



سنجش از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران / سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.8, No. 2, Summer 2016

۷۳-۸۶



مقایسه کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیمینه‌رود)

علیرضا دانشی^۱، مهدی وفاخواه^{۲*}، مصطفی پناهی^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور
۳. استادیار گروه اقتصاد محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۶/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۲/۲۲

چکیده

با توجه به اینکه الگوریتم‌های متنوعی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سنجش از دور توسعه یافته‌اند، انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی در دستیابی به نتایج صحیح نقش بسیاری ایفا می‌کند. به همین منظور در پژوهش حاضر، با مقایسه کارایی صحت طبقه‌بندی دو الگوریتم حداکثر احتمال و ماشین‌های بردار پشتیبان، الگوریتم دقیق‌تر تعیین، و از آن برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. تحقیق حاضر در حوزه آبخیز سیمینه‌رود و با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI انجام گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، در مقایسه با الگوریتم حداکثر احتمال، تصاویر ماهواره‌ای را بهتر طبقه‌بندی کرده است و از میان کرنل‌های ماشین بردار، کرنل تابع پایه شعاعی (RBF) کارایی بهتری داشته است. بنابراین، از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل تابع پایه شعاعی برای تهیه نقشه کاربری اراضی دوره‌های مورد بررسی و تغییرات کاربری استفاده شد. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی، با استفاده از این کرنل، مشخص کرد که در طی دوره‌های بررسی‌شده، مساحت کاربری‌های زراعت آبی از ۳۰۵۳۵ هکتار به ۶۷۲۱۰ هکتار، زراعت دیم از ۷۹۹۰۹ هکتار به ۱۲۳۳۸۳ هکتار و مناطق مسکونی از ۴۷۴ هکتار به ۱۹۳۴ هکتار افزایش یافته است. در حالی که مراتع از ۲۵۹۸۱۱ هکتار به ۱۷۸۳۹۸ هکتار، و منابع آب از ۲۴۰ هکتار به ۴۱ هکتار روند کاهشی دارند.

کلید واژه‌ها: تصاویر ماهواره‌ای، الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان، حداکثر احتمال، کاربری اراضی.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: استان مازندران، نور، خیابان امام خمینی(ره)، بلوار امام رضا (ع)، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس. تلفن: ۰۹۱۲۳۱۷۹۶۹۹ -

مقدمه

کاربری زمین یکی از مهم‌ترین عواملی است که انسان از طریق آن محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Lausch & Herzog, 2002). بر اثر فعالیت‌های انسانی و پدیده‌های طبیعی، این کاربری‌ها همواره دستخوش تغییرند. اطلاع از کاربری‌ها و چگونگی تغییرات آن در گذر زمان، از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی‌هاست. آشکارسازی تغییرات فرایندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت‌ها و اختلاف مجموعه زمانی پدیده‌ها، عارضه‌ها و الگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند (Chen et al. 2003; Yang & Lo, 2002). تغییرات کاربری اراضی نتیجه تبدیل اراضی طبیعی، مانند جنگل و مرتع، به کاربری‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و بالعکس است (Reger et al., 2007; Shalaby & Tateishi, 2007; Sonmez & Sari, 2007; Serra et al., 2008; Van Oort, 2007). این در حالی است که در دهه‌های اخیر، روند این تغییرات، به‌ویژه در ایران، با سرعتی فزاینده روبه‌افزایش بوده و در بسیاری از موارد باعث ایجاد معضلات و مخاطرات زیست‌محیطی و وارد آمدن ضرباتی سنگین بر پیکره منابع طبیعی کشور شده است.

در حال حاضر، یکی از بزرگ‌ترین معضلات زیست‌محیطی که کشور ما با آن روبه‌رو شده، مشکل خشک شدن دریاچه ارومیه است. به عقیده بسیاری از کارشناسان، یکی از مهم‌ترین دلایل پدید آمدن مشکل فعلی دریاچه ارومیه تغییرات گسترده کاربری اراضی است، به شکلی که شرایط را برای استفاده نامعقول و غیرمتعارف از منابع آبی موجود در حوضه دریاچه مهیا، و رسیدن آب به دریاچه ارومیه را مختل کرده است. بنابراین، لزوم ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه برای دادن دید کلی از محیط‌زیست منطقه، ساختن فرضیه‌های معتبر بر مبنای توسعه پایدار، پیشه کردن سیاست‌های اصولی، تدوین برنامه‌های توسعه و مدیریت اصولی منابع موجود در آن بیش از پیش احساس می‌شود. در این میان، استفاده از فناوری سنجش از دور بهترین وسیله برای آشکارسازی

و ارزیابی تغییرات کاربری شناخته شده است زیرا با پیشرفت‌های انجام گرفته در زمینه این فناوری و تولید تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا و همچنین، انواع فنون پردازش تصویر، می‌شود تغییرات کاربری اراضی را برآورد و برای مدیریت آن‌ها اقدام کرد (Shetaee & Abdi, 2007). در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های متنوعی برای طبقه‌بندی کاربری‌ها در سنجش از دور توسعه یافته‌اند. بنابراین، انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی در دستیابی به نتایج صحیح نقش مهمی ایفا می‌کند. در این میان، الگوریتم حداکثر احتمال رایج‌ترین و یکی از دقیق‌ترین روش‌ها شناخته شده است (Shetaee & abdi, 2007). همچنین در چند سال اخیر، تکنیک جدیدی براساس تئوری یادگیری آماری، با نام ماشین‌های بردار پشتیبان^۱ جهت طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور، به کار رفته (Yao et al., 2008; Dixon & Candade, 2008) و با توجه به نتایج مطلوبی که در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای داشته است، با بهترین روش‌های طبقه‌بندی موجود، مانند شبکه‌های عصبی، طبقه‌بندی درختی و ...، امکان رقابت دارد (Arekhi & Adibnejad, 2011). به شکلی که این روش، ب‌علت توانایی بالا در به‌کارگیری بهینه داده‌های تعلیمی، در بیشتر موارد توانسته است در مقایسه با روش‌های رایج دیگر، طبقه‌بندی را با دقت مطلوب‌تری انجام دهد (Mountrakis et al., 2011).

تا کنون تحقیقات و مطالعات فراوانی در داخل و خارج از کشور به مقایسه الگوریتم‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سنجش از دور انجام گرفته است. برای نمونه، خوانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۲)، دقت حاصل از به‌کارگیری الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان را با سه الگوریتم طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی مصنوعی (NNC)^۳، حداکثر احتمال و ساختار درختی تصمیم مقایسه کردند. نتایج تحقیق آنها

1. Support Vector Machine
2. Huang et al.
3. Neural Network Classifiers

انجام می‌دهند. اما زمانی که تعداد نمونه‌های تعلیمی کاهش می‌یابد، اختلاف دقت بین الگوریتم‌ها افزایش پیدا می‌کند.

برخوردراری و همکاران^۱ (۲۰۰۵)، در تحقیقی به‌منظور تهیه نقشه پوشش اراضی حوضه سد استقلال میناب، از تصاویر ماهواره‌ای لندست (سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۲) استفاده کردند. ایشان پس از بررسی و مقایسه روش‌های گوناگون برای این کار، نتیجه گرفتند بهترین روش طبقه‌بندی تلفیق دو روش شاخص گیاهی و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده است. همچنین، نتایج بررسی تغییرات کاربری حوضه نشان داد که سطح اراضی مرتعی بیشه‌زارهای جنگلی از ۴۵٪ سطح حوزه در سال ۱۹۷۶، به ۸٪ در سال ۲۰۰۲ کاهش یافته است. فیضی‌زاده و همکاران^۲ (۲۰۰۷) روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء‌گرا را در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی جلگه شرقی دریاچه ارومیه مقایسه کردند. آنها در طبقه‌بندی پیکسل پایه، از الگوریتم‌های حداقل فاصله از میانگین، متوازی‌السطوح و حداکثر احتمال استفاده کردند و طبقه‌بندی شیء‌گرا را با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه انجام دادند. سپس، نتایج را مقایسه کردند و به این واقعیت رسیدند که در بین روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، در مقایسه با الگوریتم‌های متوازی‌السطوح و حداقل فاصله از میانگین، الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال دقت بالاتری دارد اما خود این الگوریتم، در مقایسه با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، دارای دقت کمتری است. بر این اساس، آنها نتیجه گرفتند به‌علت استفاده

نشان داد که الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان، در مقایسه با سه الگوریتم دیگر، دقت بالاتری دارد. آنها علت دقت بالای این روش را قابلیت بهینه‌سازی تفکیک‌پذیری کلاس‌ها به‌وسیله ابرصفحه جداکننده بیان کردند. بیله و گازی^۱ (۲۰۰۴)، با استفاده از تکنیک سنجش از دور، نقشه کاربری اراضی شهر خولنا^۲ در بنگلادش را تهیه کردند. آنها برای این کار تصاویر ماهواره‌ای TM لندست را پردازش، و با اعمال الگوریتم‌های طبقه‌بندی گوناگون، نقشه کاربری اراضی این منطقه را تهیه کردند. نتایج نهایی این واقعیت را بیان می‌کند که تصاویر ماهواره‌ای برای اهداف برنامه‌ریزی اهمیت بسزایی دارند. الاحمدی و هاس^۳ (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای در مناطق خشک عربستان سعودی، چهار روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده (حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله ماهالانوبیس^۴) را با استفاده از تصاویر سنجنده ETM⁺ مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپای ۰/۶۸ بیشترین دقت را دارد. پتروپولوس و همکاران^۵ (۲۰۱۲)، با استفاده از دو روش شیء‌گرا و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) نقشه کاربری اراضی را تهیه کردند. نتایج نشان داد که هر دو روش برای تهیه نقشه کاربری اراضی مناسب خواهد بود ولی روش شیء‌گرا، به نسبت روش ماشین‌های بردار پشتیبان، صحت کلی و ضریب کاپای بالاتری دارد. هوسینا و همکاران^۶ (۲۰۱۳) با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و تصاویر VHR (تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا) روند تغییرات کاربری اراضی را بررسی کردند و دریافتند که روش شیء‌گرا برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی، پتانسیل بیشتری دارد. کن‌کونگ و همکاران^۷ (۲۰۱۴) روش‌های نظارت‌نشده و سیزده مورد از روش‌های نظارت‌شده را برای طبقه‌بندی کاربری اراضی شهر گوانگژو چین مقایسه، و برای این کار، از داده‌های TM لندست استفاده کردند. نتایج نشان داد زمانی که نمونه تعلیمی به تعداد مناسب انتخاب می‌شود، بیشتر الگوریتم‌ها طبقه‌بندی مناسبی

1. Billah & gazi

2. Khulna

3. Al-Ahmad & Hames

4. Mahalanobis distance

5. Petropoulos et al.

6. Hussaina et al.

7. Congcong et al.

8. Barkhordary et al.

9. Feyzizadeh et al.

ماشین‌های بردار پشتیبان و حداکثر احتمال، الگوریتم مناسب تعیین شود و سپس، استخراج نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم دقیق‌تر، به‌منظور ارزیابی تغییرات کاربری در حوضه آبخیز سیمینه‌رود که یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است، انجام گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

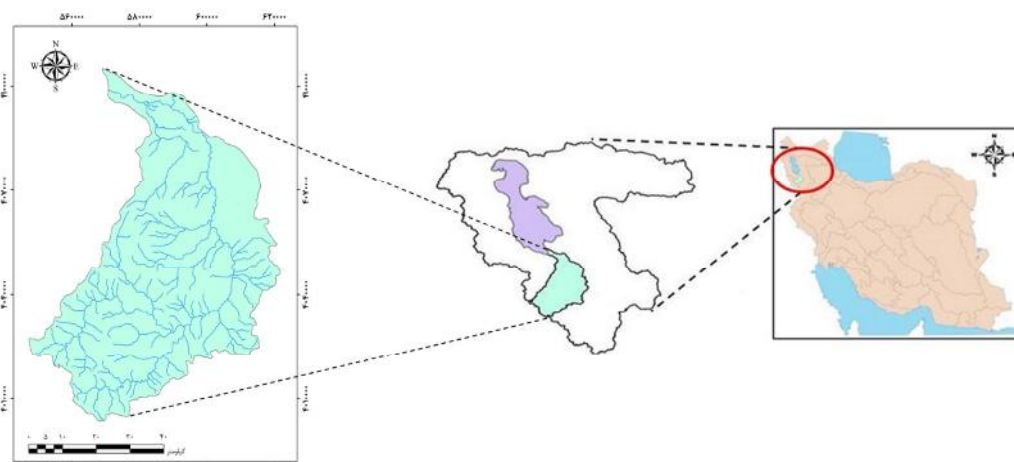
۲-۱- منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه سیمینه‌رود یکی از مهم‌ترین زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه است. سیمینه‌رود که در این زیرحوضه جریان دارد، از مهم‌ترین رودخانه‌های تأمین‌کننده آب دریاچه و از بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های حوضه آبخیز آن محسوب می‌شود که در جنوب استان آذربایجان غربی و در غرب حوضه آبخیز زرنه‌رود جریان دارد. ۳۵٪ از کل ورودی سالیانه آب‌های سطحی به دریاچه ارومیه از طریق این رودخانه و رودخانه گادارچای تأمین می‌شود (Mohagheg, 2002). طول رودخانه حدود ۲۰۰ کیلومتر، مساحت حوضه آبخیز آن ۳۵۰۰ کیلومترمربع و شامل یازده زیرحوضه است (Rezaei Zaman et al., 2014). شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز سیمینه‌رود در ایران و حوضه آبخیز دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.

1 Goudarzimehr et al.

از اطلاعات مکانی در استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، طبقه‌بندی شیء‌گرا، درمقایسه با روش‌های پیکسل پایه، دقت بالایی دارد. گودرزی‌مهر و همکاران^۱ (۲۰۱۲) کارایی الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان، حداکثر احتمال و شبکه‌های عصبی در تولید نقشه زمین‌شناسی را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که سه مورد از چهار کرنل ماشین‌های بردار پشتیبان دقتی بالاتر از الگوریتم‌های حداکثر احتمال و شبکه‌های عصبی دارند. همچنین، روش ماشین‌های بردار پشتیبان با ۵۰٪ از داده‌های تعلیمی نیز امکان دارد به دقتی معادل استفاده از ۱۰۰٪ نمونه‌های تعلیمی برسد، درحالی‌که دو روش دیگر چنین قابلیت را از خود نشان ندادند.

بررسی سوابق تحقیق نشان‌دهنده این است که استفاده از فن‌سنجش از دور برای استخراج نقشه کاربری اراضی نتایج بسیار مفید و مناسب دربر داشته است اما مشکل اساسی در این زمینه تعدد روش‌های طبقه‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین روش است. بنابراین لازمه انتخاب درست و صحیح داشتن اطلاعات کافی از این روش‌ها خواهد بود. جهت مشخص شدن بهتر بودن کارایی این روش‌ها، باید به‌صورت موردی و نیز به‌روش طبقه‌بندی در شرایط گوناگون با یکدیگر مقایسه شوند تا مزایا و معایب هریک آشکار شود. بنابراین در پژوهش حاضر، تلاش بر این است تا با استفاده از سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI، ضمن مقایسه کارایی دو الگوریتم



شکل ۱. موقعیت کشوری و منطقه‌ای حوضه آبخیز سیمینه‌رود

۲-۲-۲- روش پژوهش

۲-۲-۲-۱- داده‌های پژوهش

در تحقیق حاضر از تصاویر سنجنده‌های TM مربوط به تاریخ ۱۹۸۴/۸/۲۷، ETM⁺ مربوط به تاریخ ۲۰۰۰/۸/۳۱ و OLI تاریخ ۲۰۱۳/۸/۴ استفاده شده است.

۲-۲-۲-۲- تصحیحات هندسی و اتمسفری

پیش از تحلیل اطلاعات ماهواره‌ای، لازم است تصحیحاتی مانند تصحیح هندسی روی تصویر خام صورت گیرد. تصحیحات هندسی، به دلیل نیاز به نقاط کنترل دقیق از محدوده، به وسیلهٔ اخذکنندهٔ تصویر انجام نمی‌شود و پیش از به‌کارگیری تصاویر، باید این تصحیحات روی آنها اعمال شود. با توجه به اینکه تصاویر دارای سیستم مختصات تصویری‌اند، تا زمانی که تصویر تصحیح هندسی نشده و مختصات زمینی به پیکسل‌های آن نسبت داده نشده باشد، تصویر جهت کاربردهای تولید نقشه و همپوشانی با نقشه‌های دیگر، قابل استفاده نیست. منظور از تصحیح هندسی جبران انحراف‌هاست، به گونه‌ای که شکل تصحیح‌شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد (Alavipanah, 2003). اصلاحات هندسی تصاویر، پس از به‌کارگیری روش ناپارامتری چندجمله‌ای و حذف نقاط نامناسب، با تعداد ۲۹ نقطهٔ کنترل زمینی و میزان خطای ریشهٔ مربعات ۰/۳۴ پیکسل صورت گرفت. برای نمونه‌گیری ارزش مجدد پیکسل‌ها از روش نزدیکترین همسایه استفاده شد. همچنین، برای حذف آثار نامطلوب جو و جهت مقایسهٔ هرچه بهتر روش‌ها، تصحیح اتمسفری روی تصویر مورد نظر انجام گرفت. در این تحقیق، به دلیل نداشتن دسترسی به داده‌های مربوط به زمان برداشت تصویر به وسیلهٔ سنجندهٔ لندست، از روش کاهش تیرگی برای تصحیح اتمسفری استفاده شد.

۲-۲-۲-۳- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با روش

حداکثر احتمال

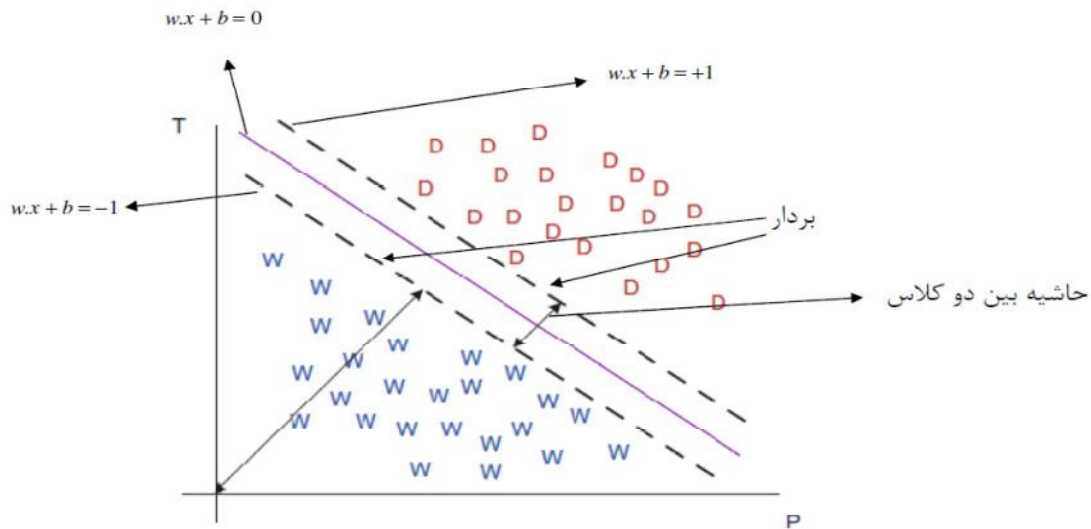
در این الگوریتم، کلاسی به پیکسل نسبت داده می‌شود

که بزرگ‌ترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس را دارا باشد. در روش حداکثر احتمال، در مرحلهٔ اول براساس نمونه‌های آموزشی طبقات، میانگین واریانس و کوواریانس برای باندهای مورد استفاده در طبقه‌بندی محاسبه می‌شود، در مرحلهٔ دوم، میزان احتمال تعلق پیکسل‌ها به هر یک از طبقه‌ها محاسبه می‌شود و براساس بالاترین میزان احتمال، عمل طبقه‌بندی و اختصاص پیکسل‌ها به طبقات گوناگون صورت می‌گیرد. در این روش، پس از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی اختصاص می‌یابند که بیشترین شباهت را دارند و اگر مقادیر احتمال پایین‌تر از حد آستانه معرفی شده باشد، پیکسل طبقه‌بند نشده معرفی می‌شوند (Alavipanah, 2003).

۲-۲-۲-۴- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با روش ماشین

بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان گروهی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده است که پیش‌بینی می‌کند هر نمونه در کدام کلاس یا گروه قرار می‌گیرد. این الگوریتم به پدیده‌های فضاهای چندبعدی حساسیت کمتری دارد، به همین علت، در طبقه‌بندی داده‌های چندطیفی و ابرطیفی روش مناسبی به‌شمار می‌رود. یکی از مزایای الگوریتم ماشین بردار پشتیبان این است که با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌تواند دقت تصویر طبقه‌بندی‌شدهٔ خوبی ارائه دهد که در نتیجهٔ آن، هزینه‌ها کاهش و سرعت کار افزایش می‌یابد (Gualtieri & Cromp, 1998). این الگوریتم، برای تفکیک دو کلاس از یکدیگر، از یک صفحه استفاده می‌کند، به طوری که این صفحه از هر طرف بیشترین فاصله را تا هر دو کلاس داشته باشد. نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی به این صفحه «بردارهای پشتیبان» نام دارند (Keshavarz & Ghassemian, 2005). در شکل ۲، دو کلاس و بردارهای پشتیبان مربوط به آنها نشان داده شده است.



شکل ۲. مرز خطی بهینه برای جداسازی دو کلاس

($D = 2d = \frac{2}{\|w\|}$) خواهد شد که هدف آن حداکثر کردن این فاصله است. با تبدیل این معادله به مسئله بهینه‌سازی و وارد کردن ثابت‌ها در این مسئله، به شکل معادله زیر درمی‌آید:

رابطه (۵) Maximize

$$L_D = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i^T x_j + \sum_i \alpha_i$$

$i = 1, \dots, n$

Subject to $\sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad \alpha_i \geq 0$

در این رابطه، α_i و α_j ضرایب لاگرانژ به‌شمار می‌آیند. رابطه (۵) مرز خطی دو کلاس کاملاً جدا از هم را نشان می‌دهد، اما درحالی‌که کلاس‌ها با هم همپوشانی داشته باشند، جدا کردن کلاس‌ها به‌وسیله مرز خطی با خطا همراه خواهد بود. برای حل این مشکل فضای با ابعاد بیشتر نیاز است. می‌شود به‌جای $x_i^T x_j$ از کرنل $K(x_i, x_j)$ استفاده کرد و مرز را به‌حالت غیرخطی درآورد.

رابطه (۶) Maximize

$$-\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) + \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

$i = 1, \dots, n$

Subject to $\sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad \alpha_i \geq 0$

فرض کنید داده‌ها، مانند شکل ۲، از دو کلاس تشکیل شده و کلاس‌ها در مجموع دارای x_i نقطه آموزشی باشند که x_i یک بردار است. این دو کلاس با $y_i = \pm 1$ برجسته می‌شوند. برای محاسبه مرز تصمیم‌گیری دو کلاس کاملاً جدا از هم، از روش حاشیه بهینه استفاده می‌شود (Arekhi & Adibnejad, 2011). یک مرز تصمیم‌گیری خطی را در حالت کلی می‌شود به‌صورت زیر نوشت:

رابطه (۱) $w x + b = 0$

در این رابطه، x متغیرها در فضای تصمیم‌گیری و w و b پارامترهای طبقه‌بندی‌اند. ماشین بردار پشتیبان مرزی حاشیه‌ای بین دو کلاس در نظر می‌گیرد (شکل ۲) که معادلات آنها به‌صورت زیر است:

رابطه (۲) $w x + b = +1$

رابطه (۳) $w x + b = -1$

فاصله خط از مبدأ از رابطه $\frac{|b|}{\|w\|}$ محاسبه می‌شود. بنابراین، فاصله خط بردار بالا و خط طبقه‌بندی‌کننده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

رابطه (۴) $d = \frac{\left| \frac{|b-1|}{\|w\|} - \frac{|b|}{\|w\|} \right|}{\|w\|} = \frac{1}{\|w\|}$

بنابراین، عرض حاشیه بین دو کلاس دوبرابر رابطه (۴)

مطالعه نیز، روش زوج-زوج به کار رفت و مقادیر عامل جریمه^۳ و سطح هرم^۴ به صورت خودکار و براساس مقادیر قراردادی نرم افزار ENVI4.7، به ترتیب، ۱۰۰ و ۰ در نظر گرفته شد (Arekhi & Adibnejad, 2011).

۲-۲-۵- طبقه بندی تصویر ماهواره ای مربوط به سال ۲۰۱۳

به منظور تعیین روش دقیق تر برای استخراج نقشه کاربری اراضی و بررسی تغییرات آن، ابتدا با استفاده از تصویر ماهواره ای مربوط به سال ۲۰۱۳، نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز سیمین رود طبقه بندی و استخراج شد. این کار با استفاده از الگوریتم های ماشین های بردار پشتیبان و حداکثر احتمال یادشده صورت گرفت و دقت این دو روش مقایسه شد. برای کاربری های موجود در منطقه (شامل مناطق مسکونی، زراعت آبی، زراعت دیم، مراتع و منابع آبی) با استفاده از بازدیدهای میدانی و دستگاه موقعیت یاب جهانی^۵، نمونه های تعلیمی برای هر کاربری تهیه، و نمونه های تعلیمی به دو دسته تقسیم شد: یک دسته جهت استفاده در طبقه بندی و دسته دوم جهت بررسی صحت طبقه بندی به کار رفت. بر این اساس، برای کاربری مرتع تعداد ۲۰۶ نمونه، کاربری زراعت دیم ۱۲۰ نمونه، زراعت آبی ۸۶ نمونه، مناطق مسکونی ۴۸ نمونه و منابع آب ۳۹ نمونه برداشت شد که برای طبقه بندی، از ۷۰٪ و برای ارزیابی صحت روش های مورد استفاده، ۳۰٪ نمونه های تعلیمی به کار رفت (Omidipour et al., 2014).

۲-۲-۶- طبقه بندی تصاویر سال های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰

پس از تعیین الگوریتم دقیق تر و برای آگاهی از تغییرات کاربری اراضی در گذشته، تصاویر مربوط به سال های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰ نیز طبقه بندی شدند. برای

$K(X_i, X_j)$ در فضای اولیه و برابر با ضرب داخلی دو بردار در فضای ویژگی است. برای معادل بودن تابع $K(X_i, X_j)$ با ضرب داخلی دو بردار در فضای ویژگی باید $K(X_i, X_j)$ تابع معین مثبت متقارنی باشد و در شرط مرسر صدق کند. طبقه بندی، با استفاده از روش ماشین های بردار پشتیبان، به صورت خودکار و با استفاده از چهار نوع کرنل خطی (رابطه (۷))، چندجمله ای (رابطه (۸))، شعاعی (رابطه (۹)) و حلقوی (رابطه (۱۰)) اجرا می شود (Arckhi & Adibnejad, 2011).

$$K(X_i, Y_i) = X_i \cdot X_j \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$K(X \cdot Y) = (X \cdot Y + 1)^P \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$K(X, Y) = e^{-\frac{\|x-y\|^2}{2\sigma^2}} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$K(X, Y) = \tan h(kx \cdot y - \delta) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

به طور کلی، ماشین بردار پشتیبان یک طبقه بندی کننده باینری و خطی است که با استفاده از توابع کرنل، به منزله یک طبقه بندی کننده چندکلاسی و غیرخطی نیز به کار می رود (Feyzizadeh et al., 2007). ماشین بردار پشتیبان طبقه بندی کننده ای دودویی است. بنابراین، درحالی که بیش از دو کلاس وجود داشته باشد، نمی شود مستقیماً از آن استفاده کرد. در حالت کلی، برای استفاده از طبقه بندی کننده های دودویی در حالت چندکلاسه، باید ابتدا چند طبقه بندی کننده دودویی طراحی شود. طبقه بندی نهایی با استفاده از ادغام اطلاعات طبقه بندی کننده های دودویی انجام می شود. برای استفاده از ماشین بردار پشتیبان در حالت چندکلاسه، این تکنیک کلی با دو روش یکی در مقابل بقیه^۱ و دسته بندی کردن زوج-زوج^۲ اجرا می شود. این دو روش به گونه ای سعی در استخراج اطلاعاتی از مرزهای بین کلاس ها دارند. در روش دسته بندی کردن زوج-زوج میزان اطلاعاتی که از مرز بین کلاس ها استخراج می شود، بسیار بیشتر از اطلاعاتی است که با روش یکی در مقابل بقیه به دست می آید. بنابراین، به نظر می رسد استفاده از روش دسته بندی کردن زوج-زوج طبقه بندی بهتری در اختیار ما قرار می دهد. در این

1. one-against-all
2. one-against-one
3. Penalty Parameter
4. Pyramid Level
5. Global Positioning System

که در آن، P_0 درستی مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار است. حالت ایده‌آل برای مقدار ضریب کاپا عدد ۱ است و چنانچه این مقدار برابر صفر باشد، طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و اگر مقدار منفی به دست بیاید، نشان‌دهنده خطا در طبقه‌بندی است.

۳- نتایج

۳-۱- مقایسه صحت الگوریتم‌های ماشین‌های بردار پشتیبان و حداکثر احتمال

نتایج طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۳ نشان داد که هر دو الگوریتم صحت طبقه‌بندی بالایی دارند ولی در میان آنها، کرنل تابع پایه شعاعی الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان دارای بالاترین میزان صحت کلی و ضریب کاپاست (جدول ۱). با توجه به اینکه تصویر ماهواره‌ای مربوط به سال ۲۰۱۳ جدیدتر است و قابلیت بیشتری برای انطباق با نمونه‌های زمینی دارد، در این پژوهش، از تصویر سال ۲۰۱۳ برای مقایسه صحت الگوریتم‌ها استفاده شد و با استفاده از آن و با تعیین کرنل تابع پایه شعاعی به‌منزله بهترین الگوریتم، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۰۰، به‌منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه، انجام گرفت.

۳-۲- بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز سیمینه‌رود

برای این منظور، تصاویر ماهواره‌ای مورد نظر از محدوده منطقه مورد مطالعه، با استفاده از کرنل تابع پایه شعاعی طبقه‌بندی شدند. انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز برای طبقه‌بندی کلاس‌های گوناگون در منطقه، با شناخت از منطقه و با استفاده از اطلاعات جنبی

این منظور، با توجه به بازتاب طیفی پدیده‌ها در ترکیب رنگی کاذب تصویر سال ۲۰۱۳ و شباهت در بازتاب به تصویر این سال، نمونه‌های تعلیمی انتخاب شدند و طبقه‌بندی انجام گرفت. به‌منظور اطمینان از گزینش صحیح نقاط، با توجه به اینکه تصاویر انتخاب شده مربوط به سال‌های گذشته‌اند، از افراد بومی منطقه جهت اطمینان از پایداری بیش از شانزده سال نمونه‌های تعلیمی استفاده شد. به این صورت که اگر پایداری نمونه‌های تعلیمی دارای ثبات کاربری بیش از شانزده سال از سوی افراد بومی تأیید می‌شد، در طبقه بندی تصاویر به کار رفتند.

۲-۲-۷- ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای اطمینان از طبقه‌بندی، دقت طبقه‌بندی ارزیابی می‌شود. در این تحقیق، از دو شاخص ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شد. صحت کلی عبارت است از نسبت پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده که از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (Rasouli, 2008).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (11)$$

در این رابطه، OA دقت کل، N معرف تعداد کل پیکسل‌های آموزشی و $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست. به‌دلیل ایرادات وارد بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود، چون شاخص کاپا پیکسل‌هایی را که نادرست طبقه‌بندی شده‌اند، مورد توجه قرار می‌دهد و این از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود (Bonyad & Hajighaderi, 2007).

$$Kappa = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad (12)$$

جدول ۱. نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی الگوریتم‌های حداکثر احتمال و ماشین‌های بردار پشتیبان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

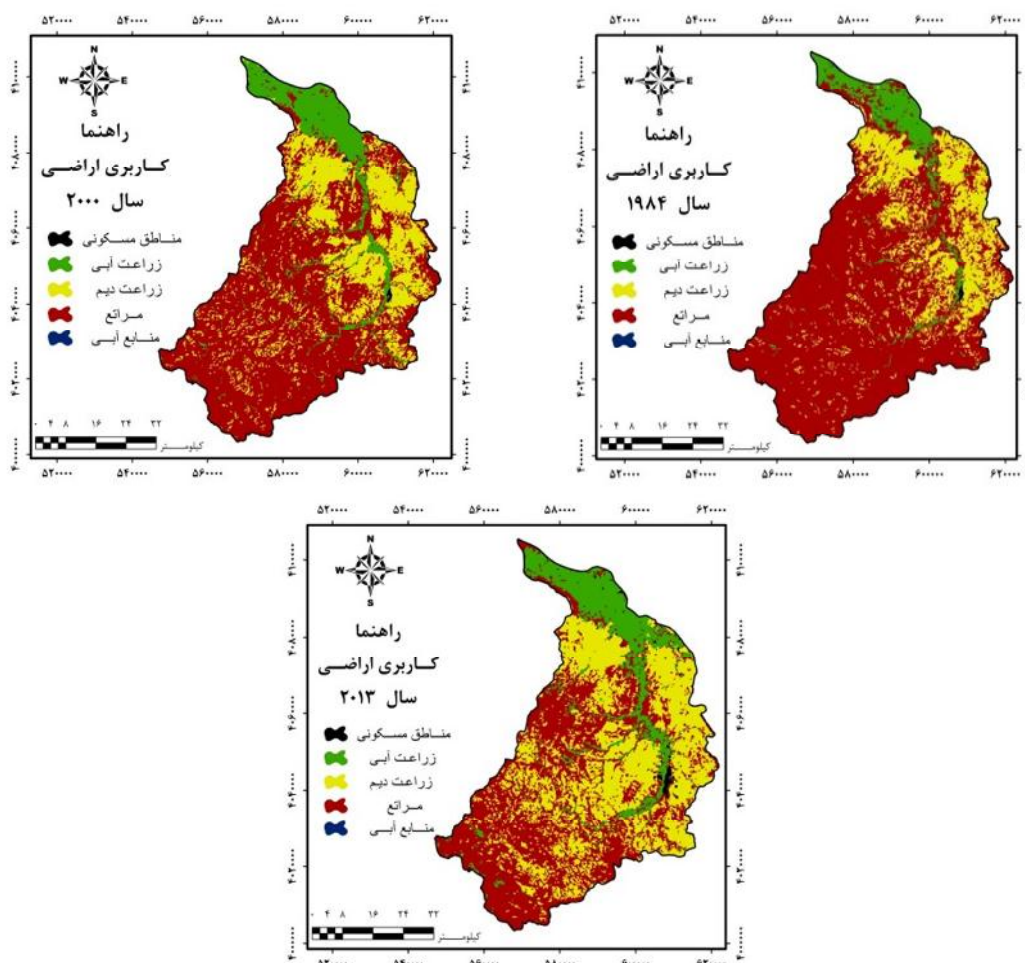
سال ۲۰۱۳

ماشین‌های بردار پشتیبان					
عنوان	حداکثر احتمال	کرنل خطی	کرنل چندجمله‌ای	کرنل تابع پایه شعاعی	کرنل حلقوی
ضریب کاپا	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۸۰
صحت کلی (%)	۹۰	۸۷	۹۳	۹۴	۸۸

مطلوب و با وضوح بیشتر، از فیلتر در اندازه 3×3 پیکسل استفاده شد. با توجه به اینکه فیلتر 3×3 کوچک‌ترین فیلتر موجود است و برای جلوگیری از حذف پلی‌گون‌ها و عوارض کوچک در سطح نقشه، از این نوع فیلتر استفاده شد. پس از طبقه‌بندی، تصاویر وارد محیط نرم‌افزار GIS شدند تا مساحت کاربری‌های اراضی در حوضه مورد نظر به دست آید. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد.

در نهایت، مساحت کاربری‌های گوناگون حوضه آبخیز سیمین‌رود استخراج شد (جدول ۲). با استناد به مساحت کاربری‌های اراضی متفاوت در دوره‌های مورد مطالعه، نمودار تغییرات کاربری اراضی ترسیم شد (شکل ۴).

و استفاده از ترکیب رنگی کاذب ۲ و ۳ و ۴ انجام شد. انتخاب این ترکیب رنگی فقط برای شناسایی کلاس‌های مورد نظر و انتخاب بهترین نمونه‌های تعلیمی بوده است. بنابراین در منطقه مورد مطالعه، به فراخور سهم هر طبقه، تعداد مناسبی نمونه تعلیمی به‌طور تصادفی و با استفاده از بررسی‌های میدانی، تصاویر گوگل ارث و نقشه سازمان زمین‌شناسی انتخاب شد. سپس کلاس‌های کاربری اراضی در پنج گروه، با عنوان کلاس مناطق مسکونی، زراعت آبی، زراعت دیم، مراتع و منابع آبی تعیین و عملیات طبقه‌بندی، با استفاده از الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان و حداکثر احتمال انجام شد. برای حذف پیکسل‌های منفرد و پراکنده در سطح تصویر طبقه‌بندی شده و نیز به‌دست آوردن تصویر

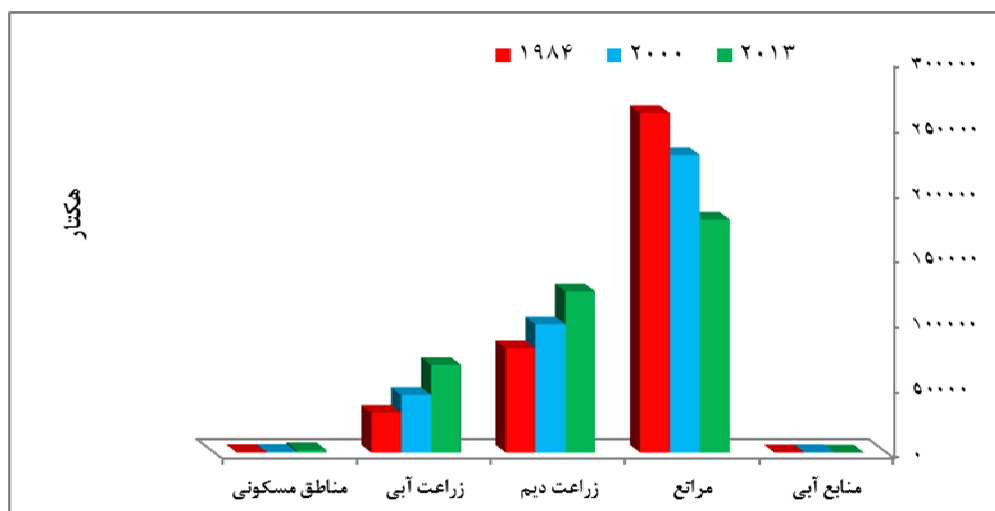


شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از کرنل تابع پایه شعاعی

مقایسه کارآیی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در ...

جدول ۲. مساحت کاربری‌های اراضی در سال‌های مورد بررسی با استفاده از کرنل تابع پایه شعاعی

دوره‌های مورد بررسی	مناطق مسکونی	زراعت آبی	زراعت دیم	مراتع	منابع آبی
سال ۱۹۸۴	۴۷۴	۳۰۵۳۵	۷۹۹۰۹	۲۵۹۸۱۱	۲۴۰
سال ۲۰۰۰	۶۱۵	۴۴۱۱۲	۹۸۲۲۲	۲۲۷۷۲۹	۲۹۱
سال ۲۰۱۳	۱۹۳۴	۶۷۲۱۰	۱۲۳۳۸۷	۱۷۸۳۹۷	۴۱



شکل ۴. نمودار تغییرات کاربری اراضی در سال‌های مورد بررسی

ماشین‌های بردار پشتیبان برای تصاویر ماهواره‌ای حوضه آبخیز سیمینه‌رود مقایسه شدند. اگرچه گزارش شده است که الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان نتایجی دقیق‌تر از روش‌های معمول دارد، انتخاب بهترین کرنل نیز مبحث مهمی است که کارآیی این الگوریتم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نتایج نشان داد کرنل تابع پایه شعاعی الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان با ضریب کاپای ۹۰ و صحت کلی ۹۴ بالاترین دقت را در بین روش‌های استفاده‌شده دارد. همچنین، کرنل چندجمله‌ای ماشین بردار پشتیبان نیز ضریب کاپا و صحت کلی بالاتری از الگوریتم حداکثر احتمال دارد که این نشان‌دهنده دقت بالای الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان است و با نتایج پتروپولوس و همکاران (۲۰۱۲)، هونگ و همکاران (۲۰۰۲)، گودرزی‌مهر و همکاران (۲۰۱۲) و آرخی و ادیب‌نژاد (۲۰۱۱) مطابقت دارد. اما در کل، با توجه به دقت‌های به‌دست‌آمده، می‌شود عنوان کرد که افزون‌بر الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان، الگوریتم حداکثر

همچنین، صحت طبقه‌بندی‌های انجام‌گرفته با استفاده از شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا سنجیده شد. نتایج نشان داد که همه طبقه‌بندی‌های انجام‌گرفته صحت کلی و ضریب کاپای مطلوب دارند (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج حاصل از ارزیابی دقت طبقه‌بندی‌های انجام‌گرفته با استفاده از کرنل تابع پایه شعاعی

عنوان	سال ۱۹۸۴	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۱۳
ضریب کاپا	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۹۰
صحت کلی (%)	۹۶	۹۴	۹۴

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بسیار انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، لازم است که دقت الگوریتم‌های گوناگون در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مقایسه، و الگوریتم‌های دقیق‌تر شناسایی شوند. به همین منظور در پژوهش حاضر، نخست دقت تصاویر حاصل از طبقه‌بندی دو الگوریتم حداکثر احتمال و

- Barkhordary, J., Zare Mehrjuei, M., Khosroshahi, M., 2005. **Assessment of Land Cover Change in Minab Esteghlal Dam's Watershed Using GIS and RS** (In Persian), Soil Conservation and Watershed Management, Vol. 1, No. 2, PP. 59-64.
- Billah, M., gazi, R., 2004, **Land Cover Mapping Khulna City Applying Remote Sensing Technique**, proc., 12 Conf. on Geoinformation Research, Bridging the Pacific and Atlantic, University of Gavel, Sweden, 7-9 June 2004.
- Bonyad, A.A. & Hajighaderi, T., 2007, **Producing Natural Forest Maps of the Zanjan by Using ETM+ Data of Landsat 7 Satellite** (In Persian), Science and Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science, Vol. 11, No. 42, PP. 627-638.
- Chen, J., Gong, P., He, C., Pu, R. & Shi, P., 2003, **Land-Use/Land-Cover Change Detection Using Improved Change-Vector Analysis**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, No. 4, PP. 369-380.
- Congcong, L., Jie, W., Lei, W., Luanyun, H. & Peng, G., 2014, **Comparison of Classification Algorithms and Training Sample Sizes in Urban Land Classification with Landsat Thematic Mapper Imagery**, Remote Sens., Vol. 6, No. 2, PP. 964-983.
- Dixon, B. & Candade, N., 2008, **Multispectral Land Use Classification Using Neural Networks and Support Vector Machines: One or the other, or Both?**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 29, Issue 4, PP. 1185-1206.
- Feyzizadeh, B., Azizi, H. & Valizadeh, K.K.H., 2007, **Extraction Land Uses Malekan City Using Satellite Images ETM⁺** (In Persian), Amayesh, Vol. 2, No. 3, PP. 1-10.
- Goudarzimehr, S., Abbaspour, R.A., Ahadnejhad, V. & Khakbaz, B., 2012, **Comparison of SVM with ANN and Maximum Likelihood Methods for Identification of Lithology** (In Persian), Iranian Journal of Geology, Vol. 6, No. 22, PP. 75-92.
- احتمال نیز دارای دقت قابل قبولی است که آن نیز با نتایج الاحمدی و هامس (۲۰۰۹) و راهداری و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد.
- با مشخص شدن دقت بالای کرنل تابع پایه شعاعی الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان در مقایسه با دیگر روش‌ها، طبقه‌بندی تصاویر باقی دوره‌ها نیز با استفاده از این کرنل صورت گرفت و تغییرات کاربری اراضی طی این دوره‌ها مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که طی دوره‌های بررسی شده، کاربری‌های زراعت آبی، زراعت دیم و مناطق مسکونی به شدت در حال افزایش‌اند، در حالی که مراتع و منابع آب روز به روز در حال کاهش‌اند. این روند بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ کندتر، ولی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ سریع‌تر بوده است.
- در مجموع، می‌شود بیان کرد با توجه به نقش مهم حوضه آبخیز سیمینه رود و رودخانه جاری در آن در تأمین حقابه زیست‌محیطی دریاچه ارومیه، لازم است دولت با اجرای سیاست‌های بازدارنده و طرح‌های مناسب، از روند شدید تخریب عرصه‌های طبیعی جلوگیری کند تا از این طریق، هم باعث حفاظت از منابع طبیعی شود و هم زمینه بهبود وضعیت آبی دریاچه ارومیه را فراهم آورد.

۵- منابع

Al-Ahmadi, F.S., Hames S.A., 2009, **Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas**, Kingdom of Saudi Arabia, JKAU, Earth Science, Vol. 20, No. 1, PP. 167-191.

Alavipanah, S.K., 2003, **Application of Remote Sensing in Geosciences**, Tehran University Press.

Arekhi, S., Adibnejad, M., 2011, **Efficiency Assessment of the of Support Vector Machines for Land Use Classification Using Landsat ETM+ Data (Case Study: Ilam Dam Catchment)** (In Persian), Iranian Journal of Range and Desert Research, Vol. 18, No. 3, PP. 420-440.

- Gualtieri, J.A. & Crompton, R.F., 1998, **Support Vector Machines for Hyperspectral Remote Sensing Classification**, In: Proceedings of the 27th AIPR Workshop: Advances in Computer Assisted Recognition, Washington, DC, 27 October, SPIE, Washington, DC, PP. 221-232.
- Huang, C., Davis, L.S. & Townshend, J.R.G., 2002, **An Assessment of Support Vector Machines for Land Cover Classification**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, Issue 4, PP. 725-749.
- Hussaina, 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, Vol. 80, PP. 91-106.
- Keshavarz, A. & Ghassemian, H., 2005, **Hierarchical classification of hyperspectral images by using SVMs and same class neighborhood property, in proc. of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGRSS 2005**, pp.3219-3222, Jul, 2005.
- Lausch, A. & Herzog, F., 2002, **Applicability of Landscape Metrics for the Monitoring of Landscape Change: Issues of Scale, Resolution and Interpretability**, Ecological Indicators, Vol. 2, PP. 3-15.
- Mohagheg, M.H., 2002, **Reducing on the Water Level of Urmia Lake, Future View and Recommendations, Urmia Lake and its Potentials to Development**, Urmia University Publishing.
- Mountrakis, G., Im, J. & Ogole, C., 2011, **Support Vector Machines in Remote Sensing: A Review**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 66, Issue 3, PP. 247-259.
- Omidipour, R., Moradi, H.R. & Arekhi, S., 2014, **Comparison of Pixel-Based and Object-Oriented Classification Methods in Land Use Mapping Using Satellite Data** (In Persian), RS & GIS Iran, Vol. 5, No. 3, PP. 99-110. (In Persian)
- 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, Vol. 41, PP. 99-107.
- Rahdari, V., Maleki Najafabadi, S. & Rahnama, M., 2008, **Comparison of Supervised and unsupervised Satellite Image Classification Methods in Producing Land Use and Land Cover Maps of Arid and Semi-Arid** (In Persian), National Conference of Geomatic 88, Tehran.
- Rasouli, A.A., 2008, **Principles of Applied Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing** (In Persian), Tabriz University Press.
- Reger, B., Otte, A. & Waldhardt, R., 2007, **Identifying Patterns of Land-Cover Change and their Physical Attributes in a Marginal European Landscape**, Landscape and Urban Planning, Vol. 81, No. 1-2, PP. 104- 113.
- Rezaei Zaman, M., Morid, S. & Delavar, M., 2014, **Impact of Climate Change on Water Resources on Simineh Rud Basin and its Inflows to Lake Urmia** (In Persian), Journal of Water and Soil, Vol. 27, No. 6, PP. 1247-1259.
- Serra, P., Pons, X. & Sauri, D., 2008, **Land-Cover and Land-Use Change in a Mediterranean Landscape: A Spatial Analysis of Driving Forces Integrating Biophysical and Human Factors**, Applied Geography, Vol. 28, No. 3, PP. 189- 209.
- Shalaby, A. & Tateishi, R., 2007, **Remote Sensing and GIS for Mapping and Monitoring Land Cover and Land-Use Changes in the Northwestern Coastal Zone of Egypt**, Applied Geography, Vol. 27, No. 1, PP. 28-41.
- Shetaee, Sh. & Abdi, O., 2007, **Land Cover Mapping in Mountainous Lands of Zagros Using ETM+ Data Case Study: Sorkhab Watershed** (In Persian), Lorestan Province, Agricultural Science and Natural Resource, Vol. 14, No. 1, PP. 129-138.
- Sonmez, N.K. & Sari, M., 2007, **Monitoring**

- Land Use Change in the West Mediterranean Region of Turkey: A Case Study on Antalya-Turkey Coast**, Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 16, No. 1A, PP. 1325-1330.
- Van, Oort, P.A.J., 2007, **Interpreting the Change Detection Error Matrix**, Remote Sensing of Environment, Vol. 108, No. 1, PP. 1-8.
- Yang, X. & Lo, C., 2002, **Using a Time Series of Satellite Imagery to Detect Land Use and Land Cover Changes in the Atlanta, Georgia Metropolitan Area**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, Issue 9, PP. 1775-1798.
- Yao, X., Tham, L.g. & Dai, F.C., 2008, **Landslide Susceptibility Mapping Based on Support Vector Machine: A Case Study on Natural Slopes of Hong Kong, China**, Geomorphology, Vol. 101, PP. 572-582.