

پایش اکولوژیکی و بررسی تغییرات مکانی- زمانی پوشش اراضی با تأکید بر مقدار مصرف آب بخش کشاورزی در محدوده زاینده رود

محسن ایرانمهر^۱، سعید پورمنافی^{۲*}، علیرضا سفیانیان^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانشیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۳/۲۴)

چکیده

فعالیت‌های انسانی در سال‌های اخیر به تغییر کاربری و پوشش زمین و به تبع آن تغییر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها منجر شده است. آشکارسازی تغییرات زمانی و مکانی کاربری‌ها برای درک روابط و تعاملات بین انسان و منابع طبیعی و همچنین اتخاذ تصمیمات مناسب حائز اهمیت است و با توجه اینکه تغییرات به وجود آمده در کاربری و پوشش اراضی در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد، فناوری سنجش از دور ابزاری مناسب برای ارزیابی این تغییرات است. هدف مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات کاربری و پوشش اراضی اطراف رودخانه زاینده رود و نیاز آبی کاربری کشاورزی با استفاده از سنجش از دور و GIS است. برای این منظور از تصاویر سنجنده OLI سال ۱۳۹۲ و ETM⁺ سال ۱۳۸۲ پس از اعمال تصحیحات و پیش پردازش‌های مورد نیاز، نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با طبقه‌بندی هیبرید، براساس پردازش رقومی حداکثر احتمال در ۱۰ کلاس کاربری تهیه شدند. از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای پایش تغییرات در این بازه ده ساله استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش از ۴۰ درصد رودخانه زاینده رود و تالاب گاوخونی در این مدت خشک شده و ساختار و پایداری فیزیکی- اجتماعی و اکولوژیکی این منطقه دچار آسیب جدی شده است. توسعه ۱۹/۲ درصدی اراضی کشاورزی در بخش غربی منطقه تحقیق مشاهده شد، به گونه‌ای که مقدار آب مصرفی در بخش غربی در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ به ترتیب ۵۲/۵۹ و ۶۰/۲۲ درصد بود و پس از آن بخش مرکزی جای داشت و کمترین مصرف آب برای کشت آبی در بخش شرقی محاسبه شد. شوره‌زارها در این مدت بیش از ۹۰ درصد توسعه یافته‌اند و توسعه شهری بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ با مساحتی در حدود ۵۵۲ هکتار در هر سال رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: پایش اکولوژیکی، زاینده رود، سنجش از دور، لندست، نیاز آبی.

مقدمه

امروزه فعالیت‌های بشر چنان گسترده شده‌اند که همه اکوسیستم‌های زمین را تا حدی تغییر داده‌اند. یکی از ابزارهای مؤثر در زمینه مطالعات محیط زیست، ساختار فیزیکی اکوسیستم‌ها و علوم زمین، استفاده از فناوری دورسنجی و بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای است [۲۱]. ۱۵. اطلاع از انواع پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در قسمت‌های مختلف و به بیان دیگر نحوه استفاده از زمین، به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نقشه‌هایی که نشان‌دهنده چنین فعالیت‌هایی در سطوح مختلف زمین باشد نقشه کاربری اراضی یا نحوه استفاده از زمین گفته می‌شود [۱۰]. با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی ایران در دهه‌های اخیر، تغییرات کاربری یکی از مهم‌ترین عواملی است که موجب خسارات جبران‌ناپذیری به محیط زیست و اکوسیستم‌های آن شده است [۲۱]. تهیه لایه پوشش و کاربری اراضی در شرایط فعلی، می‌تواند شناخت دقیقی از چند و چون منابع طبیعی منطقه تحقیق ارائه دهد [۲۶]. امروزه نقشه‌های کاربری اراضی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان اطلاعات بسیار مهمی برای دستیابی به پتانسیل‌های زراعی در هر منطقه تلقی کرد [۳۶]. با توجه به اینکه هدف اصلی فناوری سنجش از دور شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی است، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌شود که هدف از پردازش داده‌های رقومی و طبقه‌بندی آنها، شناسایی بهتر و تشخیص دقیق‌تر عوارض سطح زمین است [۱۵]. روش‌های طبقه‌بندی براساس داده‌های طیفی را روش‌های طبقه‌بندی براساس نقطه^۱ یا براساس پیکسل^۲ می‌نامند [۲۴]. یکی از کاربردی‌ترین روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، تلفیق طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده به‌همراه انتخاب نقاط تعلیمی مناسب است که از دقت بیشتری نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار است [۹،۲۰]. پوشش اراضی و تغییرات آن، متغیرهای مهمی‌اند که تأثیرات چشمگیری بر محیط زیست و فرایندهای آن می‌گذارند [۳۴]. به دلیل افزایش تغییرات کاربری اراضی آن هم اغلب تحت تأثیر

فعالیت‌های انسانی، پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی، ارزیابی روند آنها و آثار اکوسیستمی و زیست‌محیطی آنها برای برنامه‌ریزی آینده و مدیریت منابع ضروری است [۱]. از آنجا که تغییرات زیست‌محیطی برای ارائه دید کلی از محیط زیست منطقه و ساختن فرضیه‌های معتبر بر مبنای توسعه پایدار دارای اهمیت است؛ از این رو آشکارسازی این تغییرات فرایند مهمی در پایش و مدیریت منابع طبیعی و توسعه شهری محسوب می‌شود [۴۴]. کاربردترین روش به کاررفته برای آشکارسازی تغییرات که فاقد مشکلات مربوط به تصحیح رادیومتریک و اتمسفریک است، فن مقایسه پس از طبقه‌بندی^۳ است، که از استقبال زیادی برای آشکارسازی تغییرات برخوردار است. اما از آنجا که در این روش پیکسل به پیکسل نقشه‌های تولیدی با هم مقایسه می‌شوند، تصحیح هندسی درست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۳۲].

در این راستا ماهواره لندست ۸ با استفاده از سنجنده‌های تصویربرداری عملیاتی زمین (OLI)^۴ و سنجنده مادون قرمز حرارتی (TIRS)^۵ قابلیت‌های فراوانی دارند که از جمله آنها می‌توان به قدرت تفکیک طیفی بهتر با محدوده‌های باندهای باریک، افزایش چهاربرابری دقت ثبت زمینی مطلق تصاویر، تغییر هندسه تصویربرداری از Whisk Broom به Push Broom، بهبود قدرت تفکیک رادیومتریک به ۱۶ بیت و افزایش نسبت سیگنال به نویز اشاره کرد [۴].

حوضه آبخیز زاینده‌رود همچون نگینی فیروزه‌ای و درخشانده یکی از مهم‌ترین عوامل پیدایش، پایداری و استمرار حیات در طول چند هزار سال گذشته در بخش مرکزی ایران زمین بوده است. یک باستان‌شناس آلمانی به نام هانس هنینگ فوندرراوستن معتقد است در نیمه دوم هزاره چهارم قبل از میلاد مسیح ساکنان منطقه زاینده‌رود با جنوب غربی ایران ارتباط برقرار می‌کنند و تحت تأثیر فرهنگ و تمدن شهرنشینی سرزمین عیلام و جنوب غربی ایران قرار می‌گیرند و شهرنشینی را از آنها می‌آموزند و کم‌کم آبادی‌های کوچک و بزرگی در کنار زاینده‌رود پدید می‌آورند که اصفهان یکی از آنهاست [۷]. استان اصفهان

3. Post- classification
4. Operational Land Image
5. Thermal Infrared Sensor

1. Per-point
2. Per-pixel

پیشینه تحقیق

محققان متعددی از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای لندست برای ارزیابی و پایش تغییرات در اکوسیستم‌های خشکی و آبی در مطالعات خود استفاده کرده‌اند؛ کافی^۱ و همکاران با استفاده از داده‌های سنجنده OLI سال ۲۰۱۳ و ETM⁺ سال ۲۰۰۳ و با استفاده از سه الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌نشده، نظارت‌شده و مقایسه پس از طبقه‌بندی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر باچی در نیجریه را بررسی کردند [۳۵]. یاسین طاهرا^۲ و همکاران از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست سال ۱۹۸۹ و سنجنده ETM⁺ سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۲ برای پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی در یک دوره ۲۳ ساله در شهر دهوک کردستان عراق استفاده کردند. آنها از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای آشکارسازی تغییرات به‌وجودآمده استفاده کردند [۴۳]. عبدل الکاوی^۳ و همکاران از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۹، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی غرب دلتای نیل استفاده کردند [۲۷]. فتحیان و همکاران ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی را با استفاده از فناوری سنجش از دور و ارتباط آن با روند جریان رودخانه در زیرحوضه‌های شرق دریاچه ارومیه بررسی کردند [۱۹]. گاریزی و همکاران در مطالعه خود در حوضه آبخیز چهل‌چای استان گلستان از تصویر سنجنده TM سال ۱۹۸۷ و ETM⁺ سال ۲۰۰۹ ماهواره لندست برای تهیه نقشه کاربری استفاده کردند و از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای تهیه نقشه تغییرات بهره گرفتند [۲۲]. فلاحتکار از عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ سال ۱۳۳۴ و تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ سال ۱۳۸۵ میزان تغییرات کاربری و پوشش اراضی اصفهان را مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که در این دوره ۵۱ ساله مقدار آب رودخانه زاینده‌رود ۵۱ درصد کاهش داشته است [۲۰]. علوی‌پناه از داده‌های سنجنده TM برای بررسی منابع آب و رطوبت سطح‌الارض کلوت‌های بیابان لوت استفاده کرد. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که شش باند سنجنده TM کارایی زیادی در مطالعات منابع آب، رطوبت خاک و آبراهه‌ها دارند و نیز

با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه‌خشک مرکزی یکی از استان‌های کم‌آب ایران است. خشکسالی‌ها و برداشت بی‌رویه سبب کاهش منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شده و در پی آن بسیاری از چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها کم‌آب یا بی‌آب شده‌اند. از طرفی با توجه به افزایش سطح زیر کشت و افزایش جمعیت و تعداد صنایع، نیاز آبی حوضه زاینده‌رود به سرعت در حال افزایش است. زاینده‌رود مهم‌ترین شریان آبی استان اصفهان است و میانگین آبدهی دبی رودخانه در شرایط عادی، حدود ۴۰ تا ۵۰ مترمکعب در ثانیه است، ولی این مقدار در همه جای مسیر رودخانه و در سال‌های مختلف یکسان نیست و بسته به مقدار برداشت آب، تغذیه رودخانه و نفوذ آب متفاوت است، حتی در برخی سال‌ها زاینده‌رود کاملاً خشک بود و در پی عدم تأمین کامل آب مورد نیاز بخش کشاورزی، اراضی زراعی و باغ‌های استان متحمل خسارات بسیاری شدند [۱۱، ۱۷].

بازده آبیاری در استان اصفهان حدود ۴۵ درصد است که نسبت به متوسط بازده آبیاری کشور در حدود ۱۰ درصد بیشتر است. حدود ۵۵ درصد از حوضه زاینده‌رود آب زیرزمینی با کیفیت مناسب ندارد و در ۴۵ درصد باقی‌مانده حدود ۳۰ درصد مناطق ممنوع و ممنوع بحرانی است. اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی حدود ۴۰۰ میلیون متر مکعب در سال است [۵، ۶]. تالاب گاوخونی به‌عنوان تنها دریاچه آب شور در فلات مرکزی کشور عمل می‌کند. از اهمیت اکولوژیکی و زیست‌محیطی این تالاب ارزشمند نمی‌توان چشم پوشید. این تالاب عامل مؤثری در مهار روند بیابان‌زایی، تعادل اکولوژیکی (طبیعی و انسانی) و تغذیه آب‌های زیرزمینی است. در صورت رسیدگی نکردن به تالاب گاوخونی ممکن است ذرات ناشی از خشک شدن این تالاب بین‌المللی به مناطق همجوار هم برسد. این تالاب هم‌اکنون به‌سبب خشکسالی و کمبود آب ورودی در حالت بحرانی به‌سر می‌برد [۷]. تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های متعدد سنجش از دور علاوه‌بر بررسی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، پایش منابع آب و همچنین مقدار و بازده آب مصرفی در بخش‌های مختلف را آسان‌تر و با هزینه کمتر فراهم می‌کند. در این راستا بررسی و اهمیت مقدار آب مصرفی و مورد نیاز اراضی کشاورزی یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید است [۱۸].

1. Kafi

2. Yaseen Taha

3. Abd-El-Kawy

مزارع کشاورزی، فاضلاب‌های صنعتی و آلودگی‌های شهری، از منابع آلاینده این رودخانه به‌شمار می‌روند [۲۵]. درازای استان اصفهان از زردکوه بختیاری (که سرچشمه زاینده‌رود است) تا تالاب گاوخونی (که آبریز زاینده‌رود است) بیش از ۳۰۰ کیلومتر و پهنای آن از کوه‌های قهرود (که مرز شمالی آن است) تا روستای امین‌آباد (که مرز جنوبی این استان را تشکیل می‌دهد) ۲۴۰ کیلومتر نگاشته شده است [۲۰]. منطقه تحقیق، شریان اصلی رودخانه زاینده‌رود و پوشش اراضی اطراف آن است. شکل ۱ محدوده منطقه تحقیق را با یک بافر ۷۰ کیلومتر نشان می‌دهد.

داده‌های استفاده‌شده

برای رسیدن به اهداف این مطالعه از داده‌های ماهواره لندست OLI سال ۱۳۹۲ و لندست ETM⁺ سال ۱۳۸۲، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه موضوعی و اطلاعات و آمار منطقه تحقیق و همچنین مشاهدات میدانی استفاده شد و برای انتخاب هر یک از داده‌ها از لحاظ زمان و کیفیت تصاویر موارد مختلفی در نظر گرفته شد تا مناسب‌ترین داده‌ها برای مطالعه حاضر جمع‌آوری شود.

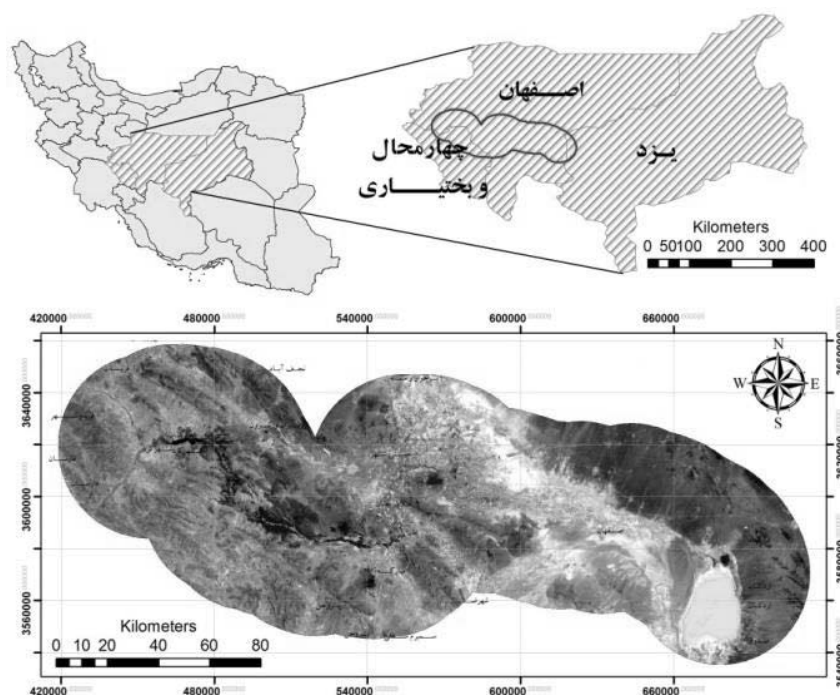
نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که PC2 کارایی خوبی برای تشخیص و شناسایی رودخانه و آبراهه‌ها دارد [۱۶].

هدف این مطالعه ارزیابی تغییرات اکوسیستم و پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی اطراف رودخانه زاینده‌رود با استفاده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ و داده‌های سنجنده ETM⁺ سال ۱۳۸۲ و نیز بررسی مقدار آب مصرفی کاربری کشاورزی در این دوره است.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

حوضه آبریز زاینده‌رود و منطقه تحقیق در مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۲۴ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت حوضه مزبور ۴۱۳۴۷ کیلومترمربع است و هیچ خروجی‌ای به دریای آزاد ندارد. این حوضه دارای اقلیم خشک یا نیمه‌خشک است. رودخانه زاینده‌رود اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب کشاورزی در حوضه آبریز زاینده‌رود است و آب برگشتی از



شکل ۱. منطقه تحقیق در حوضه آبریز زاینده‌رود

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پس از اخذ تصاویر مناسب از نظر زمانی و داشتن حداقل خطاهای احتمالی، به صورت زیر اقدام به پیش پردازش شد:

تصحیح هندسی

یک تصویر، تغییر سیستم مختصات اجزای سازنده تصویر و انطباق آن بر نقشه‌های نظیر یا تصویری است که پیشتر بر روی آن تصحیح هندسی صورت گرفته است [۱۵، ۳۰]. اعمال تصحیحات هندسی، تطابق داده‌های ماهواره‌ای با یکدیگر و با نقشه‌های توپوگرافی و نیز انتخاب نقاط کنترل زمینی به گونه‌ای انتخاب شد که میزان RMSE^۱ برای تصاویر مورد نظر کمتر از یک پیکسل محاسبه شد. خطای تصحیح هندسی تصویر پانکروماتیک سنجنده OLI، ۰/۲۳ و خطای هندسی تصویر رنگی OLI با ثبت به تصویر پانکروماتیک، ۰/۲۸ محاسبه شد. خطای تصویر ETM⁺ در ثبت به تصویر OLI، ۰/۳۳ محاسبه شد. با توجه به مطالعات پیشین و مقایسه آنها با نتایج مطالعه حاضر، می‌توان دقت زیاد در تطبیق با نقشه و ثبت تصویر به تصویر با خطای کمتر از ۰/۱ پیکسل را مؤید دقت مناسب و پذیرفتنی تلقی کرد [۳۲].

تصحیح اتمسفریک

در این مطالعه از روش چاوز^۲ به نام کاهش تیرگی پدیده^۳ برای تصحیحات رادیومتریکی استفاده شد. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آنها صفر یا نزدیک به یک است. به این ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌شود. به همین دلیل برای حذف خطای رادیومتریکی باید ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به باند کم شود. این فرایند به منظور کاهش تأثیرات پخش اتمسفری بر روی تصویر است [۳۱].

تصحیح توپوگرافی

تصحیح توپوگرافی یا نرمال‌سازی توپوگرافی، تصحیح روشنایی مختلف خورشید به دلیل شکل نامنظم منطقه است. این اثر موجب تغییرات زیادی در انعکاس دریافتی توسط سنجنده می‌شود، به طوری که در سایه، انعکاس کم و در مناطق آفتابی انعکاس زیادی داریم [۳۳]. با توجه به

وسعت زیاد منطقه تحقیق و کوهستانی بودن بخشی از منطقه، تصحیح توپوگرافی روی تصاویر چندباندی سنجنده‌های OLI، ETM⁺ با استفاده از DEM تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رومی و زوایای آزمون و ارتفاع خورشیدی^۴ و همچنین به کارگیری الگوریتم Topographic Normalize انجام گرفت.

جداسازی منطقه تحقیق بر روی تصاویر

ابتدا شاخه اصلی رودخانه زاینده رود از کل حوضه آبخیز زاینده رود جدا و یک بافر ۷۰ کیلومتر اطراف شاخه اصلی ایجاد شد. سپس برش تصاویر پس از اعمال تصحیحات به اندازه یک بافر ۷۰ کیلومتر بر روی تصویر منطقه تحقیق صورت گرفت و منطقه تحقیق با مساحتی حدود ۲۳۳۰۲۱۶ هکتار از تصویر اصلی جدا شد.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

تهیه تصاویر رنگی کاذب^۵

یکی از روش‌های مناسب ساخت تصاویر رنگی کاذب استفاده از عامل شاخص مطلوبیت است. براساس این شاخص می‌توان بهترین ترکیب باندی را که کمترین همبستگی و بیشترین واریانس را در بین تمام ترکیبات به دست آمده داشته باشد، انتخاب کرد [۱۵]. برای تصاویر OLI و ETM⁺ به ترتیب ترکیبات باندی ۴:۵:۶ و ۳:۴:۵ به عنوان بهترین ترکیبات باندی براساس شاخص OIF^۶ انتخاب شدند.

آنالیز مؤلفه‌های اصلی^۷

این آنالیز، روشی آماری است که در مورد تصاویر چندزمانه‌ای با هدف کشف تغییرات پوشش زمین یا کاربری و پوشش اراضی به کار گرفته می‌شود. یکی از ویژگی‌های روش PCA این است که در مجموعه تصاویر، همبستگی‌های اصلی را ظاهر می‌کند و در نتیجه واریانس موجود در داده‌های اولیه را به حداقل می‌رساند [۲۹]. در این مطالعه به منظور حذف اطلاعات مشترک و بهبود کیفیت تصاویر OLI و ETM⁺ به منظور بارزسازی اطلاعات غیرمشترک در باندهای طیفی این تصاویر از آنالیز مؤلفه اصلی استفاده شد.

4. Sun Azimuth & Sun Evaluation.
5. False color composite image.
6. Optimum Index Factor
7. Principal Component Analysis.

1. Room Mean Square error
2. Chavez
3. Dark Object Subtraction

تبدیل فضای رنگ

این شیوه به‌عنوان یکی از روش‌های بارزسازی تصاویر قادر است جزئیاتی از پدیده‌ها را که در مفهوم رنگی RGB نامشخص باشند آشکار کند [۴۲، ۳۸]. در این مطالعه از تبدیل IHS برای بهبود قابلیت تفسیر ترکیب‌های رنگی و بارزسازی پدیده‌ها استفاده شد.

شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده^۱

این شاخص را نخستین بار روس^۲ و همکارانش معرفی کردند [۴۱]. این شاخص در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک است و بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی دارد و در مقابل تأثیرات جوی و زمینه خاک، به‌جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد [۳۴]. NDVI از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۳۷، ۱۵].

$$NDVI = \frac{Near\ Infrared - Red}{Nearinfrared + Red}$$

در این مطالعه از شاخص NDVI برای جداسازی برخی از طبقات سبز در تهیه نقشه پوشش اراضی استفاده شد.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

روش‌های متفاوت طبقه‌بندی از جمله نظارت‌نشده، نظارت‌شده و طبقه‌بندی بر روی باندهای اصلی و مصنوعی و تلفیق این روش‌ها می‌تواند نتایج بهتر و دقیق‌تری را برای تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در پی داشته باشد. برای تهیه لایه‌های نقشه کاربری و پوشش اراضی از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده، طبقه‌بندی نظارت‌شده با روش حداکثر احتمال و نیز طبقه‌بندی دیگر ترکیبات باندی اصلی و مصنوعی استفاده شد که حاصل آن طبقه‌بندی نهایی با روش هیبرید و تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی است. قابلیت طبقه‌بندی هیبرید نسبت به استفاده از هر دو روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده به‌تنهایی، بیشتر است [۲۰، ۹].

تعیین دقت و صحت طبقه‌بندی

ارزیابی و بررسی نتایج طبقه‌بندی از مراحل مهم طبقه‌بندی محسوب می‌شود که نشان‌دهنده میزان صحت در طبقه‌بندی انجام گرفته است [۲۳]. یکی از متداول‌ترین

روش‌های بیان دقت طبقه‌بندی، تهیه ماتریس خطای طبقه‌بندی است. ماتریس خطا رابطه بین داده‌های مرجع شناخته‌شده (حقایق زمینی) و نتایج ذی‌ربط یک طبقه‌بندی خودکار را به‌صورت رده به رده مقایسه می‌کند [۳۹]. بدین منظور بعد از تولید نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲، صحت نقشه‌های تولیدشده با روش ماتریس خطا برآورد شد. برای تعیین دقت نقشه‌های تولیدی سال ۱۳۸۲ از تصاویر رنگی کاذب، نقشه‌های موضوعی و کاربری اراضی موجود و سؤال از ساکنان منطقه، استفاده شد و ۸۳ نقطه کنترل زمینی به‌طور تصادفی و با پراکندگی یکنواخت انتخاب و نقشه واقعی زمینی تهیه شد. در نهایت برای نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۲ با رعایت حداقل فاصله زمانی از تاریخ برداشت تصویر، با بازدید میدانی از منطقه و انتخاب ۹۰ نقطه کنترل زمینی و ثبت آنها توسط GPS و استفاده از تصاویر رنگی کاذب، نقشه واقعی زمینی ایجاد و دقت نقشه مربوطه محاسبه شد. در همه سال‌ها سعی شد مجموع نقاط کنترل زمینی دست‌کم ۳ تا ۴ درصد از کل مساحت هر طبقه از پوشش مورد نظر را در برگیرد [۸].

آشکارسازی تغییرات^۳

بعد از حصول اطمینان از دقت قابل قبول نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی تولیدشده با روش طبقه‌بندی هیبرید، در این مرحله با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی، نقشه کاربری و پوشش اراضی سال ۱۳۸۲ با نقشه سال ۱۳۹۲ مقایسه و ماتریس تغییرات به‌وجودآمده در این دوره ده‌ساله بررسی شد. در شکل ۲ مراحل مطالعه نشان داده شده است.

یافته‌ها

تهیه نقشه‌های پوشش اراضی

بعد از اعمال تصحیحات هندسی، اتمسفریک و توپوگرافی، نقشه کاربری و پوشش اراضی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در ۱۰ طبقه شامل اراضی کشاورزی، جنگل، دیم، مراتع، اراضی بایر و پوشش پراکنده، رودخانه، مناطق شهری، جاده‌های اصلی، رخنمون سنگی و شوره‌زارها تولید شد. ابتدا طبقه‌بندی نظارت‌نشده بر تصاویر اعمال شد و پس از

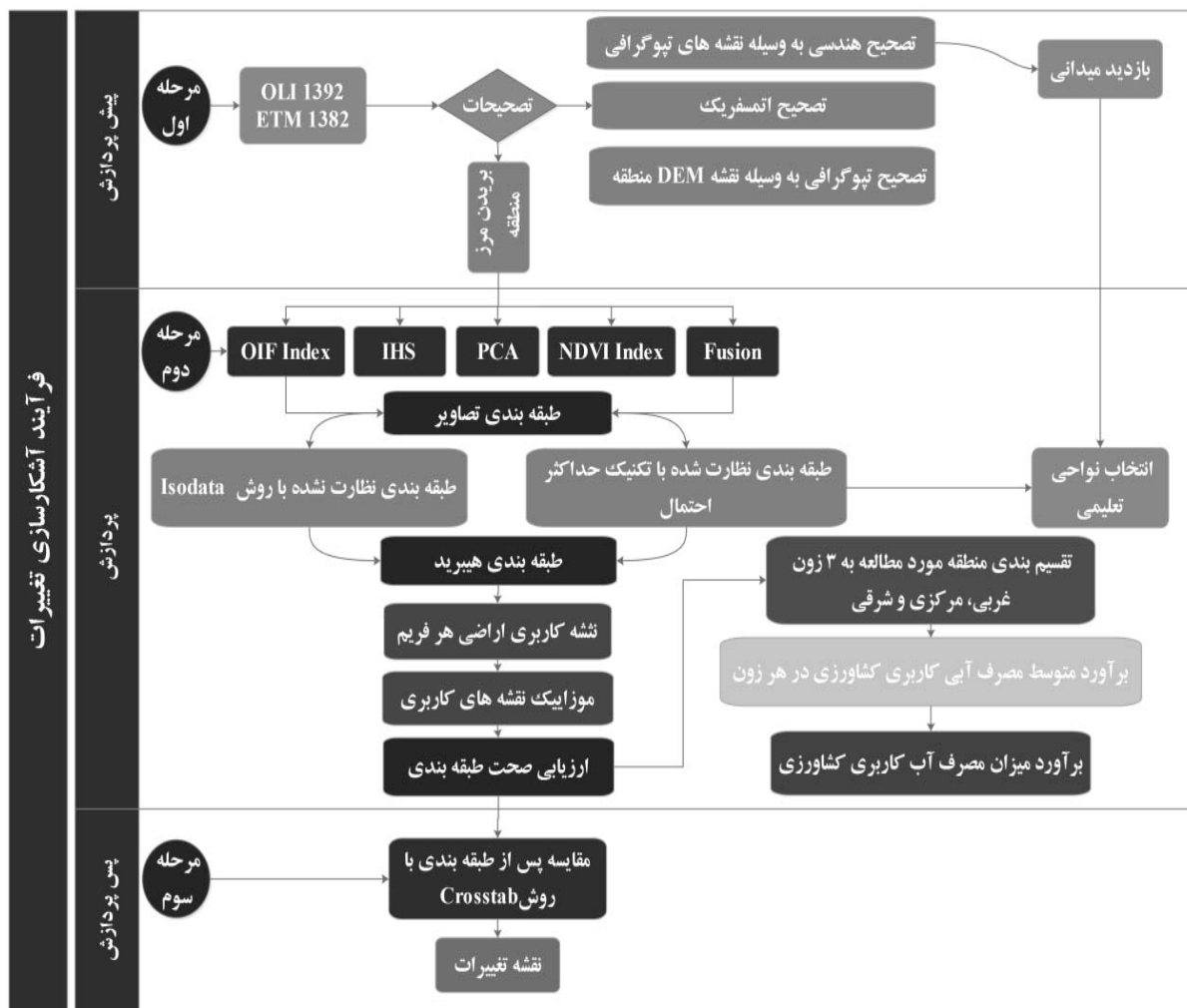
1. Normalized difference vegetation index.

2. Rouse

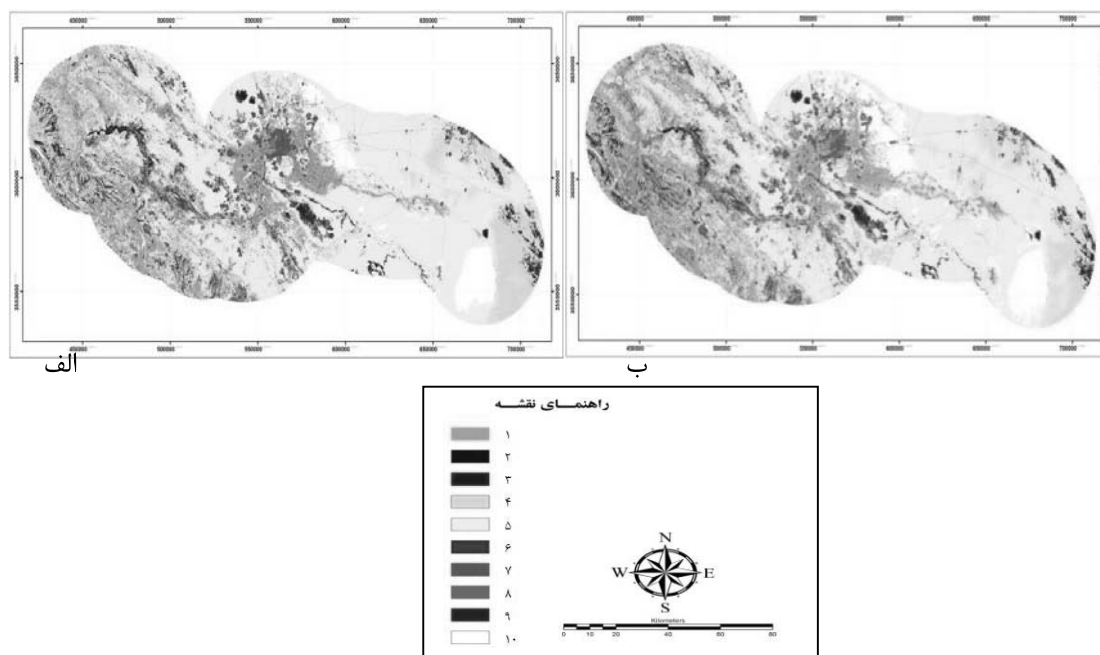
3. Change Detection.

شدند. با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده روی باندهای تلفیقی FCC و IHS با ترکیب باندی ۴، ۵ و ۹ اراضی بایر و پوشش گیاهی پراکنده و شوره‌زارها از تصویر ETM^+ استخراج شدند. لایه رودخانه نیز با طبقه‌بندی نظارت‌شده روی تصاویر رنگی کاذب در دوره‌های مذکور با دقت مناسب تفکیک شدند. همچنین از مؤلفه‌های اول، دوم و سوم PCA برای جداسازی رخنمون سنگی، شوره‌زارها و برخی از لایه‌های اطلاعاتی دیگر در تصاویر استفاده شد. از فیوژن تصاویر و تفاضل کاربری‌ها از نقشه‌های طبقه‌بندی برای تهیه لایه مناطق شهری و جاده‌ها استفاده شد. شکل ۳ طبقه‌بندی انواع کاربری و پوشش اراضی را در طول سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ نشان می‌دهد. راهنمای نقشه‌های ارائه‌شده براساس جدول ۱ است.

شناسایی طبقات و بازتاب پدیده‌های مختلف با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و بازبندی‌های میدانی بهترین نمونه‌های تعلیمی انتخاب و برای طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شدند. در پردازش تصاویر، مطابق با شاخص OIF باندهای ۴، ۵ و ۶ برای تصویر OLI و باندهای ۳، ۴ و ۵ برای تصویر ETM^+ به‌عنوان بهترین باندها برای تهیه تصویر FCC تشخیص داده شدند. سپس از طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم حداکثر احتمال و شاخص NDVI با تعریف آستانه‌های مناسب برای جداسازی اراضی کشاورزی، جنگل، دیم و مراتع و تعیین مرز بین این کاربری‌ها در تصویر سنجنده OLI استفاده شد. همچنین با کلاس‌بندی مجدد شاخص NDVI اراضی کشاورزی، جنگل، دیم و مراتع برای تصویر سنجنده ETM^+ جدا



شکل ۲. فلوجارت فرایند روش کار



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی هیبرید سال ۱۳۸۲ (الف) و سال ۱۳۹۲ (ب)

جدول ۱. راهنمای نقشه تغییرات کاربری و پوشش اراضی

| ردیف | طبقه کاربری | ردیف | طبقه کاربری |
|------|---------------------------|------|-------------|
| ۱ | اراضی کشاورزی | ۶ | رودخانه |
| ۲ | جنگل | ۷ | مناطق شهری |
| ۳ | دیم | ۸ | جاده‌ها |
| ۴ | مرتع | ۹ | رخمون سنگی |
| ۵ | اراضی بایر و پوشش پراکنده | ۱۰ | شوره‌زار |

تعیین دقت و صحت طبقه‌بندی

از آنجا که نقشه تغییرات در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها درباره اجرای پروژه‌ها استفاده می‌شود، باید صحت و دقت نقشه‌های کاربری تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه ارزیابی شود [۲۸]. بنابراین اعتماد به صحت و دقت اطلاعات کسب‌شده، تأثیر زیادی در کاربردهای آن دارد. برای این منظور از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۸۲ و بازدیدهای میدانی همزمان با برداشت تصویر برای سال ۱۳۹۲، نقشه‌های واقعیت تهیه شد و به‌منظور تعیین صحت و دقت نقشه‌های تولیدی استفاده شد. شاخص کاپا برای تصاویر OLI و ETM⁺ به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۳ و میزان صحت حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی تصاویر OLI و ETM⁺ به ترتیب ۹۱/۴۳ و ۸۸/۴۵ محاسبه شد.

محاسبه بزرگی و درصد تغییرات

بزرگی تغییرات، درجه‌ای از افزایش یا کاهش در مساحت کاربری و پوشش اراضی است. ارزش‌های منفی نشان‌دهنده کاهش مساحت و ارزش‌های مثبت نشان‌دهنده افزایش مساحت کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی هستند. بزرگی تغییرات (K) از رابطه ریاضی زیر محاسبه می‌شود:

$$K = F - I \quad (1)$$

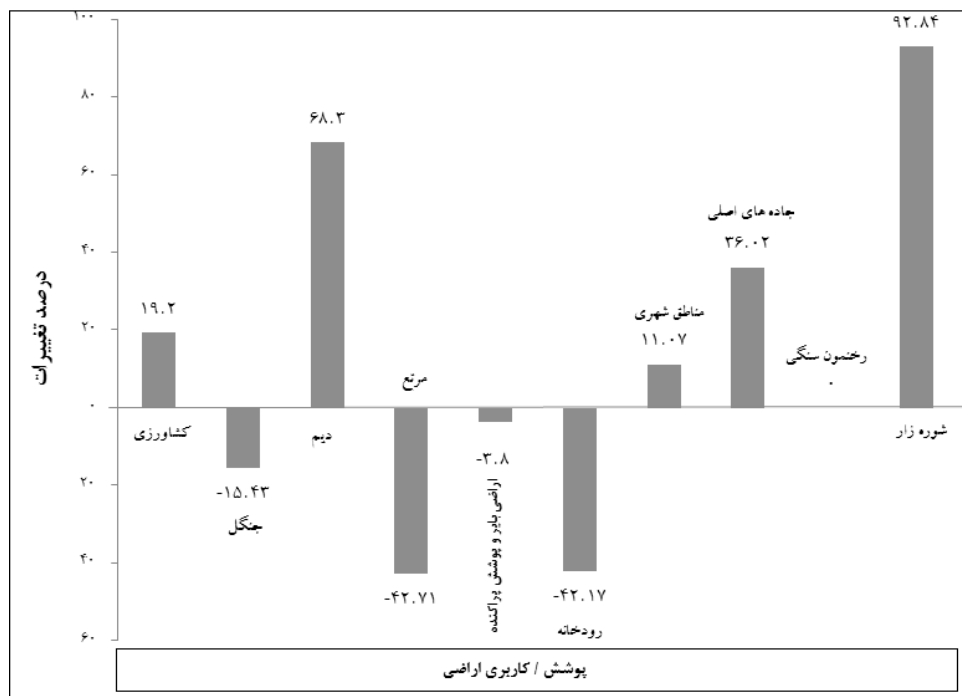
درصد تغییرات (A) نیز از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \left(\frac{F - I}{I} \right) * 100 \quad (2)$$

که K: بزرگی تغییرات، A: درصد تغییرات، F: داده اول^۱، و

1. first date

I: داده دوم^۱ است [۴۰]. در جدول ۲ مساحت کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی و بزرگی و درصد تغییرات هر یک از کلاس‌ها ارائه شده است. شکل ۴ نیز درصد تغییرات کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. درصد تغییرات کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی

جدول ۲. مساحت کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی و بزرگی و درصد تغییرات هر یک از کلاس‌ها

| درصد تغییرات | بزرگی تغییرات | ۱۳۹۲ | | ۱۳۸۲ | | کلاس‌های کاربری و پوشش اراضی |
|--------------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|------------------------------|
| | | هکتار | مساحت (هکتار) | هکتار | مساحت (هکتار) | |
| ۱۹/۲ | ۴۷۴۰/۱/۸۹ | ۱۲/۶۲ | ۲۹۴۲۰۷ | ۱۰/۵۹ | ۲۴۶۸۰۵/۱۱ | اراضی کشاورزی |
| -۱۵/۴۳ | -۷۲۱۲/۳۳ | ۱/۶۹ | ۳۹۵۰۱ | ۲ | ۴۶۷۱۳/۳۳ | جنگل |
| ۶۸/۳ | ۱۵۶۸۱ | ۱/۶۵ | ۳۸۶۳۷/۱ | ۰/۹۸ | ۲۲۹۵۶/۰۳ | دیم |
| -۴۲/۷۱ | -۱۳۲۹۹۴ | ۷/۶۵ | ۱۷۸۳۹۴ | ۱۳/۳۶ | ۳۱۱۳۸۸ | مراتع |
| -۳/۸ | -۵۰۸۹۰ | ۵۵/۱۶ | ۱۲۸۵۳۶۰ | ۵۷/۳۴ | ۱۳۳۶۲۵۰ | اراضی بایر و پوشش پراکنده |
| -۴۲/۱۷ | -۳۰۶۰ | ۰/۱۸ | ۴۱۹۶/۱۶ | ۰/۳۱ | ۷۲۵۶/۱۶ | رودخانه |
| ۱۱/۰۷ | ۵۵۱۶/۴ | ۲/۳۷ | ۵۵۳۲۱ | ۲/۱۳ | ۴۹۸۰۴/۶ | مناطق شهری |
| ۳۶/۰۲ | ۳۶۸۶/۱ | ۰/۵۹ | ۱۳۹۱۸ | ۰/۴۳ | ۱۰۲۳۱/۹ | جاده‌های اصلی |
| ۰ | ۰ | ۷/۱۹ | ۱۶۷۵۵۵ | ۷/۱۹ | ۱۶۷۵۵۵ | رخنمون سنگی |
| ۹۲/۸۴ | ۱۲۱۸۷۱ | ۱۰/۸۶ | ۲۵۳۱۲۷ | ۵/۶۳ | ۱۳۱۲۵۶ | شوره‌زارها |

مقایسه نقشه‌های تولیدی

از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای مقایسه نقشه‌های تولیدی به منظور آشکارسازی تغییرات استفاده شد. این روش علاوه بر اینکه بزرگی تغییرات را نشان می‌دهد، ماهیت تغییرات از یک طبقه به طبقه دیگر را نیز نشان می‌دهد. به منظور مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی از آنالیزهای پس از طبقه‌بندی و جدول‌های متعامد استفاده شد. کافی و همکاران و نیز یاسین طاه و همکاران از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی و جدول‌های متعامد برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در مطالعات خود استفاده کردند [۴۳، ۳۵].

بحث و نتیجه‌گیری

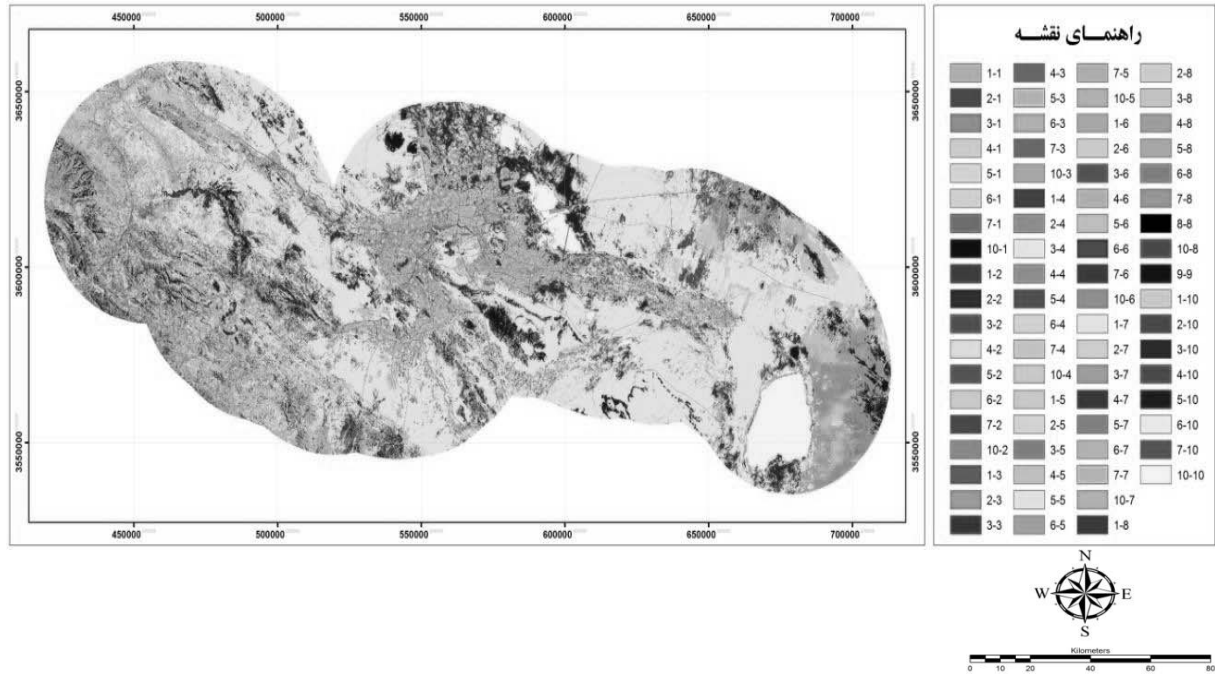
تغییرات پوشش اراضی بین سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۲

در این دوره ده‌ساله بیش از نیمی از اراضی کشاورزی بدون تغییر باقی مانده است و حدود ۲۳ درصد از این اراضی با توجه به خشک‌سالی‌های به‌وجودآمده در این دوره به اراضی بایر تبدیل شده‌اند. با توجه به اینکه بیشتر زمین‌های کشاورزی استان اصفهان در محدوده میانی و حاشیه زاینده‌رود واقع شده‌اند، این تغییرات بیشتر در منطقه شرقی اصفهان مشاهده شد و در این مدت افزایش ۱۹/۲ درصدی داشته‌اند. همچنین ۲۴ درصد از اراضی جنگلی غرب و جنوب غرب که مرکز اصلی تولیدات کشاورزی و باغی است تخریب شده است که از آب چاه برای آبیاری زمین‌های تخریب‌شده استفاده می‌کنند و در مجموع ۱۵/۴۳ درصد از وسعت جنگل‌های غرب کاسته شده است. با افزایش تقاضا برای کشاورزی ۳۷ درصد کشت دیم به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند که این زمین‌ها در بخش غربی به‌خوبی مشاهده می‌شود که یکی از دلایل آن کمبود زمین‌های کشاورزی در منطقه غربی و کمبود آب در بخش شرقی منطقه تحقیق است که سبب شده است زمین‌های دیم به کشت آبی در منطقه غربی اختصاص پیدا کنند و استفاده از آب‌های زیرزمینی در مصارف بخش کشاورزی افزایش یابد. از کل مصارف آب در بخش کشاورزی حدود ۸۰ درصد نیاز آبی کشاورزان را آب‌های زیرزمینی تأمین می‌کند و ۲۰ درصد باقی‌مانده از آب‌های سطحی تأمین می‌شود [۲].

۶۸ درصد افزایش زمین‌های دیم مربوط به کشت نشدن بسیاری از زمین‌های کشاورزی در بخش شرقی است که پوششی اندک پیدا کرده‌اند و بازتابی شبیه دیم دارند. مراتع نیز در این دوره حدود ۴۳ درصد کاهش یافته است. ۴۰ درصد از اراضی مرتعی که در قسمت شرق اصفهان و حاشیه شرقی زاینده‌رود قرار داشتند در این دوره به اراضی بایر تبدیل شدند که از جمله دلایل اصلی این تغییر می‌توان همجوار بودن بیش از نیمی از استان با کویر و بیابان‌های بزرگ و بارندگی اندک و خشکسالی‌های دوره‌ای و همچنین تبخیر و تعرق زیاد را نام برد. در پی بهره‌برداری از سد مخزنی زاینده‌رود و افزایش ورودی به مخزن سد با بهره‌برداری از تونل‌های کوهرنگ ۱ و ۲ و چشمه لنگان، فعالیت‌های اقتصادی استان رشد و توسعه زیادی یافت و در نتیجه نیازهای آبی استان افزایش چشمگیری پیدا کرد [۱۴، ۱۲]. با توجه به خشکسالی اخیر سال ۹۰-۱۳۸۹ و کاهش منابع آب به میزان ۱/۸ برابر نسبت به سال ۱۳۸۲ و محدودیت منابع آب از یک سو و افزایش نیازهای روزافزون استان در پی رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های اقتصادی از سوی دیگر، استان با تهدید جدی در زمینه تأمین منابع آب مواجه شده است. این در حالی است که حدود ۲۴ درصد از رودخانه زاینده‌رود به کشاورزی و ۲۱ درصد به اراضی بایر تبدیل شده‌اند که در مجموع حدود ۴۴ درصد از مساحت دارای آب رودخانه زاینده‌رود در سال ۱۳۹۲ باقی‌مانده است و ۵۶ درصد به دیگر کاربری‌ها انتقال یافته‌اند که می‌تواند هشدار برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران منطقه باشد. شهرها در این دوره رشد چشمگیری نداشته است و توسعه شهرها در این مدت حدود ۱۱ درصد بوده است [۱۳]. در این دوره ۱۰ درصد از اراضی شهری به اراضی بایر تبدیل شده است که با توجه به توانایی زیاد سنجنده OLI نسبت به سنجنده ETM⁺ در جداسازی مناطق شهری موجب شد در هنگام تفکیک مناطق شهری و اراضی بایر در تصاویر سنجنده ETM⁺ نیز گاهی اراضی بایر با شهر تداخل بازتاب داشته باشد. ژا و گائو^۱ در سال ۲۰۰۳ به بازتاب مشابه اراضی بایر اطراف مناطق شهری با خود مناطق شهری اشاره کرده‌اند [۴۵]. شوره‌زارها نیز در این مدت بیش از ۹۰ درصد گسترش یافته‌اند و این توسعه بیشتر در شرق و شمال

اصفهان مشاهده می‌شود. شکل ۵ نقشه تبدیل کاربری‌ها را بین سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ نشان می‌دهد همچنین در جدول ۳ روند تغییرات پوشش اراضی بین سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۲ بر حسب هکتار ارائه شده است. در این جدول همان‌طور که بیان شد، تغییر یا عدم تغییر هر یک از طبقات به طبقات دیگر آورده شده است.

اصفهان مشاهده می‌شود. شکل ۵ نقشه تبدیل کاربری‌ها را بین سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ نشان می‌دهد همچنین در جدول ۳ روند تغییرات پوشش اراضی بین سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۲ بر حسب هکتار ارائه شده است. در این جدول همان‌طور که بیان شد، تغییر یا عدم تغییر هر یک از طبقات به طبقات دیگر آورده شده است.



شکل ۵. نقشه تغییرات بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲

جدول ۳. روند تغییرات پوشش اراضی بین سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۲ بر حسب هکتار

| جمع | شورزار | رخمون سنگی | جاده‌های اصلی | مناطق شهری | رودخانه | اراضی بایر و پوشش پراکنده | مرتع | دیم | جنگل | اراضی کشاورزی | ۱۳۸۲ ↓ ← ۱۳۹۲ |
|---------|----------|------------|---------------|------------|---------|---------------------------|-----------|----------|----------|---------------|---------------------------|
| ۲۹۴۲۰۷ | ۱۰۲۷۵/۷۵ | . | . | ۴۰۲۵/۵۲ | ۱۷۰۵/۴۱ | ۶۸۰۰۲/۰۱ | ۵۵۵۰۴/۰۸ | ۸۵۰۰/۱۴ | ۱۱۰۱۰/۵۱ | ۱۳۵۱۸۲/۳۴ | اراضی کشاورزی |
| ۳۹۵۰۱ | ۱۱۰/۸۸ | . | . | ۵۷/۶۹ | ۱۷۷/۱۲ | ۲۶۹۳/۴۳ | ۱۱۶۹۳/۳۴ | ۲۹/۸۸ | ۱۸۸۹۸/۴۷ | ۵۸۴۰/۴۶ | جنگل |
| ۲۸۶۳۷/۱ | ۴۶۲/۱۵ | . | . | ۷۳۹/۸ | ۱۷۷/۰۳ | ۱۴۶۹۴/۵۷ | ۷۳۹۹/۹۸ | ۵۳۵۸/۹۶ | ۲۰۴/۳۹ | ۹۶۰۰/۳ | دیم |
| ۱۷۸۳۹۴ | ۱۴۱۷/۸۶ | . | . | ۴۲۱/۵۶ | ۳۰۶/۴۵ | ۳۸۷۵۹/۲۲ | ۱۱۰۶۰۹/۱ | ۵۷۷/۸ | ۵۵۳۲/۶۶ | ۲۰۷۶۹/۵۷ | مرتع |
| ۱۲۸۵۳۶۰ | ۲۰۴۴۴/۳۱ | . | . | ۵۲۴۱/۰۶ | ۱۴۹۲/۱۱ | ۱۰۶۳۶۲۳/۶ | ۱۲۲۸۶۰/۴۴ | ۴۹۳۵/۹۶ | ۱۰۱۵۳/۷۱ | ۵۶۶۰۸/۷۴ | اراضی بایر و پوشش پراکنده |
| ۴۱۹۶/۱۶ | ۳۴/۳۸ | . | . | ۲۸/۰۸ | ۳۱۵۳/۰۶ | ۲۵۳/۸ | ۸۳/۰۷ | ۱/۶۲ | ۱۰۲/۴۲ | ۵۳۹/۷۳ | رودخانه |
| ۵۵۳۳۱ | ۷۹۱/۰۱ | . | . | ۳۸۴۰۹/۳ | ۳۱/۴۱ | ۱۰۶۴۴/۳۹ | ۵۵۸/۶۳ | ۱۳۹/۰۵ | ۲۲۶/۹۸ | ۴۵۲۰/۰۷ | مناطق شهری |
| ۱۳۹۱۸ | ۲۶/۳۷ | . | ۱۰۲۳۱/۹ | ۴۸۷/۹۳ | ۱۱/۹۷ | ۲۴۲۴/۰۸ | ۲۲۳/۴۴ | ۱۵/۹ | ۹۵/۲۸ | ۴۰۰/۸۴ | جاده‌ها |
| ۱۶۷۵۵۵ | . | ۱۶۷۵۵۵ | . | . | . | . | . | . | . | . | رخمون سنگی |
| ۲۵۳۱۲۷ | ۹۷۶۹۳/۲۹ | . | . | ۳۹۳/۶۶ | ۲۰/۱۶ | ۱۳۵۱۵۳/۹ | ۲۴۵۵/۹۲ | ۳۳۹۶/۶۹ | ۴۸۸/۸۸ | ۱۳۳۴۲/۹۵ | شورزار |
| ۲۳۳۰۲۱۶ | ۱۳۱۲۵۶ | ۱۶۷۵۵۵ | ۱۰۲۳۱/۹ | ۴۹۸۰۴/۶ | ۷۲۵۶/۱۶ | ۱۳۳۶۲۵۰ | ۳۱۱۳۸۸ | ۲۲۹۵۶/۰۳ | ۴۶۷۱۳/۳۳ | ۲۴۶۸۰۵/۱۱ | جمع |

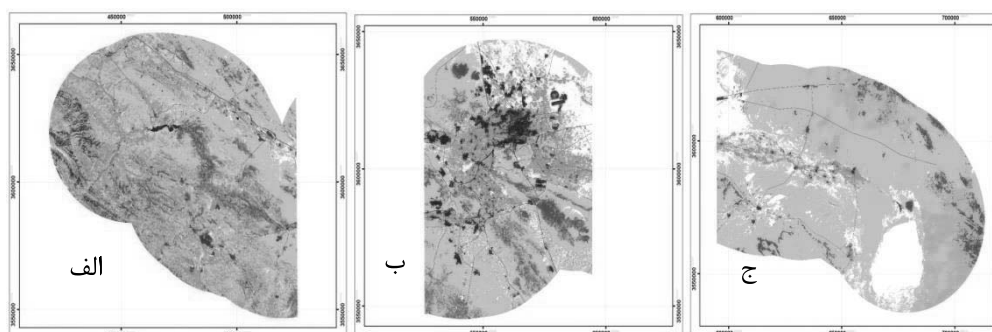
افزایش تعداد چاه‌ها و تشدید کاهش افت سطح آب‌های زیرزمینی در این منطقه شده است. به‌گونه‌ای که حدود ۷۹/۹۲ درصد از کل مصارف آب در حوضه از آب‌های زیرزمینی و فقط حدود ۲۰/۰۸ درصد از منابع آب سطحی تأمین می‌شد. بیشترین مصرف آب در این دوره مربوط به زیرحوضه پایاب زاینده‌رود و پس از آن زیرحوضه میان زاینده‌رود و کمترین مصرف مربوط به زیرحوضه جنوب تالاب گاوخونی بوده است.

مقدار آب مصرفی اراضی تحت کشت آبی در سال ۱۳۹۲ حدود ۳ میلیارد و ۱۰۰ میلیون متر مکعب برآورد شد. با کاهش حجم آب ورودی به مخزن سد زاینده‌رود در سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ در سال‌های آبی ۸۹-۱۳۸۴ این مقدار افزایش یافت، اما پس از این سال‌ها باز هم در پی وقوع خشکسالی‌ها، حجم آب ورودی به مخزن سد زاینده‌رود کاهش یافت، به‌طوری که در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ این میزان به ۹۴۳ میلیون متر مکعب رسید که در حدود ۶۵ درصد متوسط حجم ورودی به مخزن سد بوده است. روند تغییرات سطح کاشت آبی در استان اصفهان در فاصله سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۸۵-۱۳۸۴ افزایشی بود و پس از آن سطوح اختصاص داده‌شده برای کاشت آبی کاهش یافت و در سال ۸۸-۱۳۸۷ به کمترین حد خود رسید (۲۲۹ هزار هکتار). این مقدار در سال ۸۹-۱۳۸۸، ۲۷ هزار هکتار افزایش یافت و به سطحی معادل ۲۵۷ هزار هکتار رسید. روند تغییرات سطح کاشت آبی در استان اصفهان در فاصله سال‌های ۸۱-۱۳۸۰ تا ۸۹-۱۳۸۸ در شکل ۷ ارائه شده است [۱۲].

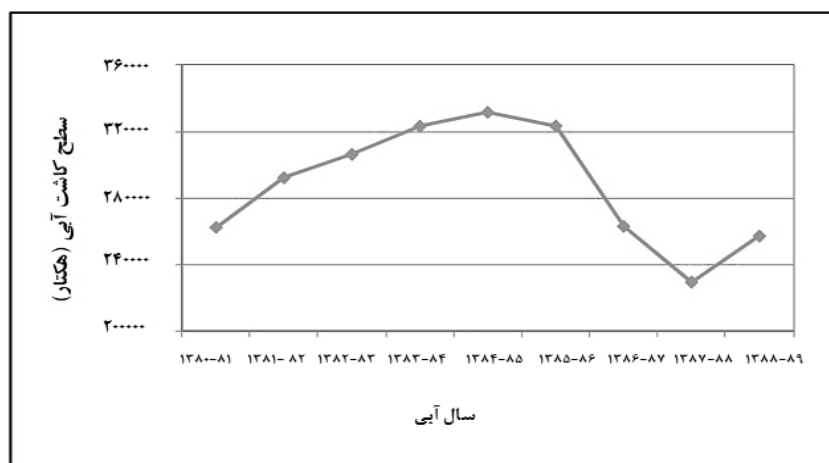
مقدار آب مصرفی کاربری کشاورزی در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ و بررسی روند تغییرات آن

برای این منظور منطقه تحقیق به سه بخش غربی، مرکزی و شرقی تقسیم شد (شکل ۶). بخش غربی از بالادست سد زاینده‌رود تا اطراف کارخانه ذوب‌آهن است. این بخش مرکز اصلی تولیدات باغی و زراعی با کشت فشرده است. بخش مرکزی منطقه شهری و کشاورزی‌های اطراف آن را در بر می‌گیرد و دلیل انتخاب بخش شرقی نیز همجواری با کویر و کاهش اراضی تحت کشت آبی است. مساحت کاربری کشاورزی در هر سه بخش با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد. مقدار متوسط آب مصرفی کاربری کشاورزی برای سال‌های آبی ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ در هر سه بخش با استفاده از داده‌های منابع آبی استان اصفهان محاسبه شد و در نهایت مقدار آب مصرف‌شده کاربری کشاورزی در هر بخش به‌دست آمد. در جدول ۴ مساحت کاربری کشاورزی، متوسط مصرف آب در هر بخش و مقدار مصرفی آب کاربری کشاورزی در هر سال ارائه شده است.

مقدار آب مصرفی اراضی تحت کشت آبی در سال ۱۳۸۲ حدود ۲ میلیارد و ۹۰۰ میلیون متر مکعب برآورد شد. این مقدار آب مصرفی در پی شرایط خشکسالی سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۸-۱۳۸۷ که استان در تنش آبی شدید قرار داشت و رودخانه زاینده‌رود کاملاً خشک بود، از مقدار ریزش‌های جوی و حجم آب ورودی به سد بسیار بیشتر بود و کشاورزان برای تأمین نیاز آبی خود اقدام به حفر چاه در مناطق مختلف کردند که این کار سبب



شکل ۶. الف) زون غربی (ب) زون مرکزی (ج) زون شرقی



شکل ۷. روند تغییرات سطح کاشت آبی در استان اصفهان در فاصله سال‌های ۱۳۸۰-۸۱ تا ۱۳۸۸-۸۹.

جبهه‌های شرقی حوضه و نیز پیشروی آب‌های زیرزمینی شور حاشیه کویر شرقی حوضه به طرف آب‌های شیرین و همچنین شور شدن بسیاری از زمین‌های حوضه شرقی زاینده‌رود دانست. با افزایش بازده آبیاری و توجه به منابع آب‌های غیرمتعارف که در حال حاضر از نیمی از آنها بهره‌برداری می‌شود می‌توان مصرف بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده را کاهش داد. کاهش مصرف در صورت افزایش بازده و عدم توسعه اراضی آبی تحت کشت، اجرایی خواهد بود [۱۲].

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار آب در بخش غربی به مصرف رسیده است و بیشترین اراضی کشاورزی در این بخش قرار دارند و در نتیجه نیاز آبی در این بخش بیشتر است و در طی این دوره، بخش شرقی کمترین مصرف را برای کاشت آبی داشته است و این مربوط به افزایش زمین‌های کشاورزی در بخش غربی نسبت به شرق است که نیازمند آب بیشتری برای کشاورزی بوده‌اند. یکی از دلایل این تغییر کشت از شرق به غرب را می‌توان پیشروی کویر از

جدول ۴. مقدار آب مصرفی کاربری کشاورزی در سال‌های آبی ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲

| مقدار آب مصرفی در هر سال (m ³) | مقدار آب مصرفی در هر زون (m ³) | متوسط مصرف (m ³ /h) | مجموع مساحت کشاورزی در هر سال (ha) | مساحت اراضی کشاورزی هر زون (ha) | زون |
|--|--|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| | ۱۵۳۱۰۲۴۵۴۱ | ۱۱۷۳۱ | | ۱۳۰۵۱۱ | زون غربی ۱۳۸۲ |
| ۲۹۱۰۹۳۵۲۱۵ | ۱۲۰۸۴۳۵۴۷۶ | ۱۲۱۵۰ | ۲۴۶۸۰۵/۱۱ | ۹۹۴۵۹/۷۱ | زون مرکزی ۱۳۸۲ |
| | ۱۷۱۴۷۵۱۹۸ | ۱۰۱۸۶ | | ۱۶۸۳۴/۴ | زون شرقی ۱۳۸۲ |
| | ۱۸۷۱۴۰۵۵۱۴ | ۱۰۶۲۹ | | ۱۷۶۰۶۶ | زون غربی ۱۳۹۲ |
| ۳۱۰۷۳۸۰۱۰۳ | ۹۶۷۹۲۸۴۸۹ | ۱۰۷۶۹ | ۲۹۴۲۰۷ | ۸۹۸۸۱ | زون مرکزی ۱۳۹۲ |
| | ۲۶۸۰۴۶۱۰۰ | ۹۴۸۵ | | ۲۸۲۶۰ | زون شرقی ۱۳۹۲ |

هستیم، بسیار مهم است که این‌گونه تغییرات با دقت پایش شوند. بی‌توجهی به نتایج معکوس استفاده نادرست از اکوسیستم‌ها و تخریب آنها، سبب کاهش رفاه بالقوه انسان و همچنین افزایش هزینه‌های واقعی نگهداری از این اکوسیستم‌ها در بلندمدت می‌شود. در این مطالعه تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی و مقدار آب

در سال‌های اخیر استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات کشاورزی و تهیه نقشه‌های موضوعی گسترش فراوانی پیدا کرده است. تهیه نقشه کاربری/ پوشش اراضی و تفکیک اراضی از اطلاعات بسیار مهم برای مدیریت و نظارت زیست‌محیطی است و از آنجا که در زندگی روزمره به‌صورت مداوم شاهد تغییرات این اراضی

منابع

[۱]. آرخی، صالح؛ نیازی، یعقوب، ۱۳۸۹، ارزیابی روش‌های مختلف سنجش از دور برای پایش تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی حوضه دره‌شهر- استان ایلام)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۱، ۹۳-۷۴.

[۲]. آمایش سرزمین و سند راهبردی توسعه استان اصفهان، ۱۳۹۲، استانداری اصفهان، معاونت برنامه‌ریزی، بخش منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۳]. باعقیده، محمد؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائیان، پرویز، ۱۳۹۰، بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره چهارم، ۱۶-۱.

[۴]. بیاتانی، علی، ۱۳۹۲، معرفی نسل جدید ماهواره‌های لندست (لندست ۸)، مجله علوم زمین و معدن، گروه دورسنجی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۸، ۳۰-۲۵.

[۵]. جعفری، احمد؛ محلوجی، مهرداد؛ مامن‌پوش، علیرضا، ۱۳۸۶، برآورد راندمان آبیاری و مقدار آب مصرفی در کشاورزی استان اصفهان، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، بهمن ۸۶، ایران.

[۶]. حلبیان، امیرحسین؛ شبانکاری، مهران، ۱۳۸۹، مدیریت منابع آب در ایران (مطالعه موردی: چالش‌های انتقال آب از بهشت‌آباد به زاینده‌رود)، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، فروردین ۱۳۸۹، ایران.

[۷]. حلبیان، امیرحسین؛ خلیلی ورزنه، رضا، ۱۳۹۲، عوامل نابودی تالاب گاوخونی نگین فیروزه‌ای فلات مرکزی ایران و تأثیرات آن در ایجاد بحران آب در شرق اصفهان، اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، اردیبهشت ماه ۹۲، ایران.

[۸]. درویش‌صفت، علی اصغر، ۱۳۷۷، برآورد صحت نقشه‌های موضوعی پایگاه داده GIS، پنجمین همایش سالانه اطلاعات جغرافیایی، تهران، ایران.

مصرفی کاربری کشاورزی اطراف رودخانه زاینده‌رود به‌عنوان یک اکوسیستم ارزشمند در استان اصفهان انجام گرفت. این ناحیه یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی ایران است و موضوع این گزارش بررسی تغییرات این ناحیه در چند سال گذشته است. در این مطالعه از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی برای آشکارسازی تغییرات استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات به‌وجودآمده در منطقه چشمگیر بوده است و خشک شدن رودخانه زاینده‌رود (بیش از ۴۰ درصد) که شریان اصلی این شهر بزرگ است کاربری‌های زیادی را از لحاظ تأمین آب با بحران مواجه کرده است. همچنین افزایش جمعیت و متعاقب آن افزایش تقاضا برای کشاورزی، کشاورزان را به استفاده از آب‌های زیرزمینی هدایت می‌کند. خشکسالی‌های چند دهه اخیر سبب تخریب اکوسیستم تالاب گاوخونی و همچنین استفاده از آب‌های زیرزمینی سبب افزایش وسعت شوره‌زارها (افزایش ۹۲ درصدی) شده است. با توجه به بحران ناشی از کم‌آبی در حوضه زاینده‌رود و نیاز روزافزون به منابع آبی در پی رشد جمعیت و توسعه زاینده در بخش‌های کشاورزی و صنعت که مسبب ناپایداری در مدیریت سنتی منابع آب به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ نظیر حوضه‌های آبخیز و تحت شعاع قرار گرفتن اراضی کشاورزی شده است، پیشنهاد می‌شود:

- برای مقابله با بحران آب، ضرورت مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه زاینده‌رود در نظر گرفته شود.
- اجرای طرح انتقال آب از رودخانه بهشت‌آباد از سرشاخه‌های کارون به زاینده‌رود، که به‌تازگی مطرح شده است همراه با ملاحظات زیست‌محیطی؛
- لحاظ دیدگاه‌های مختلف در محیط فیزیکی، اجتماعی- اقتصادی، بیولوژیکی به‌منظور حفظ تعادل اجزای محیط و ارتباطات آنها؛
- تغییر الگوی کشت و استفاده از کشت‌های با نیاز آبی کم برای مقابله با تنش آبی.

نتایج تحقیق می‌تواند زمینه مناسبی برای برنامه‌ریزان محیط زیست باشد تا قبل از تغییر کاربری‌ها ارزش واقعی اکوسیستم‌ها و خدمات نشأت‌گرفته از آنها را بشناسند؛ همچنین نتایج این تجزیه و تحلیل‌ها می‌تواند رابطه‌ای پایه‌ای میان کاربری و پوشش اراضی و فرایندهای سطح زمین مانند سیل خیزی و فرسایش فراهم کند.

- [۹]. روستا، زهرا؛ منوری، سید مسعود؛ درویشی، مهدی؛ فلاحتی، فاطمه، ۱۳۹۱، کاربرد داده‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی شهر شیراز، مجله آمایش سرزمین، سال چهارم، شماره ششم، : ۱۶۴-۱۴۹.
- [۱۰]. زبیری، محمود؛ مجد، علیرضا، ۱۳۹۰، آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد آن در منابع طبیعی (اطلاعات ماهواره ای، عکس‌های هوایی، فضایی، چاپ نهم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- [۱۱]. سیدحسینی، سیدحسین، ۱۳۹۲، احیاء زاینده‌رود و مقابله با بحران خشکسالی با اجرای طرح جامع آب‌خیزداری شهری، اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، اردیبهشت ماه ۹۲. ایران.
- [۱۲]. طرح پایه آمایش استان اصفهان، ۱۳۸۹، استانداری اصفهان، معاونت برنامه‌ریزی، دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، شناخت وضع موجود و روند گذشته منابع طبیعی و محیط زیست، منابع آب، ویرایش اول، معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [۱۳]. طرح پایه آمایش استان اصفهان، ۱۳۸۹، استانداری اصفهان معاونت برنامه‌ریزی، بخش دوم، شناخت وضع موجود و روند گذشته نظام سکونتگاهی و جمعیت، ویرایش اول، معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [۱۴]. طرح پایه آمایش استان اصفهان، ۱۳۸۹، استانداری اصفهان معاونت برنامه‌ریزی، بخش سوم، شناخت وضع موجود و روند گذشته ویژگی‌های اقتصادی، کشاورزی و اشتغال، ویرایش اول، معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [۱۵]. علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۹۱، اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- [۱۶]. علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۱، بررسی منابع آب و رطوبت سطح الارض کلوتهای بیابان لوت با استفاده از داده‌های ماهواره ای، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۷، : ۶۹-۵۷.
- [۱۷]. علویزاده، سید امیرمحمد، ۱۳۹۰، بررسی بحران آب در بخش کشاورزی اثرات و راهکارهای مقابله با آن مطالعه موردی دهستان اسفرجان (شهرستان شهر رضا)، همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی، اصفهان، ایران.
- [۱۸]. فتاحی، محمد مهدی، ۱۳۹۰، سنجش از دور کاربردی اصول علمی تهیه نقشه‌های موضوعی از تصاویر ماهواره ای (کاربرد در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست) چاپ اول، انتشارات مرز دانش، تهران.
- [۱۹]. فتحیان، فرشید؛ مرید، سعید؛ ارشد، صالح، ۱۳۹۲، ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و ارتباط آن با روند جریان رودخانه (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های شرق دریاچه ارومیه)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)، جلد ۲۷، شماره ۳، : ۶۵۵-۶۴۲.
- [۲۰]. فلاحتکار، سامره، ۱۳۸۷، آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی اصفهان با استفاده از سنجش از دور و GIS، کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ش ۱۵۷.
- [۲۱]. قربانی، ساره؛ زرع‌کار، آزاده؛ کاظمی، بهاره؛ یآوری، احمدرضا، ۱۳۹۲، برآورد خسارت عملکرد حفاظت از منابع آبی در جنگل با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: جنگل‌های چالوس)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال چهارم، شماره ۱، : ۳۷-۲۷.
- [۲۲]. گاریزی، آرش؛ شیخ‌واحد، بردی؛ سعدالدین، امیر؛ ماهینی، عبدالرسول، ۱۳۹۱، شبیه‌سازی مکانی - زمانی تغییرات گستره جنگل در آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۰، شماره ۲، : ۲۸۵-۲۷۳.
- [۲۳]. مالمیران، حمید، ۱۳۸۳، راهنمای تهیه نقشه‌های

- [34]. Foody, G.M., 2000, Mapping Land Cover From Remote Sensed Data with a Softened Feedforward Neural Network Classification, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.29, No.4, pp.433-44.
- [35]. Kafi, K.M., Shafri, H.Z.M., Shariff, A.B.M., 2014, An analysis of LULC change detection using remotely sensed data; A Case study of Bauchi City, 7th IGRSM International Remote Sensing & GIS Conference and Exhibition, pp.1-9.
- [36]. Kyllo, K.P., 2003, NASA Funded Research on Agricultural Remote Sensing, Department of Space Studies, University of North Dakota, USA.
- [37]. Laosuwan, T., Sangpradit, S., 2012, Urban heat island monitoring and analysis by using integration of satellite data and knowledge based method, *International Journal of Development and Sustainability*, Vol.1, No.2, pp.99-110.
- [38]. Legg, C., 1995. *Remote Sensing and Geographic Information Systems*, John Wiley & Sons, Chichester, 166p.
- [39]. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1994, *Remote sensing and image interpretation*. (4th edition) New York, John Wiley and Sons.
- [40]. Mahmud, A., Achide, A.S., 2012, Analysis of Land Use/Land Cover Changes to Monitor Urban Sprawl in Keffi-Nigeria, *Environmental Research Journal*, 6, pp.129-134.
- [41]. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974, Monitoring the vernal Advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation, *texas A&M university, Greenbelt*.
- [42]. Sabins, F.F., 1997, *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. 3th Ed. New York: W.H. Freeman & Co., 494pp.
- [43]. Yaseen Taha, M., Tahseen Ali, R., Mohammad Saleh, R., 2012, Monitoring and Evaluating Land Cover Change in The Duhok City, Kurdistan Region- Iraq, by Using Remote Sensing and GIS, *International Journal of Engineering Inventions*, Vol.1, pp.28-33.
- [44]. Zare Ernani, M., Gabriels, D., 2006, Detection of land cover changes using landsat MSS, ETM⁺ sensors in yazd - Ardakan basin, Iran, *Proceeding of Agro environ*, pp.414-518.
- [45]. Zha, Y., Gao, J.S., 2003, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *INT. J. RMOTE SENSING*, Vol.24, NO.3, pp.538-594.
- موضوعی از تصاویر ماهواره‌ای، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، تهران.
- [۲۴]. میترا، پاول ام، ۱۳۸۸، پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور، ترجمه جلال امینی، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲۵]. میثاقی، فرهاد؛ محمدی، کورش، ۱۳۸۳، پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران.
- [۲۶]. نصیری، مهران برادران؛ آبکار، علی اکبر؛ صادقی نائینی، علی؛ عبدالله‌زاده، محمود، ۱۳۸۵، تهیه نقشه پوشش اراضی کشوری با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره TERRA سنجنده MODIS، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.
- [27]. Abd El-Kawy, O.R., Rod, J.K., Ismail, H.A., Suliman, A.S., 2011, Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data, *Applied Geography*, NO.31, pp.483-494.
- [28]. Alavipanah, S.K., 2007, *Application of Remote Sensing in the Earth Sciences: Soil*, University of Tehran Press, Tehran. (In Persian).
- [29]. Anyamba, A.J., Eastman, R., 1996, Interannual Variability of NDVI over Africa and its Relation to El Nino/Southern Oscillation, *International Journal of Remote Sensing*, 17(13), pp.2533-2548.
- [30]. Barrett, E.C., Curtic, L.F., 1992, *Introduction to Environmental Remote Sensing*, Chapman & Hall, London, 55, pp.229-243.
- [31]. Chavez, P.S., 1996, Image-based atmospheric corrections-Revisited and improved, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp.1025-1036.
- [32]. Coppin, p., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., 2004, Digital change detection methods in ecosystem monitoring : a review, *INT. J. REMOTE SENSING*, Vol. 25, pp.1565-1596.
- [33]. David, R., Chuvieco, E., Salas, a., Aguad., I., 2003, Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types, *EEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol.41, No.5.