



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیست‌ویکم، شماره‌ی ۷۵
پاییز ۱۴۰۰، صفحات ۷۴-۵۵

DOI:10.52547/GeoSpa.21.3.55

معصومه صوفی^۱
بهلول علیجانی^{۲*}
رضا برنا^۳
فریده اسدیان^۴

پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی حوضه دریاچه ارومیه بر اساس داده‌های سنجش از دور

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵

چکیده

یکی از مهم‌ترین و محسوس‌ترین اثراتی که سدها بر طبیعت می‌گذارند تغییر در نوع کاربری زمین‌های اطراف آن می‌باشد. ایجاد مخزن سد تبدیل اراضی مرتعی به زمین‌های کشاورزی و کارخانجات صنعتی و تبدیل کشته‌ای دیم به کشت آبی از جمله این تغییرات است. هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی بر اساس داده‌های سنجش از دور در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. به منظور بررسی کارایی الگوریتم طبقه‌بندی برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، دو تصویر ماهواره‌ای Landsat با اختلاف زمانی ۱۵ سال در بازه زمانی ماهانه یکسان انتخاب شدند. همچنین تصاویر مربوط به ماهواره Landsat سنجنده‌های ETM+ (لندست ۷) و OLI (لندست ۸) مورد استفاده قرار گرفته است. طبق نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی طی ۲۰ سال آینده، درصد افزایش مساحت مرتع‌های با پوشش ضعیف ۱۹، اراضی شورزار ۴۲ و اراضی بایر یا بدون پوشش ۱۷ است. از طرفی درصد کاهش گستره اراضی باغی ۱۶، اراضی کشاورزی ۱۱، مناطق مسکونی روستایی ۱/۱۱، مرتع با پوشش

۱- دانشجوی دکتری تخصصی آب‌وهواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

E-mail: bralijani@gmail.com

*۲- گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول).

۳- گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۴- گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

متراکم ۵، مرتع با پوشش متوسط ۳ و پهنه آبی ۲۴ خواهد بود. این پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۱۴۱۷ نشان می‌دهد که شدت کاهش مساحت برای پهنه‌های آبی و شدت افزایش برای اراضی شور هزار بسیار زیاد خواهد بود. بر مبنای نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال ۱۴۱۷، مساحت اراضی بایر، مرتع با پوشش کم و شور هزار از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۴۱۷ به ترتیب به ۱۶۶۸، ۷۲۵۷ و ۴۴۹۷ کیلومتر مربع افزایش خواهد یافت. در طرف مقابل، مساحت کاربری‌های کشاورزی، مرتع با پوشش متراکم، مرتع متوسط، باغ، مسکونی و پهنه‌های آبی (دریاچه) طی این بازه زمانی ۲۰ ساله به ترتیب تا ۱۸۳۵۶، ۶۶۲۲، ۵۵۷۸، ۲۹۷۴، ۵۳۵ و ۲۹۱۱ کیلومتر مربع کاهش پیدا می‌کنند.

کلید واژه‌ها: سد، کاربری اراضی، سنجش‌ازدور، دریاچه ارومیه.

مقدمه

در سال‌های اخیر کاهش قابل ملاحظه سطح آب مشکلاتی را برای محیط‌زیست دریاچه ارومیه و ساکنان آن به همراه داشته است. بروز این مشکلات توجه و ارزیابی نوسان‌های سطح آب این دریاچه را با استفاده از روش‌های علمی و مناسب اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Abdullahi et al., 2006). سدها یکی از سازه‌های مهم در سیستم‌های انتقال و منابع آب می‌باشند. این سازه‌ها از زمان‌های قدیم بدون دستیابی به اطلاعات کامل هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، هیدرومکانیکی و غیره ساخته شده‌اند. سدها دارای اثرات مثبت و منفی بر روی محیط‌زیست می‌باشند. از جمله مزایای آن را می‌توان کنترل رژیم جریان در نتیجه جلوگیری از وقوع سیلاب، تأمین آب کشاورزی و مصارف شهری از طریق ذخیره آب و تولید انرژی عنوان کرد. هر چند احداث سدهای بزرگ به واسطه مزایای اجتماعی و هزینه‌های زیاد آن‌ها و با وجود منافع زیاد آن، مضراتی را نیز به همراه داشته که در پاره‌ای از موارد جبران‌ناپذیر هستند. گرچه تأثیرات آب بر زندگی بشر و گسترش تمدن‌ها در سراسر جهان شناخته شده است اما ادعا شده که مزایای اقتصادی مورد نظر، از پروژه‌هایی که برای بهره‌برداری از منابع آب طراحی شده، حاصل نشده و همچنین پیش‌بینی‌های ضروری برای کاهش مضرات زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به درستی انجام نشده‌اند. حتی برخی سازمان‌های بین‌المللی، مطالعاتی به منظور متوقف کردن پروژه‌های تأمین آب در کشورهای در حال توسعه انجام داده‌اند. به همین دلیل در مدیریت منابع آب، توسعه فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی مورد توجه قرار گرفته و تأثیرات زیست‌محیطی که حاصل این مطالعات است اهمیت روزافزون یافته است (Mahdavi, 2002). در سال‌های اخیر کاهش قابل ملاحظه سطح آب مشکلاتی را برای محیط‌زیست دریاچه ارومیه و ساکنان آن به همراه داشته است. بروز این مشکلات توجه و ارزیابی نوسان‌های سطح آب این دریاچه را با استفاده از روش‌های علمی و مناسب اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. (Jahanbakhsh et al., 2010). در شرایط فعلی، پایین رفتن سطح آب و افزایش غلظت نمک موجب کاهش شدید

تنوع و درصد پوشش گیاهی شده است و تعادل و نظم زون بندی جوامع بر هم ریخته به طوری که در بخش های وسیعی از اراضی حاشیه دریاچه هیچ گونه پوششی دیده نمی شود. طی دو دهه اخیر و تحت تاثیر تحولات اقلیماتولوژیک کلان در شمال غرب ایران، کاهش میزان نزولات آسمانی، تبخیر-تعرق فراوان ناشی از افزایش متوسط درجه حرارت در شمال غرب کشور به همراه دخالت عوامل انسان ساختی از قبیل سدسازی ها و جلوگیری موثر از برقراری توازن و تعادل طبیعی در بیلان آب دریاچه ارومیه سبب بروز زمینه های یک مخاطره زیست محیطی جبران ناپذیر در شمال غرب ایران شده است. مخاطرات زیست محیطی متعدد و حاد در کنار نگرانی ها و توجهات اخیر نظام مدیریت کلان کشور به امر ممانعت از نابودی دریاچه ارومیه به عنوان یک میراث طبیعی ملی و بین المللی، به دلیل اضمحلال دریاچه و نیز توجه جامعه جهانی به آن به عنوان یک میراث زیست محیطی، از جمله ضرورت های اساسی در پرداختن به چنین پژوهش هایی است (Asghari Zamani, 2011). در دهه های اخیر با در دسترس قرار دادن اطلاعات و تصاویر ماهواره ای محققان زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه تغییرات کاربری اراضی در حوضه های آبریز توسط ماهواره پرداخته و تکنیک های متعددی را توسعه داده یا بهبود بخشیده است. تعدادی از مطالعات مهم و مرتبط با موضوع تحقیق مورد بررسی عبارتند از:

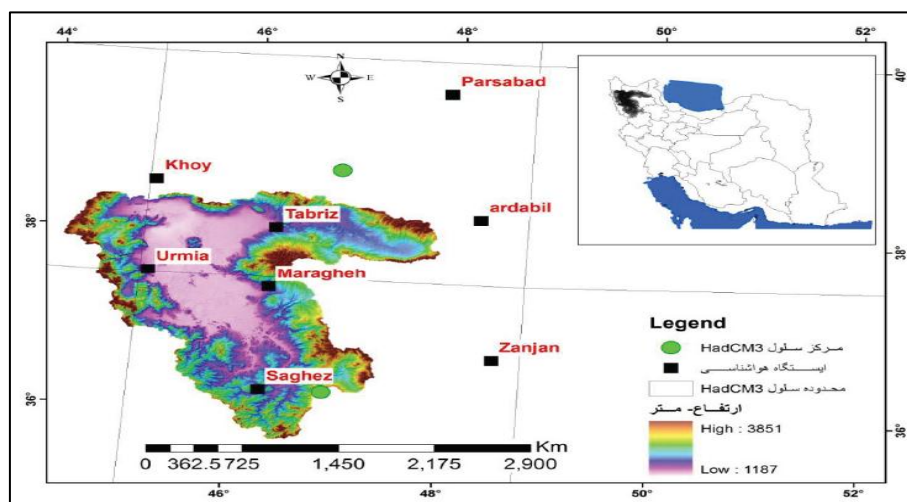
Abdullahi (2006) بررسی اثرات زیست محیطی تغییر کاربری اراضی روی پوشش گیاهی مناطق شهری با به کارگیری تکنیک سنجش از دور به سرانجام رساند. نتایج این تحقیق به صورت نمودارهایی نشان داده شد که بیانگر تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی طی ۱۲ سال برای هر یک محل های مورد مطالعه است. (Hadian et al (2011) بررسی تخریب پوشش گیاهی در اثر احداث سد، با استفاده از تصاویر ماهواره ای را در سد ملاصدرا انجام دادند. نتایج نشان داد که با ساخت سد ملاصدرا سطح بسیاری از اراضی مرتعی و کشاورزی (۷۹۱ هکتار) نابود شده و میزان خاک بدون پوشش نیز در منطقه افزایش داشته است (از ۴۳/۱۰۱ به ۷۴/۱۶۱۸ هکتار). شجاعیان (۲۰۱۳) کاربرد تصاویر ماهواره ای در تشخیص تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل ماتریس ضرب کاربری ها را مطالعه کرد. (Imani et al (2014) بررسی روند تغییرات کاربری پوشش اراضی استان همدان در سه دهه گذشته با استفاده از تصاویر ماهواره ای انجام دادند. نتایج نشان می دهد که طی سال های اخیر زیستگاه های حیات وحش در این استان به شدت در معرض نابودی قرار گرفته اند. (Hayatzadeh et al (2016) نظارت و ارزیابی روند تغییر کاربری اراضی حوزه آبخیز فخرآباد مهریز را با استفاده از سنجش از دور انجام دادند. نتایج نشان داد که روند تغییرات کاربری در کاربری های باغی و مسکونی بارزتر بود. (Kiani et al (2016) کاربری اراضی بخش مرکزی شهرستان چابهار را با استفاده از GIS بررسی و ارزیابی کردند. همچنین (Soltani et al (2017) کاربرد تصاویر ماهواره ای لندست و الگوریتم شبکه عصب مصنوعی در بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه سد ایلام را انجام دادند. Mohammadi (2017) Joe et al (2017) آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی لاهیجان با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجش از دور

انجام دادند. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی و جداول مساحت‌های کاربری‌ها و تغییرات آن‌ها نشان می‌دهد در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، شهر شاهد روند افزایش پهنه شهری و کشاورزی بوده این در حالی است که کاربری جنگل و پهنه آبی روند کاهشی داشته است. (Tahmasebi et al (2017) تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست را انجام دادند. (Karimi et al (2017) تغییرات کاربری اراضی در تالاب امیرکلایه گیلان در سال‌های گذشته را بررسی کردند. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان از کاهش آب تالاب و مساحت اراضی کشاورزی و افزایش مناطق دارای پوشش گیاهی در طی زمان است. (Yari et al (2017) روند تغییرات کاربری اراضی در بخشی از حوزه آبخیز قره سوه را بررسی کردند. (Nouri et al (2018) تغییرات در کاربری اراضی و خدمات اکولوژیک محدوده سد سهند را با استفاده از تکنیک سنجش از دور انجام دادند. (Tayabi et al (2018) آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور را به سرانجام رساندند. (Kamyar et al (2018) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در دهستان میدان چای با پردازش تصاویر ماهواره‌ای را انجام دادند. (2018) Dehdari et al آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی سدهای کارون ۳ و ۴ را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام دادند. (Christensen (2004) مانیتور تغییرات و پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را انجام دادند. (Eastman (2006) تغییر کاربری روی داده بر اثر احداث سدها در رودخانه مکنونگ را جهت پی بردن به اثرات زیست‌محیطی آن با استفاده از GIS مدل‌سازی کرد. وی به این نتیجه رسید که استفاده از سدهای بزرگ به دلیل اثرات مخرب آن بر زمین‌های اطراف و تغییر پوشش گیاهی و کاربری اراضی این زمین‌ها چندان مناسب نیست (Barja (2010) شناسایی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را به سرانجام رساند. (2010) Al-Kouri در مورد تغییر کاربری اراضی بر این نکته اشاره دارد که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور نقش بسیار مهمی در ایجاد ارتباط و تحلیل بین داده‌های حاصل از تغییر کاربری‌ها و مدیریت پایدار زمین و ارزیابی زیانباری تغییرات دارد. (Banta (2012) تغییر پوشش اراضی و کاربری اراضی را با استفاده از سنجش از راه دور و پیامدهای اقلیمی آن را بررسی کرد. نتایج نشان داد که منطقه تحت کشاورزی شدید از ۱۴۵۹ تا ۳۵۰۰ کیلومتر مربع و میزان تالاب از ۳۶۸ تا ۶۴۸ کیلومتر مربع در دوره ۱۹۷۳-۱۹۹۹ افزایش یافته است. (Wang (2014) et al به مطالعه تغییر کاربری‌ها و ارزیابی اثرات آن در روند کاهش آب‌های زیرزمینی می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد که احداث سدهای بزرگ اثرات زیانباری را در میزان آب‌های زیرزمینی داشته است. (Peng et al (2017) با کمک روش‌های GIS پایه و استفاده از نقشه‌های پوشش / کاربری اراضی تهیه شده توسط ابزارهای سنجش‌ازدور به بررسی آثار احداث سد بر کاربری اراضی یک حوزه آبخیز در هند پرداختند. نتایج نشان داد سد مخزنی به‌طور مستقیم بر ۲۸۸۹ هکتار از زمین‌های کشاورزی تأثیر گذاشته و منجر به تغییر ۳۳۴۷ هکتار از سایر اراضی اطراف مخزن شده است. (Vardon (2017) در مطالعه خود از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به‌منظور تعیین تغییرات پوشش و کاربری

اراضی در حوزه آبریز سد پاکستان استفاده نمودند. هدف نهایی این پژوهش بررسی و پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی بر اساس داده‌های هیدروکلیماتولوژی و سنجش‌ازدور در حوضه دریاچه ارومیه است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب ایران با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع بین مختصات ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این حوزه در شمال‌غربی ایران قرار گرفته و به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس، دامنه جنوبی کوه سبلان و دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. این حوزه از سمت شمال به حوضه آبریز رودخانه ارس، از سمت شرق به حوضه آبریز رودخانه سفیدرود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه‌های سفیدرود و سیروان و از غرب به حوضه آبریز رودخانه زاب محدود گشته است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دریاچه ارومیه

Figure 1: Geographical location of the Urmia Lake

این حوضه بین استان‌های آذربایجان غربی (۴۶ درصد)، آذربایجان شرقی (۴۳ درصد) و کردستان (۱۱ درصد) قرار دارد. دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و بارزترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به‌شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که کلیه رواناب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد. همچنین اکوسیستم فعال آن شامل دریاچه و حوضه آبریز آن است. در نتیجه مرز حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مرز دقیقی را برای مدیریت عوامل مؤثر بر دریاچه و زیستگاه‌های مهم در حوضه به‌وجود آورده است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌وسیله بخش شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه‌های

جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمالی، غربی و جنوبی کوه سهند احاطه شده است. حدود ۳۳۴۶۹ کیلومتر مربع از سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مناطق کوهستان (۶۵ درصد)، ۱۲۵۶۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها (۲۴ درصد) و ۵۳۲۰ کیلومتر مربع آن را نیز دریاچه ارومیه (۱۰ درصد) در بر گرفته است.

مواد و روش‌ها

با توجه به هدف اصلی پژوهش، برای بررسی نوسان‌های تراز آب دریاچه ارومیه از داده‌های تراز آب دریاچه، دبی رودخانه‌ها و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استفاده شد. داده‌های تراز آب دریاچه ارومیه برای دوره آماری ۴۸ ساله (۱۹۶۵ تا ۲۰۱۳) از مدیریت منابع آب و زرات نیرو جمع‌آوری شد. آمار دبی رودخانه‌های موجود در حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای ۷۱ ایستگاه هیدرومتری و زرات نیرو در تحلیل تغییرات دبی ورودی به دریاچه ارومیه به کار گرفته شد. برای تنظیم داده‌های سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از میان ۱۰۵۴ حلقه چاه، ۱۲۳ حلقه که در دوره آماری داده‌های کاملی داشتند، انتخاب شدند. به منظور بررسی کارایی الگوریتم طبقه‌بندی برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، دو تصویر ماهواره‌ای Landsat با اختلاف زمانی ۱۵ سال در بازه زمانی ماهانه یکسان انتخاب شدند. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به قرار گرفتن گستره حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ۸ سین از تصویر Landsat، مجموعاً ۱۶ شیت تصویر ماهواره‌ای جمع‌آوری شده است. جهت ارتقای دقت طبقه‌بندی، انتخاب تصاویر از ماه June یعنی زمانی که پوشش گیاهی به حداکثر رشد رویشی رسیده باشد، صورت گرفت و سعی شد تا تصاویر انتخابی تا حد ممکن در یک بازه زمانی انتخاب شود (Shahkooeei et al., 2014). بر اساس بررسی‌های انجام گرفته و نیاز به تصاویر ماهواره‌ای و مرتبط با هدف پژوهش، تصاویر مربوط به ماهواره Landsat سنجنده‌های ETM+ (لندست ۷) و OLI (لندست ۸) مورد استفاده قرار گرفته است. تصاویر ماهواره‌ای Landsat در سطوح پایین مورد تصحیحات هندسی قرار گرفته‌اند؛ ولی دقت آن‌ها خیلی کم و در حدود ۵۰۰ متر نسبت به موقعیت واقعی می‌باشد. در این پژوهش برای تطابق هندسی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و تصاویر ماهواره‌ای GeoEye با قدرت تفکیک مکانی بهتر از ۱ متر و همچنین تصاویر Google Earth استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از تعداد نقطه کنترل زمینی مناسب و با خطای هندسی نیم پیکسل (RMSE=0.5) و روش نزدیک‌ترین همسایه در سیستم مختصات UTMZ38-N تصحیح هندسی شدند.

طبقه‌بندی و استخراج طبقات کاربری اراضی
نسبت باندها^۹

تقسیم و نسبت مقادیر پیکسل‌ها در باندهای مختلف یکی از تکنیک‌های معتبر برای حذف تأثیر برخی پدیده‌ها در تصویر و تشخیص عوارض خاص در کاربری‌های مختلف سنجش‌ازدور است. به‌عنوان مثال در تصاویر ماهواره‌ای ETM+، از نسبت‌های Band 4/ Band 3 برای شناخت وضعیت و تراکم پوشش گیاهی، Band 4/ Band 1 برای استخراج مرز منابع آبی (دریا، دریاچه، آب‌بندان، هور، باتلاق، مرداب و ...)، Band 5/ Band 7 برای تشخیص کانی-های رسی و سنگ‌های دگرگونی هیدروترمال، Band 3/ Band 1 برای تشخیص اکسید آهن و Band 5/ Band 4 برای کانی‌های آهن استفاده می‌شود. همچنین برای تشخیص پوشش گیاهی (نوع و تراکم)، می‌توان از انواع شاخص-های پوشش گیاهی نظیر (NDVI)^۶، (RVI)^۷ یا (SAVI)^۸ استفاده نمود.

طبقه‌بندی ترکیبی نظارت شده و نظارت نشده

نکته اصلی در این روش، تفاوت بین کلاس‌های اطلاعاتی و کلاس‌های طیفی است. با هدف استخراج طبقات کاربری اراضی آبریز دریاچه ارومیه از روش طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم بیش‌ترین شباهت (حداکثر احتمال) استفاده شده است. انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز به‌منظور استخراج نوع کاربری اراضی در منطقه جهت طبقه-بندی با استفاده از اطلاعات جنبی و بر روی تصویر رنگی مرکب (RGB: ۲، ۳ و ۴) برای تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده صورت گرفت. برای این منظور در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه به فراخور سهم هر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه تعداد مناسبی نمونه تعلیمی با استفاده از بررسی Google Earth، تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بهتر از یک متر و نقشه کاربری تهیه شده توسط مرکز داده‌های علوم زمین و همچنین تصاویر رنگی مرکب انتخاب گردیدند. در انتخاب نمونه‌های تعلیمی سعی شد که این نمونه‌های تعلیمی از پراکنش مناسب برخوردار بوده و معرف خوبی برای طبقات مورد نظر باشند. با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال، لایه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در ۹ کلاس کاربری مسکونی، کشاورزی، باغ، مرتع با پوشش‌های متراکم، متوسط و ضعیف، شوره‌زار، دریاچه و بایر تهیه گردید (Suriya and Mudgal, 2011).

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

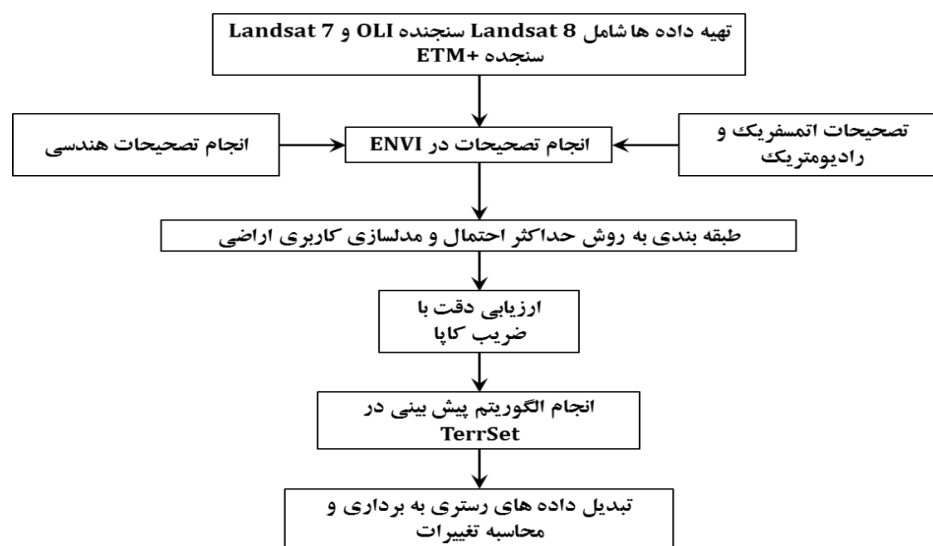
مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی ابزاری ضروری برای تحلیل‌های زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی است (Arkhi and Esfahani, 2014). زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی زمین در جایی که توصیف تغییرات و فرآیندهای سیمای سرزمین مشکل باشد، ابزاری مناسب است. در این مطالعه، پیش‌بینی وضعیت ۹ کلاس کاربری اراضی شامل مسکونی، کشاورزی، باغ، مرتع با پوشش‌های متراکم، متوسط و ضعیف، شوره‌زار،

6- Normalized Difference Vegetation Index

7- Ratio Vegetation Index

8- Soil Adjusted Vegetation Index

دریاچه و بایر بر اساس نقشه‌های کاربری حاصل از طبقه‌بندی در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ با استفاده از نرم‌افزارهای Clark_Labs_TerrSet_18.31 انجام گرفته است. پس از آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ماتریس احتمال انتقال برای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سال آینده با خطای ۰/۱۵ درصد محاسبه شد. با اتمام این مرحله، عملکرد CA مارکوف در نرم‌افزار ادریسی با لحاظ نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ به‌عنوان نقشه پایه و معرفی مساحت‌های قابل انتقال از مرحله قبل، اجرا و نقشه کاربری اراضی تا سال ۲۰۳۵ با استفاده از مدل مذکور پیش‌بینی شد (شکل ۲).



شکل ۲: چارچوب مفهومی استخراج، مدل‌سازی، آشکارسازی تغییرات و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی بر

اساس داده‌های ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸

Figure 2: Conceptual framework for extraction, modeling, detection of changes and forecasting of land use changes in the catchment area of the Urmia Lake based on satellite data in 2010 and 2018

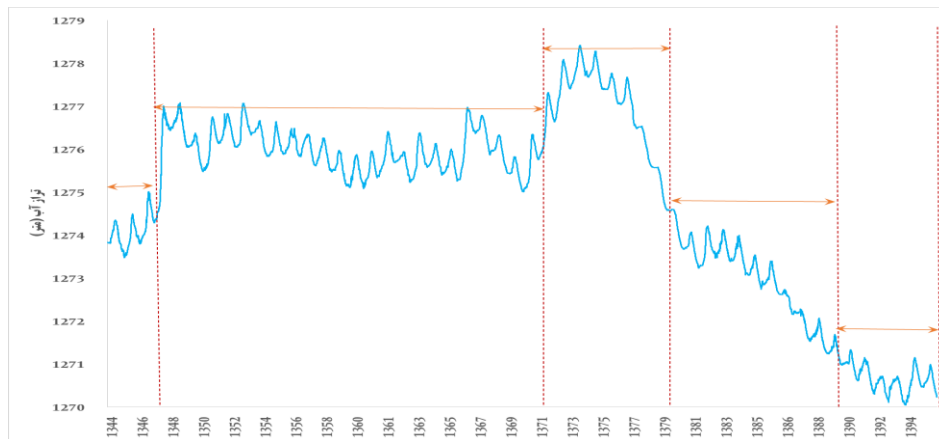
یافته‌ها و بحث

با توجه به اهمیت احداث سدهای مختلف در حوضه و میزان اثرگذاری آن‌ها هم بر تغییرات تراز آب دریاچه و هم بر توسعه اراضی کشاورزی در سطح منطقه، آشکارسازی روند گسترش مساحت اراضی زراعی با به‌کار بردن تکنیک‌های مکانی و سنجش‌ازدوری و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مناسب به‌منظور تشخیص ارتباط آن با احداث سدها، هدف اصلی پژوهش حاضر است.

روند تغییرات دریاچه ارومیه

روند تغییرات تراز دریاچه ارومیه در طی ۵۲ اخیر بر اساس داده‌های ثبت شده توسط وزارت نیرو در شکل (۳) ترسیم گردیده است. همان‌طور که در شکل به‌خوبی مشخص است، روند نزولی این دریاچه پس از دوران پرآبی آن

در سال ۱۹۹۵، شروع گردیده و در طی بیست سال، تراز دریاچه بیش از ۸ متر افت کرده است. در واقع با توجه به ارقام ثبت شده، به طور متوسط دریاچه در این بیست سال اخیر سالیانه با افت ۴۰ سانتی متری مواجه بوده است. با توجه به عمق کم این دریاچه، این میزان افت تراز منجر به خشکی درصد قابل ملاحظه‌ای از سطح دریاچه گردیده و بیش از ۳۰ میلیارد مترمکعب از حجم آب آن در اثر عدم ورود منابع آبی کافی به آن از بین رفته است. در طی دوره آماری سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۷، پایین‌ترین تراز آب دریاچه (۱۲۷۰/۰۴ متر) در ماه‌های مهر و آبان سال ۲۰۱۵ و بالاترین تراز (۱۲۷۸/۴۱ متر) در خرداد ماه ۱۳۷۴ ثبت گردیده است.



شکل ۳: روند تغییرات تراز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۶ بر اساس داده‌های مدیریت منابع آب

Figure 3: The trend of changes in the level of the Urmia Lake during the years 1965 to 2017 based on water resources management data

احداث سد‌ها/ توسعه نامتوازن بخش کشاورزی حوضه

در ارتباط با تأثیر سد‌های احداث شده بر روی اکوسیستم حوضه دریاچه ارومیه، می‌توان به تغییر کاربری اراضی و توسعه کشاورزی اشاره نمود؛ به نحوی که مجموع زراعت آب و باغات از ۳۳۵ هزار هکتار در سال ۱۳۵۳ به ۴۶۲ هزار هکتار در سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است (Dynamic Knowledge Strategy Engineering Research Institute, 2012). علاوه بر افزایش سطح زیر کشت در بخش کشاورزی حوضه، عوامل دیگری همچون تغییر الگوی کشت کم‌مصرف آبی به الگوی پرمصرف، افزایش سطح زیر کشت باغی در حوضه و تولید بیش از نیاز برخی از محصولات در سطح حوضه و صادرات آن به خارج از حوضه نیز از عوامل مؤثر در توسعه نامتوازن بخش کشاورزی و استفاده بیش از حد مجاز از منابع آبی تجدیدپذیر حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. کاهش مساحت دریاچه به اندازه ۱۲۰ هزار هکتار و تبدیل شدن بستر خشک آن به شورزار و عدم توازن در میزان آب ورودی به دریاچه و کاهش تراز بیش از ۸ متر طی دو دهه اخیر هم از جمله تأثیرات سدسازی و توسعه اراضی کشاورزی آبی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد.

بارسازی تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به این‌که انتخاب بهترین ترکیب باندهای از طریق مقایسه چشمی مشکل و وقت‌گیر است، لذا برای این کاربر اساس همبستگی و واریانس بین باندها به انتخاب بهترین ترکیب سه‌تایی باندها پرداخته شد. با توجه به آنالیز ماتریس همبستگی برای تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این پژوهش، مشخص شد که بهترین ترکیبات باندهای برای تصاویر ETM+ (Year 2010) باندهای ۲، ۳ و ۴ و برای تصاویر OLI (Year, 2018) باندهای ۳، ۴ و ۵ می‌باشد؛ این باندها در تصاویر ذکر شده دارای کم‌ترین همبستگی در میان همه باندها هستند (جدول ۱ و ۲) و بنابراین بیش‌ترین داده‌ها را منعکس می‌سازند.

جدول ۱- ماتریس آنالیز همبستگی باندهای تصویر ماهواره‌ای Landsat ETM+ سال ۱۳۸۹

Table 1- Correlation analysis matrix of Landsat ETM + satellite image bands in 2010

| باند | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۷ |
|------|------|------|------|------|------|------|
| ۱ | ۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹ | ۰/۹۵ | ۰/۸۹ | ۰/۹۵ |
| ۲ | ۰/۹۹ | ۱ | ۰/۸۷ | ۰/۹۶ | ۰/۸۱ | ۰/۹۷ |
| ۳ | ۰/۹ | ۰/۸۷ | ۱ | ۰/۹۳ | ۰/۸۶ | ۰/۸۶ |
| ۴ | ۰/۹۵ | ۰/۹۶ | ۰/۹۳ | ۱ | ۰/۸۱ | ۰/۹۸ |
| ۵ | ۰/۸۹ | ۰/۸۱ | ۰/۸۶ | ۰/۸۱ | ۱ | ۰/۷۶ |
| ۷ | ۰/۹۵ | ۰/۹۷ | ۰/۸۶ | ۰/۹۸ | ۰/۷۶ | ۱ |

جدول ۲- ماتریس آنالیز همبستگی باندهای تصویر ماهواره‌ای Landsat OLI سال ۱۳۹۷

Table 2- Correlation analysis matrix of Landsat OLI satellite image bands in 2018

| باند | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۷ |
|------|------|------|------|------|------|------|
| ۱ | ۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۱ | ۰/۸۴ | ۰/۸۴ | ۰/۸۴ |
| ۲ | ۰/۸۴ | ۱ | ۰/۸۲ | ۱ | ۰/۸۸ | ۰/۸۱ |
| ۳ | ۰/۹۱ | ۰/۹۷ | ۱ | ۰/۸۲ | ۰/۹۲ | ۰/۹۵ |
| ۴ | ۰/۹۷ | ۱ | ۰/۹۷ | ۰/۸۶ | ۰/۹ | ۰/۹۱ |
| ۵ | ۰/۸۴ | ۰/۹ | ۰/۹۲ | ۰/۸۸ | ۱ | ۰/۹۷ |
| ۷ | ۰/۸۴ | ۰/۹۱ | ۰/۹۵ | ۰/۸۱ | ۰/۹۷ | ۱ |

تغییرات کاربری اراضی حوضه دریاچه ارومیه

در سطح کاربری / پوشش اراضی منطقه مطالعاتی طی ۴۸ سال گذشته تغییرات بسیاری رخ داده است. پایش تغییرات کاربری‌های اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که در طی دوره‌های مختلف، کاربری‌های مورد نظر

به چه کاربری تبدیل شده است. نتایج تغییرات خالص کاربری‌ها نشان می‌دهد که در تمامی دوره‌ها، طبقه مرتع بیش‌ترین تبدیل به کاربری کشاورزی آبی را داشته است؛ اما بیش‌ترین میزان تبدیل طبقه مرتع به کشاورزی آبی در دوره دوم (۱۹۸۹ تا ۲۰۰۶) رخ داده است. از طرف دیگر در تمامی دوره‌ها بالاترین تبدیل سطح از طبقه آب به مناطق نمک‌زار و بدون پوشش صورت گرفته است؛ هرچند در دوره سوم (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴) بیش‌ترین حالت را داشته است. در تمامی دوره‌ها معمولاً سایر طبقات به طبقه انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند که بیش‌ترین تبدیل از طبقه مرتع و سپس کاربری کشاورزی آبی بوده است؛ اما واقعیت این است که طی ۸ سال گذشته (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸)، با توجه به کاهش بارندگی‌های منطقه و همچنین کاهش آب‌های ذخیره شده در پشت سدها و نیز پایین رفتن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از کاربری‌های وابسته به استفاده از منابع آبی (از جمله سطح زیر کشت و باغات) کاسته شده است. پس از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک، برای تحلیل تغییرات با استفاده از LCM^۹ نیاز به دو تصویر طبقه‌بندی شده کاربری اراضی است که می‌تواند به‌عنوان پایه برای فهم طبیعت تغییرات در منطقه مورد مطالعه به‌کار گرفته شوند. برای این منظور، تصاویر رنگی کاذب دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۰۶ با استفاده از ترکیب باندها تولید شدند که به تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه کمک می‌کنند. در اولین گام این روش، انتخاب ۹ ناحیه تعلیمی^{۱۰} از روی کلاس‌های کاربری اراضی تشخیص داده شده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، شامل مسکونی، کشاورزی، باغ، مرتع با پوشش‌های متراکم، متوسط و ضعیف، شورزار، دریاچه و بایر اقدام به طبقه‌بندی کاربری‌های منطقه با استفاده از روش حداکثر احتمال شد (شکل ۴). جدول (۳) درصد و مساحت هر یک از کاربری‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- وضعیت کاربری / پوشش اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۷

Table 3- The status of Land use / land cover of Urmia Lake catchment in 2010 and 2018

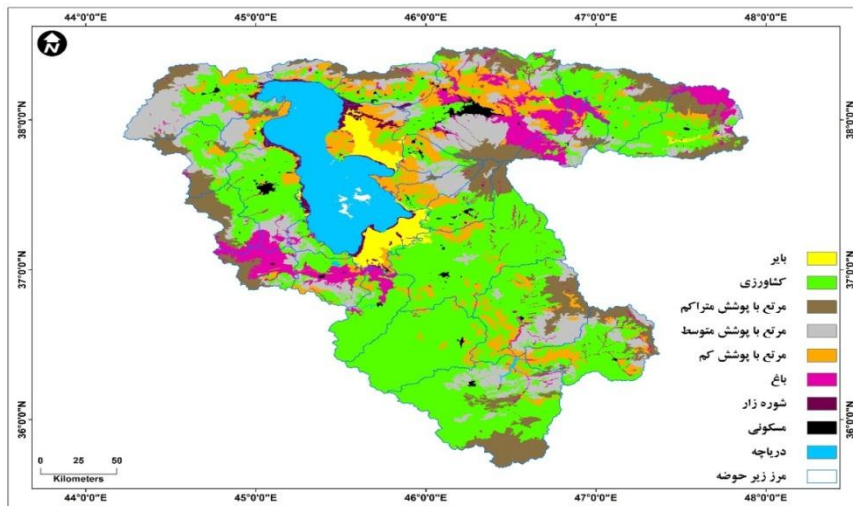
| نرخ رشد (Km ²) | درصد تغییر | سال ۱۳۹۷ | | سال ۱۳۸۹ | | طبقه کاربری |
|----------------------------|------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|---------------------|
| | | % | مساحت (Km ²) | % | مساحت (Km ²) | |
| ۹۴ | ۶/۶ | ۴/۷ | ۱۴۲۶ | ۲/۶ | ۱۳۳۱ | بایر (بدون پوشش) |
| -۱۲۵۰ | ۶ | ۳۹/۹ | ۲۰۶۲۵ | ۴۲/۴ | ۲۱۸۷۵ | کشاورزی |
| -۶۶۲ | ۹/۵ | ۱۳/۵ | ۶۹۷۱ | ۱۴/۸ | ۷۶۳۳ | مرتع با پوشش متراکم |
| -۱۵۸ | ۲/۷ | ۱۳/۱ | ۵۷۶۰ | ۱۱/۵ | ۵۹۱۸ | مرتع با پوشش متوسط |
| ۵۴۴ | ۸/۶ | ۱۴/۲ | ۶۳۲۵ | ۱۱/۲ | ۵۷۸۱ | مرتع با پوشش کم |

9- Landuse Change Modeler

10- Regions of Interest

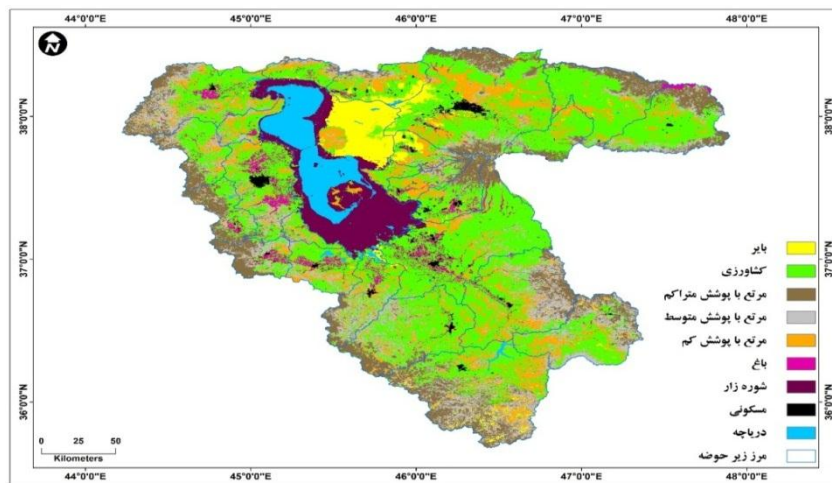
ادامه جدول ۳- وضعیت کاربری/ پوشش اراضی حوزه آبریز دریاچه ارومیه در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۷
Continue of Table 3- the status of Land use / land cover of Urmia Lake catchment in 2010 and 2018

| نرخ رشد (Km ²) | درصد تغییر | سال ۱۳۹۷ | | سال ۱۳۸۹ | | |
|----------------------------|------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|-------------------|
| | | % | مساحت (Km ²) | % | مساحت (Km ²) | |
| -۱۳۰ | ۳/۷ | ۳ | ۳۵۴۰ | ۷/۱ | ۳۶۶۹ | باغ |
| ۲۶۱۲ | ۸۲/۵ | ۶/۱ | ۳۱۶۷ | ۱/۱ | ۵۵۴ | شوره‌زار |
| ۱۰۹ | ۱۹/۹ | ۱/۱ | ۵۴۶ | ۰/۸ | ۴۳۸ | مسکونی |
| -۱۰۴۹ | ۳۱ | ۴/۶ | ۳۳۸۵ | ۸/۶ | ۴۴۳۴ | پهنه آبی (دریاچه) |



شکل ۴: الف) نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۱۳۸۹ (ماه ژوئن سال ۱۳۸۹)

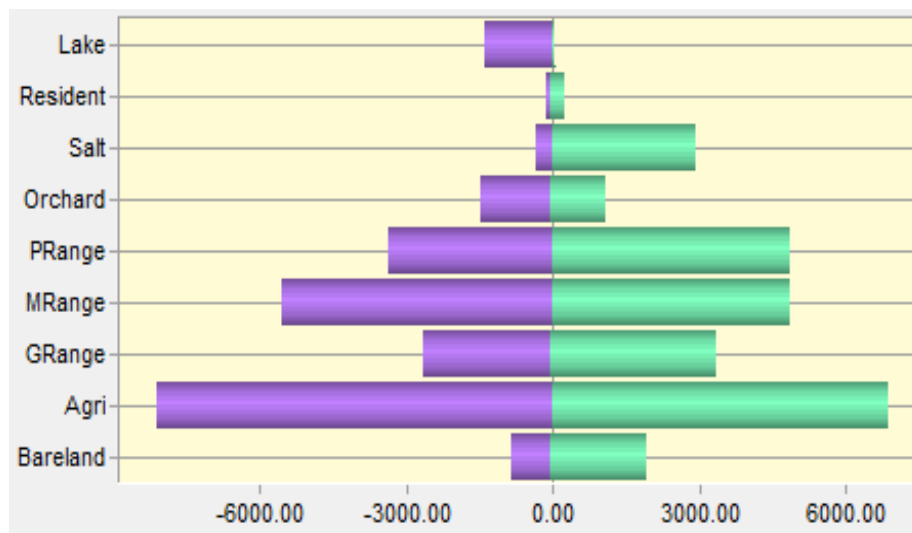
Figure 4: A Land use map of Urmia Lake catchment in 2010 (June 2010)



ادامه شکل ۴: ب) نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۱۳۹۷ (ماه ژوئن سال ۲۰۱۸)

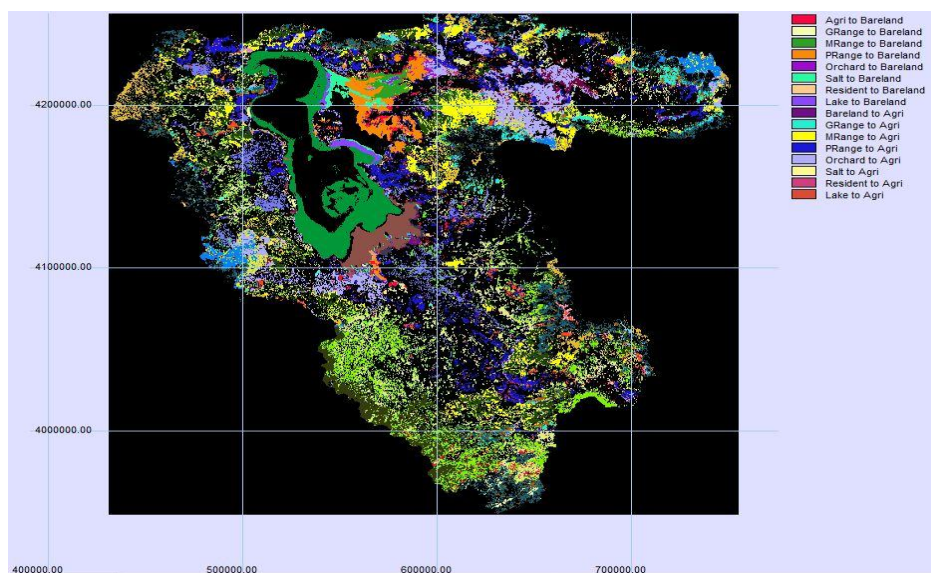
Continue of Figure 4: B) Land use map of Urmia Lake catchment area in 2018 (June 2018)

با توجه به نقشه‌های به دست آمده در طی دوره زمانی ۱۲ ساله، مشاهده می‌شود که کاربری کشاورزی، مرتع با پوشش متراکم و متوسط، باغ و پهنه آبی کاهش مساحت پیدا کرده‌اند؛ از طرفی اراضی مرتع با پوشش کم، بایر (بدون پوشش)، شوره‌زار و مسکونی افزایش مساحت داشته‌اند. نمودار و نقشه آنالیز تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در اشکال (۵ و ۶) آورده شده است.



شکل ۵: نمودار تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷

Figure 5: Chart and map of land use changes in the catchment area of Urmia Lake during the years 2010 to 2018



شکل ۶: نقشه تغییرات کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷

Figure 6: Map of land use changes in the catchment area of Lake Urmia lake during the years 2010 to 2018

سناریوسازی / پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

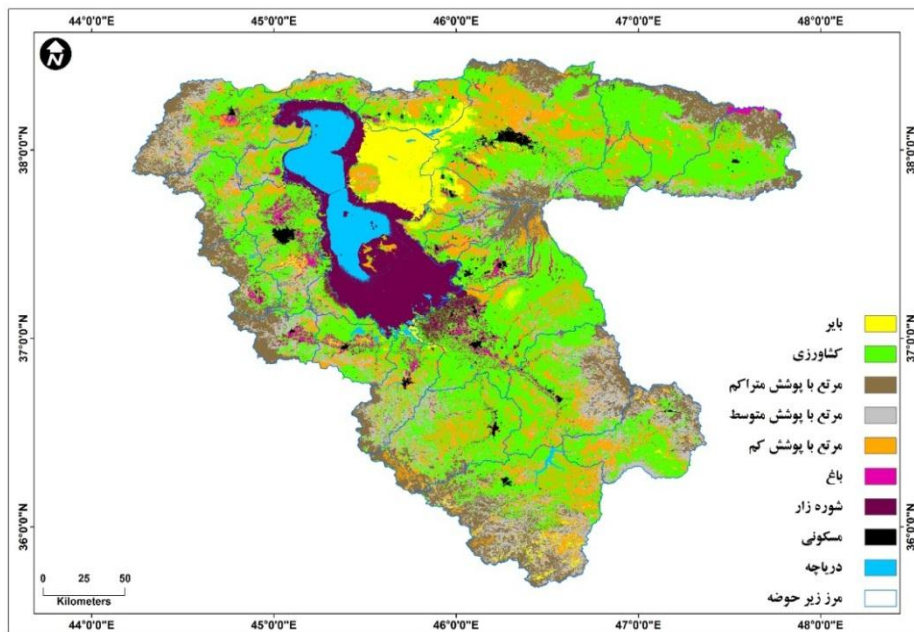
طبق نقشه‌های پیش‌بینی شده با استفاده از CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI TerrSet به صورت جدول (۵) و شکل (۶) مشاهده می‌شود که کاربری باغ، کشاورزی، مناطق مسکونی و پهنه آبی روند نزولی و در مراتع با پوشش کم و اراضی شور روند صعودی طی ۲۰ سال آینده در منطقه مورد مطالعه وجود خواهد داشت.

جدول ۵- ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۷ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Table 5- Probability of land use transfer matrix between 2010 and 2018 in the catchment area of Urmia Lake

| کاربری | بایر | کشاورزی | مرتع متراکم | مرتع متوسط | مرتع ضعیف | باغ | شوره‌زار | مسکونی | آب |
|-------------|------|---------|-------------|------------|-----------|-------|----------|--------|-------|
| بایر | ۰/۳ | ۰/۱۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۰۷ | ۰/۳۶ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۶ |
| کشاورزی | ۰/۰۵ | ۰/۴۶ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰۴ |
| مرتع متراکم | ۰/۰۴ | ۰/۲۷ | ۰/۲۷ | ۰/۲۱ | ۰/۱۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۲ |
| مرتع متوسط | ۰/۰۷ | ۰/۳۸ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۹ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۰۶ |
| مرتع ضعیف | ۰/۱۲ | ۰/۳۹ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۹ | ۰/۰۹۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۲ |
| باغ | ۰/۰۴ | ۰/۴۳ | ۰/۱۶ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۰۵ |
| شوره‌زار | ۰/۳ | ۰/۱۶ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۷ | ۰/۳۷ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۷ |
| مسکونی | ۰/۱ | ۰/۳۳ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۶۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ | ۰/۳۲ | ۰/۰۰۶ |
| آب | ۰/۲۶ | ۰/۰۸ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰۲ | ۰/۴۳ | ۰/۰۰۰۳ | ۰/۲۱ |

درصد افزایش مساحت مرتع‌های با پوشش ضعیف ۱۳/۱۱، اراضی شوره‌زار ۴۰/۹۶ و اراضی بایر یا بدون پوشش ۱۵ است. از طرفی درصد کاهش گستره اراضی باغی ۱۹/۴۱، اراضی کشاورزی ۱۳/۱، مناطق مسکونی روستایی ۱/۱۱، مرتع با پوشش متراکم ۵، مرتع با پوشش متوسط ۳ و پهنه آبی ۲۷/۱۸ خواهد بود. این پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۱۴۱۷ نشان می‌دهد که شدت کاهش مساحت برای پهنه‌های آبی و شدت افزایش برای اراضی شور بسیار زیاد خواهد بود. روند نزولی پهنه‌های آبی و کاربری‌های کشاورزی وابسته به آب را می‌توان به کاهش مقدار بارندگی‌های منطقه، استفاده نامناسب از اراضی و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی توسط کشاورزان نسبت داد.



شکل ۷: نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال ۱۴۱۷

Figure 7: Land use map of Urmia Lake catchment for 2038

طبق نقشه پیش‌بینی شده کاربری اراضی با استفاده از Markov Chain طی ۲۰ سال آینده (سال ۲۰۳۸) در منطقه مورد مطالعه، در کاربری‌های باغ، کشاورزی، مناطق مسکونی و پهنه آبی روند نزولی و در کاربری‌های مرتع با پوشش کم، اراضی شور و اراضی بایر روند صعودی وجود خواهد داشت (جدول ۶).

جدول ۶- تغییرات کاربری‌های کلاس‌های ۹ گانه در افق ۲۰ ساله در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

Table 6- Changes in the uses of 9 classes in the 20-year horizon in the catchment area of Lake Urmia Lake

| کاربری | درصد افزایش | درصد کاهش |
|-------------|-------------|-----------|
| بایر | ۱۷ | - |
| کشاورزی | - | ۱۱ |
| مرتع متراکم | - | ۵ |
| مرتع متوسط | - | ۳ |
| مرتع ضعیف | ۱۹ | - |
| باغ | - | ۱۶ |
| شوره‌زار | ۴۲ | - |
| مسکونی | - | ۱/۱ |
| آب | - | ۲۴ |

این پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۱۴۱۷ نشان می‌دهد که شدت کاهش مساحت برای پهنه‌های آبی و شدت افزایش برای اراضی شورزار بسیار زیاد خواهد بود. همچنین ذخایر آبی این منطقه کاهش می‌یابد و شوره‌زارهای حاصل از خشک شدن دریاچه افزایش می‌یابد که با جابجایی نمک‌ها توسط باد به زمین‌های سطح حوضه، شوری خاک افزایش پیدا کرده و در نتیجه کشت محصولات کشاورزی را با مشکل روبه‌رو خواهد کرد.

بر مبنای نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال ۲۰۳۸، مساحت اراضی بایر، مرتع با پوشش کم و شورزار از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۳۸ به ترتیب به ۱۶۶۸، ۷۲۵۷ و ۴۴۹۷ کیلومتر مربع افزایش خواهد یافت. در طرف مقابل، مساحت کاربری‌های کشاورزی، مرتع با پوشش متراکم، مرتع متوسط، باغ، مسکونی و پهنه‌های آبی (دریاچه) طی این بازه زمانی ۲۰ ساله به ترتیب تا ۱۸۳۵۶، ۶۶۲۲، ۵۵۷۸، ۲۹۷۴، ۵۳۵ و ۲۹۱۱ کیلومتر مربع کاهش پیدا می‌کنند.

نتیجه‌گیری

بر مبنای تحلیل کاربری اراضی و تغییرات آن در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مشخص می‌شود که طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ تغییرات بسیار ناچیزی در سطح آن رخ داده است و این را می‌توان از کاربری/پوشش اراضی حوضه ارومیه در سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۸۹ تشخیص داد. این تغییرات کم به‌خصوص در سطح آب دریاچه که تأثیرپذیرترین طبقه نسبت به فعالیت‌های انسانی می‌باشد، قابل مشاهده است و این بیانگر میزان مصرف اندک آب نسبت به کل آب ورودی به دریاچه می‌باشد.

تا سال ۱۹۸۹، ۴ سد با حجم آب قابل تنظیم ۸۰۷ میلیون متر مکعب ساخته شده‌اند؛ اما به دلیل جمعیت پایین منطقه و شرایط آب‌وهوایی مناسب، تأثیر آن‌چنانی بر توسعه سطح کشت منطقه نداشته است. بعد از سال ۱۹۷۵ این آثار نسبتاً افزایش پیدا کرده و به‌نوعی می‌توان شروع تأثیر عوامل درون‌سیستمی مثل سدسازی و توسعه سطح کشت را در این دوره مشاهده کرد.

طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۶ تغییرات بسیاری در سطح اکوسیستم منطقه رخ داده است. برای مثال رشد جمعیت در طی این دوره به دلیل ثبات منطقه بسیار بالا بوده است؛ به‌صورتی که جمعیت در سال ۲۰۰۶ بالغ بر ۱/۴ برابر اندازه جمعیت در سال ۱۹۸۹ رسیده است. این افزایش جمعیت منجر به یک سری فعالیت‌های انسانی برای تأمین نیاز در سطح منطقه شده است. از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به سدسازی‌های صورت گرفته در سطح منطقه اشاره کرد که در این دوره بلند مدت، ۶ سد دیگر با مجموع حجم آب قابل تنظیم ۸۴۲ میلیون متر مکعب به بهره‌برداری رسیدند. مهم‌ترین آن‌ها، سد شهرچای و افزایش ارتفاع سد شهید کاظمی بوکان می‌باشد که به همراه آثار تجمعی سد‌های ساخته شده در دوره قبل با تأمین آب در سطح اکوسیستم منطقه منجر به افزایش سطح کشاورزی آبی به ۱/۳۵ برابر

دوره قبل و همچنین تغییر الگوی کشت در منطقه شده است؛ به طوری که بالاترین افزایش کاربری کشاورزی آبی در این دوره رخ داده است. این عوامل منجر به کاهش حجم آب ورودی دریاچه به کمتر از میانگین ۴۰ سال اخیر شده و به دنبال آن سطح تراز آب دریاچه نیز به پایین تر از سطح اکولوژیک خود رسیده است. در طی دوره سوم که دوره کوتاه مدتی نیز هست، بیشترین تغییرات نسبت به سایر دورهها صورت گرفته است.

در این دوره ۸ سد با مجموع آب قابل تنظیم ۲۸۵ میلیون متر مکعب در منطقه احداث شده‌اند. در مجموع تا این مقطع زمانی ۱۸ سد با مجموع آب قابل تنظیم ۱۹۳۴ میلیون متر مکعب در سطح منطقه ایجاد شده‌اند که این سدها کنترل آب را برای استفاده از پتانسیل منابع آب سطحی منطقه بالا برده است. به طوری که در این دوره بالاترین نرخ تغییرات سالیان کاربری کشاورزی آبی رخ داده است و مساحت کشاورزی آبی به حدود ۳۹۱ هزار هکتار (۱/۱۸ برابر دوره قبل) رسیده است. البته این تغییرات در مناطق پایین دست سدها صورت گرفته است و در مناطق بالادست تغییراتی در آن رخ نداده است. در نتیجه، این عوامل منجر شده که میزان حجم آب ورودی به دریاچه به ۱۲۰۰ میلیون متر مکعب یعنی حدود ۳۵ درصد مقدار اکولوژیک آن برسد و پیامد آن رسیدن سطح تراز آب دریاچه به کمترین میزان طی ۵ دهه اخیر می‌باشد.

اگرچه، پیش تغییرات کاربری‌های اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که در تمامی دورهها، طبقه مرتع بیشترین تبدیل به کاربری کشاورزی آبی را داشته است و از طرفی در تمامی دورهها بالاترین تبدیل سطح از طبقه آب به مناطق نمکزار و بدون پوشش صورت گرفته است؛ همچنین معمولاً سایر طبقات به طبقه انسان‌ساخت تبدیل شده‌اند که بیشترین تبدیل از طبقه مرتع و سپس کاربری کشاورزی آبی بوده است؛ اما واقعیت این است که طی ۸ سال گذشته (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸)، با توجه به کاهش بارندگی‌های منطقه و همچنین کاهش آب‌های ذخیره شده در پشت سدها و نیز پایین رفتن سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، از کاربری‌های وابسته به استفاده از منابع آبی (از جمله سطح زیر کشت و باغات) کاسته شده است. بر اساس طبقه‌بندی نظارت شده کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸، مشاهده می‌شود که کاربری کشاورزی، مرتع با پوشش متراکم و متوسط، باغ و پهنه آبی کاهش مساحت پیدا کرده‌اند؛ از طرفی اراضی مرتع با پوشش کم، بایر (بدون پوشش)، شوره‌زار و مسکونی افزایش مساحت داشته‌اند.

پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی تا سال ۲۰۳۸ نشان می‌دهد که شدت کاهش مساحت برای پهنه‌های آبی و شدت افزایش برای اراضی شوره‌زار بسیار زیاد خواهد بود. بر مبنای نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه برای سال ۲۰۳۸، مساحت اراضی بایر، مرتع با پوشش کم و شوره‌زار از سال ۲۰۱۸ تا سال ۲۰۳۸ به ترتیب به ۱۶۶۸، ۷۲۵۷ و ۴۴۹۷ کیلومتر مربع افزایش خواهد یافت. در طرف مقابل، مساحت کاربری‌های کشاورزی، مرتع با

پوشش متراکم، مرتع متوسط، باغ، مسکونی و پهنه‌های آبی (دریاچه) طی این بازه زمانی ۲۰ ساله به ترتیب تا ۱۸۳۵۶، ۶۶۲۲، ۵۵۷۸، ۲۹۷۴، ۵۳۵ و ۲۹۱۱ کیلومتر مربع کاهش پیدا می‌کنند.

همان‌طور که در حال حاضر بسیاری از کارکردهای اکولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی دریاچه ارومیه و تالاب‌های حاشیه‌ای آن مختل گردیده و خسارات محسوس و نامحسوس این اختلال نه تنها طبیعت منطقه، بلکه معیشت‌های محلی و جوامع انسانی را نیز تحت تأثیر قرار داده است؛ بنابراین، نیاز به انجام پژوهش‌های دقیق و کاربردی در این حوضه بسیار احساس می‌شود. پژوهش‌هایی که با بهره‌گیری از دیدگاه تحلیل سیستمی، به دنبال ایجاد راهکارهایی مفید و اجرایی برای نجات دریاچه ارومیه و اکوسیستم‌های وابسته آن باشند.

در پژوهش حاضر سعی بر این شد تا تمامی عوامل مؤثر بر تغییرات چشم‌اندازی حوضه دریاچه ارومیه و تراز آب این دریاچه با استفاده از روابط همبستگی و تحلیل‌های رگرسیونی چند متغیره با به‌کار بردن تکنیک‌های مکانی و سنجش‌ازدوری و همچنین تصاویر ماهواره‌ای مناسب به‌منظور تشخیص ارتباط آن با احداث سدها و در نهایت ارائه مدل یا چارچوب مفهومی تحلیل شود؛ اما هر پژوهشی کاستی‌های خود را دارد که می‌شود در پژوهش‌های مرتبط بعدی آن‌ها را مرتفع نموده و هرچه بیش‌تر به حل مسأله پژوهش نزدیک شد.

References

- Arkhi, P., Esfahani, M., (2014), "*Idrisi education*", Golestan University Press, Golestan [In Persian].
- Al-Kouri, O., (2010), "Geostatistical analysis of karst landscapes", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15: 913-916.
- Abdullahi, A., Universal, A., Free, B., Mohammadi Fasil, A., (2006), "Evaluation of dam effects on land use changes in the west-south sub-basins and urmia lake with satellite images", *Environmental Research*, 15 (8): 39-50. [In Persian].
- Banta, R. M., (2012), "The role of mountain flows in making clouds, Chapter 9 of Atmospheric processes over complex terrain, Meteorol. Monogr, 23, American Meteorological Society.
- Barja, B., Antuna, J. C., (2010), "Cirrus clouds physical and spatiotemporal features in the Wider Caribbean", *Atmósfera*, 23 (2): 185-196.
- Dehdari, S., Armand, N., (2018), "Detection of land use changes in Karun 3 and 4 dams using satellite images", *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 71 (1): 85-96. [In Persian].
- Eastman, J. R., (2006), "*IDRISI andes guide to GIS and image processing*", Clark University, Worcester, 328 pp.
- Hassanzadeh, A., Zarghami, M., (2011), "Modeling the effect of surface water flow on reducing the level of urmia lake with the help of systems dynamics", *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 41 (2): 23-35. [In Persian].
- Hayatzadeh, M., Exclusive, M., (2016), "Monitoring and evaluation of land use change process in Fakhrabad Mehriz Yazd watershed using remote sensing, First national Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Volume 11. Yasuj University on Tuesday, April 20 (2016). [In Persian].
- Hadian, F., Jafari, R., Yaghmaei, L., (2011), "Investigation of the effects of Baghkol Dam on land cover / land use changes", 2nd International Conference on Landscape Ecology, Esfahan, Esfahan University of Technology, 5 and 6 November (2016) . [In Persian].
- Imani, J., Kaboli, M., (2015), "Investigation of the trend of land use change Land cover of Hamadan province in the last three decades using satellite images", *Environmental Research*, 67 (1): 12-22. [In persian].
- Kamyar, K., Salmans, S., (2018), "Modeling land use changes in chai square rural area by processing satellite images", Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning in the Islamic world. university of Tabriz., Thursday, 10 May (2016). [In Persian]
- Karimi, B., Yousefi, H., (2017), "Land use changes in Amirkalayeh wetland in Guilan in the past years", Fourth Conference and Environment Exhibition, Tehran, Mah Danesh Atran Engineering Company., Tehran, May 10, (2017), (4). [In Persian].
- Kiani, M., Kiani Deh, I., (2016), "Study and evaluation of land use status in Khoiy city using Geographic Information System (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP) (Case study: Safaieh section), The first scientific conference on civil engineering, architecture and Sustainable Environment", Tehran., 5 June 2016. [In Persian].
- Kristensen, P., (2004), "*The DPSIR framework*", National Environmental Research Institute: Copenhagen.

- Mohammadi Joo, M. Ms., Mohammadi, M., (2017), "Detection of land use changes in Lahijan using satellite images and remote sensing", 4th International Conference on Environmental Planning and Management, 2-5 June 2017, Tehran. [In Persian].
- Mahdavi, M., (2002), "*Applied hydrology*", Volume II, Tehran, University of Tehran Press.
- Masoumi, F., Moshiri, R. S., "Application of landscape spatial metrics and remote sensing data in the analysis of spatio-temporal changes in land use / urban land: A Case study: ardebil urban area," *Geographical Space*, 45 (14): 179-196. [In Persian].
- Noori, F., Viseh, Mirzaei, R., (2018), "Changes in land use and ecological services in the area of Sahand dam using remote sensing techniques", *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, 16 (1): 207-224. [In Persian].
- Peng, J., Zhang, H., Li, Z. Q., (2017), "Temporal and spatial variations of global deep cloud systems based on cloudSat and CALIPSO satellite observations", *Advances in atmospheric sciences*, 31: 593-603.
- Soltani, A., (2018)., "Application of landsat satellite images and artificial neural network algorithm in investigating land use changes in Ilam dam basin", *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 19 (7): 33-46. [In Persian].
- Shojaeian, A., (2013), "Application of satellite images in detecting land use changes using the multiplication matrix model", *Geographical Information Quarterly*, 86: 55-62. [In Persian].
- Shahkooeei, E., Arekhi, S., Najafi Kani, A., (2014), "Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land use changes using support vector machine algorithm (Case study: Ilam dam watershed)", *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8 (4): 464-473. [In Persian].
- Suriya, S., Mudgal, B. V., (2012), "Impact of urbanization on flooding: The thirusoolam sub watershed - A case study", *Hydrology Journal*, 412: 210-219
- Shayesteh, K., Abedian, J., (2014), "Long-term evaluation of the hydrological effects of land use change on the annual runoff in the Ziarat catchment", *Geographical Space*, 66 (19): 43-61. [In Persian].
- Tahmasebi, I. Abdullahi, Kh., (2017)., "Preparation of land use map using Landsat 8 satellite images (Case study: Kaklek watershed)", 4th International Conference on Environmental Planning and Management. Tehran., 2.3 June, (2017). [In Persian]
- Atayabi. S., Organi., M., (2018), "Detection of land use changes using remote sensing data, Conference on Civil Engineering", Architecture and Urban Planning in the Islamic World, 10 pages. [In Persian].
- Wang, X., Yu, S., Huang, G. H., (2014), "Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level", *Landscape Urban Plann*, 66: 61-74.
- Yari, M., Soltani Gardfaramarzi., R., Ghasemi Dastgerdi., M., Taghizadeh M. R., (2017), "A study of land use change in a part of Qara Sooh watershed", 8th scientific conference on watershed management and soil and water resources management, Kerman 6 February, 2017. [In Persian].