

## تعیین رخساره‌های سنگی با استفاده از خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) نمودارهای پتروفیزیکی چاه: بررسی یکی از میدان‌های خلیج فارس

منصور آقچه‌لو<sup>۱</sup>، حمیدرضا همتی آهوئی<sup>۲\*</sup>، مجید نبی بیدهندی<sup>۳</sup> و علی اکبر رحیمی بهار<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

<sup>۳</sup>موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۴</sup>پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱۲)

### چکیده

میدان مورد بررسی در این پژوهش، یکی از بزرگ‌ترین میدان‌های گازی جهان است که در خلیج فارس قرار دارد. از آنجاکه سنگ مخزن این میدان کربنات نامتجانس است، تعیین رخساره‌های سنگی آن می‌تواند راه‌حلی کارآمد برای طبقه‌بندی رخساره‌های مخزن در جهت تعیین خواص پتروفیزیکی سنگ مخزن، مدل‌سازی مخزن و تفکیک کردن مناطقی که پتانسیل بالاتری برای تولید نفت دارند از مناطق کم‌پتانسیل باشد. دقیق‌ترین روش تعیین رخساره استفاده از مغزه است اما مغزه‌گیری بسیار گران و وقت‌گیر است و به‌صورت محدود در برخی چاه‌ها قابل دسترسی است. بنابراین در این تحقیق بر تعیین رخساره سنگی با استفاده از داده‌های نمودارهای چاه پرداخته شده است. در این راستا روش خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) که روشی براساس روش ناپارامتری K-AMین همسایه نزدیک و نمایش نموداری داده است، بر روی نمودارهای صوتی، تخلخل نوترون، چگالی و پرتو گاما اعمال شده تا رخساره الکتریکی معادل رخساره سنگی به‌دست آمده از مغزه، بازسازی شود. خوشه‌های روش MRGC از مدلی که دارای خواص مشخص وابسته به گروهی از رخساره‌های سنگی است، تعریف می‌شود. گروه‌های رخساره‌های کوچک با استفاده از شاخص همسایگی برای تعیین جاذبه همسایه نزدیک K-AM برای هر نقطه، شکل می‌گیرند. درنهایت خوشه‌های نهایی با تجمع خوشه‌های کوچک شکل می‌گیرند که منجر به شناسایی ۸ رخساره این میدان گازی از نمودارهای چاه با دقت زیاد می‌شود. 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.

**واژه‌های کلیدی:** رخساره‌های سنگی، رخساره‌های الکتریکی، نمودارهای چاه، اطلاعات مغزه، روش خوشه‌سازی

## Lithofacies estimation by multi-resolution graph-based clustering of petrophysical well logs: a case study from one of the Persian Gulf's gas fields, Iran

Mansour Aghchelou<sup>1</sup>, Hamid Reza Hemmati Ahoei<sup>2\*</sup>, Majid Nabi-Bidhendi<sup>3</sup> and Ali Akbar Rahimi Bahar<sup>4</sup>

\*Corresponding author:

hemmati@ikiu.ac.ir

\*نگارنده رابط:

<sup>1</sup>National Iranian South Oil Company, Exploration Directorate, Ahwaz, Iran

<sup>2</sup>Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

<sup>3</sup>Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>4</sup>Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

(Received: 16 June 2012, accepted: 2 June 2013)

## Summary

Located in the Persian Gulf, the gas field studied in this research is one of the largest gas fields in the world. Its gas-in-place is estimated to be about 14.2 trillion cubic meters while amount of its condensate-in-place might be around 18 billion barrels. This gas field has also an oil layer containing about 6 billion barrels of oil-in-place. In this study, Kangan and Dalan formations of this field were considered. Kangan formation has three main facies: clean carbonate facies, basic clay and shale facies, and evaporate carbonate facies. Dalan formation contains four facies: shore restricted carbonates, shore organic carbonates, carbonates of the open sea, in-shore carbonate-clastic. These two formations have gas & condensate fluids. Since this field is a heterogeneous carbonate system, lithofacies characterization is the best solution for overcoming the problem of heterogeneity in determining the petrophysical properties of the reservoir rock, reservoir modeling and identifying producing zones. However, coring as the most robust method of lithofacies identification is very expensive, time consuming and limited to a few number of wells. Therefore, this study is focused on determining the lithofacies of the study formations from available well logs.

For this purpose, multi-resolution graph-based clustering (MRGC) technique which is a dot-pattern recognition method based on non-parametric K-nearest neighbor and graph data representation was applied to sonic, density, neutron porosity and gamma ray logs to define electrofacies similar to core-derived facies determined as eight distinct facies. The cluster of the MRGC method is defined from a model with a specific character associated with the group of lithofacies. Then, Kernel representative index was used to calculate the optimal number of clusters. Small facies groups were formed based on utilizing the neighboring index to determine a K-nearest neighbor attraction for each point. At last, final clusters were constructed by combining the small clusters which lead to identifying eight facies of this gas field from well logs of high accuracy.

When electrofacies of one of the wells is built based on its lithofacies, its cross-plots will be plotted and the certainty of electrofacies with respect to lithofacies will be checked. If the model is acceptable, it is applied to the data from two other wells and their electrofacies will be obtained. For testing facies, the cross-plots of these two wells were also drawn and painted based on facies. If there are similar petrophysical properties for each facies, the model created in the wells without cores is confirmed. MRGC is a fast method that allows the geologist or petrophysicist to analyze and test different combinations of data in a short amount of time. It is also not limited by the dimensions of the data and number of the clusters. The method used in this study has obviated the need for extensive coring in this field which caused saving large amounts of money and time; and it can help to optimize the determination of new well locations and optimum pay zones.

**Keywords:** Lithofacies, electrofacies, well logs, core data, clustering method

## ۱ مقدمه

برای ایجاد یک مدل سه‌بعدی از خصوصیات یک مخزن علاوه بر برآورد میزان تخلخل، تراوایی، اشباع آب و سایر خصوصیات پتروفیزیکی، مدلی از ساختار زمین‌شناسی مخزن نیز تهیه می‌شود. برای تعیین مدل زمین‌شناسی، رخساره‌های سنگی واحدهای سنگی یا رسوبی را با بافت، ساختار، کانی‌شناسی و خواص سنگ توصیف می‌کنند و این واحدها را می‌توان برای ایجاد تطابق بین مشخصات مهم مخزن مانند تراوایی و تخلخل به کار برد. بنابراین تشخیص رخساره‌های سنگی گوناگون سنگ مخزن، یک کار اولیه و اساسی در تشریح مشخصات مخازن نفتی است. تشخیص رخساره‌های سنگی در مخزن کار پیچیده‌ای است زیرا نوع و توزیع رخساره براساس سامانه رسوب‌گذاری تعیین می‌شود و با دیاژنز و زمین‌ساخت تحت‌تاثیر و یا تغییر قرار می‌گیرد (متیس و همکاران، ۲۰۰۳). 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 را فقط می‌توان در بخش کوچکی از میدان و در حوالی چاه مغزه‌گیری شده به کار برد (آنتلو و آگویر، ۲۰۰۱). از طرفی تشریح مغزه، کاری وقت‌گیر است 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 مشابه مغزه برای چاه‌هایی که مغزه ندارند، ایجاد کند (کلکار، ۲۰۰۵).

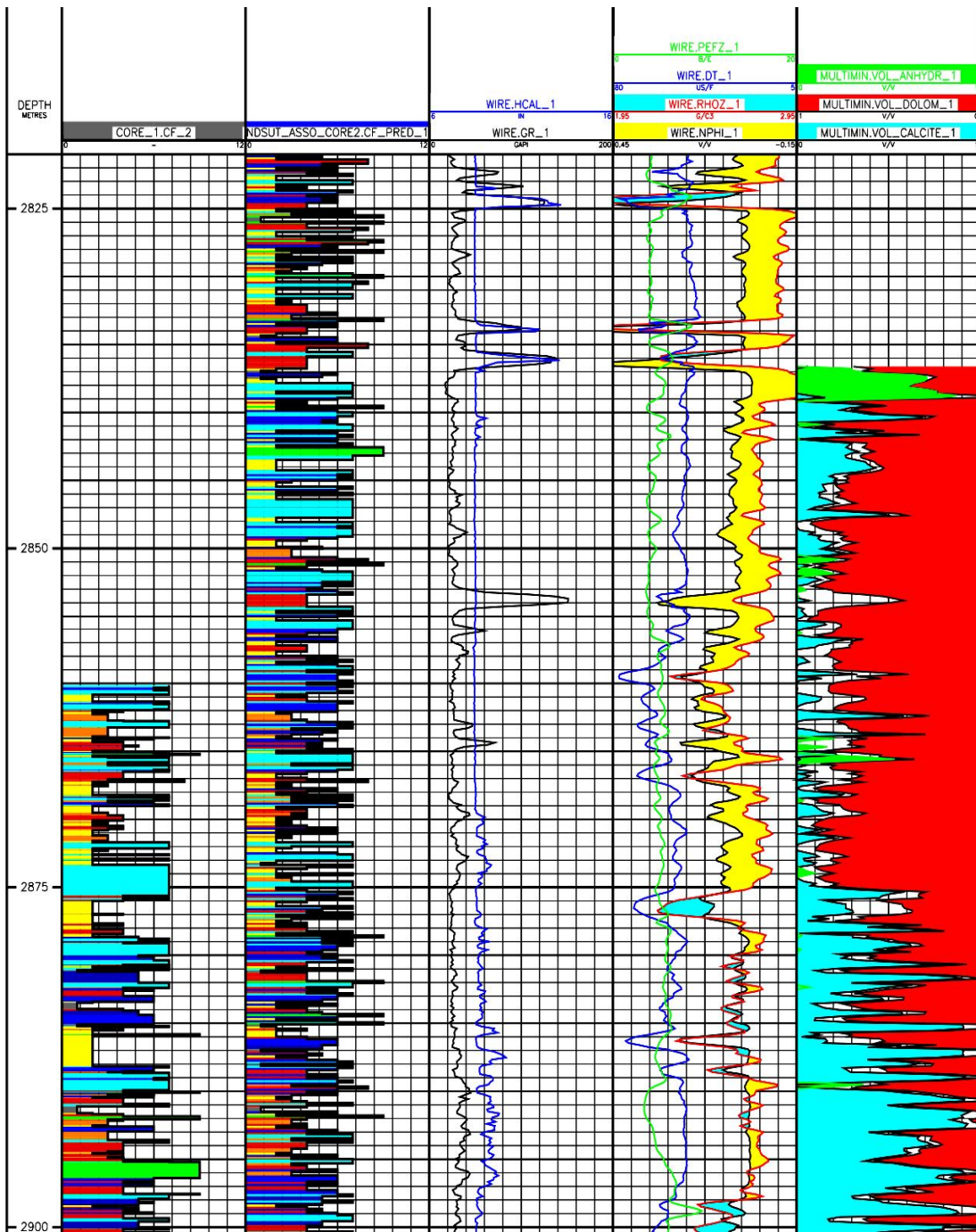
یک روش مناسب برای پاسخ به این نیاز استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی است. داده‌نگار، اطلاعات غیرمستقیم از داده‌های زیرزمینی به دست می‌آورد و نیز بسیار ارزان‌تر از استفاده از مغزه است. محاسبه‌های نمودار چاه را می‌توان به رخساره نگار یا رخساره الکتریکی طبقه‌بندی کرد. رخساره‌های نگار می‌توانند هم خصوصیات سنگ و هم خصوصیات شاره مخزن را نمایش دهند و به کاربر اجازه می‌دهند که واحدهای رسوبی ولایه‌ها را از هم تفکیک کند. اگر رخساره نگار با رخساره‌های سنگی منطبق شوند، می‌توان رخساره نگار را در حکم جانشین برای رخساره سنگی ساخت و به کار برد. رخساره‌های ایجاد شده نگار را می‌توان بعداً برای پیش‌بینی رخساره‌های سنگی در چاه‌های بدون مغزه و یا در بازه‌های بدون مغزه چاه‌های مغزه‌گیری شده به کار برد (فرو، ۲۰۰۴). یک روش موثر برای تجزیه و تحلیل رخساره ایجاد مدل طبقه‌بندی از رخساره‌ها است که داده‌های نگار را به مجموعه‌ای از پاسخ‌های نگار 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 نگار یک دسته یا خوشه می‌گویند. در ایجاد این خوشه‌ها روش‌های گوناگونی معرفی شده است که در آنها یک مشکل مهم وجود دارد و آن وابستگی به بُعد (dimensionality) است که براساس آن فاصله نگار معادل فاصله زمین‌شناسی نیست و دو نقطه‌ای که در تفسیر نگار به هم شبیه‌اند ممکن است از لحاظ زمین‌شناسی این شباهت را نداشته باشند. علت این مشکل دید متفاوت زمین‌شناس و مفسر نگار است. این مشکل سبب ایجاد رابطه غیرخطی شدید بین نگار و سنگ‌شناسی است و موجب می‌شود که در تعیین هرگونه افراز داده‌نگار به واحد رسوبی مرتبط به آن، مشکل به وجود آید.

جدول ۱. رخساره‌های سنگی چاه A.

|   |  |
|---|--|
|    | رخساره ۱: انیدریت توده‌ای  |
|    | رخساره ۲: مادستون دولومیتی که اغلب فابریک فنسترال و ندول‌های بزرگ انیدریت دارد.  |
|    | رخساره ۳: باندستون استروماتولیت لایه‌ای که اغلب با فابریک فنسترال لایه‌ای است.   |
|    | رخساره ۴: وکستون اسکلتی/پلنی دولومیتی/آهکی به پکستون.  |
|    | رخساره ۵: گرینستون/گرینستون دولومیتی ایید نیمه‌بلوری به صورت لایه‌بندی نازک با تعداد کمی خُرده‌های اسکلتی و تخلخل اولیه ملدیک. |
|    | رخساره ۶: گرینستون/گرینستون دولومیتی ایتراکلاست/اسکلت دانه درشت به همراه تخلخل بین‌دانه‌ای.                                    |
|   | رخساره ۷: گرینستون/گرینستون دولومیتی ریز تا خیلی ریز دانه با خرده‌های اسکلتی.  |
|  | رخساره ۸: کنگلومرای درون محیط ساز (رسوبات طوفانی) و برشی‌های رو سطحی (دولومیتی شده) با پلاگ‌های انیدریت.                       |
|  | رخساره ۹: مادستون/مادستون دولومیتی به شدت به هم‌ریخته (bioturbate) با خرده‌های اسکلتی کوچک.                                    |
|  | رخساره ۱۰: مادستون/مادستون دولومیتی پُر از فسیل دریای آزاد با به هم‌ریختگی خاص (بر اثر موجود ژئوفیکوس (Zeophycus)).            |
|  | رخساره ۱۱: مادستون تیره لایه‌ای شبیلی با اسفنج اسپیکول (spicules) و فرام بوی‌دال (framboidal).                                 |
|  | رخساره ۱۲: باندستون تورومبولیت (thorombolite) با ارتباطات میکروبیال (microbial).   |

سه چاه تقریباً به یکدیگر نزدیک هستند و براساس نقشه‌های خطوط تراز زیرسطحی دارای عمق مخزن نسبتاً یکسان‌اند. در میان این چاه‌ها، چاه A دارای داده مغزه است؛ بنابراین تحلیل رخساره الکتریکی روی این چاه صورت گرفت و نتایج آن برای انطباق رخساره سنگی با رخساره الکتریکی چاه‌های A، B و C به کار می‌رود. برای به کار بردن روش MRGC در این تحقیق، نرم‌افزار ژئولاگ مورد استفاده قرار گرفته است.

خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC) 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 (شین جویه و رایبلر، ۲۰۰۰). در این پژوهش، از روش MRGC برای تعیین رخساره‌های الکتریکی یکی از میدان‌های گازی جنوب ایران استفاده شده است. برای این تحقیق، داده‌های ۳ چاه به نام A، B و C در دسترس‌اند. این



شکل ۱. نمایش رخساره نگار چاه A (ستون دوم) با استفاده از پیش‌بینی نگار و ترکیب نگارهای نوترون-چگالی، چگالی، پرتو گاما و صوتی، درکنار رخساره مغزه (ستون اول). ستون سوم نمایش نمودارهای پرتو گاما و کالیبر است. ستون چهارم نمایش نمودارهای صوتی، چگالی و نوترون است؛ و ستون پنجم نمایش درصد نوع سنگشناسی هر عمق است. سبز، درصد انیدرید، سرخ درصد دولومیت و آبی درصد آهک است.

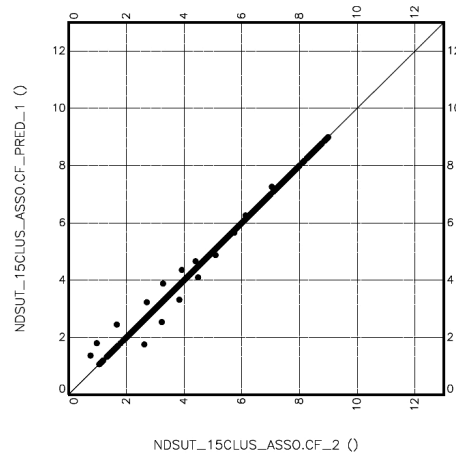
## ۲ روش‌شناسی

روش خوشه‌سازی، به مشکل تشخیص داده‌ها از یک مجموعه داده درجایی که ساختار قبلی داده معلوم نباشد می‌پردازد. تعدادی از روش‌های خوشه‌سازی وجود دارند که وابسته به ضوابطی هستند که همیشه با ساختار اصلی داده سازگار نیستند. افزایش‌های به‌دست آمده فقط در صورت تایید درستی نتایج، معنی‌دار می‌شوند و اغلب برای بسیاری از کاربردها مشکل‌اند. براساس تحقیقات صورت گرفته (سرا، ۱۹۸۸)، بیشتر روش‌ها مشکلات زیر را دارند:

- نیاز به دانستن پیشاپیش تعداد خوشه‌ها: بیشتر روش‌ها نیاز به تعداد خوشه‌ها به‌منزله یک پارامتر دارند که اغلب برای کاربر نامشخص است؛ و این مسئله می‌تواند تاثیر اساسی برنتایج داشته باشد.
- مشکل شرایط اولیه و پارامترها: در بسیاری از روش‌ها، نتایج به شرایط اولیه و تغییرات مقدار پارامترها بسیار حساس هستند.

جدول ۲. کُد نوع رخساره الکتریکی (ستون ۱)، کُد نوع رخساره سنگی مغزه (ستون ۲)، مقادیر نمودارهای چاه (ستون‌های ۵ تا ۹) و عمق (ستون ۴) در چاه A.

| CF_1 | CF_PRED | COL_PRED    | DEPTH      | WIRE-DT  | WIRE-GR | WIRE-NDS  | WIRE-NPHI | WIRE-RHOZ |
|------|---------|-------------|------------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 7    | 7       | CYAN        | ۲۸۶۰/۰۹۰۸۰ | ۶۵/۲۴۲۵۰ | ۲۲/۹۵۳۵ | ۱/۳۳۴۵۶۷  | ۰/۱۵۷۲۹۴۰ | ۲/۵۷۱۳۰۰  |
| 6    | 6       | BLUE        | ۲۸۶۰/۲۴۳۲۰ | ۶۳/۶۲۶۰  | ۲۲/۸۱۳۶ | ۱/۳۹۷۹۳۴  | ۰/۱۵۲۰۳۶۰ | ۲/۵۸۶۴۰۰  |
|      | 6       | BLUE        | ۲۸۶۰/۳۹۵۶۰ | ۶۲/۹۸۸۴۰ | ۲۳/۷۲۳۳ | ۱/۰۶۶۲۶۷  | ۰/۱۲۵۰۵۶۰ | ۲/۵۹۸۲۰۰  |
| 7    | 7       | CYAN        | ۲۸۶۰/۵۴۸۰۰ | ۶۴/۳۷۲۲۰ | ۲۵/۷۴۴۶ | ۱/۰۳۸۸۴۹  | ۰/۱۱۹۲۷۱۰ | ۲/۶۰۵۱۰۰  |
|      | 4       | EARTH7      | ۲۸۶۰/۷۰۰۴۰ | ۶۵/۸۰۰۲۰ | ۲۴/۵۴۳۰ | ۰/۷۴۷۷۳۳  | ۰/۱۲۲۷۴۴۰ | ۲/۵۷۰۲۰۰  |
| 2    | 2       | YELLOW      | ۲۸۶۰/۸۵۲۸۰ | ۶۷/۳۴۷۷۰ | ۲۵/۲۲۹۸ | ۰/۶۶۴۳۱۷  | ۰/۱۶۰۶۹۹۰ | ۲/۴۹۸۶۰۰  |
|      | 4       | EARTH7      | ۲۸۶۱/۰۰۵۲۰ | ۶۸/۱۷۶۰۰ | ۲۴/۴۴۹۷ | ۰/۴۶۱۹۶۶  | ۰/۱۸۱۶۷۸۰ | ۲/۴۴۴۴۰۰  |
|      | 4       | EARTH7      | ۲۸۶۱/۱۵۷۶۰ | ۶۸/۴۸۹۵۰ | ۲۵/۰۱۹۵ | ۰/۵۱۹۸۸۴  | ۰/۱۹۲۶۵۳۰ | ۲/۴۳۰۹۰۰  |
| 7    | 7       | CYAN        | ۲۸۶۱/۳۱۰۰۰ | ۶۸/۰۶۰۴۰ | ۲۲/۱۶۵۹ | ۰/۴۶۰۲۵۰  | ۰/۱۷۲۹۹۵۰ | ۲/۴۵۷۷۰۰  |
| 6    | 6       | BLUE        | ۲۸۶۱/۴۶۲۴۰ | ۶۷/۵۸۹۹۰ | ۲۶/۳۰۰۲ | ۰/۸۷۱۷۶۶  | ۰/۱۷۳۲۶۶۰ | ۲/۴۹۸۴۰۰  |
|      | 6       | BLUE        | ۲۸۶۱/۶۱۴۸۰ | ۶۶/۳۳۹۴۰ | ۲۶/۹۹۰۰ | ۱/۰۹۸۲۱۷  | ۰/۱۶۹۲۱۳۰ | ۲/۵۲۷۸۰۰  |
|      | 6       | BLUE        | ۲۸۶۱/۷۶۷۲۰ | ۶۵/۴۳۳۵۰ | ۲۸/۰۰۴۶ | ۱/۵۱۵۶۶۷  | ۰/۱۸۴۱۸۰۰ | ۲/۵۴۴۶۰۰  |
| 6    | 6       | BLUE        | ۲۸۶۱/۹۱۹۶۰ | ۶۵/۰۵۸۶۰ | ۲۵/۵۷۶۷ | ۱/۴۳۸۱۵۱  | ۰/۱۷۷۹۰۹۰ | ۲/۵۴۷۳۰۰  |
| 2    | 2       | YELLOW      | ۲۸۶۲/۰۷۲۰۰ | ۶۲/۶۸۰۹۰ | ۲۶/۶۳۶۵ | ۱/۰۷۹۱۶۶  | ۰/۱۵۳۷۹۰۰ | ۲/ ۵۵۱۶۰۰ |
| 3    | 3       | ORANGE      | ۲۸۶۲/۲۲۴۴۰ | ۶۱/۹۱۲۵۰ | ۲۶/۳۸۴۰ | ۰/۴۱۵۰۴۹  | ۰/۱۰۵۹۶۳۰ | ۲/۵۶۴۹۰۰  |
|      | 3       | ORANGE      | ۲۸۶۲/۳۷۶۸۰ | ۶۲/۰۱۰۲۰ | ۲۶/۹۵۸۰ | ۰/۱۰۵۵۶۸  | ۰/۰۸۰۲۵۴۰ | ۲/۵۷۶۸۰۰  |
|      | 3       | ORANGE      | ۲۸۶۲/۵۲۹۲۰ | ۶۳/۸۱۱۷۰ | ۲۶/۸۲۱۴ | ۰/۳۰۶۴۱۷  | ۰/۰۸۴۹۸۵۰ | ۲/۵۸۹۰۰۰  |
| 4    | 4       | EARTH7      | ۲۸۶۲/۶۸۱۶۰ | ۶۶/۳۵۷۲۰ | ۲۷/۱۶۷۳ | ۰/۷۴۷۳۳۴  | ۰/۱۱۴۶۸۰۰ | ۲/۵۸۳۶۰۰  |
| 7    | 7       | CYAN        | ۲۸۶۲/۸۳۴۰۰ | ۶۷/۹۰۶۶۰ | ۳۶/۶۹۰۰ | ۱/۲۰۴۸۰۱  | ۰/۱۴۷۵۸۸۰ | ۲/۵۷۴۵۰۰  |
| 6    | 6       | BLUE        | ۲۸۶۲/۹۸۶۴۰ | ۶۹/۹۰۰۰۰ | ۴۷/۲۰۹۷ | ۱/۵۸۷۳۱۶  | ۰/۱۸۶۱۹۹۰ | ۲/۵۴۸۴۰۰  |
| 7    | 7       | CYAN        | ۲۸۶۳/۱۳۸۰۰ | ۶۹/۹۰۸۷۰ | ۴۶/۸۱۵۷ | ۱/۱۰۸۹۳۵  | ۰/۱۷۸۳۷۶۰ | ۲/۵۱۳۶۰۰  |
| 3    | 3       | ORANGE      | ۲۸۶۳/۲۹۱۲۰ | ۶۹/۰۶۳۶۰ | ۴۱/۵۱۴۹ | ۰/۲۱۱۰۱۶  | ۰/۱۵۴۰۸۱۰ | ۲/۴۶۴۳۰۰  |
|      | 6       | BLUE        | ۲۸۶۳/۴۴۳۶۰ | ۶۶/۳۸۵۶۰ | ۲۶/۹۶۱۲ | ۰/۷۸۴۱۹۹- | ۰/۱۰۷۴۴۸۰ | ۲/۴۴۲۵۰۰  |
|      | 5       | BLUE_VIOLET | ۲۸۶۳/۵۹۶۰۰ | ۶۳/۶۰۹۲۰ | ۲۶/۲۵۹۹ | --/۵۸۶۸۰۱ | ۰/۰۹۰۳۱۲۰ | ۲/۴۹۰۸۰۰  |
|      | 3       | ORANGE      | ۲۸۶۳/۷۴۸۴۰ | ۶۱/۵۸۸۴۰ | ۲۶/۸۲۶۸ | ۰/۱۴۸۵۳۴  | ۰/۰۷۴۷۳۲۰ | ۲/۵۹۰۳۰۰  |



شکل ۲. مقایسه مقادیر رخساره مغزه (محور افقی) در مقابل مقادیر رخساره الکتریکی (محور عمودی).

که این مُدها را تشریح می‌کنند به دست آورند. به‌طور کلی این روش‌ها دو دسته‌اند:

۱. روش‌های پارامتری
۲. روش‌های ناپارامتری

روش پارامتری نیازمند فرضیه‌های اولیه محدودکننده مانند دانش درباره تعداد خوشه‌ها و یک میزان PDF اولیه است. روش ناپارامتری هیچ دانش قبلی درباره ساختار توزیع داده تحلیل شده ندارد؛ در نتیجه این روش توانایی تشخیص خوشه‌هایی با شکل‌های گوناگون را دارد اما به بی‌نظمی توزیع داده‌های مورد استفاده بسیار حساس است. به‌طور خلاصه سه گرایش پژوهشی ناپارامتری زیر وجود دارد (شین جویه و رایبلر، ۲۰۰۵):

- روش‌هایی بر پایه تقسیم فضای مشاهده به مکعب‌های چندبُعدی
  - همسایه نزدیک  $k$ م (K- Nearest Neighbor) (KNN)
  - روش‌هایی براساس نمودار
- بسیاری از روش‌های ناپارامتری خوشه‌سازی مبتنی بر تقسیم فضای مشاهده به مکعب‌های چندبُعدی منظم برای

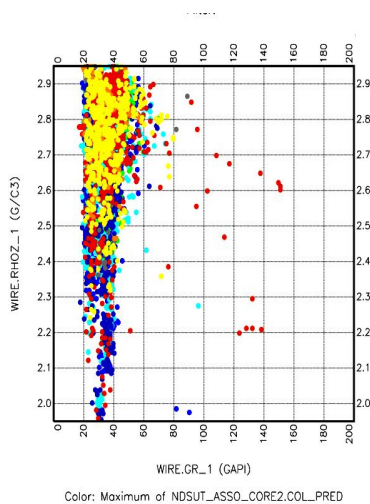
- بیشتر روش‌های خوشه‌سازی، ساختارهای بیضوی ایجاد می‌کنند اما نمی‌توانند خوشه‌های با شکل‌های گوناگون را تشخیص دهند و نمایان سازند.

روش‌های دسته‌بندی چندبُعدی موجود را می‌توان به روش‌های متریک و روش‌های آماری تقسیم کرد. روش‌های متریک از مفهوم یکسانی بین نقاط، جایی که اغلب از فاصله اقلیدسی استفاده می‌شود، بهره می‌برد. به‌طور کلی تلاش می‌شود تا معیار بهینه‌ای برای بیشینه‌سازی میزان پراکندگی بین دسته‌ها ایجاد شود، درحالی‌که پراکندگی داخل دسته‌ها کمینه بماند (گت و جوا، ۱۹۸۹). روش‌های متریک شامل موارد زیر هستند:

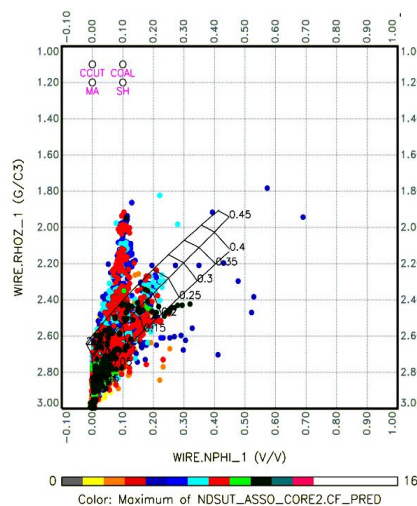
۱. روش‌های سلسله‌مراتبی
  ۲. روش‌های بهینه‌سازی تکرار شونده
- روش‌های آماری تابع‌های چگالی احتمال (Probability Density Functions) (PDF) بنیان توزیع مشاهده شده را تحلیل می‌کنند. هر خوشه مرتبط با یک "مُد" است (بیشینه ناحیه PDF بنیانی)، و این روش‌ها تلاش می‌کنند تابع‌هایی

است: اول، تعداد مکعب‌ها به صورت توانی با افزایش تعداد ابعاد داده، افزایش می‌یابد. دوم، وقتی که مشاهدات براساس

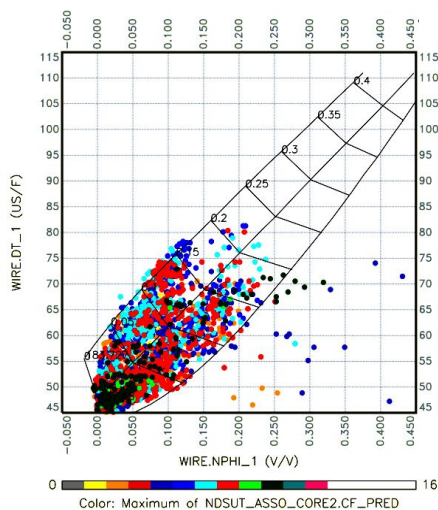
برآورد PDF هستند. مُدها براساس محاسبه گرادیان از مقدار PDF تعیین می‌شوند. اشکال عمده این روش‌ها به این شرح



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۳. منحنی‌های تقاطع چاه A بین نگارهای گوناگون که در همه آنها رنگ نقاط داده، معرف رخساره آن است، (الف) منحنی تقاطع چاه A بین نگارهای چگالی و نوترون، (ب) منحنی تقاطع چاه A بین نگارهای پرتو گاما (محور افقی) و چگالی (محور عمودی)، (ج) منحنی تقاطع چاه A بین نگارهای نوترون (محور افقی) و صوتی (محور عمودی).



خوشه‌های یک ساختار پیچیده صورت می‌گیرد، تنظیم اندازه‌های شبکه یک مشکل اساسی می‌شود که غیرقابل حل است.

روش KNN ثابت نگه‌داشتن تعداد همسایه را، به‌جای فضا، پیشنهاد می‌دهد (دوبویس و همکاران، ۲۰۰۵). این کار در جایی صورت می‌گیرد که میزان PDF در یک فضا از یک نقطه تا همسایه  $K$ ام آن پیش‌بینی می‌شود. این روش دارای مزیت‌هایی است. برای فرمول‌نویسی و اجرا آسان است. این روش امکان ثبت و بررسی دسته‌های با اندازه کوچک و چگالی بسیار متفاوت را فراهم می‌آورد. با وجود این قدرت برآورد به‌صورت نمایی متناسب با تعداد نقاط داده است. به همین علت، تعداد کمی از روش‌های خوشه‌سازی براساس KNN عمل می‌کنند.

در روش‌های مبتنی بر نظریهٔ رسم، در ابتدا یک نمودار ایجاد می‌شود که در آن نقاط داده با کمان‌هایی با توجه به رابطه مجاورت آنها، به هم وصل می‌شوند. با کمک گرفتن از قوانین ابتکاری، کاربر تلاش می‌کند کمان‌های «ناجور» را حذف کند و یک زیرنمودار را به چندین نمودار متصل تقسیم کند که با عنوان دسته‌ها شناخته می‌شوند (ژان، ۱۹۷۱). روش اجرای آن ساده است، اما ایجاد قوانین ابتکاری در آن مشهود نیست. در حال حاضر، برای ابعاد بیش از ۳، قوانین ثابتی وجود ندارد. با وجود این، این روش به‌نسبت برای تحلیل داده‌هایی با ابعاد کم و اندازه‌های کوچک مناسب است. این روش به‌طور کلی به اندازه‌های متفاوت دسته‌ها حساس نیست.

گن (۱۹۹۴) روش ناپارامتری را طراحی کرد که در آن KNN و نمایش نموداری داده تلفیق شده است، به‌طوری‌که مزیت‌های هر دو روش برای یافتن دسته‌ها در مجموعه داده با هر بُعد و هر گونه پیکربندی پیچیده را به کار می‌برد. روش

گن نشان داد که ابزار قدرتمندی در خوشه‌سازی؛ هم از روی تحلیل‌های نظری، و هم نتایج آزمایش روی داده‌های تصادفی شبیه‌سازی شده، است. این روش به‌طور خودکار تعداد خوشه‌های  $C$  را با یک مقدار داده شده  $K$ ، یعنی تعداد همسایه‌ها در KNN، به دست می‌آورد.  $K$  تنها پارامتر این روش است. میزان  $K$  و  $C$  بهینه را می‌توان با نمودار  $(K, C)$  وقتی که  $C$  ثابت است، تعیین کرد (شین جو یه و رایبیر، ۲۰۰۰).

آزمون این روش روی مجموعه داده‌نگار، چند اشکال را نشان داد:

۱. خوشه‌سازی نسبت به تغییر اندک  $K$  ناپایدار است؛
۲. اگر خوشه‌ها با دقت از هم جدا نشوند، این مسئله که یک منطقه پایدار روی نمودار برای  $(K, C)$  تعیین شود، غیرممکن است؛
۳. مشکل عدد بهینه برای تعداد خوشه‌ها حل نشده است؛
۴. دوردنهایت، این روش از لحاظ توانایی در تشخیص رخساره‌هایی با اندازه‌ها و چگالی‌های به‌شدت متفاوت، محدود است.

براساس روش KNN، گن و نمایش داده تصویری یک روش خوشه‌بندی ایجاد شده است با نام «خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی» (MRGC) که برای پاسخ‌گویی به نیاز تجزیه و تحلیل داده‌نگار که در بالا اشاره شد، به کار رود.

در اینجا به تشریح این روش و مقایسه آن با روش گن پرداخته می‌شود.

گن یک رابطه همسایگی دوسویه ابداع کرد و آن را «شاخص مرزی» (BI) نامید. این شاخص برای تشخیص اینکه آیا یک نقطه به میزان مُد به‌صورت نسبی نزدیک است

به بیان دیگر، BI به تغییر در چگالی محلی توزیع یافته حساس تر است تا خود چگالی محلی. بنابراین، این شاخص با تفاوت در چگالی‌ها و حجم‌های بین دسته‌ها تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. هرچه مقدار آن بیشتر باشد، نقطه به مرز یک دسته پیشنهاد شده نزدیک تر است.

BI تابعی از  $K$  است. هر چه میزان  $K$  بیشتر باشد، میزان هموارسازی قوی تر است. مشاهده شده است که BI به علت تاثیر اندازه پنجره تابع مرتبه‌ای  $\sigma'_n$  در جایی که اندازه پنجره برابر با  $K$  است، نسبت به تغییر اندک  $K$  حساس است. تا آنجا که از پردازش سیگنال می‌دانیم، فیلتر کردن با استفاده از یک تابع با اندازه پنجره محدود، موجب ایجاد نوفه اضافی روی نتایج به سبب وجود نقاط ناپیوسته مرتبه اول در هر طرف از پنجره می‌شود.

همچنین BI به شاخص همسایگی (NI) تعمیم داده می‌شود در جایی که  $\sigma'_n$  با یک تابع هموار نمایی و یک اندازه پنجره شبه نامحدود ( $N-1$ )، که میزان اندازه سری داده است، جایگزین می‌شود:

$$\sigma_n = \exp(-m/\alpha), \quad (5)$$

که  $\alpha$   $m$  امین مقدار NN،  $\gamma$  است که  $0 < \alpha < m < N-1$ . یک تابع اکیداً نزولی است که از مقدار ۰ تا ۱ تغییر می‌کند. وقتی مقدار  $\sigma_n = 1$   $m = 0$  است. هر چه مقدار  $m$  بزرگ تر باشد، تابع به صفر نزدیک تر است؛ اما  $\sigma_n$  هیچ وقت صفر نمی‌شود.

باقی فرمول نویسی NI مانند BI است اما  $\sigma_n(x)$  وقتی  $n=1, 2, \dots, N-1$  به علت خصوصیت معکوس  $\sigma_n$  نسبت به  $\sigma_n$ ، هر چه مقدار NI بیشتر باشد، نقطه «به هسته» (مُد) یک دسته نزدیک تر است. به جای  $K$  در BI، پارامتر هموارساز در NI،  $\alpha$  است. اما NI نسبت به تغییر اندک  $\alpha$ ، حساسیت کمتری دارد.

یا به شاخص دره‌ای (حداقلی) داده PDF. BI به صورت زیر محاسبه می‌شود (شین جو یه و رایبلر، ۲۰۰۰):

فرض کنید  $x$  یک عضو از سری  $S$  و  $\gamma$   $n$  امین همسایه نزدیک (NN) در میان عضوهای  $S$  و  $k$  بزرگ تر مساوی  $n$  است. ما مرتبه محدود شده نقطه  $x$  را با توجه به همسایه نزدیک  $n$  ام آن،  $\gamma$  به این صورت تعریف می‌کنیم:

اگر  $x$ ،  $m$  امین همسایه نزدیک  $\gamma$  باشد:  $\sigma'_n(x) = m$  اگر  $x$  عضوی از سری KNN مقدار  $\gamma$  باشد:  $\sigma'_n(x) = b$ . در جایی که  $N = \text{Card}(s)$  و  $N-1 < b < K+1$ . به بیان دیگر، اگر  $x$  و  $\gamma$  همسایگانی دوسویه باشند،  $\sigma'_n$  مرتبه  $x$  در KNN مقدار  $\gamma$  است. در غیر این صورت  $\sigma'_n$  برابر با مقدار  $b$  است.  $b$  را می‌توان به صورت یک برآورد از مرتبه آن در نظر گرفت. در عمل،  $b$  را برابر  $K+1$  قرار می‌دهند.

با توجه به هر کدام از مقادیر KNN آن،  $x$  دارای یک مرتبه محدود شده  $\sigma'_n(x)$  است در جایی که

$$n = 1, 2, 3, \dots, K$$

فرض کنید:

$$S(x) = \sum_{n=1}^k \sigma'_n(x), \quad (1)$$

در این صورت:

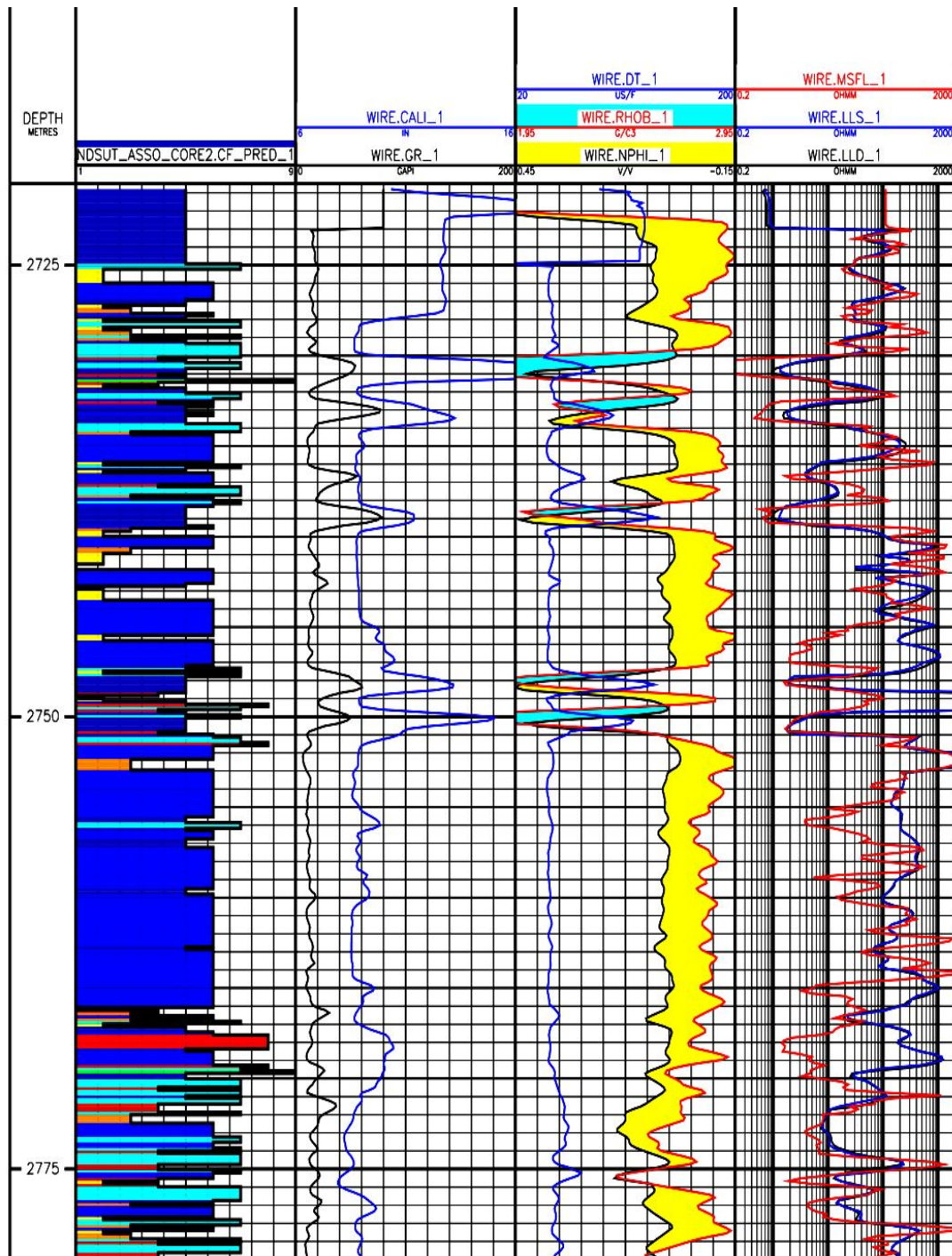
$$S_{\max} = \text{Max}\{S(X_i)\}, \quad i = 1, n \quad (2)$$

$$S_{\min} = \text{Min}\{S(X_i)\}, \quad i = 1, n \quad (3)$$

میزان BI روی  $S$  تعریف شده و بین صفر و یک نرمال سازی می‌شود:

$$\text{BI}(x) = \frac{S(x) - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}}, \quad (4)$$

BI میزان رابطه همسایگی دوطرفه را با استفاده از ترتیب مرتبه تعیین می‌کند در حالی که روش‌های کلاسیک KNN میزان PDF را با استفاده از شعاع بین یک نقطه و میزان KNN آن برآورد می‌کنند.



شکل ۴. نمایش رخساره الکتریکی چاه B با استفاده از پیش‌بینی نگار براساس مدل چاه A در ستون اول، نمودارهای کالیپر و پرتو گاما در ستون دوم، نمودارهای صوتی، چگالی و نوترون در ستون سوم و نمودارهای مقاومت الکتریکی در ستون چهارم.

میزان نمایشگر بودن هر نقطه برای اینکه هسته دسته باشد را مشخص کنیم که شاخص نمایشگری هسته (KRI) نامیده می‌شود. دسته‌های نهایی با ترکیب مدهای محلی تشکیل می‌شوند.

NI یک فاکتور مهم برای KRI است، اما فقط یک شاخص محلی می‌باشد. در نتیجه دو فاکتور دیگر نیز معرفی می‌شود: تعداد همسایه‌ها و فاصله‌ای که در آن یک نقطه، نقطه دیگری را که مقدار NI بالاتری دارد می‌یابد. فرض کنید  $NI(x)$  میزان NI در نقطه  $x$  باشد، و  $y$  اولین همسایه  $x$  است که در آن  $NI(y) > NI(x)$  است. KRI نقطه  $x$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$KRI(x) = NI(x)M(x,y)D(x,y), \quad (6)$$

در جایی که  $M(x,y) = m$  اگر  $y$ ،  $m$  امین همسایه  $x$  و  $D(x,y)$  فاصله بین  $x$  و  $y$  است. فاکتور NI به ما اجازه می‌دهد که هسته یک مُد را تشخیص دهیم؛  $M$  و  $D$ ، اهمیت و گسترش این مُد را نسبت به کل مجموعه داده نشان می‌دهد. عدد همسایه‌ها،  $M$ ، تمایل به ایجاد دسته‌هایی با اندازه معادل هم دارد؛ و فاصله  $D$ ، دسته‌های نامتناقص و سازگار ایجاد می‌کند. بنابراین سومین مانع پیشروی روش گن که در بالا به آن اشاره شد؛ این است که این روش نمی‌تواند دسته‌های سازگار برای مجموعه داده‌هایی با دسته‌هایی با اندازه‌های به شدت نامتوازن، ایجاد کند.

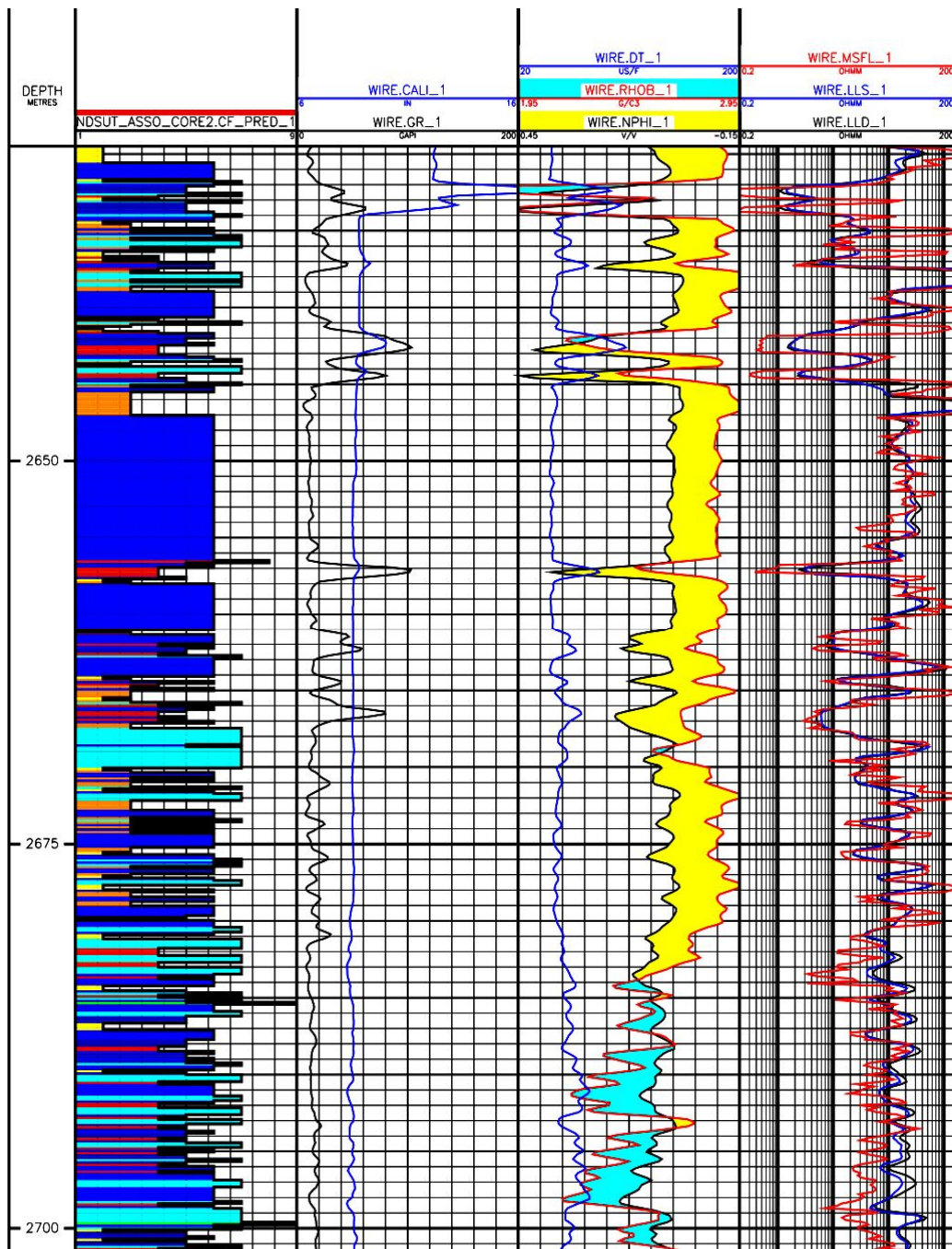
با کاهش منظم منحنی KRI، چندین شکستگی مهم قابل مشاهده می‌شود؛ در جایی که مقدار KRI از یک سطح مسطح پایدار به یک سطح دیگر تغییر می‌کند. این شکستگی‌ها با عدد بهینه دسته‌ها در تفکیک‌پذیری‌های متفاوت، مرتبط است. به راحتی می‌توانیم این نقاط خمیدگی را به صورت خودکار با اندازه‌گیری بیشینه محلی منحنی

در روش گن، پردازش برای ایجاد دسته‌ها از BI بسیار سخت است. او پیشنهاد می‌کند که از یک روند ساده‌تر استفاده شود که براساس تجربه از روی مجموعه داده‌نگار، معادل یک آستانه ساده با مقدار بالاتری BI است. در اینجا یک روش جدید برای ایجاد دسته‌های سازگار و یک مفهوم جدید در مورد تعداد بهینه دسته‌ها بیان می‌شود.

برای دسته‌های ایجاد شده از خوشه‌های به‌خوبی از هم جدا شده - به صورت واضح تفاوت‌های مهم بین چگالی احتمال بین مُدها و گودی‌ها (کمینه‌ها) را نمایش می‌دهد - تعداد بهینه دسته‌ها را به راحتی می‌توان؛ به همان خوبی که به صورت خودکار تشخیص داده می‌شوند، با چشم تشخیص داد. اما در بیشتر موارد کاربرد واقعی، دسته‌ها معمولاً مبهم هستند. نزدیکی دسته‌ها و بی‌قاعدگی محل داده‌ها تشخیص آنها را مشکل می‌سازد. تعداد بهینه دسته‌ها در واقع تابعی از "تفکیک‌پذیری" است، تفکیک‌پذیری که در آن کاربر تمایل به تحلیل داده دارد.

روش MRGC این عقیده جدید را مطرح می‌کند و به کاربر چندین عدد بهینه از خوشه‌ها را که تفکیک‌پذیری متفاوتی از دسته‌ها است پیشنهاد می‌کند. به علاوه، نتایج MRGC به صورت سلسله‌مراتبی مرتب می‌شوند، به گونه‌ای که دسته‌های با تفکیک‌پذیری بیشتر، زیرمجموعه‌ای از دسته‌های با تفکیک‌پذیری کمتر هستند. این تفکیک‌پذیری چندگانه با خصوصیت سلسله‌مراتبی کمک زیادی در تفسیر رخساره الکتریکی می‌کند.

مُدها و چاله‌های محلی را می‌توان به راحتی با استفاده از NI مشخص کرد. با این وجود، به منظور تشخیص تعداد بهینه دسته‌ها، لازم است که میزان نمایشگری هر مُد نسبت به کل مجموعه داده تعیین شود. به بیان دیگر آیا مُد، یک مُد واقعی یا یک بی‌قاعدگی محلی است؟ در اینجا ایده این است که



شکل ۵. نمایش رخساره الکتریکی چاه C با استفاده از پیش‌بینی نگار براساس مدل چاه A در ستون اول، نمودارهای کالیبر و پرتو گاما در ستون دوم، نمودارهای صوتی، چگالی و نوترون در ستون سوم و نمودارهای مقاومت الکتریکی در ستون چهارم.

مخازن حاوی گاز و میعانات گازی متعلق به سازندهای کنگان و دالان هستند، که به ترتیب دارای سن تریاسیک و پرمین هستند. در این مخازن (کنگان و دالان، معادل سازند خوف در نام گذاری عربی) چهار زون اصلی تولیدی وجود دارند، که به ترتیب از بالا به پایین K1, K2, K3, K4 هستند. این بخش‌ها با لایه‌های انیدریتی از هم جدا شده‌اند و یک توده ضخیم انیدریتی، که «بخش نار» نام دارد، K4 را از K5 در پایین جدا می‌سازد. از نظر کیفیت مخزنی، این زون‌ها در چهار گروه ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب قرار داده شده‌اند، به صورتی که زون K4 دارای بیشترین پتانسیل مخزنی و زون K1 دارای کمترین کیفیت مخزنی است. زون‌های K1 و K2 مربوط به سازند کنگان، و زون‌های K3, K4, K5 مربوط به سازند دالان هستند. همچنین در قسمت فوقانی، سازند دشتک، به منزله پوش سنگ مناسبی برای مخازن کنگان و دالان شناخته شده است (مطیعی، ۱۳۸۲).

مجموعه سازندهای کنگان، دالان و فراقون، گروه دهرم را تشکیل می‌دهند.

### ۳-۱ سازند کنگان

سازند آهکی کنگان نام خود را از شهر کنگان گرفته است که نام یک میدان گازی نیز است. این سازند از اولین رسوبات اوایل تریاس به حساب می‌آید. این سازند در گروه دهرم طبقه‌بندی شده است و این نیز به آن علت است که از یک طرف، تفکیک سازند زیرین از سازند کنگان در سطح زمین به آسانی میسر نیست و از طرف دیگر در کارهای نفتی سازندهای دالان و کنگان معمولاً یک مخزن را تشکیل می‌دهند و جداسازی آنها از نظر علمی و مهندسی مخازن نفت عملاً غیرممکن است. لذا برای دوری جستن از

گرادیان، تعیین کنیم. نقاط بیشینه مقدار KRI برای شکل‌دهی به خوشه‌های نهایی انتخاب و استفاده می‌شوند. روش خوشه‌سازی براساس نمودار با تفکیک‌پذیری چندتایی (MRGC)، روش ناپارامتری است که ترکیبی از روش KNN و روش‌های نمایش داده به صورت نمودار است که مزایای هر دو مورد را برای تعیین دسته‌ها (خوشه‌ها) در مجموعه داده‌ای با ابعاد دلخواه و ساختار پیچیده، استفاده می‌کند. روش MRGC خصوصیات زیر را دارد:

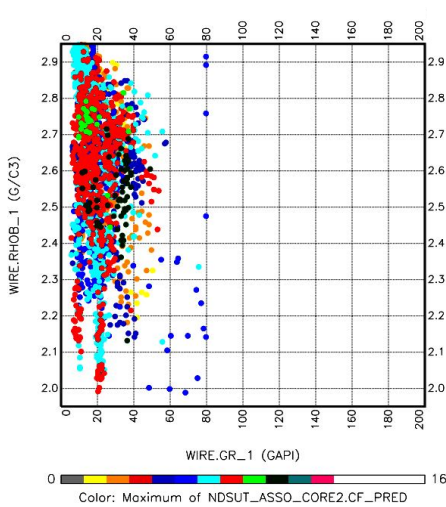
- قادر به تشخیص اجزای طبیعی داده‌های نمودارهایی است که امکان دارد نشان‌دهنده آرایش رخساره‌های زمین‌شناسی باشند.
- مستقل از دانش قبلی از مجموعه داده است.
- به صورت خودکار تعداد بهینه از رخساره‌ها را به وجود می‌آورد.
- برای پردازش داده واقعی نگار که دارای رخساره‌هایی با ترکیب پیچیده است، قابل اعتماد است.
- با وجود مقادیر متغیر پارامترها، دارای پارامترها و نتایج ثابت است.
- محدودیتی در تعداد ابعاد، نقاط و دسته‌ها ندارد.

### ۳ زمین‌شناسی میدان مورد بررسی

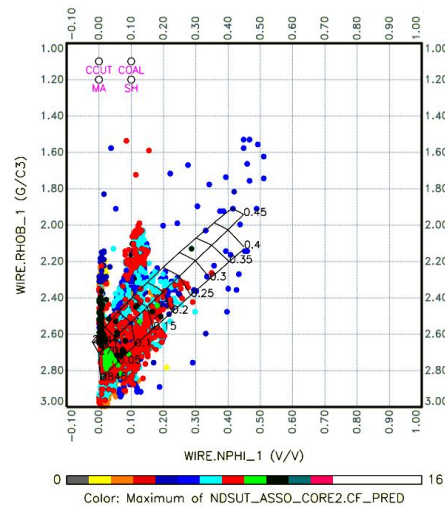
میدان گازی (و میعانی) مورد بررسی در قسمت داخلی ساختار منطقه‌ای فلات عربی قرار دارد. این میدان قسمتی از کمان عظیم قطر - فارس است، که در جهت شمال، شمال شرق - جنوب، جنوب غرب امتداد یافته و یکی از عناصر ساختاری در ناحیه مرکزی خلیج فارس است. این میدان یکی بزرگ‌ترین منابع گازی مستقل جهان با وسعت ۹۷۰۰ کیلومتر مربع است.

مخازن متعددی (نفت و گاز) در منطقه مورد بررسی، کشف شده‌اند و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. مخازن نفتی این منطقه در سازندهای گروه خامی و بنگستان قرار دارند و

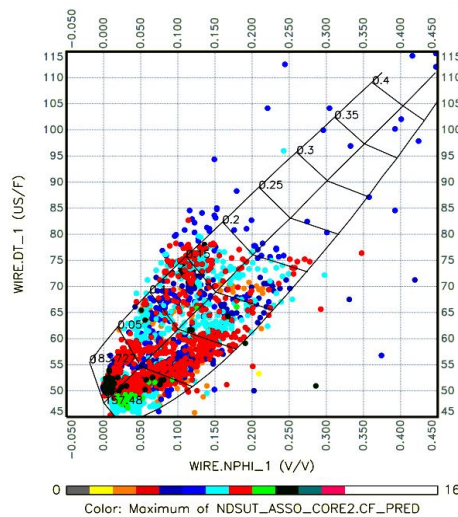
۱. رخساره کربنات‌های تمیز
  ۲. رخساره رُسی و شیلی قاعده‌ای
  ۳. رخساره کربناته تبخیری
- مشکلات بعدی، با قرار دادن سازندهای دالان از پرمین و کنگان از تریاس در گروه دهرم تا حدی این معضل برطرف شده است.
- در این سازند، سه رخساره معین قابل تشخیص است (مطیعی، ۱۳۸۲ و درویش زاده، ۱۳۸۲):



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۶. منحنی‌های تقاطع چاه B بین نگارهای گوناگون که در همه آنها رنگ نقاط داده، معرف رخساره آن است، (الف) منحنی تقاطع چاه B بین نگارهای چگالی و نوترون، (ب) منحنی تقاطع چاه B بین نگارهای پرتو گاما و چگالی، (ج) منحنی تقاطع چاه B بین نگارهای نوترون و صوتی.

## ۳-۲ سازند دالان

نام این سازند برگرفته از میدان دالان است. این سازند مجموعه‌ای از ریف‌های کربناتی تبخیری است. تغییرات سنگ‌شناسی آن تابع تغییرات رخساره‌ای در موقعیت‌های متفاوت است. چهار رخساره کلی در این سازند قابل تشخیص است که به ترتیب عبارت‌اند از:

الف- رخساره کربنات‌های ساحل محدود

ب- رخساره کربنات‌های آلی ساحلی

ج- رخساره کربنات‌های دریای آزاد

د- رخساره کربناتی-تخریبی نزدیک ساحل

## ۴ کاربرد روی داده‌های میدان

برای ساخت مدل رخساره نگار براساس رخساره سنگی داده مغزه، ابتدا نیاز است که مغزه به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرد و به‌صورت جزئی رخساره‌های آن براساس نوع سنگ تفکیک شود. این رخساره‌های تفکیک شده در جدولی عددی براساس شباهت به یکدیگر، طبقه‌بندی می‌شوند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، ۱۲ رخساره براساس نوع سنگ، فابریک سنگ (اندازه دانه‌ها و شکل دانه‌بندی سنگ)، میزان فشردگی و سایر خصوصیات زمین‌شناسی به‌خوبی تعریف شده است.

همچنین نمایش نگارهای گوناگون برای بررسی مدل آمده است. در ستون آخر نوع سنگ‌شناسی نیز با نگار درصد سنگ‌شناسی مشخص شده است. برای بررسی دقیق‌تر میزان اعتبار مدل ایجاد شده، روی نمودار تقاطع، رخساره مغزه و رخساره الکتریکی مدل ایجاد شده با هم مقایسه می‌شود. معادله خطی که رابطه بین دو رخساره را نمایش می‌دهد (شکل ۲)، حاکی از انطباق بسیار زیاد این دو است.

برای بررسی خواص پتروفیزیکی رخساره‌های ایجاد شده، می‌توان منحنی‌های تقاطع را مطابق شکل‌های ۳-الف تا ۳-ج رسم و خواص پتروفیزیکی هر رخساره را تعیین کرد. نقاط داده روی منحنی‌های تقاطع، براساس رخساره‌های الکتریکی ایجاد شده رنگ‌آمیزی شده‌اند و نوع رخساره هر نقطه داده مشخص است. از طرفی این منحنی‌ها را برای بررسی انطباق مدل در چاه‌های دیگر نیز می‌توان به کار برد.

در ایجاد مدل‌های رخساره‌های الکتریکی ترکیب متفاوت از نگارها جواب‌های متفاوتی می‌دهد. در فرایند کار روی ایجاد رخساره‌ها برای تعیین نوع رخساره و تفکیک آن از دیگر رخساره‌ها، چهار نگار اصلی می‌توانند موثر باشند. ترکیب سه نگار از این چهار نگار شامل چگالی ( $Rho$ )، نوترون ( $Nphi$ ) و صوتی ( $DT$ ) روی منحنی‌های تقاطع برای تعیین سنگ‌شناسی سنگ‌ها به کار می‌رود. نمودار چهارم که پرتو گاما ( $GR$ ) است می‌تواند شیل و مارل را از انیدریت و نمک تفکیک کند. بنابراین ترکیب این چهار نگار می‌تواند رخساره‌ها را به‌خوبی نشان دهد. برای افزایش دقت، نگارهای چگالی و نوترون را با یکدیگر ادغام می‌کنیم و نگار نوترون-چگالی ( $NDS$ ) ایجاد می‌شود که این نگار را با یکی از دو نگار نوترون یا چگالی ترکیب می‌کنیم و به کار می‌گیریم. نگار  $NDS$  شامل تفاضل بین دو نگار نوترون و چگالی است. این تفاضل در تشخیص نوع سنگ‌شناسی موثر است. این نگار از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$NDS = \left( \frac{RHOZ - 1.95}{2.95 - 1.95} \right) * 10 - \left( \frac{0.45 - NPHI}{(-0.15) - 0.45} \right) * 10. \quad (7)$$

نگارهایی که در بالا معرفی شدند، درحکم ورودی مدل به کار می‌روند. در ادامه، نمودار مغزه به‌صورت یک ورودی مستقل وارد می‌شود که نتایج مدل، وابسته به رخساره‌های سنگی تعریف شده آن است. استفاده از داده رخساره سنگی



رخساره مطابقت دارد، زیرا انیدریت دارای ماهیتی چگال است.

مطابق شکل ۳-ب (منحنی پرتوگاما-چگالی) عمده رخساره‌ها دارای میزان پرتو گامای کم هستند و تجمعشان بیشتر بین ۲۰ تا ۵۰ واحد API است. اما همان‌طور که دیده می‌شود رخساره‌های گریستون به علت ماتریکس کمتر دارای پرتو گامای کمتری هستند و هرچه میزان ماتریکس بیشتر است (مثلاً در مادستون‌ها) میزان پرتو گاما به شکل مشخصی بیشتر است.

در شکل ۳-ج (منحنی صوتی-نوترون) به‌طورکلی با کاهش چگالی، زمان سیر موج از محیط افزایش می‌یابد. این کاهش چگالی عمدتاً به علت افزایش تخلخل است که در رخساره‌های ۵ تا ۸ این مسئله آشکارتر به چشم می‌رسد. این افزایش تخلخل در این نمودار نیز بیانگر خصوصیت خوب مخزنی این رخساره‌ها است. در رخساره‌های مادستون دولومیتی نیز این افزایش تخلخل مشاهده می‌شود.

#### ۴-۱ پیش‌بینی رخساره‌های الکتریکی

حال که مدل مناسب چاه A ایجاد شده است، مدل چاه‌های دیگر نیز باید ساخته شود. بدین‌منظور مدل چاه A روی چاه‌های B و C نیز اعمال می‌شود و رخساره‌های الکتریکی آنها که معادل رخساره‌های سنگی این چاه‌ها است، ایجاد می‌شود. این موارد در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

بعد از اینکه رخساره‌های الکتریکی بازسازی شدند، به علت نبود دسترسی به مغزه‌های این دو چاه باید به ناچار به روش دیگری صحت آنها بررسی شود. این عمل می‌تواند با بررسی منحنی‌های تقاطع این چاه‌ها صورت گیرد. از طرفی می‌توان به بررسی خصوصیات پتروفیزیکی این رخساره‌ها

مغزه درحکم یک عامل مستقل و موثر در نتایج مدل به علت‌های زیر است:

- تعداد خوشه‌های نمودارهای چاه دقیقاً مساوی با تعداد رخساره‌های سنگی (۱۲ رخساره) که از طریق مغزه تعیین شده‌اند، باشند.

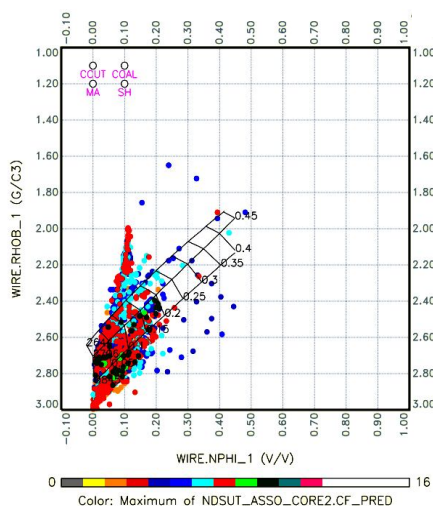
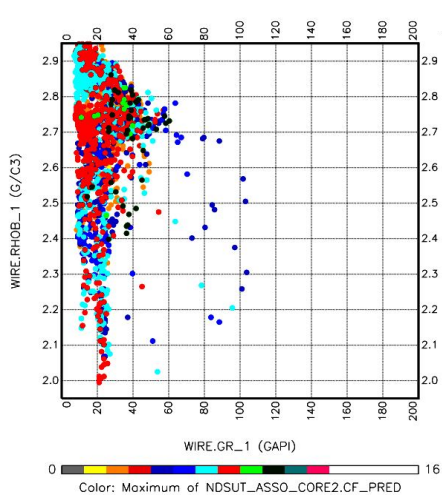
- رخساره‌های الکتریکی براساس رخساره‌های سنگی ساخته می‌شوند؛ این بدان معنی است که در اعماقی که رخساره‌های سنگی به‌دقت تعیین شده‌اند، تشخیص رخساره‌های الکتریکی با بیشترین دقت صورت می‌گیرد. این امر در جدول ۱ نمایش داده شده است. شکل ۱ مدل ایجاد شده در مقایسه با مدل مغزه نمایش داده شده است که مقادیر عددی قسمتی از آن در جدول ۲ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مطابقتی بسیار خوب بین رخساره نگار ایجاد شده و رخساره مغزه وجود دارد. رخساره ایجاد شده با استفاده از ترکیب نگارها در کنار مدل رخساره‌های مغزه قرار داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۳-الف (منحنی چگالی-نوترون) مشاهده می‌شود، میزان چگالی رخساره‌ها متفاوت است اما برای مثال می‌توان مشاهده کرد که رخساره ۹ و ۱۰ عمدتاً دارای چگالی زیادی و از طرفی دارای تخلخل کمی هستند. بیشترین تجمع رخساره‌ها نیز در همین منطقه است، اما رخساره‌های ۵-۸ پراکندگی بیشتری دارند. علت پراکندگی داده‌های خروجی ممکن است تفاوت در میزان تاثیر دیاژنز بر سنگ و نیز مقدار دولومیتی شدن آن باشد. اما به‌طورکلی می‌توان یک روند افزایش تخلخل را با کاهش چگالی در این رخساره‌ها مشاهده کرد.

رخساره ۲ به علت داشتن انیدریت دارای چگالی زیاد و از طرفی تخلخل کم است که این مسئله با خصوصیت این

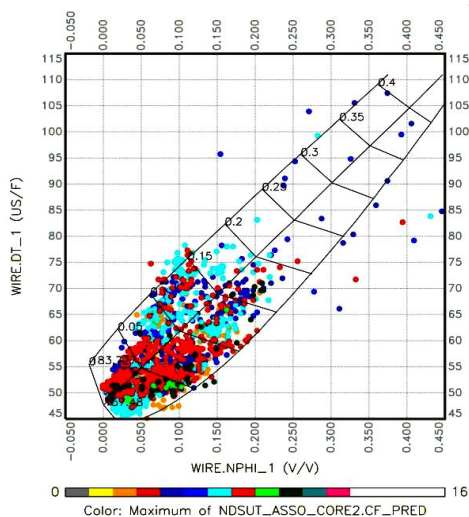
رسم و نقاط براساس رخساره‌های ایجاد شده مانند چاه A رنگ آمیزی می‌شود. به این ترتیب خواص پتروفیزیکی هر

به صورت کلی نیز از روی این منحنی‌ها مانند چاه A پرداخت. به این منظور منحنی‌های تقاطع چاه‌های B و C



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۷. منحنی‌های تقاطع چاه C بین نگارهای گوناگون که در همه آنها رنگ نقاط داده، معرف رخساره آن است، (الف) منحنی تقاطع چاه C بین نگارهای چگالی و نوترون، (ب) منحنی تقاطع چاه C بین نگارهای پرتو گاما و چگالی، (ج) منحنی تقاطع چاه C بین نگارهای نوترون و صوتی.

شکل ۷-ب نمایش چگالی نسبت به پرتو گاما است که در این نمودار نیز رخساره‌های مادستون دارای پرتو گامای بیشتری هستند و رخساره‌های تمیز از ماتریس دارای پرتو گامای کمی‌اند. در شکل ۷-ج نیز نمایش نگار نوترون در مقابل نگار صوتی است و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رخساره‌های این چاه نیز مانند رخساره‌های چاه‌های A و B رفتار مشابهی برای داده‌های نگار آشکار می‌سازند. با توجه به روند یکسان در منحنی‌های تقاطع معادل بین چاه‌های A، B و C، می‌توان نتیجه گرفت که رخساره‌ها در چاه‌های B و C نیز با موفقیت ساخته شده، و معتبرند.

#### ۵ نتیجه‌گیری

روش MRGC روشی قدرتمند در دسته‌بندی داده‌ها است که کاربرد آن در توصیف رخساره‌های الکتریکی با استفاده از نمودارهای چاه در این میدان مورد بررسی در جنوب ایران، موفقیت‌آمیز بود. روش MRGC روشی سریع است که به زمین‌شناس یا پتروفیزیک‌دان اجازه آزمون و تحلیل ترکیبات متنوع از داده‌ها را در زمان کوتاه می‌دهد. همچنین این روش به ابعاد داده‌ها و تعداد خوشه‌ها محدود نیست. این روش، تعداد بهینه از دسته‌ها را که به صورت سلسله‌مراتبی مرتب شده‌اند، پیشنهاد می‌دهد. در جایی که دسته‌های با تفکیک‌پذیری بیشتر، همیشه خود یک زیرخوشه از خوشه‌های با تفکیک‌پذیری کمتر هستند. این مسئله به محقق، معیاری برای تعیین اینکه چه مقدار تقسیم داده‌ها باید جزئی باشد و نسبت به داده‌نگار چه میزانی معنی‌دار می‌شود فراهم می‌کند.

یافته‌های این تحقیق روشن ساخت که این روش در چاه‌هایی که مغزه ندارند می‌تواند رخساره‌ها را شناسایی و بازسازی کند و مزیتی که رخساره‌های الکتریکی ایجاد شده

گروه رخساره مشخص می‌شود. منحنی تقاطع چاه B که در شکل ۶-الف نمایش داده شده است، نشان‌دهنده مقادیر نگار چگالی در مقابل نگار نوترون است. همان‌طور که مشاهده می‌شود رخساره‌های مادستون که به رنگ سبز هستند، به علت ماتریس زیاد، تخلخل کمی دارند و از طرفی رخساره‌های گرینستون و باندستون دارای تخلخل بیشتری هستند و نیز دارای چگالی‌های متفاوتی‌اند که همین رفتار را در چاه A نیز مشاهده می‌کنیم. در نتیجه، این نمایش می‌تواند نشان‌دهنده تشخیص درست رخساره‌ها باشد.

منحنی تقاطع شکل ۶-ب نیز مربوط به چاه B و نمایش نگار چگالی در مقابل نگار پرتو گاما است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رخساره‌های مادستون و وکستون نسبت به رخساره‌های گرینستون دارای پرتو گامای بیشتری هستند. منحنی شکل ۶-ج نمایش نگار نوترون در مقابل نگار صوتی است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در رخساره‌هایی که تخلخل کمتری دارند، به خصوص رخساره‌های انیدریتی، سرعت صوت بیشتر است؛ اما در رخساره‌هایی که میزان تخلخل متغیر است (مانند گرینستون‌ها) سرعت صوت نیز متغیر است و در نواحی که تخلخل بیشتری وجود دارد، میزان سرعت صوت کمتر است. قبلاً در چاه A نیز این تخلخل متفاوت در رخساره‌های گرینستون مشاهده شده است. پس با یک تقریب خوب صحت مدل تایید می‌شود.

در شکل‌های ۷-الف تا ۷-ج، نمایش منحنی‌های تقاطع در چاه C مشاهده می‌شود. شکل ۷-الف نمودار مقادیر نگارهای چگالی و چگالی نسبت به یکدیگر است. در این نمودار مانند نمودار چاه B رخساره‌هایی که گرینستون هستند دارای چگالی‌های متفاوت و عمدتاً تخلخل زیادند و رخساره‌های مادستون دارای تخلخل کم و چگالی زیاد هستند.

- lithofacies tools, Geology Office, Litho ToolKit, LithoQuickLook, Schlumberger Information.
- Gath, I., and Geva, A. B., 1989, Fuzzy clustering for the estimation of the parameters of the components of mixtures of normal distribution: *Pattern Recognition Letters*, **9**, 77-86.
- 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.
- Mathis, B., Leduc, J. P., and Vandenabeele, T., 2003, From the geologists' eyes to synthetic core descriptions: Geological log modeling using well-log data, AAPG Annual Convention, May 11-14, 2003, Salt Lake City, Utah.
- Serra, O., 1988, *Fundamentals of Well Log Interpretation*, Third Edition, Elsevier Science Publishers. 423 pp.
- Shin-Ju, Ye., and Rabiller, P., 2000, A new tool for electro-facies analysis: Multi-resolution graph-based clustering: SPWLA 41<sup>st</sup> Annual Logging Symposium, 4-7.
- Shin-Ju, Ye., and Rabiller, P., 2005, Automated electrofacies ordering. *Petrophysics*, **46**(6), 409-423.
- Zhan, C. T., 1971, Graph theoretical methods for detecting and describing gestalt clusters: *IEEE Trans. on Computers*, V. C-20, 68-86.
- نسبت به رخساره‌های مغزه دارند این است که می‌توان با استفاده از نرم‌افزار و بدون اجرای آزمایش روی مغزه، مشخصات پتروفیزیکی رخساره‌ها را محاسبه و این مقادیر را بین چاه‌ها، و نیز با مقادیر مغزه چاه مورد بررسی، مقایسه کرد. بدین روش می‌توان محل‌های مناسب برای حفر چاه‌های جدید را تعیین کرد.
- منابع**
- درویش زاده، ع.، ۱۳۸۲، زمین‌شناسی ایران، چاپ سوم، انتشارات امیرکبیر، ۹۰۲.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، زمین‌شناسی ایران - چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۵۶.
- Antelo, R., and Aguirre, O., 2001, Permeability calculations from clustering electrofacies technique for the petrophysical evaluation in La Pena and Tundy oil fields, SPE 69400-MS.
- Dubois, M. K., Bohling, G. C., and Chakrabarti, S., 2005, Comparison of four approaches to a rock facies classification problem, *Computers and Geosciences*, **33**, 599-617.
- Frew, K., 2004, Litho ToolKit: Lithofacies estimation with the most comprehensive suite of