برای سال ۱۳۷۴ (باتوجه به دسترسی به عکس‌های هوایی این سال) تحلیل شده است (شکل ۳). عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۸ منطقه مطالعاتی، مبنای ارزیابی وضعیت کشاورزی قبل از قانون توزیع عادلانه آب است (شکل ۵). براین اساس، مساحت خالص و ناخالص اراضی تحت آبیاری انهار شهرستان خوانسار، مساحت کاربری‌های غیرکشاورزی اراضی واقع در شبکه، موقعیت و مساحت کاربری‌های کشاورزی اراضی تحت

اطلاعات بوده است. به این صورت که مرزبندی اراضی آبی با استناد به تصاویر ماهواره‌ای کوئیک برد این امکان را فراهم ساخته تا درصد بالایی از اراضی موجود در مناطق را با کمترین خطای ممکن شناسایی و مرزبندی اراضی باغی از زراعی صورت پذیرد (شکل ۲)

• کنترل سبز بودن این اراضی در سال‌های مدنظر و همین‌طور انجام بررسی‌های زمینی برای تدقیق مرزهای زراعی و باغی و سطوح سبز بر اساس داده‌ها و شاخص‌های ماهواره‌ای و همچنین عکس‌های هوایی شاخص گیاهی NDVI که از معروف‌ترین شاخص‌های گیاهی است، بر حسب دو باند قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

در رابطه (۱)، NDVI شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، NIR باند مادون‌قرمز نزدیک و RED باند قرمز سنجنده است. به منظور محاسبه NDVI، مقادیر بازتابش طیفی از داده‌های ماهواره لندست ۸ در محدوده طیفی باندهای ۴ و ۵ و در سنجنده TM در محدوده طیفی باندهای ۳ و ۴ با اعمال تصحیحات لازم بکار رفته است. این شاخص دارای مقادیر نرمال در دامنه بین -۱ و +۱ است که بررسی و نمایش مقادیر را به راحتی امکان‌پذیر می‌سازد. مقادیر مختلف NDVI، نمایانگر پوشش‌های مختلف می‌باشند. برای نمونه، مقادیر NDVI بین ۰/۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی معمولی و بیشتر از ۰/۵ برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی است. آب، برف و یخ دارای مقادیر NDVI منفی می‌باشند و خاک دارای مقادیر کمتر از ۰/۰۵ و ابرها نیز به طور معمول دارای مقادیر حدود صفر هستند (۳، ۸ و ۱۳).

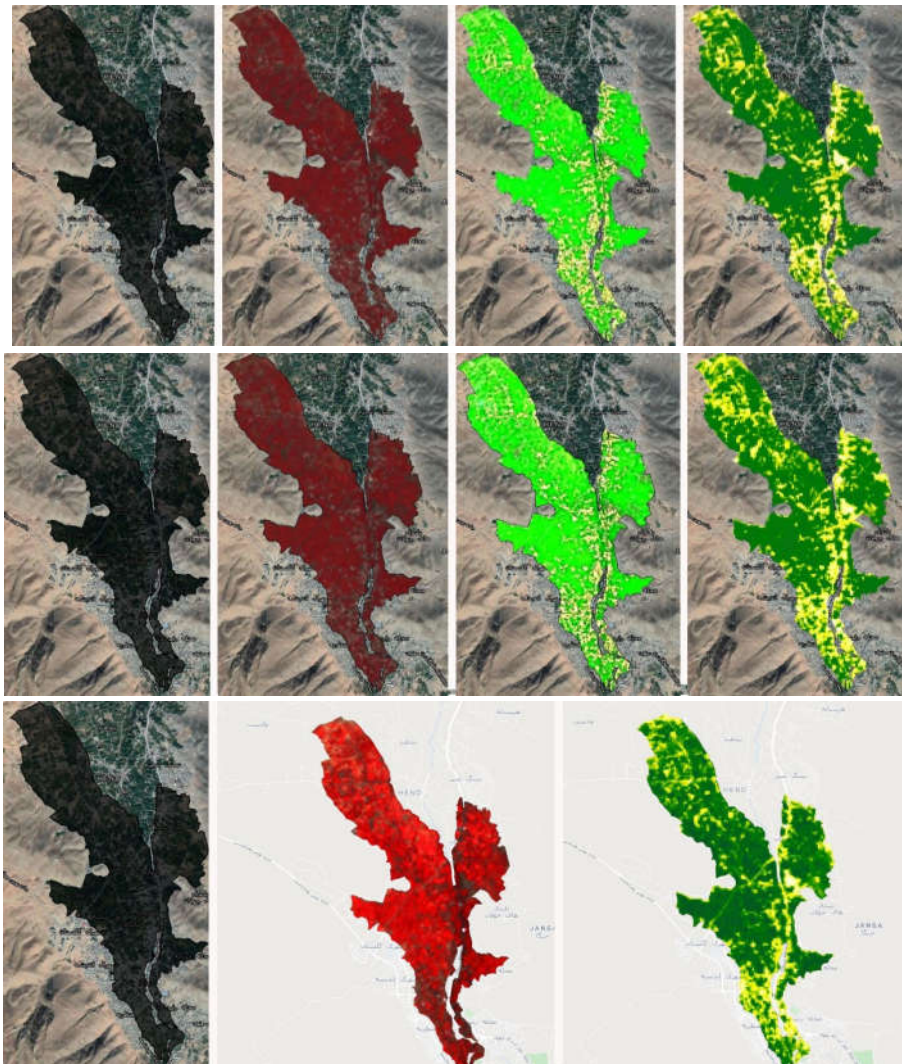
نتایج

گستره اراضی کشاورزی در دهه ۹۰

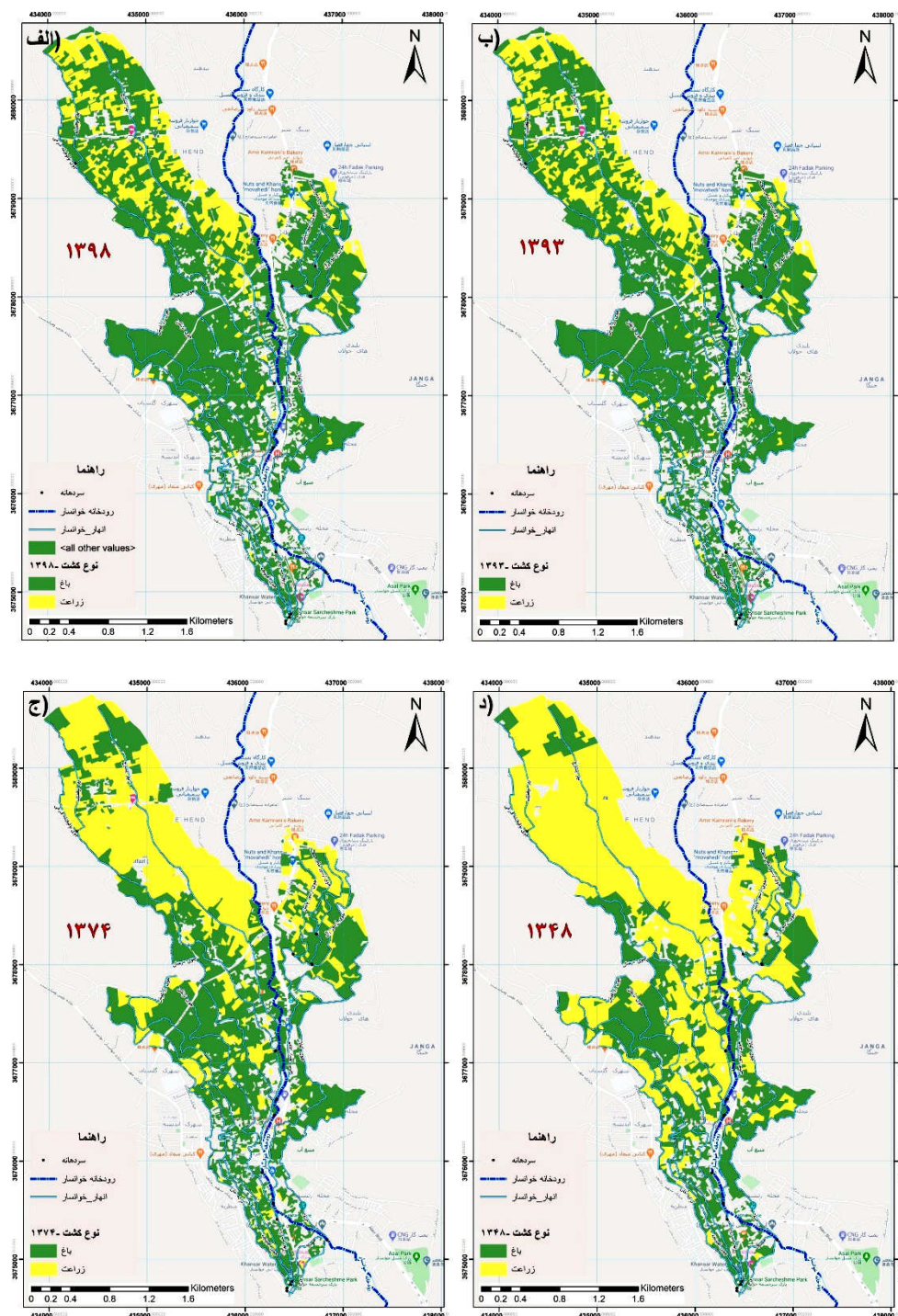
بر اساس روش شناسی ارائه شده، تصاویر کوئیک برد و همین‌طور تصاویر لندست در محیط گوگل ارث انجین تحلیل



شکل ۲. نمونه‌ای از شناسایی اراضی کشاورزی و عوارض موجود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کوئیک برد (موقعیت انهار بر اساس برداشت‌های زمینی مشخص گردیده است)



شکل ۳. محدوده انهار ۱۱ گانه، ترکیب رنگی ۵۴۳ لندست ۸، ۷۵۲ لندست ۸ و NDVI در محیط گوگل ارث انجین متعلق به بهار و تابستان ۱۳۹۸ (۲۰۱۹ میلادی) در تصاویر ردیف بالا، بهار و تابستان ۱۳۹۸ (۲۰۱۹ میلادی) ۱۳۹۳ (۲۰۱۴ میلادی) در تصاویر ردیف میانی و ترکیب رنگی ۴۳۲ لندست ۵ و NDVI در محیط گوگل ارث انجین متعلق به بهار و تابستان ۱۳۷۴ (۱۹۹۵ میلادی) در تصاویر ردیف پائین



شکل ۴. اراضی کشاورزی تحت آبیاری انهار به تفکیک باغ و زراعت در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۳۹۳، ۱۳۷۴ و ۱۳۴۸

بر اساس تفسیر تصاویر سال ۱۳۴۸، مجموع اراضی ناخالص تحت آبیاری در شبکه انهار شهرستان خوانسار حدود ۷۰۱/۹ هکتار و مجموع کاربری‌های غیرکشاورزی نیز حدود ۷۵/۳۶ هکتار

آبیاری انهار به تفکیک نوع فعالیت کشاورزی (باغی و یا زراعی) و برای هر نهر برای سال ۱۳۷۴ و سال ۱۳۴۸ به دست آمده است (شکل ۴).



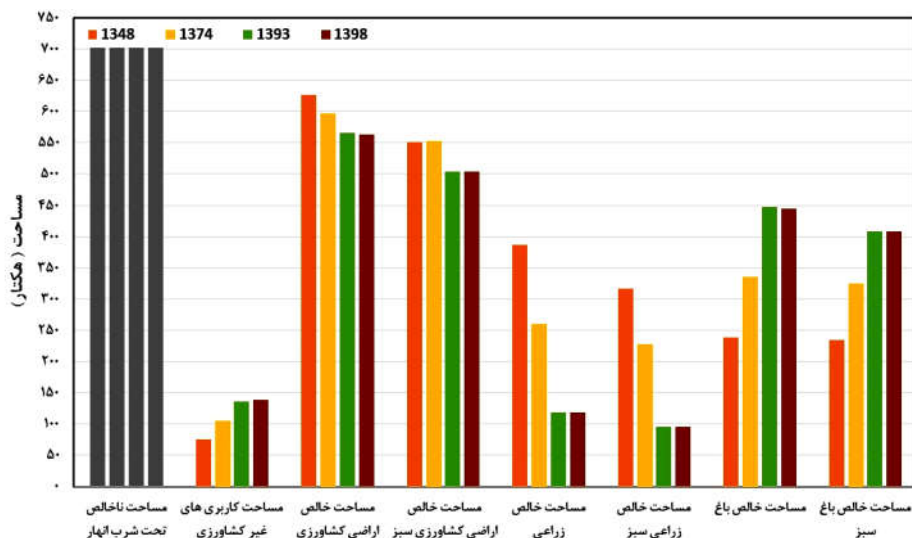
شکل ۵. نمونه عکس هوایی مورد استفاده مربوط به سال ۱۳۴۸ با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ (پس از ارتوفوتو و ژئورفرنس کردن و یکپارچه سازی تصاویر در بخشی از محدوده انهار یازده گانه شهرستان خوانسار)

یازده گانه به کاربری مسکونی و شهری تغییر یافته است. همچنین از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸ نیز ۳۳/۲ هکتار از اراضی به کاربری شهری و مسکونی تبدیل شده است. با قبول خطای درون یابی خطی برای روند تغییرات طی سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۷۲، میزان تغییرات اراضی کشاورزی به شهری طی سال‌های ۱۳۶۱ (مقطع اجرای قانون توزیع عادلانه آب) تا ۱۳۹۸، برابر با ۴۸ هکتار برآورد می‌شود. شکل ۷ مساحت خالص اراضی با کاربری مسکونی و شهری را به تفکیک اراضی تحت آبیاری هر نهر در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، کمترین تغییرات نسبت به سال ۱۳۴۸، مربوط به نهرهای افیونچه و کولان و بیشترین میزان تغییرات، مربوط به انهار نوقفیانه و جیلا است. میزان تغییرات نسبت به سال ۱۳۴۸ در ۵ نهر بالادست ۲۴/۴۹ هکتار، در ۵ نهر پایین دست ۳۴/۷۶ هکتار و در نهر ترنقان ۳/۹۶ هکتار است. میزان تغییرات اراضی تحت آبیاری ۵ نهر بالادست، نهر ترنقان و ۵ نهر پایین دست از کاربری کشاورزی به شهری طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸ به ترتیب برابر با ۱۸/۱۷ هکتار، ۲/۶۵ هکتار و ۲۷/۳۹ هکتار محاسبه شده است؛ بنابراین با توجه به توسعه‌های شهری به ویژه در دهه‌های اخیر (از مقطع زمانی تصویب قانون توزیع عادلانه آب تاکنون)، به تدریج ۴۸/۲ هکتار از باغ‌ها، بستان‌ها و کشتزارهای دارای حقابه از انهار یازده گانه

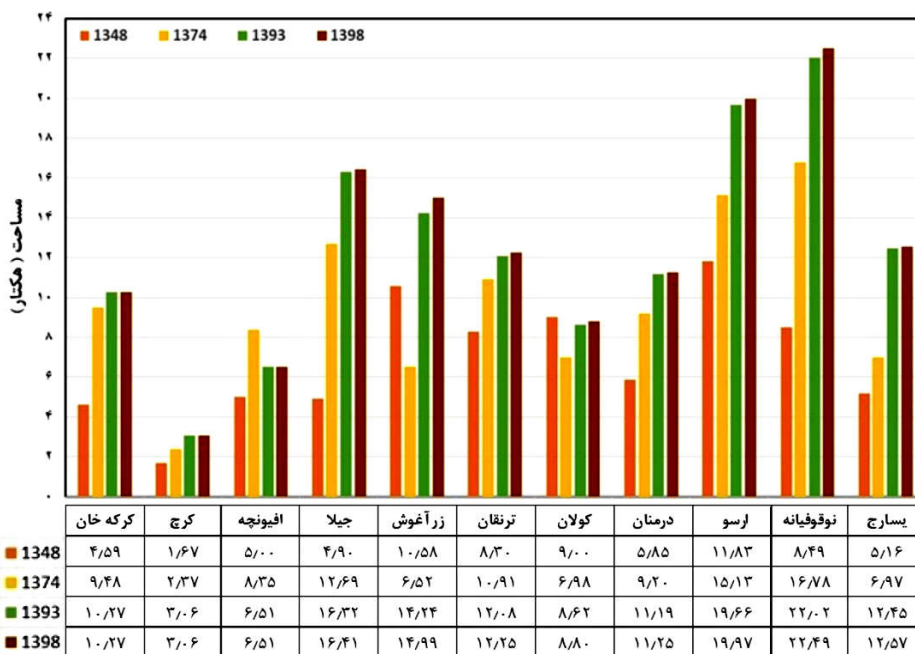
بوده است. همچنین در این سال، مساحت خالص اراضی کشاورزی (اعم از باغ، زراعت، آیش و...) تحت آبیاری انهار برابر با ۶۲۶/۵۶ هکتار است. بررسی تصاویر سال ۱۳۷۴ نیز نشان داده است، مجموع اراضی ناخالص تحت آبیاری در شبکه انهار شهرستان خوانسار حدود ۷۰۱/۹ هکتار و مجموع کاربری‌های غیر کشاورزی نیز حدود ۱۰۵/۳۸ هکتار بوده است. همچنین در این سال، مساحت خالص اراضی کشاورزی (اعم از باغ، زراعت، آیش و...) تحت آبیاری انهار برابر با ۵۹۶/۵۴ هکتار است.

بحث

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش، مقایسه‌ای بین مساحت کاربری‌های اراضی مختلف محدوده تحت آبیاری انهار یازده گانه شهرستان خوانسار در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ به عمل آمده است و نتایج در شکل ۶ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، کاربری‌های غیر کشاورزی از جمله شهری و مسکونی از سال ۱۳۴۸ تاکنون روند افزایشی داشته است. به عبارت دیگر طی ۵۰ سال گذشته، کاربری بخشی از اراضی کشاورزی منطقه به کاربری‌های مسکونی و شهری تغییر یافته است. از سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸، در مجموع ۶۳/۲۱ هکتار از اراضی تحت آبیاری انهار



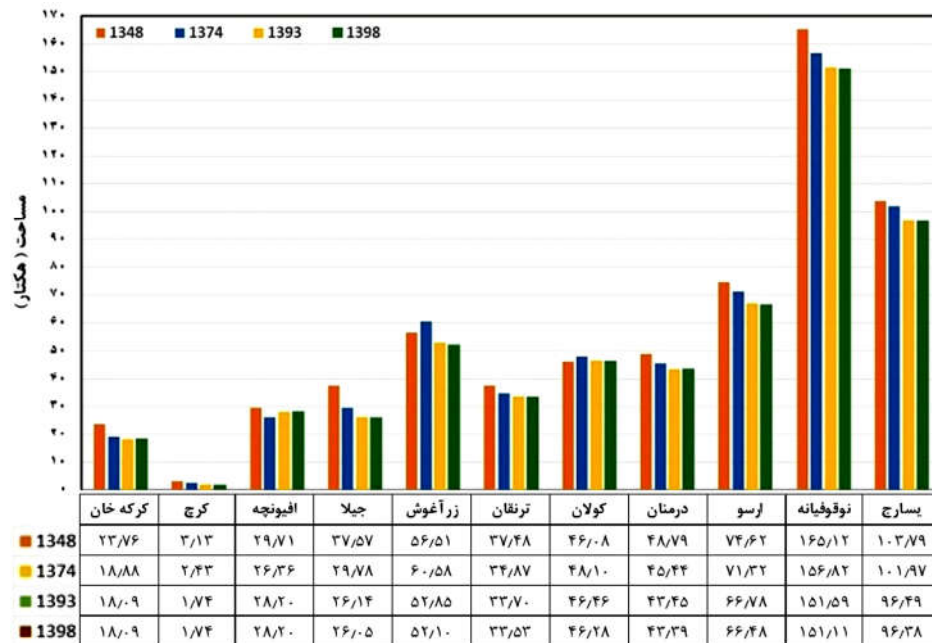
شکل ۶. مساحت کاربری‌های اراضی مختلف در محدوده تحت آبیاری انهار شهرستان خوانسار در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸



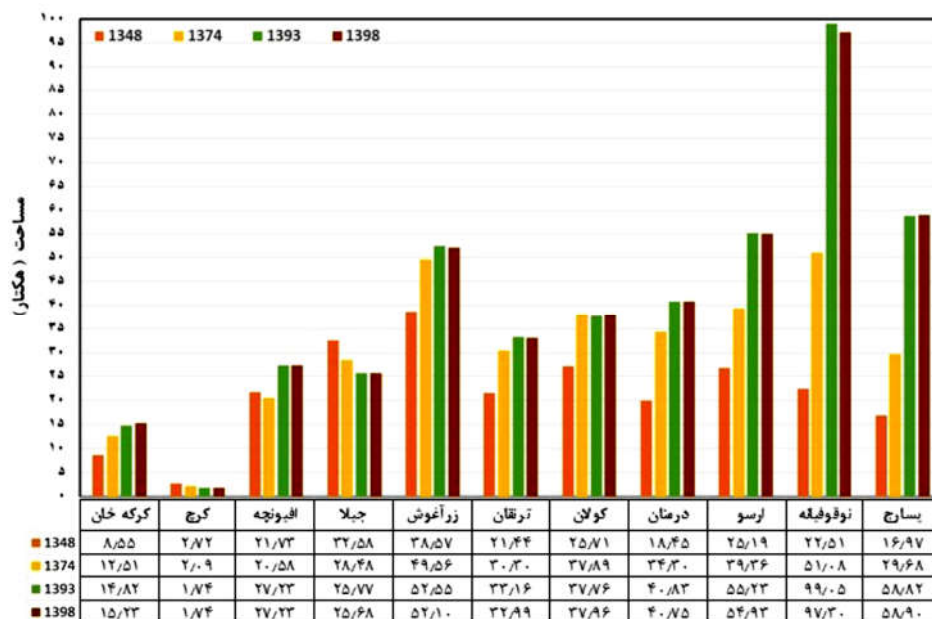
شکل ۷. مساحت خالص اراضی با کاربری شهری در محدوده تحت آبیاری هر یک از انهار یازده‌گانه شهرستان خوانسار در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸

خوانسار همسو با افزایش کاربری‌های شهری، کاهش یافته است. بر اساس بررسی‌های به‌عمل‌آمده در این پژوهش، از سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ در مجموع ۶۳/۲۱ هکتار از اراضی کشاورزی تحت آبیاری انهار یازده‌گانه به کاربری مسکونی و شهری تغییر پیدا کرده است.

تغییر کاربری پیدا کرده و به منازل مسکونی و سایر کاربری‌های شهری تبدیل شده است. مقایسه مساحت کاربری‌های اراضی کشاورزی به تفکیک باغی و زراعی و سبز در شکل ۶ نشان می‌دهد، کاربری‌های کشاورزی شامل باغی و زراعی در محدوده انهار شهرستان



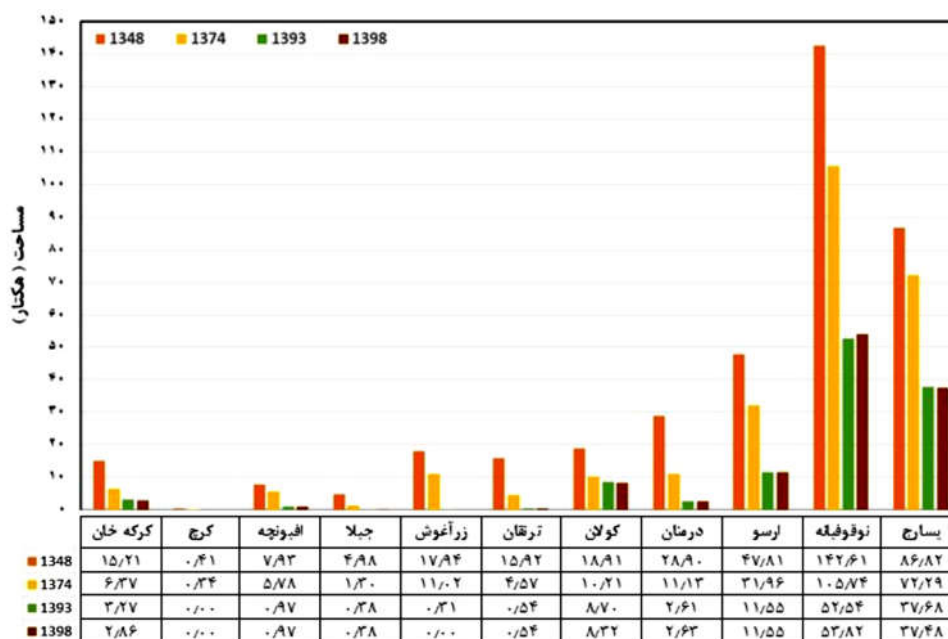
شکل ۸. مساحت اراضی خالص کشاورزی (مجموع باغ و زراعت) در اراضی تحت آبیاری انهار شهرستان خوانسار به تفکیک انهار یازده‌گانه در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸



شکل ۹. مساحت اراضی خالص باغی در اراضی تحت آبیاری انهار شهرستان خوانسار به تفکیک انهار یازده‌گانه در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸

کشاورزی مربوط به نهر نوقفیان (۹/۸۶ هکتار) است. شکل ۹ و ۱۰ وضعیت اراضی کشاورزی به تفکیک باغ و زراعت را برای هر یک از انهار ۱۱ گانه نشان می‌دهد. باتوجه‌به

مساحت اراضی خالص کشاورزی (مجموع باغ و زراعت) در سال‌های ۱۳۴۸، ۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ در شکل ۸ ارائه شده است که نشان می‌دهد، بیشترین میزان کاهش کاربری اراضی



شکل ۱۰. مساحت اراضی خالص زراعی در اراضی تحت آبیاری انهار شهرستان خوانسار به تفکیک انهار یازده گانه در سال‌های ۱۳۴۸،

۱۳۷۴، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸

افزایش نیاز آبی شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، کاربری اراضی به‌خصوص اراضی تحت پوشش انهار پایین‌دست، طی ۴۰ سال اخیر تغییرات زیادی داشته است و عمده اراضی زراعی به اراضی باغی و بخشی از اراضی کشاورزی به بافت شهری تبدیل شده است. نتایج حاصل از این پژوهش، به‌خوبی توانمندی زیاد استفاده تلفیقی از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای طیفی با قدرت تفکیک مکانی متوسط و داده‌های ماهواره‌ای طیف مرئی با تفکیک مکانی زیاد و همین‌طور استفاده از امکانات سامانه ابری گوگل ارث انجین در بررسی تغییرات اراضی کشاورزی در ادوار مختلف را نشان می‌دهد. همچنین نتایج این پژوهش، تأییدی بر چشمگیر بودن تغییرات کاربری اراضی کشاورزی و به دنبال آن، مصرف آب در محدوده انهار یازده گانه شهرستان خوانسار در دهه‌های اخیر است.

این نمودار، اگرچه روند کاهش اراضی کشاورزی در ۵۰ سال گذشته دیده می‌شود، اما میزان این تغییرات برای اراضی تحت کشت باغی و زراعی یکسان نبوده است. به‌عبارت‌دیگر، باتوجه‌به اینکه اراضی کشاورزی طی این سال‌ها ۴۸/۲ هکتار کاهش یافته است، اما طی سال‌های ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸، سطح زیر کشت باغات در مجموع ۲۰۵/۷۱ هکتار افزایش را نشان می‌دهد (۱۰۹ هکتار از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۸). سطح زیر کشت باغی تحت آبیاری انهار یازده‌گانه طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸، در مجموع ۱۵۷/۳۴ هکتار افزایش داشته است که این تغییرات، تأثیرات زیادی بر نیاز آبی به انهار گذاشته است. بدیهی است هم‌سوی با افزایش سطح زیر کشت باغی در محدوده آبخور اراضی هر نهر، سطوح زیر کشت زراعی کاهش چشمگیری نشان دهد.

نتیجه‌گیری

توسعه کشاورزی و تغییر الگوی کشت در اراضی تحت آبیاری انهار یازده گانه شهرستان خوانسار در طول زمان سبب

منابع مورد استفاده

1. Abkhan Consulting Engineers. 2013. Report on water resources balance of Golpayegan study area (4130), water resources balance update studies of the Namak Lake catchment. Iran Water Resources Management Company, basic studies of water resources, Ministry of Energy.
2. Ahmad, S. 2014. Land use change detection using remote sensing and artificial neural network: Application to Birjand, Iran. *Computational Ecology and Software* 4: 276. <http://www.iaees.org/publications/journals/ces/onlineversion.asp>
3. Campbell, J. B. and R. H. Wynne. 2011. Introduction to remote sensing. Guilford Press.
4. Chen, X., L. Vierling and D. Deering. 2005. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment*. 98 (1): 63-79. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.021>
5. Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau and R. Moore. 2017. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 202: 18-27.
6. Haque, M. I. and R. Basak. 2017. Land cover change detection using GIS and Remote Sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 20: 251-263. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.003>
7. Hegazy, I. and M. Kaloop. 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daghahia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 4: 117-124.
8. Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. P. Rodriguez, X. Gao and L. G. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83(1-2): 195-213.
9. Ji, Q., W. Liang, B. Fu, W. Zhang, J. Yan, Y. Lü, C. Yue, Z. Jin, Z. Lan, S. Li and P. Yang. 2021. Mapping Land Use/Cover Dynamics of the Yellow River Basin from 1986 to 2018 Supported by Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 13: 1299.
10. Kumar, L. and O. Mutanga. 2018. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sensing*. 10: 1509.
11. Liu, C., W. Li, G. Zhu, H. Zhou, H. Yan and P. Xue. 2020. Land Use/Land Cover Changes and Their Driving Factors in the Northeastern Tibetan Plateau Based on Geographical Detectors and Google Earth Engine: A Case Study in Gannan Prefecture. *Remote Sensing*. 12: 3139.
12. Lopez, A. D., C. D. Mathers, M. Ezzati, D. T. Jamison and C. J. Murray. 2006. Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data. *Lancet*. 367 (9524): 1747-1757.
13. Pettorelli, N., S. Ryan, T. Mueller, N. Bunnefeld, B. Jędrzejewska, M. Lima and K. Kausrud. 2011. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research*. 46(1): 15-27.
14. Reid, R. S., R. L. Kruska, N. Muthui, A. Taye, S. Wotton, C. J. Wilson and W. Mulatu. 2000. Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia. *Landscape Ecology*. 15 (4): 339-355.
15. Reis, S. 2008. Analyzing Land Use/Land Cover Changes Using Remote Sensing and GIS in Rize, North-East Turkey. *Sensors*. 8 (10): 6188-6202. <https://doi.org/10.3390/s8106188>
16. Setegn, S. G., R. Srinivasan, B. Dargahi and A. M. Melesse. 2009. Spatial delineation of soil erosion vulnerability in the Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrological Processes: An International Journal*. 23: 3738-3750. <https://doi.org/10.1002/hyp.7476>
17. Shaharum, N. S. N., H. Z. M. Shafri, W. A. W. A. K. Ghani, S. Samsatli, H. M. Prince, B. Yusuf and A. M. Hamud. 2019. Mapping the spatial distribution and changes of oil palm land cover using an open source cloud-based mapping platform. *International Journal of Remote Sensing*. 40 (19): 7459-7476.
18. Stromann, O., A. Nascetti, O. Yousif and Y. Ban. 2019. Dimensionality reduction and feature selection for object-based land cover classification based on Sentinel-1 and Sentinel-2 time series using Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 12 (1): 76.
19. Tahir, M., I. Ekwil and H. Tahir. 2013. Evaluation of land use/land cover changes in Mekelle City, Ethiopia using Remote Sensing and GIS. *Journal of Computational Ecology and Software*. 3 (1): 9-16.
20. Tewabe, D. and T. Fentahun. 2020. Assessing land use and land cover change detection using remote sensing in the Lake Tana Basin, Northwest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*. 6: 1. DOI: 10.1080/23311843.2020.1778998
21. Tsai, Y., D. Stow, H. Chen, R. Lewison, L. An and L. Shi. 2018. Mapping vegetation and land use types in Fanjingshan National Nature Reserve using Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 10: 927.
22. Valderrama-Landeros, L., F. Flores-Verdugo, R. Rodriguez-Sobreyra, J. M. Kovacs and F. Flores-de-Santiago. 2021. Extrapolating canopy phenology information using Sentinel-2 data and the Google Earth Engine platform to identify the optimal dates for remotely sensed image acquisition of semiarid mangroves. *Journal of Environmental Management*. 279: 111617.

23. Wilkie, D. S. and J. T. Finn. 1996. Remote sensing imagery for natural resources monitoring: A guide for first-time users. Columbia University Press.
24. Zurqani, H. A., C. J. Post, E. A. Mikhailova, M. A. Schlautman and J. L. Sharp. 2018. Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 69: 175-185.

The Estimation of Land Use Changes under Irrigation Water of Traditional Streams of Khansar City

B. Ebrahimi¹, M. Pasandi^{2*} and H. Nilforoushan¹

(Received: January 5-2023 ; Accepted: August 12-2023)

Abstract

The different land uses in the irrigation water area of the eleven streams of Khansar city during 1969, 1995, 2014, and 2019 have been identified and their area has been determined by analysis of the aerial photos as well as the satellite images of QuickBird, and Landsat in the Google Earth Engine (GEE) environment. Then, the net and gross areas of land under irrigation water, area of non-agricultural land uses, location and area of agricultural land uses under irrigation of the streams are separated according to the type of agricultural activity (orchard or farmland) for each stream. Aerial photos of the study area dated 1969 are the basis for the assessment of agricultural conditions before the law of Fair Water Allocation. The results showed that non-agricultural and particularly urban and residential land uses have increased since 1969. In other words, land use of part of the agricultural lands has been changed to residential and urban land uses. Despite the decreasing trend of agricultural land uses in the last 50 years, these changes have not been the same between the farm and orchard land uses and the area under orchard plantation showed an increasing trend. These changes have dramatically influenced on water demand of the streams. Land use has not significantly changed from 2014 to 2019 and no noticeable change was observed in the area of the agricultural and green agricultural lands as well as the percentage of the orchard and farming lands during these years. The results of this study confirmed the significant changes in agricultural land use and consequently water consumption in the district of the eleven streams of Khansar in recent decades. This study also highlighted the high efficiency of the combined use of aerial photos, spectral satellite images with medium spatial resolution, and visible spectral satellite data with high spectral resolution, as well as using cloud system capabilities of the Google Earth Engine to study changes in agricultural land uses during last decades.

Keywords: Land Use, Cultivated area, Remote sensing, Google earth engine (GEE), Khansar city

1. Regional Water Company of Esfahan, Isfahan, Iran.

2. Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: m.pasandi@sci.ui.ac.ir