



دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

گروه مهندسی اکتشاف

ارائه‌ی رویکردی جدید جهت تخمین مینرالوژی از چاه‌نمودارهای
پتروفیزیکی، مطالعه‌ی موردی: میدان شیل گازی پرت استرالیای غربی

محمدجواد مجلسی کوپایی

اساتید راهنما:

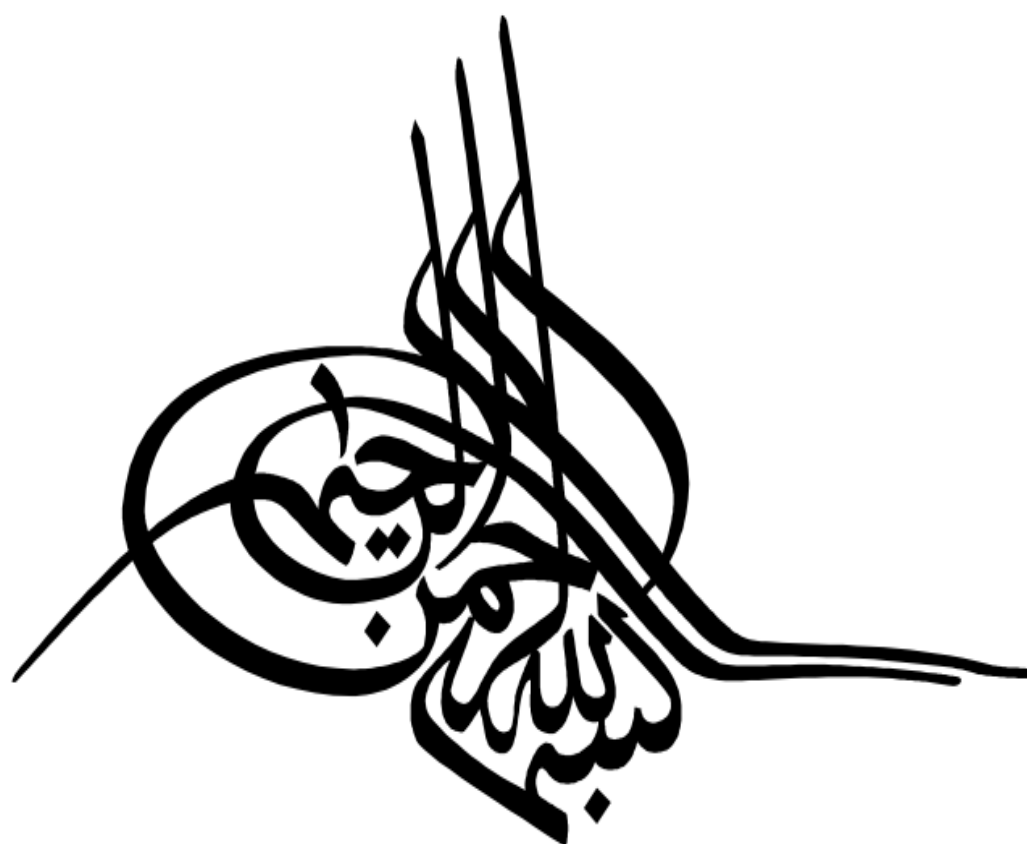
دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر محمدرضا رضایی

استاد مشاور:

دکتر نادر فتحیان‌پور

بهمن ۱۳۹۱





دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

گروه مهندسی اکتشاف

ارائه‌ی رویکردی جدید جهت تخمین مینرالوژی از چاه‌نمودارهای
پتروفیزیکی، مطالعه‌ی موردی: میدان شیل گازی پرت استرالیای غربی

محمدجواد مجلسی کوپایی

اساتید راهنما:

دکتر بهزاد تخم‌چی

دکتر محمدرضا رضایی

استاد مشاور:

دکتر نادر فتحیان‌پور

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدجواد مجلسی کویایی

تحت عنوان: ارائه‌ی رویکردی جدید جهت تخمین مینرالوژی از چاه‌نمودارهای

پتروفیزیکی، مطالعه‌ی موردی: میدان شیل گازی پرت استرالیای غربی

در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی

و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	دکتر نادر فتحیان‌پور		دکتر بهزاد تخم‌چی
	-		دکتر محمدرضا رضایی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر سوسن ابراهیمی		دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی
			دکتر حمید حسن‌پور

با احترام؛

تقدیرم بنی‌پدر و مادر،

خواهر و برادر،

دکتر علی توکلی طرّقی و معتمد س مهک مهرآرام،

و خانم مهریانم

تشکر و قدردانی

خداوند متعال را سپاس گزارم از این که توانستم این پایان نامه را به اتمام برسانم. همچنین خدا را شاکرم که در حین انجام این پایان نامه افراد خبره و شایسته‌ای را در سر راه پروژه قرار داد تا با راهنمایی و مشاوره آن‌ها این پروژه در مسیر مناسب خود قرار گیرد. به رسم ادب و احترام، در ابتدای این پایان نامه باید از زحمات بزرگوارانی که بنده را در انجام این پایان نامه یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

از جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی که در تمام مقاطع این پایان نامه همواره پشتیبان من بودند، آقای دکتر نادر فتحیان‌پور که همچون پدری دلسوز مرا کمک کردند، آقای دکتر محمدرضا رضایی که در بخش داده‌های منطقه مرا یاری رساندند، آقای دکتر بابک نجار اعرابی که نه تنها شیوه‌های بازشناخت الگو و سیستم‌های فازی را به من آموزش دادند، بلکه نحوه‌ی اندیشیدن یک مهندس را به من نشان دادند، آقای پرفسور حسین احمدی نوبری که در بخش آموزش آنالیز موجک با ایده‌های نو مرا هدایت کردند، آقای دکتر محمد کنشلو و خانم دکتر مهین منصوری اصفهانی که در بخش کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی مرا هدایت کردند، خانم‌های مهندس مریم تنها، مینا دلنوا، فرناز قریشی و مینا جعفریان جزی که در ویرایش متن مرا یاری نمودند، آقای مهندس محمد جودی نصراله بیگلو که در گُدنویسی مرا یاری نمودند و آقایان مهندس امیر ملاجان و یوسف عسگرنژاد که در بخش تحلیل داده‌ها مرا کمک نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با آرزوی موفقیت

محمدجواد مجلسی کوپایی

تعهد نامه

اینجانب **محمدجواد مجلسی کوپایی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی اکتشاف معدن** دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه‌ی **ارائه‌ی رویکردی جدید جهت تخمین مینرالوژی از چاه نمودارهای پتروفیزیکی، مطالعه‌ی موردی: میدان شیل گازی پرت استرالیای غربی تحت راهنمایی دکتر بهزاد تخم‌چی و دکتر محمدرضا رضایی متعهد می شوم.**

- ❖ تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- ❖ در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است. مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- ❖ کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- ❖ حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- ❖ در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- ❖ در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- ❖ کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- ❖ استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

یکی از مراحل اصلی در مطالعات مخزنی، مطالعه‌ی جنس سنگ‌هاست. این مرحله بر اساس مقیاس مطالعه می‌شود، در کوچک مقیاس سازندها و در بزرگ مقیاس مینرالوژی مدنظر قرار می‌گیرند. در مقیاس سازند از لرزه‌نگاری، روش‌های بازشناخت الگو و دانش پتروفیزیک استفاده می‌شود. در مقیاس بزرگ‌تر از شیوه‌های مستقیم (مطالعه‌ی مغزه) و غیرمستقیم (نمودارهای متقاطع، ماتریس‌ها و بازشناخت الگو) استفاده می‌شود. در این پایان‌نامه در مرحله‌ی اول با استفاده از تبدیل موجک پیوسته بر روی تکنگر نوترون سازندها در چاه‌ها جدا شدند، سپس برای حرکت به مقیاس‌های بالاتر از خوشه‌بندی گوستافسون کِسل در یک سازند خاص استفاده شد تا الکتروفاسیس‌ها شناسایی شوند. سپس در هر کدام از خوشه‌ها تخمین‌گر لولیموت جهت تعیین درصد کانی‌ها استفاده شد. داده‌های به‌کارگیری شده در این پایان‌نامه برگرفته از سه چاه شماره یک، دو و چهار میدان کلیف‌هید واقع در غرب منطقه‌ی پرت استرالیا است، از این چاه‌ها با دقت مناسبی داده‌های مینرالوژی QEM Scan جهت اعتبارسنجی برداشت شده است. پس از به‌کارگیری رویکرد ابتکاری پیشنهاد شده در چاه‌ها، جدایش سازندها با دقت حداقل ۹۵٪ و تخمین مینرالوژی با موفقیت میانگین ۸۰٪ انجام شد.

کلمات کلیدی: تبدیل موجک پیوسته، جداسازی سازند، تخمین مینرالوژی، الکتروفاسیس،

گوستافسون - کِسل، لولیموت، شیل گازی

لیست مقالات مستخرج شده از این پایان نامه

۱. مجلسی کوپایی م.ج.، تخمچی ب.، رضایی م.ر.، فتحیانپور ن.، جودی م.، ۱۳۹۱،
"استفاده از خواص فرکانسی تکنگر نوترون، جهت تفکیک سازندها؛ مطالعه‌ی موردی:
منطقه‌ی شیلی کلیف هد، غرب استرالیا"، اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و
نیروگاهی، تهران.
۲. مجلسی کوپایی م.ج.، تخمچی ب.، رضایی م.ر.، فتحیانپور ن.، جودی م.، ۱۳۹۱،
"جداسازی لایه‌های زمین‌شناسی رفتارهای فرکانسی سازندها در چاه‌نگارها"، چهارمین
کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران.

فهرست عناوین

فصل اول روش های تخمین مینرالوژی.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ شیوه های مستقیم تعیین مینرالوژی.....	۲
۱-۲-۱ روش های مبتنی بر مطالعات تصویری (روش های گرافیکی).....	۲
۲-۲-۱ روش های مبتنی بر آنالیز دستگاهی.....	۳
۳-۲-۱ روش عددی تبدیل فوریه طیف مادون قرمز.....	۵
۳-۱ شیوه های غیرمستقیم تعیین مینرالوژی.....	۶
۱-۳-۱ استفاده از چاه نگارهای پتروفیزیکی.....	۶
۲-۳-۱ روش های عددی تعیین لیتولوژی با استفاده از نگارهای چاه پیمایی.....	۱۲
۳-۳-۱ روش های مبتنی بر چاه نگارهای ژئوشیمیایی.....	۱۸
۴-۳-۱ روش های مبتنی بر لرزه نگاری.....	۱۹
فصل دوم روش شناسی تحقیق.....	۲۰
۱-۲ مقدمه.....	۲۱
۲-۲ تبدیل موجک.....	۲۱
۱-۲-۲ تبدیل موجک پیوسته.....	۲۱
۲-۲-۲ موجک مادر کلاهدک مکزیکی.....	۲۳
۳-۲ شناسایی الگو.....	۲۴
۱-۳-۲ آنالیز خوشه بندی.....	۲۴
۳-۳-۲ اعتبارسنجی.....	۲۹

۴-۲ الگوریتم درخت مدل محلی خطی (لولیموت) ۳۱

۱-۴-۲ الگوریتم لولیموت: ۳۲

فصل سوم توصیف میدان و داده‌های مورد مطالعه ۳۷

۱-۳ مقدمه ۳۸

۲-۳ موقعیت میدان ۳۸

۳-۳ تاریخچه‌ی اکتشافی منطقه‌ی کلیف‌هید ۴۰

۱-۳-۳ کلیف‌هید شماره یک (CH1) ۴۲

۲-۳-۳ کلیف‌هید شماره دو (CH2) ۴۳

۳-۳-۳ کلیف‌هید شماره چهار (CH4) ۴۴

۴-۳ سازندهای موجود در منطقه ۴۶

۱-۴-۳ سازندهای هدف جهت مطالعه: ۴۸

۵-۳ داده‌ها: ۵۰

فصل چهارم تخمین مینرالوژی اصلی با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی ۵۱

۱-۴ مقدمه ۵۲

۲-۴ استفاده از موجک پیوسته جهت جدایش سازندها: ۵۲

۳-۴ استفاده از الگوریتم گوستافسون کسل برای جداسازی خوشه‌ها ۵۸

۴-۴ تخمین مینرالوژی با به کارگیری روش لولیموت ۶۷

فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۹

۵-۱ نتیجه گیری ۸۰

۵-۲ پیشنهادات ۸۱

۶-منابع ۸۲

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ مشخص کردن نوع کانی رسی توسط نگارهای فتوالکتریک و گامای طبیعی..... ۷
- شکل ۲-۱ نمونه‌ای از کراس پلات نوترون چگالی..... ۹
- شکل ۳-۱ نمایش ایده‌آل از نمودارهای نوترون چگالی و چگالی سونیک که متغیر M و N را تعریف می‌کنند..... ۱۰
- شکل ۴-۱ تعیین مینرالوژی با استفاده از پلات $M-N$ ، که اثر تداخل در آن حذف شده است..... ۱۱
- شکل ۱-۲ موجک مادر کلاه مکزیکی..... ۲۳
- شکل ۲-۲ خوشه‌ها با شکل‌های گوناگون در دو بعد حقیقی..... ۲۵
- شکل ۳-۲ چگونگی تقسیم‌شدن پنجره‌ها در الگوریتم لولیموت..... ۳۲
- شکل ۴-۲ عملکرد الگوریتم لولیموت در پنج تکرار اول برای قضای ورودی دو بعدی..... ۳۶
- شکل ۱-۳ الف) موقعیت کشور استرالیا..... ۳۹
- شکل ۱-۳ ب) موقعیت منطقه‌ی پرت در غرب استرالیا و موقعیت چاه‌ها در پرت..... ۳۹
- شکل ۳-۱ پ) موقعیت تکتونیکی حوزه‌ی رسوبی پرت..... ۴۰
- شکل ۲-۳ نقشه‌ی بررسی موقعیت میدان کلیف‌هد در ناحیه‌ی پرت..... ۴۲
- شکل ۳-۳ نقشه‌ی موثعیت چاه‌های منطقه‌ی کلیف‌هد تا سال ۲۰۱۲..... ۴۶
- شکل ۴-۳ واحدهای سازندی موجود در منطقه..... ۴۷
- شکل ۱-۴ نتایج به‌دست آمده از تبدیل موجک کلاه‌مکزیکی از چاه کلیف‌هد ۱..... ۵۶
- شکل ۲-۴ نتایج به‌دست آمده از تبدیل موجک کلاه‌مکزیکی از چاه کلیف‌هد ۲..... ۵۷
- شکل ۳-۴ الف) نمودار نتایج روش ضریب جدایش برای تعداد خوشه‌های مختلف..... ۶۰
- شکل ۳-۴ ب) نمودار نتایج اندیس جداشدگی برای تعداد خوشه‌های مختلف..... ۶۰
- شکل ۳-۴ پ) نمودار نتایج روش اندیس تفکیک برای تعداد خوشه‌های مختلف..... ۶۰
- شکل ۳-۴ ت) نمودار نتایج اندیس جداشدگی برای تعداد خوشه‌های مختلف..... ۶۱
- شکل ۳-۴ ث) نمودار نتایج اندیس XB برای تعداد خوشه‌های مختلف..... ۶۱
- شکل ۴-۴ نمایش جدایش دوخوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسل..... ۶۳
- شکل ۵-۴ نمایش جدایش دوخوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسل..... ۶۴
- شکل ۶-۴ نمایش جدایش سه‌خوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسل..... ۶۵
- شکل ۷-۴ نمایش جدایش سه‌خوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسل..... ۶۶
- شکل ۸-۴ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی اول..... ۶۸
- شکل ۹-۴ نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی اول..... ۶۸
- شکل ۱۰-۴ نتایج تخمینی پتاسیم آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی اول..... ۶۸
- شکل ۱۱-۴ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی دوم..... ۶۹
- شکل ۱۲-۴ نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی دوم..... ۶۹
- شکل ۱۳-۴ نتایج تخمینی پتاسیم آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی دوم..... ۶۹
- شکل ۱۴-۴ نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی دوم..... ۷۰
- شکل ۱۵-۴ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی اول..... ۷۲

شکل ۴-۱۶	نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی اول.....	۷۲
شکل ۴-۱۷	نتایج تخمینی پتاسیم آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی اول.....	۷۳
شکل ۴-۱۸	نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی اول.....	۷۳
شکل ۴-۱۹	نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی دوم.....	۷۳
شکل ۴-۲۰	نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی دوم.....	۷۴
شکل ۴-۲۱	نتایج تخمینی پتاسیم آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی دوم.....	۷۴
شکل ۴-۲۲	نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی دوم.....	۷۴
شکل ۴-۲۳	نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی سوم.....	۷۵
شکل ۴-۲۴	نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی سوم.....	۷۵
شکل ۴-۲۵	نتایج تخمینی پتاسیم آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی سوم.....	۷۵
شکل ۴-۲۶	نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی سوم.....	۷۶

فهرست جداول

جدول ۱-۳ داده‌های به‌کار گرفته‌شده در پژوهش.....	۵۰
جدول ۱-۴ نتایج جداسازی سازند با تبدیل موجک پیوسته کلاه مکزیکی در چاه‌های کلیف‌هد ۱،۲ و ۴.....	۵۵
جدول ۲-۴ نتایج تخمین کانی‌های اصلی در سازند IRCM با تخمین گر لولیموت در دوخوشه.....	۷۱
جدول ۳-۴ نتایج تخمین کانی‌های اصلی در سازند IRCM با تخمین گر لولیموت در سه‌خوشه.....	۷۷

فصل اول

روش‌های تخمین میسرالوژی

۱-۱ مقدمه

مینرالوژی در تعیین بسیاری از پارامترهای مکانیک سنگی نظیر چقرمگی^۱، تعیین محل مناسب برای تحریک^۲ چاه، ایجاد شکستگی‌های هیدرولیکی^۳، تعیین میزان TOC در میدان‌های شیل‌گازی و مدل‌سازی مخزن کاربرد دارد.

به طور کلی روش‌های تخمین مینرالوژی به دو شیوه مستقیم^۴ (با استفاده از مغزه) و غیر مستقیم^۵ (بدون استفاده از مغزه) صورت می‌گیرد، که هر شیوه با روش‌های مختلفی انجام می‌شود. بدین صورت که شیوه مستقیم شامل سه روش کلی استفاده از تصویر مقطع، استفاده از آنالیزهای دستگاهی و روش‌های عددی است و شیوه غیرمستقیم شامل سه دسته‌ی استفاده از نگارهای پتروفیزیکی، استفاده از نگارهای ژئوشیمیایی و لرزه‌نگاری است. در ادامه توضیح مختصری درمورد هر کدام از این روش‌ها آورده شده است. لازم به ذکر است که به روش استفاده از نگارهای پتروفیزیکی با توجه به لزوم مطلب به صورت کامل‌تری پرداخته خواهد شد.

۱-۲ شیوه‌های مستقیم تعیین مینرالوژی

۱-۲-۱ روش‌های مبتنی بر مطالعات تصویری (روش‌های گرافیکی)

در روش‌های گرافیکی اولیه، نمونه برداشت شده در زیر میکروسکوپ مورد بررسی قرار می‌گرفت و کانی‌ها با توجه به دقت تفکیک میکروسکوپ تا حد ممکن مشخص می‌شدند. از معایب این روش نتایج کاملاً کیفی بود که فقط نوع کانی مشخص می‌شد.

با پیشرفته‌تر شدن میکروسکوپ‌ها و با روی کار آمدن کامپیوتر دقت کار این روش‌ها به صورت نیمه کمی تا کمی در آمد، تا جایی که با تهیه‌ی یک مقطع از مغزه‌ی حفاری بدست آمده

1. Toughness
2. Stimulation
3. Hydraulic Fracturing
4. Direct
5. Indirect

دقیقاً نوع کانی‌های آن مقطع و درصد کانی‌های مقطع تعیین می‌شود و اگر این مقطع معرف^۱ برداشته شده باشد، می‌توان آن را به کل نمونه‌ی اصلی نسبت داد و از آن به عنوان نماینده‌ی آن ضخامت مغزه یاد کرد.

میکروسکوپ‌های الکترونی یا SEM^۲ یکی از جدیدترین انواع میکروسکوپ‌ها هستند که برای مطالعه‌ی گرافیکی سنگها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. خصوصاً در سال‌های اخیر استفاده از میکروسکوپ‌های الکترونی برای مطالعات دقیق بر روی ساختارهای ریز شیل‌های گازی که حفره‌های بسیار ریزی در حد نانومتر تا میکرومتر دارند کاربرد پیدا کرده‌اند (Lemmenes et al., 2010, (Sondergeld et al., 2010).

دستگاه QEMScan^۳ با بهره‌گیری از میکروسکوپ الکترونی بسیار دقیق و کامپیوتری پیشرفته با ترکیب روش‌های گرافیکی نوین و استفاده از پردازش تصویر مقطع، درصد کانی‌ها را با دقت مناسبی تخمین می‌زند.

۲-۲-۱ روش‌های مبتنی بر آنالیز دستگاهی

روش‌های مبتنی بر آنالیز دستگاهی دارای دسته‌بندی‌های متفاوتی هستند، اما از آنجاکه در مطالعات نفتی درصد عناصر گران‌بها و همچنین فلزات مختلف چندان حائز اهمیت نیست، اصولاً سعی می‌شود بیشتر از آنالیز XRD^۴، و یا دستگاه‌هایی مبتنی بر اصول آن‌ها استفاده شود. هر ماده‌ای دارای یک اثرانگشت شدت اشعه‌ی X در برابر زاویه‌ی پراکندگی است و از این زاویه برای شناسایی ساختار اتمی کریستالی استفاده می‌شود. در روش XRD پس از تابش اشعه‌ی X به مقطع، بر اساس پراکندگی زاویه‌ی اشعه‌ی X ساطع از کریستال‌ها، فازهای کریستالی

1. Fair Sample

2. Scanning Electron Microscope

3. Quantitative Evaluation of Minerals by SCANNing electron microscopy

4. X-Ray Diffractions

5. X-Ray Fluorescence

شناسایی می‌شوند. با مقایسه این اثرانگشت با بانک اطلاعاتی نرم افزار کانی‌ها که تا کنون شامل ۲۹۱۴۴۰ ماده آلی و معدنی است، نوع کانی شناسایی می‌گردد (Sondergeld et al., 2010).

روش XRD به صورت مستقیم کانی‌های موجود در نمونه و درصد آن‌ها را بیان می‌کند. بانک اطلاعاتی کانی نرم افزار همواره به‌روز می‌شود و با تشخیص کانی جدید که شکست جدید و زاویه‌ی جدیدی را بازتاب می‌کند بهبود می‌یابد، اما دارای نقاط ضعفی مانند نیمه کمی بودن و عدم قطعیت پاسخ‌ها و همچنین وقت گیر بودن آنالیزها نیز می‌باشد.

روش دیگر XRF است که با اندازه‌گیری درصد عناصرها و با انجام محاسبات بر روی آن‌ها می‌تواند با تقریب خوبی به درصدهای مینرالوژی برسد. اگرچه این روش به طور غیرمستقیم کانی‌ها را اندازه‌گیری می‌کند ولی سرعت اندازه‌گیری بسیار بالایی دارد بطوری‌که نتایج بدست آمده از این روش با روش XRD کاملاً همخوانی داشته و قابل قیاس است.

فلسفه‌ی روش XRF بر اساس تابش اشعه‌ی X به ماده است. تابش اشعه‌ی X باعث برانگیخته شدن نمونه می‌شود. با برانگیخته شدن، الکترون‌های موجود در داخل نمونه به لایه‌های انرژی بالاتر انتقال می‌یابند. با بازگشت الکترون‌ها به جایگاه اولیه‌ی خود، الکترون‌ها از خود اشعه‌ی X ساطع می‌کنند. حال با اندازه‌گیری انرژی یا طول موج انتشار یافته، نوع عنصر مشخص می‌شود.

این روش مبتنی بر دو ساختار طول موج انتشار یافته^۱ و انرژی انتشار یافته آکار می‌کند. در حالت اول که بسیار شبیه روش XRD است، ساختارهای کریستالی بر اساس اندازه‌گیری زاویه‌ی پراکنش در فوتون‌های منتخب اشعه‌ی X، شناسایی می‌شوند. این درحالی‌است که در حالت دوم عناصر بر اساس انرژی ساطع شده تشخیص داده می‌شوند. روش دوم به علت پوشش دامنه‌ی وسیع‌تری از عناصر و همچنین قدرت تفکیک بالاتر بهتر به نظر می‌رسد.

1. Wavelength Dispersive XRF
2. Energy Dispersive XRF

یکی از معایب این دستگاه‌ها غیرقابل حمل بودن آنهاست که مسائلی نظیر عدم دقت در اندازه‌گیری و سرعت پایین را به همراه دارد. آلبرتو در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۱ برای حل مشکل غیرقابل حمل بودن دستگاه‌های XRD و XRF، از دو دستگاه ED-XRF^۱ و WD-XRF^۲ استفاده کرد و با استفاده از آنها در میدان نفتی عربستان سعودی توانست در حین حفاری، مینرالوژی و جنس سنگ و چینه‌ی منطقه را تشخیص داده و مسیر حفاری و بسیاری از پارامترهای کاربردی دیگر را تعیین کند (Alberto, 2011).

۱-۲-۳ روش عددی تبدیل فوریه طیف مادون قرمز^۳

یکی دیگر از روش‌های متفاوت تعیین مینرالوژی نمونه، روش تبدیل فوریه طیف مادون قرمز است. ۱۶ کانی با توجه به این روش قابل شناسایی و کمی‌سازی هستند. نتایج این روش نیز با روش XRD کاملاً تطابق داشته و قابل قیاس است. مزیت این روش در سرعت اندازه‌گیری است که پس از آماده‌سازی نمونه ۱ ساعت به‌طول می‌انجامد، در حالی‌که در روش XRD این زمان ممکن است به ۲ روز برسد. روش FTIR بر اساس پیوند کووالانسی بین اتم‌های سنگ‌های رسوبی که فرکانسی بین ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ تعداد بر سانتی‌متر را دارا می‌باشند، بنا نهاده شده است. به علت اینکه قدرت پیوند کووالانسی در بین اتم‌های کانی‌های مختلف متفاوت است، این روش می‌تواند راه‌کاری جهت شناسایی جذب طیف پیوند کانی‌ها و سرانجام شناسایی کانی‌ها باشد. اشعه‌ی مادون قرمز در فرکانس رزونانسی پیوند کووالانسی اتم‌ها تابیده می‌شود، قسمتی از انرژی که جذب می‌شود به‌نام جذب شده و قسمتی از انرژی که رد می‌شود، گذرا نام‌گذاری می‌شود. در روش FTIR مقدار گذرا را اندازه‌گیری می‌شود و با آن مقدار جذب شده حساب می‌شود و سپس کانی را تشخیص داده و توسط نرم‌افزار به درصد وزنی کانی تبدیل می‌شود.

1. Energy Dispersive X-Ray Fluorescence

2. Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence

3. Fourier Transform Infrared Spectroscopy

در مورد جزئیات چگونگی این روش و عملکردش می‌توان به مقالات رزنیک، سوندرگلد و بالارد اشاره کرد (Ruessink et al., 1992)، (Sondergeld et al., 1993) و (Ballard, 2007). در سال ۲۰۱۱ نیز ساگر کیل از این روش جهت تعیین جنس سنگ^۱ استفاده کرده است، او روش‌های قدیمی تخلخل-نفوذپذیری در سازندهای شیلی گازی را ناکارآمد دانسته و تعیین مینرالوژی را مؤثر دانسته است (Kale, 2011).

۱-۳ شیوه‌های غیرمستقیم تعیین مینرالوژی

۱-۳-۱ استفاده از چاه‌نگارهای پتروفیزیکی

با دقت به روش‌های مستقیم تعیین مینرالوژی، به سادگی می‌توان نتیجه گرفت که چه روش‌های مبتنی بر آنالیز دستگاهی و چه روش‌های مبتنی بر گرفتن مقطع و مطالعه در زیر میکروسکوپ، هزینه و زمان بسیاری به هدر می‌دهد، که به ویژه در چاه‌های نفتی و گازی، با توجه به عمق‌های بالا و شرایط سخت و پرخرج نمونه‌گیری، کار بسیار سختی به نظر می‌رسد.

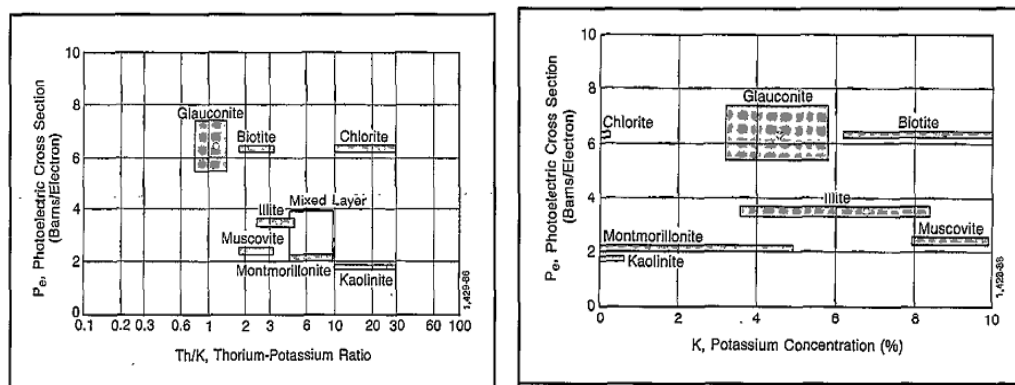
در روش استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی به علت در دسترس بودن نگارها در اکثر چاه‌ها و عدم نیاز به برداشت مغزه از چاه، می‌توان در هزینه و زمان بطور قابل ملاحظه‌ای صرفه جویی کرد. قابل ذکر است که این روش‌ها غیر مستقیم هستند و برای ارزیابی و اعتبارسنجی مقادیر محاسبه‌شده، نیاز به مقایسه‌ی نتایج با آنالیزهای بدست آمده از روش‌های آزمایشگاهی است.

۱-۳-۱-۱ تعیین نوع کانی‌های رسی

میزان تأثیر رس‌ها بر خواص مخزنی و نگارها، تابع نوع کانی‌های رسی موجود در سازند است. تشخیص انواع کانی‌های رسی موجود می‌تواند در ارزیابی سازند و مطالعات رسوب‌شناسی و دیاژنز به‌کار رود. لازمه‌ی کاربرد یک نگار در تعیین کانی‌های رسی این است که پاسخ نگار در درجه‌ی

^۱. Rock Typing

اول تابع نوع کانی رسی باشد که از میان نگارهای مرسوم هیچ کدام چنین خاصیتی را ندارند. از این رو نمی توان مستقیماً از این نگارها برای تعیین کانی های رسی استفاده کرد و به همین دلیل سعی می شود تا پارامترهای دیگری که وابسته به نوع کانی رسی هستند از نگارها محاسبه شده و برای تعیین کانی رسی به کار رود و یا از تلفیقی از نگارها استفاده شود. برای مثال می توان نگارهای توریم (Th)، اورانیوم (U)، پتاسیم (K) و فتوالکتریک (Pe) را نام برد (Quirein, 1982). در شکل ۱-۱ نحوه ی جدایش کانی های رسی به وسیله ی نگارها نشان داده شده است.



شکل ۱-۰ مشخص کردن نوع کانی رسی توسط نگارهای فتوالکتریک و گامای طبیعی^۱

۱-۳-۲ تعیین لیتولوژی با نگارها

پاسخ سه ابزار تخلخل یعنی نوترون، چگالی و صوتی را در حالت ایده آل می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Phi_N = f(\Phi, \text{Lithology}, \dots) \quad 1-1$$

$$p_b = f(\Phi, \text{Lithology}, \dots) \quad 2-1$$

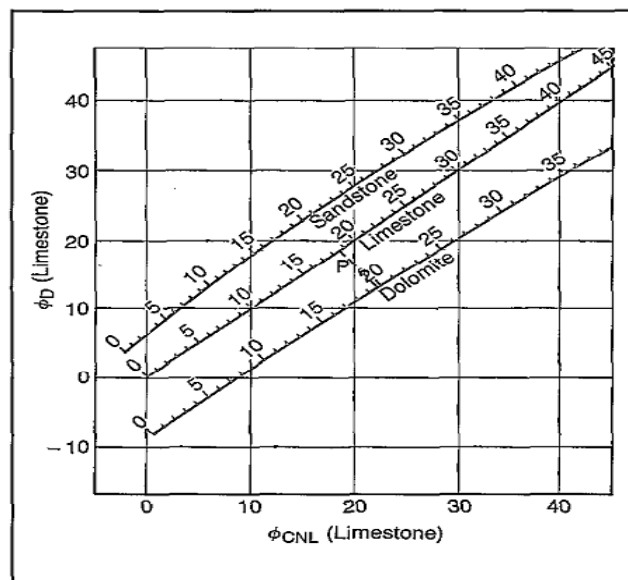
^۱. شولومبرژه، ۱۹۸۹

در این حالت ملاحظه می‌شود که این نگارها در درجه‌ی اول به میزان تخلخل و در درجه‌ی دوم به لیتولوژی پاسخ می‌دهند. بنابراین می‌توان با دو ابزار، نقش تخلخل را حذف کرده و لیتولوژی را تعیین کرد (دو معادله، دو مجهول). این همان کاری است که توسط کراس پلات‌ها به صورت گرافیکی انجام می‌شود.

کراس پلات‌های مختلفی از ترکیب نگارهایی که به نحوی تابعی از لیتولوژی هستند استفاده می‌شود. برای مثال کراس پلات‌های نوترون چگالی توضیح داده می‌شود.

لازمه‌ی استفاده از نگارهای نوترون تصحیح کردن آن‌ها از نظر شیل و هیدروکربن است. در کراس پلات‌ها سه منحنی مربوط به لیتولوژی‌های آهک، ماسه و دولومیت ترسیم شده‌اند که به آن‌ها خطوط ماتریکس گفته می‌شود. جداشدگی خطوط ماتریکس در این کراس پلات‌ها خوب بوده و از این رو برای تعیین لیتولوژی مطلوبند. برای مشخص کردن درصد کانی‌ها، اعداد چگالی و نوترون پلات می‌شوند، حال فاصله‌ی نقطه از خطوط ماتریکس نشان‌گر درصد کانی‌هاست. لازم است که نقطه‌ی پلات شده در بین خطوط مربوط به ماسه سنگ و دولومیت واقع شود. نقاط خارج شده از این محدوده حاکی از وجود کانی‌هایی غیر از دولومیت، آهک و کوارتزند. در صورتی که نقطه‌ی پلات شده در محدوده‌ی ذکر شده واقع شود، می‌توان حداقل ۳ ترکیب کانی‌شناسی مختلف را به دست آورد. انتخاب لیتولوژی صحیح به سایر اطلاعات زمین شناسی وابسته است. سه کراس پلات مختلف نوترون-چگالی وجود دارند که تنوع آن‌ها ناشی از انواع مختلف نگارهای نوترون است. برای هر نوع کراس پلات‌های ذکر شده، دو چارت مختلف وجود دارد که هر کدام مربوط به چگالی آب سازندی متفاوتند. به عبارت دیگر در مجموع ۶ نمودار موجود است که وابسته به نوع نگار نوترون و چگالی آب سازندی است. در صورتی که چگالی مربوط به بخش‌های مختلف

متفاوت باشد، می‌توان از برون‌یابی و درون‌یابی خطی، درصد صحیح کانی‌های مختلف را بدست آورد (چهارزی و رضایی، ۱۳۸۱).



شکل ۱-۲ نمونه‌ای از کراس پلات نوترون چگالی^۱.

دیگر کراس پلات‌ها نیز از ترکیب نگارهای سونیک، نوترون و چگالی به‌دست می‌آیند که به همین صورت ترکیب شده و نمایش داده می‌شوند که در اینجا از پرداختن به آن‌ها خودداری شده‌است.

۳-۱-۳ روش نمودار متقاطع M-N

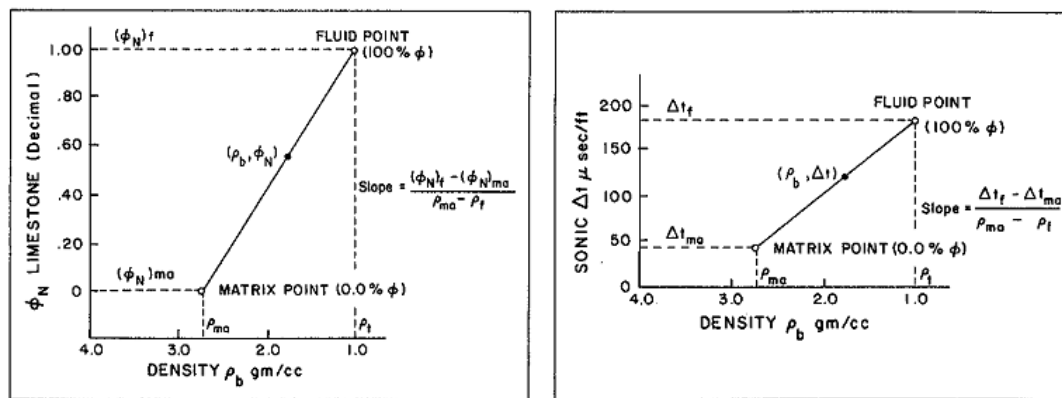
روش دیگری نیز وجود دارد که از ترکیب سه نگار تخلخل استفاده می‌کند. اساس این روش در حذف اثر تخلخل است و به‌نام نمودار متقاطع $M-N$ معروف است. که در آن:

$$M = \left[\frac{\Delta t_f - \Delta t}{\rho_b - \rho_f} \right] * 0.01 \quad ۴-۱$$

$$N = \left[\frac{\phi_{NF} - \phi_N}{\rho_b - \rho_f} \right] \quad ۵-۱$$

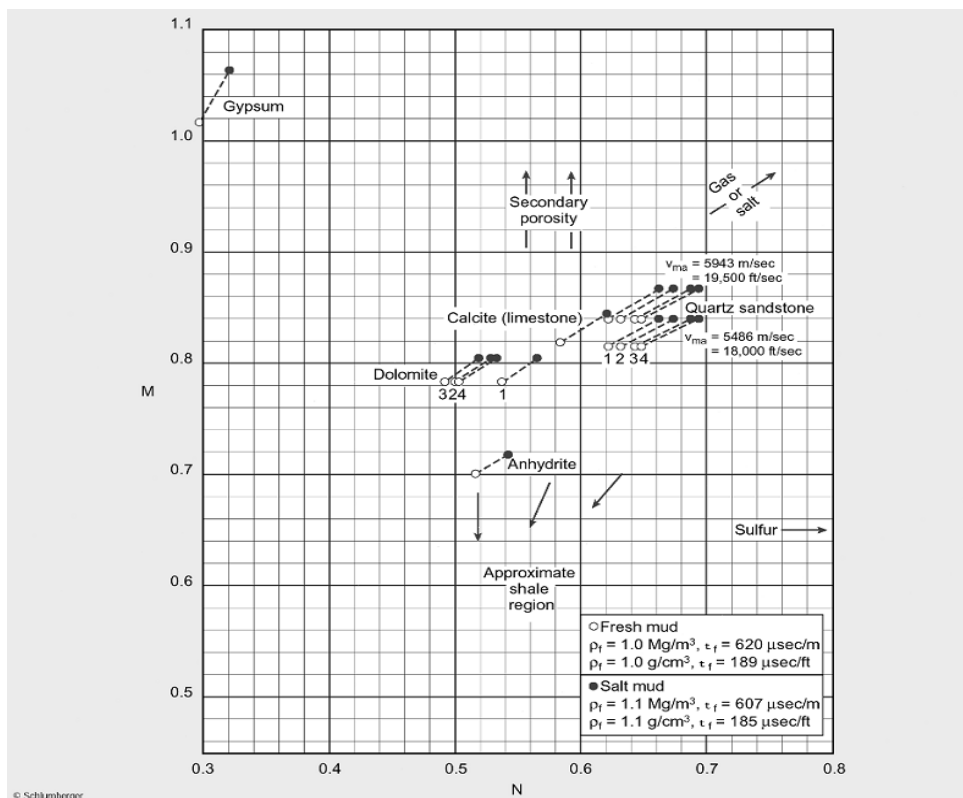
^۱. شولومبرژه، ۱۹۸۹

با این فرمول‌ها اثر تخلخل حذف می‌شود و فقط اثر لیتولوژی باقی می‌ماند (Burke, 1969). یکی از بهترین کاربردهای این پلات مشخص کردن تخلخل ثانویه است. زیرا تخلخل ثانویه M را تغییر می‌دهد اما بر N اثر نمی‌گذارد. البته این روش به دلیل تعیین تعداد زیادی لیتولوژی با ترکیب کانی‌شناسی متفاوت در یک نقطه، مشکلاتی هم دارد که برای رفع آن با بررسی اطلاعات زمین‌شناسی در منطقه، بهترین لیتولوژی انتخاب می‌شود (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- نمایش ایده‌آل از نمودارهای متقاطع نوترون-چگالی و چگالی-سونیک که متغیرهای M و N را تعریف می‌کنند^۱.

^۱ Ellis, 1987



شکل ۴-۱ تعیین مینرالوژی با استفاده از پلات $M-N$ ، در این نمودار اثر تغییرات تخلخل حذف شده است.^۱

۱-۳-۴ نمودارهای متقاطع با وجود نگار فتوالکتریک

یکی دیگر از نگارهای مورد استفاده در تعیین لیتولوژی، نگار Pe یا فاکتور فتوالکتریک است، با این تفاوت که در این نگار برخلاف نگارهای سونیک، چگالی و تخلخل در درجه اول به لیتولوژی پاسخ می دهد و تا حدود کمتری نسبت به تخلخل حساس است (رضایی، ۱۳۸۹). این ویژگی باعث شده است تا از ترکیب نگار فتوالکتریک با کراس پلات های پیشین تعیین لیتولوژی و کانی شناسی با دقت بالاتری صورت پذیرد.

^۱. شولومبرژه، ۲۰۰۰

۱-۳-۲ روش های عددی تعیین لیتولوژی با استفاده از نگارهای چاه پیمایی

۱-۳-۲-۱ روش محاسباتی ساده

یک روش جانشین برای کراس پلات های متعدد که نمی توانند بیش از سه بعد را نشان دهند، مرتب کردن پاسخ نگارها به صورت ماتریس با درصد عناصر است که اولین بار توسط فرام و پری^۱ در سال ۱۹۸۱ بیان گردید. در تعیین لیتولوژی با این روش می توان هر کانی را یک مجهول و هر نگار را به عنوان معلوم در نظر گرفت. در حالت معمول برای اینکه بتوان چند مجهول را پیدا کرد لازم است، به تعداد مجهولات، پارامتر معلوم وجود داشته باشد. به چنین سیستمی قطعی گفته می شود. اساس کار بر تعیین غلظت عنصری بعضی از عناصر مهم و تبدیل غلظت عنصری به درصد کانی شناسی است که این کار با ساخت چندین معادله ی هم زمان صورت می پذیرد. به صورت یک قانون کلی، در یک سیستم قطعی در صورتی که اثر تداخل از نگارها حذف شود، می توان تعداد $N+1$ کانی را شناسایی کرد که N نشانگر تعداد کانی هاست (رضایی، ۱۳۸۹). یک محدودیت عمده در حل ماتریسی این است که پاسخ نگارها به صورت خطی در نظر گرفته می شود، مثلاً تأثیر ۲۰٪ آهک، ۲۰٪ دولومیت و ۲۰٪ کوارتز بر روی تداخل به یک اندازه است، در حالی که پاسخ نگار نوترون برای این کانی ها غیر خطی است (Doveton et al., 1994).

۱-۳-۲-۲ روش های محاسباتی پیچیده

تا کنون افراد مختلفی سعی کردند تا با استفاده از روش های آمار چندمتغیره و به کارگیری بازشناخت الگو در چاهنگاری به تشخیص فازهای سنگی یا کانی بپردازند. دوتون در یک بخش از کتاب خود به توضیح در مورد آنالیز ریاضی و شناخت الگوها در نگارهای چاهی پرداخت (Doveton, 1986). الکدر سال ۱۹۸۸ نشان داد که چگونه روش آنالیز مؤلفه های اصلی را می توان برای منطقه بندی و انطباق در چاهها به کار بست (Elek, 1988). بوش و اندرسون به ترتیب در سال های ۱۹۸۵ و ۱۹۸۸ از تابع آنالیز تمایز در طبقه بندی سنگ شناسی چاهها استفاده کردند

1. Fram and perry, 1981

(Anderson, 1988), (Busch, 1985). هایس در سال ۱۹۸۹ مروری بر روی روش‌های آماری و باشناخت الگو در رساله‌ی دکتری خود انجام داد (Hayes, 1989). تکنیک‌های دیگری نظیر آنالیز خوشه‌بندی را رابینسون و در سال ۱۹۸۹ به کار بستند و در سال ۱۹۹۰ ماتیاژ روش مقیاس چندبعدی کروسکال^۱ را به کار گرفت (Matyas, 1990), (Robinson, 1989).

روش‌های محاسباتی که تا کنون بحث شد به نام روش استقرایی یا روش‌های مقیاس بالا به پایین شناخته شده است، که ترکیب کانی‌شناسی به صورت نتایجی پیاپی که توسط کاربر تنظیم می‌شود مدل می‌شود. روش بهبود یافته‌ی روش استقرایی، روش قیاسی است که به روش مقیاس پایین به بالا معروف است بطوریکه در آن استنتاج بر اساس الکتروفاسیس است. اصل این روش توسط سرا و ابوت در سال ۱۹۸۰ تحت عنوان روش الکتروفاسیس^۲ بنا نهاده شد. بطور ساده استفاده از نگارهای مختلف جهت تفکیک یک لایه از لایه‌های مجاور الکتروفاسیس نامیده می‌شود. بنابراین n اندازه‌گیری نگار در هر عمق را می‌توان به صورت نقطه‌ای در فضای n بعدی تصور کرد و دسته شدن نقاط، نشانگر زون‌هایی است که رخساره‌ی یکسانی دارند (Serra & Abbot, 1980).

خوشه‌بندی روشی مفید برای خلاصه کردن داده‌های نگار است. لازم به ذکر است برای تعیین لیتولوژی، داده‌ها باید به اندازه‌ی کافی زیاد باشند و یا در صورت کمبود داده‌ها از داده‌های مغزه جهت برچسب زدن آن‌ها استفاده شود و بعد از مشخص شدن خوشه‌ها، روش را برای نگارهایی که مغزه ندارند تعمیم داد.

شبکه‌های عصبی به صورت مدل‌هایی ساده شده از سیستم عصبی بیولوژیکی هستند که نتایج پردازش اطلاعات را به صورتی از نورون‌های ساده‌ی تحریک شده می‌دهند، این نورون‌ها کاملاً با یکدیگر در ارتباط و تقابلند. از ساده‌ترین مسائل شبکه عصبی می‌توان به مسائل بازشناخت

1 . Kruskal

2 .Electrofacies

الگو هدایت شده^۱ اشاره کرد که به کلاس بندی هم معروف است، در این مسائل داده ها برچسب دار هستند و چگونگی جدا کردن آن ها به پردازشگر شبکه های عصبی مربوط می شود و معمولاً فرآیندی موازی و مکرر^۲ است و به طور معمول پدیده ی آموزش شبکه وقت گیر است. شبکه های عصبی می توانند به عنوان ابزار کلاس بندی برای تشخیص رخساره ها در فواصل مختلف آموزش داده شوند، این رخساره ها با اطلاعات قبلی نام گذاری می شوند و زمانی که داده ها به خوبی آموزش داده شدند، می توان شبکه را برای دیگر داده ها تعمیم داد. از معایب شبکه های عصبی قدرت کم تعمیم پذیری آن ها است.

تاریخچه مطالعات کاربرد شبکه های عصبی در تخمین لیتولوژی به سال ۱۹۸۹ برمی گردد که بالدوین به معرفی استفاده از شبکه های عصبی در چاه نگاری پرداخت، او چگونگی کاربرد یادگیری بدون سرپرست^۳ در تشخیص رخساره ها را پیشنهاد داد (Baldwin et al., 1989).

روش یادگیری بدون سرپرست به علت اینکه نیاز به شبکه ای جهت آموزش خود دارد، روشی سخت تر نسبت به روش یادگیری با سرپرست است. زیرا در روش با سرپرست هر خوشه ی نام گذاری شده معنی فیزیکی خاص خود را دارا می باشد، اما در روش بدون سرپرست معنای فیزیکی هر خوشه معلوم نیست. در سال ۱۹۹۰ درک و همکارانش مقایسه ای بین باز شناخت الگو آماری^۴ با روش شبکه عصبی در شناسایی لیتوفاسیس ها^۵ ارائه دادند (Derek et al., 1990).

در سال ۱۹۹۱ روی لین به پتانسیل بالای شبکه های عصبی به علت به کارگیری روش های غیر خطی و ناپارامتری در پیش بینی جنس سنگ و نفوذ پذیری اشاره کردند (Rui-Lin et al., 1991). در سال ۱۹۹۲ روی لین و همکارانش توانستند از شبکه های عصبی با تأخیر زمانی در تعیین لیتوفاسیس ها استفاده کنند، او به دو دلیل این شبکه را انتخاب کرد، اول اینکه در یک

1. Supervised Pattern Recognition

2. Iterative

3. Unsupervised learning

4. Statistical Pattern Recognition

5. Lithofacies

سازند ترتیب لیتوفاسیس‌ها با توجه به عمق متغیر است، و روش تأخیر زمانی^۱ یا TDNN می‌تواند با معماری شبکه‌اش وابستگی بین لیتوفاسیس‌ها و ویژگی‌ها را در اعماق مختلف بیابد. دوم اینکه این شبکه با استفاده از الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا یک صفحه‌ی تصمیم غیرخطی نامنظم را به‌وجود می‌آورد (Rui-Lin et al., 1992).

در سال ۱۹۹۴ وانگ دا لیو همکارانش مقاله‌ای را با مضمون کراس‌پلات‌های چند بعدی با تکنیک تصویری و کاربرد آن در تعیین لیتولوژی‌های پیچیده نوشتند که روشی جدید با کیفیت بالای تفکیک بود و فارغ از دقت مناسب نگارها می‌توانست تفکیک را انجام دهد. او روش MDC^۲ را با روش‌های قبلی مثل روش کراس‌پلات‌های معمولی و روش آنالیز آماری چند متغیره مقایسه کرد و توانست دقت بین داده‌های مغزه و جداسازی توسط سنگ‌ها را به ۸۵/۲ درصد برساند. نگارهای Th/K و U_{maa} ، p_{maa} ، N ، M که در بخش قبل تعریف شده‌اند داده‌های ورودی شبکه‌ی او بودند (Wang Da-Li et al, 1994).

در سال ۱۹۹۵ وانگ و همکارانش طی یک مقاله رویکرد استفاده از منطق فازی برای طبقه‌بندی لیتوفاسیس‌ها ارائه نمودند و آن‌را تحت عنوان هنر فازی ساده‌سازی‌شده معرفی کردند^۳ SFAM، و آن‌را با روش‌های آماری آنالیز تفریقی SDA^۴ و شبکه‌های عصبی پس انتشاری BPNN^۵ مقایسه نمودند. البته پایه‌ی ساختار روش او نیز شبکه‌های عصبی بودند. نتایج بدست آمده نشان داد که روش SFAM کاملاً بهتر از روش SDA جواب می‌دهد و در مقایسه با BPNN نتایجش قابل مقایسه است با این تفاوت که به زمان زیاد برای آموزش نیاز ندارد و به مشخص کردن اولیه‌ی توپولوژی شبکه وابسته نیست. اگرچه که روش او قابلیت تخمین نفوذپذیری را ندارد ولی روش BPNN این قابلیت را دارا می‌باشد (Wong P.M et al., 1995).

-
1. Time Delay Neural Networks
 2. Multi Dimensional Clustering
 3. Simplified Fuzzy Art Map
 4. Statistical Discriminant Analysis
 5. Backpropagation Neural Networks

در سال ۱۹۹۷ کودی مقاله‌ای را با عنوان کاربرد ریاضی منطق فازی در پتروفیزیک منتشر کرد و از روش فازی به عنوان کمکی جهت تعیین بهتر لیتولوژی و همچنین بهبود در تخمین نفوذپذیری استفاده کرد. او روش فازی را به عنوان عامل یابنده‌ی رابطه می‌داند تا کم‌کننده‌ی خطا و عدم قطعیت (Cuddy et al., 1997).

در سال ۱۹۹۸ کاپور و همکارانش برای تقسیم بندی لیتوفاسیس‌ها از شبکه عصبی بهره گرفتند و توانستند دقت دسته‌بندی لیتوفاسیس‌ها را بین ۷۵ تا ۹۳ درصد تنظیم کرده و بهبود ببخشند. در سال ۲۰۰۳ همین روش در چاه‌های شرق ونزوئلا که لیتوفاسیس‌ها به صورت پیچیده‌اند به کار گرفته شد و نتایج بین ۷۵ تا ۹۵ درصد صحت این روش را تعیین کردند، این کار توسط همبالک و همکارانش صورت گرفت (Kapur et al., 1998), (Hambalek et al., 2003).

در سال ۲۰۰۰ شین جو یه ابزاری جدید را برای آنالیز الکتروفاسیس تعیین کرد. عقیده‌ی او بدین گونه عنوان شد که روش‌های خوشه‌بندی به صورت اتوماتیک دچار قید تعداد گروه‌ها هستند و سبب می‌شود که واقعیت زمین‌شناسی با ریاضی چندان باهم سازگاری نداشته باشد. روش خوشه‌بندی پیشنهادی قید تعداد دسته‌ها را نداشت و تحلیل‌گر این دسته‌بندی را بر حسب واقعیت‌های زمین‌شناسی انجام می‌داد که به خوشه‌بندی شکل‌پایه‌ی چنددقتی^۱ MRGC معروف است و بر اساس روش K نزدیک‌ترین همسایگی^۲ بیان می‌شود. به علت ناپارامتری بودن، MRGC نیاز به فرض تخمین اولیه‌ی PDF^۳ ندارد. روش او از سیستم‌های کارشناسانه بیشتر استفاده کرده است، همچنین بدون استفاده از شبکه‌ی عصبی قدرت محاسبه‌ی بالایی دارد و این امکان را برای آنالیزگر فراهم می‌کند تا تعداد خوشه‌های بهینه را با توجه به دقت نگارها انتخاب کند (Shin JuYe et al, 2000).

1. Multi-Resolution Graph-Based Clustering
2. K-Nearest Neighbor
3. Probability Distribution Function

در سال ۲۰۰۵ پرز و همکارانش با نگرشی جدید به مسأله‌ی پیش‌بینی نفوذپذیری، سه روش مختلف در دسته‌بندی را باهم قیاس کردند. آن‌ها طی این مقاله روش الکتروفاسیس که روشی کاملاً بر اساس داده‌های نگار است و روش لیتوفاسیس که بر اساس داده‌های مغزه‌گیری شده است و روش اندازه‌گیری میزان جریان واحد را که بازهم بر اساس مغزه است با هم قیاس کردند و روابط بین این روش‌ها را مورد بررسی قرار دادند و از راهکار کلاس‌بندی درختی برای آنالیز داده‌ها استفاده کردند. او پیشنهاد داد در مکان‌هایی که داده‌های نگار وجود ندارند می‌توان از این ارتباط جهت پیش‌بینی نفوذپذیری و جنس سنگ استفاده کند (Prez et al, 2005).

در سال ۲۰۰۷ تیزریا و همکارانش از روش‌های کارشناسانه در جهت طبقه‌بندی لیتوفاسیس‌ها استفاده کردند، این‌بار از روش بیزین استفاده شد و روش تخمین PDF با ماکسیم کردن انتظار^۱ انجام شد، سپس از ماکسیم کردن احتمال ثانویه برای تعیین لیتوفاسیس‌ها استفاده شد. آن‌ها در استفاده از این روش از داده‌های لرزه‌ای هم جهت کمک به طبقه‌بندی خود استفاده کردند و توانستند به دقت ۸۹ درصد برای جدایش لیتوفاسیس‌ها برسند (Teixeria et al., 2007).

روش‌هایی که تا کنون ذکر شد فقط به جدایش لیتوفاسیس‌ها، یا الکترولیتوفاسیس‌ها پرداختند که بیان‌گر لیتولوژی بودند و نمی‌توانستند به صورت کامل مینرالوژی که سنگ از آن تشکیل شده است را ازهم تشخیص دهند و تیپ کانی‌های رسی را فقط با روش‌هایی که در ابتدای فصل ذکر شد، بدست می‌آوردند. برای بدست آوردن کانی‌های رسی و جدایش آن‌ها از یکدیگر نگارهایی طراحی شدند که توانستند درصد عناصر را تشخیص دهند و با استفاده از آن عنصر نوع کانی مربوطه را تشخیص داده و درصد آن‌را تخمین بزنند، به این نگارها، نگارهای ژئوشیمیایی می‌گویند که در ادامه به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

۱-۳-۳ روش های مبتنی بر چاه نگارهای ژئوشیمیایی

با معرفی ابزارهای چاهنگاری هسته‌ای تغییر بزرگی در کاربرد زمین‌شناسی نگارها به وجود آمد. نگارهای ژئوشیمیایی حدود ۳۰ سال پیش در زمان معرفی نگار گاما و نگارطیف گامای نوترون القایی به وجود آمدند که از آن زمان دست‌خوش تغییرات فراوانی شدند و پیشرفت علمی فراوانی چه در زمینه‌ی اندازه‌گیری و چه در زمینه‌ی تفسیر در آن‌ها به وجود آمده‌است (*Galford et al., 2009*). ابزار نگار ژئوشیمیایی GLT شولومبرژه از سه نگار هسته‌ای که در یک ابزار جمع شده‌اند استفاده کرده و غلظت ۱۰ عنصر را اندازه‌گیری می‌کند که عبارتند از: پتاسیم، توریم، اورانیوم، آلومینیوم، سیلیسیوم، کلسیم، آهن، سولفور، تیتانیوم و گالادیوم.

قانون حداقل مربعات توسط هرون در سال ۱۹۸۶ برای نگارهای ژئوشیمیایی تعمیم یافت. همچنین در سال ۱۹۸۸ هرون و همکارانش با مطالعه‌ی مغزه‌ها و نگارهای شیل‌ها و ماسه‌ها کلاسه‌بندی جدید ارائه دادند. در سال ۱۹۹۰ هرون و همکارانش روشی را جهت بالا بردن دقت تفکیک در نگارهای مقاومت با استفاده از داده‌های نگار ژئوشیمیایی پیشنهاد دادند. پس از آن با رواج روابط غیرخطی و استفاده از شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک، روش‌های نوین‌تری جهت بدست آوردن مینرالوژی از داده‌های نگار ژئوشیمیایی مرسوم شد. در سال ۱۹۹۵ گونکالوز و هاروی کاربرد شبکه‌های عصبی چند لایه‌ای و روش‌های آماری در جهت شناخت خواص ساختاری را به صورت مقاله‌ای ارائه دادند. در سال ۱۹۹۶ فنگ و همکارانش از الگوریتم ژنتیک در جهت تبدیل داده‌های نگارهای ژئوشیمیایی به مینرالوژی استفاده کردند (*Fang et al., 1996*). در سال ۲۰۰۶ گوما به کمک هرون روشی جدید از تلفیق روش نگارهای ژئوشیمیایی با نگار نوترون-چگالی برای تخمین مقدار آنهیدریت پیشنهاد کردند (*Gomma et al., 2006*). در سال ۲۰۰۶ پمپر و همکارانش نیز طی مقاله‌ای به وسیله‌ی نگارهای ژئوشیمیایی و با استفاده از روش ماتریس‌ها و

المنت‌ها، به محاسبه‌ی لیتولوژی کلی، سپس لیتولوژی مخصوص و پس از آن به محاسبه‌ی مینرالوژی پرداخت. آن‌ها بر این اعتقاد بودند که بهترین راه حل برای تعیین لیتولوژی و مینرالوژی در هر عمق دلخواهی استفاده از نگارهای ژئوشیمیایی است (Pemper et al., 2006).

۱-۳-۴ روش‌های مبتنی بر لرزه نگاری

روش‌های لرزه ای با توجه به مخارج زیاد برداشت داده‌ها بیشتر برای شناخت، شبیه‌سازی و معمولاً زون‌بندی لیتوفاسیس‌ها به کار برده می‌شوند تا تعیین دقیق لیتواوژی. تاکنون مطالعاتی با تلفیق روش‌های ذکر شده و داده‌های لرزه ای برای تعیین لیتولوژی صورت گرفته که از آن میان می‌توان به مطالعه فیچل اشاره کرد که با استفاده از داده‌های لرزه ای و نگارهای مرسوم در چاه سعی در شبیه‌سازی لیتوفاسیس‌ها و خواص مخزن کرد، او از روش‌های چند جزئی زمین‌آماری برای مدل کردن مخزن با داده‌های سائیزمیک کمک گرفت (Fichel et al., 1997).

فصل دوم

روش‌شناسی تحقیق

۲-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی اصول روش‌های استفاده شده در این پژوهش پرداخته می‌شود. به‌طور کلی روش‌های استفاده شده در سه بخش پردازش سیگنال، طبقه‌بندی الگو و تخمین بررسی می‌شوند. در بخش پردازش سیگنال از تبدیل موجک پیوسته، در بخش طبقه‌بندی الگو از روش گوستافسون کسپل و در بخش تخمین از روش لولیموت استفاده شده است.

۲-۲ تبدیل موجک

باگذشت زمان، ضعف پایه‌های فوریه نمایان شد. محققان رشته‌های مختلف به‌مرور پی بردند پایه‌های فوریه و نمایش توابع سینوس‌وار در مورد سیگنال‌های پیچیده نظیر تصاویر ایده‌آل نیستند، چراکه تبدیلتوابع فوریه فقط برای توابع پایه مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای توابع غیرپایه کارآمد نیست. در سال ۱۹۷۰ یک ژئوفیزیک‌دان فرانسوی به‌نام ژان مورله که در آزمایشگاه مواد معدنی متعلق به الف آلکین با هدف اکتشاف مواد معدنی کار می‌کرد، متوجه شد که در زمینه مطالعاتی او استفاده از پایه‌های تبدیل فوریه ابزار مناسبی برای مطالعات طیفی نیستند در همین سال‌ها مورله مفهوم موجک و تبدیل موجک را به‌عنوان ابزاری برای آنالیز سیگنال زمین‌لرزه عنوان کرد و گراسمن فیزیک‌دان نظری فرانسه نیز فرمول وارونی را برای تبدیل موجک ارائه کرد (Morlet, 1970), (Grossmann, 1984).

۲-۱-۲ تبدیل موجک پیوسته

روش تبدیل موجک پیوسته در سال ۱۹۸۲ توسط مورله ارائه شد. موجک عملگری چند مقیاسی است که برای جداسازی نقاط تکین در آنالیز سیگنال‌ها بکار برده می‌شود. روشی که تبدیل موجک برای آنالیز سیگنال به‌کار می‌برد، با روشی که زمین‌شناسان در تفاسیر خود به‌کار می‌برند، قابل

قیاس است. در هر دو روش برای مشخص کردن روند سیگنال و شناخت ناهمگنی‌ها^۱، به سیگنال در مقیاس‌های (دامنه‌های فرکانسی) گوناگون توجه می‌شود.

فرمول تبدیل موجک پیوسته با توجه به نوع موجک مادر و سیگنال اولیه‌ی پیوسته در زمان t به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$T(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \varphi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad ۱-۲$$

که در آن t زمان، b پارامتر جابه‌جایی، a پارامتر مقیاس، φ^* تابع موجک مادر و $x(t)$ سیگنال یا موج اولیه‌ی پیوسته در زمان t است. در این تبدیل φ^* باید شرایط اولیه‌ی موجک مادر را ارضا کند تا بتواند به عنوان تابع موجک مادر نقش ارائه کند.

این تبدیل با حرکت بر روی سیگنال اولیه و با تغییر در مقیاس‌های مختلف و محاسبه‌ی انتگرال، ضریب‌های موجک را محاسبه می‌کند و آن را به صورت ماتریس بزرگی در می‌آورد که با نمایش اعداد این ماتریس به صورت تصویر، درک مناسبی از روند سیگنال اولیه را به دست خواهد داد. برای کمی کردن این روند از انرژی سیگنال استفاده می‌شود. انرژی کلی موجود در سیگنال با رابطه ۲-۲ تعریف می‌شود:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \|x(t)\|^2 \quad ۲-۲$$

که در آن E انرژی سیگنال در زمان t است. این رابطه برای موجکی با پارامترهای a و b به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E(a, b) = |T(a, b)|^2 \quad ۳-۲$$

^۱. Heterogeneity

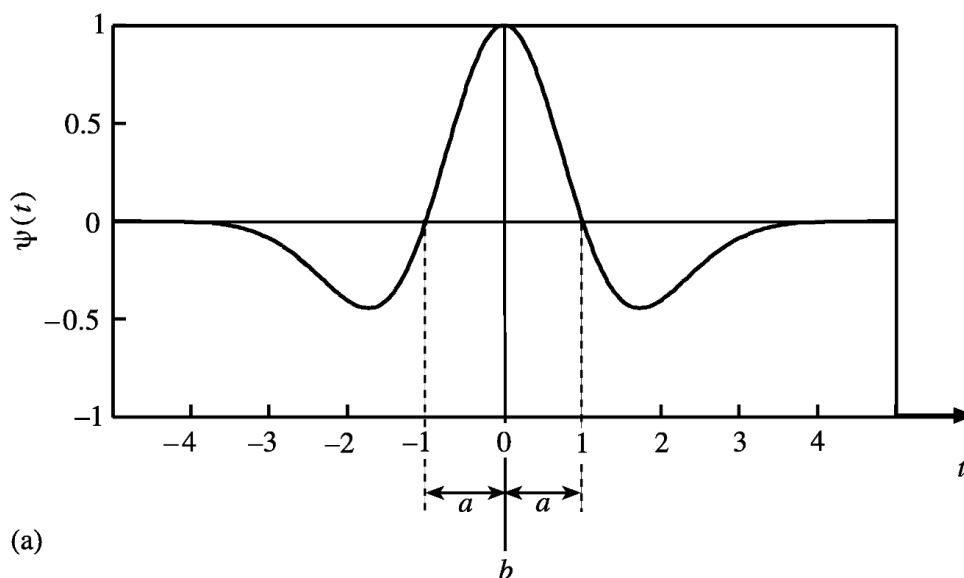
این تعریف پایه‌ای جهت جدایش لایه‌ها از یکدیگر بر اساس تبدیل موجک پیوسته و محاسبه‌ی انرژی در قسمت‌های مختلف سیگنال است.

۲-۲-۲ موجک مادر کلاهک مکزیکی^۱

موجک مادر کلاهک مکزیکی، موجکی نرم است و همانطور که در شکل ۱-۲ قابل مشاهده است، به دلیل شباهت آن به کلاه‌های مکزیکی به موجک کلاهک مکزیکی معروف است. فرمول این موجک به صورت زیر است که برای استفاده در رابطه‌ی تبدیل موجک پیوسته به کار رفته است.

$$\varphi(t) = (1 - t^2)e^{-t^2/2} \quad ۴-۲$$

در واقع آن را می‌توان مشتق دوم تابع توزیع نرمال دانست که دیگر فاکتور نرمال کننده‌ی $1/\sqrt{2\pi}$ وجود ندارد.



شکل ۱-۲ موجک مادر کلاهک مکزیکی

¹ Mexican Hat Wavelet

۳-۲ شناسایی الگو

روش‌های شناسایی الگو به دو دسته‌ی کلاس‌بندی و خوشه‌بندی تقسیم می‌شوند که در ذیل به توضیح در مورد روش‌های خوشه‌بندی معمول می‌پردازیم.

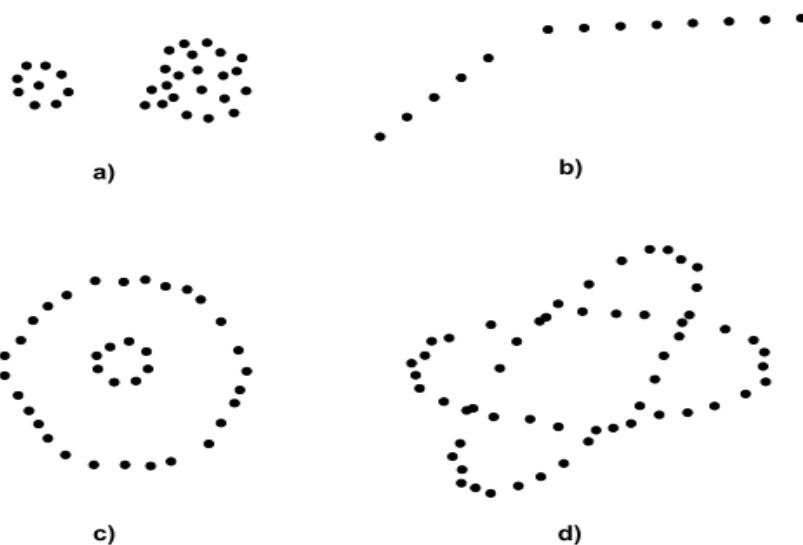
۲-۳-۱ آنالیز خوشه‌بندی

هدف از آنالیز خوشه‌بندی در واقع دسته‌بندی داده‌ها براساس شباهت بین آن‌هاست، تکنیک خوشه‌بندی از روش‌های هدایت نشده^۱ محسوب می‌شود؛ یعنی هیچ پیش طبقه‌بندی در بین داده‌ها انجام نشده‌است. دسته‌بندی‌های متفاوتی میانروش‌های خوشه‌بندی وجود دارد که در این جا بر اساس نوع جدایش، در مورد جدایش به‌شیوه‌ی فازی صحبت خواهد شد.

براساس هدفی که در خوشه‌بندی دنبال می‌شود، تعاریف متفاوتی از آن ارائه می‌شود. اما معمولاً این دیدگاه مورد پذیرش است که "شباهت دو عضو از یک خوشه بیشتر از شباهت دو عضو از دو خوشه‌ی متفاوت است". البته تعریف شباهت در بیان ریاضی باید به‌خوبی بیان شود. در فضا‌های متریک شباهت بیشتر از منظر ضابطه‌ی فاصله بیان می‌شود.

داده‌ها می‌توانند خوشه‌هایی با شکل‌های گوناگون هندسی از خود نشان دهند؛ خوشه‌ها می‌توانند به‌صورت کروی یا در امتداد یک خط و حتی به‌شکل یک حفره باشند، در شکل ۲-۲ خوشه‌های معمول در فضای دو بعدی حقیقی قابل مشاهده هستند. کارایی الگوریتم‌های خوشه‌بندی نه تنها به شکل پراکندگی داده‌ها وابسته‌است بلکه به فاصله‌ی بین خوشه‌ها نیز بستگی دارد؛ برای مثال خوشه‌ها می‌توانند کاملاً جدا از هم، به‌صورت پیوسته با یکدیگر و یا با هم‌پوشانیا هم‌دیگر باشند.

^۱. Unsupervised method



شکل ۲-۲ خوشه‌ها با شکل‌های گوناگون در دو بُعد حقیقی

از آن جایی که هر خوشه را به عنوان مجموعه‌ای از داده‌ها می‌توان نگاه کرد یکی از راه‌های ممکن برای نگاه به داده‌ها، دید نرم یا فازی^۱ و دیگری دید سخت یا خشک^۲ است. روش‌های خوشه‌بندی سخت بر اساس نظریه‌ی کلاسیک می‌باشد و نیازمند تعیین عضویت یا عدم عضویت یک داده در یکی از خوشه‌هاست؛ اما در روش خوشه‌بندی فازی این امکان برای یک داده وجود دارد که به صورت هم‌زمان در یک یا چند گروه عضویت داشته‌باشد. در بسیاری از موارد حقیقی، روش فازی بسیار طبیعی‌تر به نظر می‌رسد و مرزهای جدایش بین خوشه‌ها مانند روش خشک، سخت‌گیرانه تعیین نمی‌شوند. در ادامه به معرفی مدل خوشه‌بندی از نوع فازی با نام گوستافسون کسپل می‌پردازیم.

1. Soft or Fuzzy

2. Hard or Crisp

۲-۳-۱ روش خوشه‌بندی گوستاوسان-کسیل یا GK^1

گوستاوسان و کسیل، الگوریتم میانگین فازی C را با استفاده از ضابطه‌ی فاصله‌ی قابل تطبیق بسط داده‌اند تا بتوان اشکال مختلف هندسی را در یک مجموعه‌ی داده، خوشه‌بندی کرد. هر خوشه، ماتریس اندیس ضابطه‌ی A_i دارد که ضابطه‌ی ضرب داخلی زیر را می‌دهد:

$$D_{ikA}^2 = (x_k - v_i)^T A_i (x_k - v_i), \quad 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq k \leq N. \quad 5-2$$

ماتریس A_i به عنوان متغیر بهینه‌سازی در تابع میانگین فازی C استفاده می‌شود بنابراین به هر خوشه اجازه می‌دهند تا ضابطه فاصله را به ساختار توپولوژیکی محلی داده‌ها نسبت بدهد. A مشخص کننده‌ی c گانه‌ی ماتریس‌های اندیس ضابطه‌ی است: $A = (A_1, A_2, \dots, A_c)$. عملکرد اصلی الگوریتم GK به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J(X; U, V, A) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m D_{ikA_i}^2 \quad 6-2$$

برای یک A ثابت، شرایط فازی می‌تواند به طور مستقیم استفاده شود. تابع اصلی نمی‌تواند به طور مستقیم متناسب با A_i کمینه گردد چرا که رفتار آن با A_i به طور خطی است. این بدان معناست که می‌توان J را به راحتی با تبدیل کردن A_i به یک مقدار معین مثبت کوچک‌تر، به هر اندازه‌ی مد نظر کوچک نمود. برای رسیدن به جوابی مطلوب، A_i بایستی به گونه‌ای محدود گردد. راه معمول نیل به این مقصود، محدود نمودن دترمینان A_i است. با اجازه دادن به ماتریس A_i برای تغییر با دترمینان خودش، پاسخ‌ها را نسبت به بهینه‌سازی شکل خوشه ثابت می‌کند (Gustafson et al., 1978).

$$\|A_i\| = \rho_i, \quad \rho > 0 \quad 7-2$$

¹. Gustafsson- Kessel

که در آن ρ_i برای هر خوشه ثابت است. با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ، رابطه‌ی زیر برای A_i بدست می‌آید:

$$A_i = [\rho_i \det(F_i)]^{1/n} F_i^{-1} \quad ۸-۲$$

که در آن F_i ماتریس کوواریانس فازی $\tilde{I}$ امین خوشه بوده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m (x_k - v_i)(x_k - v_i)^T}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik})^m} \quad ۹-۲$$

دقت شود که با جانشینی، اندازه‌ی مربع فاصله‌ی ماهالونوبیس کلی بین x_k و v_i میانگین خوشه را بدست می‌دهد درحالی‌که کوواریانس با درجات عضویتی در U وزن دار شده‌اند.

در استفاده از الگوریتم GK باید موارد زیر را در نظر گرفت:

الف) اگر هیچ دانش اولیه‌ای موجود نیست، ρ_i برای هر خوشه برابر ۱ است بنابراین الگوریتم GK تنها می‌تواند خوشه‌هایی را بیابد که تقریباً حجم‌های برابر دارند.

ب) در حالتی که خوشه‌ها به شدت در مسیر بزرگترین مقادیر ویژه پخش شده‌اند، ماتریس کوواریانس محاسبه شده نمی‌تواند توزیع داده‌های زیرین را تخمین بزند.

۲-۳-۱-۱ الگوریتم گوستاوسان-کسیل

مجموعه داده‌ی X را بگیر، تعداد خوشه‌ها $1 < c < N$ ، توان وزندهی $m > 1$ ، شرط خاتمه $\varepsilon > 0$ و ماتریس اندیس ضابطه‌ی A را انتخاب کن. ماتریس تقسیم‌بندی را به صورت تصادفی شروع کن.

برای $l=1, 2, \dots$ تکرار شود:

گام اول: محاسبه‌ی مراکز خوشه‌ها

$$v_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, \quad 1 \leq i \leq c \quad ۱۰-۲$$

گام دوم: محاسبه‌ی ماتریس کوواریانس خوشه‌ها

$$F_i^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m (x_k - v_i^{(l)}) (x_k - v_i^{(l)})^T}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ik}^{(l-1)})^m}, \quad 1 \leq i \leq c \quad ۱۱-۲$$

یک ماتریس یک‌ه با مقیاس مناسب اضافه می‌کنیم

$$F_i := (1 - \gamma)F_i + \gamma(F_0)^{1/n}I \quad ۱۲-۲$$

مقادیر ویژه λ_{ij} و بردارهای ویژه ϕ_{ij} را استخراج می‌شود، $\lambda_{i,\max} = \max_j \lambda_{ij}$ را یافته و تنظیم می‌شود

$$\lambda_{i,\max} = \lambda_{ij}/\beta, \quad \forall_j \quad ۱۳-۲$$

که در آن

$$\lambda_{i,\max}/\lambda_{ij} \geq \beta \quad ۱۴-۲$$

با فرمول F_i ۱۵-۲ بازسازی می‌شود:

$$F_i = [\phi_{i,1} \dots \phi_{i,n}] \text{diag}(\lambda_{i,1} \dots \lambda_{i,1}) [\phi_{i,1} \dots \phi_{i,n}]^{-1} \quad ۱۵-۲$$

گام سوم: محاسبه‌ی فواصل

$$D_{ikA_i}^2(x_k, v_i) = (x_k - v_i^{(l)})^T [(\rho_i \det(F_i))^{1/n} F_i^{-1}] (x_k - v_i^{(l)}) \quad ۱۶-۲$$

گام چهارم ماتریس تقسیم‌بندی را تا زمانی که $\|U^{(l)} - U^{(l-1)}\| < \epsilon$ به روز رسانی می‌شود.

$$\mu_{ik}^{(1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c (D_{ikA_i}(x_k, v_i) / D_{jk}(x_k, v_j))^{2/(m-1)}}, \quad 1 \leq i \leq c, \quad 1 \leq k \leq N. \quad ۱۷-۲$$

۳-۳-۲ اعتبار سنجی

برای مشخص شدن میزان جدایش و انتخاب حالت بهینه تعداد خوشه‌های جدایش از روش‌های اعتبارسنجی استفاده می‌کنیم. از جمله فاکتورهای موثر در جدایش:

(الف) فاصله‌ی بین داده‌های هم‌گروهی کم باشد. (WithinDistance)

(ب) فاصله‌ی بین داده‌های گروه با گروه زیاد باشد. (BetweenDistance)

(ج) چون روش GK جواب‌ها را به صورت فازی خروجی می‌دهد، هرچه خروجی کمتر فازی باشد نشان از قدرت آن روش است پس بهینه‌تر است.

برای اعتبار دادن به روش‌ها، راه‌کارهای گوناگونی پیشنهاد داده شده است، که در ادامه چند روش متداول به طور خلاصه توضیح داده شده‌اند.

۱-۳-۳-۲ روش ضریب جدایش / Global validity measure یا Partition Coefficient

(PC)

این معیار توسط پال و بزدهک^۱ پیشنهاد داده شد، که در واقع معیاری برای اندازه‌گیری هم‌پوشانی بین خوشه‌هاست و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$PC(c) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N (u_{ij})^2 \quad ۱۸-۲$$

که در آن u_{ij} عضویت داده‌ی j در خوشه‌ی i است. از مشکلات این روش کمبود ارتباط مستقیم بین ویژگی‌های خود داده‌هاست. میزان بهینه‌ی PC زمانی است که تعداد خوشه‌ها بیشترین باشد (Bezdek et al., 1975).

¹ Pal & Bezdek

۲-۳-۳-۲ روش آنتروپی جدایش یا Classification Entropy یا Partition Entropy (CE)

همانند معیاری که بزدک ارائه داده بود میزان فازی بودن جدایش خوشه‌ها را نشان می‌دهد.

$$CE(c) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N u_{ij} \log(u_{ij}) \quad ۱۹-۲$$

۳-۳-۳-۲ اندیس تفکیک یا Partition Index (SC)

نسبتی از مجموع فشردگی و جدادگی خوشه‌هاست. در واقع مجموع اندازه‌گیری‌های اعتباردهی‌شده‌ی هر خوشه است، که به عدد فازی اصلی هر خوشه نرمال شده‌است.

$$SC(c) = \sum_{i=1}^c \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2}{N_i \sum_{k=1}^c \|v_k - v_i\|^2} \quad ۲۰-۲$$

SC معمولاً زمانی کاربردی است که چند روش جدایش را با تعداد خوشه‌های یکسان مقایسه کنیم. هرچه SC کوچکتر باشد، بیان‌گر جدایش بهتر است (Bezdek, 1981).

۴-۳-۳-۲ اندیس جدادگی یا Separation Index(S)

بر عکس اندیس تفکیک یا SC، این معیار از کمترین فاصله جدادگی برای اعتباردهی به جدایش استفاده می‌کند (Dunn, 1974).

$$S(c) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N (u_{ij})^2 \|x_j - v_i\|^2}{N \min_{i,k} \|v_k - v_i\|^2} \quad ۲۱-۲$$

هدف این اندیس عددی کردن نسبت تغییرات درون خوشه‌ای و جداسازی برون خوشه‌ای است.

$$XB(c) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2}{N \min_{i,k} \|v_k - v_i\|^2} \quad ۲۲-۲$$

که تعداد خوشه‌های بهینه، این اندیس را کوچک‌تر می‌کند (Xie et al., 1991).

۲-۴ الگوریتم درخت مدل محلی خطی (لولیموت)^۲

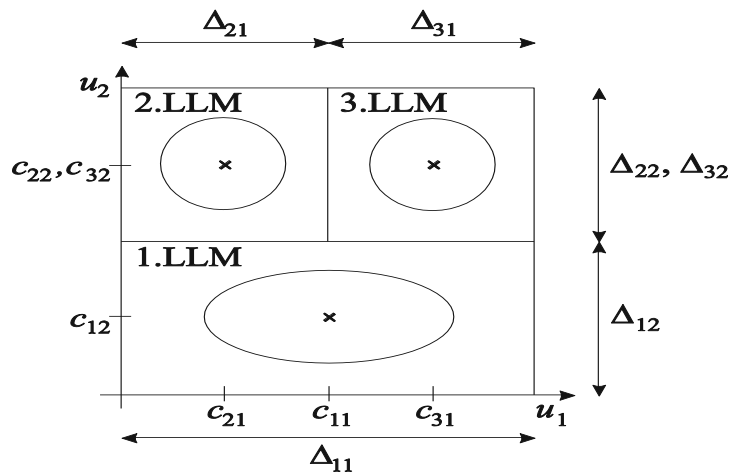
لولیموت یک الگوریتم افزاینده با ساختار درختی است که بخش‌های آن با محورهای عمود برهم از یکدیگر جدا شده‌اند. در هر تکرار یک خط جدید یا مدل محلی خطی^۳ (LLM) به مدل اضافه می‌شود. بنابراین، لولیموت به کلاس الگوریتم‌های افزاینده^۴ یا رشدکننده^۵ تعلق دارد. لولیموت یک سری جستجو برای قانون‌های موجود در ساختار اجرا می‌کند و از بهینه‌سازی غیرخطی استفاده نمی‌کند. در هر تکرار الگوریتم، توابع اعتباری محاسبه می‌شوند که مشابه تقسیم‌بندی واقعی فضای ورودی هستند، که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. احکام مشابه به دست آمده با روش حداقل مربعات وزن داده شده محلی بهینه می‌گردد. تنها پارامتر فیدل است^۶ که "با سعی و خطا" باید از پیش توسط کاربر تعیین شود، فاکتور نسبت بین گسترش مستطیل‌ها و انحراف معیار است، البته این فاکتور هم می‌تواند با تعیین حلقه‌ای در بیرون الگوریتم و مقایسه‌ی نتایج تعیین گردد.

انحراف معیارها از طریق رابطه زیر قابل محاسبه‌اند:

$$\sigma_{ij} = k_{\sigma} \Delta_{ij} \quad ۲۳-۲$$

-
1. Local Linear Model Tree
 2. LOLIMOT
 3. Local Linear Model
 4. Incremental
 5. Growing
 6. Fiddle parameter

که در آن Δ_{ij} نشان دهنده بسط فوق مستطیل مدل محلی i در بعد u_j می باشد که در شکل ۳.۲ قابل مشاهده است.



شکل ۳-۲ چگونگی تقسیم شدن پنجره ها در الگوریتم لولیموت

۲-۴-۱ الگوریتم لولیموت:

الگوریتم لولیموت شامل یک حلقه خارجی است که در آن ساختار حکم مفروض تعیین می شود و یک حلقه داخلی که در آن حکم پارامترهای منتج با استفاده از تخمین محلی بهینه می گردند.

گام اول: با یک مدل اولیه شروع می شود، ساخت توابع معتبر برای تقسیم بندی اولیه فضای وارد شده و تخمین پارامترهای LLM با استفاده از الگوریتم وزن دهی محلی حداقل مربعات. مقدار M را برابر اولین عدد LLM ها قرار می دهد. اگر هیچ تقسیم بندی فضایی برای ورودی ها وجود نداشته باشد، آنگاه مقدار $M=1$ قرار می دهد و با تنها یک LLM کار را شروع می کند، که در واقع یک مدل خطی سراسری است به این دلیل که تابع معتبر آن تمام فضای ورودی را با $\Phi_1(u)=1$ پوشش می دهد.

گام دوم: بدترین LLM را پیدا کن: برای هر $i=1, \dots, M$ که متعلق به LLM می‌باشد کمترین تابع محلی را محاسبه می‌کند. کمترین تابع محلی را می‌توان با وزن‌دهی مربع خطاهای مدل با درجه اعتبار مشابهت مدل یافت:

$$I_i = \sum_{j=1}^N e^2(j) \Phi_i(\underline{u}(j)) \quad 24-2$$

بدترین مقدار LLM اجرا شده را پیدا می‌کند، که $\max_i(I_i)$ است و مقدار I را به نشانگر بدترین مقدار LLM اختصاص می‌دهد.

گام سوم: تمام تقسیمات را بررسی کن: LLM، ام که در مرحله قبل به دست آمده برای پالایندگی بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. فوق‌مستطیل حاصل از این LLM به دو قسمت با یک محور عمود تقسیم می‌شود. تقسیم‌بندی‌ها در تمام ابعاد مورد آزمایش قرار می‌گیرند. برای تمام تقسیمات در تمام ابعاد از 1 تا p مراحل زیر انجام می‌گیرد:

الف) ساخت MSF^1 های چندبعدی برای هر دو فوق‌مستطیل.

ب) ساخت توابع معتبر برای تمام موارد.^۲

ج) تخمین محلی حکم پارامترهای منتج برای LLMهای تازه تولید شده.

د) محاسبه کمترین مقدار تابع برای مدل سراسری جاری.

گام چهارم: یافتن بهترین تقسیم‌بندی: بهترین مقدار p تناوب‌های چک شده در گام سوم انتخاب می‌شود. توابع معتبر ساخته شده در گام ۳ و LLMهای بهینه شده در گام ۳، c برای مدل انتخاب می‌شوند. تعداد LLMهای افزوده شده در گام $M \leftarrow M+1$

1. Membership function

^۲ این گام ضروری است زیرا تمام توابع معتبر با تقسیم‌بندی‌ها کمی تغییر می‌کنند.

آزمون همگرایی: اگر شرایط اتمام حاصل شده، از حلقه خارج شو در غیر این صورت به گام

۲ برو.

برای شرایط پایان گزینه‌های مختلفی وجود دارد، مثلاً حداکثر پیچیدگی مدل^۱ که منظور از آن حداکثر تعداد LLMهاست. نکته مهم این است که تعداد پارامترهای موثر باید در شرایط پایان حلقه لحاظ شود (Nelles, 2000).

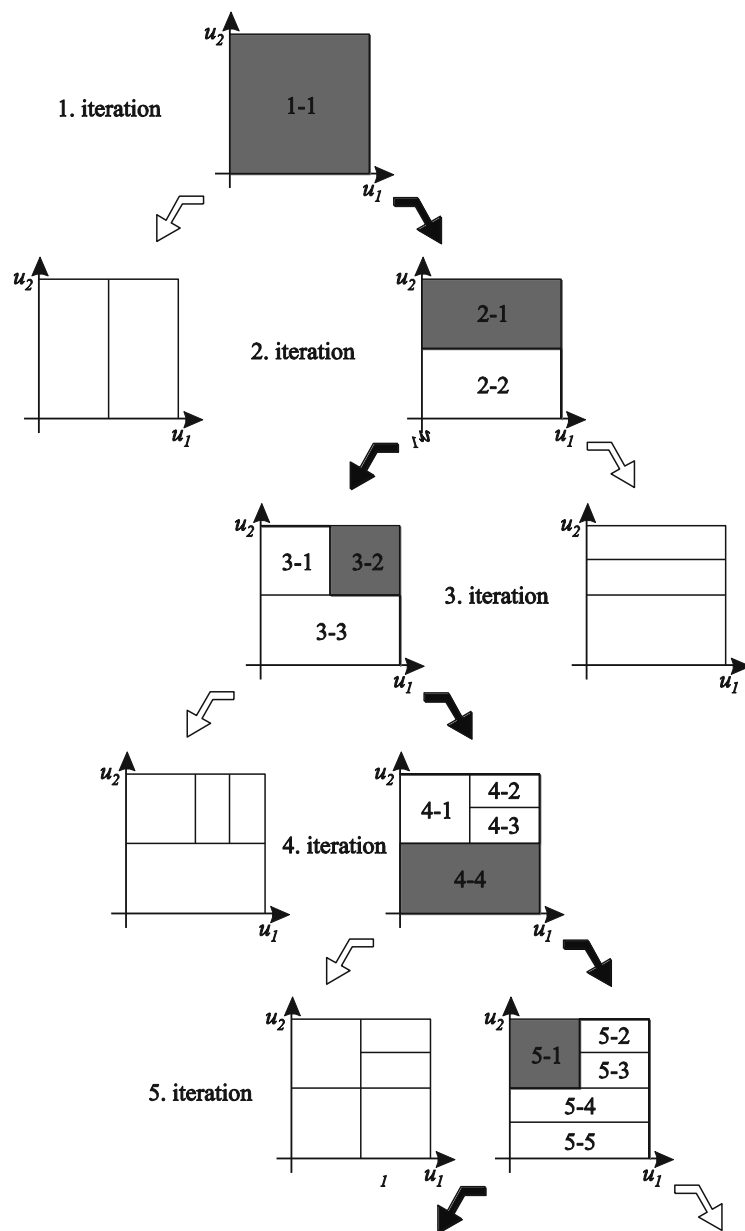
در گام ۲ تابع جمع حداقل خطای مربعات محلی (رابطه‌ی ۲۴-۲) برای مقایسه بین LLMها مورد استفاده قرار می‌گیرد و نه میانگین آنها. در نتیجه لولیموت به صورت کارآمدتری LLMهای شامل نمونه‌های بیشتر را تقسیم می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که کیفیت مدل محلی به پراکندگی داده‌های آموزش بستگی دارد. این نتیجه مطلوب است زیرا داده‌های بیشتر اجازه برآورد پارامترهای بیشتری را می‌دهد.

نکته این است که پارامترهای برآورد شده در گام سوم تنها در صورتی می‌توانند مورد قبول واقع شوند که تعداد نمونه داده‌های مطرح شده بزرگتر یا مساوی تعداد پارامترهای برآورد شده باشد. برای اعتبار توابع بدون همپوشانی، رابطه $p + 1 \leq N^{loc}$ باید برقرار باشد که در آن N^{loc} نشان دهنده تعداد داده‌های نمونه در منطقه فعال برای برآورد مدل خطی محلی می‌باشد. این شرایط حداقل تعداد داده‌های نمونه برای اطمینان از برآورد پارامترها را تعیین می‌کند، به عبارت دیگر، $\underline{X}_i^T \underline{Q}_i \underline{X}_i$ در رابطه ۲-۲۵ منحصر به فرد نمی‌باشد (Nelles, 2000).

$$\hat{\underline{w}}_i = \left(\underline{X}_i^T \underline{Q}_i \underline{X}_i \right)^{-1} \underline{X}_i^T \underline{Q}_i \underline{y} \quad 25-2$$

در مواردی که اختلال در مدل وجود دارد، داده‌های بیشتری برای تقلیل نویز مورد نیاز است

شکل ۴-۲ عملکرد الگوریتم لولیموت را در پنج تکرار اول برای یک فضای ورودی دو بعدی نشان می‌دهد. در واقع دو ویژگی وجود دارد که لولیموت را به شدت سریع می‌کند. اول، در هر تکرار تمام LLMها برای تقسیم مطرح نمی‌شوند. بلکه انتخاب‌های گام دوم تنها بدترین LLMی است که تقسیم آن باعث بیشترین افزایش کارایی می‌گردد. برای مثال در تکرار چهارم شکل ۴-۲ تنها LLM ۴-۴ برای پالایش بیشتر مطرح شده است. بقیه LLMها ثابت نگه داشته می‌شوند. دوم اینکه در گام سوم روش برآورد محلی تنها به پارامترهایی از LLMهای جدید اجازه برآورد می‌دهد که از تقسیم قسمت‌های قبلی به تازگی تولید شده‌اند. برای مثال، وقتی در تکرار چهارم شکل ۴.۲ LLM ۴-۴ به LLMهای ۵-۴ و ۵-۵ تقسیم می‌شود LLMهای ۴-۱، ۴-۲ و ۴-۳ می‌توانند بدون هیچ تخمین و برآوردی مستقیماً به LLMهای ۵-۱، ۵-۲ و ۵-۳ در گام بعدی تبدیل شوند (Nelles, 2000).



شکل ۲-۴ عملکرد الگوریتم لولیموت در پنج تکرار اول برای فضای ورودی دو بعدی

فصل سوم

توصیف میدان و داده‌های مورد

مطالعه

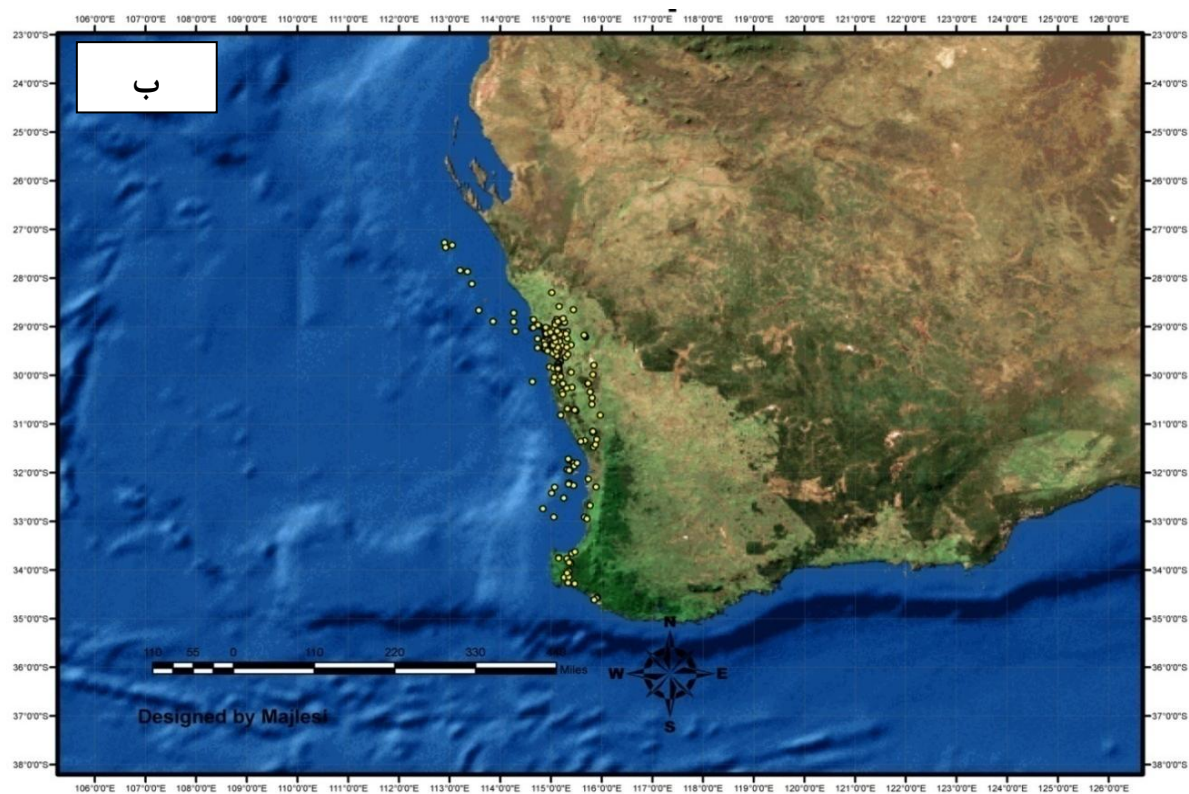
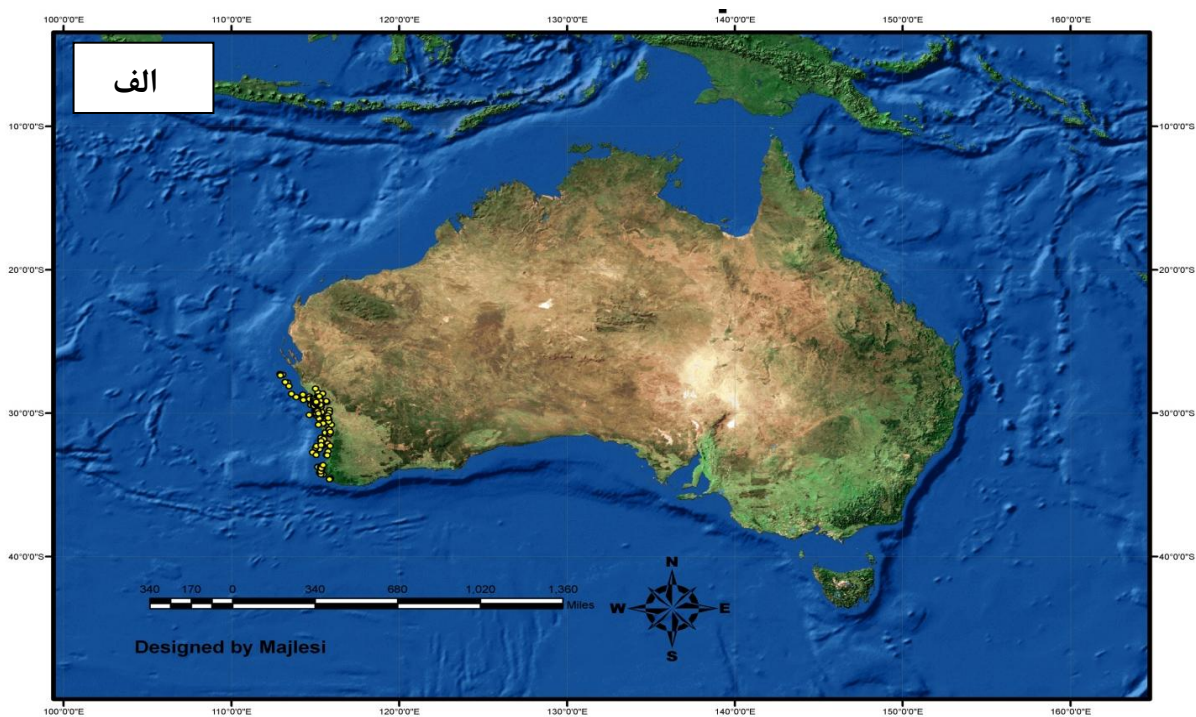
۳-۱ مقدمه

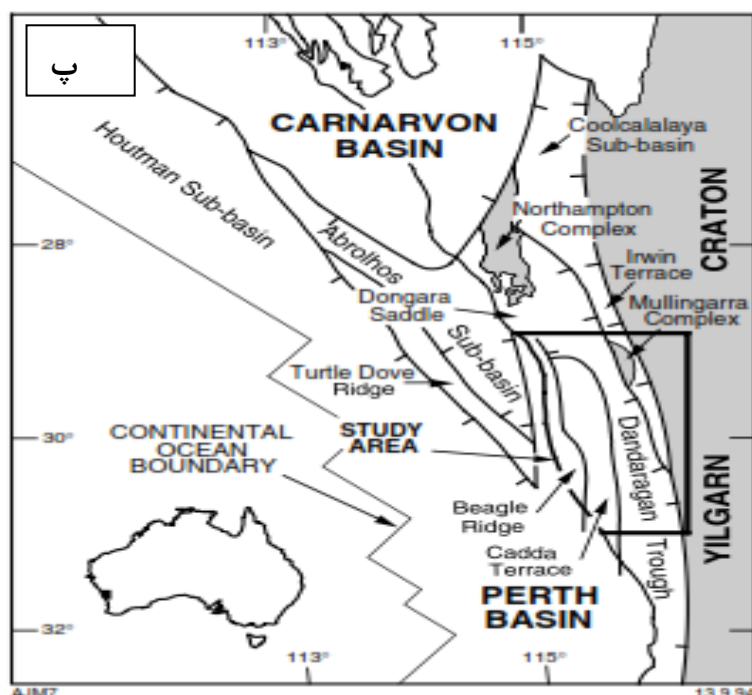
داده‌های این پایان نامه برگرفته از چاه‌های منطقه‌ی کلیف‌هد^۱ واقع در ناحیه‌ی پرت^۲ در غرب استرالیا است. جهت آشنایی با میدان نفتی مورد مطالعه در ادامه توصیف مختصری از موقعیت میدان، تاریخچه‌ی اکتشافی آن، چاه‌های مورد مطالعه و سازندهای هدف در این پژوهش ذکر خواهد شد.

۳-۲ موقعیت میدان

همانطور که در شکل ۳-۱ مشخص است، حوزه‌ی رسوبی پرت از شمال تا جنوب منطقه‌ی جنوب‌غرب استرالیا کشیده شده‌است، که رسوبات دوران سیلورین و پلیوسن را شامل می‌شود. مرز شرقی این حوزه گسل دارلین^۳ است و حوزه از ساحل تا مرز قاره‌ای- اقیانوسی کشیده شده‌است. منطقه‌ی مورد مطالعه در قسمت شمالی ساحل پرت در موقعیت ۲۹ تا ۳۱ درجه‌ی جنوبی قرار دارد، محدوده به طول ۲۲۰ کیلومتر و عرض ۹۰ کیلومتر است، از شرق به ییلگرن کریتون^۴ و از غرب به ساحل می‌رسد.

1. Cliffhead
2. Perth
3. Darling
4. Yilgarn Carton





شکل ۳-۱ الف) موقعیت کشور استرالیا. ب) موقعیت منطقه‌ی پرت در غرب استرالیا و موقعیت چاه‌ها در پرت. پ) موقعیت حوزه‌ی رسوبی پرت

۳-۳ تاریخچه‌ی اکتشافی منطقه‌ی کلیف‌هد

پروژه‌ی اکتشافی منطقه‌ی کلیف‌هد با مساحت مطالعاتی ۱۴۵۰۰ کیلومتر مربع به ۲۱۰ بلوک تقسیم شده است. آخرین برداشت از شبکه‌ی لرزه‌نگاری این منطقه در وسعت ۱۱۴۲۷ کیلومترمربع، توسط شرکت نفت اینترپرایز^۱ در سال ۱۹۹۲ انجام شده است. شرکت بیریتیش پترولیوم^۲ در سال ۱۹۶۸ اولین چاه این منطقه را با هدف شناسایی چینه‌ها، به عمق ۳۷۲۵ متر حفر کرد. با توجه به اطلاعات حفاری، این چاه در سکانس ژوراسیک خاتمه می‌یابد. در سال ۱۹۷۵ شرکت ویت^۳ اولین چاه اکتشافی منطقه با نام ساوت توردل داو شماره یک^۴ را حفاری کرد، از نتایج این حفاری اثبات وجود لایه‌های پالئوزوییک پسین و رسوبات تریاسیک و وجود آهک‌های ژوراسیک پسین است؛ سه چاه اکتشافی دیگر نیز توسط همان شرکت در سال ۱۹۷۸ در شمال

-
1. Enterprise
 2. British Petroleum
 3. WAPET
 4. South Turtle Dove 1

منطقه حفر شد، عمیق‌ترین این چاه‌ها ۳۰۵۳ متر بود که ماسه سنگ‌های مخزن در آن غایب بود و به رسوبات پرمین ختم شد.

در همان سال شرکت اسو^۱ دو چاه دیگر در نزدیکی همان منطقه حفر کرد، چاه اول با نام هوتمن شماره یک^۲ در عمق ۱۵۲ متری دریا حفر شد و به عمق ۳۸۶۰ متر، در لایه‌های ژوراسیک پیشین رسید. گزارشات این چاه حاکی از احتمال وجود گاز و مایعات دیگر است. اما چاه دوم با نام باتاویای شماره یک^۳، به عمق ۲۹۴۱ متری و رسوبات ماسه‌ای پرمین رسید، خشک توصیف شد.

در اوایل سال ۱۹۸۴ شرکت شامراک دیاموند^۴، چاه لیندر ریف شماره یک^۵ را در ۱۳ کیلومتری غربی چاه‌های کلیف‌هد شماره یک و دو، حفاری کرد. این چاه در سازندهای شیلی کوکاتیا، سازند شیلی کارینجیا و ماسه‌سنگ‌های پرمین پیشین به نفت مناسبی برخورد کرد اما به دلیل کمبود وجود ماسه‌سنگ اصلی در زیر پوشش منطقه، حفاری چاه متوقف شد. در سال‌های بعد فرضیه‌ی احتمال وجود گسلی که باعث ناپدید شدن لایه ماسه سنگ اصلی شده است، در عمق ۲۸۳۷ متری، بین سازندهای واجینا-دونگارا-بوکارا مطرح شد.

بعد از ناتمام ماندن حفاری چاه لیندر ریف شماره یک، شرکت شامراک دیاموند به حفاری‌های خود در این منطقه خاتمه داد و تا اواخر قرن بیستم که شرکت‌های نیپون^۶ و اینترپرایز مجوز حفاری گرفتند، اما تنها به برداشت لرزه‌نگاری پرداختند، این منطقه خالی باقی‌ماند. سپس، منطقه تا سال ۱۹۹۹ که شرکت میشل^۷ توانست با لرزه‌نگاری امتداد لایه‌ی کلیف‌هد را مشخص

1Esso

2Houtman 1

3Batavia 1

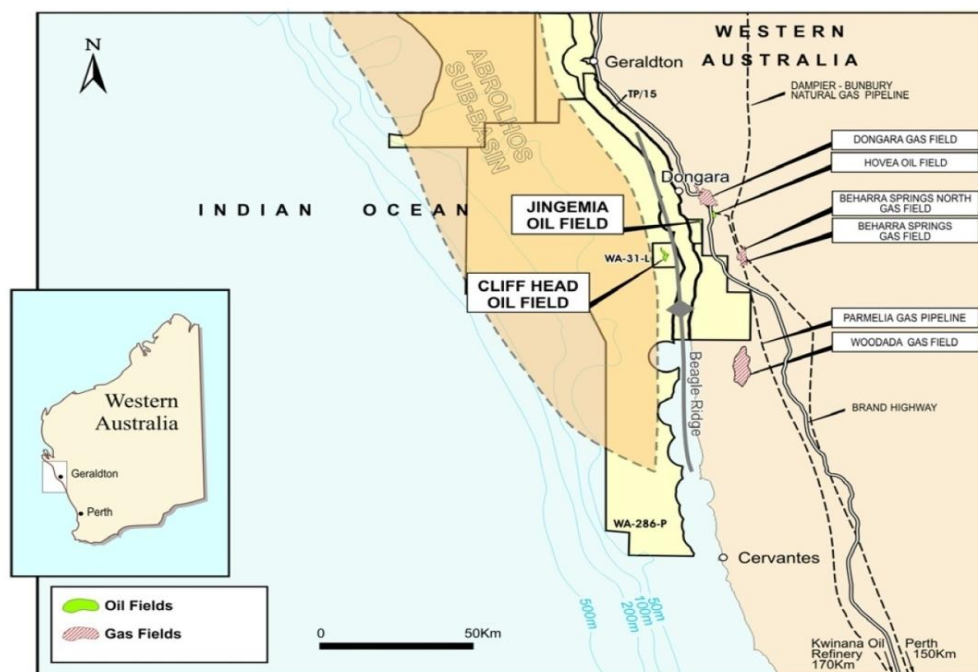
4Shamrock Diamond

5Leander Reef 1

6Nippon

7. Michelle

کند رها شد و در نهایت شرکت نفت راس^۱ در سال ۲۰۰۰ مجوز حفاری در سازند کلیفهد را گرفت.



شکل ۳-۲ نقشه‌ی بررسی موقعیت میدان کلیفهد در ناحیه پرت^۲

۳-۳-۱ کلیفهد شماره یک (CH1)

این چاه در موقعیت ۲۹/۴۶۴۶ جنوبی و ۱۱۴/۸۶۹۷ شرقی به‌طور قائم در جنوب منطقه کلیفهد، در سال ۲۰۰۱ توسط شرکت راس حفاری شد. این چاه در ماسه‌سنگ‌های زیرین سازند شیلی کوکاتیا به ستون نفتی پنج‌متری واکسی برخورد کرد.

1. Roc Oil

2A. J. Mory & R. P. Lasky, 1996

۳-۱-۱ چاه نگاری‌های الکتریکی CH1

ارزیابی سازند به‌هنگام حفاری توسط ابزار چاه‌نگاری اسپری سان انجام شد که این عملیات از عمق ۷۵/۵ متری تا ۴۰۳ متری با ابزار ۸ اینچی شامل ابزارهای EWR-P4 مقاومت، DGR اشعه گاما و DM تابع جهتی انجام شده و در قسمت بعد، از عمق ۴۰۶ متر تا ۱۴۹۹ متر از ابزار ۶/۷۵ اینچی ابزار فول چندگانه شامل EWR-P4 مقاومت، DGR اشعه‌ی گاما، DM تابع جهتی، CNP تخلخل، SLD چگالی و BAT صوتی استفاده شده است.

اندازه‌گیری الکتریکی پس از حفاری از عمق ۱۲۶۰ تا ۱۲۹۰ متر انجام شد که شامل GR، مقاومت بسیار سطحی، مقاومت سطحی، مقاومت میانی، مقاومت عمیق و دما بوده است.

۳-۱-۲ مطالعات بر روی مغزه‌های CH1

توسط شرکت CSIRO با روش^۱ QEM-Scan آنالیز نمونه‌های برداشت شده آنالیز شدند. هدف از آنالیز مینرالوژی در این چاه به‌وجود آوردن هم‌پوشانی آنالیز مینرالوژی برای ماسه‌های سازند ایروین ریور^۲ در چاه کلیف‌هد شماره دو و همچنین دیگر چاه‌های ساحلی منطقه بوده است.

۳-۲-۲ کلیف‌هد شماره دو (CH2)

این چاه در موقعیت چاه کلیف‌هد ۱ به‌طور شیب‌دار با شیب ۶۲ درجه به سمت شمال، در جنوب منطقه کلیف‌هد، در اواخر سال ۲۰۰۱ توسط شرکت راس حفاری شد.

۳-۲-۳ نگارهای الکتریکی CH2

ارزیابی سازند به‌هنگام حفاری توسط سرویس اسپری سان از ابتدای چاه تا عمق ۹۸۳ متر به روش‌های اشعه گاما، رزیستیویتی و جهتی برداشت شد و از ۹۸۳ تا ۲۰۱۲ متر، با ابزار کامل چندگانه EWR-P4 مقاومت، DGR اشعه‌ی گاما، DM تابع جهتی، CNP تخلخل، SLD چگالی و ACAL کالیپر برداشت شد.

1. Quantitative Electron Microscope Scan
2. Irwin River

اندازی‌گیری پس از حفاری^۱، نگار مقایسه‌ای گاما و مقاومت^۲، از عمق ۱۸۷۰ تا ۱۹۴۰ متر و از ۶۱۰ تا ۸۲۰ متری برای بررسی بیشتر و مقایسه‌ی پیک‌های بالای مقاومت با پیک‌های پایین اشعه‌ی گاما برداشت شد. لازم به ذکر است که هیچ نگار سیمی پس از حفاری از چاه CH2 برداشت نشده‌است.

همانطور که انتظار می‌رفت چاه CH2 در عمق ۳۶ متری سازند هدف به ستون نفتی برخورد کرد. هیچ نمونه‌ی ژئوشیمیایی و یا سیال از این قسمت برداشت نشده‌است. دو چاه CH1 و CH2 که از یک نقطه آغاز و با شیب‌های متفاوت ادامه پیدا کرده‌اند، از دیدگاه اکتشاف نفتی، چاه‌های موفقی محسوب می‌شوند.

۳-۲-۳ مطالعات بر روی مغزه‌های CH2

توسط شرکت CSIRO با روش QEM-Scan آنالیز نمونه‌های برداشت شده آنالیز شدند.

۳-۳-۳ کلیف‌هد شماره چهار (CH4)

چاه CH4 در موقعیت ۲۹/۴۴۶۰ جنوبی و ۱۱۴/۸۶۷۳ شرقی به‌طور قائم در شمال منطقه کلیف‌هد، توسط شرکت راس طی مدت سوم مارچ ۲۰۰۳ تا دهم مارچ حفاری شد، که توانست به عمق نهایی ۱۵۹۸ متر برسد. این چاه، آخرین چاه برنامه‌ی حفاری منطقه‌ی پرت در سال ۲۰۰۳ بود. اهداف اولیه‌ی حفر این چاه، ارزیابی ذخیره‌ی دو افق پرمین و اندازه‌گیری فشار نفت موجود و ضخامت سازندهای هدف در بلوک غربی منطقه‌ی کلیف‌هد بود.

¹. Measurement After Drilling [MAD]

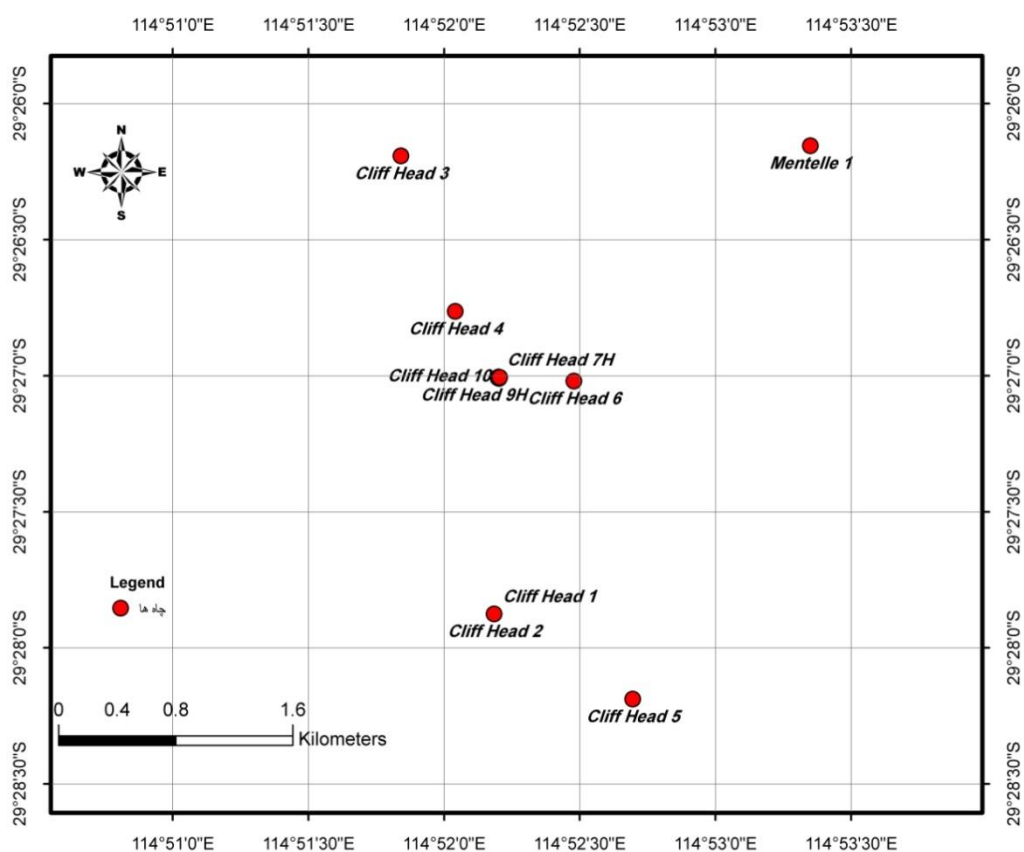
². Comparative Gamma- Resistivity

۳-۳-۱ نگارهای الکتریکی CH₄

اندازه‌گیری درحین حفاری برای بدست‌آوردن اطلاعات بدون اتلاف وقت صورت گرفت تا بتوان از آن‌ها برای هم‌پوشانی دیگر چاه‌های کلیف‌هد استفاده کرد. این داده‌ها از ۵۲ متری چاه، زیر قسمت سیمانی شده تا انتهای چاه برداشت شدند. از این چاه نگارهای کاملی برداشت شده‌است و نه تنها نگارهای موجود در دوچاه دیگر از این چاه برداشت شده‌است، بلکه نگار تصویری FMI و نگار ژئوشیمیایی ECS نیز از این چاه برداشت شده‌اند.

۳-۳-۲ مغزه‌های معمول و کناردیواری برداشت شده از چاه CH₄

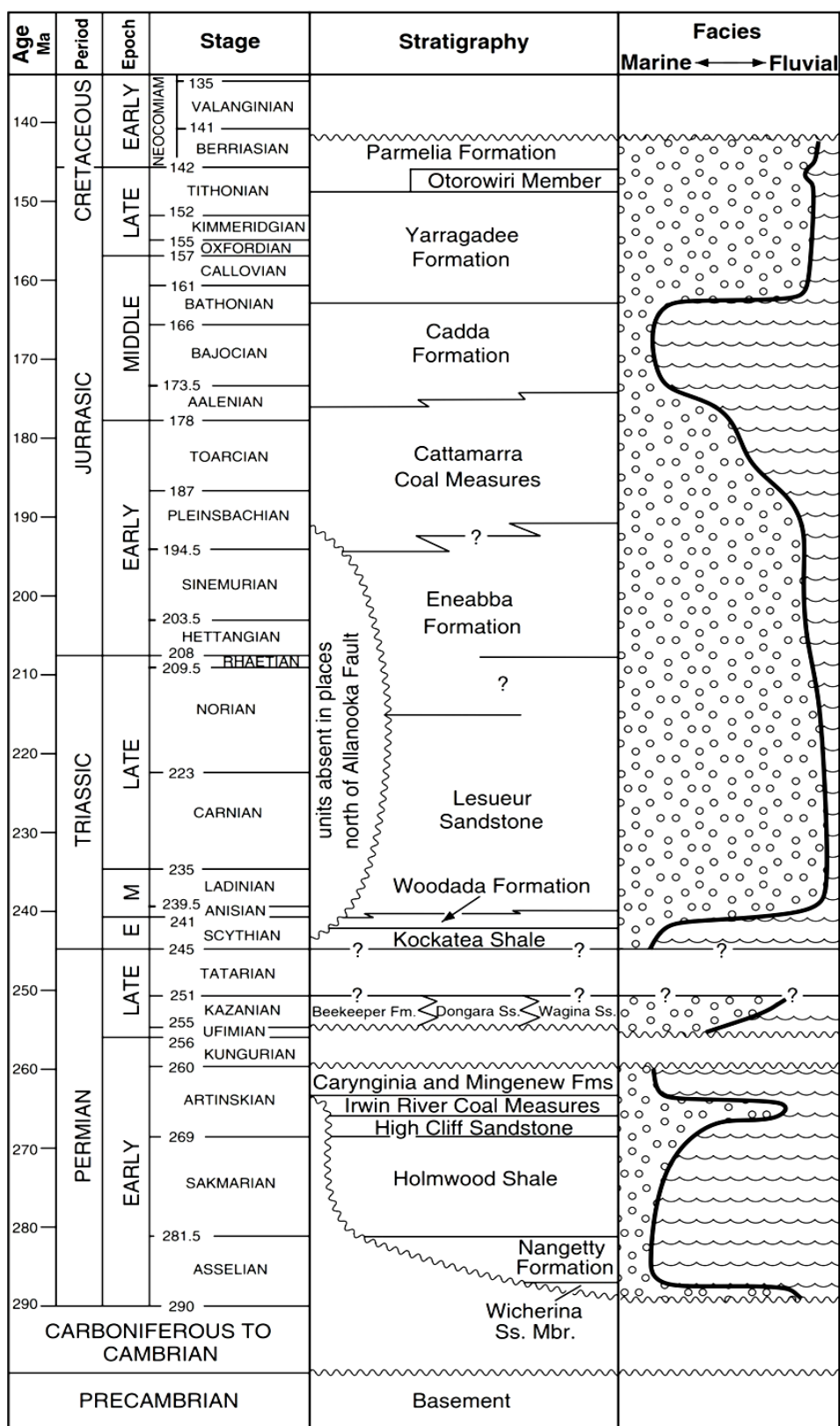
یکی از اهداف اصلی در این چاه مطالعه‌ی جزییات مغزه‌های برداشت شده از افق‌ها بوده‌است. مغزه‌ای با پیوستگی ۳۸ متری از عمق ۱۴۱۴ تا ۱۴۵۲ متری از این چاه برداشت شد که ۲۶/۳۵ متر آن بازیابی شد. در آخرین مراحل اجرای برداشت نگار از این چاه ۲۳ مغزه‌ی کناردیواری بین اعماق ۱۴۲۵/۵ تا ۱۵۰۳/۵ متری برداشت شد و ۲۲ مغزه آن بازیابی شد. از این مجموعه نمونه‌ها جهت آنالیز مینرالوژی QEMScan فرستاده شدند.



شکل ۳-۳ نقشه‌ی موقعیت چاه‌های منطقه‌ی کلیف‌هد تا سال ۲۰۱۲

۳-۴ سازندهای موجود در منطقه

سازندهای موجود در منطقه به‌ترتیب زمانی در شکل ۳-۴ ذکر شده است. سازندهای هدف در این منطقه سازند کلیف‌هد و سازند زغالی ایروین ریور است که در زیر سازند شیلی کوکاتیا قرار دارند و بیشتر داده‌های مورد مطالعه در این پژوهش از این سه سازند برداشت شده‌اند. که در ادامه به طور مفصل در مورد آن‌ها بحث خواهد شد.



شکل ۳-۴ واحدهای سازندی موجود در منطقه‌ی کلیف‌هد

۳-۴-۱ سازندهای هدف جهت مطالعه:

۳-۴-۱-۱ سازند ماسه‌سنگی های کلیف^۱

ماسه‌سنگ های کلیف شامل چینه‌های ماسه سنگی، کنگلومرا و سنگ‌های سیلتی ریز است، این سازند به‌صورت پراکنده بین شیل‌های سازند هلم‌وود^۲ و سازند زغالی ایروین ریور^۳ هم وجود دارد. های کلیف در ضخیم‌ترین قسمت خود به ۴۲ متر در منطقه‌ی وولاگا کریک^۴ می‌رسد (Playford et al., 1976).

شباهت بسیار زیاد این سازند به سازند ایروین ریور باعث شده‌است که رتبه‌ی این سازند تا حد یک عضو نیز پایین بیاید. البته زمانی که به شرق تراس ایروین^۵ حرکت می‌کنیم جدایی این دو سازند بسیار ساده‌تر می‌شود.

از دیدگاه سنگ‌شناسی این سازند از ماسه‌سنگ‌های درشت دانه و ماسه‌سنگ‌های سیلتی تشکیل شده‌است. این ماسه‌سنگ‌ها که به‌طور محسوسی حاوی کربن می‌باشند از دانه‌های تیز و زاویه‌دار تا نیمه تیز گرانیت، کوارتزیت و چرت هستند ولایه‌های نازک تخته‌سنگی^۶ و قلوه‌سنگی^۷ کنگلومرا در این سازند به چشم می‌خورند. از لحاظ ارتباطات چینه‌ای این سازند به وضوح و با شیب ملایم با سازند شیلی هلم‌وود و همچنین سازند زغالی ایروین ریور در ارتباط است.

1. High Cliff Sandstone

2. Holmwood Shale

3. Irwin River Coal Measure

4. Woolaga Creek

5. Irwin Terrace

6. Boulder

7. Pebble

۳-۴-۱-۲ سازند زغالی/ایروین ریور^۱ یا IRCM

این اسم در ابتدا توسط کلارک در سال ۱۹۵۹ معرفی شد و در واقع به لایه‌ی زغالی که در بالای سازند های کلیف و در زیر سازند سیلتی کارینجینیا قرار داشت اطلاق شد. این سازند در ضخیم‌ترین قسمت خود در آرواسمیت^۲ به ۳۰۷ متر می‌رسد.

از دیدگاه سنگ‌شناسی این سازند از ماسه‌سنگ‌های هوازده، سیلت، شیل‌های کربن‌دار، زغال و کنگلومراهای پراکنده تشکیل شده‌است. اندازه‌ی ماسه‌سنگ‌های IRCM دامنه‌ای بین قلوه‌سنگی و بسیار درشت دانه تا بسیار ریزدانه را شامل می‌شود. همچنین لنزهای کنگلومرایی در آنالیزهای سنگ‌شناسی و زغال‌ریز در آنالیزهای میکروسنگ شناسی سانتوزومشاهده شدند (Santoso, 1990).

۳-۴-۱-۳ سازند شیلی کوکاتیا^۳:

این سازند در دوره تریاسیک^۴ پایینی توسط پلی‌فورد در سال ۱۹۵۸ و همچنین در سال ۱۹۷۶ مورد مطالعه قرار گرفت و به‌عنوان اصلی‌ترین سنگ منشاء نفتی و پوشش در حوزه به‌حساب می‌آید (Playford et al., 1976), (Playford, Willmot et al., 1958).

بخشی از سازند که بیشترین پتانسیل را در خود جای می‌دهد شیل اصلی نام دارد که با لجن پُر شده است و به مقدار میانگین TOC دو درصد می‌رسد، در حالی که میانگین کلی TOC در این سازند ۰/۸ درصد است. ضخامت بالقوه نفتی این سازند به ۱۰۶۰ متر می‌رسد و به‌صورت کلی ضخامت سازند با حرکت به سمت جنوب زیاد می‌شود (Thomas, 1979).

از دیدگاه سنگ‌شناسی این واحد از شیل سیاه، سنگ‌های سیلتی میکادار و به‌مقدار جزئی ماسه‌سنگ و آهک تشکیل شده‌است. سازند در رخنمون‌ها از دانه‌های ریز ماسه‌سنگی و یا

1. Irwin River Coal Measurment

2. Arrowsmith

3. Kockatea Shale Formation

4. Triassic

سیلت‌های نازک قرمز، بنفش و قهوه‌ای تشکیل شده‌است. از لحاظ ارتباطات چینه‌ای سازند بر روی سازند پرمین کارینجینیا و در قسمت‌های شمالی منطقه بر روی ماسه‌سنگ‌های دونگارا قرار گرفته‌است. همچنین با سازندهای وودادا^۱ و سازند زغالی کاتامارا^۲ و اینیبا^۳ در شمال منطقه در تماس است.

۳=۵ داده‌ها:

بطور کلی داده‌ها در میدان کلیف‌هد قرار گرفته‌اند و سازند هدف در این پژوهش سازند زغالی ایروین‌ریور است. بیشترین آنالیز مینرالوژی از این سازند در این میدان از سه چاه شماره ۱، ۲ و ۴ می‌باشد و در جدول ۳-۱ داده‌های به کار گرفته شده در این پژوهش به اختصار نمایش داده شده‌اند.

جدول ۳-۱ داده‌های به کار گرفته شده در پژوهش			
شماره‌ی چاه	کلیف‌هد ۱	کلیف‌هد ۲	کلیف‌هد ۴
نگارهای مورد استفاده	GR, NPHI, RhoB, PEF,DT	GR, NPHI, RhoB, PEF,DT	GR, NPHI, RhoB, PEF,DT
عمق سازند ایروین‌ریور (متر)	۱۸۷۸ - ۱۹۸۴	۱۲۸۲ - ۱۳۰۹	۱۴۲۷ - ۱۴۷۶
تعداد نمونه‌های مینرالوژی در سازند هدف (ایروین‌ریور)	۳۸	۳۶	۲۳

1. Woodada

2. Cattamarra Coal Measure

3. Eneabba

فصل چهارم

تخمین میسرالوژی اصلی با استفاده از

نگارهای پتروفریکتی

۴-۱ مقدمه

برای بررسی مینرالوژی با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی باید به تأثیرپذیری نگار مورد نظر از جنس سنگ توجه کرد. با توجه به آنچه در فصل اول و سوم ذکر شد، از نگارهای موجود در سه چاه مورد مطالعه در منطقه‌ی کلیف‌هد، نگارهایی که قابلیت تأثیرپذیری غیرمستقیم از جنس سنگ را دارا می‌باشند عبارتند از: گاما، ضریب فتوالکتریک، صوتی، چگالی و نوترون.

برای مطالعه‌ی مفیدتر و کامل‌تر مینرالوژی منطقه در این پایان‌نامه، ابتدا به مطالعه‌ی سازندها و جدایش آن‌ها با استفاده از روش موجک پیوسته‌ی کلاهدک مکزیک پرداخته شد، سپس برای همگن کردن محیط برای تخمین در سازند هدف که ایروین‌ریور است، از روش گوستافسون-کسیل استفاده شد و در نهایت با استفاده از روش لولی‌موت درصد کانی‌های اصلی در این سازند تخمین زده شد.

۴-۲ استفاده از موجک پیوسته جهت جدایش سازندها:

از گذشته تا کنون، یکی از مهم‌ترین قدم‌ها برای شناسایی ویژگی‌های میدان‌های نفتی تفکیک سازندهای رسوبی می‌باشد. ابتدایی‌ترین گام برای این تفکیک، مشخص کردن محل‌های جدایش در سازندها است. تا کنون راه‌کارهای متفاوتی برای شناسایی محل جدایش ارائه شده است که بر حالات زیر قابل دسته‌بندی‌اند (Robail et al., 2001).

در دسته‌ی اول معمولاً راه‌کارهایی دسته‌بندی می‌شوند که مبتنی بر دانش و آگاهی تقریبی فردکارشناس از زمین‌شناسی منطقه است که به رویکردهای شکل‌پایه معروف هستند. پایه و اساس این روش‌ها شکل نگار برداشت شده از چاه است که متناسب با نوع نگار و تأثیرپذیری آن نگار از نوع سازند، قابلیت جدایش را فراهم می‌کند. از جمله نگارهای مورد استفاده در این روش گاما، سونیک، چگالی بالک و نوترون می‌باشند که همگی به‌نوعی تابعی از لیتولوژی نیز می‌باشند. در این روش معمولاً روند حرکت کلی نگار توسط کارشناس تعیین می‌شد و مبتنی بر آن محل‌های

جدایش تعیین می‌شدند. اشکال‌های اساسی و فراوانی بر این نوع روش‌ها وارد بود که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به وابستگی شدید این روش به مهارت کارشناس و نوع دیدگاه او دانست. از دیگر مشکلات آن، زمانی بود که این روش با چندین نگار هم‌زمان انجام می‌گرفت که در این حالت کارشناس با مقیاس‌های گوناگون نیز مواجه می‌شد که خود دچار وقفه و اختلال در کار می‌شد. پس از آن زمین‌شناسان جهت اعتبارسنجی این گونه روش‌ها از داده‌های تحلیل‌شده‌ی سایزمیک استفاده می‌کردند، که مخارج خود را به‌همراه داشت و دقت کافی را نداشت (Serra et al., 1980).

در روش‌های دسته‌ی دوم، الگوریتم‌های خوشه‌بندی نقش اصلی را ایفا می‌کنند، که عموماً در حالت‌های کمبود یا عدم‌وجود داده‌های مغزه به‌صورت وسیعی کاربردی هستند. این روش‌ها در سال ۱۹۷۶ پای‌ریزی شدند و به‌روش‌های الکتروفاسیس معروفند. سپس، از حالت آماری اولیه کم‌کم خارج شدند و توسعه‌های شبکه‌عصبی و فازی نیز یافتند. مبنای این‌گونه رویکردها فضای برداری ویژگی‌هاست، که درواقع هرکدام از نگارها به‌عنوان یک بردار ویژگی در فضای جداسازی لحاظ می‌شود. از جمله اشکالات وارد بر این دسته روش‌ها، گنگ‌بودن نتایج، تأثیرپذیری از دقت متفاوت برداشت نگارها و نیاز نتایج به کالیبره‌شدن می‌باشد (Michell et al., 1990), (wagner et al., 1992), (Rogers et al., 1989), (Baldwin et al., 1988).

راه‌کار ارائه‌شده در این پژوهش مجموعه‌ای از تلفیق دو رویکرد ذکرشده می‌باشد. این رویکرد، روش شکل‌پایه و خوشه‌بندی را به‌صورت نهان در دل خود جای داده‌است. هم‌زمان که از خواص مکانی داده‌ها استفاده می‌شود، به‌نوعی آن‌ها را خوشه‌بندی می‌کند، که آن‌را مرتبه‌ی بالاتری از روش خوشه‌بندی نیز می‌توان نام برد. همچنین، به‌نظر می‌رسد این روش، رویکردی بر آنالیز ریاضی و ماشینی شدن روش شکل‌پایه است. از دیگر مزایای این روش عملکرد بر اساس یک نگار است و همچنین قادر است عمل جداسازی لایه‌ها را در مقیاس‌های متفاوت انجام دهد.

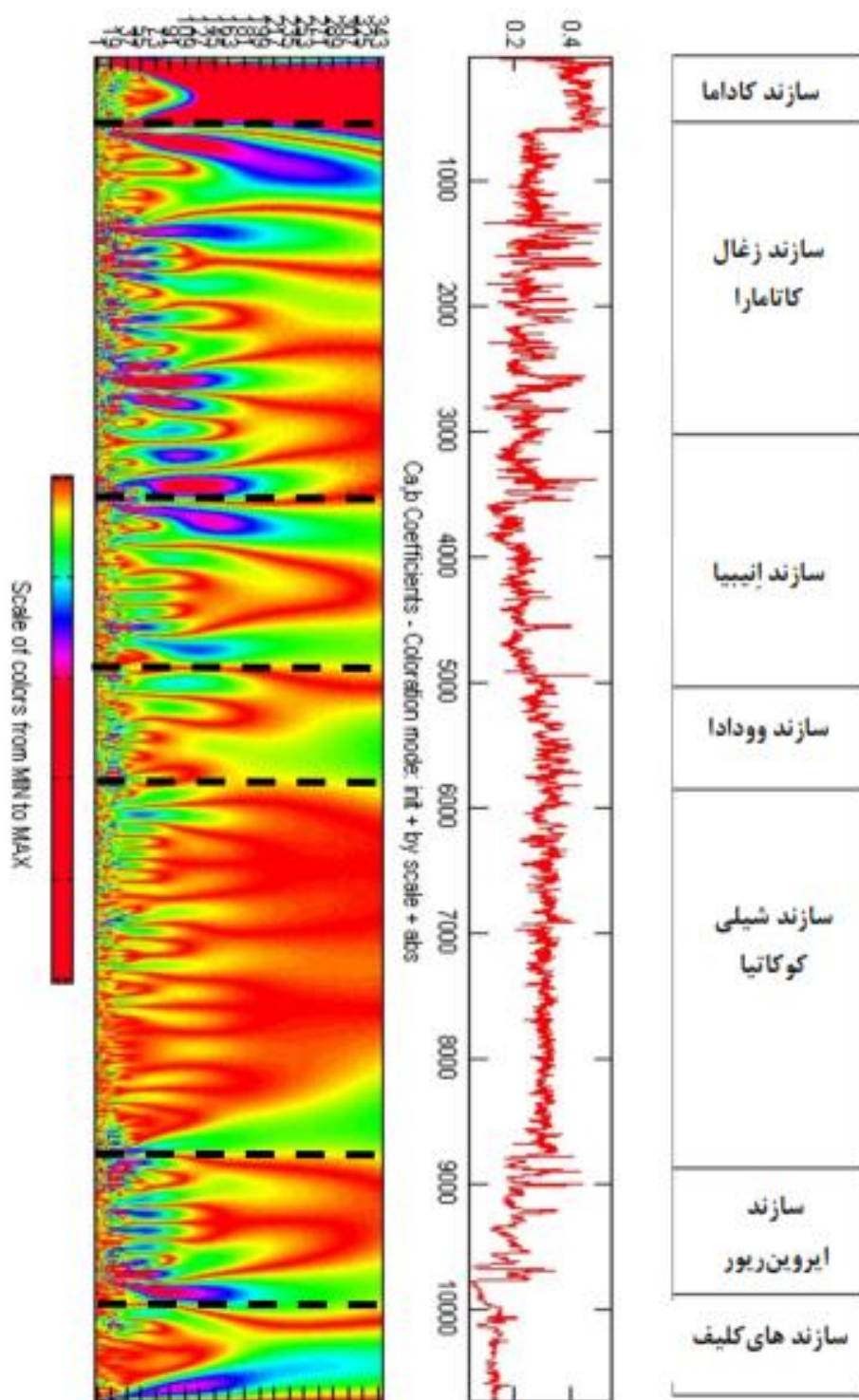
با به کارگیری تبدیل موجک پیوسته بر نگار نوترون در محل‌هایی که مغزه‌گیری انجام شده بود، نتایج به صورتی که در شکل‌ها قابل مشاهده‌اند به دست آمدند. در شکل ۴-۱ تبدیل موجک پیوسته‌ی کلاه مکزیکی بر روی نگار گامای چاه شماره‌ی ۱ انجام شده است و نتایج تبدیل همانطور که قابل ملاحظه است بیانگر چهار قسمت هموژن اصلی می‌باشد که با خط‌چین روی تصویر تبدیل یافته مشخص شده است. در تقسیمات سمت راست آن، نتایج حاصل از مغزه‌ها و گزارشات زمین‌شناسی که با کمک داده‌های سائزیمیک تحلیل شده‌اند را می‌توان دید. همانطور که ملاحظه می‌شود هم‌خوانی بسیار زیادی بین تبدیل موجک پیوسته بر روی نگار نوترون این چاه با داده‌های زمین‌شناسی برقرار است که حاکی از مشخص شدن روندی خاص برای جداسازی سازندها می‌باشد. همانطور که در شکل ۴-۱ قابل مشاهده است سازندهای وودادا و اینیبا به علت شباهت زیادی که در ضرایب آن‌ها وجود داشت، جدایش با ۵۰ متر خطا روبه‌رو بود، که بیشترین خطا جابه‌جایی در جداسازی در همین مکان به وجود آمده است.

این تبدیل بر روی داده‌های چاه شماره‌ی ۲ نیز صورت گرفت و نتایج آن در شکل ۴-۲ به تصویر در آمده است. به علت عمق زیاد چاه‌ها و حجم اطلاعاتی که در تصویر نشان داده شده، هر یک را در صفحه‌ای جدا می‌توان مشاهده نمود.

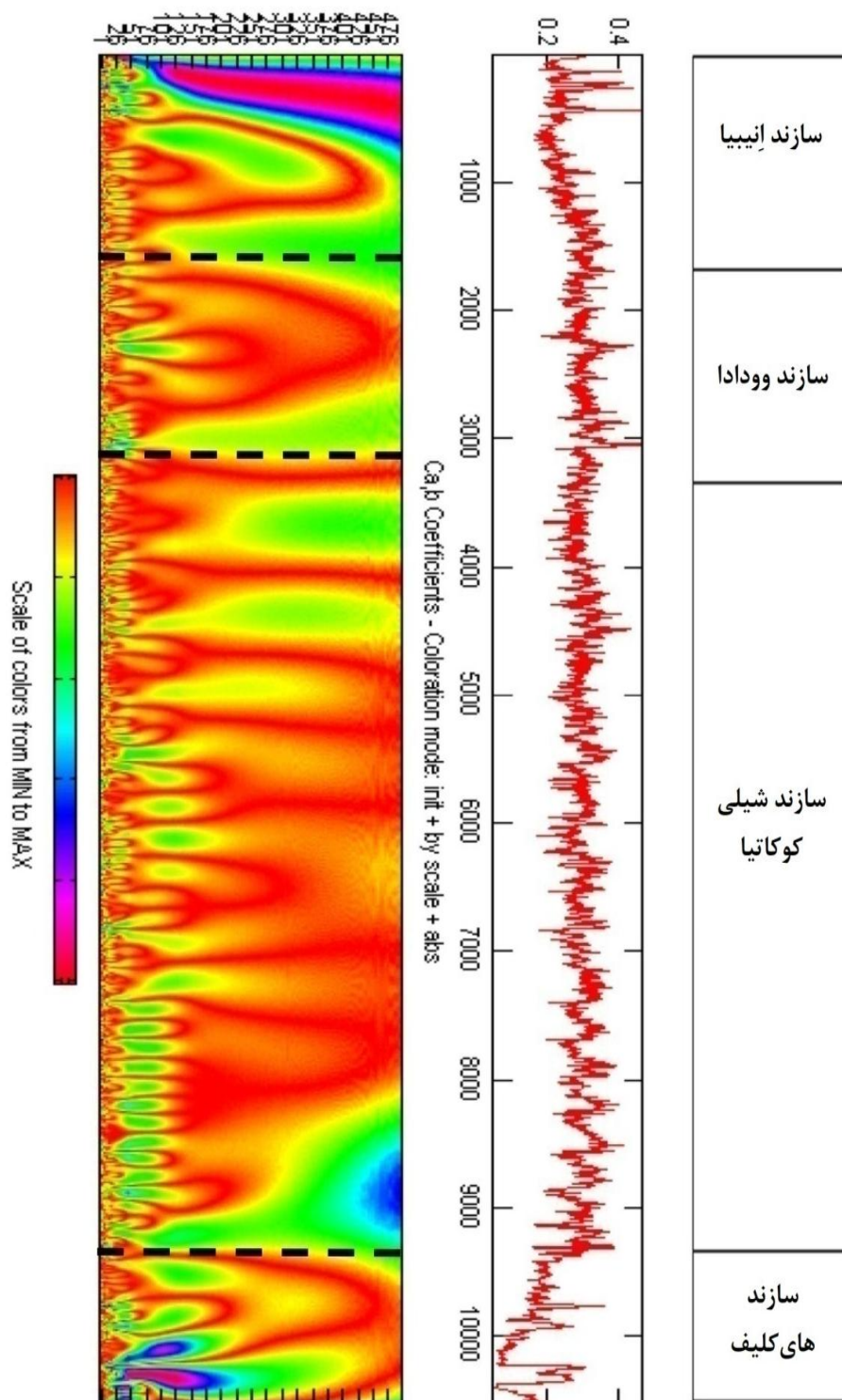
این روند برای نگار نوترون در چاه ۴ نیز انجام شد و نتایج حاصل از این روش بر حسب میزان خطای حاصل شده در جدول ۴-۱ مشخص شده است. خطای مشخص شده بر حسب تفاوت متر از جداسازی سازند با روش تبدیل موجک و با استفاده از گزارشات زمین‌شناسی است.

جدول ۱-۴ نتایج حاصل از جداسازی سازند با تبدیل موجک پیوسته و با موجک مادر کلاه مکزیکی در چاه‌های ۱، ۲ و ۴ کلیف‌هد				
شماره چاه	نگار مورد استفاده	مترای جدایش	مترای خطا	درصد خطا
۱	نوترون	۱۰۵۰ متر	۵۳ متر	۵٪
۲	نوترون	۱۰۵۰ متر	۱۰ متر	۱٪
۴	نوترون	۷۰۰ متر	۲۵ متر	۳/۵٪

از نتایج به دست آمده در جدول ۱-۴ به نظر می‌رسد این روش می‌تواند با دقت حداقل بالاتر از ۹۵٪ در تفکیک سازندها بسیار کاربردی باشد.



شکل ۴-۱ نتیجه‌ی به‌دست آمده از تبدیل موجک پیوسته کلاه مکزیکی بر نگار نوترون چاه شماره‌ی ۱
کلیف‌هد



شکل ۴-۲ نتیجه‌ی به‌دست آمده از تبدیل موجک پیوسته کلاه مکزیک‌ی بر نگار نوترون چاه شماره‌ی ۲ کلیف‌هد

۳-۴ استفاده از الگوریتم گوستافسون کسِل برای جداسازی خوشه‌ها

در این قسمت سعی بر آن شد که با استفاده از دانشی که نسبت به فیزیک مسئله موجود است، به صورت کارشناسانه راه کاری برای جدایش لیتولوژی اصلی، پس از جدایش سازندها ارائه دهیم.

دلیل اصلی طبقه بندی کردن روش ها و استفاده از آنها به صورت پله پله ناهمگن بودن محیط سنگی است. برای تخمین مناسب مینرالوژی در چاه نیاز به خوشه های همگن است. هر چه خوشه بندی مناسب تر باشد نتایج تخمین نیز بهتر به دست می آیند.

از آن جا که طبق دانش فیزیکی مسأله، روش نمودار متقاطع از ساده ترین روش ها و در دسترس ترین روش ها می باشد، ما سعی بر آن داشتیم که با الهام گرفتن از این روش و ترکیب آن با روش های نوین بازشناخت الگو روشی متفاوت برای جداسازی ارائه دهیم.

نکته ای که از این روش جدایش الهام گرفته شده است، این است که جدایش لیتولوژی باتوجه به نوع نگار، با خطوطی استاندارد انجام می شود. در بین هر دو خط استاندارد یک گروه لیتولوژی اصلی وجود دارد، که فاصله نقاط از این خطوط استاندارد بیان گر درصد لیتولوژی اصلی در آن عمق خاص است. یکی از بزرگترین مشکلات روش نمودارهای متقاطع جدایش با دو یا حداکثر سه ویژگی (نگار) است، که باعث دقت پایین این روش می شود.

روش اصلاحی پیشنهاد شده استفاده از ماتریس ها و حتی روش های خوشه بندی بود که جدایش را در ابعاد بالاتر انجام می دادند، اما مشکل خاص خود را نیز دارا بودند. مثلاً خطی در نظر گرفتن روابط بین نگارها و پاسخ نگارها در ماتریس، از بزرگترین اشکالات روش ماتریسی بود. همچنین، از آن جا که به صورت تجربی در نمودارهای متقاطع اثبات شده است جدایش لیتولوژی توسط خطوط انجام می گیرد. راه حل های ساده ی خوشه بندی که بر اساس فاصله های اقلیدسی کار می کردند، نمی توانستند جدایش را به درستی انجام دهند، زیرا در فواصل اقلیدسی داده های تیپ توده ای جدا می شوند، در صورتی که داده های لیتولوژی تیپ خطی هستند.

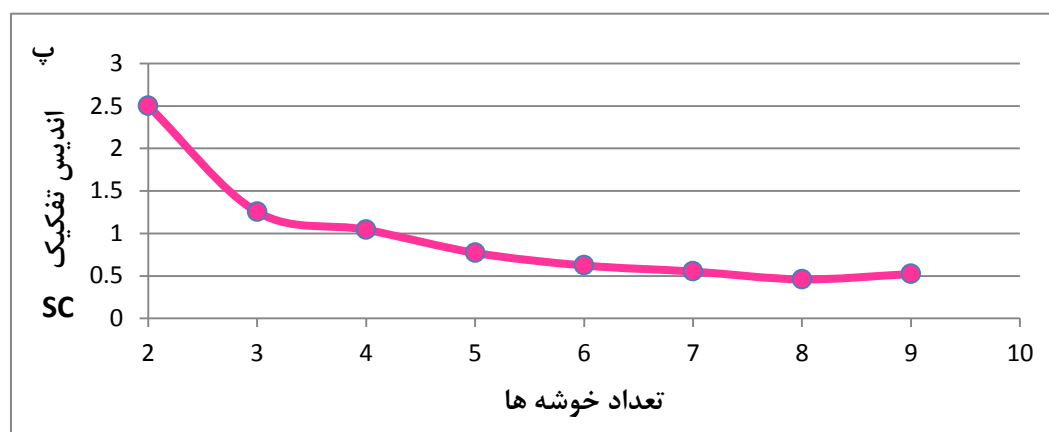
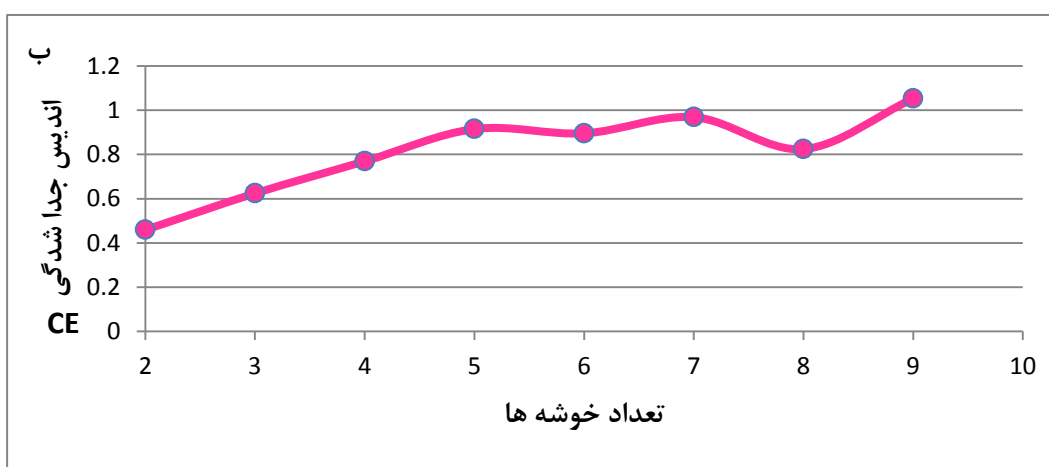
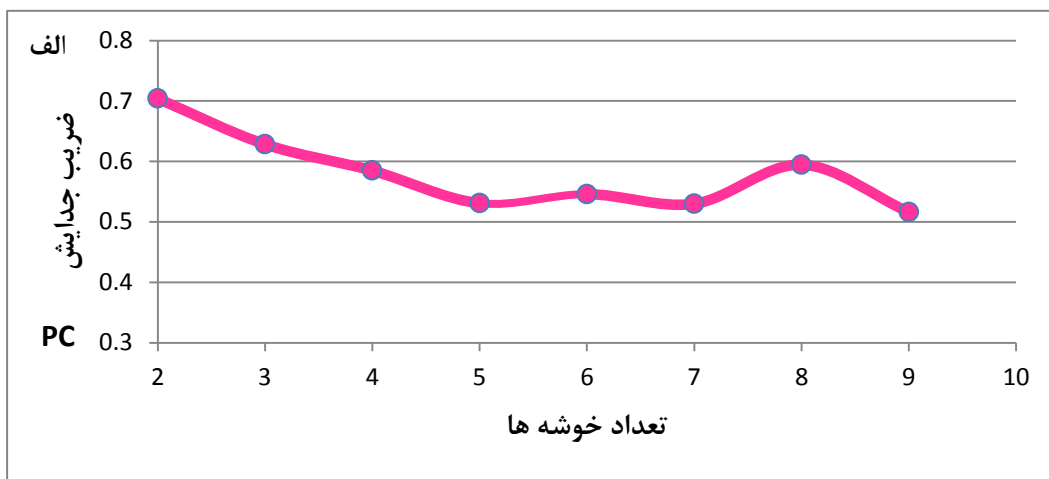
پس نیاز به روشی است که دارای قابلیت‌های زیر باشد:

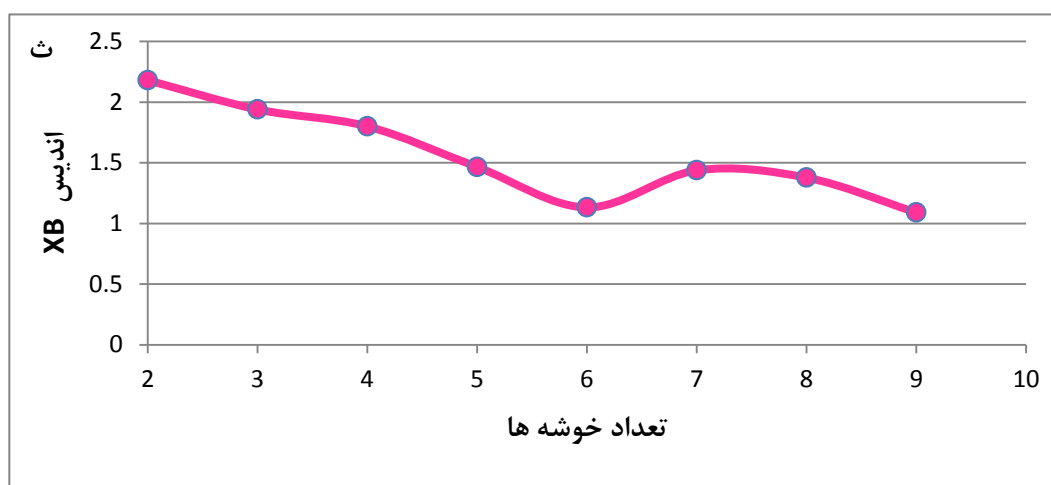
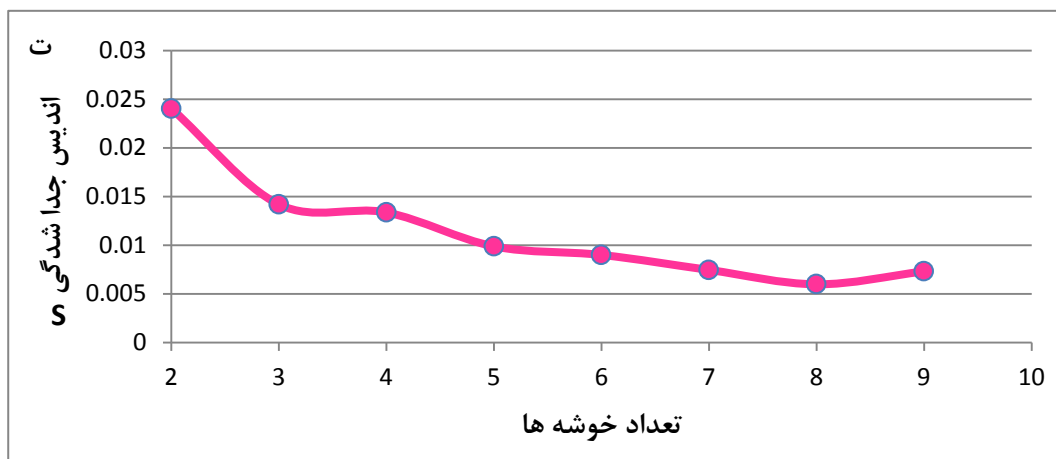
- (الف) با ابعاد ریاضی یا فضای ویژگی بالا کار کند.
- (ب) روابط غیرخطی بین پاسخ نگار و جنس سنگ را در نظر بگیرد.
- (ج) توانایی جدایش داده‌های خطی را داشته باشد.

این ایده‌ها ما را بر آن داشت، که به دنبال روشی باشیم که این قابلیت‌ها را همزمان داشته باشد؛ بابه‌کارگیری روش‌های خوشه‌بندی گوستافسون-کِسل، که توسط گوستافسون و کِسل در سال ۱۹۷۹ ارائه شد، قابلیت جدایش داده‌هایی که تمایل خطی شدن دارند، پدید آمد. این روش دیگر بر پایه‌ی فواصل اقلیدسی ساده کار نمی‌کرد و با تعریف فاصله‌ی مالهونوبیس به‌عنوان راه‌کار، جدایش خطی را ایجاد کرد. با تعریف جدید فاصله، داده‌هایی که حتی به‌صورت بیضی‌گون بودند که درواقع، روندی بین توده‌ای و خطی داشتند جدا می‌شدند.

پس از انتخاب روش، نوبت به انتخاب داده‌های ورودی می‌رسد، در این مرحله نیاز به نگارهایی است که به نحوی تأثیرپذیر از جنس سنگ باشند، همگی در سه چاه $CH1$ ، $CH2$ ، $CH3$ در سازند **IRCM** موجود باشند و همچنین در عمقی که داده از آن برداشت شده است آنالیز آزمایشگاهی مینرالوژی نیز موجود باشد. تنها نگارهای گاما، نوترون، چگالی، ضریب فتوالکتریک و سونیک هر سه شرط فوق را دارا بودند. در نگارهای انتخاب شده مراحل پیش پردازش داده‌ها توسط شرکت شولومبرژه انجام شده بود.

خوشه‌بندی گوستافسون کِسل بر روی داده‌های منتخب اعمال شد. اولین کار پس از خوشه‌بندی تعیین تعداد خوشه‌های بهینه است این تعداد باید از روش‌های اعتبار سنجی که در فصل دوم ذکر شد تعیین شود. در این پژوهش برای تعیین تعداد خوشه‌های بهینه روش GK با تعداد خوشه‌های اولیه‌ی ۲ تا ۹ تکرار شد. نتایج حاصل از اعتبار سنجی در شکل ۴-۳ آمده است.





شکل ۳-۴ الف) نمودار نتایج روش ضریب جدایش برای تعداد خوشه‌های مختلف. ب) نمودار نتایج اندیس جداشدگی برای تعداد خوشه‌های مختلف. پ) نمودار نتایج روش تفکیک برای تعداد خوشه‌های مختلف. ت) نمودار نتایج اندیس جداشدگی برای تعداد خوشه‌های مختلف. ث) نمودار نتایج اندیس XB برای تعداد خوشه‌های مختلف.

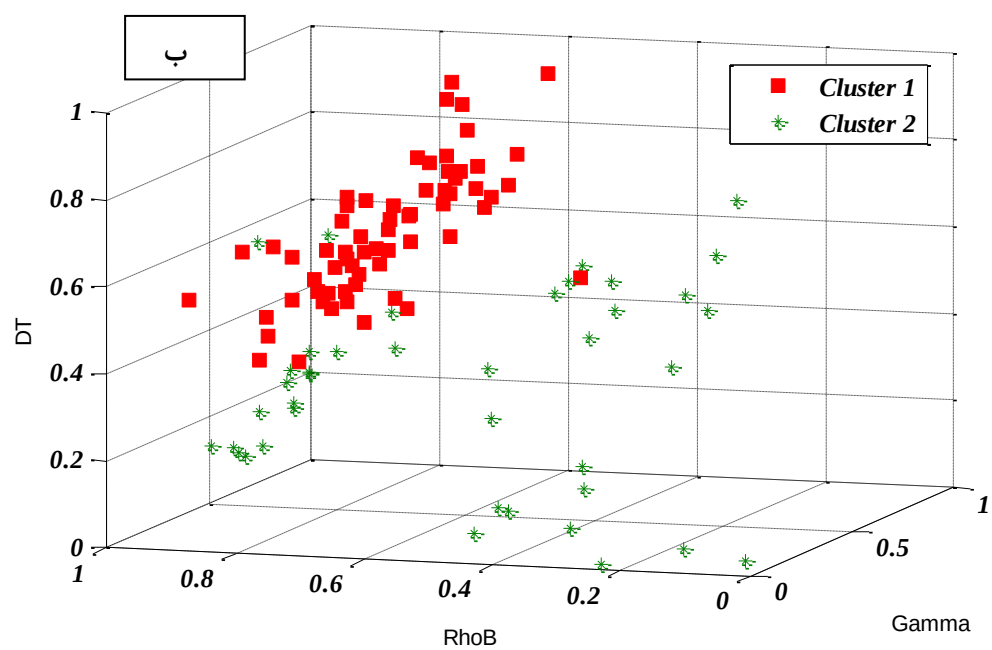
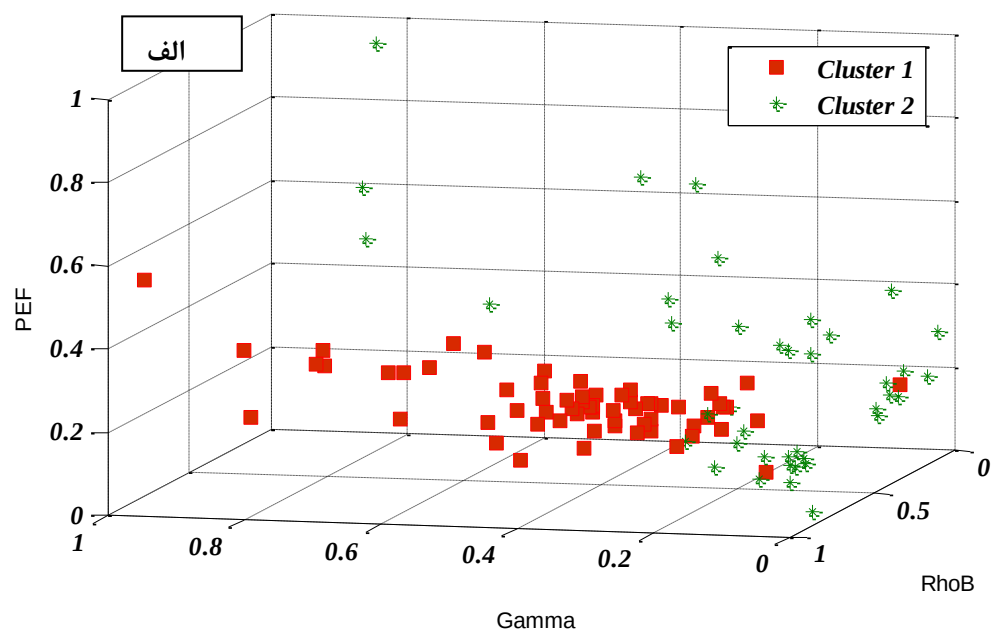
آنچه نمودارهای اعتبارسنجی نشان می‌دهند تأییدی است بر اینکه هرچه تعداد خوشه‌ها بیشتر باشد، جدایش بهتر است. اما در تعیین تعداد خوشه‌های بهینه باید دو شرط را مد نظر داشت، اول اینکه با توجه به کم بودن داده‌ها، تعداد خوشه‌های کمتر بهینه است، دوم اینکه تعداد خوشه باید از لحاظ نسبی شروط اعتبارسنجی را برآورده کند.

در نمودارهای بالا مشخص است که با رسیدن به سه خوشه به یکباره شیب به‌طور محسوسی تغییر می‌کند و به یک شیب ملایم می‌رسد، این تغییر در روش‌های S یا اندیس

جداشدگی، SC یا اندیس تفکیک کاملاً واضح است. همچنین در روش‌های PC یا ضریب جدایش و CE یا اندیس جداشدگی نیز به‌طور نا محسوسی قابل مشاهده است. اما در اندیس XB تأیید نمی‌شود با این حال شیب از تعداد خوشه‌ی سه به چهار کاهش می‌یابد.

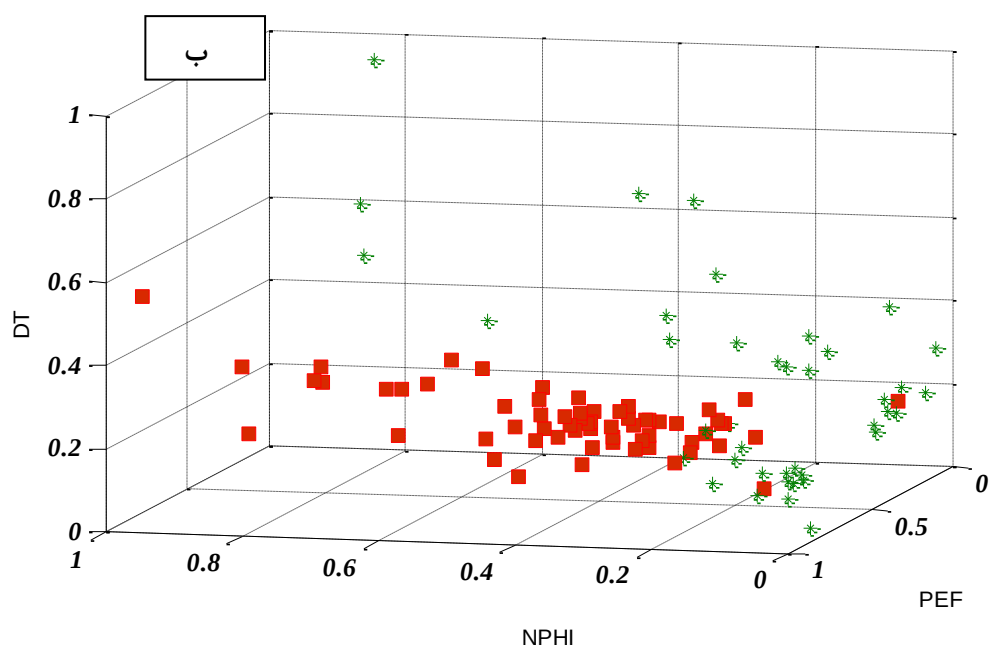
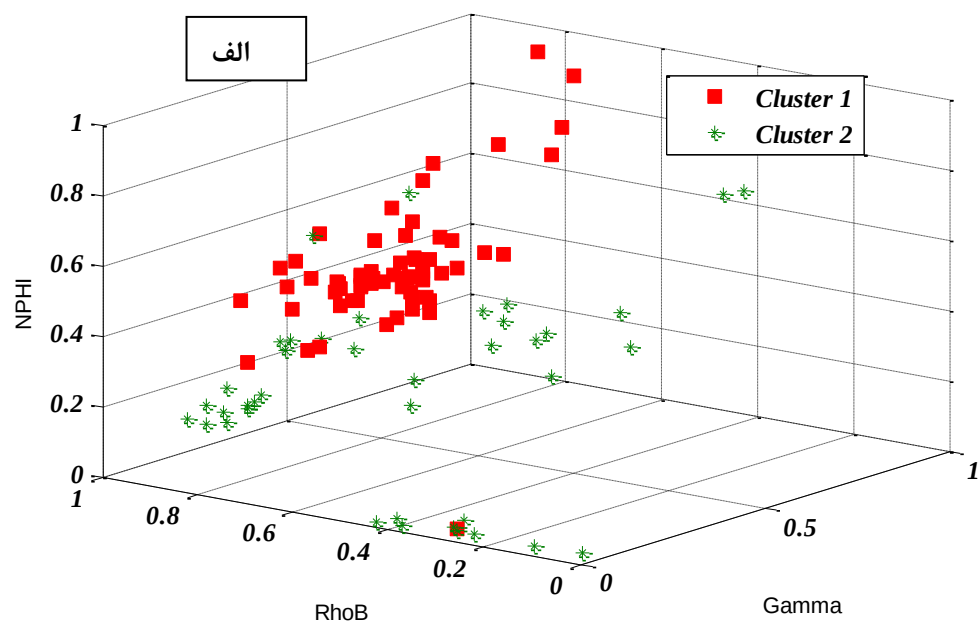
با توجه به آنچه که ذکر شد، تعداد خوشه‌های بهینه سه است، همچنین ما از تعداد خوشه‌ی دو نیز برای تخمین استفاده کردیم زیرا روش‌های بالا نمی‌توانستند بهینه بودن تعداد خوشه‌ی دو را تأیید یا رد کنند.

نتایج حاصل از خوشه‌بندی دوتایی در نمودار پراکندگی سه‌بعدی که هر بعد بیان‌گر یکی از پنج نگار ورودی است در شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵ مشخص شده است.



شکل ۴-۴ نمایش جدایش دو خوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کیمل. (الف) بعدهای گاما، چگالی و ضریب

فتوالکتریک. (ب) بعدهای گاما، چگالی و صوتی

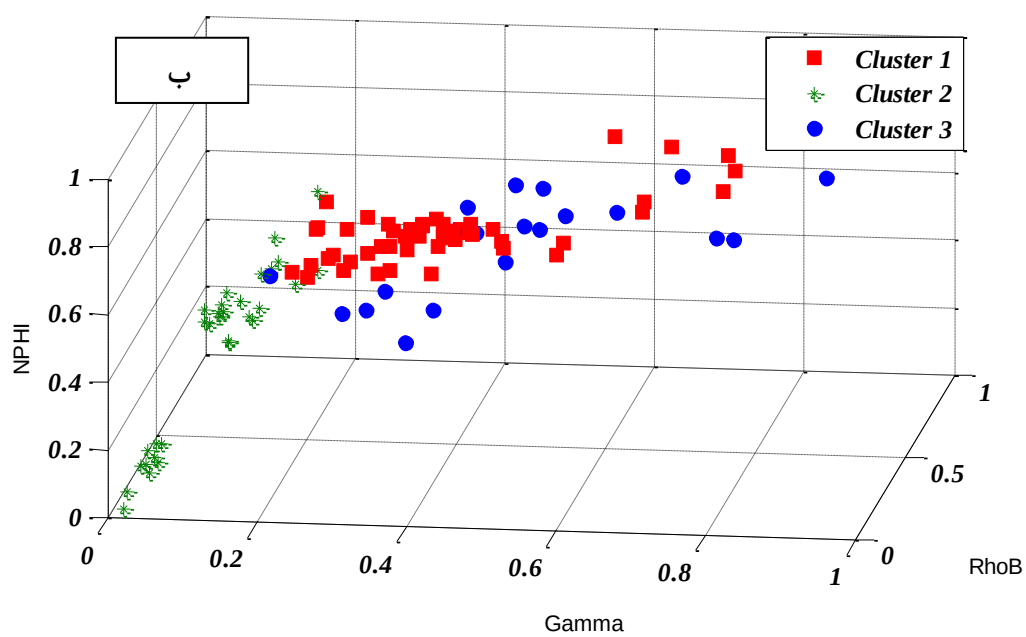
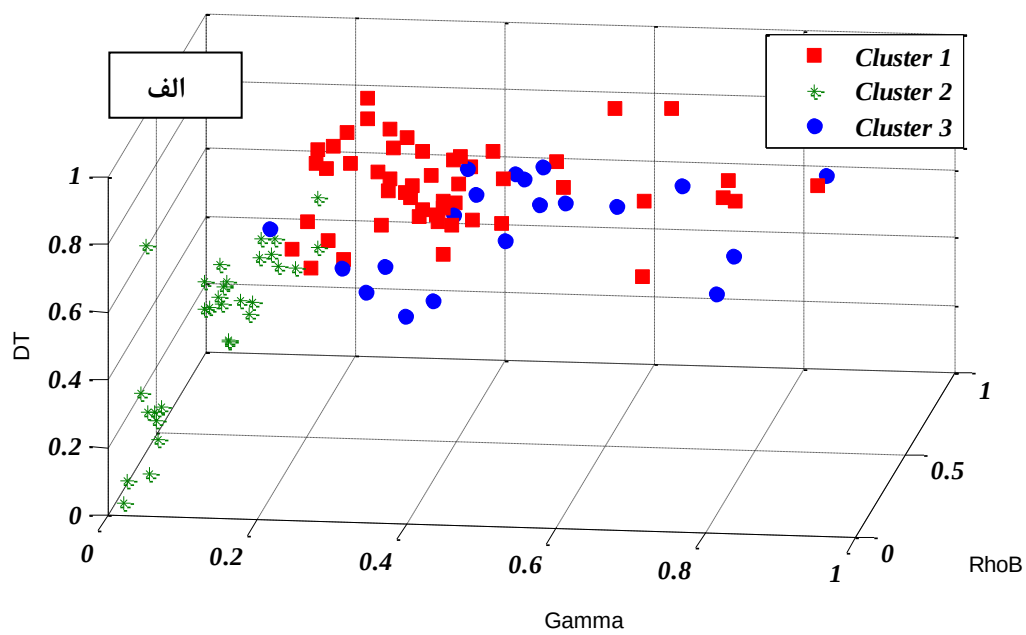


شکل ۴-۵ نمایش جدایش دو خوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسپل. الف) بعدهای گاما، چگالی و نوترون.

ب) بعدهای نوترون، ضریب فتوالکتریک و صوتی

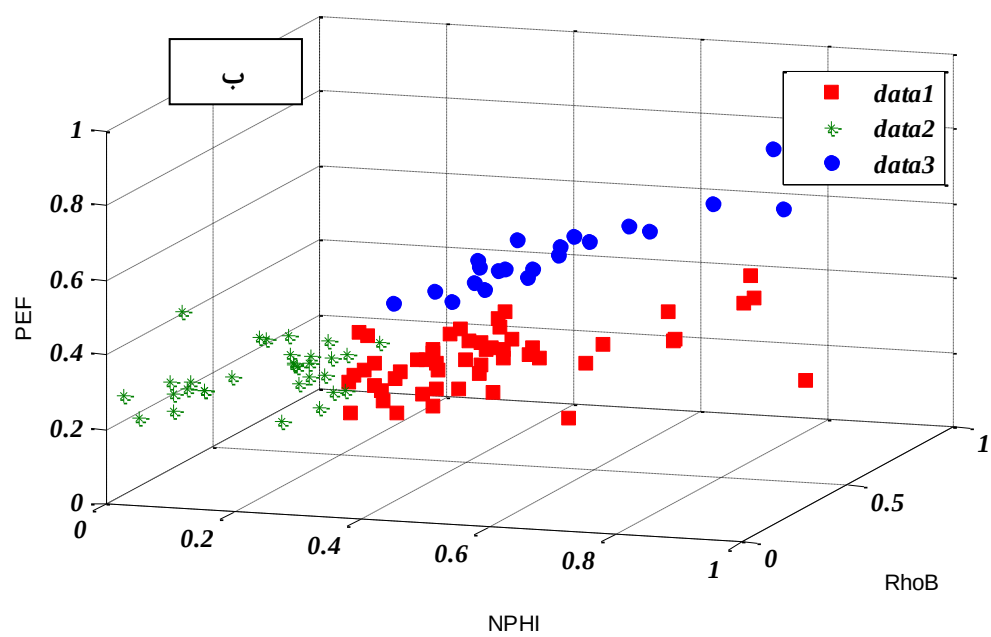
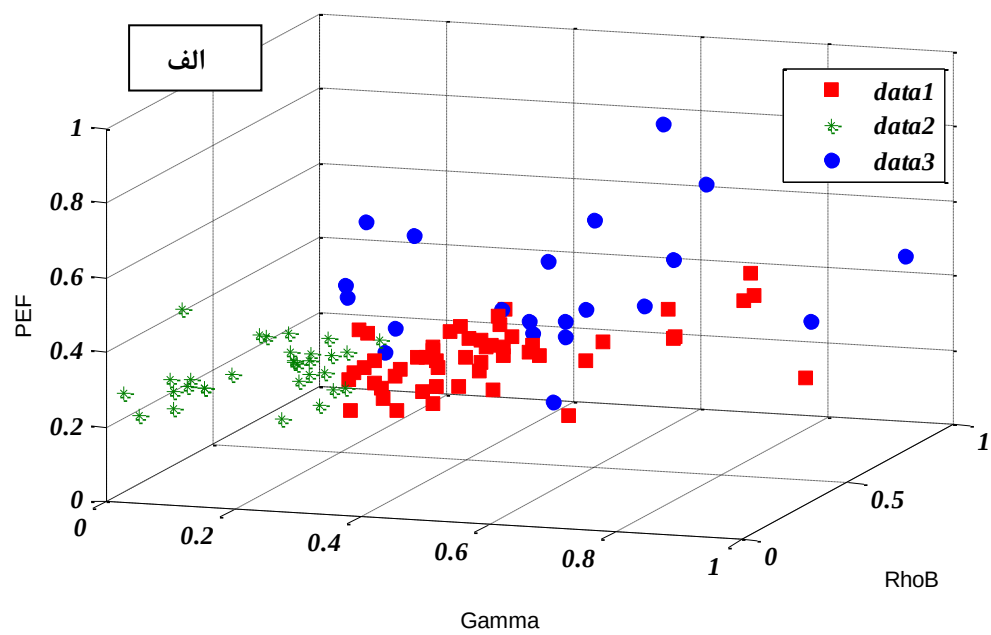
نتایج حاصل از خوشه‌بندی سه تایی در نمودار پراکندگی سه‌بعدی که هر بعد بیان‌گر یکی از پنج

نگار ورودی است در شکل‌های ۴-۶ و ۴-۷ مشخص شده است.



شکل ۴-۶ نمایش جدایش سه خوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسپل. الف) بعدهای گاما، چگالی و صوتی.

ب) بعدهای گاما، چگالی و نوترون



شکل ۴-۷ نمایش جدایش سه خوشه‌ای داده‌ها توسط روش گوستافسون کسپل. الف) بعدهای گاما، چگالی و ضریب

فتوالکتریک. ب) بعدهای نوترون، چگالی و ضریب فتوالکتریک

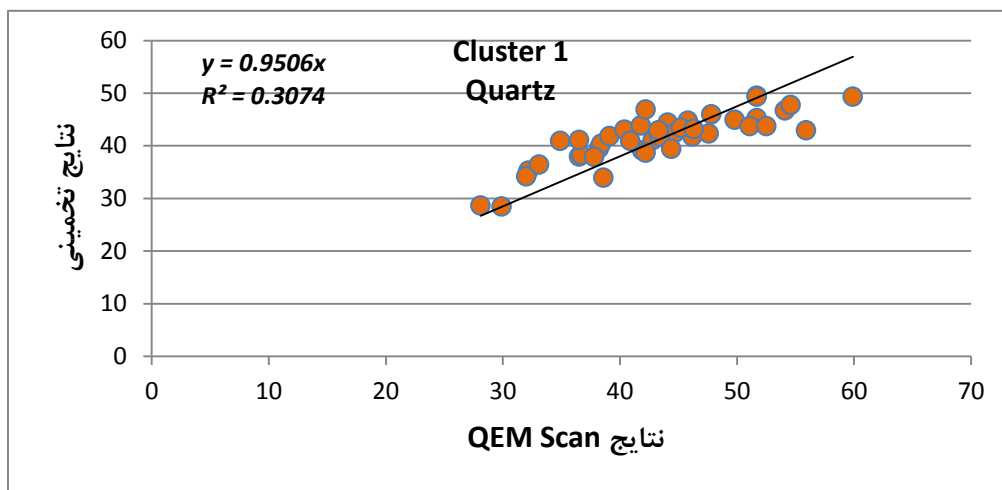
با این حال که جدایش‌ها در پنج بعد انجام شده است و تصور آبر صفحه‌ای که داده‌ها را بریده است سخت به نظر می‌رسد، اما در حالت‌های سه‌بعدی نشان داده شده هم می‌توان فضای بریده شده‌ی خطی را تصور کرد.

پس از مرحله‌ی خوشه‌بندی داده‌ها جهت تخمین آماده هستند و باید در هر یک از خوشه‌ها روش تخمین اعمال شود.

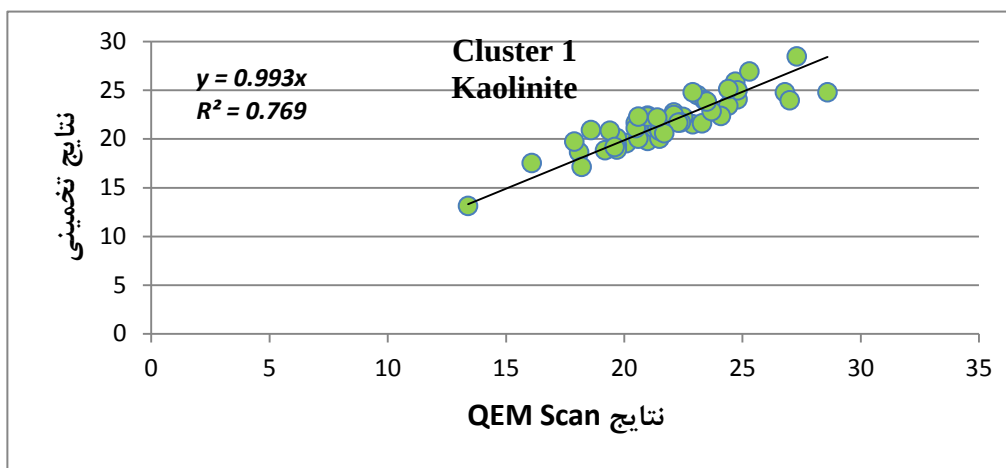
۴-۴ تخمین مینرالوژی با به‌کارگیری روش لولیموت

پس از اعمال خوشه‌بندی دوتایی و سه‌تایی در هر کدام از خوشه‌ها داده‌های مینرالوژی را به دو دسته‌ی آموزش و تست تقسیم کردیم. سهم داده‌های آموزشی ۷۰٪ و سهم داده‌های تست ۳۰٪ شد.

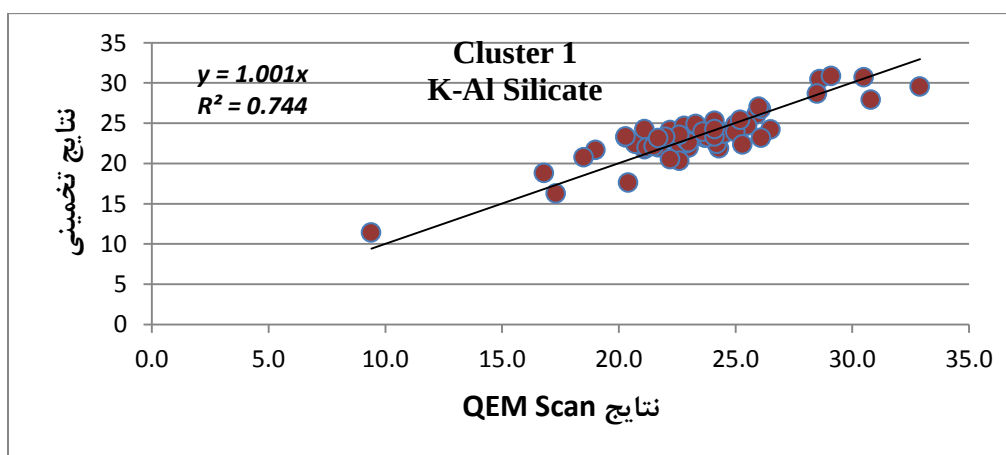
داده‌های مینرالوژی QEM Scan در سازند IRCM شامل کانی‌های کوارتز، کلسیم سیلیکات، پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات، بیوتیت، کلریت، کائولینیت، اکسید آهن، سیدریت، کلسیت، دولومیت، روتیل، زیرکن، آپاتیت، باریت و پیریت می‌باشد. اما با بررسی نتایج آزمایشگاه در این سازند، می‌توان به این نتیجه رسید که در تمام آنالیزهای این سازند چهار کانی بیش از ۹۰٪ سهم آنالیز را به خود اختصاص دادند. این چهار کانی عبارتند از: کوارتز، پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات، کائولینیت و کلریت. می‌توان این کانی‌ها را کانی‌های اصلی این سازند نام‌گذاری کرد. با اعمال تخمین گر لولیموت بر روی داده‌های خوشه‌ی دو تایی نتایج زیر به دست آمد.



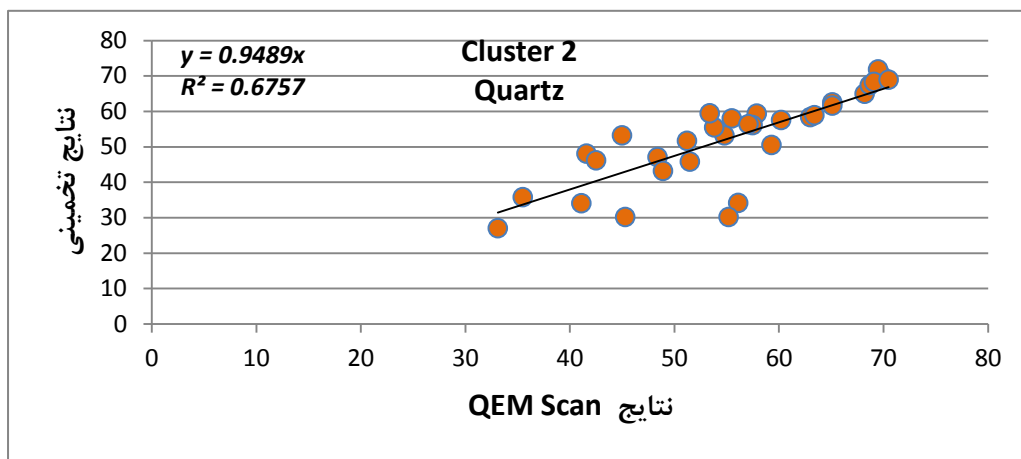
شکل ۴-۸. نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی اول



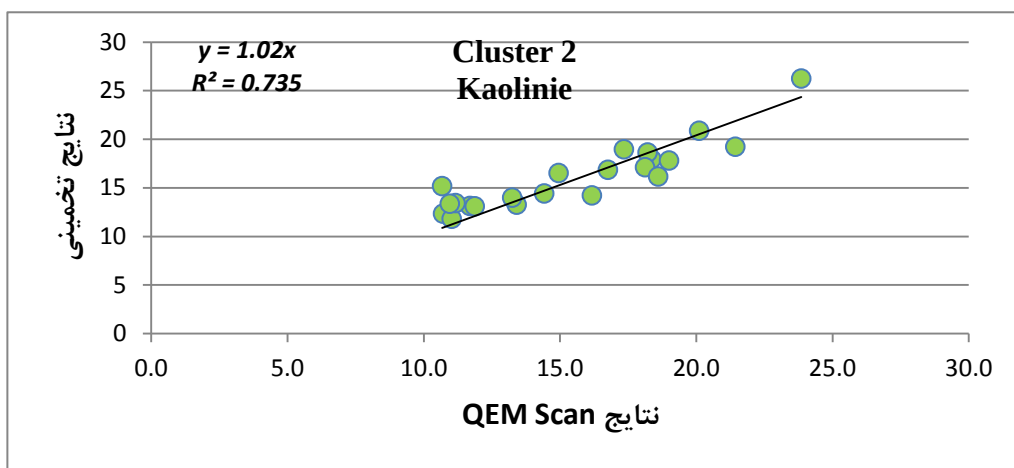
شکل ۴-۹. نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی اول



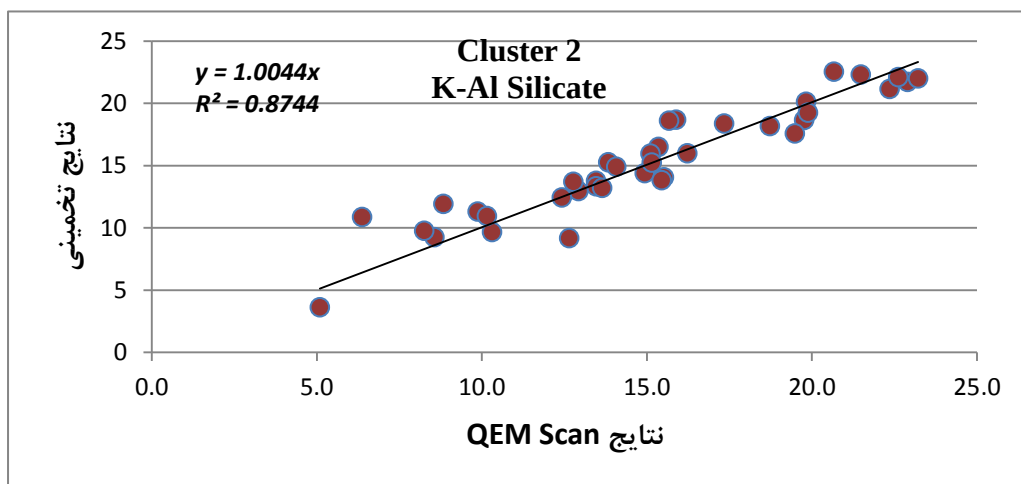
شکل ۴-۱۰. نتایج تخمینی پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی اول



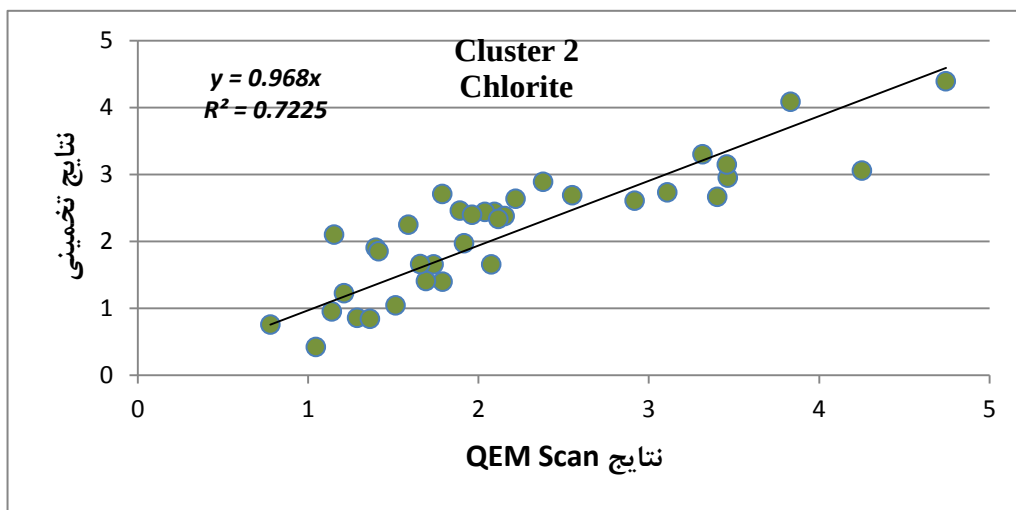
شکل ۴-۱۱ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی دوم



شکل ۴-۱۲ نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی دوم



شکل ۴-۱۳ نتایج تخمینی پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی دوم



شکل ۴-۱۴ نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی دوم

که نتایج تخمینی لولیموت در دوخوشه‌ی جدایش شده توسط روش گوستافسون کِسل را به‌طور خلاصه می‌توان در جدول ۲-۴ مشاهده کرد.

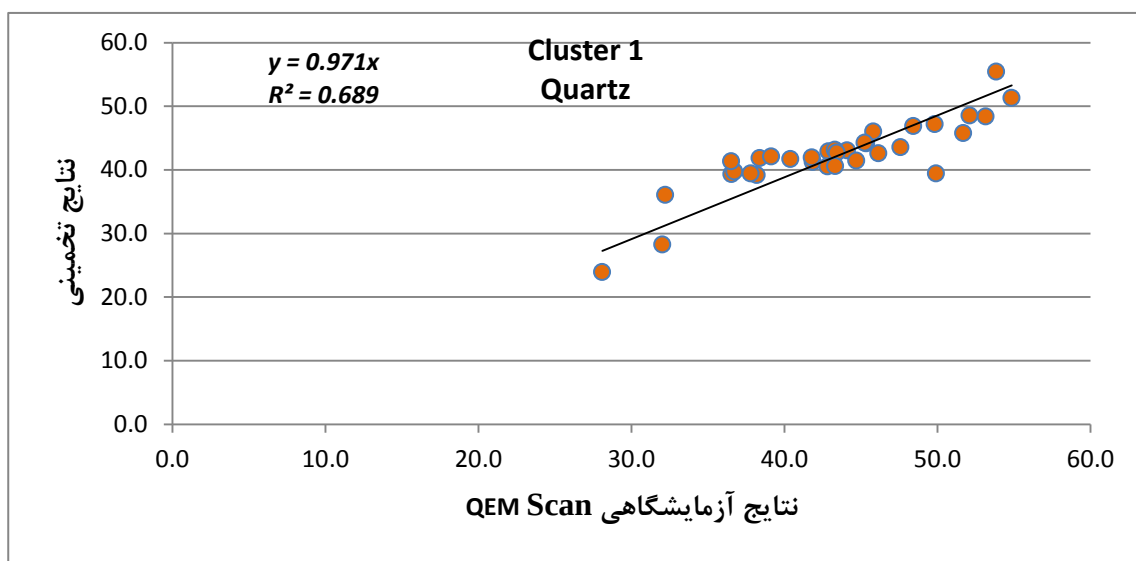
جدول ۴-۲ نتایج حاصل از تخمین کانی‌های اصلی در سازند IRCM با تخمین گر لولیموت در دو خوشه					
	انحراف معیار داده‌های آموزشی در سطح اعتماد ٪۶۸	انحراف معیار داده‌های تست در سطح اعتماد ٪۶۸	همبستگی کل (داده‌های آموزش و تست)	خط تخمین گر کل داده‌ها/داده‌های آموزش و تست)	
خوشه اول	کوارتز	۵/۵	۱۱/۵	۰/۳۰۷	$Y=0.95X$
	کائولینیت	۱/۷	۳/۹	۰/۷۶۹	$Y=0.993X$
	K-Al سیلیکات	۱/۷	۳/۷۵	۰/۷۴۴	$Y=1.001X$
	کلریت	۰/۴	۰/۷۲	۰/۱۵	$Y=0.955X$
خوشه دوم	کوارتز	۳/۵	۱۰/۵	۰/۶۷۵	$Y=0.948X$
	کائولینیت	۱/۶	۳/۸	۰/۷۳۵	$Y=1.02X$
	K-Al سیلیکات	۱/۲	۳/۵	۰/۸۷۴	$Y=1.004X$
	کلریت	۰/۳	۰/۵۳	۰/۷۲۲	$Y=0.968X$

در سنگ‌های موجود در سازند IRCM کوارتز بیشترین سهم را دارا می‌باشد و بازه‌ای بین ۲۷٪ تا ۷۶٪ را به خود اختصاص می‌دهد، پس از آن کائولینیت از ۱۰/۵٪ تا ۲۸/۶٪، پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات از ۵/۱٪ تا ۳۴/۷٪ هستند. در صد کانی کلریت از همه کمتر است و بازه‌ای بین ۱/۷٪ تا ۵٪ را به خود اختصاص می‌دهد.

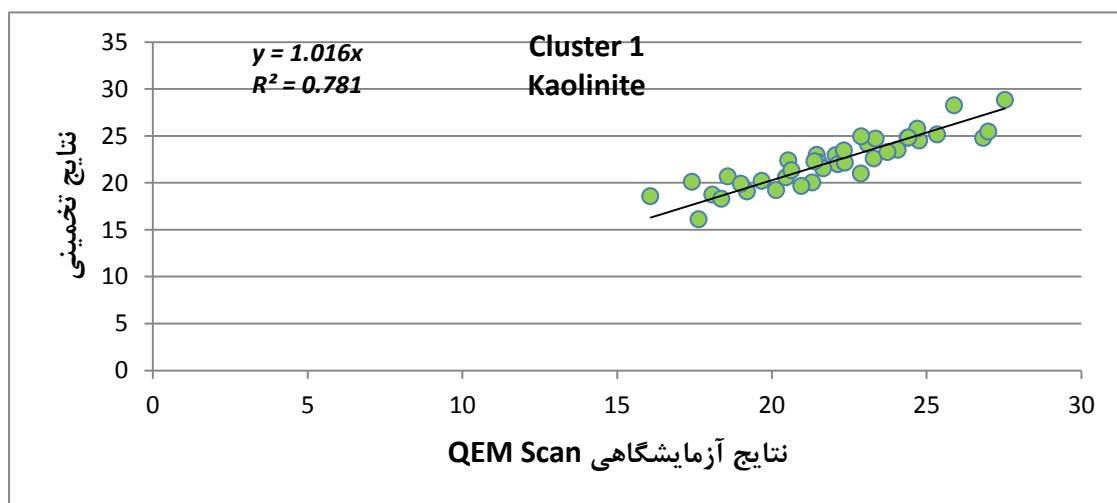
از آن چه گفته شد می‌توان انتظار داشت که قدرمطلق میانگین خطا در داده‌های تست و آموزشی کوارتز بیشترین و کلریت کمترین باشد. همچنین به علت کوچک بودن داده‌های کلریت

همبستگی که از آن‌ها انتظار می‌رود، همبستگی پایینی است که در داده‌های خوشه‌ی اول این همبستگی پایین کاملاً قابل مشاهده است. در تخمین‌های به‌دست آمده در جدول ۴.۲ به‌غیر از کلریت و کوارتز که در خوشه‌ی اول همبستگی پایینی دارند می‌توان بقیه‌ی نتایج را قابل قبول خواند.

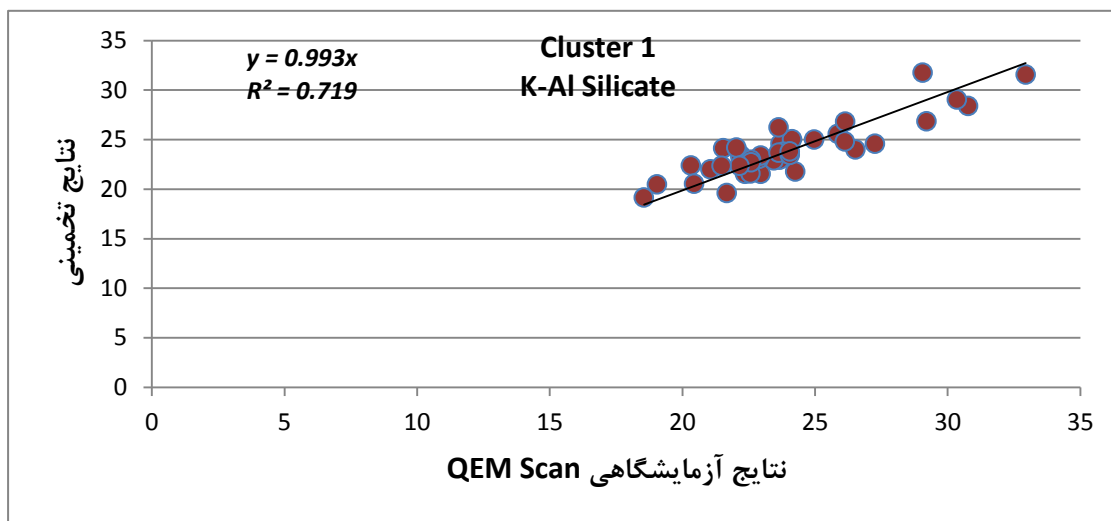
حال از داده‌های سه خوشه‌ای که نتایج نیز این تعداد را تأیید می‌کردند در تخمین مینرالوژی اصلی در سازند IRCM استفاده می‌کنیم.



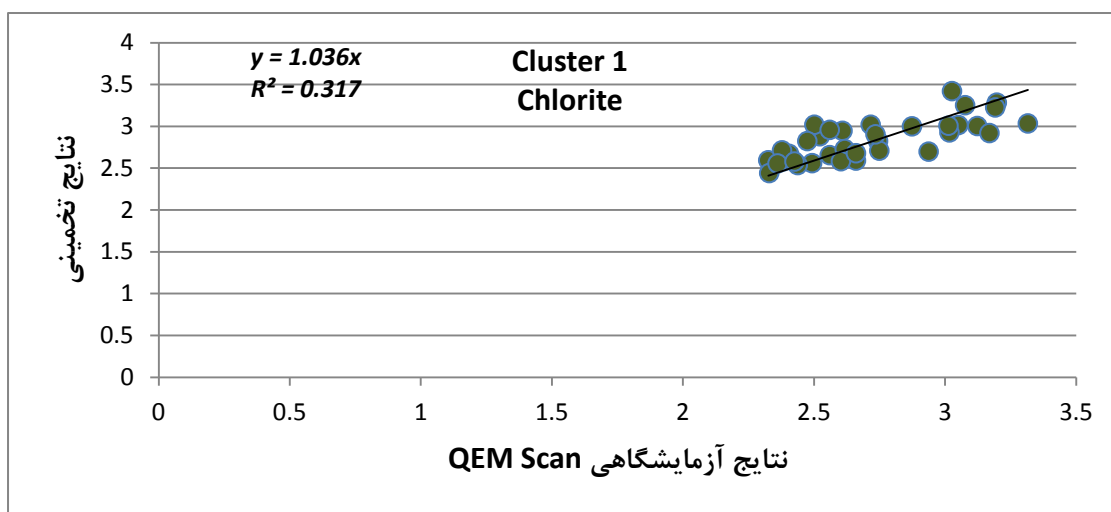
شکل ۴-۱۵ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی اول



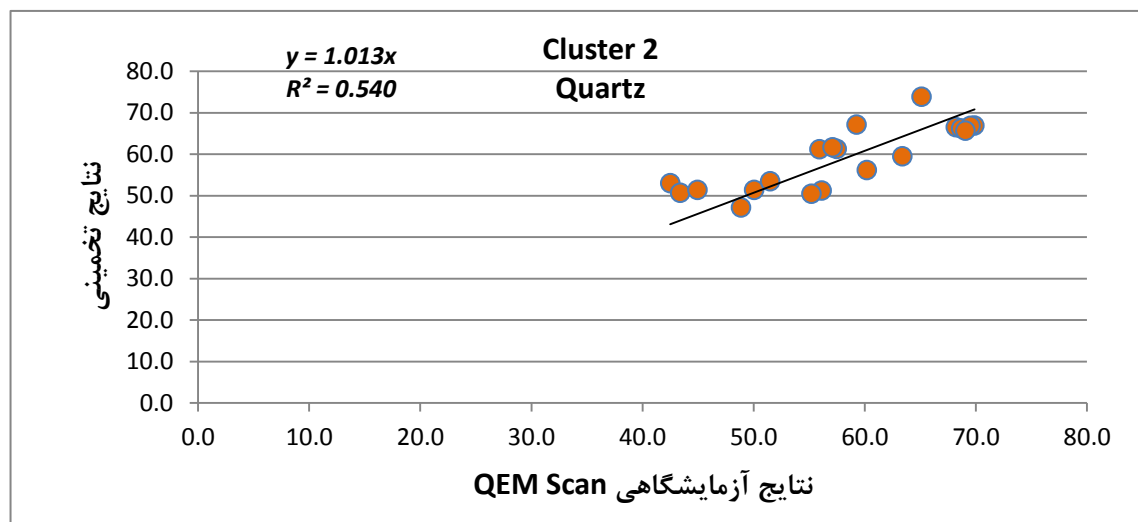
شکل ۴-۱۶ نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی اول



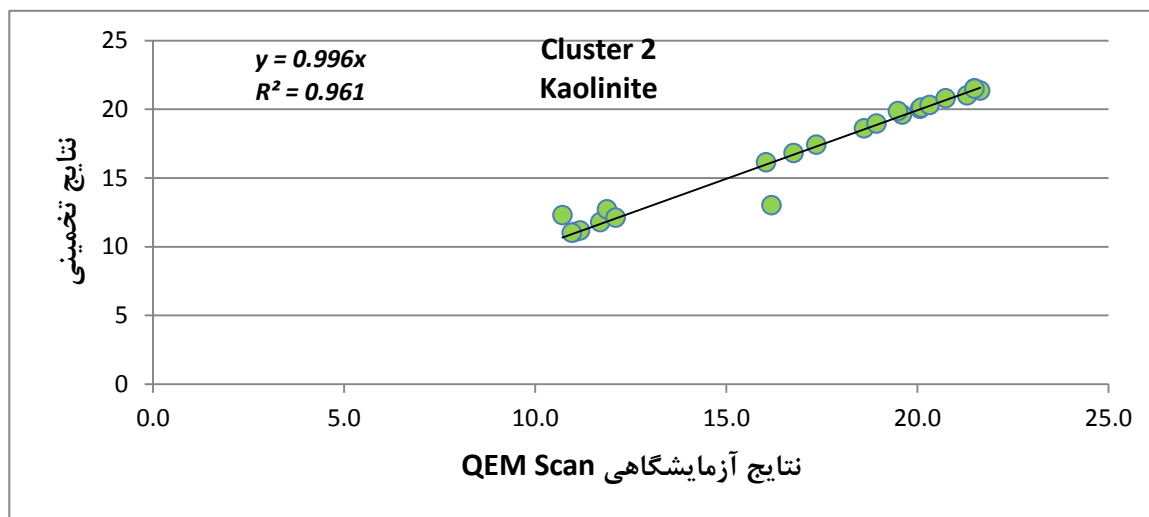
شکل ۴-۱۷ نتایج تخمینی پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی اول



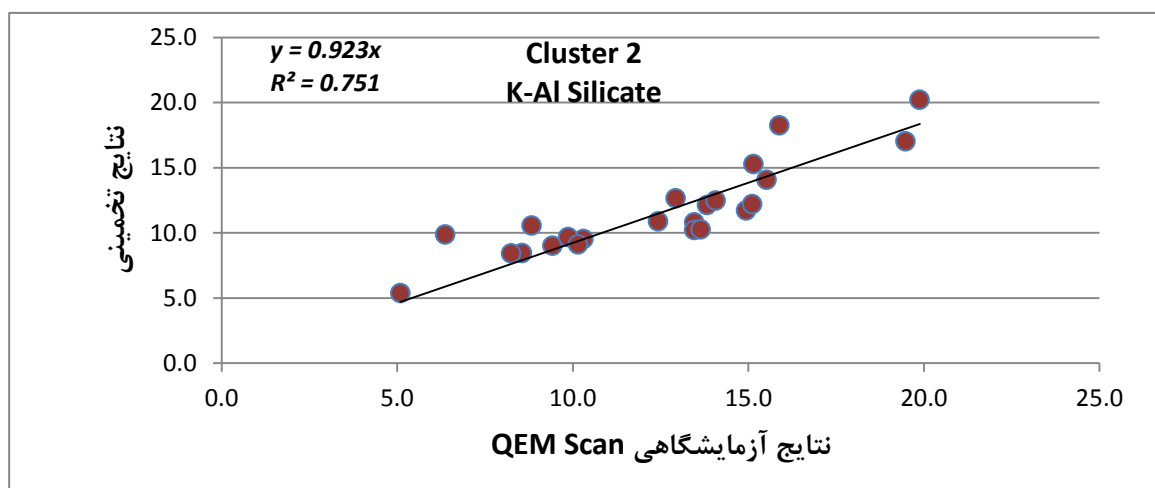
شکل ۴-۱۸ نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی اول



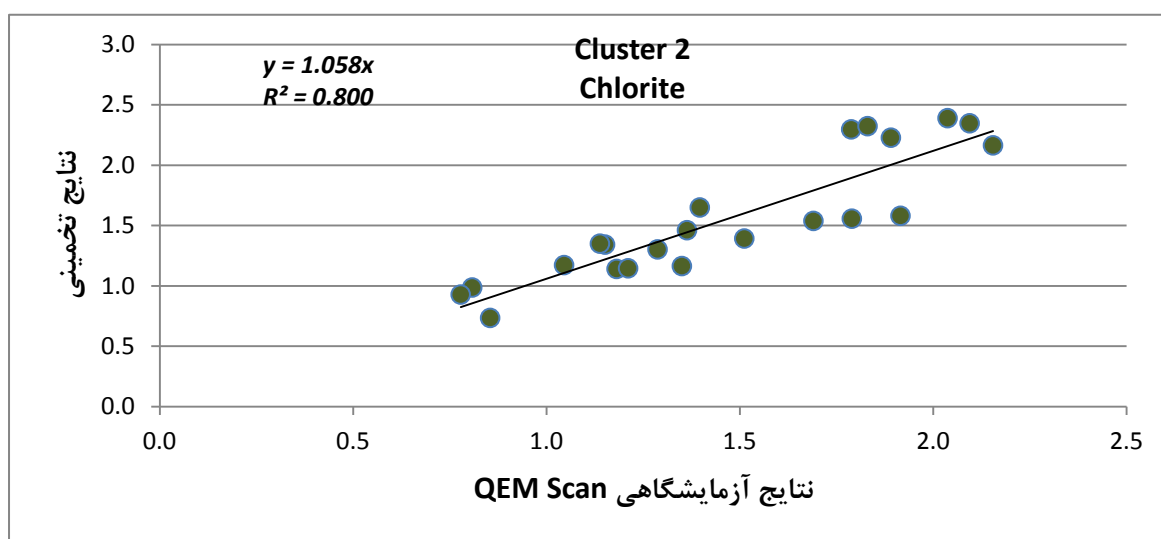
شکل ۴-۱۹ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی دوم



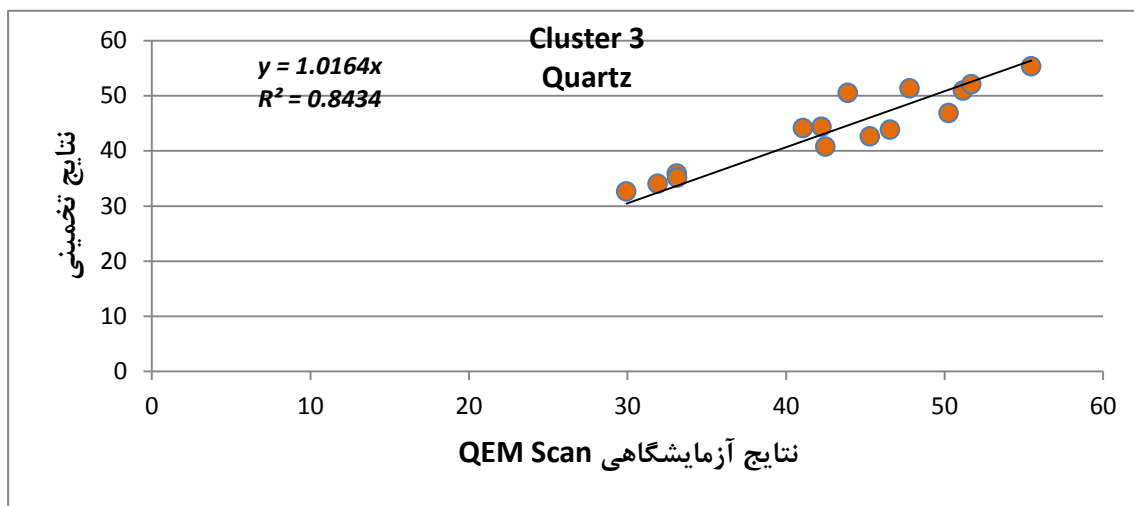
شکل ۴-۲۰ نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی دوم



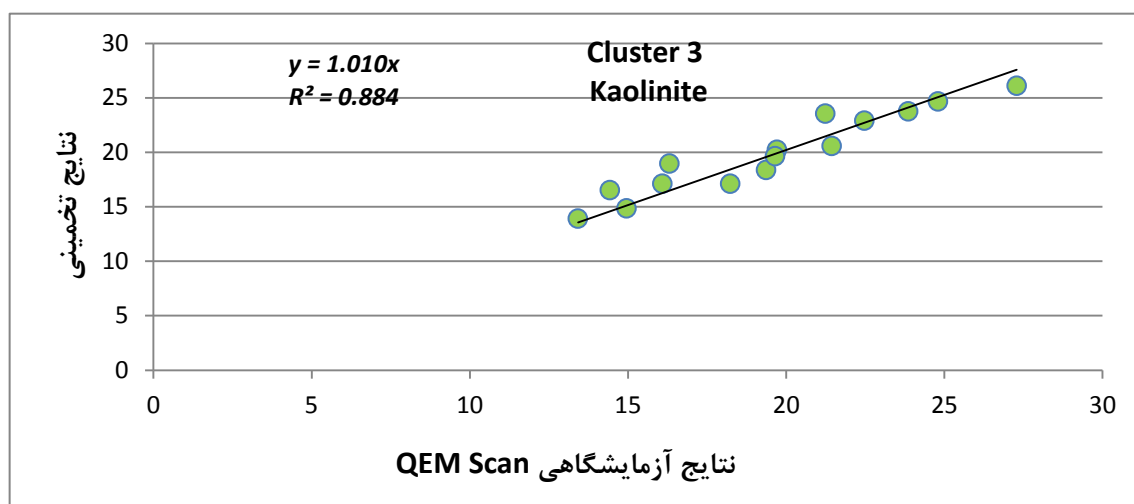
شکل ۴-۲۱ نتایج تخمینی پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی دوم



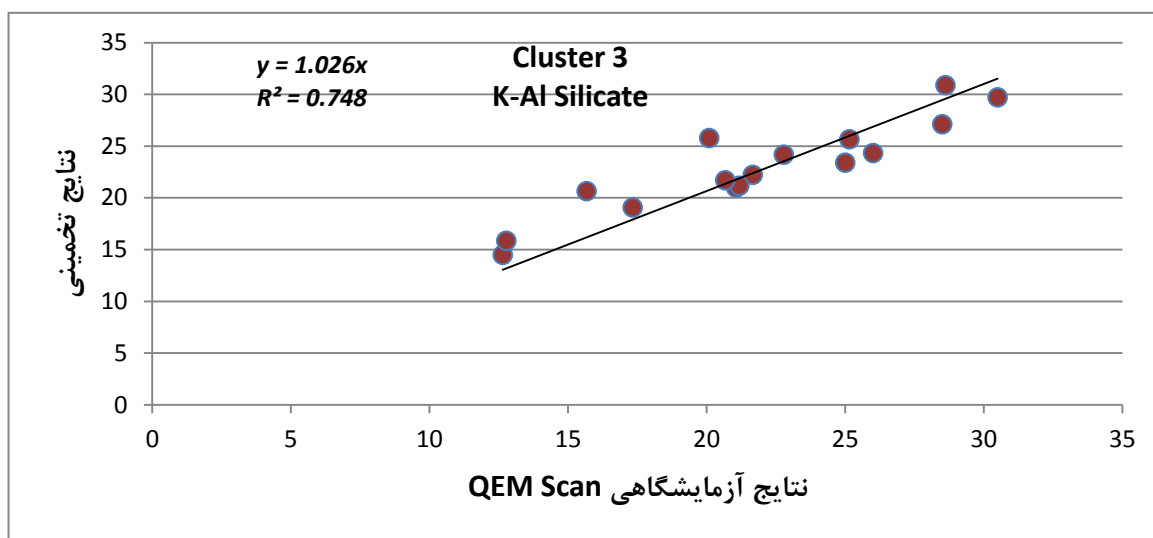
شکل ۴-۲۲ نتایج تخمینی پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی دوم



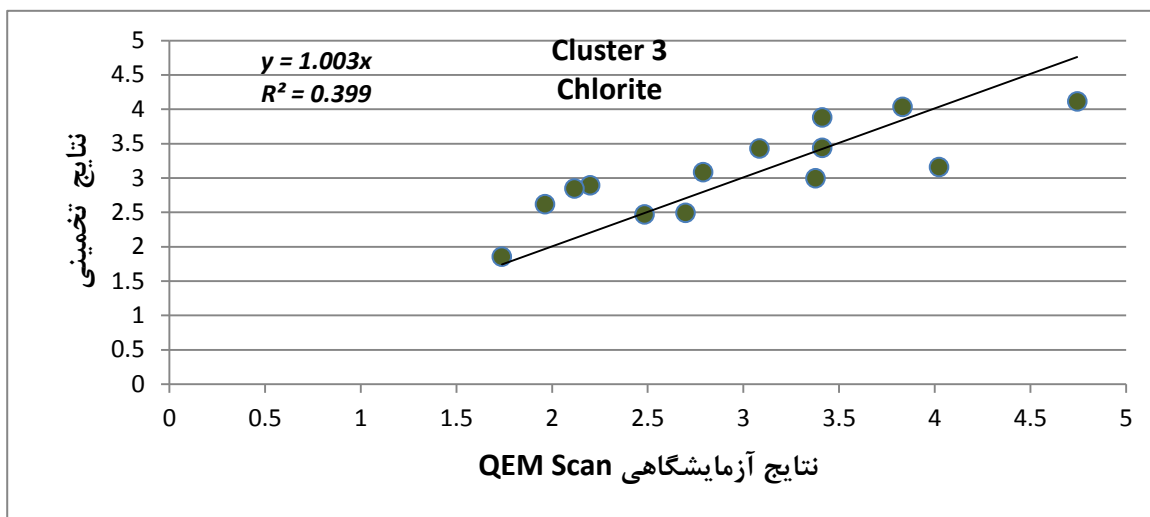
شکل ۴-۲۳ نتایج تخمینی کوارتز در خوشه‌ی سوم



شکل ۴-۲۴ نتایج تخمینی کائولینیت در خوشه‌ی سوم



شکل ۴-۲۵ نتایج تخمینی پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات در خوشه‌ی سوم



شکل ۴-۲۶ نتایج تخمینی کلریت در خوشه‌ی سوم

در کل نتایج به‌دست آمده از تخمین لولیموت با سه خوشه در جدول ۴-۳ خلاصه شده‌است.

جدول ۳-۴ نتایج تخمین گر لولیموت در آنالیز گوستافسون کسپل سه خوشه‌ای					
	انحراف معیار داده‌های آموزشی در سطح اعتماد ٪۶۸	انحراف معیار داده‌های تست در سطح اعتماد ٪۶۸	همبستگی کل (داده‌های آموزش و تست)	خط تخمین گر کل داده‌ها/داده‌های آموزش و تست)	
خوشه‌ی ۱	کوارتز	۵/۷	۱۰/۸	۰/۶۸۹	$Y=0.971X$
	کائولینیت	۱/۴	۳/۸	۰/۷۸۱	$Y=1.0.16X$
	K-Al سیلیکات	۱/۶	۴	۰/۷۱۹	$Y=0.993X$
	کلریت	۰/۴۳	۰/۹	۰/۳۱۷	$Y=1.036X$
خوشه‌ی ۲	کوارتز	۸	۱۴	۰/۵۴	$Y=1.013X$
	کائولینیت	۲	۴/۳	۰/۹۶۱	$Y=0.996X$
	K-Al سیلیکات	۱/۴۵	۲/۵	۰/۷۵۱	$Y=0.923X$
	کلریت	۰/۱۷	۰/۳۵	۰/۸	$Y=1.058X$
خوشه‌ی ۳	کوارتز	۴/۵	۸/۸	۰/۸۴۳	$Y=1.016X$
	کائولینیت	۱	۳/۸	۰/۸۸۴	$Y=1.010X$
	K-Al سیلیکات	۱/۴	۳/۴	۰/۷۴۸	$Y=1.026X$
	کلریت	۴/۵	۸/۸	۰/۸۴۳	$Y=1.016X$

همانطور که در جدول ۳-۴ مشخص است نتایج حاصل از آنالیز سه خوشه‌ای نتایج بهتری را به دست می‌دهد. البته به دلیل درصد پایین کلریت در آنالیزهای آزمایشگاهی، نتایج همبستگی عدد بالایی را نشان نمی‌دهد، اما با نگاه به انحراف معیار داده‌های تست در سطح اعتماد ۰/۶۸، ۰/۹ خطا به دست می‌آید، که نتیجه‌ی بسیار مناسبی است.

در تمام تخمین‌ها جهت تعیین ضریب K که ضریب ثابت در تخمین‌گر لولیموت است اعداد بین ۰/۳ تا ۰/۵ بهترین نتیجه را حاصل کردند، همچنین تعداد مدل‌ها به دلیل کم بودن تعداد داده‌ها در خوشه‌ها در حالت‌های بهینه بین ۳ تا ۵ مدل به دست آمد. با زیاد شدن تعداد مدل‌ها خطا در داده‌های تست به طور صعودی پیشرفت می‌کرد و همچنین با کم کردن تعداد مدل‌ها خطا هم در داده‌های تست و هم در داده‌های آموزشی بالا می‌رفت، بنابراین به تعداد بهینه‌ای مدل نیاز بود که در این جا بین ۳ تا ۵ مدل استفاده شده است.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

- مزیت استفاده از روش تبدیل موجک پیوسته در شناسایی سازندها نسبت به دیگر روش‌ها، سرعت بالا، در دسترس بودن، عدم وابستگی شدید به کارشناس خبره است.
- استفاده از تک نگار نوترون و تحلیل آن با موجک پیوسته‌ی کلاه مکزیکی توانست با دقت بیش از ۹۵٪ سازندهای سه چاه را از یکدیگر جدا نماید.
- خوشه‌بندی و همگن‌سازی مساعد محیط ناهمگن تخمین، باعث تخمین مناسب‌تر مینرالوژی می‌شود.
- با استفاده از الگوی دو خوشه‌ای گوستافسون-کِسل در داده‌های سازند *IRCM* و با تخمین درصد کانی‌ها با تخمین‌گر لولیموت به موفقیت میانگین نسبی ۷۷٪ کوارتز، ۸۱٪ کائولینیت، ۸۱٪ پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات و ۷۶٪ کلریت در داده‌های تخمینی تست رسیده‌شد.
- با استفاده از الگوی سه خوشه‌ای گوستافسون-کِسل در داده‌های سازند *IRCM* و با تخمین درصد کانی‌ها با تخمین‌گر لولیموت به موفقیت میانگین نسبی ۷۷٪ کوارتز، ۸۰٪ کائولینیت، ۸۳٪ پتاسیم-آلومینیوم سیلیکات و ۷۲٪ کلریت در داده‌های تخمینی تست رسیده‌شد.
- از آن‌جا که روش‌های قدیمی نظیر کراس‌پلات‌ها با دقت بسیار پایین فقط تعدادی از کانی‌ها را تخمین می‌زنند، این روش در صورت تعمیم یافتن در دیگر سازندها می‌تواند روشی بسیار مناسب‌تر جهت جایگزینی باشد.

۵-۲ پیشنهادات

- مطالعه در مورد یافتن موجک مادر بهینه جهت جدایش سازندها پیشنهاد می‌شود.
- مطالعه در مورد یافتن بهترین بازه‌ی مقیاسی برای جدایش سازندها پیشنهاد می‌شود.
- مطالعه در مورد یافتن اثر انگشت یا نشانه‌ای برای هر سازند جهت تشخیص اتوماتیک سازند، بر اساس انرژی موجک در بازه‌ی مقیاسی بهینه پیشنهاد می‌شود.
- مطالعه در مورد یافتن تأثیر ضخامت و فاصله در جدایش سازندها پیشنهاد می‌شود.
- مقایسه‌ی نتایج الگوریتم‌های خوشه‌بندی گوستافسون کسِل با میانگین فازی C و الگوریتم گاث جوا^۱ جهت انتخاب الگوریتم بهینه در جدایش فازهای سنگی در یک سازند پیشنهاد می‌شود.
- استفاده از الگوریتم‌های هوشمند نظیر شبکه عصبی یا هندسی نظیر ماشین پشتیبان جهت تخمین داده‌ها و مقایسه‌ی نتایج با لولیموت پیشنهاد می‌شود.
- مقایسه‌ی نتایج با نتایج نرم‌افزار *Geolog* که از روش *Multi Min* در تخمین لیتولوژی استفاده می‌کند.
- تعمیم روش در خصوص ۱۰ چاه دیگر منطقه‌ی کلیف‌هد در سازند ابروین ریور پیشنهاد می‌شود.

¹.Gath- Geva

منابع

رضایی م، چهارزی ع، ۱۳۸۹، "اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی"، جلد اول، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران

چهارزی، ع، رضایی، م، ۱۳۸۰، "کاربرد کامپیوتر در زمین شناسی نفت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده‌ی علوم، گروه زمین شناسی

Addison P., 2002, "The illustrated wavelet transform handbook", the institute of physics London.

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

Baldwin, J.L., Bateman, R.M., and Wheatley, C.L., 1989a, "Application of a neural network to the problem of mineral identification from well logs", paper U, in 3rd International Symposium on Borehole Geophysics for Minerals, Geotechnical, and Groundwater Applications, proceedings: Society of Professional Well Log Analysts, Minerals and Geotechnical Logging Society, Chapter-at-Large, p. 337-347. Later published in 1990, The Log Analyst, v. 31, no. 5, September-October, p. 279-293.

Baldwin, J.L., Otte, D.N., and Bateman, R.M., 1989b, "Computer emulation of human mental processes; application of neural network simulators to problems in well log interpretation, in Artificial Intelligence in Petroleum Exploration and Production", proceedings: Texas A&M University, College Station, p. 145-175. Also published in 1989 as SPE-19619, in SPE Annual Technical Conference and Exhibition Proceedings, v. omega, Formation Evaluation and Reservoir Geology: Society of Petroleum Engineers, p. 481-493.

Ballard, B.D., 2007, "Quantitative mineralogy of reservoir rocks using Fourier Transform Infrared Spectroscopy": SPE 113023-STU, Proceeding of SPE annual technical conference, Anaheim, California, 11-14 November 2007

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

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

Clarke, E. de C., Prendergast, K. L., Teichert, C., and Fabridge, R. W., 1951, Permian succession and structure in the northern part of the Irwin Basin, Western Australia: Royal Society of Western Australia, Journal, v. 12, p. 161-178.

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

Cuddy, S., 1997, "The application of the mathematics of fuzzy logic to petrophysics": SPWLA, 38th annual logging symposium, 15-18 June.

D.E. Gustafson and W.C. Kessel. 1979, "Fuzzy clustering with fuzzy covariance matrix". In Proceedings of the IEEE CDC, San Diego, pages 761-766.

Derek, H., Johns, R., and Pasternack, E., 1990, Comparative study of backpropagation neural network and statistical pattern recognition techniques in identifying sandstone lithofacies, in 1990 Conference on Artificial Intelligence in Petroleum Exploration and Production, proceedings: Texas A&M University, College Station, p. 41-49.

Derek, H., Johns, R., and Pasternack, E., 1990, "Comparative study of backpropagation neural network and statistical pattern recognition techniques in identifying sandstone lithofacies", in 1990 Conference on Artificial Intelligence in Petroleum Exploration and Production, proceedings: Texas A&M University, College Station, p. 41-49.

Doveton, J. H., and Prensky, S. E., 1992, "Geological Applications of Wireline Logs": The Log Analyst, V. 33, no. 3, P. 286-303 A Synopsis of Developments and Trends

Doveton, J., 1994, "Geologic log analysis using computer methods": Computer applications in geology, AAPG, No.2.

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

Doveton, J.H., 1991, "Lithofacies and geochemical-facies profiles from nuclear wireline logs, in Franseen", E.K., Watney, W. L., Kendall, C. J., and Ross, W., eds., Sedimentary Modeling--Computer Simulations and Methods for Improved Parameter Definition: Kansas Geological Survey Bulletin 233, p. 101-110.

Dunn, J. C., 1974, "Well-separated clusters and optimal fuzzy partitions". Journal of cybernetics, 4(1), 95-104.

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

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

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

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

Gustafson, D. E., & Kessel, W. C., 1978, "Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix". In *Decision and Control including the 17th Symposium on Adaptive Processes*, 1978 IEEE Conference on (Vol. 17, pp. 761-766). IEEE.

Hall, P. B., 1989, *The future prospectivity of the Perth Basin: APEAJournal* 29(1), p. 440–449.

Hall, R. L., 1989, *Lower Bajocian ammonites (Middle Jurassic; Soninniidae) from the Newmarracarra Limestone, Western Australia: Alcheringa*, v. 13 (1–2), p. 1–20.

Hambalek, N., and Gonzalez, R., 2003, "Fuzzy logic applied to lithofacies and permeability forecasting": SPE 81078, presented at SPE Latin American Caribbean petroleum engineering conference, Tirinidada, west Indies, 27-30 April

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

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

Iasky, R. P., 1995, *Onshore north Perth Basin gravity project: WesternAustralia Geological Survey, Annual Review 1993–94*, p. 92–98.

Iasky, R. P., and Mory, A. J., 1994, *Structural and tectonicframework of the onshore northern Perth Basin: Australian Societyof Exploration Geophysicists, Journal*, v. 24, p. 585–592.

Bezdek J. C., 1981,"Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms".Plenum Press.

Bezdek J.C. and Dunn. J.C.,1975, "Optimal fuzzy partitions: A heuristic for estimating the parameters in a mixture of normal distributions". IEEE Transactions on Computers, pages 835-838.

Kale, S., Rai, C.S., and Sondergeld, C.H., 2010 "Petrophysical characterization of Barnett shale": Paper 131770, Proceedings of SPE unconventional gas conference, Pittsburgh, Pennsylvanis, 23-25 February, 2010.

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

Lemmens, H.J., Butcher, A.R., and Botha, P.W.S.K., 2010, " FIB/SEM and automated mineralogy for core and cutting analysis": SPE 136327, proceedings of SPE Russian oil & gas technical conference, Moscow, Russia, 26-28 October 2010

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

McIntosh, D., 1980, Aspects of the geology of the Irwin River Coal Measures in the type area, Irwin Sub-basin, Western Australia:University of Western Australia, BSc thesis (unpublished).

Michelle, 1999," Seismic Bathymetry Information, Northern Perth Basin", Western Australia. Premier Oil, Unpublished Report

Mitchell, W.K., and Nelson, R.J., 1988, "A practical approach to statistical log analysis", in 29th Annual Symposium Transactions: Society of Professional Well Log Analysts, 20 p. Later published in 1991 as, Statistical log analysis made practical: World Oil, v. 212, no. 6, p. 115-119.

Morlet J., Arens G., Fourgeau E., Giard D., 1982, "Wave Propagation and Sampling Theory part II-Complex Waves", SEG, v. 47, Issue 2, p. 222-236.

Mory , A. J., 1994a, "Geology of the Hill River–Green Head 1:100 000 Sheet: Western Australia Geological Survey", 1:100 000 Geological Series Explanatory Notes.

Mory , A. J., 1994b, "Geology of the Arrowsmith–Beagle Islands 1:100 000 Sheet: Western Australia Geological Survey", 1:100 000 Geological Series Explanatory Notes.

Mory, A. J., 1995a, "Geology of the Dongara–Mingenew 1:100 000 Sheet: Western Australia Geological Survey", 1:100 000 Geological Series Explanatory Notes.

Mory, A. J.,1995b., "Geology of the Wedge Island 1:100 000 Sheet: Western Australia Geological Survey", 1:100 000 Geological Series Explanatory Notes.

Mory, A. J., and Iasky, R. P., 1994, "Structural evolution of the onshore northern Perth Basin, Western Australia", in *West Australian Basins* edited by P. PURCELL and R. PURCELL: Petroleum Exploration Society of Australia Symposium, Perth, 1994, Proceedings, p. 781–789.

Mory, A.J. and Iasky, R.P., 1996, "Stratigraphy and structure of the onshore northern Perth Basin, Western Australia": Geological Survey of Western Australia, Report 46.

Nelles, O., 2000, *Nonlinear system identification: from classical approaches to neural networks and fuzzy models*. Springer.

Oppenheim A.V., Lim J.S. , 1981, "Importance of Phase in Signals", *Proceedings of the IEEE*, Vol.69, No.5, May 1981.

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

Pemper, R., Han, X., Mendez, F., Jacobi, D., LeCompte, B., Bratovich, M., Feuerbacher, G., Bruner, M., and Bliven, S., 2009, "The direct measurement of carbon in wells containing oil and natural gas using pulsed neutron mineralogy tool", SPE 124234, proceedings on SPE annual technical conference and exhibition New Orleans, Louisiana, U.S.A., 4-7 October 2009

Playford, G., 1959, "Permian stratigraphy of the Woolaga Creek area, Mingenew District, Western Australia": *Royal Society of Western Australia, Journal*, v. 42, no. 1, p. 7–29.

Playford, P. E., and Willmotts, S. P., 1958, "Stratigraphy and structure of the Perth Basin", *West Australian Petroleum Pty Ltd, Report (unpublished)*, Western Australia Geological Survey, S-series report S103.

Playford, P. E., Cockbain, A. E., and Low, G. H., 1976, "The geology of the Perth Basin, Western Australia: Western Australia Geological Survey", *Bulletin* 124.15.

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

Robail F., Rabiller P. & Schulbaum L. 2001, "Sedimentary Bodies Identification Using the Phase Coefficients of the Wavelet Transform": SPWLA, proceeding at 42nd Annual Logging Symposium, 17-20 June.

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

Rogers S.J., Fang J.H., Karr C.L., and Stanley D.A., 1992, "Determination of lithology from well logs using a neural network": AAPG Bulletin, v. 76, no. 5, p. 731-739.

Rogers, S.J., Fang, J.H., Karr, C.L., and Stanley, D.A., 1992, "Determination of lithology from well logs using a neural network": AAPG Bulletin, v. 76, no. 5, p. 731-739.

Ruessink, B.H., and Harville, D.G., 1992, "Quantitative analysis of bulk mineralogy: The applicability and performance of XRD and FTIR": SPE 23828, proceedings of SPE symposium on formation damage control, Lafayette, Louisiana, 26-27 February 1992

Rui-Lin, L., Chen-Dang, Z., Zhen-Wu, J., 1992, "Lithofacies sequence recognition from well logs using Time-Delay neural networks": SPWLA 33rd Annual Logging Symposium, June 14-17.

Schumberger, 1989, "Schumberger log interpretation charts", Hutson, Texas.

Serra, O., 1984, "Fundamentals of well-log interpretation v. 1--the acquisition of data: Elsevier": New York, Developments in Petroleum Science No. 15A, 423 p.

Serra, O., 1985, "Sedimentary environments from wireline log's: Schlumberger Technical Services, Paris, Document No. M-081030/SMP-7008, 211 p. (Extracted from Serra, O., 1986, Fundamentals of well-log interpretation v. 2--the interpretation of logging data, chapters 4-6: Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Developments in Petroleum Science No. 15B, 684 p.

Serra, O., 1986, "Fundamentals of well-log interpretation v. 2--the interpretation of logging data: Elsevier Science Publishers", Amsterdam, Developments in Petroleum Science No. 15B, 684 p.

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

Shin-Ju Ye., 2000, "A new tool for electro-facies analysis: Multi-Resolution Graph base clustering": SPWLA, 41st annual logging symposium, 4-7 June.

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

Teixeria, R., Braga, I., Biorio, F., Loures, L., 2007, "Bayesian characterization of subsurface lithofacies and saturation fluid": SPE 108027, presented at SPE annual conference, Buenos Aires, Argentina, 15-18 April.

Thomas, B. M., 1979, "Geochemical analysis of hydrocarbon occurrences in the northern Perth Basin", Australia: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 63, p. 1092–1107.

Wang Da-Li, Xin-miao, H., Qing-yuan, 1994, "Multidimensional crossplot with image vision technique: application in complex lithological reservoirs": SPWLA 35th annual logging symposium, June 19-22

Xie X. L. and Beni G. A., 1991, "Validity measure for fuzzy clustering". IEEE Trans. PAMI, 3(8):P: 841-846.

Abstract

One of the main part of reservoir studies is rocks measuring. Regard to the scale of studying this step divides to many sub steps from formation to mineralogy. There are varieties of approaches to measure or estimate sub steps. For formation scale petrophysists apply some methods such as seismic studies, pattern recognition and geology based supervising. In addition, to extend it to larger scales as a indirect perspective cross plots, matrices, pattern recognition algorithms are applied, and as a direct perspective XRD, ED-XRF, WD-XRF, FTIR, SEM, QEM Scan are applied. In this thesis continuous wavelet transforms are applied to discrete formations and to extend it to larger scales in a known formation electrofacies are separated by Gustafson-Kessel algorithm, as a result, to estimate mineralogy LOLIMOT estimator algorithm is utilized to estimate main minerals percent of the formation. Thesis data were driven from three wells of Cliffhead oil field in Australia; the mineralogy data which evaluate thesis were driven from QEM Scan cores of Cliffhead number 1, 2 and 4. At last but not least, the results shows more than 95% agreement in formation scale, and got average success of 80% in main mineralogies estimation.

Key Words: *Continuous Wavelet Transform, Formation detection, Mineralogy Estimation, Electrofacies, Gustafson-Kessel, LOLIMOT, Shale gas*



Shahrood University of Technology
Department of Mining, Petroleum & Geophysics
Faculty of Exploration Engineering

***Developing a new approach for mineralogy estimation using
petrophysical well logs, case study: Perth shale gas field, Western
Australia***

Mohammad Javad Majlesi Koupaei

Supervisors:

Dr. Behzad Tokhmechi

Dr. Mohammad Reza Rezaee

advisor:

Dr. Nader Fathianpour

February 2013