

شناسایی نوع کانی‌های رسی با استفاده از ظرفیت تبادل کاتیونی در مخزن ماسه‌سنگی شوریجه (به سن کرتاسه آغازین)، میدان گنبدلی، خاور کپه‌داغ، شمال خاور ایران

محمدعلی سرپرنده^{۱*}، بهزاد مهرگینی^۲، امیر ملاجان^۲، فریدون سحابی^۳، غلامحسین نوروزی^۴ و گلناز جوزانی کهن^۵

^۱ دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۲ دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۵ دکترا، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۱۸

چکیده

در بررسی کیفیت مخزنی رخساره‌های ماسه‌سنگی معمولاً وجود رس اثر آشکاری در کاهش تخلخل مؤثر و تراوایی و دقت محاسبه درجه اشباع سیال‌های سازند دارد. در این راستا شناسایی نوع و مقدار رس به روش‌های مختلف انجام می‌شود. در مخازن ماسه‌سنگی، رس‌ها ضمن آنکه منبع ایجاد ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) هستند، گوناگونی کانی‌شناسی آنها، موجب تغییر میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در مخزن خواهد شد. این مهم می‌تواند به عنوان معیاری برای پهنه‌بندی مخزن بر پایه نوع کانی‌های رسی باشد. اندازه‌گیری CEC به عنوان یکی از روش‌های فرعی شناسایی کانی‌های رسی، در کنار دیگر روش‌ها به کار می‌رود. این متغیر که توانایی رس‌ها را در جذب و آزادسازی کاتیون‌ها در محلول مجاور نشان می‌دهد، برای انواع کانی‌های رسی دارای محدوده مشخصی است. در مواردی که چند نوع کانی رسی وجود دارد، مقدار CEC به سوی محدوده عددی نوع رس چیره نزدیک می‌شود. در این مطالعه ظرفیت تبادل کاتیونی کانی‌های رسی دو حلقه چاه مخزن شوریجه در میدان گازی گنبدلی محاسبه شده است. ابتدا CEC برای ۲۰ نمونه مغزه از دو چاه با استفاده از روش باور (Bower) اندازه‌گیری شد. در ادامه بر پایه داده‌های لاگ‌های پتروفیزیکی و نتایج آزمایشگاهی و به کمک برآوردگر شبکه عصبی مصنوعی، مقادیر CEC در طول هر چاه برآورد شد. در پایان با توجه به مقادیر CEC کانی‌های رسی، داده‌های موجود به ۵ دسته شامل پهنه عاری از رس و پهنه‌های دارای کائولینیت، ایلیت-کلریت، هالوزیت با دو مولکول آب و پهنه مونت‌موریلونیت تقسیم شد. برای این منظور از رده‌بندی‌کننده‌های بی‌زین، پارزن و K- نزدیک‌ترین همسایگی (KNN) استفاده شد. در پایان نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) مقایسه شد که تطابق خوبی نشان داد.

کلیدواژه‌ها: کانی‌های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی، سازند شوریجه، میدان گازی گنبدلی، کپه‌داغ.

E-mail: masarparandeh@yahoo.com

*نویسنده مسئول: محمدعلی سرپرنده

۱- پیش‌نوشتار

مطالعه و شناخت کانی‌های رسی در ارزیابی کیفیت مخازن هیدروکربوری اهمیت بالایی دارد. وجود رس و چگونگی توزیع آنها در مخازن موجب کاهش تخلخل مؤثر و تراوایی و همچنین مشکلاتی در برآورد درست درجه اشباع آب می‌شود. افزون بر این وجود رس در عملیات حفاری و تکمیل چاه سبب بروز مشکلاتی می‌شود. برای نمونه وجود کانی‌های گروه اسمکتیت سبب ناپایداری چاه، هدر رفتن گل حفاری و بالا رفتن هزینه‌های حفاری می‌شود. همچنین کانی‌های گروه کلریت در هنگام اسیدکاری چاه با تشکیل رسوب اکسید و هیدروکسید آهن سبب کاهش کارایی حفاری می‌شوند. از این رو شناسایی میزان و نوع رس اهمیت زیادی دارد.

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نشان‌دهنده میزان توانایی کانی‌های رسی در جذب و آزادسازی کاتیون‌هاست. شارژ الکتریکی منفی سطح کانی‌های رسی سبب می‌شود که کانی‌های رسی از محلول‌های مجاور خود کاتیون‌هایی مانند Na^+ ، K^+ و Ca^{2+} را جذب کنند (Kurniawan, 2005). مقدار این کاتیون‌ها، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نام دارد و برحسب میلی‌اکی‌والان کاتیون در ۱۰۰ گرم خاک خشک (meq/100g) یا در واحد حجم (meq/L) بیان می‌شود (Qv). این متغیر به‌طور خاص در سازندهای ماسه‌سنگی رس‌دار نسبت به سازندهای کربناتی بیشتر است (Murphy et al., 1996). افزون بر موارد یادشده، بهبود کارایی مته‌ها در حفاری سازندهای رسی با گل‌های پایه آبی، شناخت نوع کانی‌های رسی و شناسایی پهنه‌های ریزی در مخزن از دیگر کاربردهای CEC است. مثلاً CEC در رس‌های آماسی مانند اسمکتیت نسبت به رس‌های غیر آماسی مانند کائولینیت بالاتر است. همچنین در شیل‌های گازی که درجه بلوغ و مقدار ایلیت بیشتری دارند مقدار CEC متوسط

است (Josh et al., 2012). این متغیر را می‌توان با روش‌های مختلف آزمایشگاهی اندازه‌گیری کرد و از روی لاگ‌های پتروفیزیکی نیز به دست می‌آید. روش‌های آزمایشگاهی مختلفی برای اندازه‌گیری CEC وجود دارد. برای نمونه باور و همکارانش (به نقل از Richards et al., 1954) روشی برای اندازه‌گیری آزمایشگاهی این متغیر در $PH=7$ ارائه کرده‌اند. (Ipek (2002) روشی تجربی با عنوان LSU جدید برای مدل‌سازی ویژگی‌های الکتریکی سازندهای ماسه‌ای رس‌دار و محاسبه CEC به کمک لاگ ارائه داد که پایه آن نظریه‌های آب دو گانه و واکنش اسمیت است. هدف از این پژوهش، شناسایی کانی‌های رسی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی و به کارگیری الگوریتم احتمالاتی تصمیم‌گیری بی‌زین است.

۲- روش‌شناسی

در این پژوهش با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی مرتبط با دو چاه از میدان گازی گنبدلی، متغیر CEC به کمک برآوردگر شبکه عصبی (Demuth & Beale, 2002) پس‌انتشار خطا، برآورد و نتایج آن با داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه به روش باور (Richards, 1954) اعتبارسنجی شده است. در ادامه بر پایه مقادیر این متغیر برای کانی‌های رسی مختلف، داده‌های موجود با روش‌های رده‌بندی بی‌زین، پارزن و KNN به ۵ دسته تقسیم شدند (Theodoridis & Koutroumbos, 2002; Aster et al., 2005; Duda & Hart, 1973). به این منظور از لاگ‌های پتروفیزیکی به عنوان ورودی و از CEC‌های به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان خروجی یا هدف استفاده شد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که انطباق قابل قبولی از

آزمایشگاه (اندازه‌گیری CEC به روش باور) به‌عنوان خروجی مدل استفاده شد (جدول ۱). لاگ‌های مورد استفاده پس از انجام آنالیز حساسیت نسبت به CEC انتخاب شدند که همبستگی بالایی با این متغیر دارند. گفتنی است که برای ساخت مدل پیشنهادی، از همه داده‌های مربوط به دو چاه شماره ۱ و ۲ استفاده شده است. مقادیر کمینه و بیشینه متغیرهای مورد استفاده در مدل‌ها به همراه نماد آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

برای آموزش و آزمون مدل با توجه به کمبود داده‌ها از روش Leave-One-Out Cross-Validation استفاده شد. در این روش یکی از نمونه‌ها کنار گذاشته می‌شود، سپس مدل با بقیه نمونه‌ها آموزش داده و از داده کنار گذاشته شده برای آزمون استفاده می‌شود. این کار برای همه نمونه‌ها تکرار می‌شود و بدین ترتیب مجموعه داده‌های آزمون به دست می‌آید.

ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از ضریب همبستگی (R^2 ; معادله ۱) برای سنجش میزان درستی مدل بر پایه مقایسه میان مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده و نیز معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان معیاری از میزان خطا استفاده شده است (معادله ۲؛ Duda & Hart, 1973):

$$R^2 = 100 \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ipred} - \bar{X}_{pred})(X_{imeas} - \bar{X}_{imeas})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{ipred} - \bar{X}_{pred})^2 \sum_{i=1}^n (X_{imeas} - \bar{X}_{imeas})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$RMSE(x) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{imeas} - X_{ipred})^2} \quad (2)$$

که در آن X_{ipred} و X_{imeas} به ترتیب آمین مقدار اندازه‌گیری و برآورد شده است. همچنین \bar{X}_{ipred} و \bar{X}_{imeas} نیز میانگین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده هستند و n شمار داده‌های مورد استفاده است. در ادامه روند اجرا و نتایج به دست آمده از هر یک از مدل‌ها توضیح داده می‌شود.

۴-۲. تعیین نوع کانی‌های رسی

پس از محاسبه CEC در دو چاه، بخش‌های مختلف چاه‌ها بر حسب مقدار این متغیر به ۵ دسته تقسیم شدند. مقادیر میان ۰ و ۳۰ $meq/100g$ (پهنه تمیز)، میان ۳ و ۱۵ (کائولینیت)، ۱۵ و ۴۰ (ایلیت و کلریت)، ۴۰ و ۷۰ (هالوزیت با دو مولکول آب) و همچنین برای مقادیر CEC بزرگ‌تر از ۷۰ دسته مونت‌موریلونیت در نظر گرفته شد (Serra, 1984; Carroll, 1959; <http://www.terraxis.bees>). بدین‌منظور از روش‌های رده‌بندی بیزین، KNN و پارزن استفاده شد. از لاگ‌های پتروفیزیکی (جدول ۱) به‌عنوان داده‌های ورودی و از مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی محاسبه شده به‌عنوان داده‌های هدف استفاده شد.

برای آموزش روش‌های رده‌بندی، ابتدا در هر یک از چاه‌های ۱ و ۲، ۷۰ درصد داده‌ها به‌صورت تصادفی انتخاب شدند و از ۳۰ درصد باقیمانده برای آزمون عملکرد آنها استفاده شد. سپس برای بررسی قابلیت تعمیم هر یک از روش‌ها، از داده‌های یک چاه برای آموزش و از داده‌های چاه دیگر برای آزمون استفاده شد. در هر کدام از حالت‌های یادشده ماتریس درهم‌ریختگی (Confusion matrix) محاسبه شد. همچنین برای سنجش دقت و درستی هر یک از روش‌های رده‌بندی مقدار CCR محاسبه شد. این متغیر که نشان‌دهنده درصد داده‌هایی است که به درستی دسته‌بندی شده‌اند، هم بر پایه شمار داده‌ها (نسبت شمار داده‌هایی که درست دسته‌بندی شده‌اند به کل داده‌ها) و هم بر پایه شمار دسته‌ها (میانگین قطر اصلی ماتریس درهم‌ریختگی) محاسبه شده است.

در این مطالعه برای بررسی کانی‌های رسی از آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) برای اعتبارسنجی نتایج استفاده شد.

CEC برآورد شده با استفاده از شبکه عصبی و نتایج آزمایشگاهی به روش باور وجود دارد.

۳- زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه

حوضه رسوبی کپه‌داغ با راستای شمال باختر - جنوب خاور در شمال خاور ایران، ترکمنستان و شمال افغانستان گسترش دارد. در هر سه کشور میدان‌های گازی عظیمی در این حوضه کشف شده است. میدان‌های گازی سترگ خانگیران، گنبدلی و به تازگی میدان طوس در ایران، دولت‌آباد - دونمز، شاتلیک، گزلی، بایران علی و مهری در ترکمنستان و گوگر در افغانستان، در این حوضه کشف شده‌اند. میدان گنبدلی در ناحیه سرخس در منطقه کپه‌داغ خاوری جای گرفته است (افشارحرب، ۱۳۷۳).

در اواخر کوهزایی آلپین طی میوسن - پلیوسن بیشتر تاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های منطقه در اثر چین‌خوردگی شکل گرفته‌اند که تاق‌دیس‌های گنبدلی و خانگیران از آن دسته هستند. تاق‌دیس گنبدلی ساختمانی با شیب به نسبت ملایم به سوی شمال باختر - جنوب خاور است. این ساختمان در شمال باختر توسط یک فرورفتگی زینی شکل از تاق‌دیس خانگیران جدا شده و در جنوب خاور توسط گسل هربرود از ساختمان دولت‌آباد - دونمز جدا می‌شود (افشارحرب، ۱۳۷۳).

۳-۱. موقعیت و تاریخچه میدان

میدان گنبدلی در فاصل ۲۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان سرخس و در نزدیکی مرز ترکمنستان جای دارد. اولین چاه اکتشافی حفر شده در سال ۱۳۴۸ نتیجه‌ای نداشت. حفاری دوباره در سال ۱۳۶۰ سبب کشف ذخایر گازی این مخزن شد و بهره‌برداری از این مخزن در سال ۱۳۶۵ آغاز شد. مهم‌ترین سازند مخزنی در این میدان سازند ماسه سنگی شوربچه است. موقعیت این میدان در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۲. سنگ‌شناسی سازند شوربچه

سازند شوربچه، بخش مخزنی میدان گنبدلی است. به‌طور عمده سازند شوربچه از رس‌های سرخ، رس سنگ‌ها، انواع ماسه‌سنگ، فلدسپار، انیدریت، کنگلومرا و به‌طور جزئی سنگ‌های آهکی تشکیل شده است. شکل ۲ توالی سنگ‌شناسی بخشی از چاه ۱ را نشان می‌دهد که با استفاده از اطلاعات پتروفیزیکی به دست آمده است. سنگ‌شناسی این چاه به‌ویژه حضور رس‌ها و سیمان‌های رسی به‌وسیله مطالعه مقاطع نازک در چند نقطه ژرفی از چاه‌های مورد نظر، بررسی و ارزیابی شده است که انطباق خوبی با اطلاعات پتروفیزیکی دارد. در شکل‌های ۳-الف و ب نتیجه مطالعه مقطع نازک از ژرفای ۳۲۱۰ متری چاه ۱ نشان داده شده است. حضور رس و سیمان‌های رسی در فضای میان دانه‌های کوارتز و فلدسپار در این شکل دیده می‌شود.

۴- بحث

۴-۱. برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی

برای برآورد میزان CEC در سازند مورد بررسی، از برآوردگر شبکه عصبی MLP Multi-Layer Perceptron سه‌لایه استفاده شد. شبکه طراحی شده شامل ۷ مقدار در ورودی بوده و تنها از یک لایه پنهان تشکیل شده است. نرون‌های لایه میانی ۱۰ عدد تعیین شد. برای این منظور از روش سعی و خطا استفاده و خطای برآورد در برابر شمار نرون‌های مختلف محاسبه شده است. تابع فعال‌سازی برای نرون‌های لایه ورودی و پنهانی، تانژانت سیگموئید و برای نرون خروجی، خطی (Pure line) انتخاب شده است. همچنین برای آموزش شبکه از الگوریتم Levenberg Marquard - استفاده شده است. برای این منظور از داده‌های ۷ لاگ چگالی (RHOB)، نوترون (NPHI)، مقاومت ژرف (LLD)، موج فشاری (DT)، قطرسنجی (CAL)، پرتو گاما (GR) و سنگ‌شناسی (PEF) به‌عنوان ورودی و از داده‌های

۵- بررسی نتایج

۳۲۰۸ متری متغیر CEC، $37/66$ meq/100g است که مربوط به محدوده کانی‌های ایلیت و کلریت است. در حالی که درصد نیمه کمی کانی‌ها که از آزمایش XRD در این ژرفا به دست آمده است (جدول ۴)، نشان می‌دهد که کانی‌های رسی موجود در نمونه، ایلیت، کلریت و کائولینیت و بیشترین سهم کانی‌های رسی (۴ درصد) مربوط به کانی ایلیت و پس از آن کلریت (۲ درصد) است. همچنین طیف‌های پراش پرتو ایکس پس از حذف و کمینه‌سازی کانی‌های غیر رسی برای نمونه یادشده در شکل ۷ نشان داده شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش روشی جدید برای تعیین کانی‌های رسی بر پایه متغیر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ارائه شد. ظرفیت تبادل کاتیونی برای ۲۰ نمونه از دو چاه در سازند ماسه رسی شورجه در میدان گازی گنبدلی در خاور کپه‌داغ به روش باور در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس به کمک برآوردگر شبکه عصبی مصنوعی، مدلی مناسب برای محاسبه CEC با لاگ‌های پتروفیزیکی به دست آمد. بدین ترتیب که از لاگ‌های پتروفیزیکی به‌عنوان ورودی و از نتایج آزمایشگاه به‌عنوان خروجی مدل استفاده شد. با توجه به کمبود داده‌های آزمایشگاهی، برای اعتبارسنجی این مدل، روش LOOCV به کار برده شد و دقت این روش با معیارهای R^2 و RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان $R^2=0/967$ و $RMSE=3/97$ بیانگر دقت بالای برآورد CEC با این روش است. پس از محاسبه CEC، برای رده‌بندی کانی‌های رسی، ۴ حد برش در نظر گرفته و بر پایه ظرفیت تبادل کاتیونی داده‌های موجود به ۵ دسته رده‌بندی شد. به‌منظور دسته‌بندی از سه روش بیزین، KNN و پارزن استفاده شد. مقادیر CCR هر یک از این روش به ترتیب برابر با $0/83$ ، $0/73$ و $0/74$ برای چاه ۱ و $0/70$ ، $0/87$ و $0/74$ برای چاه ۲ به دست آمد که نشان می‌دهد روش KNN دقت بالاتری در هر دو چاه دارد. همچنین برای ارزیابی قابلیت تعمیم رده‌بندی‌کننده‌ها هر بار یک چاه برای آموزش و چاه دیگر برای آزمون مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر CCR تعمیم روش‌های مختلف به‌طور متوسط برای روش‌های بیزین، KNN و پارزن به ترتیب برابر با $0/64$ ، $0/38$ و $0/45$ است. نتایج نشان از آن دارد که روش بیزین از کارایی و قابلیت تعمیم خوبی برخوردار است، درحالی که روش‌های KNN و پارزن، قابلیت تعمیم مناسبی ندارند. در نهایت برای اعتبارسنجی مطالعات انجام شده نتایج با تجزیه XRD مقایسه شد که این مقایسه نشان می‌دهد می‌توان از ظرفیت تبادل کاتیونی به‌عنوان نشانگری مناسب برای تعیین نوع رس بهره برد.

برای برآورد CEC از یک شبکه عصبی MLP سه‌لایه استفاده شد. شبکه طراحی شده شامل ۷ مقدار در ورودی بوده و تنها از یک لایه پنهان تشکیل شده است. نرون‌های لایه میانی ۱۰ عدد تعیین شد. همچنین از داده‌های آزمایشگاه به‌عنوان خروجی استفاده شد. برای آزمون مدل همان‌گونه که پیش از این بیان شد با توجه به کمبود داده‌ها از روش LOOCV استفاده شد. بر این اساس با توجه به شکل ۴ مقدار ضریب تعیین (R^2)، برای کل داده‌ها برابر $0/967$ و مقدار RMSE برابر $3/97$ به دست آمده و برای داده‌های آزمون این مقادیر به ترتیب $0/966$ و $3/87$ است. همچنین مقایسه‌ای میان مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی برای نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، انطباق خوبی میان مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده به‌وسیله برآوردگر شبکه عصبی وجود دارد.

پس از محاسبه CEC، داده‌ها با روش‌های بیزین، پارزن و KNN، در ۵ دسته رده‌بندی شدند. ماتریس درهم‌ریختگی برای داده‌های آزمون به همراه دقت رده‌بندی برای هر سه روش در جدول ۲ ارائه شده است. برای به‌دست آوردن ابعاد مناسب پنجره پارزن، نمودار CCR برای اندازه‌های مختلف رسم (شکل‌های ۶-الف و ب) و بدین ترتیب ابعاد مناسب $0/72$ تعیین شد. به همین صورت تعداد K مناسب در روش KNN، ۳ تعیین شد.

در روش دسته‌بندی KNN مقادیر CCR به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کرده است (جدول ۲-ب).

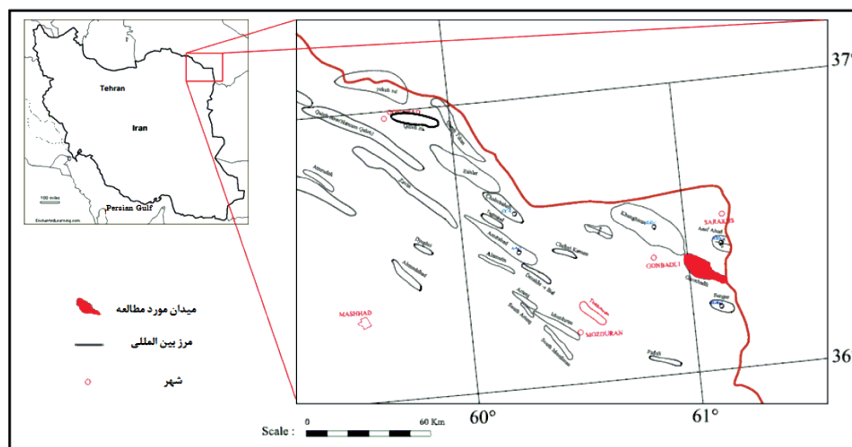
دقت ماتریس درهم‌ریختگی برای روش پارزن تقریباً نزدیک به روش بیزین به دست آمد (جدول ۲-ج).

برای ارزیابی تعمیم‌پذیری هر یک از روش‌ها، داده‌های یک چاه برای آموزش و چاه دیگر برای آزمون استفاده شد (جدول‌های ۳-الف، ب و ج). برای نمونه در روش بیزین، در حالتی که از چاه ۱ برای آموزش و از چاه ۲ برای آزمون استفاده شده، CCR برابر ۶۰ درصد است. در روش بیزین، دقت دسته‌بندی بیش از ۶۰ درصد است که نشان می‌دهد این روش برای میدان مورد مطالعه کارایی مناسبی دارد.

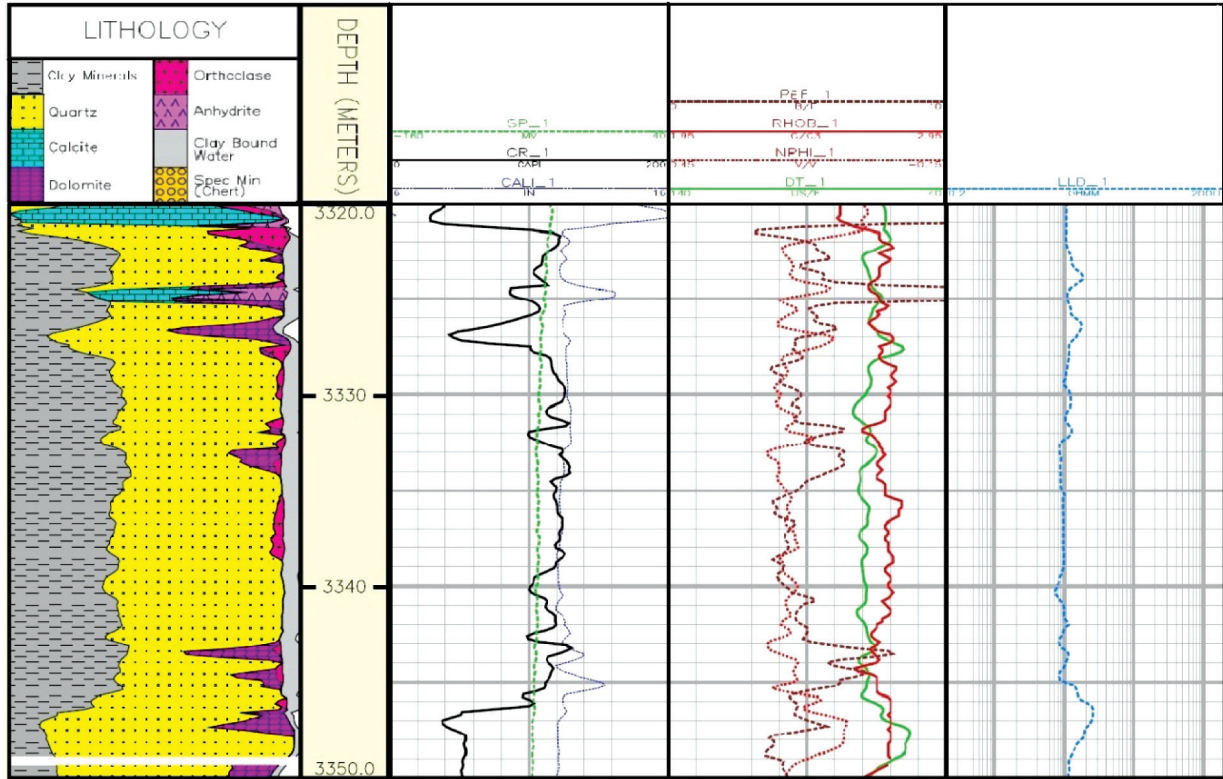
در روش KNN، دقت رده‌بندی کمتر از ۵۰ درصد است (جدول ۳-ب) که نشان می‌دهد این روش قابلیت تعمیم خوبی ندارد.

در بررسی تعمیم‌پذیری روش پارزن نیز مقادیر CCR کمتر از ۵۰ درصد است (جدول ۳-ج) که نشان می‌دهد این روش دسته‌بندی هم قابلیت تعمیم ندارد.

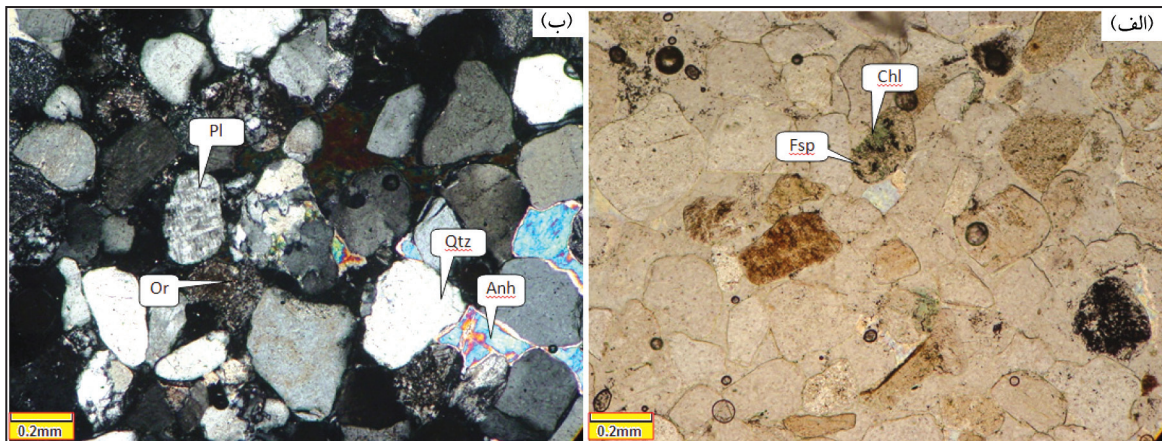
بررسی آزمایش پراش پرتو ایکس برای ۱۹ نمونه مغزه نشان می‌دهد که ظرفیت تبادل کاتیونی نشانگر خوبی برای تشخیص نوع رس است. برای نمونه در ژرفای



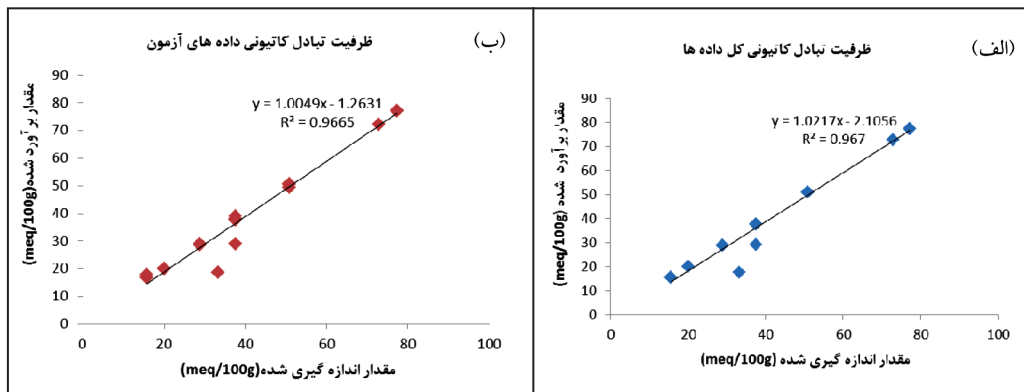
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه.



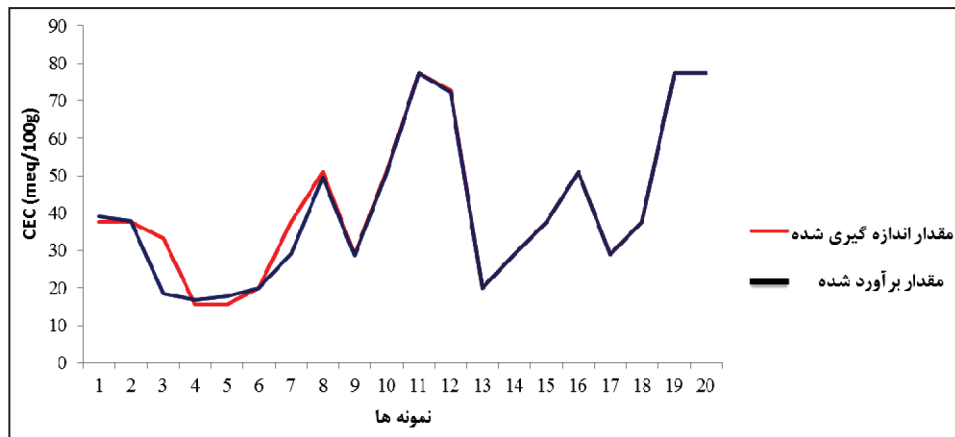
شکل ۲- سنگ‌شناسی بخشی از چاه ۱ با مقایسه لاگ‌های GR, SP, CAL, PEF, PHOB, NPHI, DT و LLD.



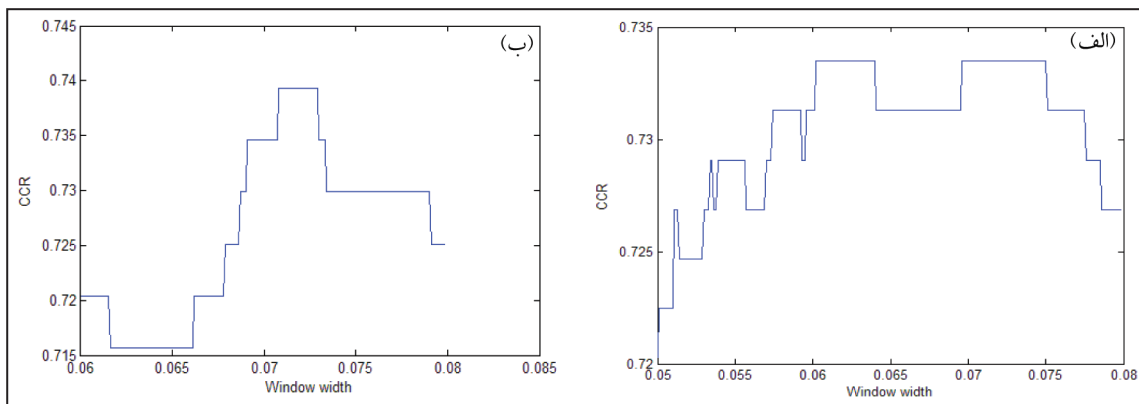
شکل ۳- ماسه‌سنگ شوربجه، ژرفای ۳۲۱۰ متری، چاه ۱، میدان گنبدلی، تیغه نازک، حضور رس و سیمان‌های رسی کلریت (Chl) و انیدریت (Anh) میان دانه‌های کوارتز (Qtz) و فلدسپار (Fsp)؛ (الف) نور پلاریزه (XPL)؛ (ب) نور عادی (PPL).



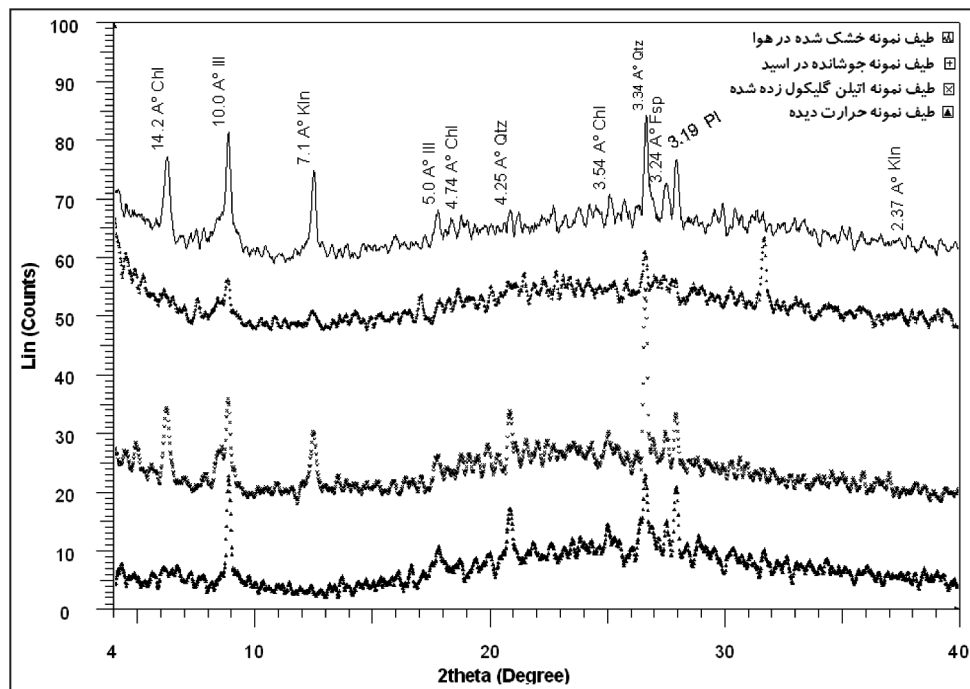
شکل ۴- نتایج برآورد CEC با شبکه عصبی برای (الف) کل داده‌ها؛ (ب) داده‌های آزمون.



شکل ۵- مقایسه میان مقادیر CEC اندازه گیری شده و برآورد شده برای ۲۰ نمونه از چاه ۱ و ۲.



شکل ۶- CCR در برابر ابعاد پنجره برای الف) چاه ۱؛ ب) چاه ۲.



شکل ۷- طیف‌های پراش پرتو ایکس پس از حذف و کمیته سازی کانی‌های همراه و سپس انجام آماده سازی‌های ویژه روی بخش رس برای نمونه مربوط به ژرفای ۳۲۰۲/۱۹ متری.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به لاگ‌های پتروفیزیکی مورد استفاده و CEC (سرپرنده و همکاران، ۱۳۹۱).

نوع داده	لاگ	علامت	Min	Max
ورودی	نوترن	NPHI	0.03841	0.1765
	مقاومت سنجی ژرف	LLd	1.057	39.392
	چگالی	RHOB	2.267	2.762
	صوتی	DT	54.47	88.95
	سنگ شناسی	PEF	2.191	78.848
	کلیپر	CAL	17.858	8.611
	پرتو گاما	GR	37.51	94.23
خروجی	ظرفیت تبادل کاتیونی	CEC	15.66	77.26

جدول ۲- الف) ماتریس درهم‌ریختگی برای روش بیزین؛ ب) ماتریس درهم‌ریختگی در روش KNN؛ ج) ماتریس درهم‌ریختگی در روش پارزن.

جدول ۲- الف

شماره چاه	1	2
ماتریس درهم‌ریختگی	$\begin{bmatrix} 0.69 & 0.3 & 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0.63 & 0.31 & 0.06 & 0 \\ 0 & 0.30 & 0.56 & 0.13 & 0.01 \\ 0 & 0 & 0.11 & 0.85 & 0.04 \\ 0 & 0 & 0 & 0.18 & 0.82 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0.19 & 0.06 & 0 & 0 \\ 0.38 & 0.50 & 0.12 & 0 & 0 \\ 0 & 0.32 & 0.68 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.17 & 0.54 & 0.29 \\ 0 & 0 & 0 & 0.18 & 0.82 \end{bmatrix}$
اثر ماتریس درهم‌ریختگی	3.53	3.29
برحسب شمار داده‌ها CCR	0.73	0.70
برحسب شمار دسته‌ها CCR	0.71	0.66

جدول ۲- ب

شماره چاه	1	2
ماتریس درهم‌ریختگی	$\begin{bmatrix} 0.94 & 0.02 & 0.03 & 0.01 & 0 \\ 0.19 & 0.31 & 0.44 & 0.06 & 0 \\ 0.03 & 0.09 & 0.71 & 0.17 & 0 \\ 0 & 0 & 0.13 & 0.84 & 0.03 \\ 0 & 0 & 0 & 0.08 & 0.92 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.97 & 0.03 & 0 & 0 & 0 \\ 0.37 & 0.13 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.06 & 0 & 0.91 & 0.03 & 0 \\ 0 & 0 & 0.07 & 0.79 & 0.14 \\ 0 & 0 & 0 & 0.05 & 0.95 \end{bmatrix}$
اثر ماتریس درهم‌ریختگی	3.72	3.74
برحسب شمار داده‌ها CCR	0.83	0.87
برحسب شمار دسته‌ها CCR	0.74	0.75

جدول ۲- ج

شماره چاه	1	2
ماتریس درهم‌ریختگی	$\begin{bmatrix} 0.87 & 0.01 & 0.11 & 0.01 & 0 \\ 0.25 & 0 & 0.69 & 0.06 & 0 \\ 0.09 & 0 & 0.52 & 0.38 & 0.01 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.79 & 0.11 \\ 0 & 0 & 0 & 0.13 & 0.87 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.86 & 0.03 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.37 & 0 & 0.63 & 0 & 0 \\ 0.26 & 0.74 & 0 & 0 & 0 \\ 0.11 & 0.05 & 0.55 & 0.29 & 0 \\ 0 & 0 & 0.01 & 0.09 & 0.90 \end{bmatrix}$
اثر ماتریس درهم‌ریختگی	3.04	3.05
برحسب شمار داده‌ها CCR	0.73	0.74
برحسب شمار دسته‌ها CCR	0.61	0.61

جدول ۳- الف) ماتریس درهم ریختگی برای روش بیزین (بررسی تعمیم پذیری)؛ ب) ماتریس درهم ریختگی برای روش KNN (بررسی تعمیم پذیری)؛ ج) ماتریس درهم ریختگی برای روش پارزن (بررسی تعمیم پذیری).

جدول ۳- الف

شماره چاه آموزش	1	2
ماتریس درهم ریختگی	$\begin{bmatrix} 0.73 & 0.25 & 0.02 & 0 & 0 \\ 0 & 0.88 & 0.12 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27 & 0.72 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0.3 & 0.49 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.01 & 0.44 & 0.55 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.99 & 0.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0.54 & 0.41 & 0.02 & 0.02 & 0.01 \\ 0.15 & 0.24 & 0.49 & 0.1 & 0.02 \\ 0 & 0.08 & 0.16 & 0.35 & 0.41 \\ 0 & 0.01 & 0 & 0.04 & 0.95 \end{bmatrix}$
اثر ماتریس درهم ریختگی	3.36	3.2
برحسب شمار داده‌ها CCR	0.60	0.68
برحسب شمار دسته‌ها CCR	0.67	0.64

جدول ۳- ب

شماره چاه آموزش	1	2
ماتریس درهم ریختگی	$\begin{bmatrix} 0.95 & 0 & 0.02 & 0.03 & 0 \\ 0.84 & 0 & 0.04 & 0.12 & 0 \\ 0.67 & 0 & 0.11 & 0.21 & 0.01 \\ 0.27 & 0.02 & 0.33 & 0.09 & 0.29 \\ -0.08 & 0.09 & 0.1 & 0.16 & 0.56 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.17 & 0.1 & 0.6 & 0.1 & 0.03 \\ 0.01 & 0 & 0.47 & 0.22 & 0.3 \\ 0.01 & 0.03 & 0.27 & 0.31 & 0.38 \\ 0 & 0.01 & 0.04 & 0.31 & 0.64 \\ 0 & 0 & 0 & 0.29 & 0.71 \end{bmatrix}$
اثر ماتریس درهم ریختگی	1.72	1.47
برحسب شمار داده‌ها CCR	0.41	0.35
برحسب شمار دسته‌ها CCR	0.34	0.29

جدول ۳- ج

شماره چاه آموزش	1	2
ماتریس درهم ریختگی	$\begin{bmatrix} 0.96 & 0 & 0.04 & 0 & 0 \\ 0.8 & 0 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.55 & 0 & 0.45 & 0 & 0 \\ 0.29 & 0 & 0.41 & 0.12 & 0.18 \\ -0.16 & 0 & 0.01 & 0.32 & 0.51 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.44 & 0 & 0.34 & 0.18 & 0.04 \\ 0 & 0 & 0.29 & 0.65 & 0.06 \\ 0 & 0 & 0.06 & 0.8 & 0.14 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix}$
اثر ماتریس درهم ریختگی	2.03	1.88
برحسب شمار داده‌ها CCR	0.45	0.45
برحسب شمار دسته‌ها CCR	0.41	0.38

جدول ۴- نتایج آزمایش XRD برای نمونه مربوط به ژرفای ۳۲۰۲/۱۹ متری.

نوع کانی	فرمول شیمیایی	درصد کانی
کوارتز	SiO ₂	۴۸
انیدریت	CaSO ₄	۱۸
آلیت	(Na,Ca)AlSi ₃ O ₈	۲
سانیدین	KAlSi ₃ O ₈	۶
آنورتیت	(Ca,Na)Al ₂ Si ₂ O ₈	۵
میکروکلین	KAlSi ₃ O ₈	۵
دولومیت	Ca(Mg,Fe)(CO ₃) ₂	۴
اورتوکلاز	KAlSi ₃ O ₈	۵
کلریت	(Mg,Fe) ₃ (Al,Si) ₅ O ₁₀ (OH) ₈	۲
کائولینیت	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	۱
ایلیت	(K, H ₂ O)Al ₂ [(OH) ₂ AlSi ₃ O ₁₀]	۴

کتابنگاری

افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳- زمین شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین شناسی.

سرپرنده، م. ع.، ملاجان، ا.، سحابی، ف. و نوروزی، غ. م.، ۱۳۹۱- برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی در یک سازند ماسه شیلی، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Aster, R., Borchers, B. & Thurber, C., 2005- Parameter Estimation and Inverse Problem, Elsevier Academic Press.
- Carroll, D., 1959- Ion exchange in clays and other minerals, Geological Society of America Bulletin 70, Volume 6, PP. 749-780.
- Demuth, H. & Beale, M., 2002- Neural network toolbox for use with MATLAB, User's guide, Version 4.
- Duda, R. O. & Hart, P. E., 1973- Pattern Classification and Scene Analysis, New York: Wiley, PP. 255-290.
- Ipek, G., 2002- Log-derived Cation Exchange Capacity of Shaly Sands, Ph.D. Dissertation, Louisiana State University.
- Josh, M., Esteban, L., Delle Piane, C., Sarout, J., Dewhurst, D. N. & Clennel, M. B., 2012- Laboratory characterisation of shale properties. Journal of Petroleum Science and Engineering, PP. 107-124.
- Kurniawan, 2005- Shaly sand interpretation using CEC-dependent petrophysical parameters, Ph.D. Dissertation, Louisiana State University.
- Murphy, D. P., Chilingarian, G. V. & Torabzadeh, S. J., 1996- Core analysis and its application in reservoir characterization, Developments in Petroleum Science, Volume 44, Part 2, PP. 105-153.
- Richards, L. A., Allison, L. E., Bernstein, L., Bower, C. A., Brown, J. W., Fireman, M., Hatcher, J. T., Hayward, H. E., Pearson, G. A., Reeve, R. C. & Wilcox, L. V., 1954- Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils, United States department of agriculture, Agriculture Handbook No. 60.
- Serra, O., 1984- Fundamental of Well-Log Interpretation - The Acquisition of Logging Data, Elsevier science publishers B.V, printed in the Netherlands, PP. 144-145.
- Theodoridis, S. & Koutroumbos K., 2002- Pattern Classification 2nd edition, San Diego: ElsevierAcademi, PP. 13 – 44.
- http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_cation_exchange_capacity.html