

ارزیابی آماری از انتقالات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از ماتریس انتقال

یاسر امینی (کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران)

aminiyaser93@gmail.com

اسداله خورانی (دانشیار جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، نویسنده مسئول)

khoorani@hormozgan.ac.ir

مسعود بختیاری کیا (استادیار جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران)

masbakht@gmail.com

صالح آرخی (دانشیار جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران)

arekhi1348@yahoo.com

صص ۱۹۲ - ۱۷۱

چکیده

اهداف: پایش تغییرات کاربری‌ها و درک پویایی آن در یک حوضه آبخیز، از جایگاه خاصی در مدیریت پایدار آن حوضه برخوردار است. هدف تحقیق حاضر، استفاده از سنجش از دور و GIS جهت تهیه نقشه تغییرات و شناسایی انتقالات کاربری اراضی و پوشش زمین با به‌کارگیری ماتریس انتقال و تصاویر ماهواره لندست در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه می‌باشد.

روش: جهت انجام تحقیق، از تصاویر ماهواره لندست در دوره زمانی ۲۰۱۵ - ۱۹۸۸ استفاده گردید. بدین منظور پس از انجام پیش‌پردازش‌های موردنظر، جهت انجام طبقه‌بندی از روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و روشی گرا استفاده و سپس اعتبارسنجی گردیدند. همچنین جهت برآورد میزان انتقالات و دیگر ویژگی‌های حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، ابتدا ماتریس انتقالی استخراج شده و سپس طبقه‌بندی شیء‌گرا بین دوره‌های زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۵ ارائه شد. سپس با استفاده از فرمول‌های موردنظر، میزان پایداری، افزایش، کاهش، تغییرات کل، تغییرات خالص و مبادله همزمان کاربری‌های اراضی و پوشش زمین مشخص گردید.

یافته‌ها/ نتایج: پس از ارزیابی صحت، صحت کلی برای نقشه‌های حاصل از ماشین بردار پشتیبان و روش شی‌گرا به ترتیب برابر با ۹۴ و ۹۲ درصد و مقدار کاپای آنها به ترتیب ۹۲ و ۸۹ برآورد شد که نشان‌دهنده برتری روش شی‌گرا در مقایسه با روش ماشین بردار پشتیبان است. در کل، هر دو روش طبقه‌بندی توانستند صحت قابل قبولی برای نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین ارائه دهند. نتایج حاصل از انتقالات نشان داد به‌طور میانگین، ۵۹ درصد از چهره زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در فاصله زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۸ پایداری پوشش داشته است، که بیشترین میزان این تداوم براساس مقدار این کاربری در فاصله زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۵ مربوطه به مناطق مسکونی می‌باشد. حدود ۱۴ درصد از سطح حوزه آبخیز دریاچه ارومیه به‌صورت تبادل همزمان^۱ بوده است. همچنین سطوح آبی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در دوره زمانی فوق، بیشترین ازدست‌دادگی و کمترین تبادل همزمان را تجربه کرده است.

نتیجه‌گیری: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در این فاصله زمانی (۱۹۸۸-۲۰۱۵) تغییرات و انتقالات شدیدی را تجربه کرده است، تاجایی که تنها ۵۹ درصد از چهره زمین، ثابت مانده و قسمت‌های دیگر، انواعی از انتقال‌ها را تجربه کرده‌اند. همچنین سطوح آبی و سپس مراتع، بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه کرده‌اند که نشان از افزایش اراضی فاقد پوشش و اراضی زراعی (کشاورزی) می‌باشد. این تجزیه و تحلیل ما را به سنجش و تجسم میزان انتقالات عمده LULC در جهت برنامه‌ریزی آینده حوضه آبخیز دریاچه ارومیه توصیه می‌کند.

کلیدواژه‌ها: روش شی‌گرا، ماتریس انتقال، آسیب‌پذیری و پایداری، حوضه آبخیز دریاچه ارومیه

۱. مقدمه

با توجه به نقش منابع طبیعی در زندگی بشر، لازم است اطلاع دقیقی از چگونگی وضعیت منابع طبیعی و روند تغییرات آنها کسب گردد و نظارت بر روند تغییرات و دسترسی به آمار و اطلاعات به‌روز، از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و ابزار مدیریت در هر سازمانی می‌باشد (زهتابیان و طباطبایی، ۱۳۷۸، صص. ۵۵-۶۷). پایش تغییرات، فرآیند تعیین تفاوت‌ها در

1. swap

وضعیت یا حالت یک شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است (سینگ^۱، ۱۹۸۹، ص. ۹۸۹). در چهار دهه گذشته، تغییرات کاربری اراضی در ایران به یک مشکل حاد تبدیل شده است و اغلب تغییرات کاربری اراضی، بدون یک برنامه‌ریزی مدون و با توجه اندک به آثار زیست‌محیطی آنها صورت می‌گیرد و این باعث تشدید روند تخریب اراضی شده است. از آنجاکه تغییرات در کاربری اراضی در سطوح وسیع و گسترده صورت می‌گیرد، تکنولوژی سنجش از راه دور یک ابزار ضروری و باارزش در ارزیابی تغییرات به دلیل پوشش مکرر و تکراری کره زمین است (لو، ماسویل، ایروندز، و موران^۲، ۲۰۰۴، ص. ۲۳۶۷).

به نظر می‌رسد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های طبقه‌بندی آنها می‌توان اراضی‌ای را که دارای شباهت‌های سطحی و بازتاب مشابه هستند، در یک طبقه قرارداد و شرط اولیه را که همان گروه‌بندی اراضی مشابه است، فراهم آورد (علوی‌پناه، متین‌فر، و سرمیدان، ۱۳۸۳، صص ۴۲۵-۴۳۹). از نمونه تکنیک‌های طبقه‌بندی، می‌توان به روش‌های ماشین بردار پشتیبان و روش شیء‌گرا اشاره کرد. روش ماشین بردار پشتیبان از جمله روش‌های غیر پارامتریک یادگیری ماشینی است که با تعیین یک صفحه تفکیک‌کننده بهینه در فضای ویژگی داده‌های آموزشی، کلاس‌های مختلف را با حداکثر جدایی بین آنها، تفکیک می‌نماید (پتروپولوس، کالایتیدز، و واردیو،^۳ ۲۰۱۰، صص ۹۹-۱۰۷). جذابیت ماشین‌های بردار پشتیبان یا SVM^۴ در قابلیت آنها در حداقل کردن ریسک ساختاری یا خطای طبقه‌بندی هنگام حل مسئله طبقه‌بندی است (تسو و مازر، ۲۰۰۹، ص. ۳۷۶). در روش پیکسل پایه، واریانس و کوواریانس داده‌ها ارزیابی و فرض می‌شود که همه مناطق آموزشی از پراکنش یکسانی برخوردار هستند. درحقیقت، نمونه‌های آموزشی باید معرف کل کلاس‌ها باشند. بنابراین هرچه تعداد نمونه‌های آموزشی بیشتری استفاده شود، تغییرهای بیشتری از ویژگی‌های طیفی در آن گستره قرار خواهد گرفت (علوی پناه، ۱۳۹۰، صص ۸۰-۸۳). در مقابل، طبقه‌بندی شیء‌گرا روشی مبتنی بر قطعه‌بندی است. قطعه‌بندی تصویر، فرآیند یکپارچه‌سازی پیکسل‌ها براساس همگنی پدیده‌های تصویری است و براساس چهار فاکتور پهنای پنجره^۵، تلرانس

1. Singh

2. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E.

3. Petropoulos GP, Kalaitzidis C, Vadrevu KP

4. Support vector machines

5. Window width

تشابه^۱، میانگین وزنی^۲ و فاکتور واریانس وزنی^۳ کنترل می‌شود (باتز و استینوچر^۴، ۱۹۹۹. ص. ۲۶). قطعات باید در داخل خود همگن بوده و تنها نماینده یک طبقه باشند، نه ترکیبی از چند طبقه و در عین حال باید در کل تصویر، ناهمگنی و اختلاف بین پدیده‌های مجاور وجود داشته باشد (تصویربرداری Gmbh^۵، ۲۰۰۳. ص. ۲۴۹).

در دهه‌های اخیر، تغییرات سریع کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه دریاچه ارومیه، با پیامدهای مهمی مثل تخریب منابع طبیعی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و رشد نامناسب شهرها همراه بوده است. همچنین پایین رفتن آب دریاچه ارومیه در طی این سال‌ها می‌تواند متأثر از دخالت‌های انسانی و سیاست‌های عمومی، شرایط اقلیمی و طبیعی یا به‌طور کلی انتقالات سیستماتیک و تصادفی کاربری اراضی و پوشش زمین باشد. آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و نحوه استفاده از زمین در بخش‌های مختلف دریاچه ارومیه، به‌عنوان اطلاعات پایه برای برنامه‌ریزی‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی آماری از تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه طی دوره زمانی ۲۷ ساله انجام شد. بدین منظور از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش شیء‌گرا جهت طبقه‌بندی نظارت‌شده و از ماتریس احتمال برای ارزیابی آماری از چهره زمین در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ استفاده گردیده است.

۲. پیشینه تحقیق

پنطیوس، شوساس، و مک‌پاهیرن^۶ (۲۰۰۴) یک تعریف آماری از تغییرات سیستماتیک و تصادفی ارائه دادند. این تعریف آماری تفاوت بین انتقالات سیستماتیک و تصادفی را در تفاوت بین نسبت انتظاری و مشاهده‌شده از کاربری‌ها می‌داند. برایموه^۷ (۲۰۰۶) به بررسی انتقالات سیستماتیک و تصادفی در شمال غنا با استفاده از تصاویر TM^۸ و طبقه‌بندی نظارت‌شده پرداخت. سپس از ماتریس انتقال پوشش زمین با استفاده از مقایسه دو نقشه در سال‌های مختلف جهت استخراج

1. Similarity tolerance
2. Weight mean factor
3. Weight variance factor
4. Bauer, T., & Steinnocher, K.
5. Definiens Imaging Gmbh
6. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M
7. Braimoh & et all
8. Landsat Thematic Mapper

انتقالات کاربری اراضی/پوشش زمین استفاده کرد. نتایج نشان داد که انتقالات تصادفی بیشتر متأثر از اشغال خودبه‌خود زمین توسط مهاجران و گسترش گندمزارهایی جهت اسکان مجدد بوده، همچنین تبدیل جنگل به گندمزارها تحت یک فرایند سیستماتیک از تغییرات صورت گرفته است. سپس آلو و پنطیوس^۱ (۲۰۰۸) به شناسایی انتقالات سیستماتیک پوشش زمین با استفاده از سنجش از دور و GIS برای مناطق جنگلی جنوب غنا پرداختند. برای طبقه‌بندی از تصاویر لندست TM و برای تجزیه و تحلیل تغییرات، از ماتریس انتقال استفاده کردند. سپس براساس انحراف‌های حاصل از کاربری‌ها، انتقالات سیستماتیک و راندومی را تشخیص دادند. نتایج نشان داد مناطق جنگلی حفاظت‌شده تحت تأثیر انتقالات سیستماتیک به زمین‌های زیر کشت رفتند. مناندهار، اوده و پنطیوس^۲ (۲۰۱۰) با استفاده تصاویر لندست ۱۹۸۴ و ۲۰۰۵ با به‌کارگیری ماتریس گذر به ارزیابی انتقالات سیستماتیک و تصادفی در منطقه ولز استرالیا پرداختند. نتایج نشان داد که کمتر از ۷ درصد از انتقالات صورت گرفته در منطقه، به‌صورت تغییر خالص و ۲۸ درصد این تغییرات به‌صورت تبادل همزمان در منطقه رخ داده است. تبدیل مرتع به بیابان، بیابان به چراگاه و چراگاه به بوته‌زار از تبدیلات سیستماتیک در منطقه شناسایی شد. درنهایت، به‌کارگیری از ماتریس احتمال برای شناسایی و سنجش میزان LUC^۳ مفید و کارآمد می‌باشد.

پیسانت، روجر، و استامپ^۴ (۲۰۱۴) در تحقیقی با استفاده از روش شی‌اگر اقدام به تهیه نقشه جنگل‌های سطح شهر کردند و نشان دادند که روش شی‌اگر نقشه‌های دقیق و درعین حال با تفکیک قوی عناصر با بازتاب طیفی یکسان (مثلاً شناسایی انواع پوشش گیاهی از هم) تولید می‌نماید. کرمی، خورانی، نوحه گر، شمسی، و موسوی^۵ (۲۰۱۵) در تحقیقی با استفاده از تصاویر IRS منطقه لامرد و نیز با به‌کارگیری روش شی‌اگر، اقدام به تهیه نقشه فرسایش آبکندی کردند و بر دقت بالای این روش نسبت به سایر روش‌های متداول (روش ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال) تأکید کردند. در نمونه جدیدی نیز آرخی (۱۳۹۴) با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست، به آشکارسازی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی شی‌اگر پرداخت.

1. Alo, C. A., & Pontius, R. G.
2. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Pontius, R. G.
3. Land Use and Cover Change
4. Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A.
5. Krami, A., Khorani, A., Noohegar, A., Shamsi, S. R. F., & Moosavi, V.

نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی شی‌گرا را می‌توان در تهیه نقشه پوشش زمین و تشخیص تغییرات استفاده کرد.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳.۱. روش تحقیق

روش پژوهش در این مطالعه از نوع کاربردی است که جهت استخراج اطلاعات آماری از منطقه موردنظر از الگوریتم‌های مختلف استفاده گردید. این اطلاعات آماری، شامل Loss, Gain, Net Change, persistence و Swap می‌باشند که در بخش‌های بعدی به این اصطلاحات پرداخته می‌شود (جدول ۱):

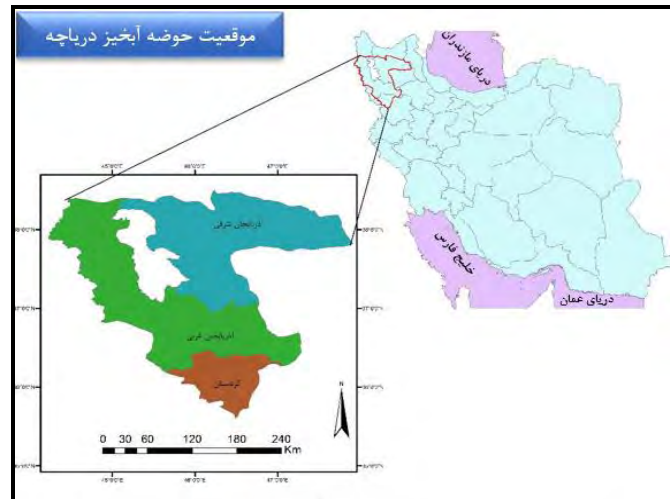
جدول ۱- مشخصات آماری از تغییرات چهره زمین

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| مشخصات | | |
|--------|--------------|-------------|
| واحد | عنوان | نشانه |
| (%) | افزایش | Gain |
| (%) | کاهش | Loss |
| (%) | تداوم | persistence |
| (%) | تغییرات خالص | Net Change |
| (%) | مبادله | Swap |

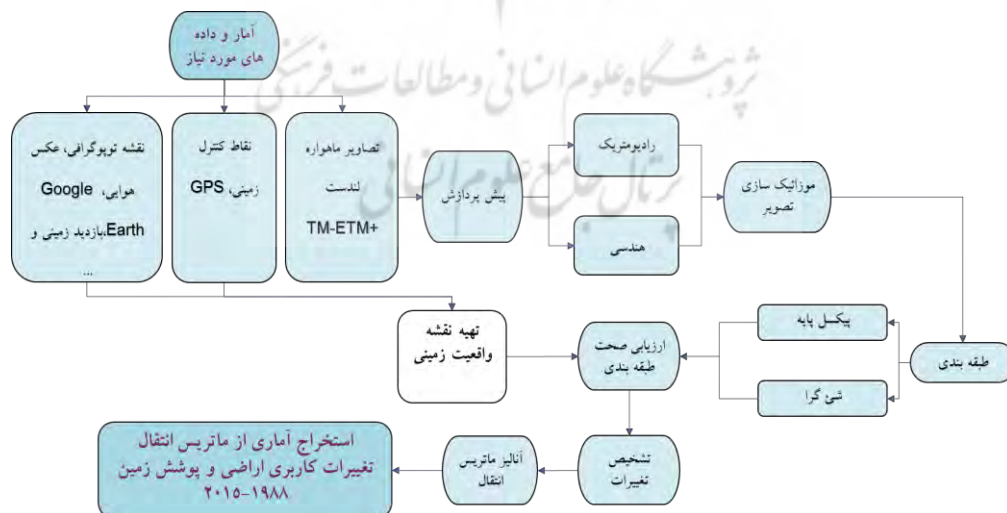
۳.۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دریاچه یک حوضه داخلی بسته است که در آن تمام رواناب‌های ناشی از بارندگی به سمت دریاچه آب‌شور مرکزی جاری می‌شوند. حوضه آبخیز وسیع دریاچه ارومیه، با مساحت ۵۱۷۸۶ کیلومتر مربع، مناطقی از سه استان آذربایجان شرقی (۳۹ درصد)، آذربایجان غربی (۳۹ درصد) و کردستان (۱۰ درصد) واقع در سمت جنوب را تحت پوشش خود دارد. مشخصات جغرافیایی این ناحیه وسیع ۳۰ تا ۳۵ عرض شمالی و ۴۸ تا ۴۴ طول شرقی است. شکل (۱) موقعیت این حوضه را در سطح کشور به تفکیک استان نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز دریاچه ارومیه
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

شکل (۲) نمودار جریانی پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. در این پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای در چندین مرحله پردازش می‌شوند. سپس با ایجاد نمونه‌های تعلیمی از منطقه در دو دوره زمانی، طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا تهیه و ارزیابی صحت با استفاده از نقشه واقعیت زمینی تهیه می‌گردد. در نهایت، ماتریس انتقال تشکیل و پارامترهای آماری محاسبه خواهد شد. در ادامه، این مراحل به صورت روشن توضیح داده شده است.



شکل ۲- روندنمای مراحل انجام پژوهش
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

۴. مبانی نظری تحقیق

۴.۱. مواد استفاده شده

برای استخراج نقشه‌های پوشش/کاربری اراضی و شناسایی فضایی و زمانی از LUC، ابتدا تصاویر سنجنده لندست از پایگاه اینترنتی GLCF^۱ و USGS^۲ در دوره‌های زمانی مناسب انتخاب و دانلود انجام شد. این تصاویر یکسری از تصاویر در دسترس از ماهواره لندست می‌باشد که فاقد گپ ناشی از اصلاح‌کننده خط اسکن است (جدول ۲). جهت ارزیابی آماری، از فرمول‌های پنطیوس استفاده گردید.

جدول ۲- مشخصات تصاویر استفاده شده

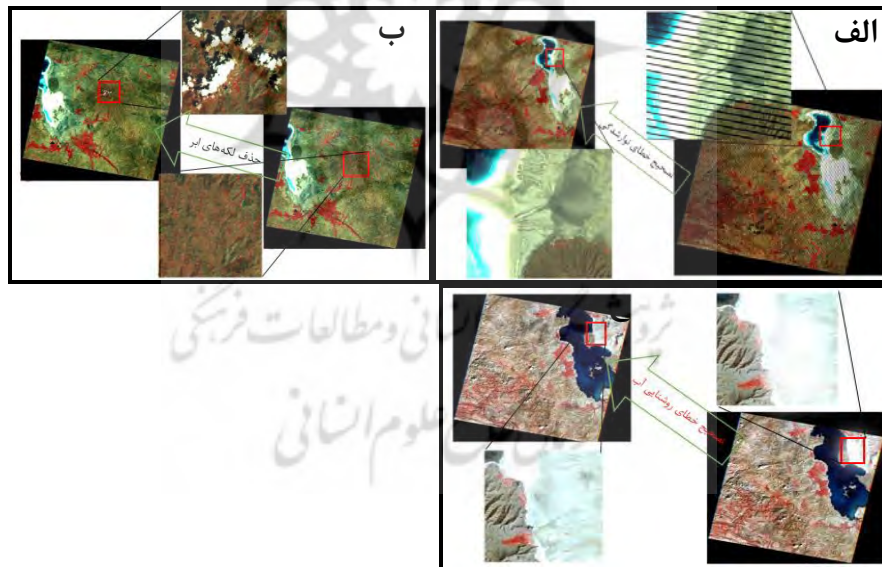
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| گذر تصویر | ردیف تصویر | سنجنده | تاریخ تصویر | منبع دریافت تصویر | فرمت تصویر |
|-----------|------------|--------|-------------|--|------------|
| ۱۶۷ | ۳۴ | TM | ۱۹۸۸/۰۹/۳۰ | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۷ | ۳۵ | TM | ۱۹۸۸/۰۶/۱۰ | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۸ | ۳۳ | TM | ۱۹۸۸/۰۷/۱۹ | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۸ | ۳۴ | TM | ۱۹۸۸/۰۶/۳۰ | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۸ | ۳۵ | TM | ۱۹۸۸/۰۶/۳۰ | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۹ | ۳۳ | TM | 1987/06/24 | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۹ | ۳۴ | TM | ۱۹۸۹/۰۷/۰۷ | /http://earthexplorer.usgs.gov | TIF |
| ۱۶۷ | ۳۴ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۳۰ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۷ | ۳۵ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۳۰ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۸ | ۳۳ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۲۱ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۸ | ۳۴ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۲۱ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۸ | ۳۵ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۲۱ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۹ | ۳۳ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۲۸ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۹ | ۳۴ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۲۸ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |
| ۱۶۹ | ۳۵ | ETM+ | ۲۰۱۵/۰۲/۲۸ | ftp://ftp.glcg.umd.edu/glcg | tar |

1. Global land cover facility
2. United States Geological Survey

۴.۲. پیش پردازش و موزاییک بندی تصویر

برای تصحیح هندسی، تصاویر با میزان خطای ریشه میانگین مربعات^۱ حدود ۰/۳۷ پیکسل ثبت شد و با روی هم گذاری لایه های خطی پل بر روی تصویر تطابق یافته، دقت بالای عمل تطابق هندسی تأیید شد. همچنین از روش کاهش تیرگی پدیده^۲ که جزو خطاهای اتمسفری و خطای نوار نوارشدگی که از نوع خطاهای دستگاهی می باشد، برای تصحیح رادیومتریک استفاده گردید. پدیده لکه های ابر استفاده از تصاویر ماهواره ای را محدود کرده و باعث افزایش مشکل تجزیه و تحلیل می شود. اما با وجود تصاویر چندزمانه می توان این مشکل را کاست. حذف ابر از تصاویر ماهواره ای، در چند مرحله صورت می گیرد: تشخیص ابر، تشخیص سایه ابر، حذف ابر و بازسازی اطلاعات (سارینا^۳، ۲۰۱۴، صص ۶۸۱-۶۸۸). نتایج حاصل از این تصحیحات در شکل (۳) مشاهده می گردد. همچنین جهت موزاییک بندی، از تصاویر مختصات دار بدون توجه به پیکسل ها استفاده گردید. شکل (۴) موزاییک بندی تصاویر سال ۱۹۸۸ را نشان می دهد.

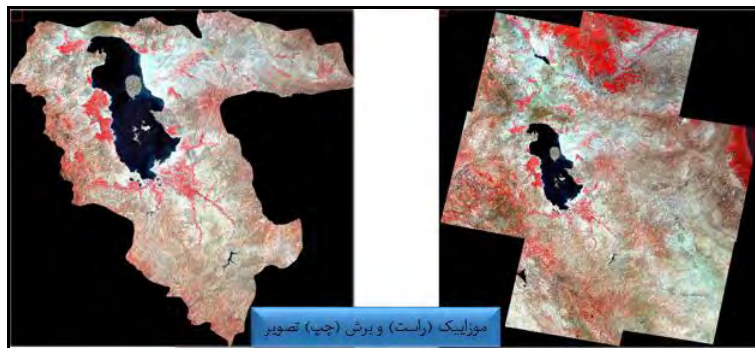


شکل ۳- نتایج حاصل از پیش پردازش تصاویر (الف: خطای نوارشدگی، ب: حذف لکه های ابر و ج:

خطای روشنایی آب)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

1. RMSE
2. Dark Object Subtraction (DOS)
3. Saryans



شکل ۴- موزاییک‌بندی تصاویر منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

۳.۴. تهیه نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت

با توجه به بازدید میدانی و تصویر ماهواره‌های گوگل ارث مربوط به منطقه، مشاهده گردید که در سال ۱۹۸۸، شش طبقه مناطق مسکونی، جنگل، مرتع، زراعت، اراضی فاقد پوشش و سطوح آبی وجود داشته است. به منظور حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده در سطح تصویر طبقه‌بندی شده و همچنین به دست آوردن تصویر مطلوب و با وضوح، از تجزیه و تحلیل فیلتر مجوریتی^۱ استفاده گردید. در این تحقیق، از دو روش ماشین بردار پشتیبان^۲ و روش شی‌گرا جهت طبقه‌بندی و از ماتریس انتقال، جهت شناسایی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه استفاده گردید. همچنین برای ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده، با قطع دادن (مقایسه متناظر) نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا تشکیل شد و براساس آن، صحت کل و ضریب کاپا محاسبه گردید.

۴.۴. ماتریس انتقال پوشش زمین

تجزیه و تحلیل آنالیز زمین با ایجاد یک ماتریس انتقال، از مقایسه دو نقشه شروع می‌شود (جدول

۳).

1. Majority Analysis
2. Support Vector Machine(SVM)

جدول ۳- یک ماتریس ۶×۶ از انتقال پوشش زمین

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| | ۲۰۱۵ | | | | | | جمع ۱۹۸۸ | loss |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | مناطق مسکونی | جنگل | مراعی | زراعت | بدون پوشش | سطوح آبی | | |
| ۱۹۸۸ | | | | | | | | |
| مناطق مسکونی | C_{11} | C_{12} | C_{13} | C_{14} | C_{15} | C_{16} | C_{1+} | $C_{1+} - C_{11}$ |
| جنگل | C_{21} | C_{22} | C_{23} | C_{24} | C_{25} | C_{26} | C_{2+} | $C_{2+} - C_{22}$ |
| مراعی | C_{31} | C_{32} | C_{33} | C_{34} | C_{35} | C_{36} | C_{3+} | $C_{3+} - C_{33}$ |
| زراعت | C_{41} | C_{42} | C_{43} | C_{44} | C_{45} | C_{46} | C_{4+} | $C_{4+} - C_{44}$ |
| بدون پوشش | C_{51} | C_{52} | C_{53} | C_{54} | C_{55} | C_{56} | C_{5+} | $C_{5+} - C_{55}$ |
| سطوح آبی | C_{61} | C_{62} | C_{63} | C_{64} | C_{65} | C_{66} | C_{6+} | $C_{6+} - C_{66}$ |
| جمع ۲۰۱۵ | C_{+1} | C_{+2} | C_{+3} | C_{+4} | C_{+5} | C_{+6} | ۱ | |
| gain | $C_{+1} - C_{11}$ | $C_{+2} - C_{22}$ | $C_{+3} - C_{33}$ | $C_{+4} - C_{44}$ | $C_{+5} - C_{55}$ | $C_{+6} - C_{66}$ | | |

در جدول بالا ردیف‌ها نشان‌دهنده ۶ کلاس در سال ۱۹۸۸ است، درحالی‌که ستون‌ها ویژگی‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۵ را نشان می‌دهد. بنابراین علامت C_{ij} (ژط) نشان‌دهنده انتقال ویژگی چهره زمین از کلاس i به کلاس j ، بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ و C_{jz} تداوم کلاس j را در فاصله سال‌های موردنظر نشان می‌دهد. همچنین علامت C_{i+} به وسیله کلاس i در سال ۱۹۸۸ اشغال‌شده و جهت محاسبه آن، از فرمول زیر استفاده می‌شود (پنطیوس، ۲۰۰۴):

$$C_{i+} = \sum_{j=1}^n C_{ij} \quad (1)$$

در این رابطه، n تعداد کل کلاس‌ها می‌باشد. به‌طور مشابه C_{+j} ویژگی‌ای از چهره زمین می‌باشد که در سال ۲۰۱۵ ایجاد شده‌اند که به وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{+j} = \sum_{i=1}^n C_{ij} \quad (2)$$

ستون **loss**ها نشان‌دهنده ویژگی‌هایی از چهره زمین است که یک کاهش ناخالصی از کلاس i را بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ تجربه کرده‌اند، درحالی‌که ردیف **gain**ها ویژگی‌هایی از چهره زمین را نشان می‌دهد که یک رشد ناخالصی از کلاس j را بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ تجربه کرده‌اند. مفهوم **swap** دلالت بر افزایش و کاهش همزمان یک کلاس زمین از چشم‌انداز است (مثلاً احیای جنگل در برخی مناطق و جنگل‌زدایی در مناطق دیگر). بنابراین برای محاسبه **swap** نیاز به جفت کردن هر پیکسل از دست‌رفته با پیکسل به دست‌آمده می‌باشد. مقدار **swap** از کلاس j به صورت S_j می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

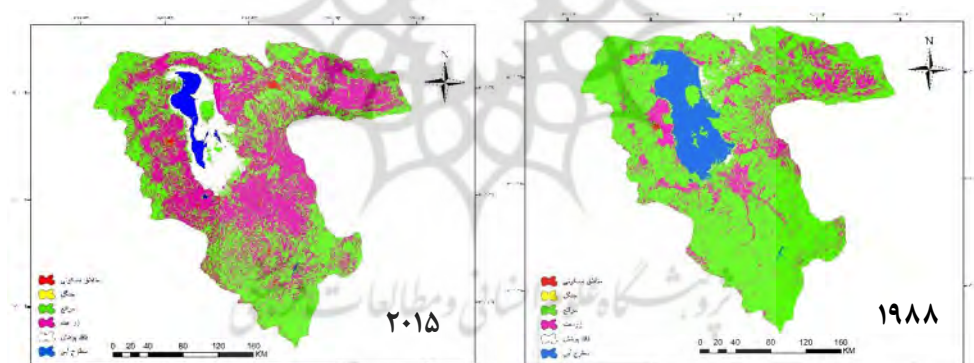
$$S_j = \tau \min (C_{j+} - C_{jj}, C_{+j} - C_{jj}) \quad (5-3)$$

اگر تغییرات خالص برابر صفر (gain و loss مساوی باشد) باشد، swap دو برابر gain و loss است (بروینز و وارس، ۲۰۱۷، ص. ۳۹۶-۴۰۷).

۵. یافته‌های تحقیق

۵.۱. نتایج حاصل از طبقه‌بندی

پس از پیش‌پردازش‌های موردنیاز و تهیه نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی با روش‌های ماشین بردار پشتیبان و روش شی‌گرا صورت گرفت. نقشه حاصل از ماشین بردار پشتیبان (کرنل حلقوی) در شکل (۵) نشان داده شده است. پس از انجام مکرر طبقه‌بندی با مقدار پارامترهای مختلف، درنهایت، بایاس، گاما تابع کرنل، پارامتر پنالتی و سطوح هرم یا پیرامید در کرنل تابع پایه حلقوی به ترتیب برابر با ۱، ۰/۱۴۳، ۱۰۰ و ۰ انتخاب شد. در ادامه، نقشه حاصل از کرنل حلقوی فراهم و به‌عنوان معرف SVM جهت مقایسه با روش شی‌گرا موردتوجه قرار گرفت.



شکل ۵- نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی صحت پرداخته شد. برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی، انتخاب یکسری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آنها با نتایج طبقه‌بندی لازم می‌باشد. بدین جهت تصاویر طبقه‌بندی‌شده با نمونه‌های زمینی تهیه‌شده و میزان دقت کاربری‌ها (دقت کل و ضریب کاپا) به شرح جداول زیر به‌دست آمد.

جدول ۴- دقت کاربری‌ها با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| تصویر ETM+ ۲۰۱۵ | تصویر TM ۱۹۸۸ | پارامترهای آماری |
|-----------------|---------------|------------------|
| ۰/۹۰ | ۰/۸۹ | ضریب کاپا |
| ۹۱/۳۹ | ۹۰/۶۸ | دقت کل (درصد) |

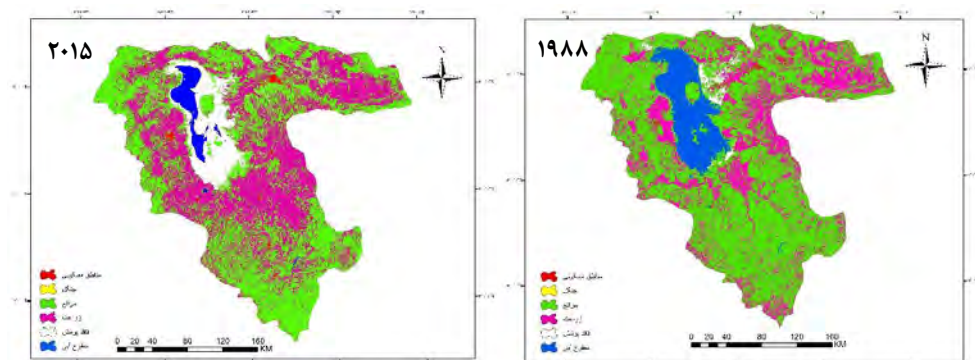
پایه روش شیء‌گرا براساس قطعه‌بندی تصویر می‌باشد. در این تحقیق پس از قطعه‌بندی و تعیین میزان تغییرات و تکرار پارامترهای مؤثر برای قطعه‌بندی، جدول (۵) تهیه گردید. این جدول میزان هرکدام از پارامترها را در جهت تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین به روش شیء‌گرا نشان می‌دهد.

جدول ۵- فاکتورهای قطعه‌بندی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| فاکتور | تکرار | | | بهترین حالت | | | دامنه تغییرات | | |
|---------------------|----------|----------|----------|-------------|------|------|---------------|-------|-------|
| | ۱۹۸۸ | ۲۰۰۷ | ۲۰۱۵ | ۱۹۸۸ | ۲۰۰۷ | ۲۰۱۵ | ۱۹۸۸ | ۲۰۰۷ | ۲۰۱۵ |
| پهنای پنجره | ۴ تا ۲ | ۴ تا ۲ | ۴ تا ۲ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱۰-۰ | ۱۰-۰ | ۱۰-۰ |
| تلرنس تشابه | ۳۰-۲۰-۱۰ | ۳۰-۲۰-۱۰ | ۳۰-۲۰-۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۰۰-۰ | ۱۰۰-۰ | ۱۰۰-۰ |
| فاکتور میانگین وزنی | ۱ تا ۰/۱ | ۱ تا ۰/۱ | ۱ تا ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱۰-۰ | ۱۰-۰ | ۱۰-۰ |
| فاکتور واریانس وزنی | ۱ تا ۰/۱ | ۱ تا ۰/۱ | ۱ تا ۰/۱ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۱۰-۰ | ۱۰-۰ | ۱۰-۰ |

مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار در قطعه‌بندی تصاویر، تلرنس تشابه است. هرچه میزان این شاخص به ۱۰۰ نزدیک‌تر گردد، اندازه نهایی قطعات کوچک می‌شود. این فرایند تا زمانی که بهترین نتیجه براساس نظر استفاده‌کننده به دست بیاید، تکرار خواهد شد (شکل ۶).



شکل ۶- نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از روش شی‌اگرا

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۶- دقت کاربری‌ها با استفاده از روش شی‌اگرا

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| تصویر ۲۰۱۵ ETM+ | تصویر ۱۹۸۸ TM | پارامترهای آماری |
|-----------------|---------------|------------------|
| ۰/۹۴ | ۰/۹۱ | ضریب کاپا |
| ۹۵/۵ | ۹۲/۳۸ | دقت کل (درصد) |

با توجه به نتایج حاصل از جدول (۷) می‌توان گفت، روش شی‌اگرا به ترتیب با صحت کل ۹۴ و ضریب کاپای ۰/۹۲ نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان (با صحت کل ۹۲ و ضریب کاپای ۰/۸۹) عملکرد بهتری در تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش زمین داشته است. این امر به علت استفاده از ویژگی‌های مختلفی، از قبیل ویژگی‌های هندسی پدیده‌ها علاوه بر ویژگی‌های طیفی آنها در طبقه‌بندی است.

جدول ۷- نتایج ارزیابی صحت دو روش مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| شی‌اگرا | ماشین بردار پشتیبان | پارامترهای آماری |
|---------|---------------------|------------------|
| ۰/۹۲ | ۰/۸۶ | ضریب کاپا |
| ۹۳/۹۴ | ۸۸/۹۱ | دقت کل (درصد) |

۳.۵. خلاصه‌سازی انتقالات پوشش زمین

جدول (۸) خلاصه نسبت $gain$ ، $loss$ ، $swap$ و $not\ change$ برای هر پوششی از زمین بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ می‌باشد. زراعت، مراتع و اراضی فاقد پوشش و شور بیشترین $gain$ را دارد، در حالی که مراتع، زراعت و سطوح آبی بالاترین $loss$ را دارا می‌باشند. مراتع حدود ۲۵ درصد، زراعت ۳ درصد و سطوح آبی ۹ درصد از $loss$ را از چهره زمین در منطقه تجربه کرده‌اند. $Loss$ در مراتع احتمالاً به دلیل افزایش جمعیت و افزایش زمین‌های زراعی و در سطوح آبی به دلیل حفر چاه‌ها، ایجاد پل و سد بر روی رودخانه‌ها و دریاچه ارومیه می‌باشد. بیشترین نسبت $gain$ به $loss$ متعلق به سطوح آبی است که نشان می‌دهد این کاربری، قسمت اعظمی از پوشش خود را از دست داده و افزایش چندانی نداشته است. بیشترین $swap$ متعلق به زراعت می‌باشد که همزمان با gin در منطقه، $loss$ نیز وجود داشته است. تغییرات در مناطق جنگلی و تاحدودی مناطق مسکونی تقریباً ناخالص (تغییراتی که به صورت همزمان افزایش و کاهش کاربری اراضی را تجربه کرده باشد) می‌باشد، اما در کاربری‌های دیگر بیشتر به صورت خالص (تغییراتی که فقط افزایش یا کاهش پوشش زمین را تجربه کرده باشد) است. بیشترین تغییر نسبت به مقدار ($net\ change$) مربوط به سطوح آبی (۹۹ درصد) است، در حالی که بیشترین تغییرات نسبت به موقعیت ($swap$) مربوط به مناطق مسکونی (۵۹ درصد) می‌باشد.

جدول ۸- خلاصه‌سازی تغییرات چهره زمین (درصد)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| | total 1988 | total 2015 | gain | loss | total change | swap | net change |
|--------------|---------------|---------------|--------|--------|-----------------|--------|---------------|
| مناطق مسکونی | ۴/۳۱۳ | ۸/۶۶۳ | ۴/۴۹۱ | ۰/۱۴۱ | ۴/۶۳۲ | ۰/۲۵۲ | ۴/۳۵۰ |
| جنگل | ۱/۴۰۶ | ۱/۳۷۲ | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۶۲ | ۰/۰۲۸ | ۰/۰۳۴ |
| مراتع | ۵۶/۳۰۵ | ۳۲/۶۸۰ | ۱/۸۷۸ | ۲۵/۵۰۳ | ۲۷/۳۸۱ | ۳/۷۶۵ | ۲۳/۶۲۵ |
| زراعت | ۱۸/۰۰۷ | ۳۷/۲۵۸ | ۲۳/۱۵۲ | ۳/۹۰۱ | ۲۷/۰۵۳ | ۷/۸۰۳ | ۱۹/۲۵۱ |
| بدون پوشش | ۳/۲۱۹ | ۱۳/۲۱۴ | ۱۱/۲۸۵ | ۱/۲۸۹ | ۱۲/۵۷۴ | ۲/۵۷۸ | ۹/۹۹۵ |
| سطوح آبی | ۱۶/۷۵۰ | ۶/۸۱۳ | ۰/۰۱۱ | ۹/۹۴۸ | ۹/۹۵۹ | ۰/۰۲۳ | ۹/۹۳۷ |
| total | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۴۰/۸۳۱ | ۴۰/۸۳۱ | ۸۱/۶۶۱ | ۱۴/۴۶۹ | ۶۷/۱۹۲ |

با توجه به جدول (۸)، هرچند که تغییرات کلی در مراتع و زراعت مشهود می‌باشد، اما به این نسبت تغییرات خالص این کاربری‌ها نیز زیاد می‌باشد. جنگل حالت تقریباً ثابتی را دارد. هرچند که جنگل‌ها در بعضی مناطق افزایش خالص داشته، همزمان جنگل‌زدایی را هم تجربه کرده‌اند. با توجه به اینکه سطوح آبی افزایش خیلی کمی را در منطقه تجربه کرده است، بنابراین میزان swap بسیار ضعیف و میزان تغییرات خالص و کل تقریباً برابر می‌باشد.

۵. ۴. تداوم پوشش زمین

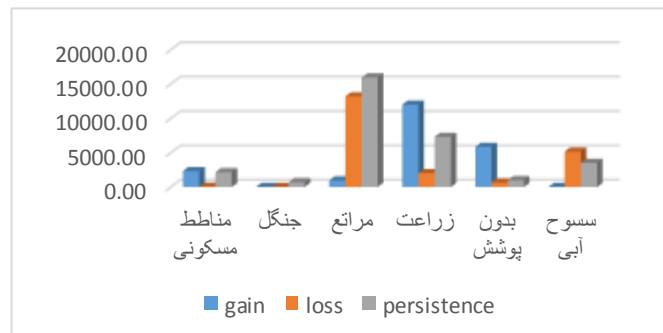
نسبت اختلاف پوشش‌های زمین به صورت ایستا بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ در قطر جدول (۹) (به صورت درصد) نشان داده شده است. تقریباً ۳۱ درصد از چهره زمین که به صورت مرتع می‌باشد، بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۵ ثابت مانده است. همچنین زراعت دارای ۱۴ درصد پوشش ثابت در این فاصله زمانی می‌باشد.

جدول ۹- ماتریس تغییرات پوشش زمین (درصد)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| ۱۹۸۸/۲۰۱۵ | مناطق مسکونی | جنگل | مراتع | زراعت | بدون پوشش | سطوح آبی | Total1988 | loss |
|--------------|--------------|-------|--------|--------|-----------|----------|-----------|--------|
| مناطق مسکونی | ۴/۱۷۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۵ | ۰/۱۳۴ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۴/۳۱۳ | ۰/۱۴۱ |
| جنگل | ۰/۰۰۱ | ۱/۳۵۸ | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۱۶ | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۰۰ | ۱/۴۰۶ | ۰/۰۴۸ |
| مراتع | ۲/۴۳۲ | ۰/۰۰۶ | ۳۰/۸۰۲ | ۲۲/۹۹۲ | ۰/۰۷۱ | ۰/۰۰۲ | ۵۶/۳۰۵ | ۲۵/۵۰۳ |
| زراعت | ۲/۰۴۶ | ۰/۰۰۵ | ۰/۵۶۴ | ۱۴/۱۰۶ | ۱/۲۷۷ | ۰/۰۰۹ | ۱۸/۰۰۷ | ۳/۹۰۱ |
| بدون پوشش | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۲ | ۱/۲۸۶ | ۰/۰۰۹ | ۱/۹۲۹ | ۰/۰۰۱ | ۳/۲۱۹ | ۱/۲۸۹ |
| سطوح آبی | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۹ | ۹/۹۱۷ | ۶/۸۰۲ | ۱۶/۷۵۰ | ۹/۹۴۸ |
| total 2015 | ۸/۶۶۳ | ۱/۳۷۲ | ۳۲/۶۸۰ | ۳۷/۲۵۸ | ۱۳/۲۱۴ | ۶/۸۱۳ | ۱۰۰ | ۴۰/۸۳۱ |
| gain | ۴/۴۹۱ | ۰/۰۱۴ | ۱/۸۷۸ | ۲۳/۱۵۲ | ۱۱/۲۸۵ | ۰/۰۱۱ | ۴۰/۸۳۱ | |

همان‌طور که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود، مناطق جنگلی شرایط تقریباً ثابتی را طی کرده‌اند که کمترین مقدار کاربری را در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه دارا می‌باشند. بیشترین مقدار gain در این حوضه، زراعت و سپس اراضی فاقد پوشش می‌باشد. بیشترین مقدار loss مربوط به مراتع و سپس سطوح آبی می‌باشد که احتمالاً جایگزینی با زراعت و سطوح آبی داشته است. همچنین مراتع بیشترین پایداری را در این حوضه دارا می‌باشد.



نمودار ۱- نسبت افزایش، کاهش و پایداری پوشش زمین (براساس هکتار)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

نکته قابل ملاحظه در این نمودار وضعیت پایداری سطوح آبی می باشد که کاهش در منطقه، بیشتر از پایداری این پوشش بوده است. این وضعیت نشان دهنده تخریب شدید در این نوع از چهره زمین است. زراعت و مراتع شرایط تقریباً متفاوتی را تجربه کرده اند. به همان نسبت که زراعت افزایش داشته، مراتع بخش عظیمی از پوشش خود را از دست داده اند.

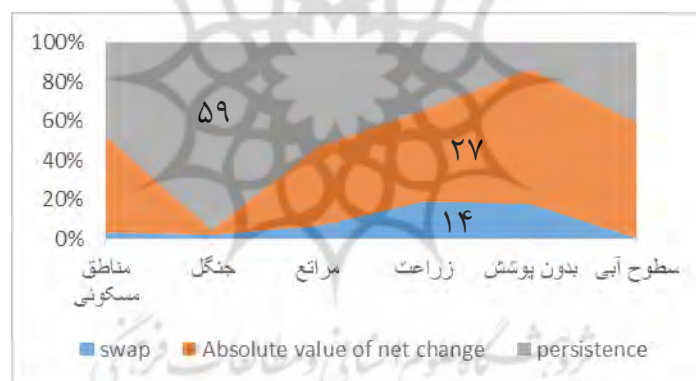
نسبت $loss$ به $persistence$ ارزیابی آسیب پذیری انتقال کلاس زمین را مشخص می کند. ارزش I_p (نسبت کاهش به پایداری پوشش زمین) بالاتر از یک، نشان دهنده یک گرایش بالای انتقال کاربری زمین به دیگر کاربری هایی است که مقاوم اند. در جدول (۱۰) I_p برای کلاس سطوح آبی، بالای یک و بقیه کاربری ها کمتر از یک می باشد. بنابراین این کاربری ها تمایل کمتری برای ازدست دادن دارند. در نتیجه، ما شاهد کاهش سطوح آبی و همچنین تاحدودی مرتع در این منطقه هستیم. این دو منطقه تمایل به ازدست دادنشان بیشتر از تمایل به افزایش در منطقه می باشد. شایان ذکر است که سه کلاس مناطق مسکونی، زراعت و اراضی بدون پوشش نسبت $gain-to-persistence$ (gp) بالای یک دارند که نشان می دهد در این کاربری ها، $gain$ ها بیشتر به دلیل پایداری این کاربری ها می باشد، در حالی که سطوح آبی کمترین مقدار را شامل می شود. مقدار تغییرات خالص به پایداری که به وسیله فرمول $n_p = g_p - l_p$ به دست می آید، برای جنگل، مرتع و سطوح آبی منفی می باشد. کاهش خالص سطوح آبی تقریباً برعکس پایداری این چشم انداز است. همچنین کاهش خالص زراعت با پایداری این چشم انداز تقریباً برابر بوده است، ولی نسبت به افزایش خالص نصف می باشد (جدول ۱۰). همان طور که در نمودار (۲) مشاهده می گردد،

بیشترین میزان از چهره زمین، مربوط به تداوم این کاربری‌ها است و تبادل همزمان کاربری‌ها کمترین مقدار را دارا می‌باشند.

جدول ۱۰- نسبت (gp, lp و np) برای هر کلاس

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

| | gp | lp | np |
|--------------|-------|-------|--------|
| مناطق مسکونی | ۱/۰۷۷ | ۰/۰۳۴ | ۱/۰۴۳ |
| جنگل | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۳۵ | -۰/۰۲۵ |
| مراتع | ۰/۰۶۱ | ۰/۸۲۸ | -۰/۷۶۷ |
| زراعت | ۱/۶۴۱ | ۰/۲۷۷ | ۱/۳۶۵ |
| بدون پوشش | ۵/۸۴۸ | ۰/۶۶۸ | ۵/۱۸۰ |
| سطوح آبی | ۰/۰۰۲ | ۱/۴۶۳ | -۱/۴۶۱ |



نمودار ۲- نسبت پایداری پوشش زمین با دیگر نسبت‌های چهره زمین (درصد)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

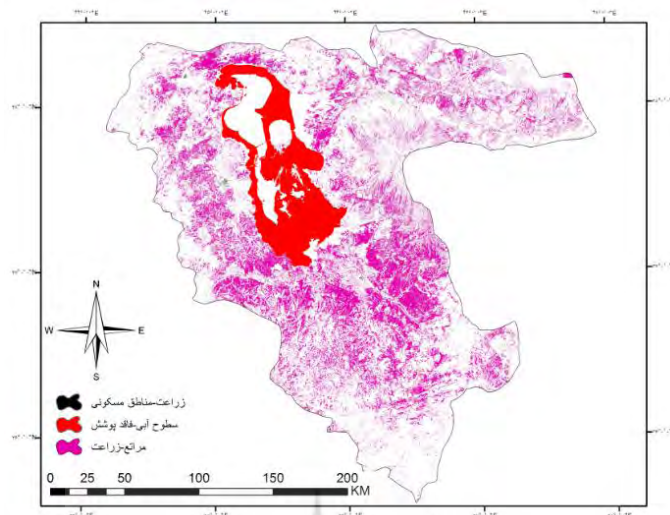
با توجه به نمودار (۲)، از کل حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، حدود ۵۹ درصد پایداری، ۱۴ درصد تبادل همزمان از تغییرات کاهشی و افزایشی و ۲۷ درصد از چهره زمین نیز تغییرات خالص داشته است. این آمارها نشان می‌دهد که در این دوره زمانی، این حوضه آبخیز تغییراتی زیادی را تجربه کرده، که بیشتر در جهت نامناسب بوده است و همین انتقالات است که این حوضه را به یک موضوع بین‌المللی مبدل ساخته که با چالش‌های فراوانی روبه‌رو می‌باشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در نقشه‌های شیء‌گرا، کاربری‌ها و پوشش اراضی مختلف، مانند مراتع، مناطق مسکونی، زراعت، اراضی فاقد پوشش و سطوح آبی نسبت به دو نقشه دیگر با جزئیات بهتری طبقه‌بندی شده است؛ چراکه روش شیء‌گرا قادر است اشکال هندسی منظم، نظیر مناطق انسان‌ساخت یا اراضی زراعی را در فرایند سگمنت‌سازی به‌خوبی تشخیص دهد. انتخاب پارامترها در روش‌های ماشین بردار پشتیبان اثر قابل توجهی بر صحت و زمان طبقه‌بندی دارد و از این جهت که هیچ منبع و اساسی برای انتخاب پارامترها وجود نداشته و کاملاً جنبه تجربی دارند، حائز توجه بیشتر می‌باشند. از طرفی سگمنت‌سازی روش شیء‌گرا نیز مستلزم انتخاب تجربی و همراه با سعی و خطای چند پارامتر است که مقدار داده‌شده به این پارامترها تعیین‌کننده صحت و ظرافت طبقه‌بندی نهایی هستند. در مجموع، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که مقایسه روش‌ها تا حدودی به منطقه و تصویر استفاده‌شده و گروه روش‌های مورد مقایسه بستگی دارد. در اینجا هر دو روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شیء‌گرا نشان دادند که قابلیت تهیه نقشه‌های مطلوب را دارا می‌باشند. از این بین، روش شیء‌گرا به دلیل دخالت دادن فاکتورهای، نظیر مقیاس، شکل و بافت علاوه بر استفاده از ارزش پیکسلی، عملکرد بهتر و دقیق‌تری در طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی نشان داد.

در مواردی که روش شیء‌گرا با روش ماشین بردار پشتیبان مقایسه شده، اغلب حاکی از کارایی برتر روش شیء‌گرا بوده است که در پژوهش حاضر نیز چنین نتیجه‌ای حاصل شد. هرچند با توجه به مقادیر صحت کلی بیش از ۸۵ درصد، نقشه‌های حاصل از هر دو روش با استناد به منابعی مانند لیل‌سند، کیفر و چیمپان^۱ (۲۰۰۸) قابل قبول و قابل استناد می‌باشند. اما در پژوهش حاضر، پس از مقایسه صحت هر دو روش، روش طبقه‌بندی شیء‌گرا با صحت کلی و کاپای بالاتر (ضریب کاپای ۰/۹۲، دقت کل ۹۴/۱۷) نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان روش برتر برای منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از تجزیه و تحلیل از ماتریس انتقال، نتایج حاصل از ارزیابی این ماتریس‌ها به‌صورت زیر خلاصه گردید. همچنین جهت نمایش این انتقالات، شکل (۸) سیگنال‌های غالب تغییرات را نشان می‌دهد. شناسایی میزان این سیگنال‌های عمده از انتقالات طبقات LULC ما را در جهت برنامه‌ریزی آینده حوضه آبخیز دریاچه ارومیه توصیه می‌کند.

1. Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW



شکل ۸- انتقال‌های غالب چهره زمین ۱۹۸۸-۲۰۱۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۵

۱- حدود ۸۱ درصد (با توجه به اینکه این تغییرات جمع $gain$ و $loss$ می‌باشد که حدود ۴۱ درصد از سطح حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را دربر می‌گیرد) از چهره زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه تغییرات کلی داشته است. از این تغییرات، ۱۴ درصد به صورت $swap$ و مابقی تغییرات (۲۷) به صورت خالص بوده است.

۲- در بین کاربری‌های حوضه موردنظر، زراعت بیشترین $swap$ و مراتع بیشترین $net\ change$ را شامل بوده است. بیشترین میزان سطوح کاهشی را به ترتیب مراتع و سطوح آبی و بیشترین سطوح افزایش را به ترتیب زراعت و اراضی فاقد پوشش تجربه کرده‌اند. دلایل این کاهش سطوح آبی نسبت به مناطق دیگر می‌تواند افزایش تعداد جمعیت، حفر بیش از حد چاه‌ها، ایجاد سد و خشک‌سالی‌های منطقه باشد. کاهش مرتع نیز می‌تواند به دلیل افزایش جمعیت و تبدیل کاربری مرتع به زراعت باشد.

۳- به طور میانگین، ۵۹ درصد از چهره زمین در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در فاصله زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۵ تداوم داشته است که بیشترین مقدار از این تداوم براساس مقدار این کاربری در این فاصله زمانی، مربوطه به مناطق مسکونی می‌باشد.

۴- در این فاصله زمانی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، سطوح آبی بیشترین ازدست‌دادگی و کمترین تبادل همزمان ($swap$) را تجربه کرده است.

کتابنامه

۱. آرخی، ص. (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییرات پوشش/کاربری اراضی با پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار Idrisi selvi (مطالعه موردی: منطقه آبدانان). فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سیپهر»، ۲۴(۹۵)، ۵۱-۶۲.
۲. آرخی، ص؛ اصفهانی، م. (۱۳۹۳). آموزش تصویری نرم‌افزار ایدریسی سلوا. چاپ اول. انتشارات دانشگاه گلستان.
۳. زهتاییان، غ؛ طباطبایی، غ. (۱۳۸۷). بررسی روند بیابان‌زائی در استان خوزستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای. همایش منطقه‌ای توسعه پایدار در زیست‌بوم‌های بیابانی، یزد. ۵۷-۷۰.
۴. علوی‌پناه، س. (۱۳۹۲). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.
۵. علوی‌پناه، ک؛ متین‌فر، ح. ر؛ و سرمدیان، ف. (۱۳۸۳). ارزیابی کاربری داده‌های ماهواره‌ای از نظر صرفه‌جویی وقت. کنفرانس ملی بهره‌وری، فرهنگستان علوم ایران، ۲۵-۴۳۹.
۶. فاطمی نصیرآبادی، س. (۱۳۸۵). آموزش نرم‌افزار ENVI (نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای). چاپ اول. تهران: سازمان نقشه‌برداری کشور.
7. Alo, C. A., & Pontius, R. G. (2008). Identifying systematic land-cover transitions using remote sensing and GIS: The fate of forests inside and outside the protected areas of southwestern Ghana. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(2), 280-295.
8. Bauer, T., & Steinnocher, K. (2001). Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule-based technique. *GeoBIT/GIS*, 6, 24-27.
9. Braimoh, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1), 254-263.
10. Briones, P. S., & Sepúlveda-Varas, A. (2017). Systematic transitions in land use and land cover in a pre-Andean subwatershed with high human intervention in the Araucania region, Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(3), 396-407.
11. Definiens the image intelligence company. (2006). *Definiens professional user guide*. Retrieved from <http://www.definiens.com/Userguide.pdf>
12. Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., & Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 91-106.
13. Karami, A., Khorani, A., Nohegar, A., Shamsi, S. R. F., & Moosavi, V. (2015). Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image classification methods. *Environmental & Engineering Geoscience*, 21(2), 101-110.

14. Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1), 205-241.
15. Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401.
16. Mackie, R. I. (2013). Dynamic analysis of structures on multicore computers: Achieving efficiency through object-oriented design. *Advances in Engineering Software*, 66, 3-9.
17. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Pontius, R. G. (2010). Analysis of twenty years of categorical land transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(4), 336-346.
18. Matinfar, H. R., Sarmadian, F., Alavipanah, S. K., & Heck, R., (2008). Characterizing land use/land cover types by Landsat7 data based on object-oriented approach in Kashan region. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14(4), 589-602.
19. Petropoulos, G. P., Kalaitzidis, C., Vadrevu, K. P. (2012). Support vector machines and object-based classification for obtaining land use/cover cartography from Hyperion hyperspectral imagery. *Computers & Geosciences*, 41, 99-107.
20. Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2), 251-268.
21. Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A. (2014). Object-oriented mapping of urban trees using random forest classifiers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 235-245.
22. Puissant, A., Rougier, S., & Stumpf, A. (2014). Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 235-245.
23. Roostaei, S., Alavi, S., Nikjoo, M., & Kamran, K. V. (2012). Evaluation of object-oriented and pixel-based classification methods for extracting changes in urban areas. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(3), 738-749.
24. Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989-1003.
25. Tso, B., & Mather, P. M. (2009). Classification methods for remotely-sensed data. New York: Taylor and Francis.
26. Tucker, C. J., Dregne, H. E., & Newcomb, W. W. (1991). Expansion and contraction of the Sahara Desert. *Science*, 253, 299-301.