

تعیین موثرترین نگارهای پتروفیزیکی برای تعیین گونه‌های سنگی یک سازند مخزنی آواری با روش‌های خوشه‌بندی

گلناز جوزانی کهن^{۱*}، علیرضا سیفان^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران
(دریافت: فروردین ۱۳۹۸، پذیرش: دی ۱۳۹۸)

چکیده

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای داده‌های پتروفیزیکی به عنوان روشی خودکار و سریع برای تعیین گروه‌های سنگی موجود در مخازن ماسه سنگی به کار می‌رود و از این رو در مطالعات تعیین کیفیت مخازن به عنوان یک روش کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتخاب نگارهای مناسب با توجه به نوع محیط مورد مطالعه، اهمیت ویژه‌ای در فرآیند خوشه‌بندی، تعیین سنگ‌شناسی و نتیجه‌گیری در مورد کیفیت مخزن می‌یابد. در این پژوهش به منظور شناسایی و تعیین موثرترین نگارها در روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای و میانگین k ، با استفاده از آنالیز حساسیت از میان کل نگارهای رانده شده در یک مخزن آواری در شمال شرق کشور یعنی نگارهای GR, LLD, LLS, MSFL, DT, URAN, THOR, POTA, CALI, NPHI, RHOB پنج نگار GR, LLD, LLS, NPHI, RHOB را به عنوان موثرترین نگارها در خوشه‌بندی دو مرحله‌ای در این سازند معرفی نمود. نگارهای حاصل از کاربرد روش دو مرحله‌ای، همخوانی قابل قبولی با خروجی‌های روش میانگین k نشان داد. هر دو روش خوشه‌بندی، تطابق قابل قبولی با روش‌های تعیین سنگ‌شناسی با استفاده از تلفیق نگارهای پتروفیزیکی و کانی‌شناسی به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) نشان دادند. براساس نتایج خوشه‌بندی، سازند ماسه سنگی مورد مطالعه به ضخامت ۲۲۲ متر به سه گروه سنگ‌شناسی شامل ماسه کربناتی-انیدریتی، ماسه شیلی و ماسه تمیز به ترتیب با ضخامت‌های ۴۴/۴، ۷۳/۲۶ و ۱۰۴/۲۴ متر تشخیص داده شد که در این میان کیفیت مخزنی ماسه تمیز با توجه به میانگین تخلخل در این بخش از سایر زیربخش‌ها مناسب‌تر است.

کلمات کلیدی

داده‌های چاه‌پیمایی، خوشه‌بندی، سنگ‌شناسی

*عهده‌دار مکاتبات: gjkohan@ut.ac.ir

۱- مقدمه

با توجه به اینکه سازندهای تخریبی مخزنی عمدتاً تمیز (بدون رس) نیستند و میان لایه‌های رسی در اعماق مختلف آن‌ها وجود دارند، تشخیص جنس طبقات مختلف با تلفیق کلیه نگارها با یکدیگر عملکرد مناسبی ندارد و نمی‌توان به درستی نوع گونه‌های مختلف سنگی را تشخیص داد [۱]. حضور انواع کانی‌های رسی در مقادیر متغیر موجب کاهش تخلخل و در نتیجه کاهش کیفیت مخزنی می‌شود. از سوی دیگر، وجود انواع رس‌ها، تفسیر برخی از نگارها از قبیل نوترون را با مشکل مواجه می‌کند که این امر خود سبب ایجاد مشکلاتی در تعیین نوع جنس طبقات می‌شود. تشخیص اشتباه نوع سنگ‌های موجود با استفاده از نگارهای شاخص، سالانه سبب تحمیل هزینه‌های گزافی به صنایع بالادستی نفت می‌شود. شناسایی و انتخاب نگارهای مناسب در سازندهایی با حضور رس فراوان، می‌تواند در تشخیص صحیح انواع لایه‌بندی و تعیین سنگ‌شناسی کمک شایانی انجام دهد [۲-۱]. روش خوشه‌بندی که یکی از روش‌های آمار چند متغیره است که در شناسایی نوع سازندها از لحاظ سنگ‌شناسی بسیار موفق عمل کرده است. این روش در سایر مسائل مطرح در مهندسی نفت نیز به کار رفته است [۲]. مثلاً با استفاده از تکنیک خوشه‌سازی به روش میان مرکزی فازی به عنوان یک دیدگاه جهت تعیین گونه‌های سنگی در میدان گازی پارس جنوبی مطالعه ای انجام شده که در آن هر خوشه ساخته شده بر مبنای پارامترهای تخلخل و تراوایی به عنوان نماینده یک گونه سنگی در نظر گرفته شده است. همچنین در محیط متلب برنامه‌ای نوشته شده است که بتواند تراوایی و گونه‌های سنگی تعریف شده به روش خوشه‌سازی فازی از روی نمودارهای چاه‌پیمایی شناسایی نماید [۳]. همچنین برای تعیین رخساره‌های الکتریکی در یکی از سازندهای کربناته مخازن جنوب کشور از روش‌های خوشه‌ای چند متغیره استفاده شده است که اساس این روش‌ها، گروه‌بندی داده‌های مشابه و متمایز ساختن آنها از داده‌هایی بوده است که از نظر آماری با این گروه‌ها اختلاف دارند [۴]. در سال ۱۳۹۱ در مطالعه‌ای مقایسه رویکردهای خوشه‌بندی هوشمند و آماری برای پیش‌بینی کل کربن آلی با استفاده از سیستم‌های هوشمند انجام شده است [۵].

مدل‌سازی سه بعدی رخساره های الکتریکی مخزن با استفاده از خوشه‌بندی یکپارچه‌سازی و روش زمین آماری در یکی از میادین مرکزی خلیج فارس انجام شد و براساس نتایج، خوشه‌بندی سلسه مراتبی بهترین پاسخ را فراهم نمود [۶]. روش خوشه‌بندی برای تعیین رخساره‌های الکتریکی همراه با یک روش هوشمند ترکیبی مبتنی بر پیش‌بینی تخلخل و نفوذپذیری نیز در یکی از میادین گازی پارس جنوبی واقع در خلیج فارس به طور موفقیت آمیزی انجام شده است [۷]. محققان دیگری نیز با استفاده از الگوریتم بلوکینگ، اثرات نوفه‌های محیط چاه و اثر لایه‌های جانبی را از قرائت نمودارهای پتروفیزیکی برداشتند و سپس تغییرات ناگهانی این نمودارها را با استفاده از فیلتر لاپلاسی و روش خوشه‌بندی به عنوان مرز لایه‌ها معرفی شده است [۸]. بررسی کارایی استفاده از تبدیل موجک و روش خوشه‌بندی اصلاح شده میانگین k در طبقه‌بندی سنگ‌شناسی مخزن با استفاده از نگار هسته‌ای نیز نشان داده است از این روش می‌توان در تعیین خودکار گونه های سنگی استفاده کرد [۹]. به طور کلی می‌توان گفت خوشه‌بندی نگارهای پتروفیزیکی به روش میانگین k در تحقیقات بسیاری به طور موفقیت‌آمیزی قادر به جداسازی گونه‌های سنگی متفاوت از یکدیگر بوده است [۹-۱۱]. در یکی از اخیرترین تحقیقات انجام شده، شناخت سنگ‌شناسی مخزن با استفاده از روش بهبودیافته الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی در یکی از میادین چین انجام شده است که به فهم بهتر ویژگی‌های مخزنی کمک شایانی نموده است [۱۲].

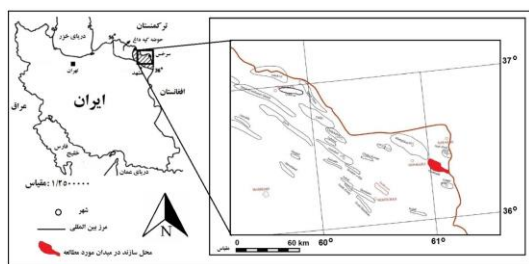
مساله تعیین سنگ‌شناسی مخزن آواری شوربچه در منطقه شمال شرق کشور که سنگ مخزن میادین عظیم گازی و میادین مشترک مرزی ایران و ترکمنستان می‌باشند، تاکنون تنها با تلفیق نگارهای پتروفیزیکی در محیط نرم‌افزارهای متداول تحلیل داده‌های پتروفیزیکی انجام شده است. روش‌های خودکار خوشه‌بندی برای شناخت بخش‌های مختلف این سازند به لحاظ سنگ‌شناسی که به صورت مخلوط ناهمگنی از ماسه‌سنگ، رس، کربنات و انیدریت در اعماق مختلف گزارش شده است، می‌تواند بسیار مفید باشد. شناخت دقیق اعماق مخزنی سازند شوربچه از لحاظ سنگ‌شناسی برای مطالعات مخزنی حائز اهمیت ویژه است. مطالعات پیشینی که بر روی این سازند انجام شده است تنها شامل مطالعه تخلخل

مطالعه نیز به طور جداگانه مشخص شده است. جدول ۱ نیز توالی سازندهای مختلف در چاه مورد مطالعه به همراه ضخامت آنها را نشان می‌دهد. ترکیب سنگ‌شناسی و ستون چین‌شناسی چاه برای آشنایی با واحدهای سنگ‌چینه‌ای زیرسطحی میدان در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: عمق و ضخامت حفاری شده واحدهای مختلف چین‌شناسی در چاه مورد مطالعه [۱۶]

واحد‌های سنگ‌شناسی (سازندها)	ضخامت (متر)	عمق از سطح دریا (متر)
لایه آبرفتی	۹۸	+۳۰۵
خانگیران	۹۴۰	+۲۱۵
چهل کمان	۲۱۹	-۷۲۵
پسته لبق	۱۱۳	-۹۴۴
کلات	۴۱	-۱۰۵۷
نیزار	۲۴۱	-۱۰۹۸
آب تلخ	۱۳۱	-۱۳۳۹
آب دراز	۴۱۵	-۱۴۷۰
آتامیر	۴۵۷	-۱۸۸۵
سنگانه	۲۴۷	-۲۳۴۲
سرچشمه	۲۰۰	-۲۵۸۹
تیرگان	۲۳	-۲۷۸۹
شوریجه	۲۲۲	-۲۸۱۲
مزدوران	۱۳*	-۳۰۳۴
عمق نهائی		-۳۰۴۷

* عدد ذکر شده بیانگر میزان ضخامت حفاری شده این سازند است و نه ضخامت حقیقی آن.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، اصلاح شده از [۱۷]

۲-۱ سازند شوریجه

نام این سازند از روستای شوریجه که در بخش شرقی دره کشف‌رود واقع است گرفته شده است. نخستین بررسی‌های زمین‌شناسی در ناحیه سرخس گسترش واحد سنگی سرخ‌رنگی را با رسوبات قاره‌ای در قاعده سنگ‌های رسوبی کرتاسه نشان داد. برش الگوی این واحد سنگی در

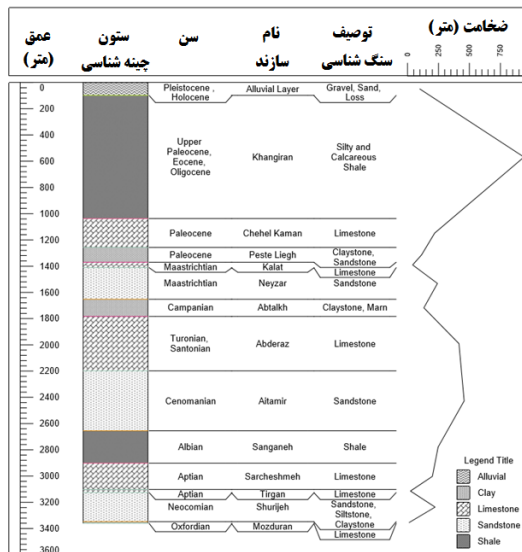
و همچنین سرعت امواج تراکمی و مقدار رس موجود در ماتریکس سنگ در عمق‌های مختلف بوده است [۱۳]. همچنین با به کارگیری آنالیز حساسیت روی سری کامل داده‌های پتروفیزیکی سازند مخزنی شوریجه به سن کرتاسه تحتانی و حجم رس حاصل از آنالیزهای آزمایشگاهی نمونه‌های مغزه این سازند در دو چاه تولیدی و خشک یکی از میادین شرق حوزه رسوبی کپه داغ، ۷ رابطه پتروفیزیکی با استفاده از داده‌های ۶ نوع لاگ و ترکیب برخی از آنها، مورد بررسی قرار گرفته است. در پی این مطالعه، روش شاخص پرتوی گاما بهترین روش و تصحیح استیبر بهترین تصحیح تخمین حجم رس در این سازند معرفی شده است [۱۴].

در این پژوهش، روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای برای تعیین زیربخش‌های سازند شوریجه از لحاظ سنگ‌شناسی در یکی از چاه‌های تولیدی گاز شرق حوزه رسوبی کپه داغ مورد استفاده قرار گرفت و نگارهای مناسب برای تشخیص سنگ‌شناسی به دقت تعیین شد. نتایج حاصل با اجرای روش میانگین k مقایسه شد و ضخامت زیر بخش‌های مختلف محاسبه شد و مناسب ترین زیربخش به لحاظ کیفیت مخزنی معرفی شد.

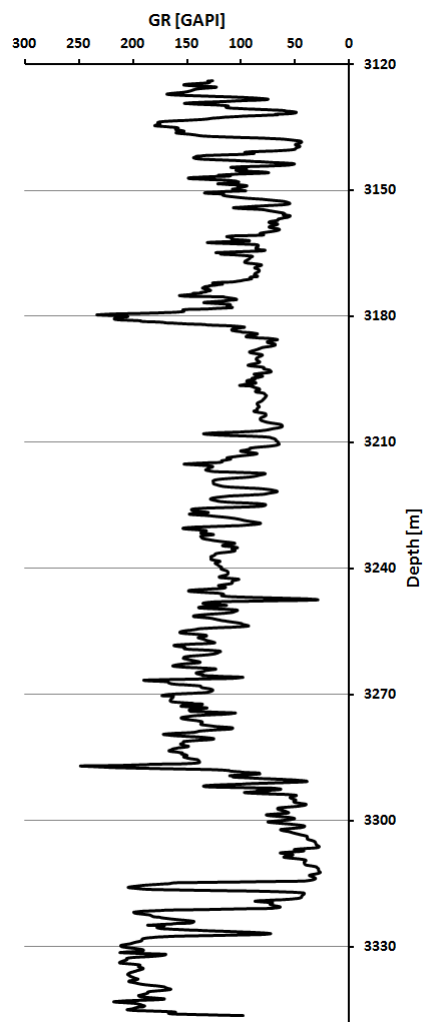
۲- موقعیت زمین‌شناسی

پهنه رسوبی-ساختاری کپه‌داغ در شمال‌خاور ایران واقع شده است. این پهنه، بخش‌هایی از ترکمنستان و شمال افغانستان را نیز در برمی‌گیرد. اکتشاف میدان‌های گازی در هر سه کشور واقع در این حوزه و موقعیت و جایگاه زمین‌ساختی آن در فصل مشترک دو ابرقاره اوراسیا و گندوانا، از ویژگی‌های مهم این ناحیه به شمار می‌آید. بخش ایرانی حوزه که " منطقه کپه‌داغ " نامیده شده است بین ۳۰' ، ۳۵° تا ۳۸°، ۱۵' عرض شمالی و ۵۴°، ۰۰' تا ۶۱°، ۱۳' طول شرقی قرار دارد. حوزه کپه‌داغ، یک حوزه درون قاره‌ای از نوع پشت کمانی در جنوب سکوی توران است که پس از کوه‌زایی سیمیرین پیشین و بسته شدن پالئوتتیس در شمال خاوری ایران تشکیل شده است. سازند شوریجه یکی از مخازن گازی در خاور حوزه کپه‌داغ است [۱۵].

در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه رسوبی کپه‌داغ نشان داده شده است و همچنین موقعیت منطقه مورد



شکل ۲: ستون چینه‌شناسی چاه مورد مطالعه



شکل ۳: نمودار تغییرات پرتوزایی در سازند مورد مطالعه، انحراف نمودار به سمت چپ بخش‌های شیلی را نشان می‌دهد.

تنگه جنوب روستای شوربجه اندازه‌گیری، مطالعه و معرفی شده است. مطالعات بعدی روشن ساخت که سنگ‌های آواری این برش را دو گروه متفاوت تشکیل داده‌اند. همچنین به بیانی دیگر می‌توان گفت، این سازند از رسوبات قاره‌ای قرمز رنگ (ماسه‌سنگ، سیلتستون و رس) به سن نئوکومین تشکیل یافته که آن را می‌توان از بالا به پایین به بخش‌های زیر تقسیم نمود [۱۶]:

بخش E: شامل لایه‌هایی از سنگ رس و سیلت به رنگ قرمز و قهوه‌ای شکلاتی و حاوی دانه‌های انیدریت، به همراه لایه‌های بسیار نازکی از ماسه‌سنگ دانه‌ریز به رنگ قرمز قهوه‌ای و به رنگ خاکستری حاوی گلوکونیت و اکسیدهای آهن در این بخش مشاهده می‌شود. این بخش احتمالاً می‌تواند نقش سنگ پوشش را برای لایه‌های ماسه‌سنگی زیرین خود ایفا کند. بخش D: این بخش شامل زیر بخش‌های D_1 و D_2 می‌باشد. بخش فوقانی (D_2) از لایه‌های ماسه‌سنگی دانه ریز تا متوسط قرمز قهوه‌ای و خاکستری روشن با سیمان آهکی حاوی گلوکونیت و اکسیدهای آهن به همراه تناوبی از لایه‌های سنگ رس و سیلت قرمز قهوه‌ای تشکیل یافته است. بخش تحتانی (D_1) از لایه‌هایی از ماسه‌سنگ به رنگ خاکستری روشن و سبز خاکستری دانه متوسط تا درشت، کوارتزی و گلوکونیتی و نیز لایه‌های ماسه‌سنگ دانه ریز تا متوسط قرمز قهوه‌ای و کوارتزی حاوی اکسیدهای آهن تشکیل شده است که گاه‌گاه تناوبی از لایه‌های رس و سیلت قرمز قهوه‌ای و خاکستری روشن در آن دیده می‌شود. بخش C: که عمدتاً از سنگ رس و سیلت به همراه لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و یکی دو لایه انیدریت نازک تشکیل یافته است. بخش B: این بخش شامل ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای، قهوه‌ای کم‌رنگ و سفید، متوسط تا درشت دانه‌ها گاهی کونگلومرایی، کوارتزی و لایه‌های نازکی از سنگ رس و سیلت تشکیل یافته که در تاق‌دیس‌خانی این بخش حاوی گاز می‌باشد. بخش A: این بخش عمدتاً از سنگ رس و سیلت قرمز رنگ تشکیل یافته است [۱۶].

شکل ۳ نحوه تغییرات نمودار پرتو گاما برحسب عمق را در این سازند نشان می‌دهد که بیانگر محیطی تخریبی با حضور شیل فراوان است.

۳- مواد و روش‌ها

چاه‌های تولیدی میدین شرق کپه داغ مورد استفاده قرار گرفت. ۳ نمونه مغزه نیز جهت اعتبارسنجی نتایج مورد آنالیز به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) قرار گرفت. خلاصه اطلاعات آماری پارامترهای یاد شده در جدول ۲ داده شده است.

در این پژوهش نگارهای GR, LLD, LLS, MSFL, DT, URAN, THOR, POTA, CALI, NPHI, RHOB همراه با ۶۳ داده تخلخل مغزه آزمایشگاهی در اعماق حدودا ۳ تا ۳/۵ کیلومتری سازند شوريجه در یکی از

جدول ۲: خلاصه اطلاعات آماری داده‌های مورد استفاده در پژوهش

نام نگار/واحد اندازه‌گیری	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	مد	انحراف معیار	تعداد داده‌ها
GR [GAPI]	۲۶/۲۷	۲۴۷/۷۳	۱۱۳/۴۴	۱۱۱/۵۴	۱۲۵/۲۹	۴۴/۹۹	۲۲۲۵
LLD [ohmm]	۰/۶۳	۱۰۷/۴۵	۱۴/۷۲	۱۲/۵۴	۱۶/۶۶	۱۱/۳۱	۲۲۲۵
LLS [ohmm]	۰/۶۴	۶۳/۲۵	۱۲/۶۳	۱۰/۸۶	۱۸/۲۵	۹/۲۲	۲۲۲۵
MSFL [ohmm]	۰/۱۹	۴/۹۰	۰/۴۰	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۳۵	۲۲۲۵
DT [US/F]	۵۲/۲۷	۹۳/۰۶	۶۴/۵۱	۶۳/۵۵	۵۹/۶۰	۵/۷۵	۲۲۲۵
POTA [%]	۰/۴۳	۴/۴۱	۲/۴۲	۲/۴۴	۲/۴۴	۰/۸۳	۲۲۲۵
THOR [ppm]	۱/۳۴	۱۴/۸۰	۶/۶۵	۵/۹۸	۳/۶۲	۳/۴۷	۲۲۲۵
URAN [ppm]	۰/۰۸	۹/۵۳	۱/۱۴	۱/۰۱	۰/۶۳	۰/۹۱	۲۲۲۵
CALI [inch]	۱۱/۷۲	۲۰/۰۰	۱۳/۰۹	۱۲/۴۷	۱۲/۲۷	۱/۵۰	۲۲۲۵
NPHI [V/V]	۰/۰۵	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۲۲۲۵
RHOB [g/cm3]	۱/۹۵	۲/۹۳	۲/۵۴	۲/۶۰	۱/۹۵	۰/۲۰	۲۲۲۵
تخلخل مغزه (V/V)	۱/۴۰	۱۲/۲۰	۵/۲۸	۳/۲۰	۲/۳۰	۳/۶۲	۶۳

در این روش با استفاده از الگوریتم تحلیل خوشه مقیاس‌پذیر، با مجموعه داده‌های بسیار بزرگ سر و کار داریم. تحلیل خوشه دو مرحله‌ای هم برای متغیرهای پیوسته (فاصله ای و نسبی) و هم برای متغیرهای طبقه‌بندی شده (اسمی و ترتیبی) به کار می‌رود. در این روش، در گام اول، که به مرحله پیش خوشه معروف است، رکوردها (مشاهدات) را به چندین خرده خوشه بسیار کوچک تبدیل می‌کنیم. سپس، در گام دوم، این خرده خوشه‌ها را به تعداد خوشه مطلوب طبقه‌بندی می‌کنیم. یکی از مزیت‌های این روش این است که اگر تعداد خوشه‌های مطلوب برای ما ناشناخته است و نمی‌دانیم چه تعداد خوشه برای ما مطلوب است، خود روش خوشه دو مرحله‌ای به طور خودکار تعداد مناسب و مطلوب این خوشه‌ها را پیدا می‌کند. با استفاده از این روش، می‌توانیم طوری داده‌ها را گروه‌بندی کنیم که رکوردهای داخل هر گروه مشابه هم باشند. به عنوان تحلیل خوشه دو مرحله‌ای صحیح‌ترین شناسایی را از خوشه‌ها ارائه می‌دهد. با استفاده از این روش می‌توان خوشه‌ها را در مجموعه بزرگی از داده‌ها و همچنین مجموعه داده‌های ترکیبی با مقیاس‌های مختلف فاصله‌ای و ترتیبی پیدا کرد. در این روش، می‌توانیم تعداد خوشه‌ها را

۳-۱- روش خوشه‌بندی

تحلیل خوشه را می‌توان همراه با روش تحلیل تشخیصی، به عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های طبقه‌بندی نامید. هدف اصلی تحلیل خوشه که به عنوان تحلیل بخش‌بندی یا تحلیل تاکسونومی/طبقه‌بندی نیز خوانده می‌شود، این است که زیرگروه‌های همگن از پاسخگویان را شناسایی کند. تحلیل خوشه در صدد است تا بر اساس اطلاعاتی در خصوص یک سری متغیرها، پاسخگویان را با توجه به آن‌ها گروه‌بندی کند. به عبارتی، تحلیل خوشه در صدد است تا مجموعه‌ای از گروه‌ها را شناسایی کند که از این طریق بتوان از یک طرف تفاوت‌های درون‌گروهی را به حداقل رساند و از طرف دیگر تفاوت‌های بین‌گروهی را به حداکثر میزان ممکن رساند. البته روش‌های تحلیل طبقات پنهان و تحلیل عاملی نیز چنین کارکردهایی دارند، یعنی به خوشه‌بندی پاسخگویان و یا متغیرها می‌پردازند [۱۸].

۳-۱-۱- خوشه‌بندی با استفاده از روش دو مرحله‌ای (Two steps)

روش‌های خوشه‌بندی آماده شد. در ابتدا خوشه‌بندی دو مرحله‌ای با ۱۱ نگار موجود انجام گرفت که نتایج آن که در جدول ۳ آورده شده است. بر مبنای این نتایج، روش دو مرحله‌ای پنج خوشه را برای خوشه‌بندی این داده‌ها مناسب می‌داند. اما چون کیفیت خوشه‌بندی در این حالت مناسب نیست (شکل ۴)، با انجام تحلیل حساسیت (شکل ۵)، برخی از نگارهایی که بازده خوشه‌بندی دو مرحله‌ای را کاهش می‌دادند، شناسایی و حذف شد و نهایتاً نگارهای مناسب (GR, LLD, LLS, NPHI, RHOB) در مرحله بعد جهت انجام مجدد خوشه‌بندی دو مرحله‌ای مورد استفاده قرار گرفت. در تحلیل نگارهای به دست آمده از آنالیز حساسیت می‌توان گفت به طور کلی در سازندهای تخریبی حاوی کانی‌های رسی مانند سازند شوربجه، دیواره چاه سست است و اغلب در حین انجام عملیات حفاری دیواره چاه ریزش پیدا می‌کند. در نتیجه داده‌های مربوط به نگار CALI به دلیل دامنه تغییرات زیاد و همبستگی بالا با میزان کانی‌های رسی که عمدتاً کاهش‌دهنده تخلخل چاه هستند، نمی‌تواند به خوشه‌بندی داده‌ها بر مبنای داده‌های تخلخل مغزه کمک آنچنانی نماید. نگار ریز مقاومت کانونی (MSFL) نیز که وظیفه‌ی تعیین مقاومت زون رخنه را دارد، عملکرد مناسبی را در این زمینه ندارد. به دلیل نفوذ گل حفاری به دیواره چاه، این نگار عملاً مقاومت ویژه گل حفاری را نمایش می‌دهد؛ که برای ایجاد تفاوت برای خوشه‌بندی مناسب، مفید نیست. با توجه به اینکه سازند مورد مطالعه سازند تخریبی است و شیل و مارن در همه‌ی نواحی آن به طور پراکنده حضور دارد، پر شدن فضاهای خالی توسط رس موجب برهم خوردن اختلاف زمان ثبت شده می‌شود که خود سبب کاهش کیفیت خوشه‌بندی به روش دو مرحله‌ای است. نگارهای K, URAN, THOR به صورت جداگانه برای تفکیک سنگ‌شناسی با استفاده از داده‌های تخلخل مغزه، روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای مناسب نبودند. چرا که این سه عنصر عمدتاً با میزان رس موجود همبستگی دارند و مستقیماً با تخلخل ارتباطی ندارند؛ که این امر سبب پایین آمدن بازده خوشه‌بندی بر مبنای داده‌های تخلخل آزمایشگاهی می‌شوند.

از قبل مشخص کنیم و یا اینکه الگوریتمی داشته باشیم که به طور خودکار قادر است تعداد مناسب خوشه را شناسایی کند. در این روش، ابتدا در مرحله اول، هر پاسخگو به عنوان یک خوشه قلمداد می‌شود. سپس در مرحله دوم، با استفاده از روش تحلیل خوشه سلسله مراتبی استاندارد، پاسخگویان در این خوشه‌هایی که از قبل مشخص شده‌اند، طبقه‌بندی می‌شوند [۱۸].

۳-۱-۲- خوشه‌بندی با استفاده از روش چند میانگینی (k-means)

خوشه‌بندی با استفاده از روش چند میانگینی برای داده‌های بسیار بزرگ به کار می‌رود. در این روش فرض بر آن است که داده‌ها به یک تعداد خوشه مشخص و شناخته شده طبقه‌بندی می‌شوند. بنابراین، با چنین فرضی (مشخص بودن تعداد خوشه‌ها)، این روش پاسخگویان را به چندین خوشه طبقه‌بندی می‌کند. برای طبقه‌بندی پاسخگویان، می‌توانیم به دو روش عمل کنیم: (۱) از طریق به روز کردن مراکز خوشه به صورت مکرر و (۲) از طریق طبقه‌بندی صرف. روش تحلیل خوشه چند میانگینی، برای تعیین فاصله بین دو پاسخگو، از روش فاصله اقلیدسی استفاده می‌کند. در این روش، مراکز اولیه داده‌ها در گذر اول بر روی داده‌ها انتخاب می‌شوند. سپس، هر کدام از مشاهدات تکراری گروه‌ها بر اساس روش نزدیکترین فاصله اقلیدسی به میانگین خوشه، به آن خوشه اضافه می‌شوند. از طرفی، محقق باید در حین پیشرفت، تعداد مطلوب خوشه خود (K) را مشخص کند. بنابراین، مراکز خوشه در طی هر مرحله از پیشرفت، تغییر می‌کنند. این فرآیند همین طور ادامه می‌یابد تا جایی که میانگین خوشه‌ها بیش از یک مقدار مشخص تغییر نکند و یا این که به آن حد تکرار رسیده باشیم [۱۸].

این دو روش به ترتیب روی داده‌های پتروفیزیکی سازند شوربجه در یکی از چاه‌های تولیدی میادین شرق کپه داغ اجرا شد.

۴- نتایج و بحث

داده‌های معرفی شده در بخش مواد و روش‌ها پس از انجام تصحیحات و پیش‌پردازش‌های آماری برای انجام انواع

جدول ۳: نتایج حاصل از خوشه‌بندی دومرحله‌ای با ۱۱ لاگ

		CALI		DT		GR	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
خوشه	۱	۱۳/۷۰	۱/۶۷	۵۳/۱۳	۲/۴۳	۳۳/۴۳	۱۳/۰۱
	۲	۱۲/۵۹	۰/۴۴	۵۹/۴۴	۲/۵۱	۶۴/۵۱	۱۴/۰۶
	۳	۱۵/۸۳	۱/۷۴	۶۳/۵۴	۲/۷۴	۵۴/۲۷	۱۹/۸۳
	۴	۱۲/۵۴	۰/۴۳	۶۵/۷۰	۲/۹۳	۹۵/۴۱	۱۷/۵۲
	۵	۱۲/۵۰	۰/۶۵	۶۷/۰۸	۷/۸۹	۴۲/۸۶	۱۳/۵۲
	ترکیبی	۱۳/۰۸	۱/۴۸	۶۴/۲۵	۵/۹۱	۶۴/۷۴	۲۶/۷۸
		MSFL		NPHI		POTA	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
خوشه	۱	۱/۸۰	۳/۵۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۱/۵	۰/۵۳
	۲	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۳	۲/۴	۰/۵۰
	۳	۰/۵۰	۰/۶۹	۰/۰۹	۰/۰۵	۲/۲	۰/۶۷
	۴	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۵	۳/۲	۰/۵۷
	۵	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۴	۱/۸	۰/۶۶
	ترکیبی	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۱۰	۰/۰۶	۲/۴	۰/۸۴
		RHOB		THOR		URAN	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
خوشه	۱	۲/۷۰	۰/۱۵	۳/۷۹	۲/۰۲	۱/۰۷	۰/۵۰
	۲	۲/۷۱	۰/۰۷	۶/۷۵	۱/۹۶	۱/۲۵	۰/۵۷
	۳	۲/۲۱	۰/۱۷	۵/۳۳	۲/۴۳	۱/۲۱	۱/۷۸
	۴	۲/۶۷	۰/۰۸	۱۰/۶۵	۲/۴۴	۱/۴۸	۰/۵۹
	۵	۲/۴۸	۰/۱۱	۳/۵۲	۱/۰۴	۰/۶۷	۰/۳۴
	ترکیبی	۲/۵۵	۰/۲۰	۶/۶۲	۳/۴۹	۱/۱۳	۰/۹۰

جداگانه در تعیین گونه‌های سنگی این سازند موثر نیستند. نتیجه این خوشه‌بندی، طبقه‌بندی داده‌ها در سه خوشه است؛ که مراکز این خوشه‌ها در جدول ۴ و نحوه توزیع داده‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است.

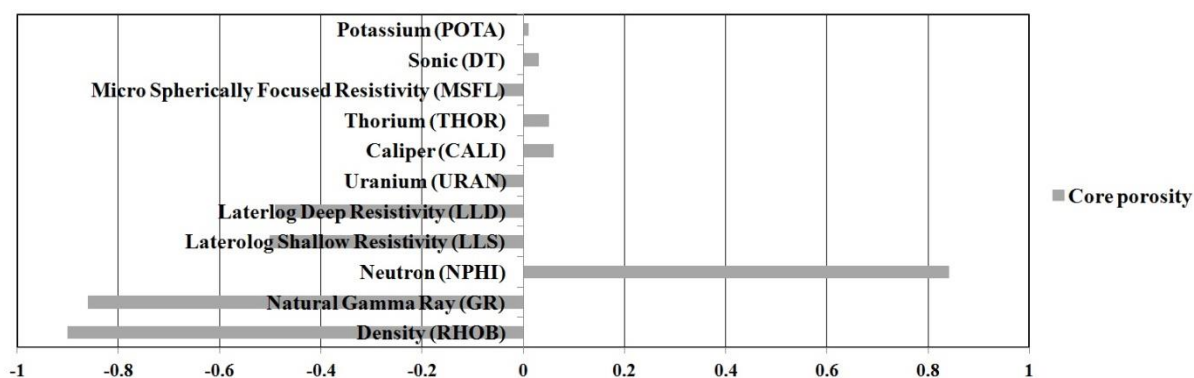
خوشه شماره یک: حدود ۲۰٪ داده‌ها (جدول ۶) در این خوشه قرار دارند که تداخل کم و مقاومت بالای آن، نشان از حضور ترکیبی متراکم و سخت دارد. همچنین لاگ RHOB محدوده چگالی را شامل می‌شود؛ که در آن کربنات‌ها و انیدریت قرار دارند. از طرفی لاگ GR با میزان متوسطی که نسبت به خوشه‌های دیگر از خود نشان می‌دهد این مطلب را بیان می‌کند که رس در این خوشه به طور متوسط نسبت به خوشه‌های دیگر حضور دارد. پس به طور کلی می‌توان گفت جنس این خوشه ماسه همراه با میزان متوسطی از رس به علاوه کربنات (کلسیت و دولومیت) و انیدریت است. ضخامت این بخش به طور تقریبی ۴۴/۴۰ متر است.

نهایتاً، عمل خوشه‌بندی با نگارهای GR, LLD, LLS, NPHI, RHOB انجام شد (جدول ۴)؛ که بالاترین کیفیت خوشه‌بندی داده‌ها به روش دومرحله‌ای در این حالت به دست آمد (شکل ۵). در گام بعدی برای اطمینان از صحت نتایج بدست آمده، داده‌ها با استفاده از روش میانگین k خوشه‌بندی شد و جدول ANOVA مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج جدول ANOVA نشان می‌دهد که کدام متغیرها بیشترین نقش را در خوشه‌بندی دارند. همانطور که می‌دانیم در تحلیل آنالیز واریانس، هرچه مقدار F برای متغیری بزرگ‌تر باشد، آن متغیر نقش بیشتری در جداسازی خوشه‌ها از یکدیگر دارد. طبق داده‌های جدول ۵ و شکل ۷، نگارهای GR, LLD, LLS مقدار F بالایی داشتند که بیان‌کننده نقش بیشتر آنها در خوشه‌بندی به روش میانگین k می‌باشد. نکته قابل توجه بالا بودن ضریب POTA و THOR بود؛ که همانطور که گفته شد این نگارها اگر چه نقش زیادی در خوشه‌بندی دارند، اما به صورت

Algorithm	TwoStep
Inputs	11
Clusters	5



شکل ۴: کیفیت خوشه‌بندی دو مرحله‌ای با استفاده از یازده نگار، تعداد خوشه‌ها: ۵



شکل ۵: آنالیز حساسیت جهت تعیین نگارهای موثر در بهبود خوشه‌بندی

جدول ۴: نتایج حاصل از خوشه‌بندی دومرحله‌ای با ۵ لاگ

		GR		LLD		LLS	
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
خوشه	۱	۶۲/۲۶	۱۴/۶۸	۳۳/۱۴	۲۴/۵۲	۲۹/۱۵	۱۵/۲۹
	۲	۹۴/۴۹	۱۷/۲۱	۱۳/۴۴	۳/۶۰	۱۲/۸۱	۳/۲۸
	۳	۴۵/۵۸	۱۵/۲۴	۹/۹۹	۸/۰۷	۷/۱۹	۵/۱۳
	ترکیبی	۶۴/۸۸	۲۶/۷۵	۱۵/۶۸	۱۵/۱۹	۱۳/۳۶	۱۱/۳۷
		NPHI		RHOB			
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار		
خوشه	۱	۰/۰۷	۰/۰۳	۲/۷۲	۰/۰۷		
	۲	۰/۱۵	۰/۰۴	۲/۳۹	۰/۰۹		
	۳	۰/۰۸	۰/۰۴	۲/۶۷	۰/۱۸		
	ترکیبی	۰/۱۰	۰/۰۶	۲/۵۵	۰/۲۰		

Algorithm	TwoStep
Inputs	5
Clusters	3



شکل ۶: کیفیت خوشه‌بندی دو مرحله‌ای با استفاده از پنج نگار، تعداد خوشه‌ها: ۳

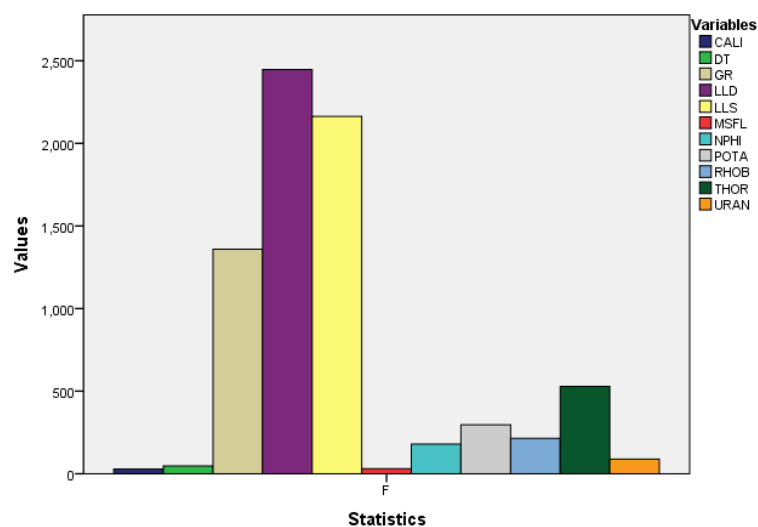
جدول ۵: تحلیل واریانس خوشه‌بندی به روش میانگین k

نگارها	خوشه		خطا		F	Sig.
	Mean Square	df	Mean Square	df		
CALI	۵۳/۴۰	۴	۲/۱۲	۲۲/۸۳	۲۵/۲۰	۰/۰۰۰
DT	۴۳۸۴/۷۲	۴	۲۶/۷۸	۲۲/۸۳	۱۶۳/۷۳	۰/۰۰۰
GR	۳۲۵۳۹۲/۷۹	۴	۱۴۶/۴۹	۲۲/۸۳	۲۲۲۱/۳۴	۰/۰۰۰
LLD	۹۷۸۱۸/۱۳	۴	۵۹/۷۰	۲۲/۸۳	۱۶۳۸/۴۸	۰/۰۰۰
LLS	۵۳۵۸۲/۳۳	۴	۳۵/۷۴	۲۲/۸۳	۱۴۹۹/۳۷	۰/۰۰۰
MSFL	۳۵/۳۰	۴	۰/۲۶	۲۲/۸۳	۱۳۳/۸۷	۰/۰۰۰
NPHI	۰/۶۲	۴	۰/۰۰	۲۲/۸۳	۳۱۱/۷۹	۰/۰۰۰
POTA	۱۵۱/۵۹	۴	۰/۴۴	۲۲/۸۳	۳۴۷/۴۷	۰/۰۰۰
RHOB	۷/۶۴	۴	۰/۰۳	۲۲/۸۳	۲۷۰/۶۴	۰/۰۰۰
THOR	۳۸۷۰/۷۹	۴	۵/۳۶	۲۲/۸۳	۷۲۱/۹۲	۰/۰۰۰
URAN	۷۵/۹۵	۴	۰/۶۹	۲۲/۸۳	۱۱۰/۳۶	۰/۰۰۰

جدول ۶: توزیع داده‌ها در خوشه‌های نهایی

		تعداد داده‌ها	درصد داده‌ها
خوشه‌ها	۱	۴۵۱	۱۹/۷
	۲	۷۴۹	۳۲/۷
	۳	۱۰۸۸	۴۷/۶
	ترکیب شده	۲۲۸۸	۱۰۰
کلی		۲۲۸۸	

ANOVA



شکل ۷: نمودارهای میله‌ای تاثیر نگارها در جدول ANOVA

خوشه بیانگر این مطلب است که بیشترین تجمع کانی‌های رسی در این خوشه قرار دارد. از طرفی این خوشه بیشترین

خوشه شماره دو: حدود ۳۳ درصد داده‌ها (جدول ۶) در این خوشه قرار دارند. میزان پرتوزایی بسیار بالا در این

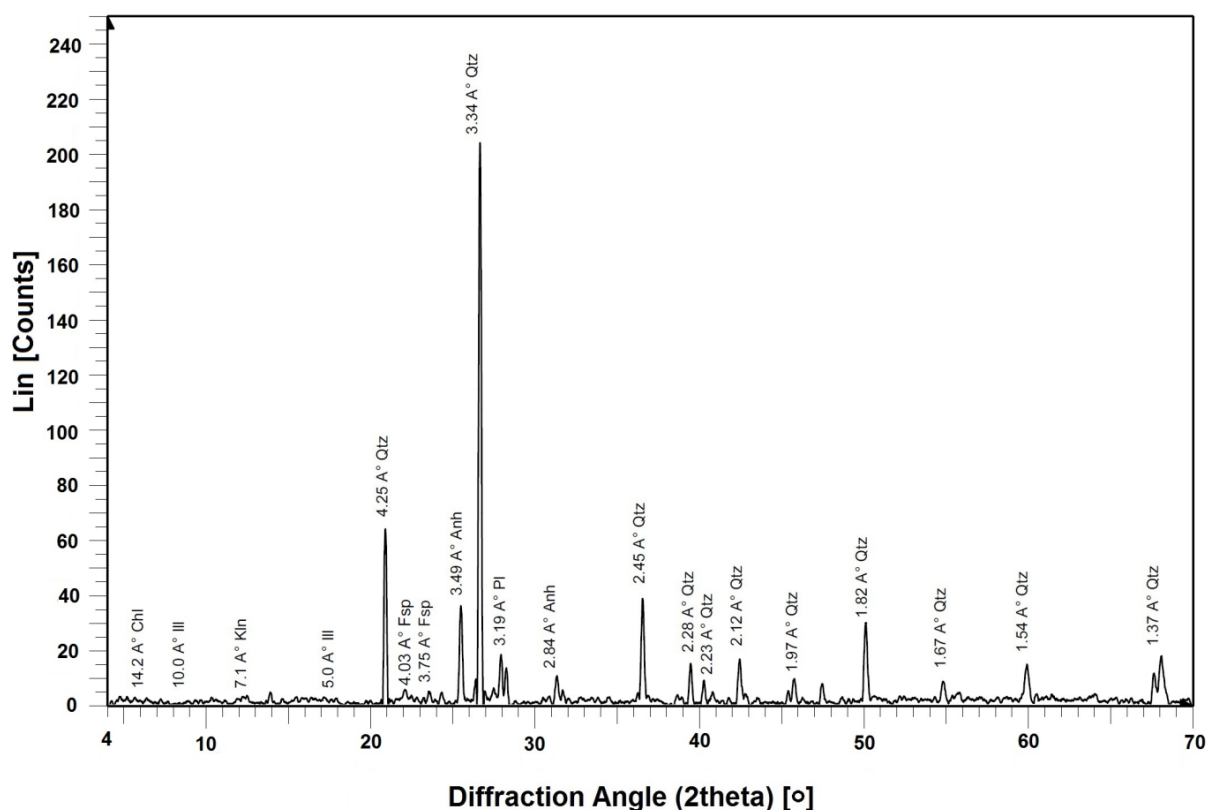
پایین، با حضور آب شور در این خوشه قابل توجه است. ضخامت این بخش به طور تقریبی ۱۰۴/۳۴ متر است.

۴-۱- اعتبارسنجی نتایج حاصل

به منظور اعتبارسنجی یافته‌های به دست آمده، سه نمونه مغزه متناظر با اعماق خوشه‌های یک تا سه خوشه‌بندی به روش میانگین k ، که در مورد آنالیز کانی‌شناسی نیمه کمی به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) قرار گرفت (جدول ۷ و شکل ۸).

جدول ۷: نتایج نیمه کمی آنالیز پراش پرتوی ایکس نمونه‌های متناظر با خوشه‌های روش میانگین k

ترکیب کانی‌شناسی و درصد نیمه کمی هر فاز						خوشه متناظر	کد نمونه
هماتیت (%)	فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلازها (%)	انیدریت (%)	کانی‌های رسی (%)	کربنات‌ها (%)	کوارتز (%)		
۱/۵	۳/۵	۱۸/۲	۱۱/۰	۲۵/۲	۴۰/۶	۱	۲۰۳
۲/۳	۱۷/۵	۵/۰	۲۱/۰	۴/۰	۵۰/۲	۲	۲۰۴
--	۱۰/۴	۱۱/۸	۶/۰	---	۷۱/۸	۳	۲۰۵



شکل ۸: نمودار پراش پرتوی ایکس نمونه متناظر با عمق خوشه سوم به روش خوشه‌بندی میانگین k

همانطور که از نتایج جدول ۷ مشخص است، خوشه اول نماینده نمونه‌هایی ماسه‌سنگی با میزان کربنات بالا، رس متوسط و انیدریت زیاد می‌باشد که با نتیجه حاصل از خوشه‌بندی به روش میانگین k همخوانی بسیار خوبی دارد.

تخلخل را داشته و چگالی و مقاومت پایینی نیز دارد. پس با توجه به مشاهدات، جنس این خوشه، رس بالا به همراه ماسه در نظر گرفته شد. ضخامت این بخش به طور تقریبی ۷۳/۲۶ متر است.

خوشه شماره سه: حدود ۴۷٪ داده‌ها (جدول ۶) در این خوشه قرار دارند و حدود چگالی، تخلخل متوسط و مقاومت پایین، همگی بیانگر حضور غالب ماسه در این خوشه می‌باشد. از طرفی میزان کم پرتوایی حاکی از کمبود رس و تمیز بودن این ناحیه است. در ضمن مقاومت بسیار

دستگاه مورد استفاده در این پژوهش، پراش‌سنج مدل D8-Advance با سرعت زاویه‌ای پیمایش ۱/۲ درجه در هر دقیقه بوده است. از طول موج $K_{\alpha}=1.5406\text{\AA}$ تشعشع مس برای نمودارگیری استفاده شده است.

۵- نتیجه‌گیری

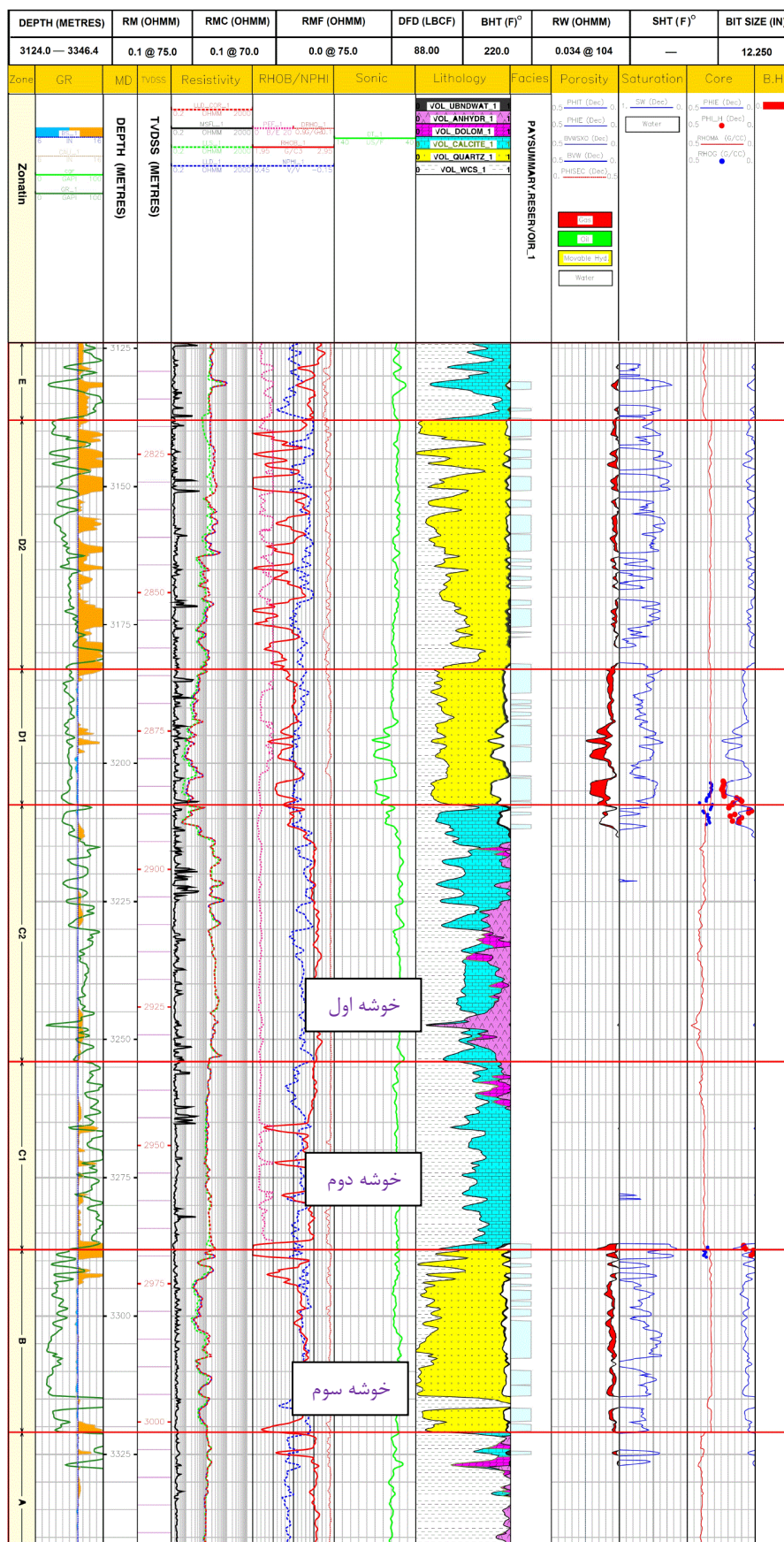
در این پژوهش، کاربردی‌ترین نگارهای الکتریکی در تعیین گونه‌های سنگی یکی از چاه‌های هیدروکربوری حوضه کپه‌داغ شرقی با استفاده از روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای و میانگین k ، تعیین و معرفی شد. براساس نتایج به دست آمده، نگارهای GR, LLD, LLS, NPHI, RHOB موثرترین نگارها در خوشه‌بندی دو مرحله‌ای به منظور تفکیک گونه‌های سنگی سازند شوریجه و محیط‌های تخریبی معرفی شدند. براساس نتایج خوشه‌بندی، سازند ماسه‌سنگی به ضخامت ۲۲۲ متر به سه گروه سنگ‌شناسی شامل ماسه کربناتی-انیدریتی، ماسه شیلی و ماسه تمیز به ترتیب با ضخامت‌های ۴۴/۴، ۷۳/۲۶ و ۱۰۴/۳۴ متر تشخیص داده شد که در این میان کیفیت مخزنی ماسه تمیز با توجه به میانگین تخلخل (V/V) در این بخش از سایر زیربخش‌ها مناسب‌تر است. خوشه شماره یک با داشتن حدود ۲۰٪ داده‌ها، تخلخل کم و مقاومت بالای آن، نشان از حضور ترکیبی متراکم و سخت دارد (احتمالاً کربنات‌ها و انیدریت). خوشه شماره دو با داشتن حدود ۳۳٪ داده‌ها و میزان پرتوزایی بسیار بالا موید حضور کانی‌های رسی و ماسه است. خوشه شماره سه با داشتن حدود ۴۷٪ داده‌ها و حدود چگالی، تخلخل متوسط و مقاومت پایین، همگی بیانگر حضور غالب ماسه در این خوشه می‌باشد. از طرفی میزان کم پرتوزایی حاکی از کمبود رس و تمیز بودن این ناحیه است. در ضمن مقاومت بسیار پایین، با حضور آب شور در این خوشه قابل توجیه است. هر دو روش خوشه‌بندی، تطابق قابل قبولی با روش‌های تعیین سنگ‌شناسی با استفاده از تلفیق نگارهای پتروفیزیکی و کانی‌شناسی به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) نشان دادند.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان گفت روش خوشه‌بندی با استفاده از نگارهای مناسب، می‌تواند گامی موثر برای تعیین سنگ‌شناسی با دقت بالا در مخازن باشد، به ویژه در اعماقی که مغزه‌گیری نشده است.

صرفاً وجود هماتیت، فلدسپارهای قلیایی و پلاژیوکلازها توسط خوشه‌بندی نگارها پیش‌بینی نشده است که البته این کانی‌ها مجموعاً ۵ درصد وزنی نمونه را تشکیل می‌دهند. همچنین نتایج جدول نشان می‌دهد که خوشه دوم نماینده نمونه‌های ماسه‌سنگی با بیشترین میزان رس است، اگرچه که سایر تشکیل دهنده‌های این نمونه توسط روش خوشه‌بندی شناخته نشده است. با توجه به شکل ۸، آنالیز نمونه مغزه خوشه سوم نشان دهنده بخش تمیز مخزن با حداکثر میزان ماسه و حداقل میزان رس است. این بخش با داشتن ضخامت حداکثری در بین سایر خوشه‌ها نشان دهنده کیفیت بالای مخزن در این قسمت است.

تحلیل پتروفیزیکی با استفاده از تلفیق داده‌های کلیه نگارها در نرم افزار ژئولاگ نسخه ۶/۶ انجام شد (شکل ۹). اعماق متناظر با سه خوشه حاصل از روش خوشه‌بندی دو مرحله‌ای با استفاده از تلفیق نگارها در تحلیل‌های پتروفیزیکی به ترتیب دال بر حضور کربنات و انیدریت در ماسه شیلی (اعماق متناظر با خوشه شماره یک)، رس بسیار زیاد و کربنات (خوشه شماره دو) و نهایتاً ماسه تمیز (خوشه شماره سه) داشت که تطابق زیادی با یافته‌های حاصل از به کار بستن روش‌های خوشه‌بندی داشته است. تنها مورد عدم تطابق یافته‌های حاصل از تلفیق نگارهای پتروفیزیکی و روش خوشه‌بندی در خوشه شماره دو دیده می‌شود که بر مبنای تلفیق نگارهای پتروفیزیکی این اعماق از رس بسیار زیاد و کربنات تشکیل شده است، اما روش خوشه‌بندی و آنالیز مغزه هر دو حکم بر وجود ماسه و رس بسیار زیاد در این اعماق نموده‌اند که به نظر می‌رسد به دلیل تطابق خوشه‌بندی با نتایج آنالیز مغزه و اصل اصالت یافته‌های آزمایشگاهی، تلفیق نگارهای پتروفیزیکی در این قسمت دچار خطا بوده است و همین امر لزوم استفاده از روش‌های خوشه‌بندی را در مطالعات پتروفیزیکی مخازن دوچندان می‌نماید.

نتایج این تحقیق نشان داد، می‌توان از نگارهای GR, LLD, LLS, NPHI, RHOB و روش‌های خوشه‌بندی دو مرحله‌ای و میانگین k با اطمینان برای تعیین گونه‌های سنگی در مخازن ماسه شیلی مشابه سازند شوریجه استفاده نمود.



شکل ۹: تحلیل پتروفیزیکی با استفاده از تلفیق داده‌های کلیه نگارها به منظور اعتبارسنجی نتایج خوشه‌بندی

conference, Ministry of petroleum, Tehran (In Persian).

[9] Yang, H., Pan, H., Ma, H., Konaté, A. A., Yao, J., & Guo, B. (2016). Performance of the synergetic wavelet transform and modified K-means clustering in lithology classification using nuclear log. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 144, 1-9.

[10] WANG, Z. W., LIU, J. H., & REN, L. (2009). The Method for Lithology Classification in Geophysical Well Logging Based on the K-means Dynamic Clustering Analysis [J]. *Journal of East China Institute of Technology (Natural Science)*, 2.

[11] Mahmoodi, O., & Smith, R. (2015). Clustering of downhole physical property measurements at the Victoria property, Sudbury for the purpose of extracting lithological information. *Journal of Applied Geophysics*, 118, 145-154.

[12] Wang, X., Yang, S., Zhao, Y., & Wang, Y. (2018). Lithology identification using an optimized KNN clustering method based on entropy-weighted cosine distance in Mesozoic strata of Gaoqing field, Jiyang depression. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 166, 157-174.

[13] Nabi Bidhendi, M., and Esmaili Abdar, MA. (2001). The porosity estimation on the velocity of compressional waves considering the clay effect in the shaly sandstone Formation of Shurijeh. *Journal of Earth and Space Physics*, 27(20), 25-29 (In Persian).

[14] Jozanikohan, G. (2017). On the development of a non-linear calibration relationship for the purpose of clay content estimation from the natural gamma ray log. *International Journal of Geo-Engineering*, 8(1), 1-21.

[15] Afshar Harb, A. (1994). The geology of Iran: the geology of Kopet Dag region. The geological survey of Iran publication press (In Persian).

[16] NIOC (Exploration Directorate) well completion report, (1986). Gonbadli geological well completion report. National Iranian Oil Company records, Tehran, Iran (In Persian).

[17] Jozanikohan, G., Norouzih Gh.H, Sahabi, F., and Ojani, H. (2016). Comparison between the laboratory and petrophysical-derived methods to identify the clay minerals in an eastern Kopet-Dagh gas field", *Iranian Journal of Mining Engineering*, 11 (30): 1-11 (In Persian).

[18] Habibpour Gatabi, K., and Safari Shali, R. (2009). The handbook of SPSS software applications in surveying researches: the quantitative data analysis. Motefakeran publication, Tehran, Iran (In Persian).

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مایلند مراتب سپاس خود را به آزمایشگاه اشعه ایکس، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران به جهت انجام آنالیزهای صحیح و دقیق دستگاهی استفاده شده در این تحقیق ابراز دارند.

منابع

[1] Chehrazhi, A. and Rezaei, MR. (2006). Basics of acquisition and interpretation of well logs. University of Tehran publication press (In Persian).

[2] Alizadeh, S. (2011) Data mining (Clustering analysis). Khajehnasirodin Toosi University publication press (In Persian).

[3] Kadkhodaei-Ilkhchi, A., Rezaei, MR., Moalemi, SA., and Sheikhzadeh A. (2005). The estimation of rock types and permeability in South Pars gas field, using clustering technique and fuzzy modelin. The 9th Symposium of Geological Society of Iran, Tarbiat Moalem University, Tehran, Iran (In Persian).

[4] Hemmati Nik, H.R., Nazarifard, M., and Tabatabaie raesi, S.H. (2016). The determination of electro-facies using clustering methods in one of carbonate reservoirs of southern Iran. *Academic-Research Journal of Exploration and Production Oil and Gas*, 137(8): 67-77 (In Persian).

[5] Sfidari, E., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., & Najjari, S. (2012). Comparison of intelligent and statistical clustering approaches to predicting total organic carbon using intelligent systems. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 86, 190-205.

[6] Kiaei, H., Sharghi, Y., Ilkhchi, A. K., & Naderi, M. (2015). 3D modeling of reservoir electrofacies using integration clustering and geostatistic method in central field of Persian Gulf. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 135, 152-160.

[7] Sfidari, E., Amini, A., Kadkhodaie, A., & Ahmadi, B. (2012). Electrofacies clustering and a hybrid intelligent based method for porosity and permeability prediction in the South Pars Gas Field, Persian Gulf. *Geopersia*, 2(2), 11-23.

[8] Khoshbakht F., and Bagheri H. (2015). The determination of the boundary of sedimentary bases using blocking algorithm and applying the FMI diagram to verify and use it in order to improve the accuracy of petrophysical reservoir parameters. The third international petroleum, gas, and petrochemical