Archive of SID

مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱ www.Reservoir.ir

بررسی روش‌های تخمین مینرالوژی در اکتشاف نفت

محمدجواد مجلسی کوپایی[۱]، بهاره هدایت[۲]، بهزاد تخم‌چی[۳]، محمدرضا رضایی[۴]، نادر فتحیان‌پور[۵]
اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، داشکده مهندسی معدن، اتاق ۶۷
mj.majlesi@mi.iut.ac.ir

چکیده

مینرالوژی در تعیین بسیاری از پارامترهای مکانیک سنگی نظیر چقرمگی (Toughness)، تعیین محل مناسب برای تحریک چاه، ایجاد شکستگی‌های هیدرولیکی، تعیین میزان TOCدر میدان‌های شیل‌گازی و مدل‌سازی مخزن کاربرد دارد. امروزه بحث تعیین مینرال‌ها به خصوص درصد آن‌ها و آرایش آنان زمینه‌ی فعالیت بسیاری از متخصصین اکتشاف نفت شده است. از طرف دیگر، نداشتن الگوی مناسب جهت طبقه‌بندی روش‌های تخمین، همچنین مطالعات فراوان در این مبحث ما را بر آن داشت که با مطالعه‌ی سابقه‌ی تحقیق راه‌کاری را جهت منظم‌سازی این مبحث ارائه دهیم.این مقاله بر اساس طبقه‌بندی کلیه روش‌ها به دو دسته‌ی تخمین مستقیم و تخمین غیر مستقیم بنا نهاده شده است. روش‌های مستقیم با استفاده از داده‌های سخت Hard Dataو روش‌های غیر مستقیم با استفاده از داده‌های نرم Soft Dataتخمین می‌زنند. هر کدام از دسته‌ها روش‌های گوناگونی را شامل می‌شوند بدین صورت که شیوه مستقیم شامل سه روش کلی استفاده از تصویر مقطع، استفاده از آنالیز های دستگاهی و روش‌های عددی است و شیوه‌ی غیرمستقیم شامل سه دسته‌ی استفاده از نگارهای پتروفیزیکی، استفاده از نگارهای ژئوشیمیایی و لرزه‌نگاری است. که سعی شده است از اولین روش‌ها و پایه‌ای‌ترین روش‌ها و دستگاه‌ها تا به‌روزترین آنان که در علوم نفتی استفاده می‌شوند توضیح داده شود. همچنین مدل آنایز هر دستگاه و پایه‌ی ریاضی آن توضیح داده شده است که برای مطالعات آتی بسیار با اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: تعیین کانی، کانی رسی، مینرالوژی، لاگ ژئوشیمیایی، پتروفیزیک

۱-دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲-دانشجویکارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳-دانشیار، دانشگاه صنعتی شاهرود
۴-دانشیار، دانشگاه صنعتی کرتین
۵-دانشیار، دانشگاه صنعتی اصفهان

www.SID.ir

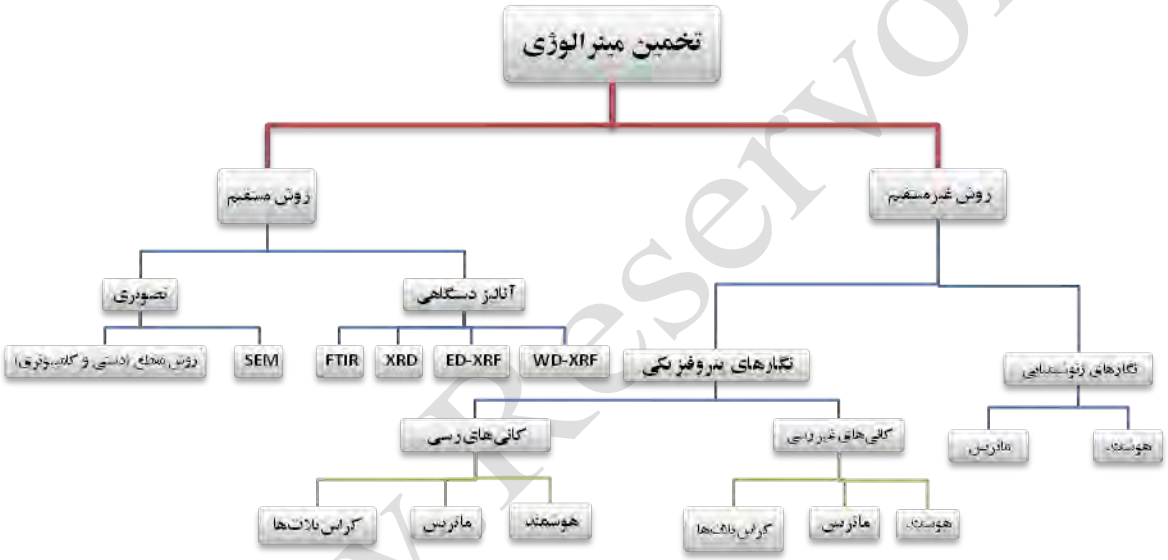
Archive of SID

۱- مقدمه

تخمین مینرالوژی یکی از اساسی‌ترین پایه‌ها جهت بررسی پتروفیزیکی محسوب می‌شود. از اساسی‌ترین قدم‌ها برای ساخت مدل‌های نفتی مطالعه‌ی دقیق سازند، سنگ و مینرال از نظر جنس ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی آن است. بررسی مینرالوژی وابسته به مقیاس می‌باشد. مثلاً مطالعه‌ی آن می‌تواند در فاصله‌ی ۲ سنسور با فاصله‌ی ۱ متر باشد، از طرفی می‌تواند به اندازه‌ی یک مقطع،کوچک باشد؛ که بر اساس جایگاه مطالعه تعیین می‌شود. می‌توان جهت تبدیل اندازه‌های کوچک به بزرگتر روش‌های متفاوتی(upscaling) را به‌کار برد که مطالعات فراوانی در این زمینه انجام شده‌است.

این پژوهش از مطالعات پیشینی که بر روی روش‌های تخمین مینرالوژی است گردآوری شده است. سپساین روش‌ها براساس مدل استفاده به دسته‌های با استفاده از مغزه که شیوه‌ی مستقیم هستنتد، و روش‌های بدون استفاده از مغزه که غیرمستقیم هستند تقسیم بندی شدند و در مورد هر کدام مطالعاتی که از قدیم تا کنون در این راستا صورت گرفته‌است، توضیح داده‌شده است.

از این رو، روش‌ها در فلوچارت زیر(شکل۱) جهت راحتی ارائه توسط نویسنده دسته‌بندی‌شده است.



شکل(۱): فلوچارت روشهای تخمین مینرالوژی

۲- روش‌هایتخمین مینرالوژی با استفاده مستقیماز مغزه

پیشینه‌ی تخمین مینرالوژی به اوایل قرن پیش بازمی‌گردد که سنگ‌شناسان با مشکل جدیدی که تبدیل آنالیز شمیایی سنگ به غلظت کانی بود روبه‌رو شدند، از پیشگامان این بخش کراس(Cross)[۱] و همکاران بودند که در سال ۱۹۰۲الگویی را جهت تبدیل ترکیب شیمیایی عناصر به کانی‌های استاندارد بدون آب پیشنهاد کردند که به نام CIPW (اختصاری از حروف اول اسامی نویسندگان)، ترکیب نرمال یا ترکیب ساده‌ی نرمال معروف شد.

در سال ۱۹۶۵کلسی(Kelsey)[۲]و همکاران توصیف مناسبی از الگوریتم CIPW را ارائه دادند و پس از آن در سال ۱۹۶۸ برنامه‌ی فورترنی بر اساس مقاله‌ی کلسی توسط سرون(Cerven) [۳] و همکاران نوشته شد، گرچه این برنامه در مواردی از حالت طبیعی می‌توانست خارج شود که از جمله‌ی اینموارد می‌توان به سنگ‌های رسوبی ریزدانه اشاره کرد. بنابراین در این

www.SID.ir

Archive of SID

حالات برای محاسبه‌ی ترکیب سنگ، نیاز به وجود همخوانی بین ترکیب کانی ناشناخته با ترکیب شیمیایی شناخته شده شیمیایی است که این همخوانی لزوماً قانونمند نیست.

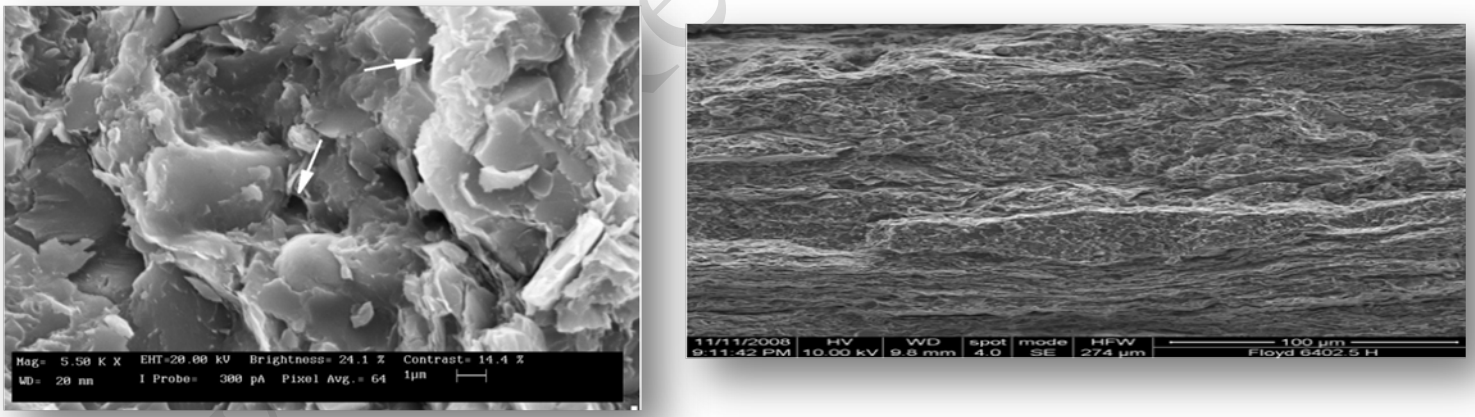
روش مستقیم تخمین مینرالوژی که با استفاده از مغزه انجام می گیرد، به سه دسته‌ی کلی استفاده از تصویر، استفاده از دستگاه و روش‌های عددیتقسیم‌بندی می‌شوند. در این بخش از مقاله به بررسی روشهای مذکور پرداخته شده است.

۲-۱- روش‌های مبتنی بر مطالعات تصویری

در ابتدا از روش‌های گرافیکی برای مطالعه‌ی مستقیم مینرالوژی استفاده می شد. در این روش با مطالعه‌ی نمونه‌ی برداشت شده در زیر میکروسکوپ،سعی بر آن بود که کانی‌ها را با توجه به دقت تفکیک میکروسکوپ تا آنجا که می‌شد مشخص کردولی به نوعی کاملاً کیفی بود و فقط در آن می‌توانستند نوع کانی را مشخص کنند؛ پس از آن با پیشرفته‌تر شدن میکروسکوپ‌ها و با روی کار آمدن کامپیوتر دقت کار این روش‌ها به‌صورت نیمه کمی تا کمی در آمد، تا جایی که می‌توان با تهیه‌ی یک مقطع از مغزه‌ی حفاری بدست آمده دقیقاً نوع کانی‌های آن مقطع و درصد آن‌ها را تعیین کرد.

میکروسکوپ‌های الکترونی یا SEM(Scanning Electron Microscope)دریچه‌ای نو از علم و تکنولوژی را به ارمغان آوردند و به‌کارگیری آن‌ها در علوم زمین و نفت سبب گشودن دریچه‌های بسته‌ای از علم شد؛ خصوصاً در ساختارهایی که بسیار ریز هستند مانند شیل‌های گازی که حفره‌های بسیار ریزی در حد نانومتر تا میکرومتر دارند، کاربرد پیدا کردند. تصویری از روش SEM را در شکل (۲)می‌توان مشاهده کرد. این تصاویر برگرفته شده از مقاله‌ای است که سوندرگلد(Sondergeld) و همکارانش[۴] در سال ۲۰۱۰ جهت مطالعات بسیار دقیق بر روی ساختارهای بسیار ریز شیل‌های گازی ارائه کرده‌اند.

دستگاه QEMScan(Quantitative Evaluation of Minerals by SCANning electron microscopy)با بهره‌گیری از میکروسکوپ الکترونی بسیار دقیق و کامپیوتری پیشرفته با ترکیب روش‌های گرافیکی نوین و استفاده از پردازش تصویر مقطع، درصد کانی‌ها را با دقت مناسبی تخمین می‌زند.



شکل (۲): تصاویری از دو نمای نزدیک‌تر و دورتر توسط دستگاه SEM، شکل سمت چپ نمای نزدیک‌تر است که حفره‌های تخلخل را در آن‌ها می‌توان مشاهده کرد. . (برگرفته از مقاله‌ی سوندرگلد ۲۰۱۰ [۴])

۲-۲- روش‌های مبتنی بر آنالیز دستگاهی

این روش‌ها دسته‌بندی‌های متفاوتی را دارا می‌باشند و روش‌های کار آن‌ها نیز باهم متفاوت هستند اما در مباحث مطالعات نفتی به علت اینکه درصد عناصر گران‌بها و همچنین فلزات مختلف برای ما آن‌چنان حائز اهمیت نیستند، اصولاً سعی

www.SID.ir

Archive of SID

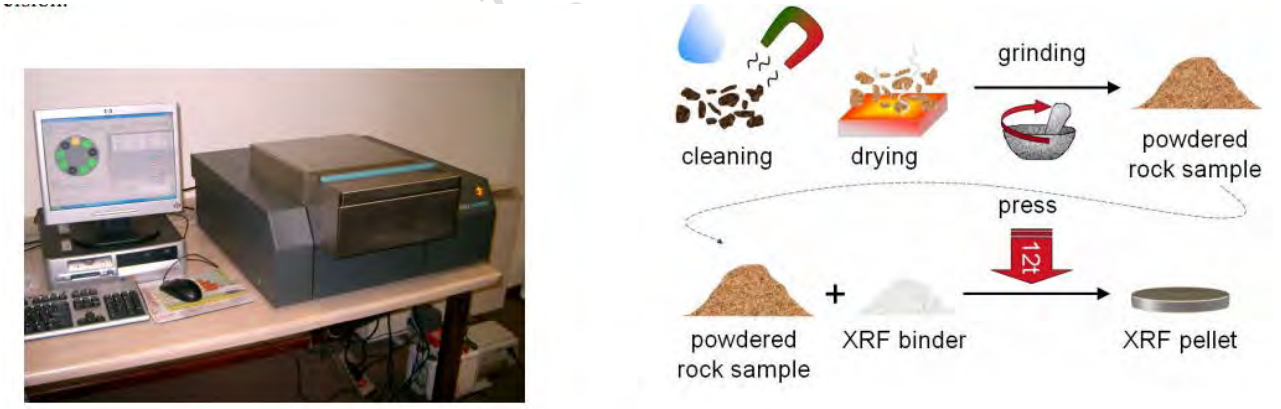
می‌شود بیشتر از آنالیز XRD(X-Ray Diffractions) و XRF(X-Ray Fluorescence)یا دستگاه‌هایی مبتنی بر اصول آن‌ها استفاده شود.

روش XRD که نسبتاً زمان زیادی را جهت آنالیز نمونه صرف می‌کند، پاسخ را به صورت نیمه کمی به ما می‌دهد و نوع کانی‌های موجود را با توجه به آنچه که در بانک جهانی نرم‌افزار کامپیوتری آن است محاسبه کرده و به ما نشان می‌دهد. مزیت این روش این است که به صورت مستقیم کانی‌های موجود در نمونه و درصد آن‌ها را بیان می‌کند. همچنین روزانه این بانک کانی جهانی به‌روز می‌شود و با تشخیص کانی جدید که شکست و زاویه‌ی جدیدی را بازتاب می‌کند، بهبود می‌یابد. اما از بزرگترین مشکلات آن می‌توان به پاسخ آنالیزها اشاره کرد که به صورت نیمه‌کمی است و پاسخ ها با عدم قطعیت زیاد همراه است. از دیگر مشکلات این روش، وقت‌گیر بودن آنرا می توان عنوان نمود.

روش دیگر موجود، روش XRF است که با اندازه‌گیری درصد عنصرها، آن‌ها را می‌تواند با تقریب خوبی به داده‌های کانی‌شناسی تبدیل کند. نتایج بدست آمده از این روش با روشXRDکاملاً قابل قیاس هستند. از مزیت های آن می‌توان به سرعت بالای اندازه‌گیری و از مشکلات آن می‌توان به اندازه‌گیری غیرمستقیم کانی‌ها اشاره کرد.

از معایبی که آلبرتو در مقاله‌ی سال ۲۰۱۱[۵] خود برای آنالیزهای دستگاهی XRD و XRF نام برده است، غیر قابل حمل بودن آن‌ها است که برای حل این مشکل از دو دستگاه ED-XRF(Energy Dispersive X-Ray Fluorescence) و WD-XRF(Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence) استفاده کرده است و با استفاده از آن‌ها در میدان نفتی عربستان سعودی توانسته در حین حفاری مینرالوژی، جنس سنگ و چینه‌ی منطقه را تشخیص داده و مسیر حفاری و بسیاری از پارامترهای کاربردی دیگر را تعیین کرده است.

هر ماده‌ای دارای یک اثرانگشت شدت اشعه‌ی X در برابر زاویه‌ی پراکندگی است که برای شناسایی ساختار اتمی کریستالی آن مناسب است. این اثرانگشت در بانک اطلاعاتی ICDD-PDFکه شامل ۲۹۱۴۴۰ ماده آلی و معدنی است قابل شناسایی است. در مقاله‌ی آلبرت مارسالا و همکارانش[۵] در کمپانی سعودی آرامکو(Saudi Aramco) روش ED-XRF به عنوان بهترین ابزار جهت اندازه‌گیری مینرالوژی به صورت حین عملیات(While Drilling) معرفی شده است که می‌تواند در ۲۰ دقیقه تمامی نتایج ژئوشیمیایی را با دقتی بسیار بالا به ما بدهد. چگونگی آماده سازی نمونه و همچنین دستگاه ED-XRF در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل (۳):تصویری از مراحل آماده‌سازی و دستگاه قابل حمل ED-XRF(تصویر برگرفته از مقاله‌ی آلبرت مارسالا ۲۰۱۱[۵] است)

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳- روش عددی تبدیل فوریه طیف مادون قرمز(Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

یکی دیگر از روش‌های متفاوت تعیین مینرالوژی نمونه روش تبدیل فوریه طیف مادون قرمز است. ۱۶ کانی با توجه به این روش قابل شناسایی و کمی سازی هستند. نتایج این روش نیز با روش XRD کاملاً قابل قیاس است. اما مزیت‌های این روش در این است که سرعت انجام این روش پس از آماده سازی نمونه ۱ ساعت است در حالی‌که در روش XRD این روال ممکن است به ۲ روز نیز بیانجامد.

روش FTIR بر اساس پیوند کووالانسی بین اتم‌های سنگ‌های رسوبی که فرکانسی بین ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ عدد بر سانتی‌متر را دارا می‌باشند، بنا نهاده شده است. به علت اینکه این پیوند در بین اتم‌های کانی‌های مختلف به صورتیکتا است، این روش می‌تواند روش مناسبی جهت شناسایی جذب طیف پیوند کانی‌ها و سرانجام شناسایی کانی شود. اتم‌هایی که یک کانی یکتا دارا می‌باشد، در فرکانس رزنانسی پیوند کووالانسی خودشان انرژی را جذب می‌کنند، قسمتی از انرژی که جذب می‌شود به‌نام جذب شده و قسمتی از انرژی که رد می‌شود، گذرنده نام‌گذاری می‌شود. در روش FTIRمقدار گذرا اندازه‌گیری می‌شود و با آن مقدار جذب شده را حساب می‌کنند و سپس کانی را تشخیص داده و توسط نرم‌افزار درصد وزنی آن محاسبه می‌شود.

۳-روش‌های تخمین مینرالوژی مبتنی بر عدمتماس فیزیکی با مغزه

برای تخمین مینرالوژی به صورت غیر مستقیم و بدون استفاده از مغزه، روشهای مختلفی ارائه شده است که در ادامه به بررسی این روشها پرداخته خواهد شد. اصل و اساس این روش‌ها استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی است که مبنای آن‌ها ارزان تمام شدن آن‌هاست، و علت آن نیز عدم برداشت مغزه از چاه است. اما باید به این نکته اشاره کرد که هرچند این روش‌ها غیر مستقیم هستند، اما برای ارزیابی و ارزش‌دهی نحوه‌ی محاسبه‌ی آن‌ها، نیاز به مقایسه‌ی آن‌ها به کمک مغزه و روش‌های ذکر شده در بخش قبل است.

در این مقاله، به روش استفاده از نگاره های پتروفیزیکی با توجه به لزوم مطلب به‌صورت کامل‌تری پرداخته شده و روش نگارهای ژئوشیمیایی در تخمین مینرالوژی با توجه به دسترسی کمتر آنها به اختصار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

روش اصلی و اولیه، بدون استفاده از مغزه که جهت جداسازی کانی‌ها پیشنهاد شد، روش کراس پلات‌هاست. این روش بر اساس رابطه‌ی گرافیکی بین حداقل دو نمودار تعیین می‌شود. این نمودارهای عمود برهم هرکدام باید رابطه‌ای با لیتولوژی داشته باشند.

در این قسمت، جداسازی کانی‌های رسی از غیر رسی که با پلات‌های متفاوتی انجام می‌شود، مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۳- تعیین ترکیب کانی‌شناسی برای کانی‌های غیر رسی با استفاده از کراس پلات ها

قبل از استفاده از این کراس پلات‌ها لازم است که نگارهای نوترون از نظر شیل و هیدروکربن تصحیح شوند.

در این کراس پلات‌ها سه منحنی مربوط به لیتولوژی‌های آهک، ماسه و دولومیت ترسیم شده‌اند که به آن‌ها خطوط ماتریکس گفته می‌شود. جداشدگی خطوط ماتریکس در این کراس پلات‌ها خوب بوده و از این رو برای تعیین لیتولوژی مطلوبند. برای مشخص کردن درصد کانی‌ها به سادگی، چگالی و تخلخل نوترون، پلات شده و فاصله‌ی نقطه از خطوط ماتریکس نشان‌گر در صد کانی‌هاست. لازم است که نقطه‌ی پلات شده در بین خطوط مربوط به ماسه سنگ و دولومیت واقع شود. نقاط خارج شده از این محدوده حاکی از وجود کانی‌هایی غیر از این دولومیت، آهک و کوارتزند. در صورتی‌که نقطه‌ی پلات شده در محدوده‌ی ذکر شده واقع شود، می‌توان حداقل ۳ ترکیب کانی‌شناسی مختلف را به‌دست آورد. انتخاب لیتولوژی صحیح به سایر اطلاعات زمین شناسی وابسته است. سه کراس‌پلات مختلف نوترون- چگالی وجود دارند که تنوع آن‌ها ناشی از انواع مختلف نگارهای نوترون است. برای هر نوع کراس‌پلات‌های ذکرشده، دو چارت مختلف وجود دارد که هرکدام مربوط به

www.SID.ir

Archive of SID

چگالی آب سازندی متفاوتند. پس در مجموع ۶چارت موجود است که وابسته به نوع نگار نوترون و چگالی آب سازندی است (چهرازی و رضایی، ۱۳۸۱)[۶]. در نمونه‌ای کراس پلات‌های نوترون-چگالی ارائه شده است.

روش دیگری نیز وجود دارد که از ترکیب ۳ نگار تخلخل استفاده می‌کنند. اساس این روش در حذف اثر تخلخل است و به‌نام کراس‌پلات M-N معروف است. که در آن :

رابطه شماره (۱):
$$M = \left[\frac{\Delta tf - \Delta t}{\rho b - \rho f}\right] * 0.01$$

رابطه شماره (۲):
$$N = \left[\frac{\emptyset NF - \emptyset N}{\rho b - \rho f}\right]$$

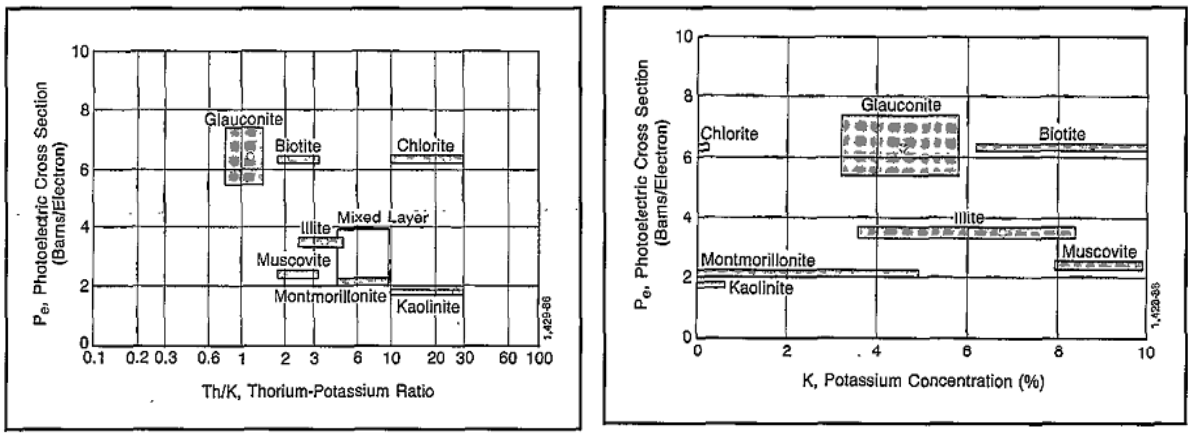
با این فرمول‌ها اثر تخلخل حذف می‌شود و فقط اثر لیتولوژی باقی می‌ماند. (بورکBurke۱۹۶۹)[۷] البته این روش مشکلاتی هم داشت که برای یک نقطه تعداد زیادی لیتولوژی با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت به‌وجود می‌آمد که باید با اطلاعات زمین‌شناسی در منطقه، بهترین انتخاب می‌شد. یکی از بهترین کاربردهای این پلات مشخص کردن تخلخل ثانویه است. زیرا تخلخل ثانویه Mرا تغییر می‌دهد اما بر Nاثر نمی‌گذارد.

یکی دیگر از روش‌های قدیمی روش MIDاست که مشابه کراس‌پلات‌های بالاست و از بازگویی این روش صرفه‌نظر می‌کنیم.

یکی دیگر از نگارهای مورد استفاده در تعیین لیتولوژی، نگار Peیا فاکتور فتوالکتریک است، که تفاوت آن با نگارهای مذکور در این است که لیتولوژی بخش دوم نگارهای بالا بود، اما در این‌جا بخش اصلی نگار در درجه‌ی اول لیتولوژی است و تا حدود کمتری به تخلخل حساس است. (رضایی، ۱۳۸۹)[۸]

۳-۲- تعیین ترکیب کانی‌شناسی برای کانی‌های رسی با استفاده از کراس پلات ها

میزان تأثیر رس‌ها بر خواص مخزنی و نگارها، تابع نوع کانی‌های رسی موجود در سازند است. تشخیص انواع کانی‌های رسی موجود می‌تواند در ارزیابی سازند و مطالعات رسوب‌شناسی و دیاژنز به‌کار رود. لازمه‌ی کاربرد یک نگار در تعیین کانی‌های رسی این است که پاسخ نگار در درجه‌ی اول تابع نوع کانی رسی باشد. از میان نگارهای مرسوم هیچ‌کدام چنین خاصیتی را ندارند. از این‌رو نمی‌توان مستقیماً از این نگارها برای تعیین کانی‌های رسی استفاده کرد و به‌همین دلیل در این موارد پارامترهای دیگری که وابسته به نوع کانی رسی هستند از نگارها محاسبه شده و برای تعیین کانی رسی به‌کار می‌روند و یا از تلفیقی از نگارها استفاده می‌شود. برای مثال می‌توان نگارهای Pe،U،Thو Kرا نام برد (کویرینQuirein ، ۱۹۸۲)[۹].دو چارت در شکل(۴) روشی را برای جداسازی کانی‌های رسی با استفاده از نگارها مشخص کرده است.



شکل (۴): مشخص کردن مینرالوژی و نوع کانی رسی توسط نگارهای فتوالکتریک و گامای طبیعی (شولومبرژه، ۲۰۰۰)

www.SID.ir

Archive of SID

یک روش جانشین برای کراس‌پلات‌های متعدد این است که پاسخ نگارها را به‌صورت ماتریس با درصد عناصر مرتب کنیم. اولین مرحله از این روند به‌وسیله‌ی فلام و پیری در سال ۱۹۸۱ بیان شده‌است. آنان میزان پرتوهای گامای ابزار اسپکترومتری نوترون‌های پالسی را با آنالیزهای شیمیایی مغزه برای تعیین دقیق لیتولوژی سازند کالیبره کرده‌اند، در حال حاضر نیازی با این کالیبراسیون نیست، زیرا تکنیک فعال‌سازی Alابداع شده و نیز کارهای مختلف توسط هرون و همکارانش در سال ۱۹۸۶ صورت گرفته‌است. در حال حاضر با فراهم بودن داده‌های فعال‌سازی Al، اسپکترومتری گامای القایی و نیز اسپکترومتری گامای طبیعی می‌توان به سهولت غلظت عنصری بعضی از عناصر مهم را تعیین کرد. پس از آن غلظت عنصر را به درصد کانی‌شناسی تبدیل می‌کنیم. این‌کار با ساخت چندین معادله‌ی هم‌زمان صورت می‌پذیرد. از آنجا که تشخیص بیشتر از صد کانی ممکن است در نگاه اول غیر ممکن به‌نظر برسد، اما اغلب دیده می‌شود که سازندها بین ۴ تا ۶ کانی غالب دارند. کلید اصلی در تفکیک تغییرات لیتولوژی، اندازه‌گیری عناصر مهم است.

مشکل دوم مربوط به متغیر بودن ترکیب شیمیایی است. این امر به‌ویژه در مورد رس‌ها صادق است وگرنه ترکیب کانی‌هایی مانند دولومیت، کوارتز و کلسیت کاملاً مشخص است. هرون در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد می‌کند که تغییرات ترکیبات کانی‌های رسی به‌وسیله‌ی تیپ رس و نظم شبکه‌ی داخلی آن‌ها تعیین می‌شود. غلظت عنصری به‌دست آمده برای توصیف کانی‌های رسی در ماسه‌های شیلی جنوب آمریکا، در توصیف کانی‌های یکسان در سایر نقاط جهان نیز قابل استفاده است.

این روش‌ها توسط نگارهای ژئوشیمیایی که قابلیت ثبت غلظت عناصر مختلف را دارا می‌باشند، انجام می‌گیرد که در ادامه مقاله به آن پرداخته خواهد شد.

۳-۳- روش‌های آماری برای آنالیز سنگ شناسی

روش ریاضی که در اینجا استفاده می‌شود، ابزار آنالیز استاندارد چندمتغیره ساده است که برای هر شخصی که با نگارها در کامپیوتر کار می‌کند آماده است. در سال‌های اخیر به علت پیشرفت‌های شگرفی که در صنعت کامپیوتر و ریزپردازنده‌ها انجام شده است، تقاضای استفاده از این‌گونه روش‌ها، منطبق بر برنامه‌های کامپیوتری افزایش یافته‌است. نشانه‌های مشخصی از عوض شدن روش‌ها و شکوفایی کامپیوتری شدن علوم زمین را در بخش پتروفیزیک مجله‌ی پرطرفدار ژئوبایت(Geobyte)که تحت نظارت الفیک(Elphick) چاپ شد می‌توان مشاهده کرد.

استفاده از روش‌های آمار چندمتغیره و به کارگیری بازشناخت الگو و طبقه‌بندی در چاه‌نگاری در منابع پراکنده‌ای انجام شده است. دووتن(Doveton)در سال ۱۹۸۶[۱۰] یک بخش از کتاب خود رابه توضیح در مورد آنالیز ریاضی و شناخت الگوها در نگارهای چاهی پرداخت و هیض(Hayes) در سال ۱۹۸۹[۱۱] مروری بر روی روش‌های آماری و باشناخت الگو در رساله‌ی دکتری خود انجام داد. الک(Elek) در سال ۱۹۸۸[۱۲] نشان داد که چگونه روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی را می‌توان برای منطقه‌بندی و انطباق در چاه‌ها به‌کار بست. بوش(Busch)[۱۳]و اندرسون(Anderson) [۱۴] به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۵ و ۱۹۸۸ از تابع آنالیز تمایز را در طبقه‌بندی سنگ شناسی چاه‌ها استفاده کردند. تکنیک‌های دیگری نظیر آنالیز خوشه‌بندی توسط رابینسون(Robinson) و ریوز(Reeves) در سال ۱۹۸۹[۱۵] به‌کار بستند و گریفیت(Griffiths) در سال ۱۹۸۹[۱۶] روش تئوری فازی را به‌کار بست و در سال ۱۹۹۰ ماتیاز(Matyas) [۱۷] روش مقیاس چندبعدی کروسکال(Kruskal) را به‌کار گرفت.

۳-۳-۱- به‌کار گیری خوشه‌بندیو کلاس‌بندی(Classifying&Clustering)

روش‌های معکوس سازی که تا کنون بحث شد به نام روش استقرایی یا روش بالا-پایین شناخته شده است، که ترکیب کانی‌شناسی به صورت نتایجی پیاپی که توسط کاربر تنظیم می‌شود مدل می‌شود. روش بهبود یافته‌ای از این روش، روش

www.SID.ir

Archive of SID

قیاسی است که به روش پایین-بالا معروف است که در آن استنتاج بر اساس الکتروفاسیس است که به صورت مستقیم با الگوی مشاهده شده در نگارها در ارتباط است. تشخیص بین خصوصیات گروه نگارها صورت می‌گیرد و سپس از آن‌ها برای دسته‌بندی پاسخ نگارها استفاده می‌شود. اصل این روش توسط سرا و ابوت(Serra & Abbott)[۱۸] درسال ۱۹۸۰ بنا نهاده شد که روش الکتروفاسیس(electrofacies)نامگذاری شد، و روشی دستی بر اساس شکل‌های ساده است. . مفهوم الکتروفاسیس این است که با استفاده از نگارهای مختلف یک لایه را از لایه‌های مجاور تفکیک شود. بنابراین n اندازه‌گیری نگار در هر عمق را می‌توان به صورت نقطه‌ای در فضای n بعدی تصور کرد. دسته شدن نقاط، نشانگر زون‌هایی است که رخساره‌ی یکسانی دارند.

وسیله‌ی آماری حل این مسأله از پایگاه داده‌ای وسیعی برای بیش از صد رخساره که تا بیش از نه اندازه‌گیری مختلف را به‌کار می‌برند، برخوردار است.(دلفینرDelfiner، ۱۹۸۴) به‌جای استفاده از کراس‌پلات‌های دوبعدی، هرکانی یا الکتروفاسیس در فضایn بعدی پاسخ نگارها تعریف می‌شود. برای فهم این روش باید گفت که پاسخ ابزارهای مختلف برای هرکانی به صورت دوتایی استفاده می‌شود. هر لیتوفاسیس یا هرکانی در هریک از کراس پلات‌ها، در ناحیه‌ای خاص پلات می‌شود که ممکن است با کانی‌های دیگر هم‌پوشانی داشته‌باشد. برای اینکه تمام ترکیبات دوتایی از nنگار را دید، باید n*(n-1)/2کراس‌پلات ترسیم کنیم.

این خوشه‌بندی به خودی خود یک روش مفید از خلاصه کردن داده‌های نگار هستند. برای لیتولوژی این داده‌ها باید به اندازه‌ی کافی زیاد باشند، یا اینکه از داده‌های مغزه جهت برچسب زدن آن‌ها استفاده کرده، و بعد از این داده‌ها برای نگارهایی که مغزه ندارند، استفاده کنیم.

شبکه‌های عصبی می‌توانند به عنوان شبیه‌سازی در کلاس‌بندی یا خوشه‌بندی استفاده گردند. در کلاس‌بندی شبکه به گونه‌ای برای تشخیص رخساره‌ها در فواصل مختلف آموزش داده می‌شود، که این رخساره‌ها با اطلاعات قبلی نام‌گذاری شده‌اند. زمانی‌که داده‌ها آموزش داده می‌شوند، می‌توانند با به‌کارگیری شبکه‌های مختلف در مکان‌های دیگر، به‌کار گرفته شوند.

این دو روش -خوشه‌بندی و کلاس بندی- جزء روش‌های بازشناخت الگو محسوب می‌شوند.

روش بازشناخت الگو به عنوان یک روش مکمل با به‌کارگیری انسان و ماشین به‌کار می‌رود.

۳-۳-۲- به‌کارگیری روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (روش لیتوفاسیس اتوماتیک)

روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی(Principal Component Analysis)، روشی است که با کم کردن بعد آنالیز استفاده از نگارهای چندتایی را ساده می‌کند. محورهای این فضا ترکیبی خطی از نگارهاست که به صورت سیستماتیک اطلاعات را جذب می‌کند و نویزها را حذف می‌کند.

پس از آن از روش خوشه‌بندی جهت مشخص کردن ابر نقاط استفاده می‌شود و سپس روش‌های هوشمند می‌توانند بر اساس زمین‌شناسی منطقه و مغزه‌های مشاهده شده در خصوص قطعیت داده‌ها به ما کمک کنند.

۳-۴- روش‌های مبتنی بر چاه‌نگارهای ژئوشیمیایی

با معرفی ابزارهای چاه‌نگاری هسته‌ای تغییر بزرگی در کاربرد زمین‌شناسی نگارها به‌وجود آمد. نگارهای ژئوشمیایی از حدود ۳۰ سال پیش در زمان نگار گاما و نگارطیف گامای نوترون القایی به‌وجود آمدند. از آن زمان نگارهای ژئوشیمیایی دست‌خوش تغییرات فراوانی شدند و پیشرفت علمی فراوانی چه در زمینه‌ی اندازه‌گیری و چه در زمینه‌ی تفسیر در آن‌ها به‌وجود آمده‌است. (گالفوردGalford ۲۰۰۹)[۱۹] اصول آن توسط هروتزوگ(Hertzog)[۲۰] در دهه ۱۹۷۰ پایه گذاری شده و با فعالیتهای رایت و دوهرتی(Write & Doherty) در دهه ۱۹۸۰ در زمینه حداقل مربعات در کامپیوتر برای اختصاص دادن

www.SID.ir

Archive of SID

اعداد در ارتفاع پالس طیف به عنصری خاص و پس از آن استفاده از حل‌کننده‌ی کمینه‌ی خطا در تفسیر نگارها برای مینرالوژی ادامه یافت.

ابزار نگار ژئوشیمیایی (GLT)شولومبرژه از سه نگار هسته‌ای که در یک ابزار جمع شده‌اند استفاده کرده و غلظت ۱۰ عنصر را اندازه‌گیری می‌کند که عبارتند از: پتاسیم، توریم، اورانیوم، آلومینیوم، سیلسیوم ، کلسیم، آهن، سولفور، تیتانیوم و گالادیوم.

پس از آن با رواج روابط غیرخطی و استفاده از شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک، روش‌ها نوین‌تری جهت بدست آوردن مینرالوژی از داده‌های نگار ژئوشیمیایی مرسوم شد. در سال ۱۹۹۵ گونکالوز و هاروی کاربرد شبکه‌های عصبی چند لایه‌ای و روش‌های آماری را در جهت شناخت خواص ساختاری را به‌صورت مقاله‌ای ارائه دادند.

در سال ۱۹۹۶ فنگ (Feng)[۲۱]و همکارانش از الگوریتم ژنتیک در جهت تبدیل داده‌های نگارهای ژئوشیمیایی به مینرالوژی استفاده کردند، الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت تصادفی (در این مقاله مقدار نسبی اندازه‌ی مینرالوژی) از داده‌های آزمایشی را درنظر می‌گیرد وبا تقلیدکردن از فرآیند ژنتیکی طبیعی به‌سوی راه حل بهتر می‌رود.

در سال ۲۰۰۶ گوما(Gomma) [۲۲] به کمک هرون روشی جدید از تلفیق روش نگارهای ژئوشیمیایی با نگار نوترون-چگالی برای تشخیص مقدار آنهیدرایت پیشنهاد کردند.

در سال ۲۰۰۶ پمپر(Pemper) [۲۳]و همکارانش نیز طی مقاله‌ای به‌وسیله‌ی نگارهای ژئوشیمیایی و با استفاده از روش ماتریس‌ها و المنت‌ها که در ابتدای این فصل در مورد نگارهای پتروفیزیکی و تعیین لیتولوژی و مینرالوژی بیان‌شد، به محاسبه‌ی لیتولوژی کلی، سپس لیتولوژی مخصوص و پس از آن به محاسبه‌ی مینرالوژی پرداخت.

۳-۵- روش‌های مبتنی بر لرزه‌نگاری

این روش‌ها بیشتر بر اساس شناخت لیتوفاسیس‌ها و شبیه‌سازی آن‌ها است و بیشتر از آن به تشخیص نمی‌پردازند و برای زون‌بندی هم ممکن است استفاده شود، از تلفیق این روش با روش‌های ذکر شده در بالا ممکن است به نتایج مهمی در این زمینه بتوان دست یافت و حتی می‌توان از لرزه‌نگاری درون‌چاهی برای تعیین کانی‌ها بهره جست، اما اصولاً روش‌های لرزه‌نگاری به علت مخارج زیاد در تعیین کانی‌ها به‌کار نمی‌آیند و سعی بر گسترش روش‌های ذکر شده در بخش‌های قبل و گسترش آن‌ها شده است. در سال ۱۹۹۷ فیچل و همکارانش با استفاده از داده‌های سایزمیک و نگارهای مرسوم در چاه سعی در شبیه‌سازی لیتوفاس‌ها و خواص مخزن کردند، او برای این‌کار از روش‌های چند جزیی زمین‌آماری برای مدل کردن مخزن با توجه به قیود لیتوفاسیس‌ها و داده‌های سایزمیک کمک گرفت.

۴- نتیجه گیری

امروزه راه‌های متنوعی با توجه به نوع کاربرد، برای تخمین مینرالوژی استفاده می‌شود. معمولاً از روش‌های تخمین به‌طور مستقیم برای بررسی دقیق رفتار خصوصاً در سازندهای نفتی استفاده می‌شود؛ از روش‌های غیرمستقیم به علت دقت کمترشان برای سایر مکان‌ها استفاده می‌شود. همچنین می‌توان این دو روش را به نوعی مکمل یکدیگر دانست، که در این سطح از داده‌های شیوه‌های مستقیم به عنوان شاهد و از داده‌های شیوه‌های غیر مستقیم به‌عنوان تخمین‌گر استفاده می‌شود. همانطور که گفته شد روش‌های مستفیم گران‌تر هستند و تغداد کمتری از آن‌ها برداشت می‌شود، اما روش‌های غیر مستقیم سریع‌تر و ارزان‌تر هستند. هر کدام در این سال‌ها جایگاه خود را یافته‌اند و برای توسعه‌ی هر کدام هر روزه دستگاه‌های نوینی عرضه می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

1. Cross, W., Iddings, J. P., Pirsson, L. V., and Washington, H. S.,1902, "A quantitative chemico-mineralogical classification and nomenclature of igneous rocks": Journal of Geology, v. 10, p.555-690.

2. Kelsey, C. H., 1965, "Calculation of C.I.P.W. norm": Mineralogical Magazine, v. 34, p. 276-282.

3. Cerven, J. F., Robinson, P. D., and Fang, J. H., 1968, "Fortran IV programme for molecular norm calculation": Mineralogical Magazine, v. 36, p. 1175-1 176.

4. Sondergeld, C.H., Ambrose, R.J., Rai, C.S., and Moncrieff, J., 2010, " Micro-structural studies of gas shales": SPE 131771, proceedings of Unconventional gas conference , Pittsburgh, PA, U.S.A., 23-25 February 2010.

5. Marsala, A.F., Loermans, T., Shen, Sh., Scheibe, C., and Zereik, R., 2011, " Real-time Mineralogy, Lithology, and chemostratigraphy while drilling using portable energy-dispersive X-Ray Fluorescence": SPE 143468, proceedings of EuropeC/EAGE annual conference, Vienna, Austria, 23-26 May 2011.

۶. چهرازی، ع.، رضایی، م.، ۱۳۸۰، کاربرد کامپیوتر در زمین‌شناسی نفت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده‌ی علوم، گروه زمین‌شناسی.

7. Burke, J. A., Schmidt, A., W., and Campbell, R., L., 1969, "The Litho-porosity cross plot":, The log analyst, Vol.10, No.6, P.25.

۸. رضایی م، چهرازی ع، ۱۳۸۹، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی، جلد اول، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.

9. Quirein, J.A, Gardner, J.S., and Watson, J.T., 1982, "Combined natural gamma ray spectral litho-density measurements applied to complex lithologies": SPE-11143: Society of Petroleum Engineers, presented at 57th Annual Technical Conference and Exhibition, preprint, 14 p.

10. Doveton, J.H., 1986, "Log analysis of subsurface geology--concepts and computer methods": John Wiley & Sons, New York, 273 p.

11. Hayes, R.G., 1989, An application of pattern recognition principles to the analysis of wireline logs: Oklahoma State University, Stillwater, unpublished Ph.D. dissertation, 173 p.

12. Elek, I., 1988, Some applications of principal component analysis; well-to-well correlation, zonation: Geobyte, v. 3, no. 20, p. 46-55.

13. Busch, J.M., Fortney, W.G., and Berry, L.N., 1985, "Determination of lithology from well logs by statistical analysis" SPE-14301: Society of Petroleum Engineers, presented at 60th Annual Technical Conference and Exhibition, preprint, 11 p. Later published in 1987, SPE Formation Evaluation, v. 2, no. 4, p. 412-418.

14. Anderson, R.N., Broglia, C., Pezard, A., and Williams, C.F., 1988, "Lithostratigraphy determined from discriminant analysis of geochemical well logs from the Cajon Pass scientific drillhole", California:Geophysical Research Letters, v. 15, no. 9 supplement, p. 957-960.

15. Robinson, M.C., and Reeves, J.J., 1989, "Cluster analysis of geophysical well-log data in the North Riley unit", Gaines County, Texas, paper BG 2.7, in Expanded Abstracts with Biographies 59th annual meeting: Society of Exploration Geophysicists, v. 1, p. 51-54.

16. Griffiths, C.M., 1989, An example of the use of a fuzzy-set based pattern recognition approach to the problem of strata recognition from drilling response, in Oleynikov, A., and Rubel, M., eds.,Quantitative stratigraphy--restrospective evaluation and future development [IGCP Project No. 148]: Academy of Sciences, Estonian Socialist Republic, Tallinn, p. 83-100.

17. Matyas, V., 1990, Kruskal, technique of formation identification from well logs, paper T, in 13th European Formation Evaluation Symposium Transactions: Society of Professional Well Log Analysts, Budapest Chapter, 13 p.

www.SID.ir

Archive of SID

18. Serra, O., and Abbott, H.T., 1980, The contribution of logging data to sedimentary sedimentology and stratigraphy, SPE-9270: Society of Petroleum Engineers, presented at 55th Annual Technical Conference and Exhibition [Dallas], preprint, 19 p. Later published in 1982, Society of Petroleum Engineers Journal, v. 22, no. 1, p. 117-131.

19. Galford, J.E., Flaum, C., Gilchrist, W.A., Jr., and Duckett, S.W., 1986, Enhanced resolution processing of Compensated Neutron Logs, SPE-15541: Society of Petroleum Engineers, presented at 61st Annual Technical Conference and Exhibition, preprint, 13 p. Later published in 1989, SPE Formation Evaluation, v. 4, no. 2, p. 131-137.

20. Hertzog, R., Colson, L., Seeman, B., O'Brien, M., Scott, H., McKeon, D., Grau, J., Ellis, D., Schweitzer, J., and Herron, M., 1987, Geochemical logging with spectrometry tools, SPE-16792, inAnnual Technical Conference and Exhibition Proceedings, v. omega, Formation Evaluation and Reservoir Geology: Society of Petroleum Engineers, p. 447-460. Later published in 1989, SPE Formation Evaluation, v. 4, no. 2, p. 153-162.

21. Fang, J.H., Karr, C., L., Stanley, D. A.,1996, "Transformation of geochemical log data to mineralogy using genetis algorithms":The log Analyst, March-April.

22. Gomma, N., Herron, M., Ramamoorthy, R., Tilke, P., Allen, D. and Schlumberger, 2006, "Case history of automated evaluation of mineralogy and porosity in complex carbonates", Proceeding of 47th SPWLA Annual Logging Symposium in Veracruz, Mexico, June 4-7, 2006.

23. Pemper, R., Sommer, A., Guo, P., Jacobi, D., Longo, J., Bliven, S., Rodriguez, E., Mendez, F., and Han, X., 2006, "A new pulsed neutron sonde for derivation of formation lithology and mineralogy", SPE 102770, proceeding on SPE annual technical conference and exhibition, San Antonio, Texas, U.S.A., 24-27 September 2006.

www.Reservoir.ir

www.SID.ir