

## مقایسه رخساره‌های الکتریکی با گونه‌های سنگی تعیین شده به روش واحدهای همسان جریان سازند کنگان در یکی از میادین گازی خلیج فارس

حیدر صائمی<sup>۱</sup>، وحید توکلی<sup>۲</sup>، حسن اشراقی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود،

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، شرکت نفت و گاز پارس، مدیریت مهندسی نفت و گاز، تهران

[\\*he\\_saemi@yahoo.com](mailto:he_saemi@yahoo.com)

دریافت اسفند ۱۳۹۳، پذیرش تیر ۱۳۹۴

### چکیده

سازند کنگان با ضخامتی حدود ۴۴۴ متر از گروه دهرم، پرمین، در ناحیه مورد مطالعه به طور عمده، از سنگ آهک و دولومیت تشکیل شده که گاهی با میان لایه‌های انیدریتی نیز همراه است. در این پژوهش، از روش تفکیک‌پذیری چندتایی برای تعیین رخساره‌های الکتریکی میدان مورد مطالعه استفاده شده است. با توجه به این‌که در این میدان مطالعاتی جهت تعیین رخساره‌های الکتریکی و تعیین گونه‌های سنگی به روش واحدهای همسان جریان انجام نشده است، انجام این پژوهش اهمیت کار را دو چندان کرده است. در این مقاله، با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی پرتو گاما، چگالی و تخلخل نوترون رانده شده و داده‌های مغزه در یکی از چاه‌های میدان، گونه‌های سنگی به روش‌های رخساره‌های الکتریکی و واحدهای همسان جریان، تعیین گردید. تعیین رخساره‌های سنگی در این میدان می‌تواند راه حلی کارآمد برای طبقه‌بندی رخساره‌های مخزن در جهت تعیین خواص پتروفیزیکی سنگ مخزن و تفکیک مناطقی که پتانسیل بالاتری برای تولید گاز دارند از مناطق کم پتانسیل باشد. در این راستا روش خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) که روشی براساس روش ناپارامتری K امین همسایه نزدیک و نمایش نموداری داده‌ها است، بر روی نمودارهای تخلخل نوترون، چگالی و پرتو گاما اعمال شد، تا رخساره الکتریکی معادل رخساره سنگی به دست آمده از مغزه بازسازی شود. در نهایت خوشه‌های نهایی با تلفیق خوشه‌های کوچک شکل می‌گیرند که منجر به شناسایی پنج رخساره در این میدان گردید. روش مورد استفاده در این تحقیق نیاز به مغزه‌گیری گسترده در این میدان را رفع می‌کند و منجر به صرفه‌جویی بسیار در هزینه و زمان می‌شود. علاوه بر روش فوق، گونه‌های سنگی به روش واحدهای همسان جریان نیز تعیین گردید. واحدهای جریان هیدرولیکی روشی برای طبقه‌بندی انواع سنگ‌ها نسبت به خواص جریانی، برپایه پارامترهای زمین‌شناسی و فیزیک جریان در مقیاس منافذ است. در این روش نیز ۵ نوع واحد سنگی بدست آمد و در پایان این دو روش با هم مقایسه شدند که در بسیاری فواصل عمقی تطابق خوبی داشتند. البته در بعضی فواصل عمقی نتیجه مناسب حاصل نشد که این می‌تواند به دلیل عدم یکنواختی در برداشت نمونه‌گیری در هر یک از دو روش و خطاهای انسانی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** سازند کنگان، رخساره‌های الکتریکی، خوشه‌سازی، واحدهای همسان جریان، گونه‌های سنگی.

## ۱. مقدمه

سازندکنگان با سن تریاس پیشین بخش بالائی گروه دهرم را تشکیل می‌دهد. این سازند یکی از مهمترین سازندهای مخزنی گازدار در خاورمیانه و به طبع آن زاگرس چین‌خورده و بخش‌های وسیعی از خلیج فارس است [3]. رایج‌ترین روش در تعیین رخساره‌های سنگی استفاده از مغزه‌گیری است. داده مغزه، مشاهده‌ای مستقیم از رخساره‌های سنگی را در اختیار ما قرار می‌دهد و به کمک آن به صورت دقیق می‌توان رخساره‌های گوناگون را از یکدیگر تفکیک کرد. اما با وجود همه ویژگی‌های مثبت، به سبب گران بودن عملیات مغزه‌گیری و نیز صددرصد نبودن بازیابی مغزه خارج شده از چاه، این روش در تمامی چاه‌های یک میدان قابل استفاده نیست [5]. از طرفی توصیف و آنالیز مغزه بسیار وقت‌گیر و به تجربه زمین‌شناس بستگی دارد. بنابراین برای حل این مشکل نیاز به روشی است که هم ارزان‌تر از مغزه‌گیری باشد و هم بتواند دقت و تفکیک‌پذیری رخساره‌های سنگی را تا حد مناسبی برای چاه‌هایی که مغزه ندارند، ایجاد کند [8]. یکی از روش‌های مناسب برای پاسخ به این نیاز استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی است. نمودارهای پتروفیزیکی، اطلاعات غیرمستقیم از داده‌های زیرزمینی به دست می‌آورد و نیز بسیار ارزان‌تر از استفاده از نتایج بررسی‌های مغزه است. با بررسی چند نمودار چاه‌پیمایی با هم، می‌توان رخساره‌های الکتریکی که شباهت‌های زیادی با هم دارند را طبقه‌بندی کرد. رخساره‌های الکتریکی می‌توانند هم خصوصیات سنگ و هم خصوصیات شاره مخزن را نمایش دهند و به کاربر اجازه می‌دهند که واحدهای رسوبی و لایه‌ها را از هم تفکیک کند. اگر رخساره‌های الکتریکی با رخساره‌های سنگی منطبق شوند، می‌توان رخساره‌های الکتریکی را در حکم جانشین برای رخساره سنگی ساخت و به کار برد. رخساره‌های الکتریکی ایجاد شده را می‌توان بعداً برای پیش‌بینی رخساره‌های سنگی در چاه‌های بدون مغزه و یا در بازه‌های بدون مغزه چاه‌های مغزه‌گیری شده به کار برد [7]. یک روش موثر برای تجزیه و تحلیل رخساره، ایجاد مدل طبقه‌بندی از رخساره‌ها است که داده‌های نمودار پتروفیزیکی را به مجموعه‌ای از پاسخ‌های نمودار که یک رسوب را توصیف می‌کند، تقسیم بندی می‌کند و امکان تفکیک و شناسایی رسوب از سایر رسوبات را فراهم می‌آورد. به این مجموعه از پاسخ‌های نمودار یک دسته یا خوشه می‌گویند. خوشه‌سازی بر اساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی<sup>۱</sup> یک روش آماری ناپارامتری است که مشکل وابستگی به بُعد را از بین می‌برد و اطلاعات مفیدی در مورد رخساره‌های زمین‌شناسی از ساختار خود داده به دست می‌آورد [10]. این روش که روشی براساس روش ناپارامتری K امین همسایه نزدیک و نمایش نموداری داده است، بر روی نمودارهای تخلخل، چگالی و پرتو گاما اعمال شد تا رخساره الکتریکی از آن حاصل گردد.

استفاده از روش‌های فوق برای تعیین گونه‌های سنگی در میدانی متعددی بکار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به سازند سرمه در میدان بلال و سازند آسماری در میدان چشمه‌خوش اشاره کرد.

## ۲. موقعیت میدان مورد مطالعه و چینه‌شناسی سنگی سازند کنگان

میدان مورد بررسی در میانه خلیج فارس واقع شده که تنها دو چاه در این میدان تا انتهای سازند کنگان حفاری شده است. نام کنگان از میدان عظیم گازی کنگان، در حاشیه خلیج فارس، در ۱۷۵ کیلومتری جنوب خاوری بندر بوشهر گرفته شده، ولی بُرش الگوی آن در چاه شماره (۱) کوه سیاه واقع در خاور تاقدیس و گنبد نمک خورموج است [1]. سازند کنگان در ناحیه مورد مطالعه در بین سازند دالان در زیر و سازند دشتک در بالای آن جای دارد. مرز زیرین این سازند با سازند دالان

<sup>۱</sup> Multi-Resolution Graph based Clustering (MRGC)

(مرز بین پرمین و تریاس) از نوع ناپیوستگی فرسایشی است [2]. مرز بالائی آن با سازند دشتک (بخش شیل آغار) به صورت پیوسته و هم شیب است [12].

## ۲-۱ داده های موجود

پایگاه اطلاعاتی این تحقیق شامل داده‌های مربوط به دو حلقه چاه که ۶۶۰۰ متر از هم فاصله می‌باشد. این داده‌ها شامل نمودارهای خام پتروفیزیکی، گزارش‌های مقاطع نازک از فواصل مغزه گرفته شده، گزارش‌های آزمایش معمولی و ویژه مغزه<sup>۱</sup> و تمامی گزارش‌های مربوط به زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه است. از اطلاعات خام نمودارهای پتروفیزیکی می‌توان به نمودار پرتو گاما<sup>۲</sup>، چگالی<sup>۳</sup>، تخلخل نوترون<sup>۴</sup> و نمودار صوتی<sup>۵</sup> اشاره کرد. در چاه A میدان مورد مطالعه، نمودارهای مذکور از عمق ۲۸۹۱ متری تا عمق ۳۹۰۵ متری برداشت شده است، که تمام سازندهای مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. به همین صورت برای چاه B، نمودارهای پتروفیزیکی از عمق ۲۸۹۱،۴ متری تا عمق ۳۹۰۵،۴ متری را پوشش می‌دهد. از چاه‌های A و B میدان مذکور در مجموع ۹۴۵،۹ متر مغزه برداشت شده است که ۳۵۰ متر از چاه A و ۵۹۵،۹ متر از چاه B می‌باشد. از مغزه‌های برداشت شده تعداد ۳۴۵۰ مقطع نازک تهیه شده که ۱۴۰۰ عدد از آن مربوط به چاه A و ۲۰۵۰ عدد آن مربوط به چاه B می‌باشد.

## ۲-۲ روش کار

در این پژوهش نخست با استفاده از نمودارهای الکتریکی و روش‌های آماری<sup>۵</sup> رخساره الکتریکی بدست آمد. از طرفی با توجه به این که واحدهای همسان جریانی، که یک روش برای دسته‌بندی نوع سنگ و پیش‌بینی ویژگی‌های جریان بر پایه پارامترهای زمین‌شناسی، رسوب شناسی و فیزیک جریان در مقیاس حفره‌ای می‌باشد، نیز با استفاده از نتایج مطالعات معمولی مغزه،<sup>۵</sup> گونه سنگی بدست آمد. برای آنالیز رخساره‌های الکتریکی، نمودارهای پتروفیزیکی چاه‌ها<sup>۶</sup>، گزارش‌های توصیف مغزه و مقاطع نازک میکروسکوپی، نتایج آنالیز مغزه‌ها و نتایج ارزیابی‌های پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گرفت. در ابتدا نمودار متقاطع وزن مخصوص در مقابل تخلخل نوترون در چاه‌های میدان ترسیم شده و ترکیب سنگ‌شناسی سازند کنگان به طور کلی بر روی آن نشان داده شد (شکل ۱).

<sup>۱</sup> CCAL & SCAL

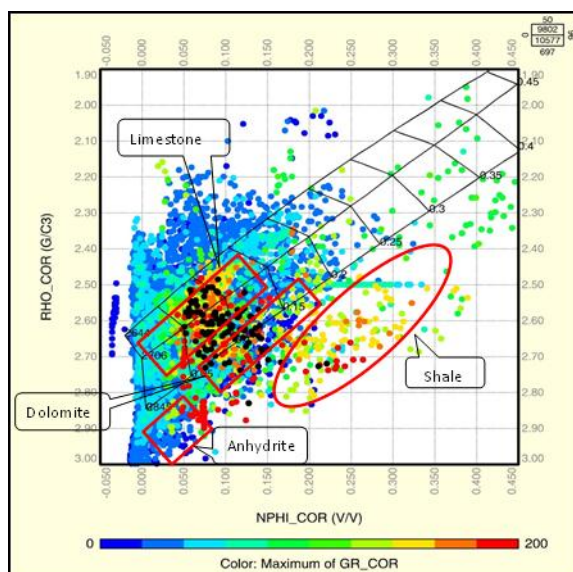
<sup>۲</sup> GR

<sup>۳</sup> RHOB

<sup>۴</sup> NPFI

<sup>۵</sup> DT

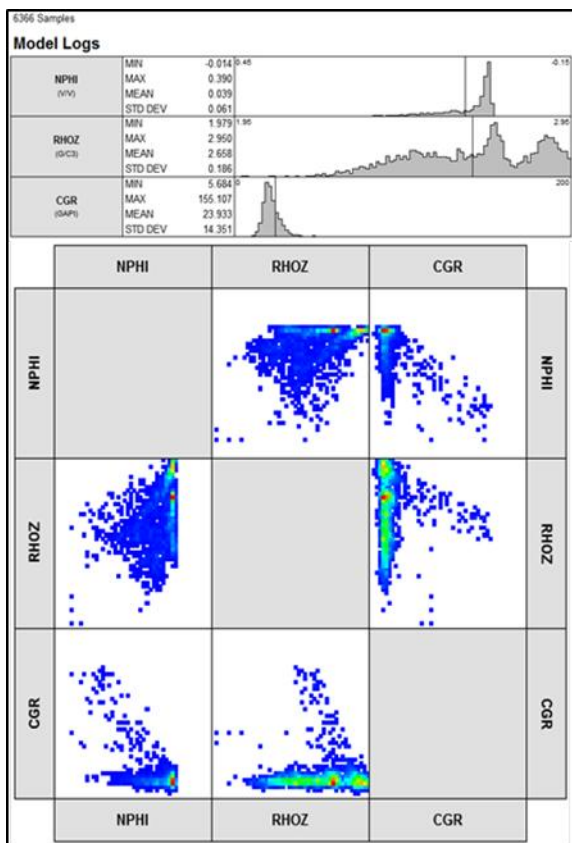
<sup>۶</sup> Well Logs



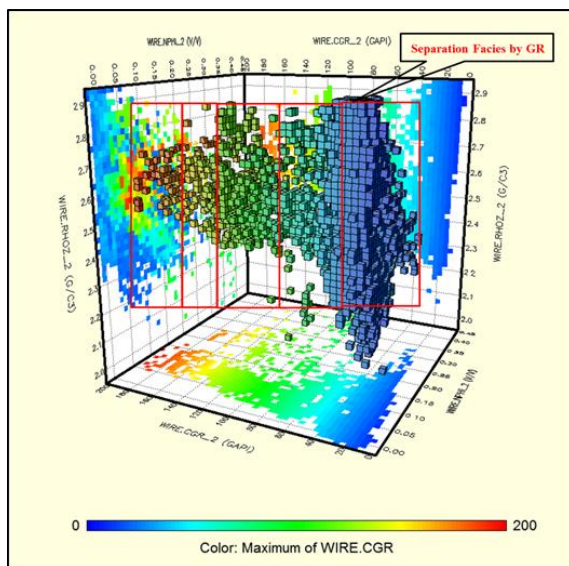
شکل ۱- نمودار متقاطع وزن مخصوص در مقابل تخلخل نوترون در چاه‌های میدان مورد مطالعه

همان‌طور که در شکل پیداست، بخش‌های مختلفی از نقاط دارای مقادیر یکسان پرتو گاما هستند (رنگ سبز تا قرمز) که این مسئله بیانگر آن است که دو نمودار وزن مخصوص و تخلخل نوترون به تنهایی قادر به جداکردن رخساره‌های مختلف نیست. نتیجه این‌که جهت آنالیز رخساره‌های الکتریکی باید حداقل از سه نمودار و یا بیشتر به‌طور هم‌زمان استفاده گردد. جهت آنالیز و شناسایی رخساره‌های الکتریکی سازند مورد مطالعه، تمامی نمودارهای پتروفیزیکی موجود مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. در نهایت پس از بررسی‌های فراوان با انواع ترکیبی حداقل سه‌گانه نمودارهای الکتریکی جهت جدایش بهتر رخساره‌ها، مشخص گردید که نمودارهای پرتو گاما، نوترون و وزن مخصوص بهترین نتایج را جهت تفکیک رخساره‌های مختلف در سازند کنگان ارائه می‌دهند. لذا این سه نمودار الکتریکی در یکی از چاه‌های میدان انتخاب و تصحیحات محیطی بر روی آنها انجام گردید و از آنها به عنوان داده‌های ورودی به مدل رخساره‌ای استفاده شد. در شکل ۲ هیستوگرام نمودارهای انتخاب شده همراه با اطلاعات آماری آنها و نمودارهای متقاطع هر یک نسبت به هم ارائه شده است.

برای روشن شدن کامل مطلب شکل سه‌بعدی نمودارهای پرتو گاما، تخلخل و چگالی سازند کنگان در چاه B در شکل ۳ آورده شده است. در این شکل ملاحظه می‌گردد که به‌صورت سه‌بعدی بخش‌های مورد نظر همپوشانی نداشته و قابل تفکیک هستند. لذا در این مطالعه جدایش و تفکیک رخساره‌های الکتریکی به‌صورت سه‌بعدی انجام گردید. خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی یک روش آماری ناپارامتری است که مشکل وابستگی به بعد را از بین می‌برد و اطلاعات مفیدی در مورد رخساره‌های زمین‌شناسی از ساختار خود داده به دست می‌آورد [10].

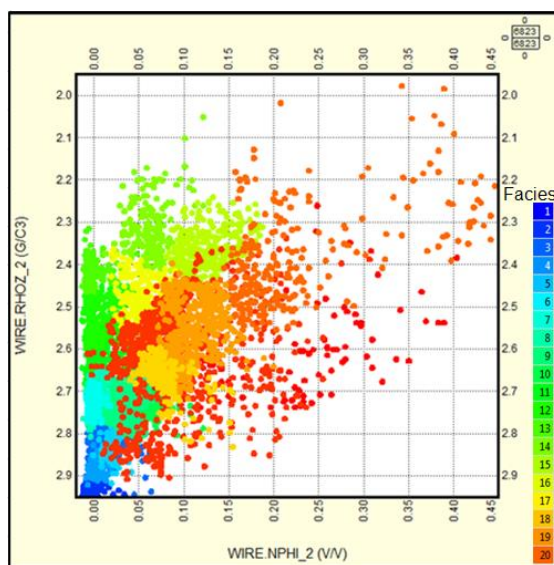


شکل ۲- هیستوگرام و مشخصات آماری نمودارهای انتخاب شده جهت آنالیز رخساره‌های الکتریکی

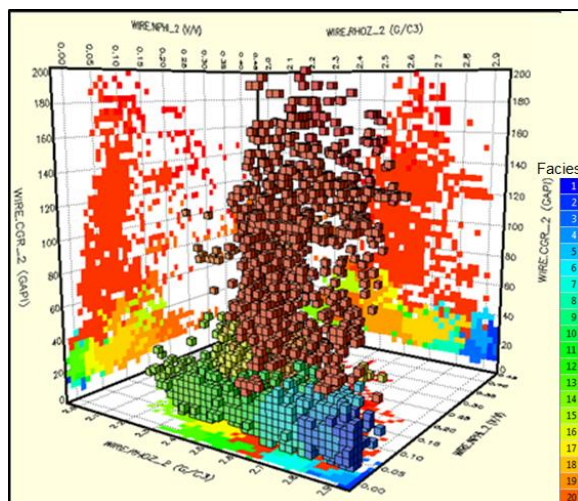


شکل ۳- نمایش سه‌بعدی نمودارهای انتخاب شده جهت آنالیز رخساره‌های الکتریکی در چاه B میدان مورد مطالعه

در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ خوشه‌سازی رخساره‌ای به روش تفکیک‌پذیری چندتایی انجام گرفت. برای این اساس نرم افزار ۵ رده رخساره‌ای را پیشنهاد داد. ۵ رده رخساره‌ای به ترتیب شامل ۱۲، ۱۴، ۱۸، ۲۰ و ۲۲ خوشه رخساره‌ای بوده که با توجه به دقت مورد نیاز جهت تعریف رخساره‌های الکتریکی رده ۴ که شامل ۲۰ خوشه رخساره‌ای بوده به عنوان مبنا، جهت تلفیق رخساره‌ها و نهائی کردن مدل رخساره‌ای انتخاب گردید. در شکل‌های ۴ و ۵، ۲۰ خوشه رخساره‌ای اولیه به صورت دو بعدی و سه بعدی نمایش داده شده‌است. لازم به ذکر است که تعداد خوشه‌های رخساره‌ای تا حدودی تعریف می‌گردند که بتوان جدایش مورد نیاز برای بخش‌های مختلف با سنگ‌شناسی متفاوت را بدست آورد.



شکل ۴- نمودار متقاطع تخلخل در مقابل چگالی برای سازند کنگان که تعداد ۲۰ خوشه اولیه ایجاد شده‌است



شکل ۵- نمودار سه بعدی پرتو گاما، تخلخل و چگالی در سازند کنگان با ۲۰ رخساره اولیه

۲-۳ تلفیق رخساره‌های الکتریکی<sup>۱</sup>

همان‌گونه که ذکر گردید، مدل رخساره‌ای شامل ۲۰ خوشه<sup>۲</sup> به‌عنوان مدل مبنا جهت تلفیق رخساره‌ای<sup>۳</sup> انتخاب گردید. این مدل با استفاده از روش<sup>۴</sup> KNN در چاه مورد نظر توزیع گردید. سپس براساس نمودارهای تفسیر شده، میزان تغییرات تخلخل هر یک از ۲۰ رخساره بررسی و تعیین گردید. در جدول ۱ مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط تخلخل برای ۲۰ رخساره<sup>۴</sup> اولیه آورده شده است. جهت تلفیق رخساره‌ها ابتدا مخزن به لحاظ کیفی به پنج کیفیت خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و بسیار خوب تفکیک شد (جدول ۲). سپس با توجه به جدول‌های ۱ و ۲ رخساره‌های اولیه‌ای که میانگین تخلخل آنها با رخساره‌های کیفی تعیین شده در جدول ۲ هماهنگ هستند با هم تلفیق کرده و به عنوان یک رخساره در نظر گرفته شد. واضح‌تر این که تمام ۲۰ رخساره اولیه‌ای که مقدار میانگین آنها کمتر از ۳٪ است مانند رخساره‌های اولیه‌ی ۱ تا ۷، ۱۰، ۱۲ و ۱۹ با هم تلفیق شده و تحت عنوان رخساره شماره ۱ قرار گرفت. با مقایسه رخساره شماره ۱ با نتایج مطالعات مغزه در اعماق متناظر، مشاهده شد که بسیاری نقاط دارای تراوایی خیلی پایین می باشند. بعلاوه با توجه به این که در سازند کنگان در میدان مورد مطالعه زون‌های شکسته شده‌ای که تراوایی مخزن را افزایش دهد دیده نشده، لذا رخساره شماره ۱ به لحاظ مخزنی، کیفیت مناسب نداشته و امکان تولید از این رخساره بسیار بعید به نظر می‌آید. تلفیق رخساره‌ها به همین صورت برای سایر رخساره‌های اولیه انجام گردید. در جدول ۱ رخساره‌های اولیه‌ای که می‌توانند با هم تلفیق شوند را به صورت هم‌رنگ نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط تخلخل

رخساره	تخلخل (%)		
	کمینه	بیشینه	متوسط
۱	۰	۲	۰
۲	۰	۳	۰
۳	۰	۴	۱
۴	۰	۳	۲۸
۵	۰	۳	۲۱
۶	۰	۳	۱۸۵
۷	۰	۳	۱۶۱
۸	۱	۱۰	۷۴
۹	۲	۸	۳۱
۱۰	۰	۸	۱۱۶
۱۱	۰	۸	۱۹۹
۱۲	۰	۶	۱۲۱
۱۳	۳	۱۵	۱۴۵
۱۴	۷	۱۳	۷۶
۱۵	۰	۱۲	۶۶
۱۶	۴	۱۱	۲۷
۱۷	۶	۱۴	۱۷۴
۱۸	۸	۲۱	۹۱
۱۹	۰	۶	۶۰
۲۰	۰	۸	۲۳

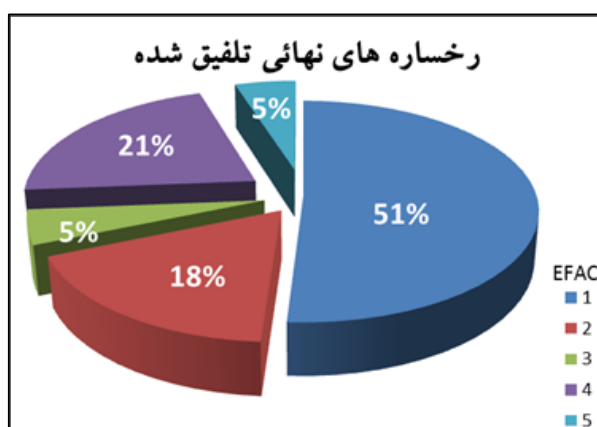
<sup>۱</sup> Facies Merge<sup>۲</sup> Cluster<sup>۳</sup> Facies Merging<sup>۴</sup> K-Nearest-Neighbor

جدول ۲- تفکیک رخساره‌های مخزن بر اساس تغییرات مقادیر تخلخل

رخساره	تخلخل	مشخصه مخزن
۱	$\phi < 3$	خیلی ضعیف
۲	$3 \leq \phi < 6$	ضعیف
۳	$6 \leq \phi < 9$	متوسط
۴	$9 \leq \phi < 12$	خوب
۵	$\phi \geq 12$	خیلی خوب

جدول ۳- فراوانی رخساره‌های الکتریکی تلفیق شده

رخساره	تعداد	تخلخل	فراوانی	مشخصه مخزن
۱	۹۴۲	$\phi < 3$	۰.۵۱	خیلی ضعیف
۲	۳۲۷	$3 \leq \phi < 6$	۰.۱۸	ضعیف
۳	۹۳	$6 \leq \phi < 9$	۰.۰۵	متوسط
۴	۳۹۵	$9 \leq \phi < 12$	۰.۲۱	خوب
۵	۹۱	$\phi \geq 12$	۰.۰۵	خیلی خوب
مجموع	۱۸۴۸		۱۰۰٪	



شکل ۶- فراوانی رخساره‌های الکتریکی تلفیق شده

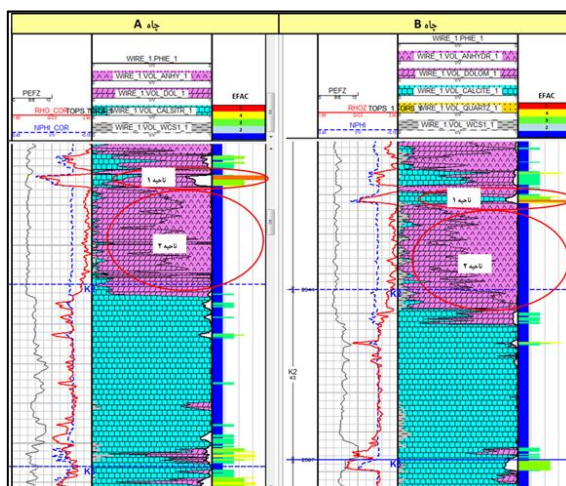
در جدول ۳ و شکل ۶ رخساره‌های الکتریکی تلفیق شده همراه با فراوانی آنها نشان داده شده است.

## ۲-۴ توزیع رخساره‌های الکتریکی در چاه A

اگر چه چاه A دارای اطلاعات کافی برای بدست آوردن رخساره‌های الکتریکی بود، اما از اطلاعات آن استفاده نشد. در واقع از چاه A به عنوان چاهی که بتوان نتایج حاصل از چاه B را در آن بررسی کرد استفاده شد. پس از اطمینان از صحت و درستی مدل نهائی رخساره‌ای چاه B، با استفاده از روش KNN Facies Propagation رخساره‌های ۵ گانه در چاه A توزیع گردید. در شکل ۶ رخساره‌های الکتریکی بدست آمده با تخلخل تفسیر شده بطور کیفی تطابق



داده شده‌اند. همانطور که در شکل پیداست، مناطقی که دارای تخلخل پائین و کیفیت مخزنی نامناسب می‌باشند در مقابل رخساره‌های الکتریکی ۱ و ۲ (رنگ‌ها آبی پر رنگ و آبی کم رنگ) واقع شده (ناحیه ۲) و فواصلی که از تخلخل بالایی برخوردار بوده و کیفیت مخزنی خوبی دارند، رخساره‌های الکتریکی ۳ و ۵ (رنگ‌های سبز، زرد و قرمز) را پوشش می‌دهند (ناحیه ۱).



شکل ۶- توزیع رخساره‌های پنجگانه الکتریکی در چاه‌های A و B و مقایسه آن با نمودارهای تفسیر شده پتروفیزیکی

## ۲-۵ تعیین گونه‌های سنگی به روش واحدهای همسان جریانی

در این میدان علاوه بر روش رخساره الکتریکی گونه‌های سنگی به روش واحدهای همسان جریانی<sup>۱</sup> نیز تعیین گردید. یک واحد جریانی، حجمی از سنگ مخزن است که به طور عمودی و جانبی، پیوسته و قابل پیش‌بینی بوده و خصوصیات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی تأثیرگذار روی جریان سیال درون آن، ثابت است و به طور مشخص از سایر حجم‌های سنگ متفاوت می‌باشد. واحدهای جریانی هیدرولیکی روشی برای طبقه‌بندی انواع سنگ‌ها نسبت به خواص جریانی برپایه پارامترهای زمین‌شناسی و فیزیکی جریان در مقیاس منافذ است. تعیین گروه‌های سنگی می‌تواند براساس انواع داده‌های نمودار پتروفیزیکی و آنالیز مغزه صورت گیرد. در این مطالعه از روش شاخص منطقه جریانی جهت تعیین تعداد گروه‌های سنگی استفاده شده است. تئوری روش ابتدا توسط آمیفلو و همکاران و سپس توسط سایر محققین تعمیم یافت [4]. تئوری مربوط به طبقه‌بندی واحدهای جریانی هیدرولیکی بر این فرض استوار است که منافذ را می‌توان به صورت دسته‌ای از لوله‌های موئین در نظر گرفت. برای لوله‌های موئین مستقیم استوانه‌ای به شعاع  $r$  با ترکیب رابطه داریسی (Darcy) و رابطه پویزیله<sup>۲</sup>، می‌توان نوشت:

$$K = \frac{r^2}{8} \varphi_e \quad (1)$$

که در آن  $K$  تراوایی و  $\varphi_e$  تخلخل موثر می‌باشند. رابطه ساده فوق بیانگر این است که ارتباط تخلخل و تراوایی بستگی به هندسه فضای و شکل منافذ (شعاع  $r$ ) و شکل منافذ (عدد ۸ در معادله فوق برای لوله‌های استوانه‌ای شکل) دارد. برای یک

<sup>۱</sup> Hydraulic Flow Units (HFU)

<sup>۲</sup> Poiseuille

محیط متخلخل واقعی کوزنی و کارمن دو پارامتر پیچاپیجی ( $\tau$ ) و مساحت سطح واحد حجم دانه ( $S_{gv}$ ) را در رابطه (۱) اعمال نموده و رابطه زیر را ارائه نمودند [9]:

$$(۲) \quad K = \frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e)^2} \times \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2}$$

که در آن  $F_s$  فاکتور شکل،  $K$  تراوایی بر حسب میکرومتر مربع و  $\varphi_e$ ، تخلخل به صورت کسری بیان می‌شود. گروه  $F_s \tau^2$  به عنوان ثابت کوزنی شناخته شده و محدودیت اصلی در کاربرد معادله فوق می‌باشد، زیرا مقادیر واقعی از ثابت کوزنی معمولاً برای یک سنگ خاص ناشناخته بود و عبارت  $S_{gv}^2$  در محاسبات منظور نمی‌گردید. تکنیک واحدهای جریان هیدرولیکی، با در نظر گرفتن مشخصات اصلی زمین‌شناسی و هندسه فضای متخلخل و تقسیم‌بندی شاخص منطقه‌ای جریان<sup>۱</sup>، تغییرات ثابت کوزنی و عبارت  $S_{gv}^2$  را در نظر می‌گیرد. آمیقول و همکاران با تقسیم رابطه (۲) بر  $\varphi_e$  تغییرات ثابت کوزنی را مورد مطالعه قرار داده‌اند و رابطه زیر را ارائه نمودند [4]:

$$(۳) \quad 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\varphi_e}} = \left[ \frac{\varphi_e}{1-\varphi_e} \right] \sqrt{\frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2}}$$

ثابت 0.0314 جهت تبدیل میلی‌متر مربع به میلی‌داری است. با تعریف عبارت‌های شاخص منطقه‌ای جریان<sup>۲</sup>، شاخص کیفیت مخزنی<sup>۳</sup> و تخلخل نرمال شده<sup>۴</sup> به صورت‌های زیر:

$$(۴) \quad FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau^2 S_{gv}^2}}$$

$$(۵) \quad RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{K}{\varphi_e}}$$

$$(۶) \quad \varphi_z = \frac{\varphi_e}{1-\varphi_e}$$

با توجه به روابط ۴ تا ۶، رابطه ۳ به صورت  $RQI = \varphi_z \times FZI$  تبدیل خواهد شد. با گرفتن لگاریتم از طرفین معادله خواهیم داشت.

$$(۷) \quad \text{LogRQI} = \text{Log}\varphi_z + \text{LogFZI}$$

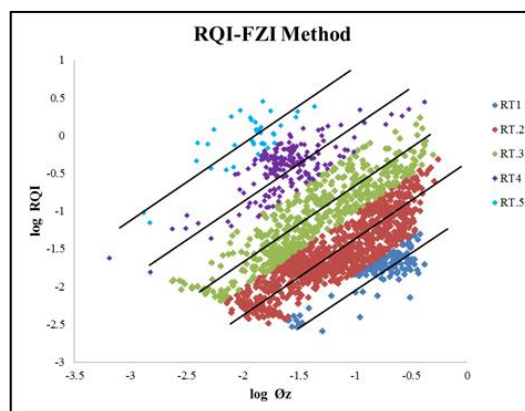
از این رو هنگامی که شاخص کیفیت مخزنی بر حسب  $\varphi_z$  در نمودار log-log رسم شود خط راست با شیب واحد برای هر نوع سنگ بدست می‌آید. مقدار شاخص بخش جریانی را می‌توان از عرض از مبدا این خط در  $\varphi_z = 1$  بدست آورد. نمونه‌هایی که دارای اندازه‌های گوناگون شاخص بخش جریانی هستند، خطوط موازی دیگری می‌سازند. شمار این خط‌ها معادل شمار نوع سنگ‌های مخزن می‌باشد. همه نمونه‌های واقع شده در روی یک خط، دارای ویژگی‌های گلوگاهی یکسان هستند و بنابراین یک واحد جریانی را تشکیل می‌دهند. با افزایش مقدار عددی شاخص منطقه‌ای جریان، ویژگی‌های مخزنی بهبود می‌یابد. تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی درون یک مخزن با داده‌های مغزه انجام می‌شود. اندازه‌گیری‌های تخلخل بر حسب تراوایی تحت فشار همه جانبه خالص از داده‌های معمولی مغزه جهت محاسبه تخلخل نرمال شده، شاخص منطقه‌ای جریان و شاخص کیفیت مخزنی استفاده می‌شود. اگرچه برای هر واحد جریانی می‌بایستی یک مقدار شاخص منطقه‌ای جریان در محدوده متوسط واقعی وجود داشته باشد، ولی بدلیل خطاهای اندازه‌گیری تصادفی در آنالیز مغزه یک توزیع از

<sup>۱</sup> Flow Zone Indicator (FZI)

<sup>۲</sup> Reservoir Quality Index (RQI)

<sup>۳</sup>  $\varphi_z$

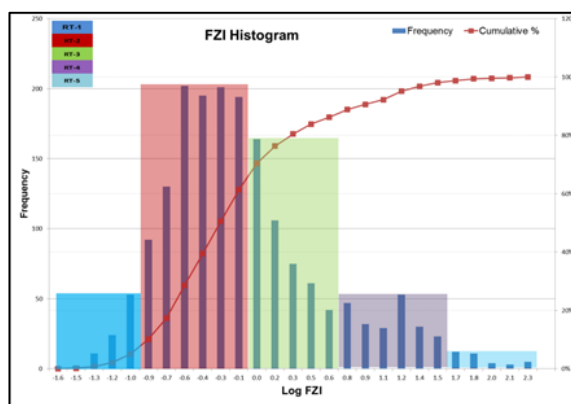
شاخص منطقه‌ای جریان در محدوده مقدار متوسط واقعی وجود دارد. تابع توزیع کلی شاخص منطقه‌ای جریان‌ها یک انطباق از توابع توزیع جداگانه اطراف متوسط شاخص منطقه‌ای جریان مربوط به هر واحد جریان هیدرولیکی است. تعیین هر مقدار متوسط شاخص منطقه‌ای جریان و یا هر واحد جریان هیدرولیکی نیازمند تجزیه کلی توزیع شاخص منطقه‌ای جریان به عناصر تشکیل دهنده آنها می‌باشد. در واقع این مسئله یک انطباق مجدد است که تکنیک آنالیز طبقه بندی، امکان انجام این فرآیند را میسر می‌سازد. در این مطالعه برای تعیین دقیق‌تر واحدهای جریانی، نتایج داده‌های مغزه شامل تخلخل و تراوایی چاه B پس از انجام محاسبات روابط ذکر شده (رابطه ۵، ۶ و ۷)، نمودار فراوانی و گسترش انباشتی شاخص بخش جریانی برای آن رسم گردید. بخش‌های جریانی گوناگون در نمودارهای گسترش فراوانی و گسترش انباشتی داده‌ها بر حسب شاخص بخش جریانی قابل تفکیک می‌باشند. هر بخش جریانی خاص با گسترش گوناگون بر روی نمودار فراوانی قابل تشخیص است. برای همه مغزه‌های چاه‌های A و B در مخزن کنگان که آنالیز معمولی مغزه بر روی آنها انجام شده است، مقادیر نفوذپذیری و تخلخل آنها مشخص و با بررسی مقدار تخلخل حد برش، اندیس کیفیت مخزن بر حسب تخلخل نرمال شده برای تعیین شاخص بخش جریانی تعیین گردید. نتایج این شاخص در شکل ۷ ارائه شده است. عرض از مبدا هر یک از خطوط مناطق رنگی با شیب ۱ در شکل ۷، شاخص بخش جریانی نامیده می‌شود. به طوری که در شکل مشاهده می‌شود، چندین نوع سنگ مخزنی از دیدگاه بخش جریانی دیده می‌شود، که با کاهش محدوده در هر شاخص منطقه‌ای جریان، می‌توان دقت و شمار بخش‌های مخزنی را افزایش داد.



شکل ۷- تعیین گونه‌های سنگی به روش RQI-FZI

شکل ۸ روش تعیین شمار نوع سنگ‌های مخزنی با کاربرد شکست نمودار توزیع تجمعی شاخص منطقه‌ای جریان را نشان می‌دهد. در صورتی که از روی نمودار گسترش، این بخش‌ها را به طور دقیق و با مرزبندی نتوان تفکیک کرد، در نمودار گسترش انباشتی هر دسته با یک خط راست با شیب متفاوت ظاهر می‌شود. از این رو شمار و مرزهای شاخص بخش جریانی متفاوت، مشخص می‌گردد. جدول شماره ۴ مقادیر کمینه و بیشینه لگاریتم شاخص منطقه‌ای جریان و شاخص منطقه‌ای جریان را نشان می‌دهد. بر این اساس مقادیر شاخص منطقه‌ای جریان در محدوده ۰/۰۲ تا ۰/۱۴ برابر با "ویژگی‌های مخزنی خیلی ضعیف"، بزرگ‌تر از ۰/۱۴ تا ۰/۹۳ برابر با "ویژگی‌های مخزنی ضعیف"، بزرگ‌تر از ۰/۹۳ تا ۶/۰۲ برابر با "ویژگی‌های

مخزنی متوسط"، بزرگ‌تر از ۶/۰۲ تا ۳۸/۳۸ برابر با "ویژگی‌های مخزنی خوب" و در نهایت مقادیر شاخص منطقه‌ای جریان بزرگ‌تر از ۴۰/۱۲ تا ۲۱۹/۶۳ دارای "ویژگی‌های مخزنی بسیار خوب" قابل تعریف می‌باشند.



شکل ۸- نمودار توزیع تجمعی شاخص منطقه‌ای جریان

جدول ۴- مقادیر کمیته و بیشینه لگاریتم شاخص منطقه‌ای جریان و شاخص منطقه‌ای جریان

Rock Type	FZI		Log FZI		Reservoir Quality
	Min	Max	Min	Max	
RT1	0.02	0.14	-2	-0.84	Very Poor
RT2	0.14	0.93	-0.84	-0.03	Poor
RT3	0.93	6.02	-0.03	0.78	Moderate
RT4	6.03	38.83	0.78	1.59	Good
RT5	40.12	219.63	1.603	2.34	Very Good

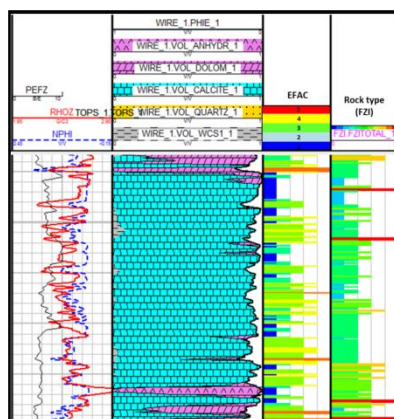
### ۳. بحث

پس از انجام تعیین گونه‌های سنگی به دو روش مختلف، نتایج روش رخساره‌های الکتریکی و روش تعیین واحدهای همسان جریانی با هم مقایسه شدند. جدول ۵ مقایسه‌ای از رخساره‌های الکتریکی و واحدهای همسان جریانی را به صورت آماری نشان می‌دهد. در این جدول رخساره الکتریکی شماره ۱ که دارای کیفیت مخزنی خیلی ضعیف می‌باشد با واحدهای همسان جریانی شماره ۱ و ۲ که دارای کیفیت مخزنی خیلی ضعیف و ضعیف هستند مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در جدول نشان داده شده در مخزن کنگان تطابق نسبتاً خوب (۵۶٪) از خود نشان می‌دهد. این بدان معنی است که در ۵۶ درصد فواصلی که دارای رخساره شماره ۱ هستند با واحدهای همسان جریانی شماره ۱ و ۲ مطابقت دارند. به همین روش، قیاس‌ها برای رخساره‌های الکتریکی ۲ تا ۵ انجام شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رخساره‌های الکتریکی ۲ و ۳ که دارای کیفیت مخزنی ضعیف تا متوسط هستند در مخزن کنگان تطابق بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند. در حالی که برای رخساره‌های الکتریکی ۴ و ۵ که دارای کیفیت مخزنی خوب تا بسیار خوب می‌باشند، تطابق مناسبی از خود نشان نمی‌دهد.

جدول ۵- مقایسه آماری رخساره‌های الکتریکی با گونه‌های سنگی حاصل از واحدهای همسان جریانی

Formation	EFAC=1	EFAC=2	EFAC=3	EFAC=4	EFAC=5
Kangan	56%	76%	76%	21%	10%
Samples	764	173	66	33	30

این تطابق‌ها به روش کیفی نیز مورد بررسی قرار گرفت و رخساره‌های الکتریکی در کنار گونه‌های سنگی بدست آمده از واحدهای همسان جریانی در یک نمودار رسم و با هم مقایسه شدند (شکل ۹). به طوری که در شکل ۹ مشخص است بیشتر فواصلی که در روش رخساره‌های الکتریکی و نمودار تخلخل دارای کیفیت مخزنی مناسب و خوب هستند در روش واحدهای همسان جریانی نیز مناسب و خوب می‌باشند. به همین صورت برای فواصل با کیفیت مخزنی نامناسب و ضعیف ملاحظه می‌شود که مناطقی که در روش رخساره‌های الکتریکی دارای گونه‌های سنگی ۱ و ۲ هستند در روش واحدهای همسان جریانی نیز دارای گونه‌های سنگی ۱ تا ۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۹- مقایسه گونه‌های سنگی به روش رخساره‌های الکتریکی و واحدهای جریانی همسان

البته بدیهی است که در برخی فواصل تناقض‌های دیده شود. از عواملی که احتمالاً باعث این عدم تطابق می‌شوند شامل: عدم یکنواختی فواصل نمونه‌های مورد آزمایش در طول چاه و خطاهای انسانی می‌باشد. فواصل نمونه‌گیری در ابزار نمودارگیری نمودارهای پتروفیزیکی به طور ثابت و منظم هر ۰/۱۵۲۴ متر می‌باشد در نتیجه دقت نمونه‌های رخساره‌های الکتریکی در حد ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. این در حالی است که نمونه‌های که از مغزه‌های این میدان برداشت شده و بر روی آنها آزمایشات معمولی و ویژه انجام گرفته است در فواصل نامنظم بین ۱۰ سانتی‌متر تا ۲ متر در تغییر می‌باشد. در آزمایشات معمولی مغزه، بیش از ۸۲ درصد نمونه‌ها با فواصل کمتر از ۰,۵ متر انجام شده است. لذا برای این که بتوان قیاس منطقی بین این دو روش برقرار کرد می‌بایست نمونه‌ها در فواصل یکسان موجود باشد و برای رفع این نقصان فواصلی که داده‌های آزمایش مغزه در آن موجود نبود به روش درون‌یابی مقدار آن محاسبه شد. که این درون‌یابی خود می‌تواند خطا ایجاد کند. در تعیین گونه‌های سنگی در هر دو روش خطاهای انسانی نقش بسزایی دارند. این خطاها در روش واحدهای همسان جریانی بیشتر است. چرا که فرآیند طولانی‌تر تا رسیدن به نتیجه را طی می‌کند. در هنگام حفاری چاه و عملیات مغزه‌گیری، ضربات

مته حفاری به سنگ می‌تواند باعث توسعه درزه و شکاف‌ها و یا ایجاد درزه‌های جدید گردد که این خود تراوایی غیر واقعی مخزن را افزایش می‌دهد. و به طور کاذب کیفیت مخزنی را در نتایج آزمایش بهتر نشان می‌دهد. علاوه بر آن معمولاً مغزه‌ها به طول‌های ۳۰ متری از چاه استخراج شده و در محل چاه به طول‌های یک متری برش می‌خورند. لرزش‌های حاصل از برش مغزه‌ها با اره می‌تواند در افزایش تراوایی موثر باشد. همچنین در آزمایشگاه از مغزه‌ها جهت انجام آزمایشات مغزه نمونه‌های استوانه‌ای شکل یک اینچی، به فواصل تقریباً ۳۰ سانتی متری تهیه می‌گردد. تمامی این فرآیندها می‌تواند در افزایش غیر واقعی تراوایی مخزن موثر باشد. بدیهی است که ضربات وارد شده به نمونه‌ها از ابتدای مغزه‌گیری تا پایان آزمایشات در نمونه‌هایی که تخلخل و تراوایی بیشتری دارند (گونه‌های سنگی ۴ و ۵) موثرتر است یعنی هرچه کیفیت مخزنی بهتر باشد خطاهای ذکر شده در آن تاثیر بیشتری دارد. که این به عدم تطابق در دو روش گفته شده کمک می‌کند.

علاوه بر موارد ذکر شده، در روش واحدهای همسان جریان‌ی عواملی دیگری هستند که بر عدم قطعیت آن می‌فزاید. به عنوان نمونه قبل از این که از عمق مورد نظر در یک چاه مغزه برداشت شود، سنگ تحت فشار سنگ‌های لایه‌های بالایی، فشار هیدرواستاتیکی و بعضی فشارهای دیگر می‌باشد و با حفاری لایه‌های بالای آن و انجام عملیات مغزه‌گیری این فشارها از روی آن برداشته شده و ممکن است درزه و شکاف‌های آن توسعه یافته و یا باعث ریز درزه‌های جدید گردد و در نتیجه تراوایی را افزایش دهد. لذا نمونه مغزه برداشت شده نمی‌تواند به واقع نماینده سنگ مخزن باشد. از این گذشته با توجه به گرادیان گرمایی زمین، نمونه سنگی که در عمق ۳۰۰۰ متری قرار دارد، حداقل تحت درجه حرارت ۱۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد و وقتی به سطح آورده می‌شود با اختلاف دمای ایجاد شده ممکن است در تخلخل و تراوایی آن تغییراتی حاصل گردد. لذا با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد روش الکتروفاسیس روش قابل اعتمادتری به روش دیگر باشد.

اگرچه روش محاسبه تخلخل و تراوایی با آزمایشات معمولی مغزه (CCAL) بسیار دقیق‌تر از روش‌های استفاده از نمودارهای الکتریکی است ولی باید بپذیریم که خطاهای انسانی در آن بسیار تعیین‌کننده‌تر از روش نمودارهای الکتریکی می‌باشد. به عنوان مثال ضربات وارد شده به مغزه توسط مته حفاری هنگام گرفتن مغزه، برش مغزه‌ها با اره و جابه‌جایی نامناسب آنها، همه می‌تواند باعث شکستگی در مغزه شده و در نتیجه افزایش تراوایی غیر واقعی در نمونه مورد آزمایش گردد. لذا این موارد باعث کاهش ضریب اطمینان این روش می‌گردد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

در تلفیق رخساره‌های الکتریکی براساس مطالعات مغزه، به جهت این که پنج رخساره اصلی سنگ آهک، دولومیت، سنگ‌آهک دولومیتی، انیدریت و شیل حاصل از این مطالعات، صرفاً به دید زمین‌شناسی مطالعه شده و خواص مخزنی در آن لحاظ نشده است لذا این تلفیق نقش به تعیین‌کننده‌ای نداشت.

با بدست آوردن پنج گونه‌های سنگی به روش واحدهای جریان‌ی همسان و رخساره‌های الکتریکی، این دو روش به طور کیفی با هم مقایسه شدند که در بسیاری مناطق نتیجه مطلوب داد. البته در بعضی مناطق نتیجه مناسب حاصل نشد که این می‌تواند به دلیل عدم یکنواختی در برداشت نمونه‌گیری در هر یک از دو روش و خطاهای انسانی باشد. این دو روش در

رخساره شماره ۱ نتیجه قابل قبول، در رخساره‌های شماره ۲ و ۳ نتیجه خوبی بدست آمد اما در رخساره‌های ۴ و ۵ نتیجه مطلوبی حاصل نشد. در مجموع باید پذیرفت که گونه‌های سنگی حاصل از روش واحدهای جریان‌ی همسان داری معایبی می باشد. از جمله این که از تمام مخزن به طور یکنواخت نمی‌توان نمونه آزمایشگاهی تهیه کرد. خصوصاً در مواقعی که کیفیت مخزنی خیلی خوب باشد و هنگام مغزه‌گیری از چاه ضریب بازیافت مغزه کم باشد. یعنی بطور مثال اگر ۱۰ متر از طول چاهی با ضریب بازیافت ۹۰ درصد مغزه‌گیری شود، ۹ متر مغزه دریافت خواهیم کرد لذا از آن یک متر باقی‌مانده هیچ نمونه‌ای نداشته و در انجام محاسبات از این یک متر، هیچ گونه داده‌ای نخواهیم داشت. به نظر می‌رسد تعیین گونه‌های سنگی به روش الکتروفاسیس در این میدان مناسب‌تر و کم هزینه‌تر بوده و رخساره‌های پنج‌گانه بدست آمده در این روش را می‌تواند در تمام میدان به روش‌های آماری توزیع کرده و بر اساس آن سایر پارامترهای مخزنی از جمله تخلخل و اشباع آب را توزیع کرده و محاسبات حجمی را انجام داد.

### تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر موحد، دکتر جلیلیان و مهندس خوشبخت بخاطر داوری مقاله سپاسگزاری می‌گردد. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت نفت و گاز پارس به منظور حمایت از این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

## ۵- منابع

- [۱] مطیعی ه.، ۱۳۷۲، کتاب زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس سازمان زمین شناسی کشور، ص ۸۲.
- [۲] کاووسی، م.ع.، ۱۳۷۴، سنگ شناسی رسوبی و محیط های رسوبی سازند دالان و فراقون (پرمین زیرین- پرمین فوقانی) در ناحیه دنا. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، ۱۱۰ صفحه.
- [3]- Alsharhan A. S., 2006, Sedimentological character and hydrocarbon parameters of the middle Permian to Early Triassic Khuff Formation.
- [4]- Amaefule J.O., M. Altunbay, D. Tiab, D.G. Kersey, D.K. Kedan, 1993, Enhanced reservoir description: Using core and log data to identify hydraulic (flow) unites and predict permeability in uncored intervals / wells, SPE 26436, Presented at 68th Ann. Tech. Conf , and Exhibit. Houston, Tx.
- [5]- Antelo, R., and O. Aguirre, 2001, Permeability calculations from clustering electrofacies technique for the petrophysical evaluation in La Pena and Tundy oil fields, SPE 69400-MS.
- [6]- Carman P.C., 1937, Fluid flow through granular beds. Trans AICHE. 15: 150-166.
- [7]- Frew, K., 2004, Litho ToolKit: Lithofacies estimation with the most comprehensive suite of lithofacies tools, Geology Office, Litho ToolKit, LithoQuickLook, Schlumberger Information.
- [8]- Kelkar, M., 2005, Exploitation and optimization of reservoir performance in Hunton formation, Oklahoma: U.S. Department of Energy, Assistant Secretary for Fossil Energy, Tulsa, Oklahoma, 190 p.
- [9]- Kozeny J. (1927), Uber kapillare leitung des wassers im boden, stuzurgsberichte, Royal Academy od Science, Vienna, Proc. Class1, v.136, p. 271-306.
- [10]- Shin-Ju Ye. and P. Rabiller, 2000, A new tool for electro-facies analysis: Multi-resolution graph based clustering: SPWLA 41st Annual Logging Symposium, p.4-7.
- [11]- Svirsky D., A. Ryazanov, M. Pankov, A. Posysoev, 2004, Hydraulic flow units resolve reservoir description challenges in a Siberian oil field. SPE. 87056, p. 1-15.
- [12]- Szabo F. and A. Kheradpir, 1978, Permian and Triassic stratigraphy, Zagros Basin, south-west Iran. J. of Petroleum Geology, v.1, 2, p.57-82
- [13]- Antelo, R., and O. Aguirre, 2001, Permeability calculations from clustering electrofacies technique for the petrophysical evaluation in La Pena and Tundy oil fields, SPE 69400-MS. United Arab Emirates. GeoArabia, v. 11, p.121-158