

تهیه نقشه «گنبد نمکی جهانی» و مناطق متأثر از گنبد نمکی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و

داده‌های ماهواره لندست ۸

فرهاد کاوسی* - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
کاظم رنگرن - استاد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
بابک سامانی - استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
عظیم صابری - مربی، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۸/۲۶

چکیده

از پدیده‌های مهم و قابل توجه در امر زمین‌شناسی میتوان به تشکیلات تبخیری از جمله گنبد‌های نمکی اشاره کرد. تشکیلات تبخیری از جمله سازندهای زمین‌شناسی هستند که از نظر جغرافیایی دارای گسترش چشمگیری می‌باشند. گنبد‌های نمکی و رسوبات مجاور آن نمونه‌ای از یک محیط زمین‌شناسی پیچیده است. مطالعه آنها به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد نمک از لحاظ تکتونیکی و سنگ‌شناسی، برهم‌کنش‌های قوی میان جریان‌های حرکتی و حرارتی، وجود منابع مهم از لحاظ جنبه اقتصادی و تأثیرگذاری این حوزه‌های تبخیری در کیفیت منابع مناطق پیرامون گنبد‌های نمکی از اهمیت شایانی در زمین‌شناسی، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع انسانی برخوردار است. فناوری سنجش از دور در سال‌های اخیر نقش پررنگی در کسب اطلاعات از این پدیده‌های منحصر به فرد بر عهده دارد. هدف از این پژوهش استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای طبقه‌بندی و تهیه نقشه از گنبدنمکی جهانی و مناطق متأثر از گنبد نمکی با استفاده از تصاویر سنجنده‌های OLI ماهواره لندست ۸، جهت تحلیل و بررسی از لحاظ پوشش سطحی و نوع کانی‌های تشکیل دهنده آن می‌باشد. نتایج در هشت کلاس مجزا طبقه‌بندی شده نشان داده شد که کلاس ماسه-نمک با ۱۰۰ درصد صحت، رس، ۹۶/۰۵ درصد، گچ-نمک ۹۹/۰۳ درصد، سنگ آهک ۱۰۰ درصد، گیاهان ۹۶/۷۳ درصد، ماسه سنگ ۹۴/۶۷ درصد، صخره‌های نمکی ۹۶/۰۹ درصد، خاک‌های گچی ۹۳/۵۸ درصد، شیل ۸۶/۷۳ طبقه‌بندی شدند. در این پژوهش روش شبکه عصبی به ترتیب با صحت کل ۹۵/۳۵+۱ درصد و ضریب کاپا ۹۴/۳۷ درصد عملکرد مناسبی در طبقه‌بندی و تهیه نقشه محدود مورد مطالعه داشته است.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، لندست ۸، گنبدنمکی، طبقه‌بندی، شبکه عصبی مصنوعی.

مقدمه

از پدیده‌های مهم و قابل توجه در امر زمین‌شناسی می‌توان به تشکیلات تبخیری از جمله گنبد‌های نمکی اشاره کرد. تشکیلات تبخیری از جمله سازندهای زمین‌شناسی هستند که از نظر جغرافیایی دارای گسترش چشمگیری می‌باشند (گودی^۱، ۲۰۰۴). سازندهای تبخیری تحت تأثیر نیروهای وارده با نرخ سرعت حرکت ۱۰ متر تا ۲ کیلومتر در میلیون سال، جا به جا شده (جکسون و تالبوت^۲، ۱۹۹۴) و اشکال مورفولوژیکی بزرگ مقیاسی را پدید می‌آورد (زمردیان، ۱۳۸۳: ۱۸۸). یکی از پدیده‌های شاخص مورفولوژیکی مرتبط با این تشکیلات تبخیری توسعه ساختاری گنبد‌های نمکی می‌باشد. گنبد‌های نمکی ساختارهای زمین‌شناسی گنبدی شکلی هستند که در اثر حرکت نمک و صعود آن طی مکانیزم دی‌پایریسم تشکیل می‌شوند (تویس و موریس^۳، ۲۰۰۷: ۳۵۲). فراوان‌ترین کانی تبخیری در گنبد‌های نمکی، هالیت یا نمک طعام می‌باشد (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷: ۳۰). در واقع گنبد‌های نمکی در اثر ناپایداری ثقلی لایه‌هایی با چگالی کمتر (نمک)، که توسط سنگ‌هایی با چگالی بیشتر پوشیده شده‌اند و در اثر نیروی شناوری به وجود می‌آیند. گنبد‌های نمکی و رسوبات مجاور آن نمونه‌ای از یک محیط زمین‌شناسی پیچیده است (ایوانس و نان، ۱۹۸۹: ۱۲۴۱۵) که مطالعه آنها به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد نمک از لحاظ تکتونیکی و سنگ‌شناسی، برهم‌کنش‌های قوی میان جریان‌های حرکتی و حرارتی، وجود منابع مهم از لحاظ جنبه اقتصادی و تأثیرگذاری این حوضه‌های تبخیری در کیفیت منابع مناطق پیرامون گنبد‌های نمکی از اهمیت شایانی در زمین‌شناسی، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع انسانی برخوردار است. در حال حاضر سنجش از راه دور می‌تواند فرصتی را برای نقشه برداری سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، سنگ‌های تغییر یافته و آلودگی محیط زیست فراهم کند (طیبی و همکاران^۴، ۲۰۱۳: ۲) و یک ابزار مفید برای به دست آوردن اطلاعات اساسی از پدیده‌های سطح زمین به ویژه در مقیاس منطقه‌ای محسوب می‌شود (سایینس^۵، ۱۹۹۷: ۷). روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پوشش سطح زمین وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند. انتخاب روش به هدف مطالعه و داده‌های در دسترس بستگی دارد. امروزه، از متداول‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده برای این منظور، می‌توان به روش‌های آماری نظیر طبقه‌بندی حداکثر احتمال و حداقل فاصله اشاره کرد. اما مشکلاتی از قبیل فرضیات مورد نیاز در این روش‌ها چون توزیع نرمال داده‌ها، منجر به ایجاد روش‌های جدیدتر و استفاده بیشتر از آنها شده است. روش‌های دیگر طبقه‌بندی، از جمله شبکه‌های عصبی، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند (فودی^۶، ۲۰۰۰: ۴۳۵). به دلیل ماهیت غیرپارامتریک شبکه‌های عصبی و قابلیت‌شان برای بهره‌گیری از مثال‌ها و توانایی تعمیم آنها، برای طبقه‌بندی نظارت شده مناسب قلمداد می‌شوند. علاوه بر این، در بسیاری از مطالعات مقایسه‌ای، شبکه‌های عصبی پوشش اراضی را دقیق‌تر از روش‌های متداول موجود طبقه‌بندی کرده‌اند (دیکسون و کانداد، ۲۰۰۸: ۲۰۰۸؛ یاو و همکاران^۷، ۲۰۰۸: ۵۷۵).

فناوری سنجش از دور در سال‌های اخیر نقش پررنگی را در کسب اطلاعات از این پدیده‌های منحصر به فرد بر عهده گرفته است. ریسک بالا برای واکاوی منابع زمینی جهت جست‌وجو و اکتشاف منابع در نواحی وسیع، وجود تکنیک‌های اکتشافی و بارزسازی این چنین مؤثر از لحاظ اقتصادی و کشف حداکثر از منابع سطح زمین در مقابل دست‌وپاگیری، کند

^۱. Goudi

^۲. Jackson and Talbot

^۳. Twiss and Moores

^۴. Tayebi et al.

^۵. Sabins

^۶. Foodi

^۷. Dixon and Candade ; Yao et al

و پیچیدگی روش های زمینی و قدیمی، استفاده از علم سنجش از دور ماهواره را برای مطالعه، کشف، شناسایی و بارز سازی پدیده ها و منابع در این حوضه های تبخیری توجیه می کند. از جمله تکنیک های علم سنجش از دور ماهواره ای، بارز سازی واحدهای متنوع و طبقه بندی آنها در کلاس های مجزا و تهیه نقشه می باشد، چرا که یکی از اهداف اساسی فناوری سنجش از دور شناسایی و تفکیک پدیده های سطح زمین است. بنابراین طبقه بندی تصاویر ماهواره ای یکی از مهمترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره ای محسوب می شود (آرخی، ۱۳۹۳: ۳۳). که به کاربران امکان تولید انواع اطلاعات مختلف از جمله تولید نقشه های پوششی، کاربری و کشف تغییرات و تأثیرات را می دهد. هر الگوریتم طبقه بندی یک روش پیاده سازی مخصوص به خود دارد و بسته به روشی که برای طبقه بندی تصویر در پیش می گیرد و همچنین امکاناتی که نرم افزار مورد استفاده در اختیار قرار می دهد، باهم متفاوت خواهند بود. معمولاً هر چه الگوریتم روش قویتر باشد، نیاز به مراحل بیشتر و همچنین صرف زمان و دقت بیشتر است. بعضی از طبقه بندی ها یک پیکسل را مخلوطی از چند کلاس در نظر می گیرند و بعضی دیگر یک پیکسل را فقط به یک کلاس نسبت می دهند که دسته اول به طبقه بندی کننده نرم^۱ و دسته دوم به طبقه بندی کننده سخت^۲ مشهوراند. به طور کلی طبقه بندی طی مراحل انجام می شود که در ابتدا همه کلاس هایی که در منطقه وجود دارند شناخته می شود، سپس داده های مورد نیاز که داده های آموزشی^۳ نام دارند توسط باز دیدهای صحرایی، نقشه ها، تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی تولید می شوند. از این داده های آموزشی برای طبقه بندی استفاده شده که گاهی نشانه نیز نامیده می شوند، سپس الگوریتم طبقه بندی اعمال می گردد و کل تصویر طبقه بندی می شود. در انتها نیز نقشه موضوعی^۴ به همراه جدولی که دارای اطلاعات طبقه بندی است ایجاد شده و مساحت هر کلاس طبقه بندی شده قابل اندازه گیری است، بعد از تولید نقشه، دقت آن با استفاده از داده های آزمون مورد ارزیابی قرار می گیرد (مختاری و نجفی، ۱۳۹۴: ۳۶).

در زمینه طبقه بندی پوشش زمینی با استفاده از داده های سنجش از دور تحقیقات متعددی وجود دارد. اولین طبقه بندی پوشش سطح زمین در مقیاس جهانی با روش حداکثر احتمال توسط دفریس و توانشید (۱۹۹۴) و تهیه نقشه پوشش سطح زمین با قدرت تفکیک یک کیلومتر با استفاده از تصویر سنجنده AVHRR، با استفاده از روش طبقه بندی نظارت نشده توسط لولند و همکاران^۵ (۲۰۰۰) انجام گرفته است. به علت محدودیت های این روش ها، در سالهای اخیر، رویکردهای طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی که خصوصیات غیرخطی و غیر پارامتریک دارند، در سطح منطقه ای و جهانی مورد استفاده قرار گرفتند (آرخی، ۱۳۹۳: ۳۱).

امیری و همکاران (۲۰۰۷)، از سه روش فازی، شبکه عصبی و کمترین فاصله برای طبقه بندی تصویر ماهواره ای Quickbird به سه طبقه پوشش گیاهی، منطقه شهری و آب استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که دقت طبقه بندی با روش شبکه عصبی در مقایسه با دو روش دیگر در منطقه مورد مطالعه بیشتر است. آرخی و ادیب نژاد (۲۰۱۱) در تحقیقی به ارزیابی کارایی الگوریتم های شبکه عصبی ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه بندی کاربری اراضی با استفاده از داده های ماهواره ای ETM+ (در سال ۲۰۰۲) در حوزه سد ایلام پرداختند. در این پژوهش طبقه بندی با استفاده از روش ماشین های بردار پشتیبان، بصورت خودکار و با استفاده از چهار نوع کرنل خطی، چند جمله ای، شعاعی و حلقوی اجرا شده است. صحت طبقه بندی کاربری اراضی برای روشهای ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال به ترتیب ۸۵ و ۹۵ درصد برآورد گردید.

^۱ . Soft classifier

^۲ . Hard classifier

^۳ . Training data

^۴ . Thematic

^۵ . Loveland et al

مس^۱ (۲۰۰۳) برای طبقه‌بندی پوشش و کاربری اراضی منطقه تالابی ترمینوس در جنوب شرقی مکزیک، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای (MLP) الگوریتم پس‌انتشار را مورد استفاده قرار داد. ورودی‌های شبکه عصبی باندهای طیفی ۲،۳،۴،۵،۷، سنجنده ETM+ ماهواره لندست بود و ۶ طبقه پوشش اراضی به عنوان خروجی تهیه شد. صحت طبقه‌بندی ۸۲ گزارش شد.

با این حال، تعداد محدودی پژوهش پیرامون کاربرد سنجش از دور در طبقه‌بندی و نقشه‌برداری مناطق متأثر از دیابیرها و گنبد‌های نمکی صورت گرفته است. اما بسیاری از تکنیک‌های سنجش از دور و مجموعه داده‌های آن در حال حاضر برای نقشه‌برداری از مواد معدنی مختلف و سنگ‌شناسی (روان و همکاران، ۱۹۹۷؛ کروزر و همکاران، ۲۰۰۳؛ روان و مارس، ۲۰۰۳؛ تنگستانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بدینی، ۲۰۰۹)^۲ و همچنین بررسی مناطق تحت تأثیر نمک (موگنات و همکاران، ۱۹۹۳؛ راؤو و همکاران، ۱۹۹۵؛ کیچ و روسل، ۱۹۹۰؛ بن-دور و همکاران، ۲۰۰۲؛ مترنیچت، ۲۰۰۱؛ مترنیچت و زینچ، ۲۰۰۳؛ خوان و همکاران، ۲۰۰۵؛ فریفته و همکاران، ۲۰۰۶؛ فریفته و همکاران، ۲۰۰۷)^۳ استفاده می‌شود. طیبی و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از باند‌های مادون قرمز کوتاه و نزدیک سنجنده استر و به کار بردن مدل شبکه عصبی چند لایه پرسترن، نقشه گنبد‌های نمکی کنار سیاه و جهانی را از لحاظ نواحی دارای نمک و مناطق تحت تأثیر نمک با دقت بالا به دست آورد.

هدف اصلی این پژوهش طبقه‌بندی و تهیه نقشه گنبدنمکی جهانی و مناطق متأثر از گنبد نمکی می‌باشد که با توجه به مطالب ذکر شده، بررسی تحقیقات صورت گرفته پیشین و مدل‌های به کار گرفته شده در آنها، از مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های ماهواره لندست ۸ جهت رسیدن به هدف پژوهش استفاده به عمل آمد.

منطقه مورد مطالعه

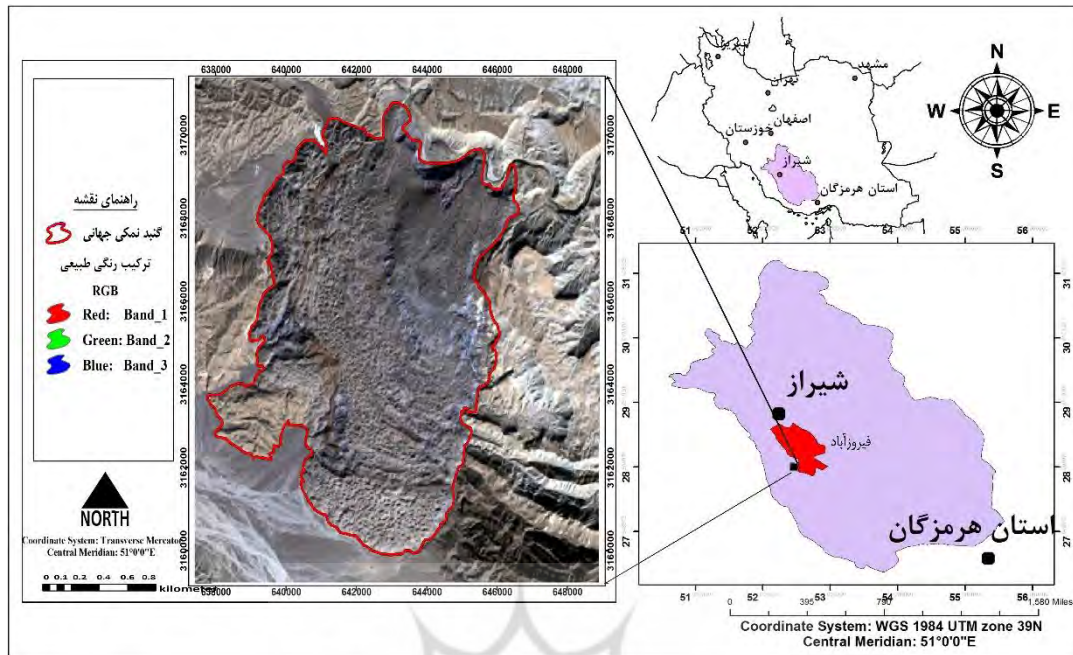
گنبد نمکی جهانی در یک صد کیلومتری جنوب غرب فیروزآباد استان فارس با مختصات جغرافیایی E ۳۱' ۵۲° تا E ۲۵' ۵۲°، ۳۴' N ۲۸° تا ۴۰' N ۲۸° قرار دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

^۱. Mas

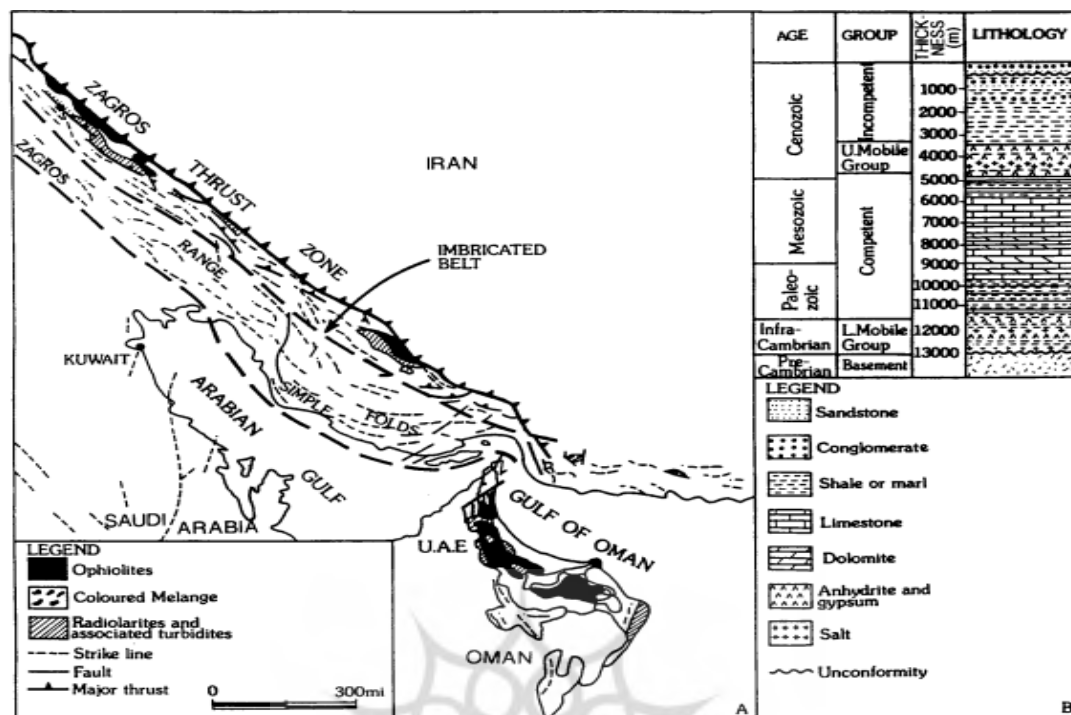
^۲. Rowan et al., 1977; Kruse et al., 2003; Rowan and Mars, 2003; Tangestani et al., 2008; Bedini, 2009

^۳. Hick and Russell, 1990; Mougnot et al., 1993; Rao et al., 1995; Metternicht, 2001; Ben-Dor et al., 2002; Farifteh et al., 2006; Farifteh et al., 2007; Khan et al., 2005; Metternicht and Zinck, 2003



شکل ۱: موقعیت گنبد نمکی جهانی

بیش از ۱۰۰ عدد گنبد نمکی در منطقه فارس به سن اینفراکامبرین که تا بندرعباس گسترش یافته‌اند رخمون دارند (وارن، ۲۰۱۰؛ پورکاسب و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۴). منطقه فارس در جنوب باختری ایران است که بین اشکال مورفولوژیک و ویژگی های زمین شناسی آن همخوانی در خور توجهی وجود دارند. از دیدگاه ژئومورفولوژی نواحی واقع در شمال و شمال باختر منطقه فارس متشکل از ارتفاعات به هم پیوسته و دره‌های عمیق است. در حالی که، در گستره‌های جنوب و جنوب باختری استان، در حد فاصل کوهها دشت‌های حاصلخیز شیراز، کازرون، تیریز، مرو دشت و... قرار دارد که توسط رودها، آبیاری می شوند. این رودها در نهایت به دریاچه‌های بختگان، پریشان، مهارلو، کافر می‌ریزند. براساس تقسیمات حوضه‌های ساختاری — رسوبی، منطقه فارس در برگیرنده زون سندج — سیرجان و زاگرس (زاگرس رانده شده، زاگرس مرتفع و زاگرس چین خورده) است و بیشتر بر ساختارها روند شمال باختری - جنوب خاوری دارند.



شکل ۲. قسمت A= افیولیت و روند ساختاری اصلی در جنوب و جنوب غربی ایران (اصلاح شده از (استوچلین^۱، ۱۹۷۴). قسمت B- بخش گرافیکی از کمربند زاگرس در ایران (اصلاح شده از، آ، براین^۲، ۱۹۵۷؛ کولمن- سد^۳، ۱۹۷۸؛ نایرن و الشهران^۴، ۱۹۹۷)

کمربند چین خورده زاگرس با روند شمال باختری- جنوب خاوری و با طول نزدیک به ۲۰۰۰ کیلومتر در بخش میانی رشته کوه‌های آلپ- هیمالیا قرار گرفته است (جاروس^۵، ۱۹۸۱: ۱۱۶؛ علوی، ۲۰۰۴: ۳) و نمونه ای کلاسیک از کوه‌های چین خورده و نمایشی از توسعه تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها است که سلسله جبال زاگرس را تشکیل داده‌اند (رنگزن، ۱۹۹۵: ۲۱۴). از دید ساختاری، این کمربند از چین‌ها و گسل‌های رورانده تشکیل شده است. به طور کلی بیشتر گسل‌های این منطقه پنهان هستند و توسط رسوبات بالایی پوشیده شده‌اند و در سطح زمین کمتر قابل ردیابی می‌باشند (لتورمی^۶ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۲۵) (شکل ۲). در کمربند چین خورده- راندگی زاگرس تعداد زیادی گنبد نمکی رخنمون یافته است که آنها را جزو سری هرمز می‌دانند. حوضه نمکی هرمز شامل دیپیرهای با سن اینفراکامبرین تا کامبرین است که به مرور زمان از ژرفا به سوی بالا حرکت کرده تا اینکه به سطح زمین رسیده و گنبد‌های نمکی را تشکیل داده‌اند (الا^۷، ۱۹۷۴: ۱۸۶۰). بالآمدگی این گنبد‌های نمکی در دوره‌های زمانی مختلف، در نتیجه تنش‌های حاصل از برخورد دو صفحه عربی و ایران صورت پذیرفته است (فرهودی و همکاران، ۲۰۰۸؛ والسم^۸، ۲۰۰۸؛ مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۷). در این گنبد‌ها

^۱. Stöcklin

^۲. O'Brien

^۳. Colman-Sadd

^۴. Nairn, A. and Alsharhan

^۵. Jaros

^۶. Leturmy

^۷. Ala

^۸. Waltham

سنگ‌های مختلفی بدون نظم چینه شناسی دیده می‌شوند که مربوط به سری هرمز هستند. مجموعه دره‌می از آهک، مارن، شیل، گچ و نمک عمده پوشش سطح گنبد نمکی را تشکیل می‌دهند (هریسون، ۱۹۳۱: ۳۰۴).

مواد و روش

در این پژوهش به منظور انجام طبقه‌بندی به روش سنجش از دور و تهیه نقشه از گنبد نمکی جهانی، از تصویر سنجنده های OLI (سنجنده تصویربرداری عملیات زمینی) ماهواره لند ست ۸ در تاریخ ۱۵ نوامبر ۲۰۱۴ استفاده گردید (جدول ۱). این سنجنده دارای ۱۱ باند است که باندهای ۱ تا ۷ و باند ۹ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، باند ۸، ۱۵ متر و باند های حرارتی ۱۰ و ۱۱ دارای قدرت تفکیک ۱۰۰ متر دارند.

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

مرحله پیش پردازش داده‌ها، یکی از مهم‌ترین مراحل در پردازش تصاویر است؛ چرا که تمامی محاسبات بعدی بر اساس تصویر تولیدی در این مرحله انجام می‌گیرد. نوع و شیوه انجام این عملیات بسته به عوامل مختلفی چون نوع داده‌های مورد استفاده و هدف تحقیق، متغیر خواهد بود. در فرایند پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای، قبل از شناخت و استخراج اطلاعات، حذف هر گونه خطایی از جمله آثار جوی ضرورت دارد. با توجه به ماهیت تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۸ مورد استفاده در این پژوهش، نوع خطاهای دستگاهی و خطاهای هندسی قبلاً توسط سازمان ارائه‌دهنده تصاویر اصلاح شده بودند در نتیجه اعمال تصحیح این خطاها لازم نشد. اما خطای اتمسفری بر اثر فعل و انفعالات فوتون‌ها توسط ملوکول‌ها و ذرات معلق گرد غبار در اتمسفر زمین ایجاد می‌شود. یکی از نمونه‌های تصحیح خطای اتمسفری روش آنالیز طیفی فوق مکعبی با استفاده از آنالیز سریع خط دید جوی^۱ می‌باشد که برای استخراج و بازیابی انعکاس طیفی از تصاویر رادیانس فراطیفی به کار می‌رود. این روش از مدل انتقال رادیانس MODTRAN4 برای حذف اثرات اتمسفری استفاده می‌کند. به علاوه این روش ابزاری است که طول موج‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه را تا حدود ۲٫۵ میکرومتر پشتیبانی می‌کند.

جدول ۱. نوع سنجنده، تعداد باند و تاریخ تصویر برداری ماهواره

سنجنده	تعداد باند	تاریخ تصویر برداری	Path/Row
OLI	۹	۱۵-۱۱-۲۰۱۴	۴۰/۱۶۳
TIRS	۲	۱۵-۱۱-۲۰۱۴	۴۰/۱۶۳

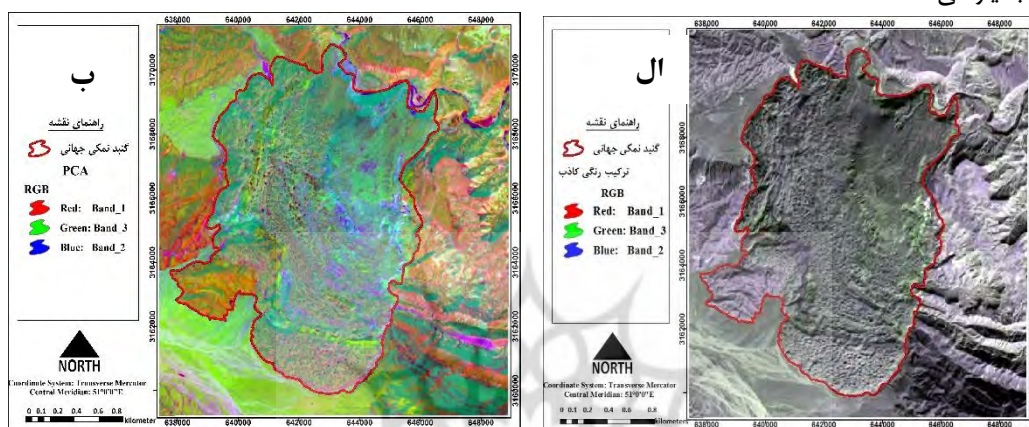
تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی با هدف فشرده سازی داده‌های انبوه در باندهای مختلف یک تصویر و به منظور حذف اطلاعات مشابه اجرا می‌گردد. تجزیه مؤلفه‌های اصلی در تفسیر داده‌های رقومی سنجش از دور از اهمیت زیادی برخوردار است. مهم‌ترین فواید مؤلفه‌های اصلی جمع‌آوری و متراکم ساختن اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف در تعدادی باند یا مؤلفه کم‌تر است به عبارتی مؤلفه‌های اصلی برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوان دارد. خروجی این روش معمولاً چند باند محدود و جدیدی است که همبستگی بین آنها به حداقل رسیده، مستقل از یکدیگر بوده بنابراین می‌توان آنها را به صورت غیر وابسته به داده‌های اصلی تفسیر کرد.

در تصاویر ماهواره‌ای معمولاً همبستگی (از خیلی کم تا خیلی شدید) بین باندهای چند طیفی به خصوص باندهای مجاور وجود دارد. روش PCA به تحلیل چند متغیره‌ای مربوط می‌گردد که می‌توان آن را برای انتقال یک سری تصاویر چند طیفی به ترتیبی به کار برد که مؤلفه‌های جدید با یکدیگر همبستگی نداشته باشند و به شکلی مرتب می‌گردند که

بتوانند اختلاف های تصاویر را توصیف نمایند. بدین ترتیب این مؤلفه ها، اختلافات ذاتی باندهای اصلی را به صورت آماری و فشرده نشان می‌دهند.

در واقع PCA روشی آماری است که برای کاهش داده های زائد و اضافه به کار میرود و اطلاعات چندین باند را به تعداد اجزای کمتری تبدیل می کند مؤلفه های اصلی می تواند برای متراکم کردن اطلاعات موجود در تعدادی از باند ها مثلا باندهای هفتگانه لندست به دو یا سه باند تبدیل شده بکار رود. با این کار شما نقشه های با اطلاعات کامل و خلاصه دارید(شکل ۳). و تحلیل بر روی این تصاویر جدید، دقیقتر از تحلیل با تصاویر خام شما است. همچنین از وقت هزینه کار بسیار می‌کاهد.



شکل ۳: PCA ترکیبهای خطی ناهمبسته (بارهای ویژه بردار) متغیرها را به گونه ای انتخاب می کند تا هر ترکیب خطی استخراج شده متوالی یا مؤلفه اصلی، دارای واریانس کوچکتری باشد. این فرایند را می توان بر روی هر تعداد باند اجرا کرد. الف: ترکیب رنگی کاذب باندهای ۱، ۲، ۳. ب: ترکیب رنگی کاذب PCA باندهای ۱، ۲، ۳.

معمولا تصویر اولی که توسط این روش به دست می آید ۸۰٪ اطلاعات را در خود جمع آوری نموده (دقیقترین تصویر) و تصاویر بعدی به ترتیب اطلاعات کمتری دارند. با توجه به واریانس اطلاعات در مؤلفه ها و منحصر بودن اطلاعات در هر مؤلفه می توان از این روش جهت بازیابی و کشف تغییرات استفاده نمود. نتایج بدست آمده نشان می دهد هر چه PC ها در مراتب پایین تری قرار می گیرند میزان اطلاعات آنها کمتر می شود و بدیهی است که PC1 در جهت بیشترین واریانس اطلاعات زیادی را در بر داشته و PC2 اطلاعات کمتری را داراست.

جدول ۲: مقادیر آماری PCS به دست آمده از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، سنجنده OLI ماهواره لندست ۸

درصد کل	واریانس	مقادیر ویژه	اجزای اصلی
۹۷/۸۷۱۷	۹۷/۸۷۱۷	۳۶۹۶۱۰۸۲/۲	۱PC
۹۰/۴۰۲۶	۱/۵۳۰۹	۵۷۸۱۴۰/۱۷	۲PC
۹۹/۷۸۱۸	۰/۳۷۹۲	۱۴۳۲۰۵/۱۶	۳PC
۹۹/۹۰۸۱	۰/۱۲۶۳	۴۷۶۹۰/۲۸	۴PC
۹۹/۹۸۳۰	۰/۰۷۴۹	۲۸۲۷۷/۳۹	۵PC
۱۰۰	۰/۰۱۷۰	۶۴۲۵/۶۳	۶PC

اگر چه PC های پایین تر مانند PC4، PC5، ... از نظر درصد اطلاعات اهمیت زیادی ندارند ولی ممکن است از نظر نوع و کیفیت اطلاعات حائز اهمیت باشند. بر اساس رابطه PCها با باندها، می توان به تفسیر پدیده های مهم زمین پرداخت.

طبقه بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی

در شبکه‌های عصبی چند لایه رو به جلو که از الگوریتم انتشار رو به عقب برای آموزش آنها استفاده شده، به اولین لایه، لایه ورودی و به آخرین لایه، لایه خروجی و لایه‌های مابین، لایه‌های مخفی گفته می‌شود. هر نرون در یک لایه به همه نرون‌های لایه بعدی متصل می‌باشد. به هر اتصال مابین دو نرون مقدار وزنی اختصاص می‌یابد و به هر نرون نیز یک ضریب حد آستانه تعلق می‌گیرد. وزنی که به هر اتصال تعلق می‌گیرد نشان دهنده درجه اهمیت آن اتصال در شبکه عصبی است (قاسمیان و آخوندزاده، ۱۳۹۵: ۴۵). خروجی نرون i ام با استفاده از رابطه‌های (۱) و (۲) تعیین می‌شود:

جدول ۳: مقادیر آماری PCS به دست آمده از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸

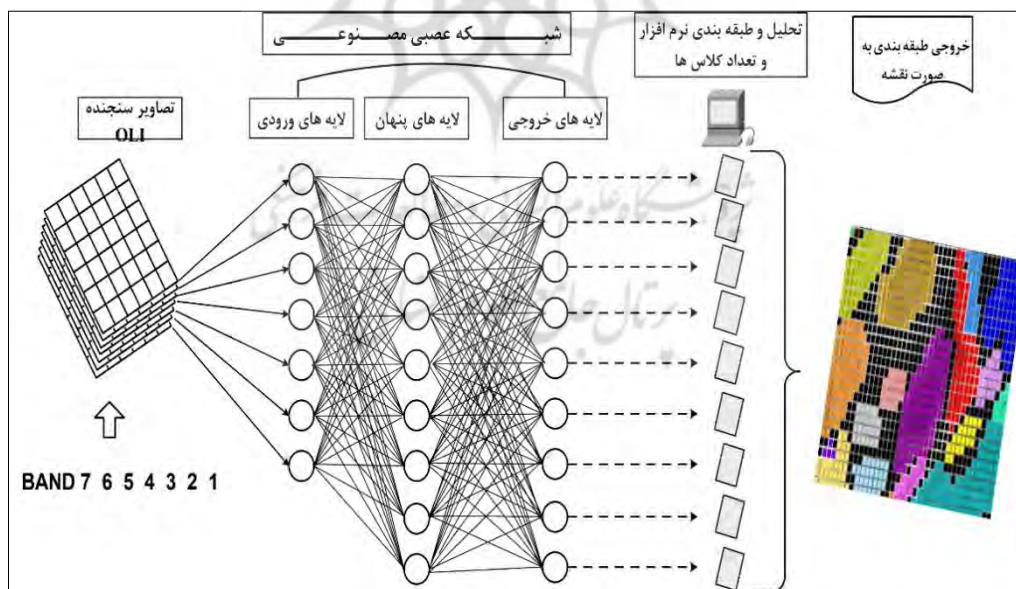
رابطه	شماره رابطه
$y_i = f(\varepsilon_i)$	رابطه (۱)
$\varepsilon_i = \vartheta_i + \sum_{j \in I_i^{-1}} W_{ij} y_j$	رابطه (۲)
$O_j = f(\text{net}_j)$	رابطه (۳)

در رابطه (۲):

W_{ij} = وزن بین گروه i و j

O_i = خروجی حاصل از گروه i (بر اساس رابطه ۳):

در شکل (۴) ساختار شبکه عصبی مصنوعی، نشان داده شده است.



شکل ۴: ساختار شبکه عصبی مصنوعی در طبقه بندی تصاویر ماهواره ای

به طور کلی سه مرحله در طبقه بندی شبکه عصبی وجود دارد. مرحله اول یک فرایند آموزشی با استفاده از داده‌های ورودی و نمونه‌های تعلیمی است. مرحله دوم، مرحله اعتبار سنجی است که موفقیت مرحله آموزشی و صحت شبکه را تعیین می‌کند (ویجایا، ۲۰۰۵: ۲۴). اعتبار سنجی و آزمون شبکه به وسیله بخشی از نمونه‌های غیر تعلیمی انجام می‌گیرد. مرحله آخر، مرحله طبقه بندی است که در آن نقشه طبقه بندی شده بر اساس روابط آموزشی، طی فاز آموزشی تهیه می‌شود (امو-ایربر و ادویمی، ۲۰۰۷: ۹۱).

بحث و یافته‌ها

انتخاب نمونه‌های تعلیمی مورد نیاز برای طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف در منطقه با شناخت از منطقه و با استفاده از اطلاعات جانبی و استفاده از تصویر رنگی مرکب باند یک، سه و دو تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، به ترتیب رنگ آبی، سبز و قرمز صورت گرفت. انتخاب این تصویر رنگی کاذب، صرفاً جهت شنا سایی کلاس‌های مورد نظر و انتخاب بهترین نمونه‌های تعلیمی بوده است. برای این منظور در منطقه مورد مطالعه به فراخور سهم هر طبقه تعداد مناسبی نمونه تعلیمی به طور تصادفی با استفاده از تصویر رنگی کاذب انتخاب گردیدند. در انتخاب نمونه‌های تعلیمی سعی شد ضمن اینکه معرف خوبی برای طبقات مورد نظر باشد، از پراکنش خوبی نیز برخوردار باشد. پس از آماده‌سازی تصویر، با استفاده از نمونه‌های تعلیمی جمع‌آوری شده از هر کاربری، تصویر با استفاده از روش روش شبکه عصبی اشاره شده در بالا طبقه‌بندی گردید. پس از طبقه‌بندی، تصویر مذکور به صورت نقشه تهیه گردید (شکل ۵).

نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی و ارزیابی دقت به عنوان الگوی مشخصات طبقه‌بندی با استفاده از تصویر رنگی انتخاب شدند. لازم به یادآوری است که جهت جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی (طبقه‌بندی) و آزمایشی (ارزیابی دقت) برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از روش نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد. سپس برای ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات پوششی در نمونه‌های تعلیمی از شاخص واگرایی تبدیل شده استفاده گردید.

ارزیابی صحت، ارزش و قابلیت استفاده از هر نقشه تولید شده به درجه صحت آن بستگی دارد و نقشه‌ها بدون تعیین صحت ارزش کاربردی کمی دارند. در تعیین صحت نقشه‌های یاد شده نیاز به اطلاعات و نقاط آزمایشی می‌باشد. معمول‌ترین پارامترهای برآورد صحت شامل، صحت کل^۱، صحت تولیدکننده^۲، صحت کاربر^۳ و ضریب کاپا^۴ هستند (آرخی، ۱۳۹۳: ۳۵).

در این مطالعه، برای ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی شده، با قطع دادن (مقایسه متناظر) نقشه طبقه‌بندی شده با نمونه‌های تصادفی انجام شده، ماتریس خطا تشکیل شد و بر اساس آن صحت کل و ضریب کاپا به شرح جدول (۳) محاسبه گردید.

مطابق با نتایج جدول (۴) نتایج زیر گرفته شد:

مشاهد شد که کلاس ماسه-نمک با صد درصد صحت، کلاس رس، ۹۶/۰۵ درصد، کلاس گچ-نمک ۹۹/۰۳ درصد، کلاس سنگ آهک ۱۰۰ درصد، کلاس گیاهان ۹۶/۷۳ درصد، کلاس ماسه سنگ ۹۴/۶۷ درصد، صخره‌های نمکی ۹۶/۰۹ درصد، خاک‌های گچی ۹۳/۵۸ درصد طبقه‌بندی شده‌اند. نکته قابل توجه اینکه پایین‌ترین دقت بین کلاس‌ها مربوط به شیل است که با ۸۶/۷۳ درصد می‌باشد. که از ۱۸۵ پیکسل این کلاس، ۱۷۰ پیکسل به درستی در طبقه شیل قرار گرفته است، ۱ پیکسل در طبقه گچ-نمک، ۱ پیکسل در طبقه رس، ۳ پیکسل در طبقه گیاهان، ۲ پیکسل در طبقه ماسه-سنگ، ۱ پیکسل در طبقه صخره‌های نمکی و ۷ پیکسل در خاک‌های گچی به صورت خطا در طبقات دیگر قرار گرفته است.

^۱. Overall accuracy

^۲. Producer's Accuracy

^۳. User's Accuracy

^۴. Kappa Coefficient

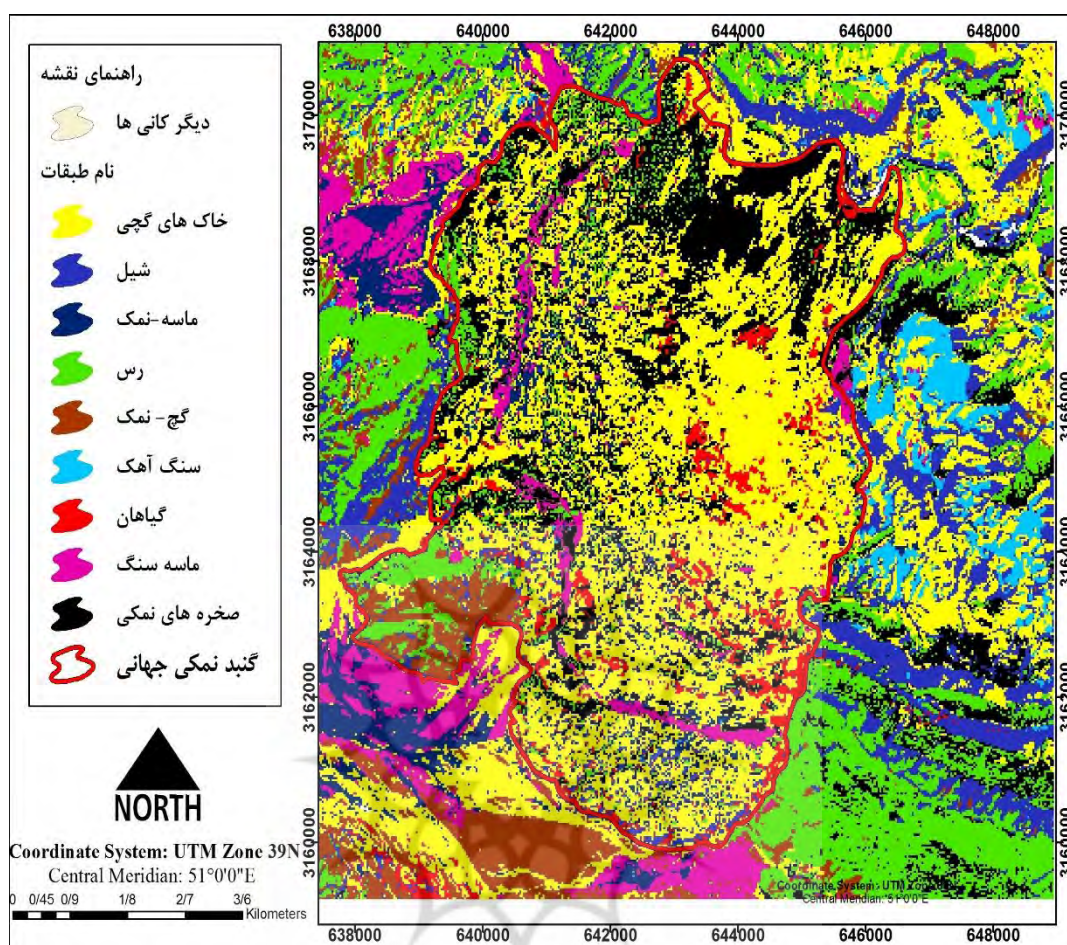
برای اصلاح طبقه بندی می توان از فیلتر میانگین استفاده کرد، اما هدف مطالعه پیشرو این بود که تنها از روش طبقه بندی استفاده شود و پس از طبقه بندی اصلاحی صورت نگیرد تا بتوان توانایی روش شبکه عصبی مصنوعی در طبقه بندی نشان داده شود.

جدول ۳: ماتریس خطای طبقه بندی مورد استفاده و مشخصات آماری صحت طبقه بندی

درصد کل	کل پکسل-ها	شیل	خاک های گچی	صخره های نمکی	ماسه-سنگ	گیاهان	سنگ آهک	گچ-نمک	رس	ماسه-نمک	طبقات
۴/۸	۷۱									۷۱	ماسه-نمک
۱۰/۳	۱۵۲	۱		۵					۱۲۶		رس
۳/۹۸	۱۰۳	۱						۱۰۲	۱		گچ-نمک
۵/۴۹	۷۸						۷۸				سنگ آهک
۱۰/۳۷	۱۵۳	۳	۲			۱۴۸					گیاهان
۱۱/۴۶	۱۶۹	۲			۱۶۰			۱			ماسه سنگ
۱۷/۳۶	۲۵۶	۱	۱	۲۴۶		۱			۷		صخره های
۲۰/۰۸	۲۹۶	۷	۳۷۹	۴		۴			۱	۱	خاک های گچی
۱۳/۲۹	۱۹۶	۱۷۰	۳			۲۳					شیل
۱۰۰	۱۴۲۴	۱۸۵	۲۸۵	۲۵۲	۱۶۲	۱۷۶	۷۸	۱۰۳	۱۵۵	۷۲	کل پیکسل ها
		۹۱/۸۹	۹۷/۱۴	۶۲/۹۷	۹۸/۸۷	۸۴/۰۹	۱۰۰	۹۹/۰۳	۹۴/۱۹	۶۱,۹۸	صحت کاربر
		صحت کل = (۱۴۱۰/۱۴۷۴) % ۹۵/۳۵۰۱					ضریب کاپا = ۹۴/۳۷				

درصد صحت	۱۰۰	۹۶/۰۵	۹۹/۰۳	۱۰۰	۹۶/۸۳	۹۴/۶۷	۹۶/۰۹	۷۳/۵۸	۸۶/۸۳			
-------------	-----	-------	-------	-----	-------	-------	-------	-------	-------	--	--	--





شکل ۵: نقشه طبقه‌بندی شده گنبد نمکی جهانی را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به نتایج جدول (۳) می‌توان گفت روش شبکه مصنوعی به ترتیب با صحت کل $95/3501$ درصد و ضریب کاپا $94/37$ درصد عملکرد مناسبی در طبقه‌بندی و تهیه نقشه محدوده مورد مطالعه داشته است. شکل (۵) نقشه طبقه‌بندی شده گنبد نمکی جهانی را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در ۹ کلاس مجزا نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

با پرتاب ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲، فناوری سنجش از دور افق جدیدی در برنامه ریزی، پژوهش، ارزیابی و مدیریت منابع طبیعی گشوده است. این پدیده روش جدیدی برای انجام دادن کارا و مؤثر نقشه‌برداری پهنه‌های مختلف زمینی از جمله گنبد های نمکی فراهم کرده است. اطلاعات مفصل می‌تواند از داده‌های ماهواره‌ای موقتی استخراج شود و به عنوان ورودی برای تصمیم‌گیری در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده شود. تشکیلات تبخیری از جمله سازندهای زمین شناسی هستند که از نظر جغرافیایی در کشور ما از جمله زاگرس چین‌خورده، دارای گسترش چشمگیری می‌باشند. یکی از پدیده‌های شاخص مورفولوژیکی مرتبط با این تشکیلات تبخیری توسعه ساختاری گنبد های نمکی می‌باشد. مطالعه گنبد های نمکی به خاطر ویژگی‌های منحصر به فرد نمک از لحاظ تکتونیکی و سنگ شناسی و برهم‌کنش های قوی میان جریان‌های حرکتی و حرارتی از اهمیت شایانی در زمین‌شناسی برخوردار می‌باشد. در این مطالعه از روش شبکه عصبی مصنوعی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای طبقه‌بندی و تهیه نقشه گنبد نمکی جهانی استفاده شد.

در طبقه‌بندی داده‌ها به کمک شبکه عصبی، از یک شبکه با ۹ لایه پنهان، ۷ نرون ورودی و ۹ نرون خروجی استفاده شد که تعداد نرون‌های ورودی همان تعداد باندها بودند. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که کلاس ماسه-نمک با صد درصد صحت، کلاس رس، ۹۶/۰۵ درصد، کلاس گچ-نمک ۹۹/۰۳ درصد، کلاس سنگ آهک ۱۰۰ درصد، کلاس گیاهان ۹۶/۷۳ درصد، کلاس ماسه سنگ ۹۴/۶۷ درصد، صخره‌های نمکی ۹۶/۰۹ درصد، خاک‌های گچی ۹۳/۵۸ درصد و کلاس شیل با ۸۶/۷۳ درصد طبقه‌بندی شدند. همچنین طبقه‌بندی انجام شده نشان داد که با صحت کل ۹۵/۳۵۰۱ درصد و ضریب کاپا ۹۴/۳۷ درصد عملکرد مناسبی در تهیه نقشه محدوده مورد مطالعه داشته است.

منابع

- آرخی، صالح، ۱۳۹۳، تهیه نقشه کاربری اراضی دشت عباس ایلام با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال، نشریه مرتع‌داری، دانشگاه کشاورزی و مرتع داری گرگان، سال اول، شماره ۲، صص ۳۰-۴۳.
- قاسمیان، نفیسه و آخوندزاده، مهدی، ۱۳۹۵، مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و درخت تصمیم‌گیری در شناسایی ابر در تصاویر ماهواره ای لندست ۸، نشریه علمی-ترویجی مهندسی نقشه-برداری و اطلاعات مکانی، سال هفتم، شماره ۴، صص ۴۹-۶۵.
- پورکاسب، هوشنگ، و دمیری، کاظم، و رنگزن، کاظم و سعیدی، سعیده، ۱۳۹۲، بارزسازی واحدهای سنگ-شناختی گنبد نمکی جهانی (فیروزآباد)، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره ۱، جلد ۵، صص ۸۳-۹.
- پورکرمانی، محسن و آرین، مهران، ۱۳۷۷، گنبد‌های نمکی ایران مرکزی، مجله علوم انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صص ۳۰-۴۱.
- زمردیان، محمد جواد، ۱۳۸۳، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات دانشگاه فردوسی، چاپ دوم، مشهد. صص ۲۶۸.
- علوی پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۷، سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، انتشارات تهران، چاپ دوم، صص ۵۵۲.
- مختاری، محمد حسین و نجفی، احمد، ۱۳۹۴، مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌های لندست TM، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۹، شماره ۷۲، صص ۳۵-۴۴.
- مهرابی، علی و داستانیپور، محمد و رادفر، شهباز و وزیر، محمدرضا و درخشانی، رضا، ۱۳۹۴، شناسایی خطواره‌های گسلی کمربند چین‌خورده-رانندگی زاگرس برپایه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تعیین ارتباط آنها با موقعیت گنبد‌های نمکی رخنمون‌یافته سری هرمز با استفاده از تحلیل‌های GIS، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۵، صص ۱۷ تا ۳۲.
- Ala, M., 1974. Salt diapirism in southern Iran. *AAPG Bulletin*, 58(9): 1758-1770.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American journal of Science*, 304(1): 1-20.
- Amiri, A., Chavooshi, H. and Amini, J., 2007. Comparison of Three Satellite Image Classification: Fuzzy, Neural Network and Minimum Distance, *Geomatic Conference, National Cartographic Center, Tehran.* (In Persian).
- Arekhi, S. and Adibnejad, M., 2011. Efficiency assessment of the of Support Vector Machines for land use classification using Landsat ETM+ data (Case study: Ilam Dam Catchment).

- Bedini, E., 2009. Mapping lithology of the Sarfartoq carbonatite complex, southern West Greenland, using HyMap imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 113(6): 1208-1219.
- Ben-Dor, E., Patkin, K., Banin, A. and Karnieli, A., 2002. Mapping of several soil properties using DAIS-7915 hyperspectral scanner data-a case study over clayey soils in Israel. *International Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1043-1062.
- Colman-Sadd, S., 1978. Fold development in Zagros simply folded belt, Southwest Iran. *AAPG Bulletin*, 62(6): 984-1003.
- Dixon, B. and Candade, N., 2008. Multispectral landuse classification using neural networks and support vector machines: one or the other, or both? *International Journal of Remote Sensing*, 29(4): 1185-1206.
- Evans, D.G. and Nunn, J.A., 1989. Free thermohaline convection in sediments surrounding a salt column. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B9): 12413-12422.
- Farhoudi, G., Faghih, A., Mosleh, H., Keshavarz, T., Heyhat, M. and Rahnema-Rad, J., 2008. Using GIS/RS techniques to interpret different aspects of salt domes in southern Iran, *Geophysical Research Abstracts*, 652-661.
- Farifteh, J., Farshad, A. and George, R., 2006. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. *Geoderma*, 130(3): 191-206.
- Farifteh, J., Van Der Meer, F. and Carranza, E., 2007. Similarity measures for spectral discrimination of salt-affected soils. *International Journal of Remote Sensing*, 28(23): 5273-5293.
- Foody, G.M., 2000. Mapping Land Cover from Remotely Sensed Data with a Softened Feedforward Neural Network Classification. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 29(4): 433-449.
- Goudie, A., 2004. *Encyclopedia of geomorphology*. Psychology Press, Routledge.
- Harrison, J., 1931. Salt domes in Persia. *Journal of institute of petroleum technology*, 17: 300-320.
- Hick, P. and Russell, W., 1990. Some spectral considerations for remote sensing of soil salinity. *Soil Research*, 28(3): 417-431.
- Jackson, M. and Talbot, C., 1994. *Advances in salt tectonics. Continental deformation: 159-179*.
- Jaros, J., 1981. The Zagros Mountains, its development and analysis of tectonic styles. *Vist. Ústø. Úst. Geol*, 56(2): 113-120.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Sato, Y. and Shiozawa, S., 2005. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1): 96-109.
- Kruse, F.A., Boardman, J.W. and Huntington, J.F., 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(6): 1388-1400.
- Leturmy, P., Molinaro, M. and de Lamotte, D.F., 2010. Structure, timing and morphological signature of hidden reverse basement faults in the Fars Arc of the Zagros (Iran). *Geological Society, London, Special Publications*, 330(1): 121-138.
- Loveland, T.R., Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L. and Merchant, J.W., 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP

- DISCover from 1 km AVHRR data. International Journal of Remote Sensing, 21(6-7): 1303-1330*
- Mas, J.-F., 2003. *An artificial neural networks approach to map land use/cover using Landsat imagery and ancillary data, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. IEEE, pp. 3498-3500.*
 - Metternicht, G., 2001. *Assessing temporal and spatial changes of salinity using fuzzy logic, remote sensing and GIS. Foundations of an expert system. Ecological Modelling, 144(2): 163-179.*
 - Metternicht, G.I. and Zinck, J., 2003. *Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. Remote sensing of Environment, 85(1): 1-20.*
 - Mougnot, B., Pouget, M. and Epema, G., 1993. *Remote sensing of salt affected soils. Remote Sensing Reviews, 7(3-4): 241-259.*
 - Nairn, A. and Alsharhan, A., 1997. *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier.*
 - O'Brien, C., 1957. *Salt diapirism in south Persia. Geologie en Mijnbouw, 19(9): 357-376.*
 - Omo-Irabor, O. and Oduyemi, K., 2007. *A hybrid image classification approach for the systematic analysis of land cover (LC) changes in the Niger Delta region. Built and Natural Environment, School of Contemporary Sciences, University of Abertay, Scotland, UK.*
 - Rangzan, K., 1995. *Morpho-tectonic study of Zagros structural belt of SW Iran using remote sensing techniques. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 23(4): 211-224.*
 - Rao, B., Sharma, R., Ravi Sankar, T., Das, S., Dwivedi, R., Thammappa, S. and Venkataratnam, L., 1995. *Spectral behaviour of salt-affected soils. International Journal of Remote Sensing, 16(12): 2125-2136.*
 - Rowan, L.C., Goetz, A.F. and Ashley, R.P., 1977. *Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images. Geophysics, 42(3): 522-535.*
 - Rowan, L.C. and Mars, J.C., 2003. *Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. Remote sensing of Environment, 84(3): 350-366.*
 - Sabins, F.F., 1997. *Remote sensing, principles and interpretation. 3rd edn. New York: Freeman.*
 - Stöcklin, J., 1974. *Possible Ancient Continental Margins in Iran. In: C.A. Burk and C.L. Drake (Editors), The Geology of Continental Margins. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 873-887.*
 - Tangestani, M.H., Mazhari, N., Agar, B. and Moore, F., 2008. *Evaluating Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data for alteration zone enhancement in a semi-arid area, northern Shahr-e-Babak, SE Iran. International Journal of Remote Sensing, 29(10): 2833-2850.*
 - Tayebi, M.H., Tangestani, M.H. and Roosta, H., 2013. *Mapping salt diapirs and salt diapir-affected areas using MLP neural network model and ASTER data. International Journal of Digital Earth, 6(2): 143-157.*
 - Twiss, R.J. and Moores, E.M., 2007. *Structural Geology. New York-W.H. Freeman. PP: 532*

- Waltham, T., 2008. *Salt terrains of Iran*. *Geology Today*, 24(5): 188-194.
- Warren, J.K., 2010. *Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits*. *Earth-Science Reviews*, 98(3): 217-268.
- Wijaya, A., 2005. *Application of multi-stage classification to detect illegal logging with the use of multi-source data*. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands*.
- Yao, X., Tham, L.G. and Dai, F.C., 2008. *Landslide susceptibility mapping based on Support Vector Machine: A case study on natural slopes of Hong Kong, China*. *Geomorphology*, 101(4): 572-582.

