

بررسی تغییر کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر مبنای تصاویر Landsat-TM و تکنیک‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی پایه

اشکان فرخ‌نیا^۱، سعید مرید^{۲*}، مجید دلاور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۶

چکیده

کاربری اراضی یکی از ویژگی‌های مهم حوضه‌های آبریز می‌باشد، بنابراین آگاهی از شرایط و تغییرات آن در طول زمان از پیش‌نیازهای دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد. امروزه تکنیک‌های نوین سنجش از دور قابلیت‌های مناسبی را برای بررسی و تحلیل این مورد در اختیار قرار می‌دهد. در تحقیق حاضر بررسی وضعیت فعلی و گذشته کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از مناطق بحرانی از نظر آب و محیط زیست در کشور هدف قرار داده شد. بدین منظور از تصاویر Landsat-TM مربوط به سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۶ استفاده شد و برای بهبود دقت طبقه‌بندی، از دو سری تصویر مربوط به ماه‌های مختلف برای هر مقطع زمانی استفاده گردید. ابتدا نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۸۶ شهرستان ارومیه به دو روش پیکسل پایه (حداکثر احتمال) و شی پایه (فازی) تهیه گردید که بررسی دقت آن‌ها نشان دهنده برتری معنی‌دار روش شی پایه در طبقه‌بندی کاربری اراضی بود. در ادامه روش منتخب برای تهیه نقشه‌های کاربری در کل حوضه برای دو مقطع زمانی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن نشان دهنده افزایش سطوح زیر کشت آبی و دیم به ترتیب به مقدار ۳۲ و ۲۳ درصد و کاهش ۸/۵ درصدی مراتع بین دو مقطع زمانی، مورد بررسی بود. همچنین بررسی تغییرات کاربری اراضی در سطح استان‌های واقع در حوضه نشان داد که الگوی توسعه اراضی کشاورزی در آن‌ها یکسان نبوده است.

واژه‌های کلیدی: تصاویر Landsat-TM، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، طبقه‌بندی شی پایه، کاربری اراضی

مقدمه

روش‌های زمینی می‌توان به مواردی نظیر پوشش گسترده زمانی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای و نیاز به صرف زمان و هزینه بسیار پایین‌تر در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی اشاره نمود (بی‌نام، ۱۳۹۲). در استفاده از سنجش از دور طبقه‌بندی اراضی باید توجه داشت که مراحل پیش و پس پردازش از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، مانند نوع روش مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر. هم‌اکنون تحلیل و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به دو روش کلی پیکسل پایه^۶ و شی پایه^۷ قابل انجام می‌باشد. در روش پیکسل پایه، پردازش و طبقه‌بندی برای هر پیکسل منفرد از تصویر بر اساس خصوصیات طیفی مربوط به آن صورت می‌گیرد و می‌تواند به دو صورت نظارت شده^۸ و یا نظارت نشده^۹ انجام شود که برای هر یک از آن‌ها الگوریتم‌های مختلفی توسعه داده شده است. این روش‌ها که بطور متداول در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دلیل این‌که تنها از اطلاعات طیفی

دریاچه ارومیه طی سال‌های اخیر دچار افت تراز شدیدی شده که بخش قابل ملاحظه‌ای از آن تحت تاثیر توسعه بخش کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب حوضه آبریز آن بوده است (فتحیان، ۱۳۹۱). اما اینکه این تغییرات و به‌خصوص تغییر در کاربری اراضی در چه سطحی اتفاق افتاده، نیاز به مطالعات خاص خود را دارد. بطور کلی بررسی تغییرات کاربری اراضی به دو روش زمینی و سنجش از دور امکان‌پذیر می‌باشد. اما، در دهه‌های اخیر با توسعه امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پردازش تصاویر ماهواره‌ای و همچنین سهولت دسترسی به تصاویر چند طیفی^۴ و فراطیفی^۵، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور جهت تولید نقشه‌های کاربری اراضی رایج‌تر گردیده است. از مزیت‌های استفاده از این روش‌ها در مقایسه با

۱- عضو هیات علمی، پژوهشکده منابع آب، موسسه تحقیقات آب

۲- استاد گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

* - نویسنده مسئول: (Email: morid_sa@modares.ac.ir)

4- Multi-Spectral
5- Hyper-Spectral

6- Pixel-Based
7- Object-Based
8- Supervised
9- Unsupervised

روش پیکسل پایه تولید می‌نماید.

جدا از روش مورد استفاده در طبقه‌بندی، استفاده از یک تصویر و یا چند تصویر و همچنین استفاده از اطلاعات جانبی نظیر شیب و ارتفاع در طبقه‌بندی کاربری اراضی از دیگر مواردی است که در تعداد کم‌تری از تحقیقات قبلی مورد توجه قرار گرفته است. پرایس و همکاران به منظور بهبود دقت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در یک منطقه کم وسعت در آمریکا از سه تصویر ماهواره Landsat-TM در زمان‌های مختلف در طول یک سال استفاده نمودند (Price et al, 1997). بر این اساس ایشان با ترکیب الگوریتم‌های نظارت شده و نظارت نشده در روش پیکسل پایه، دقت بالای ۹۰٪ را در تولید نقشه‌های کاربری اراضی گزارش و نشان دادند که استفاده از چند تصویر در طول سال دقت تولید نقشه‌های کاربری اراضی را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. سفیانیان و خداکرمی (۱۳۹۰) با استفاده از دو سری تصویر مربوط به ماه‌های اردیبهشت و مرداد و بر مبنای سیستم طبقه‌بندی فازی نقشه‌های کاربری اراضی را برای سه حوضه آبریز در استان همدان تهیه و نتیجه‌گیری نمودند که استفاده از چندین تصویر متناسب با تقویم زراعی گیاهان غالب منطقه مورد مطالعه امکان تفکیک آن‌ها را به‌طور مناسبی فراهم می‌سازد. علی‌محمدی و همکاران (۱۳۸۸) نیز طی تحقیقی طبقه‌بندی پوشش‌های جنگلی شهرستان آستارا را با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT و الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی با و بدون استفاده از داده‌های ارتفاع و شیب بررسی نمودند و نشان دادند که جدا از روش طبقه‌بندی، استفاده از این اطلاعات موجب افزایش قابل ملاحظه دقت طبقه‌بندی می‌گردد.

تحقیق حاضر نیز تلاشی است برای بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه دریاچه ارومیه با روش‌های شی پایه و پیکسل پایه. این مقایسه بین سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۶ (به ترتیب ۱۹۸۷ و ۲۰۰۷ میلادی) انجام گرفته که در شکل ۱ رفتار تراز دریاچه ارومیه در این دوره قابل مشاهده است که در کنار آن نیز تراز دریاچه وان نیز آمده است. ویژگی این دوره اتفاقات خاصی بوده که در آن رخ داده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، تا سال ۱۳۸۱، دو دریاچه رفتاری بسیار نزدیک را داشتند، بالاترین تراز دو دریاچه نیز طی حدوداً نیم قرن اخیر در سال ۱۳۷۴ به‌طور هم‌زمان رخ داده است. سپس هر دو سیری نزولی را تا سال ۱۳۸۱ را تجربه کردند، اما با این تفاوت که وان توانست به شرایط نرمال خود بازگردد، ولی برای ارومیه این‌طور نشد. بررسی میدانی نیز نشان داد که دلیل جلب شدن توجهات عمومی کشور به دریاچه ارومیه، بعد از این سال توسعه اراضی کشاورزی در آن کنترل شده است. بدیهی می‌باشد که هم عوامل اقلیمی و هم انسانی در این وضعیت نقش داشته‌اند. مقاله نیز بر نقش انسانی متمرکز است و تغییر کاربری اراضی را که معرف افزایش فشار بر منابع آب و خاک حوضه می‌باشد را دنبال می‌نماید. با توجه به

پیکسل‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌کنند، توانایی محدودی در جدا نمودن کلاس‌های دارای اطلاعات طیفی مشابه دارند (Chen et al, 2006). اما در روش شی پایه، واحد اصلی پردازش تصویر، سگمنت‌ها و به عبارت دیگر مجموعه‌ای از پیکسل‌ها می‌باشد و به همین دلیل در این روش علاوه بر خصوصیات طیفی، استفاده از اطلاعات مربوط به بافت و شکل عوارض زمینی نیز در طبقه‌بندی تصاویر امکان‌پذیر است. مقایسه بین دو روش در مواردی نیز موضوع برخی از تحقیقات بوده است که از آن جمله می‌توان به کار چن و همکاران (Chen et al, 2009) اشاره نمود. در این تحقیق از تصاویر ماهواره SPOT به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شی پایه استفاده گردید و نتایج نشان داد که استفاده از داده‌های رقومی ارتفاع و مشخصات بافت و شکل عوارض به همراه اعمال سیستم طبقه‌بندی فازی در روش شی پایه نسبت به عدم استفاده از آن‌ها در روش پیکسل پایه منجر به بهبود حدود ۲۰٪ در دقت نتایج می‌گردد. در تحقیق دیگری هانگ و لی برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره QuickBird و طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی پایه استفاده نموده و نشان دادند که دقت نقشه‌های تولید شده در روش شی پایه بیش‌تر می‌باشد (Haug and Li, 2008). با وجود این که طبقه‌بندی شی پایه بیش‌تر به منظور تحلیل تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده می‌شود، اما نمونه‌هایی از استفاده آن در تصاویر با قدرت تفکیک پایین‌تر نیز دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به کار گائو و همکاران (Gao et al, 2009) اشاره نمود. ایشان در تحقیق خود از طبقه‌بندی شی پایه بر روی تصاویر سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده نمودند که موجب افزایش حدود ۵٪ در دقت نقشه کاربری تهیه شده نسبت به روش پیکسل پایه گردید.

در تحقیقات داخل کشور نیز نمونه‌هایی از استفاده و مقایسه دو روش طبقه‌بندی مذکور برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی وجود دارد. به عنوان مثال فیضی‌زاده (۱۳۸۶) روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی پایه را در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی جلگه شرقی دریاچه ارومیه مورد مقایسه قرار داد. در تحقیق مذکور برای طبقه‌بندی پیکسل پایه از الگوریتم‌های حداقل فاصله، متوازی سطوح و حداکثر احتمال استفاده شد و طبقه‌بندی شی پایه نیز بر اساس روش نزدیک‌ترین همسایگی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد بین روش‌های پیکسل پایه، روش حداکثر احتمال با دقت کلی ۸۷٪ بیش‌ترین دقت را داشته و روش شی پایه نیز نقشه‌ای با دقت ۹۴٪ تولید نموده است. در تحقیق دیگری متین‌فر و همکاران به مقایسه دقت روش‌های پیکسل پایه و شی پایه در طبقه‌بندی کاربری اراضی شهرستان کاشان پرداختند (Matinfar et al, 2007). در این تحقیق که با استفاده از تصویر Landsat-ETM صورت گرفت، نشان داده شد که طبقه‌بندی شی پایه نقشه‌هایی با دقت ۱۰٪ بیش‌تر نسبت به

در تحقیق حاضر این بررسی‌ها مدنظر قرار گرفته که بدین منظور ابتدا توضیحات لازم در خصوص روش‌های پیکسل پایه و شی پایه جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای ارایه و در ادامه مقایسه نتایج حاصل از کاربرد آن‌ها در بخشی از حوضه شرح داده خواهد شد. سپس بررسی تغییرات کاربری اراضی کل حوضه بر اساس روش منتخب تهیه نقشه کاربری طی دو مقطع زمانی ارایه خواهد شد و در نهایت بحث و نتیجه‌گیری در خصوص یافته‌های تحقیق ارایه می‌گردد.

این که بررسی مکانی تغییرات کاربری اراضی در کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه کم‌تر مورد توجه قرار گرفته و آمار و ارقام ارایه شده برای آن در گزارشات مختلف بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت سنتی در قالب بررسی‌های میدانی و پرسش‌نامه بوده، تهیه نقشه‌های کاربری اراضی این حوضه در مقاطع زمانی مختلف با استفاده از روش‌های مناسب سنجش از دوری می‌تواند پاسخ‌گوی برخی از ابهامات پیرامون میزان توسعه کشاورزی در آن باشد. بنابراین



شکل ۱- تغییرات تراز دریاچه‌های وان ترکیه و ارومیه در محدوده دوره مطالعاتی این تحقیق (۱۳۶۶-۱۳۸۶)

هکتار، در گزارش مطالعات جامع برنامه سازگاری با اقلیم (۱۳۸۴) ۳۲۰ هزار هکتار و در گزارش مطالعات جامع منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۱۳۸۵) این اراضی برابر با ۳۳۶ هزار هکتار عنوان گردیده است.

داده‌های مورد استفاده

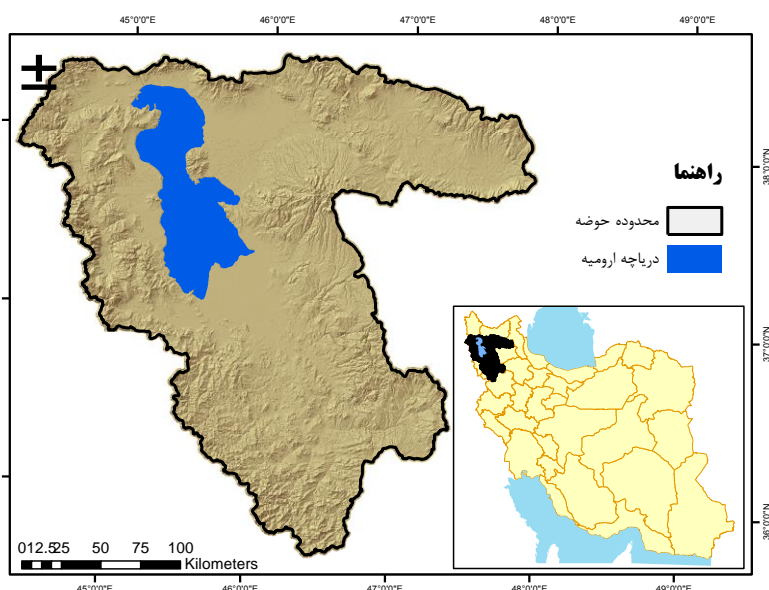
تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین هدف تحقیق در خصوص بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه در طول زمان، نیاز بر این بود تا تصاویری انتخاب گردد که علاوه بر یکسان بودن سنسور مورد استفاده در تصویربرداری در فاصله زمانی بین دو مقطع مورد بررسی، از منظر سهولت دسترسی و هم‌چنین پوشش مکانی وسیع تصاویر نیز دارای شرایط مناسبی باشد. با توجه به موارد مذکور، ماهواره Landsat-TM مناسب تشخیص داده شد که برای ایجاد یک پوشش کامل از حوضه نیاز به ۷ سین از تصاویر آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

دریاچه ارومیه در شمال غربی کشور، بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و یکی از دریاچه‌های فوق‌شور جهان است. مساحت حوضه آبریز آن حدود ۵۱۸۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که بخش‌های وسیعی از سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان را در بر گرفته است (شکل ۲). این محدوده شهرها و مراکز جمعیتی زیادی را شامل می‌شود که با توجه به وجود منابع آب مناسب و همین‌طور اراضی زراعی وسیع و مستعد، از زمینه بسیار مناسبی جهت رونق فعالیت‌های کشاورزی به لحاظ کشت انواع نباتات زراعی و باغی برخوردار می‌باشد. در مجموع حدود ۷۰۰ هزار هکتار از اراضی دشت‌های حوضه قابلیت آبیاری دارند که آمار مختلفی برای انواع کاربری کشاورزی‌های مختلف برای این حوضه در مراجع مختلف دیده می‌شود و بعضاً بسیار متفاوت می‌باشند. به‌عنوان مثال سطح اراضی کشاورزی تحت آبیاری (به جز باغات) در گزارشات آخرین مطالعات به‌نگام‌سازی طرح جامع آب کشور (۱۳۸۹) بر اساس آمار و اطلاعات سرشماری عمومی کشاورزی سال ۱۳۸۲ برابر ۴۱۵ هزار



شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه

بخش قابل توجهی از نور مرئی قرمز را جذب و طیف مادون قرمز نزدیک^۴ را منعکس می‌نمایند (Campbell and Wynne., 2011). NDVI با استفاده از رابطه ۱ قابل محاسبه می‌باشد:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

در این رابطه NIR و R به ترتیب مقدار بازتابش در طیف‌های مادون قرمز نزدیک و قرمز است که در تصاویر ماهواره Landsat-TM به ترتیب مربوط به باندهای ۴ و ۳ می‌باشد.

کلاس‌بندی اراضی

با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره Landsat-TM که ۳۰ متر می‌باشد، ترکیبی از سطوح یک و دو سیستم طبقه‌بندی استاندارد سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۵، شامل ۵ کلاس (طبقه) اصلی مراتع، پهنه‌های آبی، اراضی بایر، شوره‌زار، اراضی تحت کشت آبی و مناطق ساخته شده، برای طبقه‌بندی کاربری اراضی در تحقیق حاضر انتخاب شد (Anderson et al, 1976). معمولاً هنگام استفاده از تصاویر Landsat-TM برای بررسی تغییرات کاربری اراضی تنها به طبقه‌بندی سطح یک سیستم مذکور اکتفا می‌شود، اما با توجه به هدف تحقیق حاضر، برای کلاس سطح یک "اراضی تحت کشت آبی" چهار زیر کلاس، شامل کشت آبی تابستانه (محصولاتی نظیر چغندر قند، یونجه و صیفی‌جات)، کشت آبی پاییزه (عمدتاً گندم و جو)، اراضی دیم و باغات در نظر گرفته شد.

البته یافتن ۷ تصویر نسبتاً هم‌زمان با کیفیت مناسب و بدون پوشش ابری نیازمند جستجوی فراوان در پایگاه اطلاعات تصاویر ماهواره مذکور^۱ بود. ضمن این‌که به دلیل وسعت حوضه، تفاوت قابل توجهی در شرایط توپوگرافی، الگوی کشت و فصل رشد گیاهان در سطح آن وجود دارد که استفاده از تصاویر چند زمانه در طول سال را طلب می‌کرد. بر این اساس دو سری کامل از تصاویر دو زمانه (زمان اول انتهای بهار و اوایل تابستان و زمان دوم اواخر تابستان و اوایل پاییز) در سطح حوضه برای سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۶ تهیه گردید که مشخصات آن‌ها در جدول شماره ۱ آمده است. هم‌چنین به دلیل اهمیت نقش عوامل توپوگرافیک در کاربری اراضی، استفاده از لایه‌های اطلاعاتی مربوط به ارتفاع و شیب حوضه نیز مورد توجه قرار گرفت که به این منظور از مدل رقومی ارتفاعی جهانی ASTER^۲ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد.

شاخص‌های گیاهی ماهواره‌ای

بر اساس مقادیر بازتابش طیفی در طول موج‌های مختلف ثبت شده توسط تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های گیاهی متنوعی به‌منظور ارزیابی شرایط و تغییرات پوشش‌های گیاهی در سطح زمین توسعه داده شده‌اند که در بین آن‌ها NDVI^۳ از پرکاربردترین شاخص‌ها در تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است (Matsushita et al., 2007). مبنای فیزیکی NDVI، استفاده از خواص بازتابش کلروفیل موجود در پوشش‌های گیاهی می‌باشد. بر این اساس سطوح گیاهی

1- <http://earthexplorer.usgs.gov>2- <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>

3- Normalized Difference Vegetation Index

4- Near Infra-Red

5- Unites States Geological Survey (USGS)

جدول ۱- تصاویر انتخاب شده Landsat-TM برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی

سال ۱۳۸۶ (مقطع زمانی دوم)		سال ۱۳۶۶ (مقطع زمانی اول)		موقعیت تصویر	
زمان اول	زمان دوم	زمان اول	زمان دوم	عبور (row)	گذر (path)
۱۳۸۶/۰۶/۱۴	۱۳۸۶/۰۳/۲۷	۱۳۶۶/۰۷/۰۸	۱۳۶۶/۰۴/۲۱	۰۳۴	۱۶۷
۱۳۸۶/۰۶/۱۴	۱۳۸۶/۰۳/۲۷	۱۳۶۶/۰۶/۰۷	۱۳۶۶/۰۴/۲۱	۰۳۵	۱۶۷
۱۳۸۶/۰۷/۰۶	۱۳۸۶/۰۴/۰۳	۱۳۶۶/۰۶/۱۴	۱۳۶۶/۰۴/۲۸	۰۳۳	۱۶۸
۱۳۸۶/۰۶/۲۱	۱۳۸۶/۰۴/۰۳	۱۳۶۶/۰۶/۱۴	۱۳۶۶/۰۴/۲۸	۰۳۴	۱۶۸
۱۳۸۶/۰۶/۲۱	۱۳۸۶/۰۴/۰۳	۱۳۶۶/۰۵/۲۹	۱۳۶۶/۰۴/۲۸	۰۳۵	۱۶۸
۱۳۸۶/۰۶/۱۲	۱۳۸۶/۰۳/۲۵	۱۳۶۶/۰۷/۰۶	۱۳۶۶/۰۴/۰۳	۰۳۳	۱۶۹
۱۳۸۶/۰۶/۱۲	۱۳۸۶/۰۳/۲۵	۱۳۶۶/۰۷/۰۶	۱۳۶۶/۰۴/۰۳	۰۳۴	۱۶۹

محدوده شهرستان ارومیه با استفاده از GPS دستی برداشت گردید. همچنین برخی از نقاط کنترلی جمع‌آوری شده توسط فتحیان (۱۳۹۱) و موسسه تحقیقات آب (۱۳۹۲) نیز مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است با توجه به این که برداشت نقاط کنترلی در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ انجام شده و تصاویر مورد استفاده مربوط به سال ۱۳۸۶ می‌باشد، امکان تغییراتی در کاربری اراضی بین این دو مقطع زمانی وجود داشت. بنابراین نقاط به صورت بصری با تصاویر مورد استفاده مقایسه شد و برخی از آن‌ها که مشکوک به تغییر کاربری بود حذف گردید. تعدادی از نقاط برداشت شده به منظور آموزش و مابقی برای صحت‌سنجی طبقه‌بندی انجام شده مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول ۲ تعداد نقاط کنترلی آموزشی و صحت‌سنجی مربوط به هر کلاس کاربری ارائه شده و پراکنش مکانی آن‌ها نیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

روش‌شناسی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی پیکسل پایه

در این روش، پیکسل‌های تصویر واحد اصلی پردازش و طبقه‌بندی محسوب می‌شوند و رفتار طیفی آن‌ها مبنای قرار می‌گیرد. طبقه‌بندی آن نیز بر اساس روش‌های آماری به صورت نظارت شده و یا نظارت نشده قابل انجام است. پرکاربردترین الگوریتم مورد استفاده در این خصوص حداکثر احتمال^۲ می‌باشد که یک روش نظارت شده است و در آن پیکسل‌های دارای خصوصیات طیفی مشابه با نمونه‌های آموزشی در کلاس‌های مختلف کاربری طبقه‌بندی می‌شوند. در این فرآیند، احتمال تعلق هر پیکسل به کلاس‌های تعریف شده محاسبه شده و کلاس دارای بیشترین احتمال به‌عنوان کاربری نهایی آن انتخاب می‌گردد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به این که دقت مناسب‌تر این روش نسبت به سایر روش‌های معمول در طبقه‌بندی پیکسل پایه در مراجع متعددی مورد اشاره قرار

لازم به ذکر است اراضی مربوط به این کلاس‌ها بر مبنای تغییرات پوشش گیاهی بین دو تصویر بهار و تابستان قابل تفکیک می‌باشند. به‌عنوان مثال اراضی تحت کشت آبی پاییزه در تصویر بهار دارای پوشش گیاهی زیادی می‌باشند و در تصویر شهریور ماه اکثر برداشت محصول آن‌ها انجام شده است. این شرایط برای کلاس کشت آبی تابستانه عمدتاً برعکس می‌باشد و باغات نیز در هر دو تصویر دارای پوشش گیاهی قابل توجهی می‌باشند. کشت محصولات کشاورزی از جنبه‌های طبیعی و عملیاتی دارای محدودیت‌هایی است که به موقعیت و شرایط فیزیکی اراضی مرتبط می‌باشد. به‌عنوان مثال رسولی و همکاران (۱۳۸۴) در تحقیقی به منظور تعیین اراضی مناسب برای کشت گندم در استان اردبیل اذعان نمودند که اراضی با ارتفاع بیش‌تر از ۲۲۰۰ متر از سطح دریا از قابلیت مناسبی در این زمینه برخوردار نمی‌باشند. همچنین در تحقیق دیگری که توسط خلفی و دماوندی (۱۳۸۹) انجام گردید، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از سطح استان زنجان نتیجه‌گیری شد که اراضی با شیب بیش‌تر از ۱۲ درصد برای کشت دیم غلات مناسب نیست. همچنین در خصوص قابلیت آبیاری اراضی نیز شیب زمین یکی از فاکتورهای اصلی می‌باشد. بنابراین در تحقیق حاضر نیز از عوامل ارتفاع و شیب اراضی به منظور افزایش تفکیک‌پذیری اراضی تحت کشت آبی، دیم‌زارها و مراتع مورد استفاده گردید.

لازم به ذکر است با توجه به وسعت ناچیز اراضی جنگلی و تالاب‌ها در سطح حوضه (در مقیاس مساحت حوضه و سایر کاربری‌های موجود) که هر یک در حدود سه هزار هکتار برآورد گردیده (بی‌نام، ۱۳۸۹)، طبقه‌جداگانه‌ای برای این کاربری‌ها در نظر گرفته نشد.

داده‌های کنترل زمینی^۱

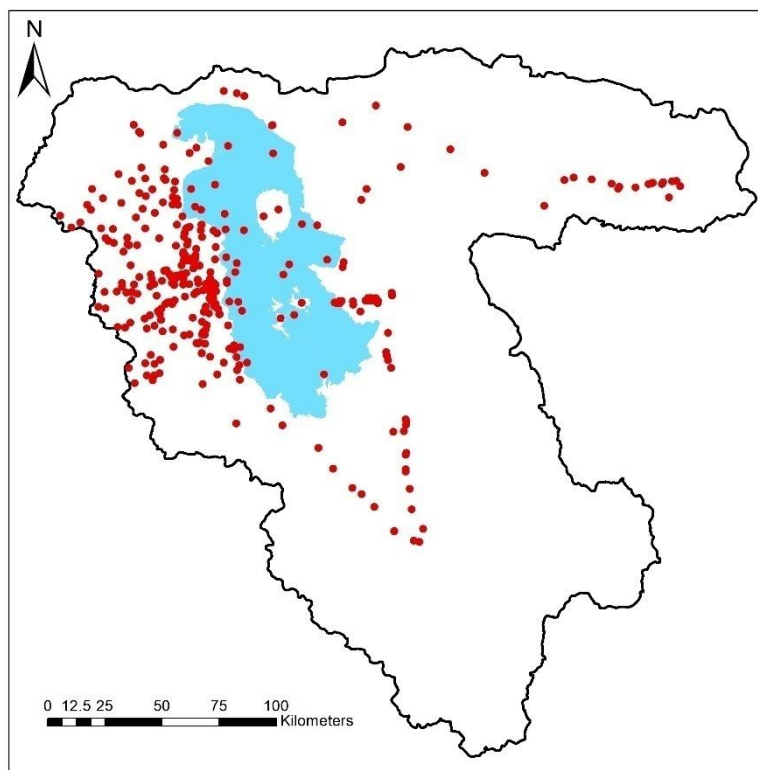
به منظور آموزش و صحت‌سنجی روش‌های طبقه‌بندی مورد نظر، تعدادی نقاط کنترلی برای هر یک از کلاس‌های مورد نظر در

2- Maximum Likelihood Classification

1- Ground Control Point (GCP)

همراه لایه‌های ارتفاع و شیب (مجموعاً ۸ لایه) برای طبقه‌بندی نهایی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. نکته قابل ذکر در این رابطه استفاده از باند حرارتی تصاویر (باند ۶) است که طبق بررسی‌های انجام شده، قابلیت مناسبی را در تفکیک کلاس‌های مختلف کاربری، خصوصاً اراضی بایر با مناطق شهری دارا می‌باشد. این نکته در تحقیقات دیگری نیز ارزیابی و مورد تایید قرار گرفت (Ormsby., 1982; Xian and Crane., 2006; Chen et al.,) (2009).

گرفته است (سفیانیان و مدنیان، ۱۳۹۰؛ Benediktsson et al., 1990) در تحقیق حاضر نیز از این روش با بکارگیری نرم‌افزار ENVI استفاده شد. بدین منظور با وارد نمودن ۱۴ باند اطلاعاتی مربوط به دو تصویر مربوط به سال ۱۳۸۶ به همراه لایه‌های NDVI حاصل از آن‌ها و همچنین اطلاعات ارتفاع و شیب منطقه، تفکیک‌پذیری کلاس‌های مختلف بر اساس نمونه‌های آموزشی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با ارزیابی منحنی‌های انعکاس طیفی هر یک از کلاس‌ها، ترکیبی از باندهای ۲، ۶ و NDVI هر یک از تصاویر به



شکل ۳ - پراکنش نقاط کنترل زمینی مورد استفاده در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه

جدول ۲- تعداد نقاط آموزشی و صحت‌سنجی برای کاربری‌های مختلف اراضی

صحت‌سنجی	آموزشی	تعداد نقاط
		کلاس کاربری
۶۶	۶۷	کشت آبی پاییزه
۷۰	۷۰	باغ
۶۷	۶۸	اراضی دیم
۱۰	۱۸	آب
۱۷	۲۲	بایر و شورزار
۱۴	۲۳	ساخته شده
۷۰	۷۰	مرتع
۷۳	۷۳	کشت آبی تابستانه
۳۸۶	۴۱۱	مجموع

طبقه‌بندی شی پایه

نمی‌باشد، وزن عامل رنگ برابر با ۰/۹ و وزن عامل شکل برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شد. عامل مهم دیگر، تصویر ترکیب باندی مورد استفاده در عامل رنگ و ضریب تاثیر هر یک می‌باشد. بدین منظور بر اساس تحلیل‌های انجام شده در بخش قبلی، از ترکیب باندهای ۱، ۶ و NDVI هر یک از دو تصویر ماهواره Landsat-TM استفاده شد که به دلیل اهمیت پوشش‌های گیاهی در تشخیص کاربری‌های مختلف، وزن لایه‌های NDVI مربوط به هر یک از تصاویر برابر با ۰/۳ و وزن بقیه باندهای مورد استفاده برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شد.

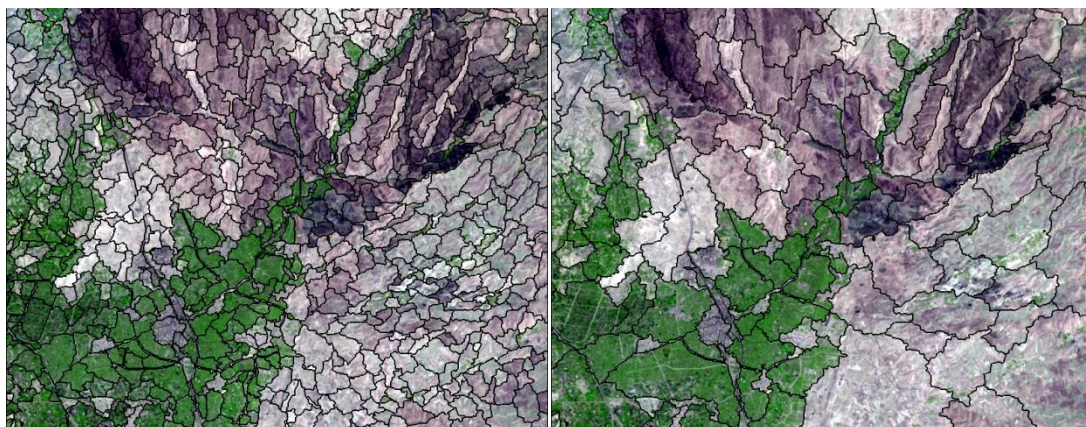
طبقه‌بندی: طبقه‌بندی در روش شی پایه به معنی قرار دادن اشیا تولید شده در مرحله سگمنت‌بندی در کلاس‌های مورد نظر می‌باشد و روش‌های گوناگونی نظیر نزدیک‌ترین همسایگی، درخت تصمیم، فازی و یا ترکیبی از آن‌ها برای این کار وجود دارد (Liu and Xia., 2010). در تحقیق حاضر از سیستم فازی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده گردید که در آن هر عارضه با درجه عضویت بین صفر تا یک به هر یک از کلاس‌های مورد نظر منتسب می‌گردد. به این منظور برای هر کلاس تعدادی مشخصات طیفی، شکلی، بافتی و یا مکانی (نسبت به سایر کلاس‌ها) تعریف می‌گردد. سپس تابع عضویت مربوط به هر مشخصه برآورد گردیده و بر اساس عملگر فازی مشخص شده، مقدار نهایی تعلق هر شی به کلاس‌های مختلف تعیین می‌گردد. عملگر فازی مورد استفاده در این تحقیق به صورت حداقل (AND) تعریف گردید که در آن کم‌ترین درجه عضویت خروجی از توابع عضویت مربوط به هر یک از مشخصات هر کلاس به‌عنوان درجه عضویت نهایی شی به آن در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به ویژگی‌های مختلف هر کلاس و تفاوت خصوصیات تفکیک‌کننده آن از سایر کلاس‌ها، برای هر کلاس شاخص‌های متفاوتی به‌عنوان معیارهای طبقه‌بندی به سیستم فازی وارد گردید. به عبارت دیگر یکی از تفاوت‌های اصلی این روش طبقه‌بندی با روش حداکثر احتمال، امکان استفاده از ورودی‌های مختلف به‌عنوان عوامل تفکیک‌کننده هر کلاس می‌باشد. شکل ۵ نحوه برآورد میزان عضویت عوارض را به کلاس‌های مختلف بر اساس روش مورد اشاره نشان می‌دهد. همچنین نمونه‌ای از توابع فازی مورد استفاده برای تعیین مقدار عضویت یک بازه به کلاس اراضی باغی در شکل ۶ آمده است.

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

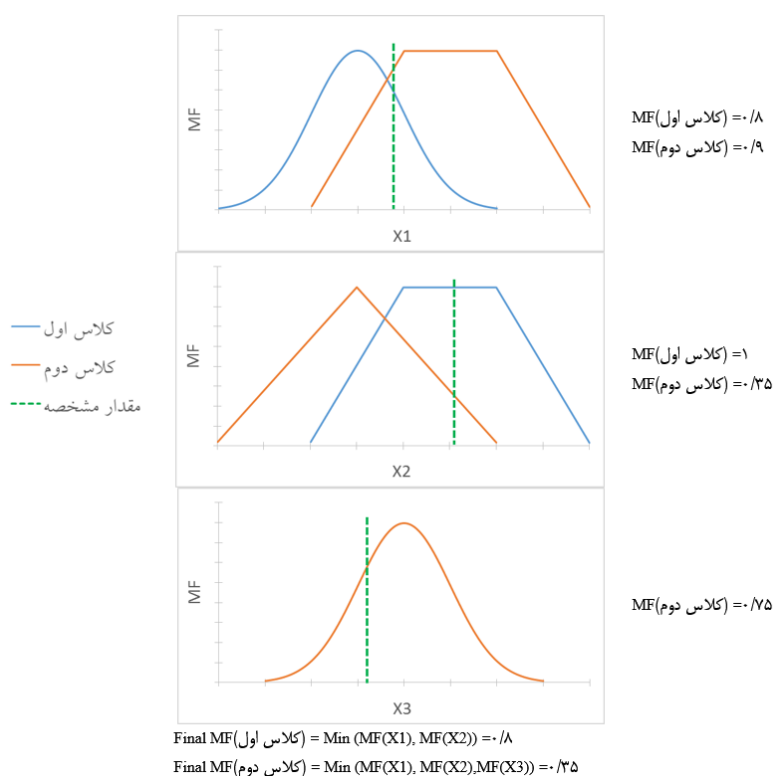
برای اطمینان از دقت طبقه‌بندی انجام شده بایستی میزان دقت نقشه تولید شده ارزیابی گردد که بر اساس داده‌های کنترل زمینی انجام می‌شود. ماتریس خطا^۲ معمول‌ترین روش ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (Campbell and Wynne, 2011).

در روش شی پایه واحد اصلی پردازش تصویر، اشیا و یا سگمنت‌ها^۱ هستند. در این روش ابتدا تصویر متناسب با نظر کاربر و الگوریتم‌های مختلفی که به این منظور توسعه داده شده است، سگمنت‌بندی شده و سپس طبقه‌بندی برای این اشیا که نمایان‌گر عوارض زمینی واقعی هستند، انجام می‌شود. مزیت اصلی این روش در مقایسه با روش پیکسل پایه، امکان استفاده از ویژگی‌های اشیا تصویر (نظیر شکل و بافت)، توانایی استفاده از اطلاعات مکانی مربوط به نحوه قرارگیری عوارض مختلف و همچنین کاهش زمان پردازش و طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد (Liu and Xia., 2010). برای اعمال این روش در تحقیق حاضر از نرم‌افزار eCognition که یک نرم‌افزار تخصصی برای پردازش شی‌گرای تصاویر می‌باشد، استفاده گردید. فرآیند طبقه‌بندی تصاویر در این روش دارای دو مرحله کلی، شامل سگمنت‌بندی و طبقه‌بندی می‌باشد که در ادامه توضیح مختصری در خصوص هر یک از این مراحل و نحوه اعمال آن‌ها در تحقیق حاضر ارائه می‌شود.

سگمنت‌بندی: سگمنت به گروهی از پیکسل‌های همسایه اطلاق می‌گردد که شباهت طیفی و شکلی عامل مشترک بین آن‌ها است. در فرآیند سگمنت‌بندی، پیکسل‌های تصویر بر اساس معیار همگنی در رنگ و شکل ترکیب شده و اشیا^۱ را تولید می‌نمایند. مهم‌ترین پارامتر در سگمنت‌بندی تصاویر، پارامتر مقیاس می‌باشد که مستقیماً در میانگین اندازه اشیا تولید شده تاثیر می‌گذارد، به نحوی که مقدار بیش‌تر این پارامتر به ایجاد اشیا بزرگ‌تر و برعکس منجر می‌شود. این پارامتر معمولاً بر اساس قدرت تفکیک مکانی تصویر مورد استفاده و مقیاس مورد نظر در تفکیک عوارض و پس از آزمون چندین مقدار مختلف تعیین می‌گردد (Lyons et al., 2012). در این تحقیق مقادیر ۵، ۱۰ و ۲۰ برای پارامتر مقیاس مورد آزمون قرار گرفت و پس از مقایسه بصری با عوارض زمینی بر اساس تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالاتر از یک متر موجود در آرشیو Google Earth و همچنین مطابقت با نمونه‌های آموزشی، مقدار ۵ برای تحلیل نهایی انتخاب گردید. شکل ۴، نمونه‌ای از سگمنت‌های بدست آمده بر اساس مقادیر مختلف پارامتر مقیاس را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. پارامترهای دیگری که در سگمنت‌بندی اهمیت دارند، وزن عوامل رنگ و شکل می‌باشد که مجموع آن‌ها برابر یک بوده و نشان‌دهنده میزان تاثیر هر یک از آن‌ها در انجام سگمنت‌بندی می‌باشد. به عنوان مثال چنان‌چه وزن عامل رنگ برابر با یک تعیین گردد وزن عامل شکل برابر با صفر بوده و سگمنت‌بندی تنها بر اساس خصوصیات طیفی پیکسل‌ها انجام می‌شود. با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده در این تحقیق که در آن امکان استفاده از فاکتورهای شکلی بسیاری از عوارض میسر



شکل ۴- نمونه‌ای از سگمنت‌های بدست آمده با بکارگیری مقدار پارامتر مقیاس ۱۰ (راست) و ۵ (چپ) در تصویر ماهواره‌ای حوزه آبریز دریاچه ارومیه

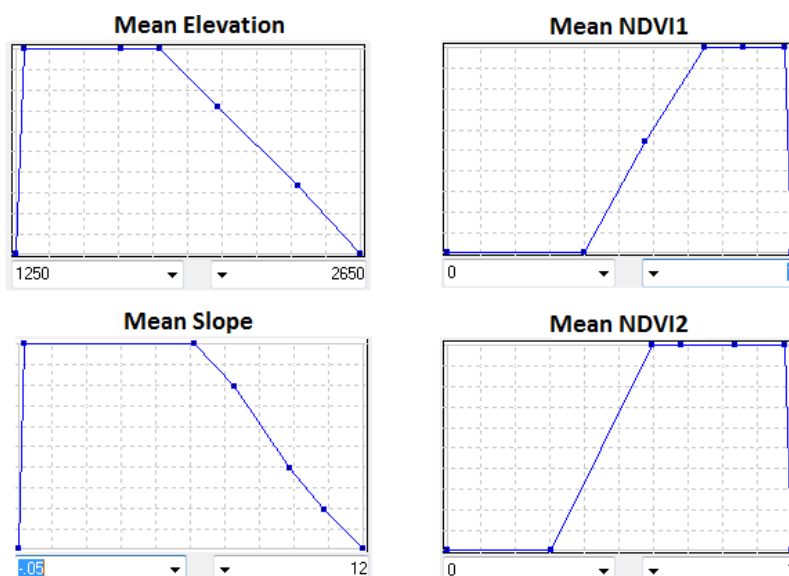


شکل ۵- نحوه محاسبه مقدار عضویت هر شی به کلاس‌های مختلف کاربری اراضی بر اساس روش فازی مورد استفاده

داده‌های کنترلی درست طبقه‌بندی شده هر کلاس نسبت به تعداد کل داده‌های کنترلی موجود برای آن کلاس می‌باشد. در حالی که UA نشان دهنده نسبت داده‌های کنترلی درست طبقه‌بندی شده هر کلاس نسبت به تعداد کل داده‌های کنترلی طبقه‌بندی شده در کلاس مربوط است.

شاخص‌های قابل استخراج از این تحلیل عبارتند از دقت تولید کننده^۱ (PA) و دقت کاربر^۲ (UA) برای تحلیل دقت کلاس‌های مختلف و همچنین شاخص‌های دقت کلی و ضریب کاپا که معیارهای دقت کلی طبقه‌بندی به شمار می‌روند. PA نشان دهنده تعداد

- 1- Producer Accuracy
- 2- User Accuracy



شکل ۶- توابع عضویت فازی برای تعیین میزان عضویت هر قطعه تصویر به کلاس اراضی باغی (Mean NDVI1 و Mean NDVI2 به ترتیب متوسط شاخص گیاهی در سطح هر قطعه تصویر برای زمان اول و دوم هر سال می‌باشند)

$$Z = \frac{b - c}{\sqrt{b + c}} \quad (2)$$

آماره Z از تابع توزیع نرمال تبعیت می‌کند، بنابراین چنانچه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد (آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد) آنگاه دقت نقشه‌ها از نظر آماری با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نخواهد داشت.

جدول ۳- نحوه برچسب زدن به نقاط کنترلی برای مقایسه تفاوت آماری دقت دو نقشه

نقشه اول		نقشه دوم
درست	اشتباه	
a	b	درست
c	d	اشتباه

نتایج

همان‌طور که پیش از این ذکر گردید، در این تحقیق ابتدا دقت روش‌های پیکسل پایه و شی پایه در تولید نقشه‌های کاربری اراضی مورد مقایسه قرار خواهد گرفت و سپس روش منتخب به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه استفاده می‌گردد.

مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شی پایه

در این بخش از تحقیق نقشه کاربری سال ۱۳۸۶ شهرستان

دقت کلی^۱ طبقه‌بندی نشان دهنده کل داده‌های کنترلی درست طبقه‌بندی شده نسبت به تعداد کل داده‌های کنترلی مورد استفاده می‌باشد و ضریب کاپا^۲ نیز دقت کلی طبقه‌بندی را پس از حذف عامل شانس نشان می‌دهد (Campbell and Wynne., 2011).

آزمون آماری تفاوت دقت روش‌های طبقه‌بندی

هر چند شاخص‌های دقت طبقه‌بندی ذکر شده معیارهای مناسبی برای ارزیابی میزان اطمینان‌پذیری نقشه‌های تولید شده می‌باشند، اما به سوال اصلی در خصوص وجود و یا عدم وجود تفاوت بین نقشه‌های تولید شده به روش‌های مختلف پاسخی نمی‌دهند. بدین منظور لازم است بررسی گردد که آیا اختلاف معنی‌دار آماری بین دقت نقشه‌های تولید شده به روش‌های مختلف وجود دارد یا خیر؟ فودی روشی را به منظور بررسی این موضوع استفاده نمود که در آن ابتدا یک برچسب برای هر نقطه کنترلی بر اساس طبقه‌بندی انجام شده در دو روش مورد نظر اختصاص داده می‌شود (Foody, 2004). چگونگی برچسب زدن به نقاط آموزشی در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. به-عنوان مثال چنانچه در نقشه الف درست و در نقشه ب اشتباه طبقه‌بندی شده باشد، برچسب c و در حالت برعکس برچسب b را دریافت می‌کند. سپس آماره Z بر اساس شمارش تعداد برچسب‌های b و c مطابق با رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

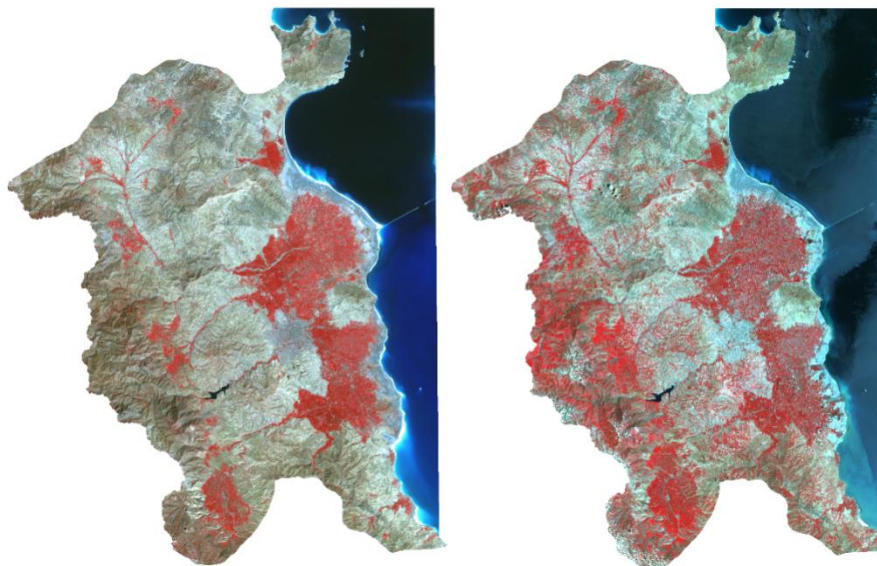
- 1- Overall Accuracy
- 2- Kappa Coefficient

(رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹) تا ۷۷ هزار هکتار (بی‌نام، ۱۳۹۰) گزارش شده و مقدار ۱۴۴ هزار هکتار برآورد شده به روش پیکسل پایه از واقعیت دور می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان به عدم توانایی این روش در تفکیک مناسب اراضی دیم از مراتع مرتبط دانست. در همین رابطه گودرزی و فرح‌پور (۱۳۸۶) نیز پس از بررسی قابلیت تفکیک مراتع و اراضی دیم با استفاده از روش پیکسل پایه و تصاویر سنجنده LISS-III ماهواره IRS با قدرت تفکیک مکانی ۵/۸ متر در منطقه‌ای در استان زنجان اذعان نمودند که این روش توانایی مناسبی برای تفکیک این دو کلاس کاربری ندارد و لازم است روش‌های مناسب‌تری در این خصوص بکار گرفته شود. براتیقه فرخی و همکاران (۱۳۸۸) نیز پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی برای یکی از زیرحوضه‌های زاینده‌رود با استفاده از این روش‌ها و تصاویر Landsat-TM نتیجه‌گیری مشابهی را گزارش کردند.

مقایسه تفاوت بین نقشه‌های تهیه شده به دو روش بر اساس روش فودی (Foody., 2004) انجام شد که شرایط برجسب‌های مربوط به آن در جدول ۷ نشان داده شده است. طبق این جدول، مقدار آماره Z برابر ۲/۳۶ محاسبه می‌گردد که در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌تر بودن دقت نقشه تولید شده به روش شی پایه نسبت به روش پیکسل پایه از دیدگاه آماری نیز معنی‌دار بوده و ناشی از فرآیندهای تصادفی نمی‌باشد.

ارومیه واقع در بخش غربی حوضه که نقاط کنترلی مناسبی برای آن در اختیار بود، تهیه گردید. شکل ۷ ترکیب باندهای ۲-۳-۴ تصاویر مربوط به دو زمان مورد استفاده در سال ۱۳۸۶ برای منطقه مذکور را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نیز ملاحظه می‌شود، تغییر شرایط پوشش‌های گیاهی (قرمز رنگ) بین دو بازه زمانی مورد استفاده در طول سال کاملاً مشهود می‌باشد.

ماتریس خطای حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی به روش‌های پیکسل پایه و شی پایه طبق نکات ذکر شده در بخش‌های قبلی برای محدوده شهرستان ارومیه به‌ترتیب در جداول ۴ و ۵ ارائه گردیده و نقشه‌های مربوط نیز در شکل ۸ نشان داده شده است. مساحت به دست آمده برای هر کاربری از دو روش در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که دقت کلی و ضریب کاپا برای نقشه‌های تهیه شده به روش پیکسل پایه به‌ترتیب برابر ۷۹٪ و ۷۴٪ است، در حالی که در روش شی پایه این مقادیر به‌ترتیب برابر ۸۴٪ و ۸۰٪ می‌باشند. همچنین از مقایسه PA و UA در دو روش می‌توان نتیجه گرفت که روش شی پایه در اکثر کلاس‌های کاربری (خصوصاً اراضی تحت آبیاری) دقت بالاتری را تولید نموده است. اما روش پیکسل پایه PA بیش‌تری را برای اراضی دیم ارائه داده است که با توجه به شکل ۷ و جدول ۶، می‌توان آن را به سطح برآورد شده بسیار زیاد برای این کلاس در روش مذکور مرتبط دانست. لازم به ذکر است وسعت اراضی دیم در شهرستان ارومیه در مراجع مختلف بین ۶۴ هزار هکتار



شکل ۷- ترکیب رنگی باندهای ۲-۳-۴ تصاویر مورد استفاده برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی شهرستان ارومیه در سال ۱۳۸۶، در تاریخ‌های ۱۳۸۶/۰۳/۲۵ (راست) و ۱۳۸۶/۰۶/۱۲ (چپ)

جدول ۴- ماتریس خطای نقشه کاربری اراضی تولید شده به روش پیکسل پایه برای شهرستان ارومیه

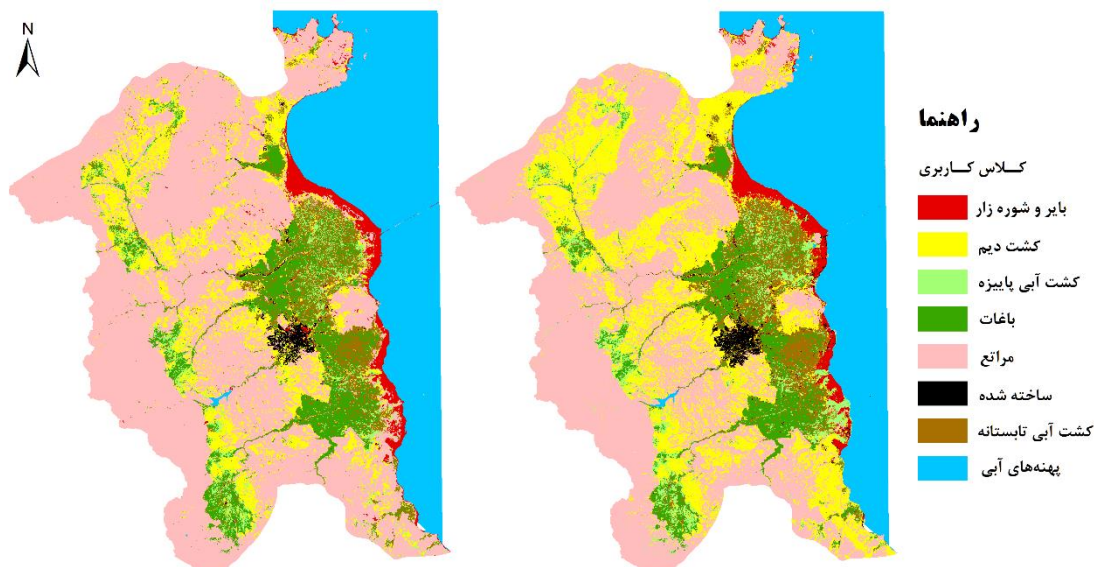
نمونه‌ها									
کشت آبی پاییزه									
کشت آبی تابستانه									
طبقه‌بندی									
۵۹	۹	۰	۰	۰	۰	۱	۳	۴۶	کشت آبی پاییزه
۷۲	۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۰	۲	باغ
۸۱	۸	۵	۰	۰	۰	۵۸	۰	۱۰	اراضی دیم
۹	۰	۰	۰	۰	۹	۰	۰	۰	آب
۱۵	۰	۰	۲	۱۳	۰	۰	۰	۰	بایر و شورزار
۹	۰	۰	۹	۰	۰	۰	۰	۰	ساخته شده
۷۸	۱	۶۴	۰	۴	۱	۸	۰	۰	مرتع
۶۳	۴۵	۰	۳	۰	۰	۰	۷	۸	کشت آبی تابستانه
۳۸۶	۷۳	۶۹	۱۴	۱۷	۱۰	۶۷	۷۰	۶۶	مجموع
	%۶۲	%۹۳	%۶۴	%۷۶	%۹۰	%۸۷	%۸۶	%۷۰	دقت تولیدکننده (PA)
	%۷۱	%۸۲	%۱۰۰	%۸۷	%۱۰۰	%۷۲	%۸۳	%۷۸	دقت کاربر (UA)

جدول ۵- ماتریس خطای نقشه کاربری اراضی تولید شده به روش شی پایه برای شهرستان ارومیه

نمونه‌ها									
کشت آبی پاییزه									
کشت آبی تابستانه									
طبقه‌بندی									
۶۳	۵	۰	۰	۰	۰	۲	۲	۵۴	کشت آبی پاییزه
۷۴	۷	۲	۰	۰	۰	۰	۶۳	۲	باغ
۶۳	۲	۵	۱	۰	۰	۵۳	۰	۲	اراضی دیم
۱۰	۰	۰	۰	۰	۱۰	۰	۰	۰	آب
۱۶	۰	۰	۱	۱۵	۰	۰	۰	۰	بایر و شورزار
۷	۰	۰	۷	۰	۰	۰	۰	۰	ساخته شده
۸۲	۰	۶۲	۴	۲	۰	۱۲	۰	۲	مرتع
۷۱	۵۹	۰	۱	۰	۰	۰	۵	۶	کشت آبی تابستانه
۳۸۶	۷۳	۶۹	۱۴	۱۷	۱۰	۶۷	۷۰	۶۶	مجموع
	%۸۱	%۹۰	%۵۰	%۸۸	%۱۰۰	%۷۹	%۹۰	%۸۲	دقت تولیدکننده (PA)
	%۸۳	%۷۶	%۱۰۰	%۹۴	%۱۰۰	%۸۴	%۸۵	%۸۶	دقت کاربر (UA)

جدول ۶- مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی در شهرستان ارومیه بر اساس روش‌های مختلف (هکتار)

روش طبقه‌بندی		پیکسل پایه شی پایه	
کلاس کاربری			
کشت آبی پاییزه	۲۷,۸۹۶	۲۱,۰۱۴	
باغ	۴۱,۱۵۲	۴۸,۰۷۳	
اراضی دیم	۱۴۴,۳۴۸	۸۳,۹۵۶	
آب	۱۷۶,۱۲۶	۱۷۵,۷۰۲	
بایر و شورزار	۱۴,۵۷۵	۱۶,۳۷۷	
ساخته شده	۶,۷۳۷	۵,۰۴۵	
مرتع	۲۶۰,۶۷۵	۳۲۵,۰۹۵	
کشت آبی تابستانه	۴۱,۳۷۹	۳۷,۶۲۷	



شکل ۸- نقشه‌های کاربری اراضی شهرستان ارومیه بر اساس روش‌های پیکسل پایه (راست) و شی پایه (چپ)

جدول ۷- تعداد برچسب‌های مختلف مربوط به نقاط کنترلی برای دو نقشه کاربری اراضی شهرستان ارومیه

پیکسل پایه	شی پایه	
	درست	اشتباه
درست	۲۸۱	۲۳
اشتباه	۴۲	۴۰

در بخش‌های مختلف حوضه، طبقه‌بندی کاربری اراضی در هر سین تصویر برای هر مقطع زمانی به طور جداگانه انجام شد. همچنین حدود توابع عضویت مربوط به هر یک از مشخصات تفکیک کننده کلاس‌های مختلف اراضی نیز برای هر سین تصویر به تناسب شرایط و بر اساس نقاط کنترلی موجود برای آن‌ها تعدیل گردید.

نقشه‌های مربوط به کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۶ به ترتیب در اشکال ۹ و ۱۰ نشان داده شده و وسعت هر یک از کلاس‌های مربوط به این نقشه‌ها نیز در جدول ۸ ارایه گردیده است. موارد زیر از مقایسه این نقشه‌ها و جداول قابل مشاهده است:

بیشترین میزان تغییر در سطح اراضی باغی حوضه با ۲۷۳ درصد افزایش اتفاق افتاده که از حدود ۳۵ هزار هکتار به بیش از ۱۳۱ هزار هکتار رسیده است. این افزایش عمدتاً از طریق تبدیل اراضی زیرکشت آبی تابستانه (۶۶ هزار هکتار)، مراتع (۱۴ هزار هکتار) و کشت آبی پاییزه (۹ هزار هکتار) به باغات به وقوع پیوسته است.

اراضی کشت آبی پاییزه با ۸۲/۵ درصد افزایش، از حدود ۹۸ هزار هکتار به بیش از ۱۷۹ هزار هکتار رسیده که بیش‌تر آن از مراتع (۳۵ هزار هکتار)، اراضی دیم (۳۰ هزار هکتار) و کشت آبی تابستانه (۲۱ هزار هکتار) تأمین گردیده است. در این بین اراضی کشت آبی تابستانه، مقداری کاهش نشان می‌دهد که ناشی از تغییر الگوی کشت

مزیت دیگر روش شی پایه فرآیند محور بودن آن است، در حالی که روش پیکسل پایه مورد استفاده داده محور می‌باشد. به این معنی که اعمال روش پیکسل پایه نیازمند نمونه‌های آموزشی برای هر سین تصویر و در هر مقطع زمانی مورد بررسی می‌باشد، درحالی‌که طبقه‌بندی کاربری اراضی در روش شی پایه مورد استفاده براساس سیستم فازی و تعریف توابع عضویت برای مشخصات مختلف موثر در تشخیص هر کلاس می‌باشد بنابراین سیستم با تغییرات جزئی برای سایر سین‌های تصویر و مقاطع زمانی مختلف نیز قابل استفاده است. در مجموع نتایج بدست آمده نشان دهنده کارایی بیش‌تر روش شی مبنا در طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه مورد نظر می‌باشد. از این‌رو برای طبقه‌بندی کاربری اراضی در کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دو مقطع زمانی مورد نظر از این روش استفاده شد.

تغییرات کاربری اراضی در کل حوضه

با توجه به نکات ذکر شده، نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۶ برای کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر مبنای روش شی پایه تهیه گردید. لازم به ذکر است که با توجه به وجود اختلاف در زمان ثبت تصاویر مربوط به سین‌های مختلف هر سال از یک سو و تفاوت شرایط توپوگرافی و تقویم زراعی

بررسی، در مجموع مساحت اراضی بایر و شور هزار در سطح حوضه حدود ۵۰ هزار هکتار افزایش یافته است.

بنابراین در خصوص تغییرات اراضی کشاورزی در سطح حوضه بطور کلی می‌توان ادعان نمود که سطح اراضی باغی و کشت آبی پاییزه حوضه به ترتیب به میزان ۹۶ و ۸۱ هزار هکتار افزایش و وسعت اراضی زیر کشت آبی تابستانه در سطح حوضه به مقدار ۴۰ هزار هکتار کاهش یافته است. در مجموع سطح اراضی تحت آبیاری حوضه حدود ۱۳۷ هزار هکتار (حدود ۳۲ درصد) و سطح اراضی زیر کشت دیم حدود ۱۶۰ هزار هکتار (حدود ۲۳ درصد) افزایش یافته است.

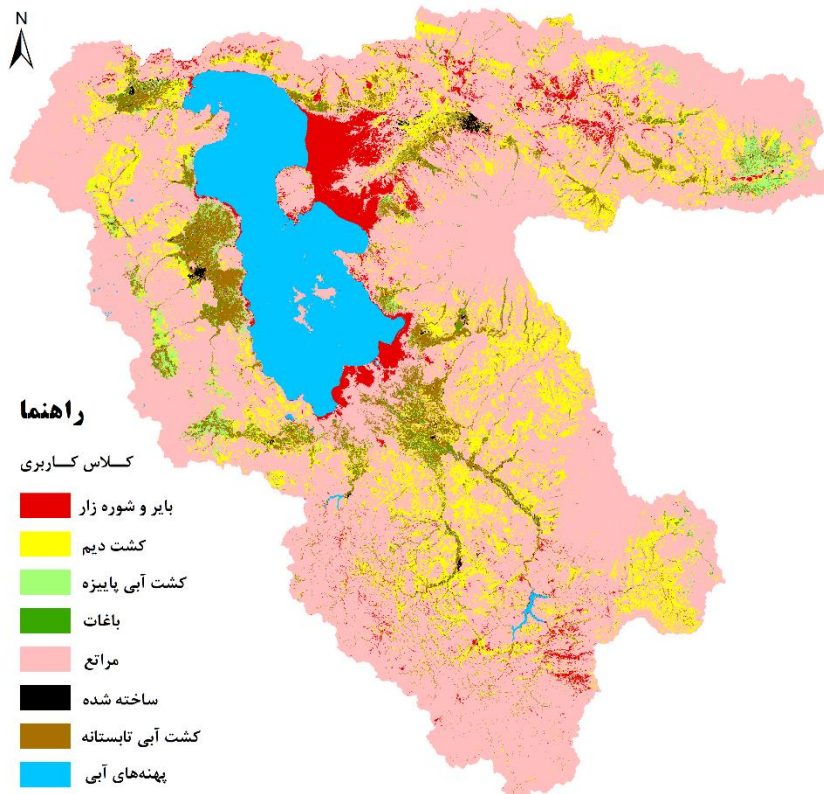
این اراضی به باغ و یا کشت آبی پاییزه می‌باشد که البته تاحدی با تغییر کاربری مراتع (۳۶ هزار هکتار) جبران گردیده است.

مساحت مراتع در سطح حوضه در حدود ۳۰۰ هزار هکتار کاهش یافته که جدا از تغییر به کاربری‌هایی نظیر باغات، کشت آبی پاییزه و کشت آبی تابستانه، عمدتاً ناشی از تبدیل به اراضی دیم به میزان ۲۱۵ هزار هکتار می‌باشد.

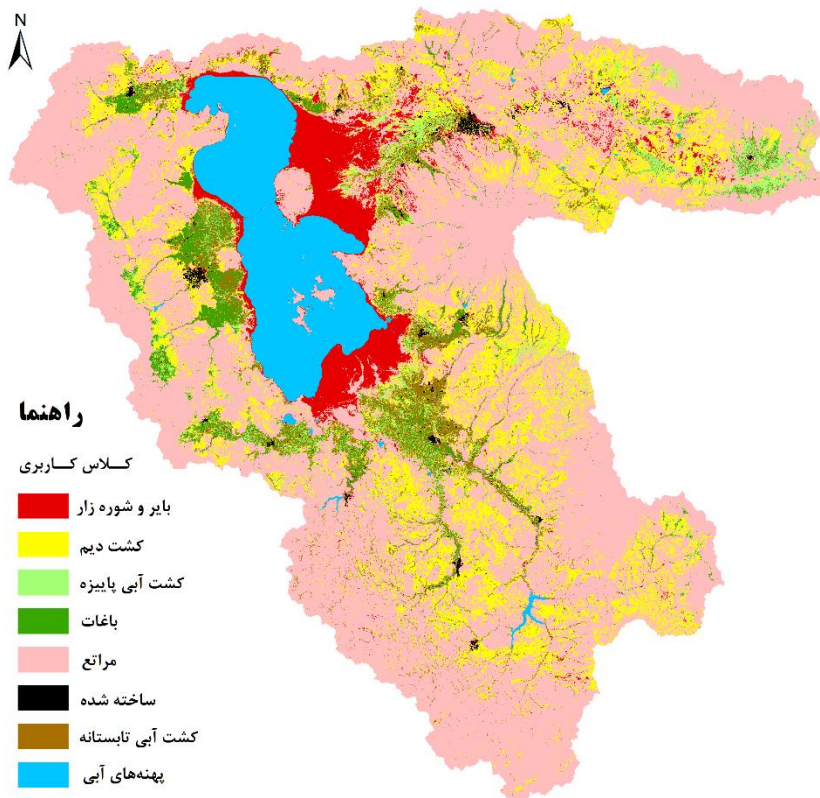
پسروی دریاچه ارومیه موجب به جا ماندن نم‌زاری به وسعت ۸۰ هزار هکتار در سواحل آن گردیده که با لحاظ نمودن تغییر کاربری مقداری از اراضی بایر حوضه به انواع کشاورزی در فاصله زمانی مورد

جدول ۸- وسعت اراضی کاربری‌های مختلف در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در مقاطع زمانی مورد بررسی و میزان تغییر آن‌ها (هکتار)

درصد تغییر	سال		کلاس کاربری
	۱۳۸۶	۱۳۶۶	
+۸۲/۵	۱۷۹,۲۴۶	۹۸,۲۱۷	کشت آبی پاییزه
+۲۷۳/۷	۱۳۱,۲۰۴	۳۵,۱۱۳	باغ
+۲۳/۳	۸۵۰,۷۴۹	۶۹۰,۰۰۶	اراضی دیم
-۱۵/۱	۴۳۳,۷۹۳	۵۱۱,۲۳۳	آب
+۲۳/۱	۲۶۰,۴۰۹	۲۱۱,۶۲۳	بایر و شور هزار
+۶۵/۳	۳۳,۱۶۵	۲۰,۰۶۱	ساخته شده
-۸/۵	۳,۰۳۳,۳۲۵	۳,۳۱۵,۲۷۶	مرتع
-۱۳/۶	۲۵۶,۴۳۵	۲۹۶,۸۰۵	کشت آبی تابستانه



شکل ۹- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۱۳۶۶



شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۱۳۸۶

بررسی تغییرات کاربری اراضی به تفکیک استان‌ها

میزان تغییر کاربری‌های مختلف اراضی به تفکیک استان‌های واقع در حوضه در جدول ۹ ارائه شده است. بر اساس این جدول می‌توان موارد ذیل را نتیجه‌گیری نمود:

سهم استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان در اراضی تحت آبیاری حوضه در سال ۱۳۶۶ به ترتیب برابر با ۳۳، ۶۱ و ۶ درصد بوده که در سال ۱۳۸۶ به ترتیب به ۳۸، ۵۸ و ۴ درصد تغییر یافته است.

عمده افزایش سطح زیر کشت آبی در استان آذربایجان شرقی بین دو مقطع زمانی مورد بررسی صرف توسعه اراضی کشت آبی پاییزه شده است. در حالی که در این فاصله در استان آذربایجان غربی، وسعت باغات با افزایش ۷۴ هزار هکتاری، بیش از ۳۰۰ درصد رشد داشته است. در خصوص استان کردستان افزایش چندانی در اراضی زیر کشت آبی واقع نگردیده و عمده توسعه مربوط به اراضی دیم بوده است.

جدول ۹- تغییرات مساحت کاربری‌های مختلف حوضه آبریز دریاچه ارومیه به تفکیک استانی

کلاس کاربری	آذربایجان شرقی		آذربایجان غربی		کردستان	
	۱۳۶۶	۱۳۸۶	درصد تغییر	۱۳۶۶	۱۳۸۶	درصد تغییر
کشت آبی پاییزه	۳۶,۹۰۲	۹۳,۳۴۴	+۱۵۲/۹	۵۸,۶۸۶	۸۱,۵۲۷	+۳۸/۹
باغ	۱۱,۵۳۶	۳۲,۸۱۵	+۱۸۴/۵	۲۲,۵۴۳	۹۶,۶۵۶	+۳۲۸/۸
اراضی دیم	۳۰۸,۲۳۴	۳۹۰,۷۶۲	+۲۶/۸	۳۰۳,۶۳۵	۳۳۹,۱۴۳	+۱۱/۷
آب	۳۰,۰۸۸	۲,۲۶۰	-۹۲/۵	۴۷۷,۴۶۰	۴۲۷,۳۷۶	-۱۰/۵
باير و شوره‌زار	۱۶۱,۶۲۱	۱۷۷,۲۹۹	+۹/۷	۳۱,۲۶۸	۸۰,۱۱۹	+۱۵۶/۲
ساخته شده	۱۰,۶۰۳	۱۸,۰۱۱	+۶۹/۹	۸,۷۱۴	۱۳,۶۰۷	+۵۶/۲
مرتع	۱,۳۱۰,۰۶۹	۱,۱۵۸,۹۲۳	-۱۱/۵	۱,۴۳۳,۲۱۴	۱,۳۲۷,۷۸۶	-۷/۴
کشت آبی تابستانه	۹۲,۴۶۸	۸۸,۱۱۲	-۴/۷	۱۸۲,۰۱۸	۱۵۱,۳۰۰	-۱۶/۹

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر بررسی تغییرات کاربری اراضی در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat-TM و اطلاعات ارتفاع و شیب در دو مقطع زمانی ۱۳۶۶ و ۱۳۸۶ بر اساس روش‌های پیکسل پایه و شی پایه به انجام رسید. بدین منظور ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی شهرستان ارومیه برای سال ۱۳۸۶ با استفاده از دو روش مذکور تهیه گردید. دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی در روش شی پایه حدوداً ۵ درصد بیش از روش پیکسل پایه بود که این تفاوت از نظر آماری نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در ادامه روش شی پایه برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دو مقطع زمانی مورد نظر استفاده شد. بدین منظور برخی تغییرات جزئی در حدود و شکل توابع عضویت شاخصه‌های کلاس‌های مختلف متناسب با شرایط توپوگرافی تقویم زراعی و هم-چنین زمان اخذ تصاویر پوشش دهنده بخش‌های مختلف حوضه صورت گرفت. در مجموع نتایج زیر از تحقیق حاضر قابل اشاره می‌باشد:

۱- روش طبقه‌بندی نسبتاً جدید شی پایه در مقایسه با روش متداول پیکسل پایه، ابزار مناسب‌تری برای طبقه‌بندی کاربری اراضی در مناطق وسیع و دارای تنوع کاربری‌های اراضی، حتی در صورت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی متوسط می‌باشد. امکان تعریف اختصاصی شاخصه‌های تفکیک کننده برای هر یک از کاربری‌ها و هم‌چنین رویکرد فازی مورد استفاده در این تحقیق که تنها برخی از قابلیت‌های این روش را شامل می‌شود، علاوه بر کاهش چشم‌گیر زمان اجرای طبقه‌بندی، به دلیل فرآیندمحور بودن، امکان تعمیم به سایر مناطق را با تغییرات جزئی فراهم می‌سازد و تا حد قابل ملاحظه‌ای نیاز به استفاده از داده‌های کنترلی را در مناطق فاقد این داده‌ها کاهش می‌دهد. هم‌چنین در تحقیق حاضر نشان داده شد که دقت این روش در مقایسه با روش‌های مرسوم بصورت معنی‌داری بیش‌تر می‌باشد.

۲- بررسی انجام شده نشان داد بین سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۶، اراضی تحت آبیاری و دیم در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه به-ترتیب در حدود ۱۳۷ و ۱۶۰ هزار هکتار افزایش یافته است. در این بین تغییرات عمده شامل افزایش باغات حوضه از ۳۵ به ۱۳۱ هزار هکتار و هم‌چنین اراضی کشت آبی پاییزه از ۹۸ به ۱۷۹ هزار هکتار می‌باشد که عمدتاً از کاربری‌های مرتع، کشت آبی تابستانه و اراضی دیم برداشت شده‌اند.

۳- نحوه و میزان توسعه اراضی کشاورزی در بین استان‌های صاحب امتیاز طی مدت مورد بررسی یکسان نمی‌باشد. به نحوی که در استان آذربایجان شرقی اکثر افزایش سطح کشت آبی مربوط به

توسعه اراضی کشت آبی پاییزه می‌باشد، در حالی که در استان آذربایجان غربی سطح باغات افزایش چشم‌گیری داشته است. در این بین توسعه اراضی کشاورزی در سطح استان کردستان عمدتاً مربوط به کشت دیم می‌باشد.

منابع

برائتی قه‌فرخی، س.، سلطانی کویایی، س.، خواجه‌الدین، ج.ا. و رایگانی، ب. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی در زیر حوضه قلعه شاهرخ با استفاده از تکنیک سنجش از دور (دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۵۴). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. ۱۳. ۴۷: ۳۴۹-۳۶۵.

بی‌نام. ۱۳۸۴. مطالعات برنامه جامع سازگاری با اقلیم. وزارت نیرو.

بی‌نام. ۱۳۸۵. مطالعات یکپارچه منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه. موسسه تحقیقات آب.

بی‌نام. ۱۳۸۹. مطالعات بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور. وزارت نیرو.

بی‌نام. ۱۳۹۰. سال‌نامه آماری محصولات کشاورزی. سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی.

بی‌نام. ۱۳۹۲. مطالعه بررسی روند تغییرات محیطی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. موسسه تحقیقات آب.

خلقی، ج و دماوندی، ع. ۱۳۸۹. شناسایی و اولویت‌بندی اراضی مستعد کشت غلات دیم در استان زنجان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ همایش ژئوماتیک ۸۹. تهران، ایران.

رسولی، ا.ع.، قاسمی گل‌عدانی، ک و سلطانی، ب. ۱۳۸۴. نقش بارش و ارتفاع در تعیین مناطق مساعد برای کشت گندم دیم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی؛ مورد مطالعه: استان اردبیل. جغرافیا و توسعه. ۳. ۶: ۱۸۳-۲۰۰.

رضایی مقدم، م.ح.، رضایی بنفشه، م.، فیضی‌زاده، ب و نظم‌فر، ح. ۱۳۸۹. طبقه‌بندی پوشش اراضی/کاربری اراضی براساس تکنیک شی‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی). ۸۷: ۱۵-۲۳.

سفیانیان، ع و خداکرمی، ل. ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی (مطالعه موردی سه زیر حوضه آبخیز کبودر آهنگ، رزن- قهاوند و خونجین- تلخاب در استان همدان). آمایش سرزمین. ۳. ۴: ۹۵-۱۱۴.

سفیانیان، ع و مدنیان، م.ا. ۱۳۹۰. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی کننده

- evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric engineering and remote sensing*. 70.5:627-634.
- Gao, Y., Mas, J.F and Navarrete, A. 2009. The improvement of an object-oriented classification using multi-temporal MODIS EVI satellite data. *International Journal of Digital Earth*. 2.3:219-236.
- Huang, L and Li, L. 2008. Object-oriented classification of high resolution satellite image for better accuracy. Paper presented at the Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. Shanghai. China.
- Liu, D and Xia, F. 2010. Assessing object-based classification: advantages and limitations. *Remote sensing letters*. 1.4:187-194.
- Lyons, M.B., Phinn, S.R and Roelfsema, C.M. 2012. Long term land cover and sea grass mapping using Landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of South East Queensland, Australia. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 71:34-46.
- Matinfar, H.R., Sarmadian, F., AlaviPanah, S.K and Heck, R.J. 2007. Comparisons of object-oriented and pixel-based classification of land use/land cover types based on Landsat7, Etm+ spectral bands (case study: arid region of Iran). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2.4:448-456.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y and Qiu, G. 2007. Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*. 7.11:2636-2651.
- Ormsby, J.P. 1982. The use of Landsat-3 thermal data to help differentiate land covers. *Remote Sensing of Environment*. 12.2:97-105.
- Price, K.P., Egbert, S.L., Nellis, M.D., Lee, R.Y and Boyce, R. 1997. Mapping land cover in a high plains agro-ecosystem using a multirate landsat thematic mapper modeling approach. *Transactions of the Kansas Academy of Science*. 100.1-2:21-33.
- Xian, G and Crane, M. 2006. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 104.2:147-156.
- حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: استان اصفهان). *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*. ۵۷: ۲۵۳-۲۶۴.
- علی محمدی، ع.، متکان، ع.ا.، ضیائی، پ و طباطبایی، ه. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، شی پایه و درخت تصمیم در تهیه نقشه تیپ‌های جنگل با استفاده از داده‌های سنجنش از دور (مطالعه موردی: جنگل آستارا). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی* ۱۰. ۱۳: ۷-۲۶.
- فتحیان، ف. ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور و متغیرهای آب و هواشناسی در حوضه دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
- فیضی‌زاده، ب. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شی پایه در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.
- گودرزی، م و فرج‌پور، م. ۱۳۸۶. بررسی امکان جداسازی دیم‌زارها از مراتع با استفاده از سنجنش از دور (مطالعه موردی منطقه تهم استان زنجان). *نشریه تحقیقات مرتع و بیابان*. ۱۴. ۳: ۴۳۲-۴۴۶.
- Anderson, J., Hardy, E., Roach, J and Witmer, R. 1976. A land use and land cover classification for use with remote sensor data. United States Geological Survey Professional Paper no. 964.
- Benediktsson, J.A., Swain, P.H and Ersoy, O.K. 1990. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 28.4:540-552.
- Campbell, J.B and Wynne, R.H. 2011. *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press. New York.
- Chen, M., Su, W., Li, L., Zhang, C., Yue, A and Li, H. 2009. Comparison of pixel-based and object-oriented knowledge-based classification methods using SPOT5 imagery. *World Scientific and Engineering Academy and Society Transactions on Information Science and Applications*. 6.3:477-486.
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X and Yin, Z.Y. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*. 104.2:133-146.
- Footy, G.M. 2004. The matic map comparison:

Study of Land Use Change in the Urmia Lake Water Shed Based on Landsat-TM Images and Pixel-Based and Object-Based Classification Techniques

A.Farokhnia¹, S. Morid^{2*}, M. Delavar³

Received: Feb.06, 2018

Accepted: May.27, 2018

Abstract

Land use is one of the important features of watersheds, so being aware of its situation and changes over time are needed for achieving sustainable development. Today, novel techniques based on remote sensing technology provides good opportunity for study on this topic. In this study, the current and past status of land use of one of the most critical areas of country in regards of water and environmental issues, Lake Urmia watershed, was targeted. To this aim, Landsat -TM images from the years 1987 and 2007 were used and for improving the accuracy of classification, two sets of images from different months were used for each year. First, land use map of the Urmia County in 2007 was prepared by using of pixel-based (maximum likelihood) and object-based (fuzzy) methods, which Object-based approach showed significant more accuracy in classification of land use. Then object-based method was used to classify land use of whole basin for the two selected time periods. The results indicate 32 and 23 percent growth in irrigated and rain fed cultivated area, respectively, as well as 8 percent reduction of rangelands in these two time periods. Also, surveying of land use change at involved provinces showed that the patterns of agricultural development were not identical among them.

Keywords: Landsat-TM, Land use, Object-based classification, Urmia Lake watershed.

1- Academic Member, Department of Water Resources Research, Water Research Institute

2- Professor, Department of Water Resources Engineering, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University

3- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Agriculture Faculty, Tarbiat Modares University

(* - Corresponding Author: Email: morid_sa@modares.ac.ir)