

## شناسایی زون‌های ریزشی در چاه با استفاده از ظرفیت تبادل کاتیونی در میدان گازی گنبدلی

محمدعلی سرپرنده<sup>۱</sup>؛ بهزاد مهرگینی<sup>۲</sup>؛ امیر ملاجان<sup>۳</sup>؛ فریدون سبحانی؛ غلامحسین نوروزی\*؛ حسین معماریان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، [masarparandeh@aut.ac.ir](mailto:masarparandeh@aut.ac.ir)

۲- دانشجوی دکترای مهندسی اکتشاف نفت، دانشگاه تهران، [mehrgini@ut.ac.ir](mailto:mehrgini@ut.ac.ir)

۳- کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه تهران، [a.mollajan@alumni.ut.ac.ir](mailto:a.mollajan@alumni.ut.ac.ir)

۴- عضو هیئت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران، [memarian@ut.ac.ir](mailto:memarian@ut.ac.ir)، [norouzih@ut.ac.ir](mailto:norouzih@ut.ac.ir)، [fsahabi@ut.ac.ir](mailto:fsahabi@ut.ac.ir)

(دریافت ۲۰ فروردین ۱۳۹۱، پذیرش ۴ اسفند ۱۳۹۳)

### چکیده

برای تداوم عملیات حفاری در چاه‌های نفت و گاز، شناسایی بخش‌های ریزشی در بعضی طبقات حفاری شده حائز اهمیت است. ریزش دیوار چاه و یا تورم آن، افزون بر توقف عملیات حفاری، می‌تواند به بروز مشکلات مکانیکی متنوعی منجر شود. از مهمترین عوامل مؤثر در این فرایند فراوانی رس و رخساره‌های رسی در توالی رسوبی میادین نفت و گاز است. برای آگاهی از میزان و نوع رس، روش‌های مختلفی، از جمله محاسبه ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، وجود دارد. برخی کانی‌ها نظیر اسمکتیت و ورمیکولیت، ضمن آنکه از خاصیت تورم بالایی برخوردارند، دارای ظرفیت بالای تبادل کاتیونی می‌باشند. مطالعه حاضر روی سازند شوربچه (کرتاسه آغازین) در میدان گازی گنبدلی صورت گرفته است. ابتدا مقدار CEC برای ۲۰ نمونه مغزه به روش آزمایشی باور (Bower) مورد سنجش قرار گرفت. در ادامه به کمک تخمین‌گر شبکه عصبی مصنوعی، لاگ‌های پتروفیزیکی و نتایج آزمایشگاهی، مدل مناسبی برای تخمین این پارامتر در طول چاه به دست آمد. سپس با استفاده از مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی بدست آمده و لاگ قطرسنجی ارتباط بین ریزش چاه با CEC مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه‌ی حاضر نشان داد که بیش از ۷۵ درصد نقاطی که CEC بالاتر از ۷۰ دارند در چاه ۱، و بیش از ۷۴ درصد این نقاط در چاه ۲، ریزش داشته است. در نتیجه پس از انجام عملیات حفاری و با کمک این پارامتر می‌توان برای تشخیص و پیش‌گیری ریزش زون‌های رسی چاه استفاده نمود.

### کلمات کلیدی

کانی‌های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، زون‌های ریزشی چاه، سازند شوربچه، میدان گازی گنبدلی.

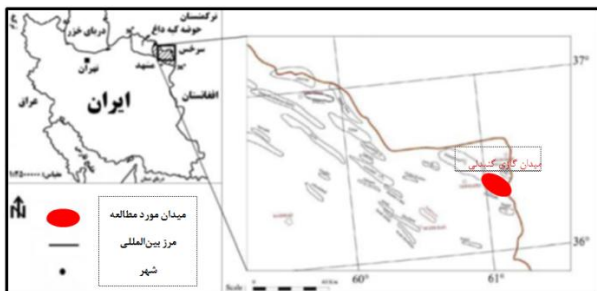
## ۱ - مقدمه

وسیله‌ی جایگزین نمودن ظرفیت‌های جذب کاتیونی با کاتیون آمونیوم ( $\text{NH}_4^+$ ) به کمک استات آمونیوم ( $\text{NH}_3\text{CH}_3\text{COO}$ ) به صورت محلول استات آمونیوم یک نرمال است [۵]. در این مطالعه این پارامتر برای ۲۰ نمونه از دو چاه در میدان گازی گنبدلی به روش باور در آزمایشگاه علوم خاک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران اندازه‌گیری شده است.

## ۲ - مطالعه‌ی موردی: میدان گازی گنبدلی

## ۲-۱ - زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه

حوضه رسوبی کپه‌داغ که در شمال شرقی ایران و در راستای شمال غرب - جنوب شرق گسترش دارد، بخش وسیعی از کشورهای ایران، ترکمنستان و شمال افغانستان را در برمی‌گیرد. در هر سه کشور میدان‌های گازی عظیمی در این حوضه کشف شده‌اند. میدان‌های گازی عظیم خانگیران، گنبدلی و اخیراً میدان طوس در ایران، دولت‌آباد - دونمز، شاتلیک، گزلی، بایران علی و مهری در ترکمنستان و گوگر در افغانستان، از جمله میدان‌های این حوضه هستند. میدان گنبدلی در ناحیه سرخس از منطقه کپه‌داغ شرقی واقع شده است (شکل ۱) [۱].



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه [۹]

تاقدیس گنبدلی ساختمانی با شیب نسبتاً ملایم است که روندی شمال غرب - جنوب شرق دارد. این ساختمان از شمال غرب توسط یک فرورفتگی زینی شکل از تاقدیس خانگیران جدا می‌شود و از جنوب شرق توسط گسل هربرود از ساختمان دولت‌آباد-دونمز تفکیک می‌شود [۱].

میدان گنبدلی در فاصل ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سرخس و در نزدیکی مرز ترکمنستان واقع شده است. اولین چاه اکتشافی حفر شده در سال ۱۳۴۸ نتیجه‌ی ای نداشت. حفاری مجدد در سال ۱۳۶۰ منجر به کشف ذخائر گازی این مخزن شد و بهره‌برداری از این مخزن در سال ۱۳۶۵ آغاز شد. مهمترین سازند مخزنی در این میدان سازند ماسه سنگی شوربچه (کرتاسه‌ی آغازین) می‌باشد. موقعیت این

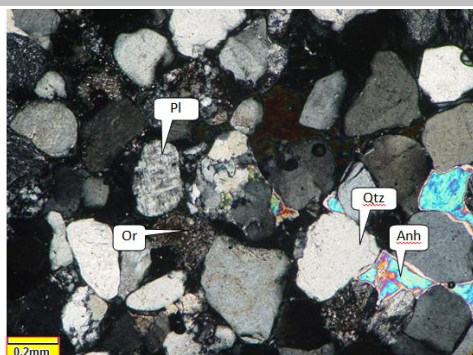
مطالعه و شناخت زون‌های ریزشی، که عمدتاً مرتبط با رس‌ها می‌باشند، از اهمیت بالایی در عملیات حفاری و تکمیل چاه‌های نفت و گاز برخوردار بوده و می‌تواند منجر به بروز مشکلاتی چون ناپایداری و در پی آن ریزش دیوار چاه، هدر رفتن گل و گاهی هم تورم رس و درگیر شدن رشته حفاری شود. در این قبیل موارد افزون بر محاسبه‌ی حجم رس، شناسایی سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رس‌ها نیز از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در این ارتباط ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، که نشان دهنده‌ی میزان قابلیت و توانایی رس‌ها در جذب و آزاد سازی کاتیون‌ها است، تعریف می‌شود. سطح پولک‌های رس دارای بار الکتریکی منفی است. این موضوع باعث می‌شود که کانی‌های رسی از محلول‌های مجاور خود کاتیون‌هایی مانند  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$  و  $\text{Ca}^{2+}$  را جذب کنند [۲]. غلظت این کاتیون‌ها ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نام داشته و بر حسب میلی‌اکی‌والان کاتیون در ۱۰۰ گرم خاک خشک ( $\text{meq}/100\text{g}$ ) یا در واحد حجم ( $Q_v$ ,  $\text{meq}/\text{L}$ ) بیان می‌شود. این پارامتر به طور خاص در سازندهای ماسه‌ای - رسی نسبت به سازندهای کربناته، که عموماً دارای مقادیر کمتری از کانی‌های رسی می‌باشند، بیشتر است [۳]. افزون بر موارد ذکر شده، کاربردهای دیگری نیز برای پارامتر CEC می‌توان برشمرد. از جمله می‌توان به انتخاب بهینه‌ی نوع سرمت در حین حفاری در سازندهای رسی با گل‌های پایه آبی، شناخت نوع کانی‌های رسی و شناسایی زون‌های ریزشی در مخزن اشاره کرد. مثلاً CEC در رس‌های آماسی مانند اسمکتیت، نسبت به رس‌های غیر آماسی مثل کائولینیت بالاتر است. همچنین مقدار CEC در شیل‌های گازی که از درجه‌ی بلوغ بیشتری برخوردارند و دارای مقدار قابل توجهی ایلیت می‌باشند متوسط است [۴]. این پارامتر را می‌توان با روش‌های مختلف آزمایشگاهی و نیز مطالعه‌ی لاگ‌های پتروفیزیکی سنجید. به عنوان مثال باور و دیگران (به نقل از ریچاردز و دیگران [۵]) روشی برای اندازه‌گیری آزمایشگاهی این پارامتر در  $\text{PH}=7$  ارائه کرده‌اند. ایپک [۶] روشی تجربی با عنوان LSU جدید برای مدل‌سازی ویژگی‌های الکتریکی سازندهای ماسه‌ای رس‌دار و محاسبه‌ی CEC به کمک لاگ ارائه داد که اساس آن نظریه‌های آب دوگانه [۷] و واکسمن اسمیت [۸] می‌باشد.

اساس روش باور (Bower) به طور خلاصه مبتنی بر خارج کردن کاتیون‌های موجود و جایگزینی آن‌ها با کاتیون‌های سدیم ( $\text{Na}^+$ ) به وسیله‌ی سدیم استات ( $\text{NaCH}_3\text{COO}$ ) به صورت محلول یک نرمال و سپس جدا کردن کاتیون‌های سدیم به

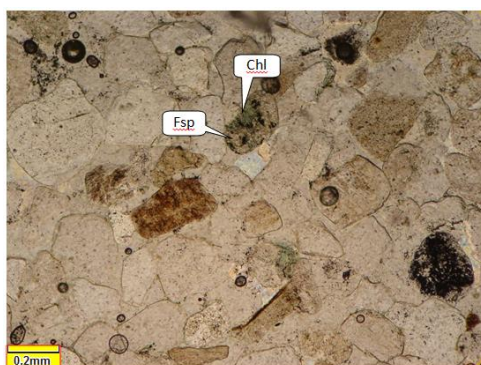
میدان در شکل ۱ نشان داده شده است [۹].

## ۲-۲- سنگ شناسی سازند شوربجه

سنگ مخزن اصلی در میدان گنبدلی، سازند شوربجه با سن کرتاسه‌ی آغازین است. این سازند در نگاه کلی، متشکل از ماسه‌سنگ‌های رسی به رنگ قرمز است که رس به صورت ماتریکس، عمدتاً کوارتز، فلدسپات، سنگ آهک و کنگلومرا همراه سیمان انیدریتی است. شکل ۲ سنگ شناسی بخشی از چاه ۱ را نشان می‌دهد، که با استفاده از اطلاعات پتروفیزیکی بدست آمده است. سنگ شناسی این چاه، بویژه حضور رس‌ها و سیمان‌های رسی، که بوسیله مطالعه مقاطع نازک در چند نقطه عمقی از چاه‌های مورد نظر، بررسی و ارزیابی شده است، انطباق خوبی با اطلاعات پتروفیزیکی دارد. در اشکال ۳ و ۴ نتیجه مطالعه مقطع نازک از سه عمق مختلف در چاه شماره یک نشان داده شده است. حضور رس و سیمان‌های رسی در فضای بین دانه‌های کوارتز و فلدسپات در این شکل قابل مشاهده است.



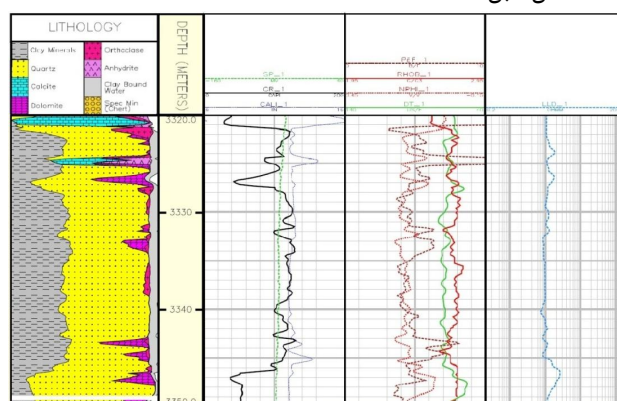
شکل ۳ ماسه سنگ شوربجه، نمونه‌ی مغزه از عمق ۳۲۱۰متری، چاه ۱، میدان گنبدلی، تیغه نازک، نور پلاریزه (XPL)



شکل ۴ ماسه سنگ شوربجه، نمونه‌ی مغزه از عمق ۳۲۱۰متری، چاه ۱، میدان گنبدلی، تیغه نازک، نور عادی (PPL)

## ۳- تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی

جهت تخمین میزان CEC در سازند مورد بررسی، از تخمین‌گر شبکه عصبی MLP سه لایه استفاده شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) بیان ریاضی ساده از مغز انسان بوده و می‌توانند به عنوان ابزاری توانمند در سیستم‌های ورودی و خروجی به کار رفته و پس از آموزش مناسب، با استفاده از ورودی‌های جدید، خروجی مناسب را تخمین بزنند. مهم‌ترین مسئله در رابطه با شبکه‌های عصبی مسئله یادگیری است. متداول‌ترین الگوریتم استفاده شده جهت آموزش شبکه‌های چندلایه با تغذیه پیشرو، روش انتشار بازگشتی است که در سال ۱۹۸۶ توسط راملهارت و مک‌لند ارائه شد [۱۰]. شبکه پس‌انتشار، شکلی از یادگیری تصحیح و خطا است که سعی دارد با حداقل کردن مقدار یک تابع خطا، ورودی‌های داده شده را بر خروجی‌ها منطبق کند. به این صورت که برای تقریب پارامترهای شبکه، مقدار خطا (اختلاف بین مقدار واقعی و مقداری که شبکه پیش‌بینی کرده است) در جهت پس‌رو و از لایه خروجی به سمت لایه‌های میانی و در نهایت لایه ورودی منتشر می‌شود. شبکه طراحی شده شامل هفت مقدار در ورودی بوده و تنها از



شکل ۲ سنگ شناسی بخشی از سازند شوربجه با استفاده از GR, SP, CAL, PEF, PHOB, NPHI, DT و LLD

گذاشته می‌شود، سپس مدل با بقیه‌ی نمونه‌ها آموزش داده شده و از داده‌ی کنار گذاشته شده برای آزمون استفاده می‌شود. این کار برای همه‌ی نمونه‌ها تکرار شده و بدین ترتیب مجموعه‌ی داده‌های آزمون به دست می‌آید. ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از ضریب همبستگی ( $R^2$ ) (معادله ۱) برای سنجش میزان صحت مدل براساس مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده و نیز معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به عنوان معیاری از میزان خطا استفاده شده است (معادله ۲):

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

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

که در آن  $x_{imesas}$  و  $x_{ipred}$  به ترتیب  $i$  امین مقدار اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده است. همچنین  $\bar{x}_{pred}$  و  $\bar{x}_{imesas}$  نیز میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده بوده و  $n$  تعداد داده‌های مورد استفاده است. در ادامه روند اجرا و نتایج به دست آمده از هریک از مدل‌ها توضیح داده شده است.

#### ۴- بررسی ارتباط CEC با ریزش چاه

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، برخی از کانی‌های رسی نظیر اسمکتیت دارای خاصیت جذب آب و انبساط بالایی هستند که این امر می‌تواند منجر به بروز برخی مشکلات در فرآیند حفاری و تکمیل چاه شود. به عنوان مثال حضور چنین رس‌هایی در سازند مورد حفاری، سبب کاهش قطر چاه بر اثر انبساط رس و یا موجب ناپایداری دیواره‌ی چاه و ریزش بخش‌هایی از آن می‌شوند. رس‌های دارای اسمکتیت دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی هستند (بیشتر از ۷۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳)، و به همین دلیل این پارامتر می‌تواند نشانگر خوبی برای تشخیص رس‌های آماسی و زون‌های ریزشی باشد.

قطر سرمته در محدوده‌ی مورد بررسی چاه ۱ برابر ۱۲/۲۵ اینچ و در چاه ۲ برابر ۸/۵ اینچ بوده است که با توجه به لاگ قطرسنجی (شکل ۵) قطر دیواره‌ی مرجع چاه (بخش پایدار دیواره) در بخش‌های پایدار برای چاه ۱ برابر ۱۲/۲۵ اینچ و برای چاه ۲ برابر ۸/۷۵ اینچ در نظر گرفته شده است. به این ترتیب با در نظر گرفتن این مقادیر به عنوان حد برش برای ریزش چاه، درصد نقاطی که در آن‌ها CEC بیشتر از ۷۰ بوده و دیواره ریزش داشته است محاسبه شد.

یک لایه پنهان تشکیل شده است. تعداد نرون‌های لایه میانی به صورت سعی و خطا تعیین شد. به این صورت که مدل با یک نرون آموزش داده شده و سپس RMSE آن محاسبه می‌شود. سپس به نرون‌ها یک واحد اضافه شده و مجدداً مقدار RMSE محاسبه شده و این عمل به قدری تکرار می‌شود تا تعداد نرون مناسب تعیین شود. لذا در این تحقیق پس از آنکه ۳۰ شبکه مختلف اجرا شد، در نهایت تعداد نرون‌های لایه میانی ۱۲ تعیین شد. تابع فعال‌سازی نرون‌های لایه ورودی و پنهانی تانژانت سیگموئید و برای نرون خروجی خطی<sup>۲</sup> انتخاب شده است. همچنین برای آموزش شبکه از الگوریتم لونیگ مارکوارد<sup>۳</sup> استفاده شده است. برای این منظور از داده‌های هفت لاگ چگالی (RHOB)، نوترون (NPHI)، مقاومت عمیق (LLd)، موج فشاری (DT)، قطر سنجی (CAL)، پرتو گاما (GR) و لیتولوگ (PEF) به عنوان ورودی و داده‌های آزمایشگاهی (CEC) به عنوان خروجی مدل استفاده شد. لاگ‌های مورد استفاده پس از انجام آنالیز حساسیت نسبت به CEC انتخاب شدند و همبستگی بالایی با این پارامتر دارند (جدول ۱). لازم به ذکر است که برای ساخت مدل پیشنهادی، از کلیه داده‌های مربوط به دو چاه شماره ۱ و ۲ استفاده شده است. مقادیر مینیمم و ماکزیمم پارامترهای مورد استفاده در مدل‌ها به همراه نماد آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. مقادیر همبستگی محاسبه شده بین لاگ‌های پتروفیزیکی

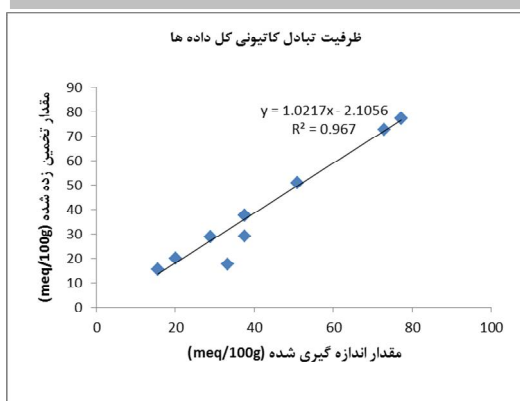
	CEC	NPHI	SP	RHOB	GR	DT	LLd	CAL
CEC	1							
NPHI	-0.346	1						
SP	-0.019	0.297	1					
RHOB	0.119	-0.118	-0.797	1				
GR	0.171	0.071	-0.636	0.739	1			
DT	-0.03	0.571	0.847	-0.731	-0.529	1		
LLd	0.253	-0.371	-0.919	0.811	0.638	-0.763	1	
CAL	0.425	-0.337	-0.818	0.65	0.505	-0.691	0.861	1

جدول ۲. اطلاعات مربوط به لاگ‌های پتروفیزیکی مورد استفاده

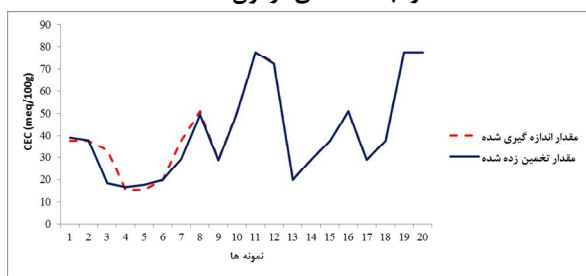
نوع داده	لاگ	Min	Max
ورودی	تخلخل نوترن	0.03841	0.1765
	مقاومت سنجی عمیق	1.057	39.392
	چگالی	2.267	2.762
	صوتی	54.47	88.95
	لیتولوگ	2.191	78.848
	کلیپر	17.858	8.611
	پرتوگاما	37.51	94.23
خروجی	ظرفیت تبادل کاتیونی	15.66	77.26

برای آموزش و آزمون مدل با توجه به کمبود داده‌ها از روش LOOCV<sup>۴</sup> استفاده شد. در این روش یکی از نمونه‌ها کنار

<sup>۲</sup> Pure line  
<sup>۳</sup> Levenberg - Marquard  
<sup>۴</sup> Leave-One-Out Cross-Validation



شکل ۶ نتایج تخمین CEC با شبکه عصبی برای الف) کل داده‌ها و ب) داده‌های آزمون



شکل ۷ مقایسه بین مقادیر CEC اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده برای ۲۰ نمونه از چاه ۱ و ۲

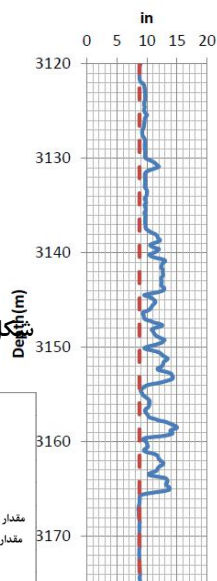
برای تعیین نقاط ریزی چاه در بخش‌هایی که CEC بالای ۷۰ داشته‌اند با استفاده از لاگ قطرسنجی و درصد نقاطی که در آن دیواره‌ی چاه ریزش داشته‌اند محاسبه شده است. همچنین آنجاییکه علاوه بر نوع رس، درصد حجم آن در سازند نیز در میزان ناپایداری دیواره مؤثر است، درصد نقاط ریزی برای مقادیر مختلف حجم رس محاسبه شد (جدول ۳ و ۴). همان طور که در این جداول مشاهده می‌شود، با افزایش حجم رس، میزان تطابق ریزش‌ها با CEC نیز افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که بدون در نظر گرفتن حجم رس، درصد نقاط ریزی برای چاه ۱ و ۲ به ترتیب حدود ۷۵ و ۷۴ درصد می‌باشد. همچنین نتایج شماتیک مقایسه ریزش چاه (لاگ قطرسنجی) و مقادیر CEC به همراه حجم رس در شکل‌های ۸ و ۹ ارائه شده است که از تطابق خوبی برخوردار می‌باشد.

جدول ۳. تغییرات درصد نقاط ریزی چاه با افزایش حجم رس در

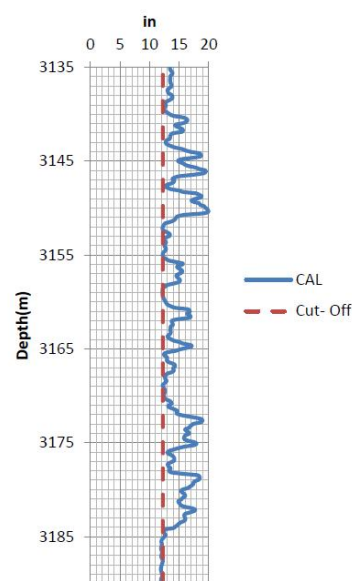
چاه ۱

حداقل حجم رس (%)	درصد ریزش در بخش‌های با CEC بیشتر از ۷۰
۰	۷۵
۵	۸۰
۱۰	۸۱
۱۵	۸۷

چاه ۲



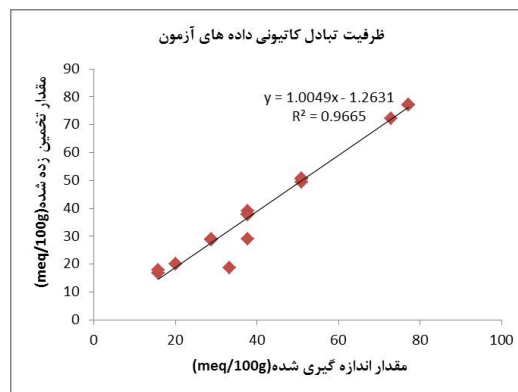
چاه ۱



شکل ۵ لاگ کلیپر و حد برش تعیین شده برای الف) چاه ۱ و ب) چاه ۲

## ۵ - بررسی نتایج

برای تخمین CEC از یک شبکه عصبی MLP سه لایه استفاده شد. شبکه طراحی شده شامل هفت مقدار در ورودی بوده و تنها از یک لایه پنهان تشکیل شده است. تعداد نرون‌های لایه میانی ۱۰ تعیین شد. همچنین از داده‌های آزمایشگاه به عنوان خروجی استفاده شد. برای آزمون مدل همانطور که پیش از این بیان شد با توجه به کمبود داده‌ها از روش LOOCV استفاده شد. بر این اساس با توجه به شکل ۶ مقدار ضریب همبستگی ( $R^2$ ), برای کل داده‌ها برابر ۰/۹۶۷ و مقدار RMSE برابر ۳/۹۷ محاسبه شده است و برای داده‌های آزمون این مقادیر به ترتیب ۰/۹۶۶ و ۳/۸۷ می‌باشد. همچنین مقایسه‌ای بین مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده‌ی آزمایشگاهی برای نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۷ ارائه شده است. بطوری که ملاحظه می‌شود، انطباق خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده به وسیله‌ی تخمین‌گر شبکه عصبی وجود دارد.



رس برای چاه

۲۰	۱۰۰
----	-----

جدول ۴. تغییرات درصد نقاط ریزشی چاه با افزایش حجم رس در

۶- نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای تعیین زون‌های ریزشی چاه براساس پارامتر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ارائه شد. ظرفیت تبادل کاتیونی برای ۲۰ نمونه از دو چاه در سازند ماسه شیلی شورپیجه در میدان گازی گنبدلی در شرق کپه داغ به روش باور در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس به کمک تخمینگر شبکه عصبی مصنوعی، مدلی مناسب برای محاسبه‌ی CEC با لاگ‌های پتروفیزیکی بدست آمد. بدین ترتیب که از لاگ‌های پتروفیزیکی به عنوان ورودی و از نتایج آزمایشگاه به عنوان 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  $RMSE=3/97$  که بیانگر دقت بالای تخمین CEC با این روش است. در ادامه درصد نقاط ریزشی در قسمت‌هایی که دارای CEC بالای ۷۰ بودند، تعیین شد که این مقادیر برای چاه ۱ و ۲ به ترتیب حدود ۷۵ و ۷۴ درصد بدست آمد. همچنین نشان داده شد که با افزایش حجم رس، ریزش دیواره چاه تطابق بهتری با CEC دارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پارامتر CEC می‌تواند به عنوان نشانگر مناسبی برای پیش‌بینی بخش‌های ناپایدار دیواره‌ی چاه پس از عملیات حفاری به کار رود.

۷- مراجع

[۱] افشارحرب، ع.؛ ۱۳۷۳، زمین شناسی کپه‌داغ، انتشارات سازمان زمین‌شناسی.

[2] Kurniawan; 2005, shaly sand interpretation using CEC-dependent petrophysical parameters, PhD dissertation, Louisiana State University.

[3] Murphy, D.p., Chilingarian, G.V., Jalal Torabzadeh, J. ; 1996, Core analysis and its application in reservoir characterization, Developments in Petroleum Science, Volume 44, pp. 105-153.

[4] Josh, M., Esteban, L., Piane, C. D., Sarout, J., Dewhurst, D.N., Clennell, M.B.; 2012, Laboratory characterisation of shale properties, Journal of Petroleum Science and Engineering, pp.107-124.

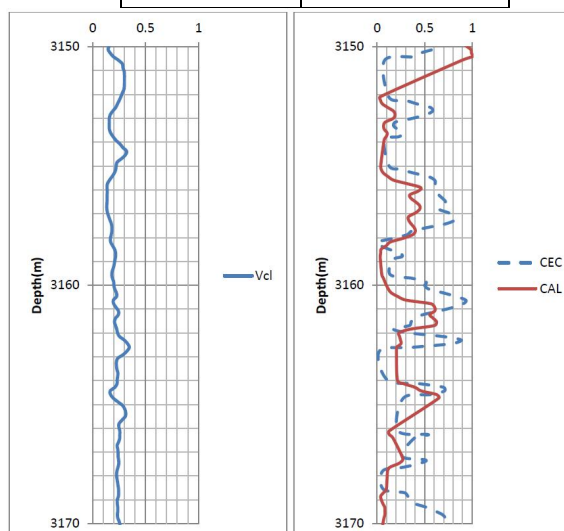
[5] Richards, L.A.; 1954, Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils, United States department of agriculture, Agriculture Handbook No. 60.

[6] Ipek, G.; 2002, Log-derived Cation Exchange Capacity of Shaly Sands, PhD dissertation, Louisiana State University.

[7] Clavier, C., Coates, G., Dumanoir, J.; 1984, Theoretical and experimental bases for the dual water model for interpretation of shaly sands. Society of Petroleum Engineers Journal, Volume 24, pp.153-168.

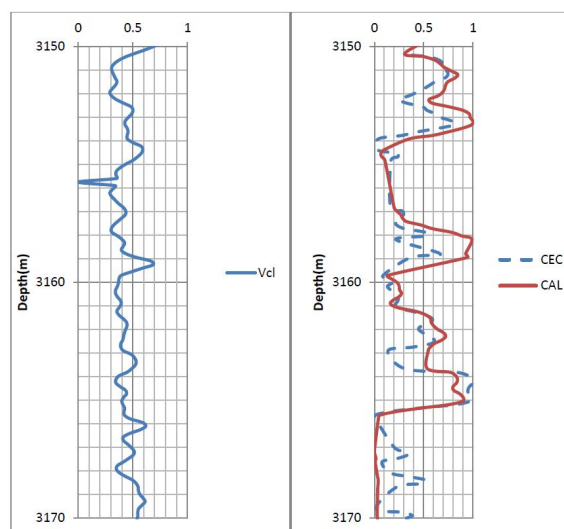
چاه ۲

حداقل حجم رس (%)	درصد ریزش در بخش‌های با CEC بیشتر از ۷۰
۰	۷۴
۵	۸۲
۱۰	۸۲
۱۵	۸۵
۲۰	۸۷
۵۰	۱۰۰



شکل ۸ مقایسه‌ی شماتیک لاگ کلیپر با CEC به همراه حجم رس برای چاه ۲

چاه ۱



شکل ۹ مقایسه‌ی شماتیک لاگ کلیپر با CEC به همراه حجم رس برای چاه ۱

Elsevier science publishers B.V, printed in the Netherlands.

[12] Carroll, D. ; 1959, Ion exchange in clays and other minerals, Geological Society of America Bulletin 70, Volume 6, pp.749-780.

[13][http://www.terraGIS.bees.unsw.edu.au/terraGIS\\_soil/sp\\_cation\\_exchange\\_capacity.html](http://www.terraGIS.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_cation_exchange_capacity.html)

[8] Worthington, P.F.; 1985, the evolution of shaly sand concepts in reservoir evaluation. The Log Analyst, Volume 26, pp.23-40.

[9] National Iranian Oil Company; 2003, Gonbadli study, Shurijeh Formation.

[10] Demuth, H. Beale, M.; 2002, Neural network toolbox for use with MATLAB, User's guide, Version 4.

[11] Serra, O.; 1984, Fundamental of Well-Log Interpretation - The Acquisition of Logging Data,