

## نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری در فلات لسی شرق استان گلستان با استفاده از

### تکنیک سنجش از دور (منطقه مطالعاتی: آق بند)

زانیار امیری؛ دانشجوی دکتری، مدیریت منابع خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

فرهاد خرمالی\*؛ استاد، خاک‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

چوقی بایرام کمکی؛ استادیار، مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۰

### چکیده

بسیاری از نقشه‌های خاک ایران به به‌روزرسانی نیاز دارند. اما روش‌های رایج در نقشه‌برداری خاک پرهزینه و زمان‌بر است. به همین دلیل امروزه استفاده از داده‌های سنجش از دور مطرح است. مناطق مختلفی از استان گلستان با رسوبات لسی پوشیده شده‌اند. مطالعات اخیر در فلات لسی استان گلستان نشان می‌دهند این لس‌ها حاوی اطلاعاتی مفید برای تغییر اقلیم و تکامل زمین‌نما در دوره کواترنرنند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری به روش‌های طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در ۴۰۰۰ هکتار از اراضی لسی منطقه آق بند تهیه شد. پس از تهیه نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری، دقت آن‌ها با استفاده از ۶۰۷ نقطه در ماتریس خطا بررسی شد، که نتایج برای طبقه‌بندی تصویر سنتینل ۲ به روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال به ترتیب دقت ۸۹/۴۵ درصد و ۸۷/۸ درصد و همچنین با طبقه‌بندی تصویر لندست به روش‌های مذکور دقت ۸۵/۱۷ درصد و ۸۱/۸۷ درصد حاصل شد. با توجه به دقت‌های به‌دست‌آمده، این نتیجه حاصل می‌شود که روش ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به روش حداکثر احتمال از دقت بالاتری برخوردار است. کلیدواژگان: حداکثر احتمال، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فلات لسی، ماتریس خطا، ماشین‌بردار پشتیبان.

### مقدمه

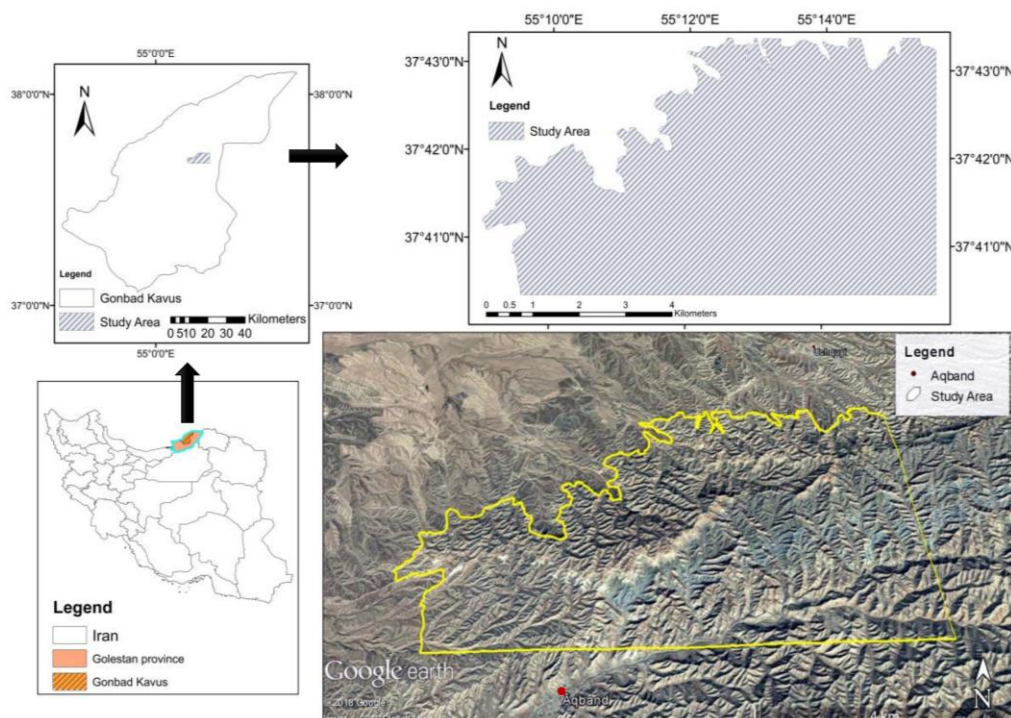
خاک در کنار آب‌وهوا یکی از سه منبع طبیعی و ضروری است که زیربنای حیات روی کره زمین را تشکیل می‌دهد. خاک از منابع طبیعی مهم هر کشور و منبعی محدود و به‌کندی تجدیدپذیر است (جنی ۱۹۸۰). افزایش سریع جمعیت و متعاقب آن افزایش نیاز جامعه انسانی به بهره‌برداری از این منبع آسیب‌پذیر می‌تواند آن را به سوی نابودی سوق دهد و حیات بشر را تهدید کند و مشکلات اقتصادی و اکولوژی به‌ویژه در مناطق کم‌آب به وجود آورد. با توجه به محدودیت این سرمایه ارزشمند در نقاط مختلف جهان، امروزه اهمیت بهره‌برداری مناسب و حفظ و نگهداری از آن بر همگان روشن است و بیش از هر زمان دیگری به مدیریت دقیق نیاز دارد (جدی و چایب ۲۰۱۰). امروزه، استفاده از داده‌های سنجش از دور راهکاری مناسب در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی به شمار می‌رود. این داده‌ها به دلیل ارائه اطلاعات به‌هنگام، تنوع اشکال، رقومی بودن، و امکان پردازش رقومی در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از اهمیت بالایی برخوردارند. از این‌رو از این داده‌ها در مناطق مختلف جهان برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده می‌شود. یکی از

روش‌های پرکاربرد برای استخراج اطلاعات از تصاویر سنجش‌ازدور طبقه‌بندی است که به کاربر امکان تولید انواع اطلاعات، مانند نقشه‌های مختلف، را می‌دهد (لیلسند و همکاران ۲۰۱۴). به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آن‌ها، که دارای رفتار طیفی یکسان باشد، طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گفته می‌شود. به عبارتی طبقه‌بندی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصاویر و اختصاص دادن یا معرفی کردن هر یک از پیکسل‌ها به کلاس یا پدیده‌ای خاص را طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای گویند (علوی‌پناه ۱۳۸۴). پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی آن‌ها، یعنی نمونه‌برداری از سطح محدودی از تصویر و تعمیم آن به کل تصویر، کمک شایانی به صرفه‌جویی در زمان و هزینه پروژه‌ها خواهد کرد (زاهدی‌فرد ۱۳۸۳). از آنجا که هدف اصلی پردازش تصاویر ماهواره‌ای تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد است انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی نقش زیادی در این زمینه ایفا می‌کند. انواع مختلف روش‌های طبقه‌بندی وجود دارند. روش‌های معمول طبقه‌بندی از تکنیک‌های آماری به روش پارامتریک استفاده می‌کنند؛ مانند روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین‌بردار پشتیبان. روش‌های طبقه‌بندی آماری به مدل داده‌ها (مثل توزیع نرمال) بستگی دارند. بنابراین کارآمدی این روش‌ها با میزان تطبیق داده‌ها با این مدل‌ها مرتبط است. اگر توزیع داده‌های ورودی تقریباً نرمال باشد، کارایی این روش‌های طبقه‌بندی آماری می‌تواند خوب باشد که فرض بر توزیع نرمال کلاس‌هاست (سوین و داویس ۱۹۷۸). در حقیقت فرایند طبقه‌بندی تصویر تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک است (موتراکیس و همکاران ۲۰۱۱). در گذشته تکنیک‌های طبقه‌بندی تصاویر بر مبنای تفسیر بصری کاربر بود که اغلب باعث به وجود آمدن خطاهای سیستماتیک می‌شد. این وضعیت ناشی از تجربه و توانایی مفسر در تفسیر تصاویر بود (لیلسند و همکاران ۲۰۰۴). طبقه‌بندی رقومی تصاویر کمک می‌کند فرایند طبقه‌بندی تصویر به واقعیت نزدیک‌تر باشد (اومن ۲۰۰۸). به طور کلی، در چند سال اخیر یک تکنیک جدید بر اساس تئوری یادگیری آماری، با نام ماشین‌بردار پشتیبان، جهت طبقه‌بندی داده‌های سنجش‌ازدور مورد استفاده قرار گرفته است (یاوو و همکاران ۲۰۱۴). ماشین‌بردار پشتیبان یک الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده بر اساس بیشترین حاشیه با ظرفیت تعمیم بالاست که در مسائلی با تعداد کمی نمونه آموزشی و در فضای با ابعاد بالا می‌تواند به کار گرفته شود (واپنیک ۱۹۹۸). این روش با نمونه‌های تعلیمی کوچک نیز می‌تواند دقت تصویر کلاس‌بندی‌شده خوبی ارائه دهد و این مزیت سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت کار می‌شود (گولتری و کرامپ ۱۹۹۸). کمپس وال و بروزون (۲۰۰۹) در تحقیقات خود نشان دادند که ماشین‌بردار پشتیبان، در طبقه‌بندی داده‌های فراطیفی، دقیق‌تر از سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها عمل می‌کند. همچنین، این تحقیقات نشان دادند روش‌های رایج طبقه‌بندی در تصاویر فراطیفی به علت برخی ویژگی‌های خاص این نوع داده نمی‌توانند کارایی لازم را داشته باشند. مثلاً تعداد زیاد مؤلفه‌های بردار و ویژگی باندهای طیفی در این داده‌ها، درحالی‌که داده‌های آموزشی کافی در دسترس نباشد، می‌تواند باعث افت دقت در طبقه‌بندی داده‌های فراطیفی شود (لی و همکاران ۲۰۱۱). از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال یکی دیگر از روش‌های دقیق و پراستفاده تا امروز بوده است. مزیت این روش آن است که تغییرات هر کلاس را با استفاده از ماتریس کوواریانس برای کلاس‌بندی پیکسل مورد نظر لحاظ می‌کند (مورای ۱۹۹۶). در روش یادشده فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال‌اند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند. بنابراین تا حد امکان باید از نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات

بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل مورد نظر به کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد. در واقع، در این روش احتمال اینکه یک پیکسل بتواند به هر یک از  $m$  کلاس موجود تعلق یابد بررسی می‌شود و سپس پیکسل به کلاسی که بیشترین احتمال را دارد اختصاص می‌یابد (جنسن ۲۰۰۵). نتایج تحقیقات جیا و همکارانش (۲۰۱۴) در شهر پکن نشان داد، علاوه بر کیفیت رادیومتری، کارایی داده‌های لندست ۸ در طبقه‌بندی پوشش کاربری مناسب است. طبقه‌بندی رخساره به روش حداکثر احتمال با استفاده از داده‌های لندست در مناطق بیابانی لوت ایران، توسط علوی‌پناه و همکارانش (۲۰۰۷)، نشان داد این روش دقت خوبی (بیش از ۹۵ درصد) در تفکیک عوارض طبیعی دارد. همچنین به اثبات رسید که کاهش تعداد باند کمک شایانی به طبقه‌بندی می‌کند. با وجود اینکه بیش از پنجاه سال از شروع مطالعات خاک در ایران می‌گذرد، نقشه خاک‌های کشور به طور کامل تهیه نشده است و فقط ۲۰ تا ۲۵ درصد از اراضی کشور نقشه‌برداری شده‌اند. از طرفی، هم‌سو با برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح اطلاعات منابع اراضی، نقشه‌های خاک یکی از انواع بنیادین داده‌هاست (تقی‌زاده مهرجردی ۱۳۹۲). بسیاری از نقشه‌های خاک ایران به به‌روزرسانی نیاز دارند. اما روش‌های رایج در نقشه‌برداری خاک پُرهزینه و زمان‌بر است (پهلوان‌راد و همکاران ۲۰۱۶). در ایران بخش‌هایی از شمال کشور، به‌ویژه استان گلستان و با وسعت کمتر در دامنه‌های شمال شرقی حوضه کپه‌داغ (به سمت آسیای میانه)، از رسوبات لسی پوشیده شده‌اند (اخروی و امینی ۲۰۰۱؛ عندی ۱۳۷۳). لس‌های استان گلستان، با ضخامت زیاد (بیش از ۷۰ متر) و با مساحت ۳۸۸۰۰۰ هکتار، بیش از ۱۷ درصد از سطح استان را پوشانده‌اند (فیض‌نیا و همکاران ۲۰۰۵). مطالعات اخیر در فلات لسی استان گلستان نشان می‌دهند این لس‌ها حاوی اطلاعاتی مفید برای تغییر اقلیم و تکامل زمین‌نما در دوره کواترنری (کهل ۲۰۱۰؛ فرشن و همکاران ۲۰۰۹). مشاهدات سن‌یابی و چینه‌شناسی این منطقه نشان می‌دهد این رسوبات لسی مربوط به دوران کواترنری‌اند. از طرفی بین این رسوبات و رسوبات لسی در جنوب شرقی اروپا و بخش مرکزی آسیا می‌توان ارتباط برقرار کرد (کهل و همکاران ۲۰۰۵؛ فرشن و همکاران ۲۰۰۹؛ کهل ۲۰۱۰). با توجه به اینکه اطلاعات کافی و مناسبی از پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری در فلات لسی شرق گلستان در دسترس نیست و به دلیل اهمیت این منطقه در مطالعات مربوط به فرسایش و کاربری اراضی و همچنین مطالعات مربوط به تغییر اقلیم، هدف از این پژوهش به دست آوردن نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری و همچنین ارزیابی کارایی استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور در شناسایی و تهیه نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری در منطقه مورد مطالعه بود.

## مواد و روش

فلات لسی استان گلستان در شمال رشته‌کوه البرز و منطقه غربی کوه‌های کپه‌داغ واقع شده است؛ با مساحت حدود ۲۵۰۰۰۰ هکتار و ارتفاع فلات لسی بین ۴۵ تا ۷۰۰ متر از سطح دریای آزاد در شمال گرگان‌رود و جنوب اترک (کهل ۲۰۱۰). بارندگی سالیانه از ۴۰۰ میلی‌متر در جنوب منطقه تا زیر ۲۰۰ میلی‌متر در شمال منطقه تغییر می‌کند و میانگین درجه حرارت سالیانه حدود ۱۷ درجه سانتی‌گراد است (کهل و خرمالی ۲۰۱۴).



شکل ۱. نقشه منطقه مطالعاتی

در این تحقیق جهت شناسایی لیتولوژی‌های مختلف منطقه از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده OLI، ۱۴ ژوئن ۲۰۱۳) و سنتینل ۲ (۲ نوامبر ۲۰۱۶) استفاده شد که در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.4 طبقه‌بندی و ارزیابی صورت گرفت.

روند طبقه‌بندی یک فرایند چندمرحله‌ای است. ابزار طبقه‌بندی تصاویر در محیط نرم‌افزار ArcGIS، با ارائه یک محیط جامع، امکان طبقه‌بندی تصاویر را فراهم آورده است. این ابزار قادر به طبقه‌بندی نظارت‌نشده و نظارت‌شده و همچنین دارای قابلیت‌هایی برای تجزیه و تحلیل داده‌های ورودی، ایجاد نمونه‌تعلیمی (تعیین و شناسایی موقعیت و مکان واقعی هر کلاس شناخته‌شده و نماینده هر کلاس)، و فایل علائم است. مراحل مختلف طبقه‌بندی استفاده‌شده در این تحقیق در ادامه می‌آید:

۱. بررسی داده‌ها و پیش‌پردازش: در این مرحله برخی پردازش‌ها، مانند ایجاد تصاویر رنگی واقعی و کاذب، همچنین بررسی‌های لازم در زمینه شناخت پدیده‌ها و کیفیت داده‌ها با استفاده از تصاویر جهت درک کلی و اجمالی انجام گرفت.
۲. جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی: برای طبقه‌بندی نظارت‌شده، نمونه‌های تعلیمی برای شناسایی کلاس‌ها و ایجاد علائم آن‌ها استفاده شد. تعداد نمونه‌های تعلیمی از لحاظ فراوانی برای هر کلاس توزیع آماری یکسان داشتند. به همین دلیل سعی شد نمونه‌های تعلیمی بیش از حد کوچک یا بزرگ انتخاب نشوند. نمونه‌های تعلیمی مورد استفاده در این تحقیق با توجه به وجود اختلاف تن رنگی که در تصویر رنگی واقعی وجود داشت و همچنین با توجه به بازدیدهای مختلف از منطقه مورد مطالعه و مشاهده مواد مادری مختلف نمونه‌ها انتخاب شد.

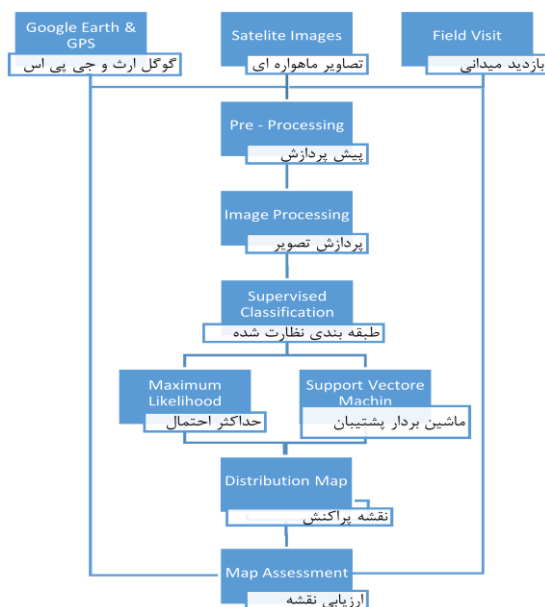
۳. ویرایش کلاس تعلیمی: در این مرحله کلاس‌هایی که از نظر طیفی تشابه داشتند در یک کلاس تعلیمی ادغام شدند.

۴. ایجاد فایل علائم: پس از ویرایش کلاس‌ها و اطمینان از صحت نمونه‌برداری، فایل علائم به منزله نماینده کلاس مورد نظر، که باید از یک‌دیگر قابل تشخیص باشند، برای ذخیره‌سازی اطلاعات تهیه شد.

۵. طبقه‌بندی کننده: برای طبقه‌بندی تصویر، ابزار طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال و طبقه‌بندی کننده ماشین‌بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفت.

۶. پس پردازش طبقه‌بندی: تصویر طبقه‌بندی شده با ابزار طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین‌بردار پشتیبان ممکن است برخی پیکسل‌ها را به درستی طبقه‌بندی نکند یا مناطق کوچک نامعتبر ایجاد کند. به منظور بهبود طبقه‌بندی، لازم است این سلول‌های نادرست دوباره طبقه‌بندی شوند تا به یک کلاس یا خوشه‌ای که بلافاصله در اطراف این سلول‌ها واقع شده است ملحق شوند. بنابراین، از فیلتر اکثریت استفاده شد تا پیکسل‌های خطا به یکی از کلاس‌های شناسایی شده ملحق شوند.

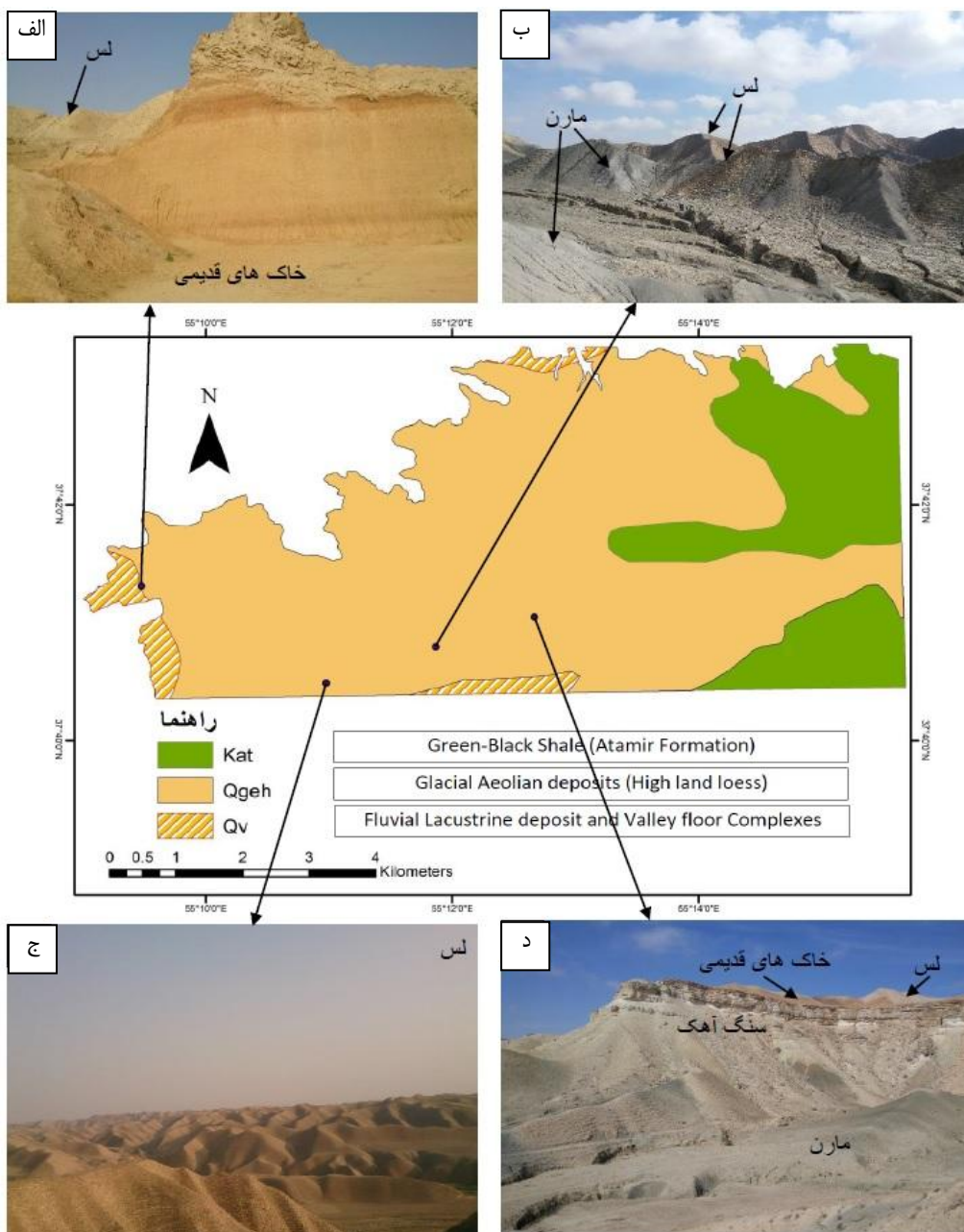
۷. ارزیابی دقت طبقه‌بندی: برای بررسی عملکرد طبقه‌بندی، دقت نقشه‌های پوشش زمینی حاصل از سنجش‌ازدور ارزیابی شد تا اعتبار آن‌ها مشخص شود. در این فرایند با داشتن نقشه طبقه‌بندی شده به روش‌های حداکثر احتمال و ماشین‌بردار پشتیبان و نقشه حقایق زمینی در ArcGIS با ابزار ماتریس درهم‌ریختگی<sup>۱</sup> جدول خطا ایجاد شد. در این تحقیق، نقشه حقایق زمینی با بررسی میدانی و نقشه تهیه شده از گوگل مپ<sup>۲</sup> به دست آمد. در این مرحله برای تهیه نقشه داده‌های حقیقی در مجموع ۶۰۷ نقطه بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی برای منطقه آق‌بند به وسیله جی‌پی‌اس و استفاده از تصاویر گوگل مپ تهیه شد.



شکل ۲. فلوجارت کلی مراحل مختلف تحقیق

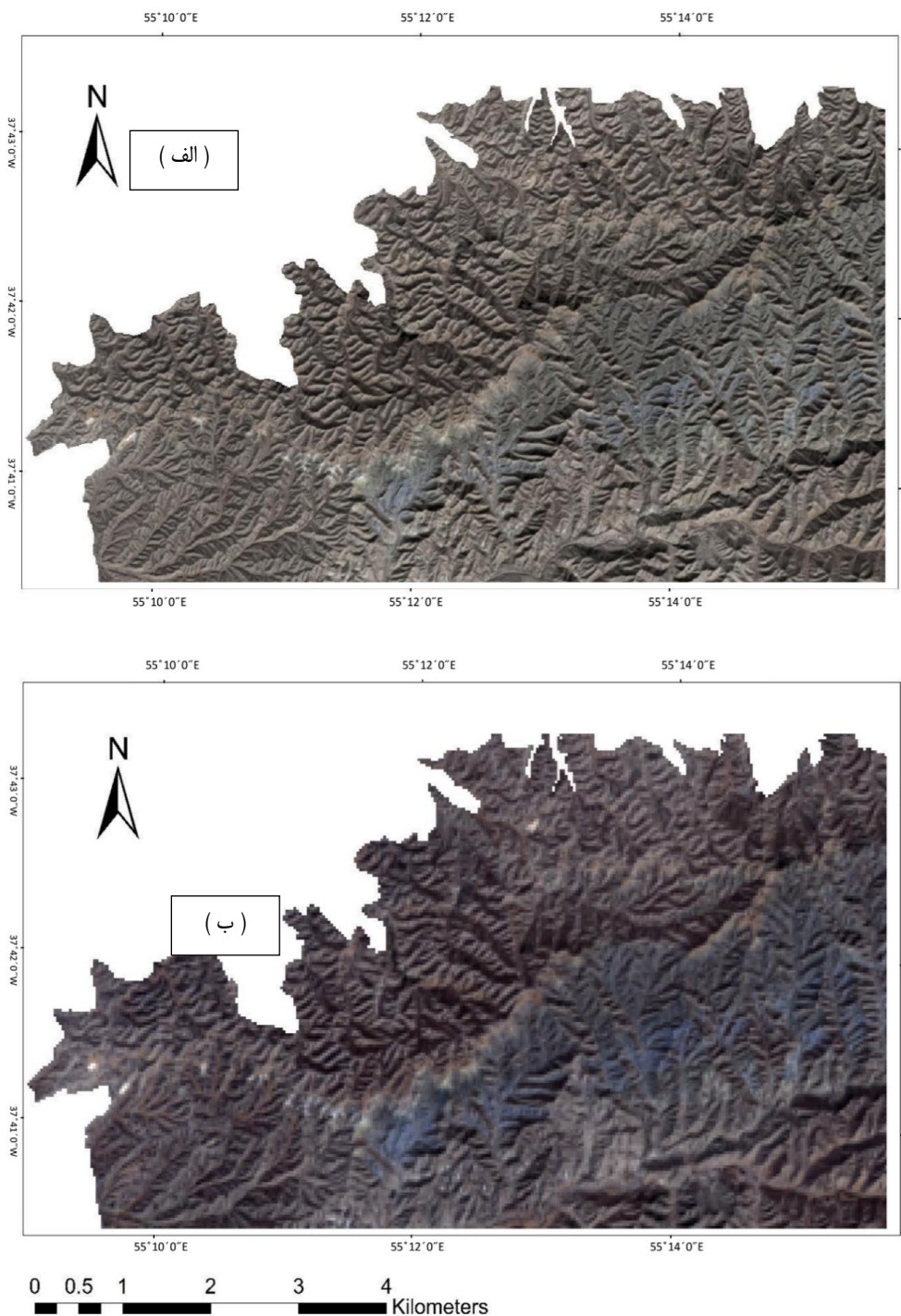
1. Compute Confusion Matrix  
2. Google Map

در شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه با مقیاس 250000 دیده می‌شود. در این نقشه فقط سه لیتولوژی لس و شیل و رسوبات رودخانه‌ای و دریاچه‌ای مشخص شده است و با توجه به مشاهدات منطقه‌ای و نقشه تولیدشده دقت کافی را ندارد. به همین دلیل یکی از اهداف این تحقیق تهیه نقشه پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری در فلات لس استان گلستان بود.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه؛ تصاویر مختلف از لیتولوژی‌ها

یافته‌های پژوهش

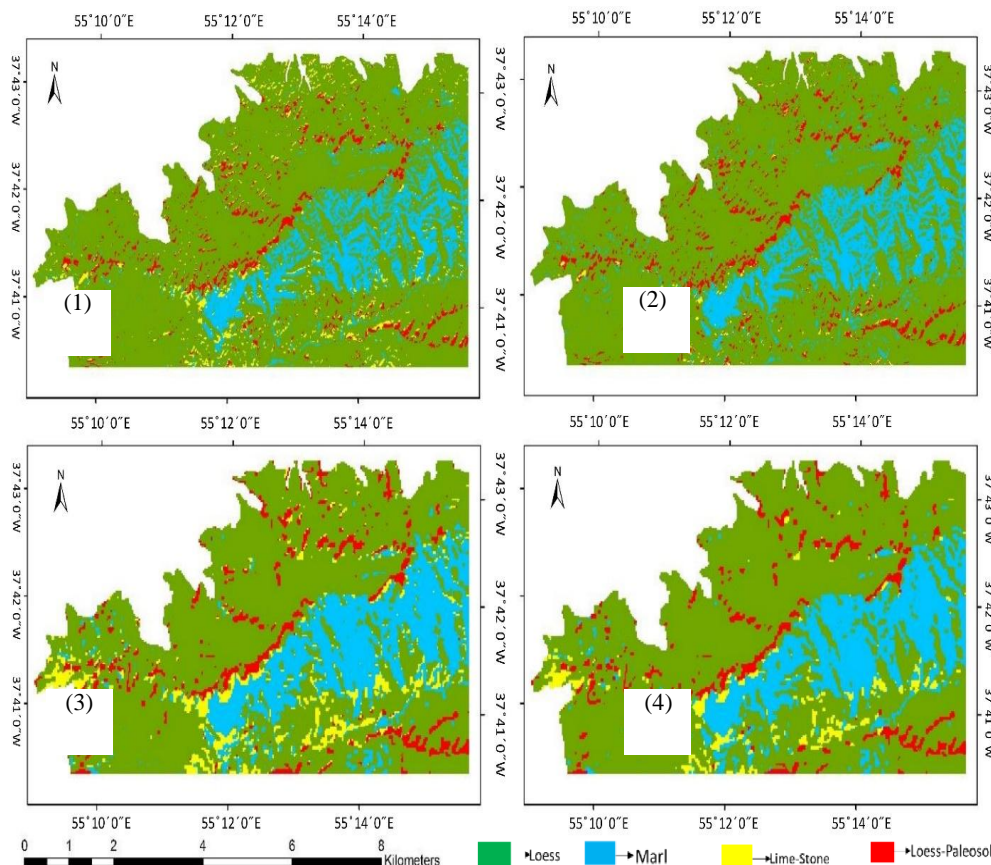


شکل ۴. تصاویر رنگی تهیه‌شده با استفاده از ترکیب باندهای ۲ و ۳ و ۴؛ (الف) ماهواره‌های لندست ۸ و (ب) سنیتل ۲

منطقه مطالعاتی این تحقیق یکی از مناطق مهم و قابل دسترس فلات لسی استان گلستان - به لحاظ دارا بودن معادن سنگ آهک، کشاورزی و کشت گندم، و منطقه مطالعاتی در بررسی خاک‌های قدیمی و اقلیم گذشته - است.

شرایط توپوگرافی منطقه و وجود تپه‌ماهورهای با شیب زیاد باعث شد طبقه‌بندی اراضی این منطقه و تهیه نقشه پراکنش آن دشوار باشد. ازین‌رو، پس از ترکیب باندهای قرمز و سبز و آبی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده، ابتدا تصویر رنگی واقعی جهت اعمال الگوریتم‌های طبقه‌بندی از منطقه مطالعاتی تهیه شد (شکل ۴).

### نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر



تصاویر رنگی تولیدشده با استفاده از الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال طبقه‌بندی شدند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی هر تصویر برای دو الگوریتم استفاده‌شده در شکل ۴ آمده است. رنگ سبز نشان‌دهنده اراضی لسی، رنگ زرد نشان‌دهنده سنگ آهک، رنگ قرمز نشان‌دهنده خاک لسی قرمز، و رنگ آبی نشان‌دهنده اراضی مارنی در منطقه است. شکل ۵. نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره سنتینل ۲ به روش حداکثر احتمال (۱)، ماشین‌بردار پشتیبان (۲)، ماهواره لندست ۸ به روش حداکثر احتمال (۳)، ماشین‌بردار پشتیبان (۴)

### نتایج ارزیابی تصاویر طبقه‌بندی شده

پس از تهیه نقشه طبقه‌بندی شده با استفاده از اعمال الگوریتم‌ها روی تصویر رنگی واقعی تهیه‌شده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲، نتایج ارزیابی تصاویر تهیه‌شده با استفاده از ماتریس خطا ارزیابی شد؛ که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.



جدول ۱. ارزیابی دقت کاربر و دقت تولیدکننده در لیتولوژی های مختلف حاصل از طبقه بندی کننده های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال روی تصاویر ماهواره سندینل ۲ با استفاده ماتریس خطا

ماشین بردار پشتیبان						حداکثر احتمال								
حقایق زمینی						حقایق زمینی								
دقت تولید کننده %	مجموع	لس	سنگ آهک	مارن	خاک لسی قرمز	دقت تولید کننده %	مجموع	لس	سنگ آهک	مارن	خاک لسی قرمز	کلاس		
۹۰٫۲۷	۱۴۴	۶	۶	۲	۱۳۰	۸۷٫۴۱	۱۴۳	۱۱	۴	۳	۱۲۵	خاک لسی قرمز	طبقه بندی شده لندست ۸	
۹۰٫۲۵	۱۵۴	۶	۵	۱۳۹	۴	۸۸٫۲۷	۱۴۵	۸	۵	۱۲۸	۴	مارن		
۷۸٫۷۲	۹۴	۶	۷۴	۵	۹	۶۷٫۲۲	۱۱۹	۹	۸۰	۱۸	۱۲	سنگ آهک		
۸۰٫۹۳	۲۱۵	۱۷۴	۱۰	۷	۲۴	۸۲	۲۰۰	۱۶۴	۶	۴	۲۶	لس		
	۶۰۷	۱۹۲	۹۵	۱۵۳	۱۶۷		۶۰۷	۱۹۲	۹۵	۱۵۳	۱۶۷	مجموع		
		۹۰٫۶۲	۷۷٫۸۹	۹۰٫۸۴	۷۷٫۸۴			۸۵٫۴۲	۸۴٫۲	۸۳٫۶۶	۷۴٫۸۵	دقت تولید کننده %		
۸۹٫۷۷	۱۷۶	۶	۹	۳	۱۵۸	۹۱٫۴۶	۱۶۴	۷	۳	۴	۱۵۰	خاک لسی قرمز	طبقه بندی شده سندینل ۲	
۹۳٫۸۳	۱۴۶	۶	۱	۱۳۷	۲	۹۰٫۷۸	۱۴۱	۸	۳	۱۲۸	۲	مارن		
۸۸٫۷۵	۸۰	۳	۷۱	۳	۳	۷۷٫۸۷	۱۱۳	۱۰	۸۸	۴	۱۱	سنگ آهک		
۸۶٫۳۴	۲۰۵	۱۷۷	۱۴	۱۰	۴	۸۸٫۳۵	۱۸۹	۱۶۷	۱	۱۷	۴	لس		
	۶۰۷	۱۹۲	۹۵	۱۵۳	۱۶۷		۶۰۷	۱۹۲	۹۵	۱۵۳	۱۶۷	مجموع		
		۹۲٫۱۸	۷۴٫۷۳	۸۹٫۵۴	۹۴٫۶۱			۸۶٫۹۷	۹۲٫۶	۸۳٫۶	۸۹٫۸۲	دقت تولید کننده %		

### بحث و نتیجه

به طور کلی در فلات لسی چهار لیتولوژی مختلف با توجه به بازدیدهای صحرایی شناسایی شد که هر یک دارای رنگ مخصوص اند. لس ها رنگ زرد و خاکستری، مارن ها رنگ های متغیری از آبی تا سبز، سنگ آهک رنگ سفید، و خاک های قدیمی رنگ قرمز دارند. در این پژوهش نقشه پراکنش مواد مادری مختلف با استفاده از دو تصویر ماهواره ای بررسی شد. نتایج طبقه بندی رقومی جهت تهیه نقشه پراکنش مواد مادری مختلف با استفاده از طبقه بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال با شرکت دادن مجموعه باندهای مختلف نشان داد که در بهترین حالت دقت کلی طبقه بندی تصویر در روش ماشین بردار پشتیبان با استفاده از تصاویر ماهواره سندینل ۲ و لندست ۸ به ترتیب معادل ۸۹٫۴۵ و ۸۵٫۱۷ درصد و ضریب کاپا معادل ۰٫۸۵ و ۰٫۷۹ است. همچنین دقت کلی در روش حداکثر احتمال در تصاویر سندینل ۲ و لندست ۸ معادل ۸۷٫۸۰ و ۸۱٫۸۷ درصد و ضریب کاپا معادل ۰٫۸۳ و ۰٫۷۸ برآورد شد؛ که نتایج در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. نتایج کلی طبقه‌بندی رقومی با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲

تصویر (منطقه)	روش طبقه‌بندی	دقت %	کاپا
سنتینل ۲ (آق‌بند)	ماشین‌بردار پشتیبان	۸۹/۴۵	۰/۸۵
	حداکثر احتمال	۸۷/۸	۰/۸۳
لندست ۸ (آق‌بند)	ماشین‌بردار پشتیبان	۸۵/۱۷	۰/۷۹
	حداکثر احتمال	۸۱/۸۷	۰/۷۸

ازین‌رو برای ارزیابی بهترین تصویر و بهترین الگوریتم دقت کلی به‌دست‌آمده از تصاویر طبقه‌بندی‌شده با هم مقایسه شد و نتایج نشان داد اگرچه هر دو الگوریتم استفاده‌شده برای طبقه‌بندی رقومی دقت کلی و ضریب کاپای بالایی در طبقه‌بندی داشتند، نقشه تهیه‌شده از تصویر سنتینل ۲ با استفاده از روش ماشین‌بردار پشتیبان عملکرد بهتری دارد. نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات وانگ و همکارانش (۲۰۱۷) همخوانی دارد که در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که روش ماشین‌بردار پشتیبان عملکرد بهتری دارد. از دیگر مزایای استفاده از روش ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به روش حداکثر احتمال استفاده از داده‌های کمتر برای تعلیم مدل است که بدین وسیله طبقه‌بندی تصویر با سهولت و دقت بیشتری انجام می‌شود (مونتراکیس و همکاران ۲۰۱۱). پال و مادر (۲۰۰۵) با مقایسه سه روش شبکه عصبی، حداکثر احتمال، و ماشین‌بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری اراضی در ماهواره لندست ۷ به این نتیجه رسیدند که ماشین‌بردار پشتیبان با استفاده از تعداد داده‌های تعلیمی کمتر و با تنوع بیشتر کیفیت بالاتری در تفکیک کاربری اراضی ارائه می‌کند. برتری روش ماشین‌بردار پشتیبان نسبت به روش حداکثر احتمال در هر دو تصویر مورد استفاده مشاهده می‌شود. اما تصویر سنتینل ۲ با توجه به اندازه پیکسل‌های کوچک‌تر دقت بالاتری دارد. به‌رغم برتری روش به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که نه تنها روش ماشین‌بردار پشتیبان در تفکیک لیتولوژی‌های مختلف بهتر عمل کرده است، بلکه تغییر تصویر ماهواره‌ای در کارایی این روش تأثیری نداشته است. این نتیجه با نتایج کاران و سوخا (۲۰۱۶) تطابق دارد که اعلام کردند ردیابی تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ای از هند با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ با اعمال روش حداکثر احتمال و ماشین‌بردار پشتیبان نشان داد روش ماشین‌بردار پشتیبان در تفکیک اشکال اراضی توانایی بالاتری دارد و این برتری به‌رغم استفاده از نمونه‌های تعلیمی کمتر بوده است. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر می‌توان گفت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌از‌دور می‌تواند در گام نخست برای تهیه نقشه کل فلات لسی استان گلستان، با توجه به اینکه نقشه دقیقی از پراکنش واحدهای مختلف مواد مادری وجود ندارد، در کنار سایر روش‌های تهیه نقشه مفید و مقرون‌به‌صرفه باشد.

## منابع

- Alavipanah, S. K. (2005). *Application of Remote Sensing in the Earth Science*. 4<sup>th</sup> Ed. University of Tehran Press, Tehran.
- Alavipanah, S. K., Komaki, C. B., Goorabi, A., Matinfar, H. R. (2007). "Characterizing Land Cover Types and Surface Condition of Yardang Region in Lut Desert (Iran) Based upon Landsat Satellite

- Images". *World Applied Sciences Journal*. 2(3): pp. 212-228.
- Campbell, J. B. (1996). *Introduction to Remote Sensing*. 2th edition, New York: The Guilford Press.
- Camps-Valls, G. & Bruzzone, L. (Eds.). (2009). *Kernel methods for remote sensing data analysis*. John Wiley & Sons.
- Chi, M., Feng, R., & Bruzzone, L. (2008). "Classification of hyperspectral remote-sensing data with primal SVM for small-sized training dataset problem". *Advances in Space Research*. 41: pp. 1793-1799.
- Feiznia, S., Ghauomian, J., Khajeh, M. (2005). "The study of the effect of physical, chemical and climate factors on surface erosion sediment yield of loess soils (Case study in Golestan Province)". *Pajouhesh and Sazandegi*. 66: pp. 14-24.
- Foody, G. M., McCulloch, M. B., Yates, W. B. (1995). "The effect of training set size and composition on artificial neural network classification". *International Journal of Remote Sensing*. 16: pp. 1707-1723.
- Frechen, M., Kehl, M., Rolf, C., Sarvati, R., Skowronek, A. (2009). "Loess chronology of the Caspian Lowland in Northern Iran". *Quaternary International*. 128: pp. 220-233.
- Genderen, V. J. L. & Lock, B. F. (1978). "Remote sensing: statistical testing of thematic map accuracy". *Remote Sensing of Environment*. 7: pp. 3-14.
- Gong, P. & Howarth, P. J. (1990). "An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 56: pp. 597-603.
- Gualtieri, J. A. & Cromp, 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.
- Hashemian, M. (2004). *ILWIS ApplicationGuid ver 2, 2*. ITC, Enschede, Netherland.
- Jeddi, K. & Chaieb, M. (2010). "Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environment of south Tunisia". *Flora*. 205: pp. 184-189.
- Jenny, H. (1980). *The Soil Resource: Origin and Behavior*. Vol. 37. *Ecological Studies, Analysis and Synthesis*. Springer-Verlag, NY.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 3rd Edition, Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- Jia, K., Xiangqin, W., Xingfa, G., Yunjun, Y., Xianhong, X., Bin, L. (2014). "Land Cover Classification Using Landsat 8 Operational Land Imager Data in Beijing, China". *Geocarto International*, 29(8): pp. 941-951.
- Karan, S. K & Samadder, S. R (2016). "Accuracy of Land Use Change Detection Using Support Vector Machine and Maximum Likelihood Techniques for Open-Cast Coal Mining Areas." *Environmental Monitoring and Assessment* 188(8): p. 486.
- Kehl, M. (2010). "Quaternary loesses, loess-like sediments, soils and climate change in Iran". *Relief, Boden, Paläoklima, Band 24*. Gebr. Bornträger, Stuttgart, Germany.
- Kehl, M. & Khormali, F. (2014). *Excursion guide*. Int. Symp. Loess, Soils and Climate Change in Southern Eurasia, Gorgan Univ. of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Kehl, M., Sarvati, R., Ahmadi, H., Frechen, M., Skowronek, A. (2005). "Loess paleosol-sequences along a climatic gradient in Northern Iran". *Eiszeitalter u. Gegenwart*. 55: pp. 149-173.
- Li, S., Wu, H., Wan, D., Zhu, J. (2011). "An effective feature selection method for hyper spectral image Classification based on genetic algorithm and support vector machine". *Knowledge-Based Systems*. 24: pp. 40-48.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons. New York.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2014). *Remote sensing and image interpretation*: 6th edition. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C. (2011). "Support vector machines in remote sensing: A review". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 66(3): pp. 247-259.
- Murai, S. (1996). *Remote Sensing Note*, Japan Association of Remote Sensing.
- N. Zahedifard, S. J. Khajeddin, A. Jalalian. "TM Digital Data Application on Land-use Mapping of Bazoft River Basin". *JWSS-Isfahan University of Technology*. 2004; 8 (2): pp. 91-106
- Okhravi, R. & Amini, A. (2001). "Characteristics and provenance of the loess deposits of the gharatikan watershed in northeast Iran". *Global and planetary change*. 28: pp. 11-22.
- Oommen, T. (2008). "An objective analysis of Support Vector Machine based classification for remote

- sensing". *Mathematical Geosciences*. 40: pp. 409-424.
- Pahlavan-Rad, M. R., Khormali, F., Toomanian, N., Brungard, C. W., Kiani, F., Komaki, C. B., Bogaert, P. (2016). "Legacy soil maps as a covariate in digital soil mapping: A case study from Northern Iran". *Geoderma*. 279: pp. 141-148.
- Pal, M. & Mather. P. M. (2005). "Support Vector Machines for Classification in Remote Sensing". *International Journal of Remote Sensing*. 26(5): pp. 1007-1011.
- Paola, J. D. & Schowengerdt, R. A. (1995). "A review and analysis of back propagation neural networks for classification of remotely sensed multi-spectral imagery". *International Journal of Remote Sensing*. 1: pp. 3033-3058.
- Richards, J. A. (1995). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*, 2<sup>nd</sup>, Springer.
- Saidi, A. (1993). *Geology map 1:250000 Gonbade-Kavoos Geological survey of Iran*.
- Swain, P. H. & Davis, S. M. (1978). *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York: McGraw-Hill.
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Omid, M., Savaghebi, G., Toomanian, N., Rousta, M., Rahimian, M. (2013). "Comparison of Artificial Neural Network and Decision Tree Methods for Mapping Soil Units in Ardakan Region". *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 44(2), pp. 173-182
- Vapnik, V. (1998). *Statistical learning theory*. Wiley, New York.
- Wang, M., Wan, Y., Ye, Z., Lai, X. (2017). "Remote sensing image classification based on the optimal support vector machine and modified binary coded ant colony optimization algorithm". *Information Sciences*, 402: pp. 50-68.
- Qian, Y., Zhou, W., Yan, J., Li, W., Han, L. (2014). "Comparing machine learning classifiers for object-based land cover classification using very high resolution imagery". *Remote Sensing*, 7(1), pp. 153-168.