

اللَّهُمَّ
الْحَمْدُ لَكَ
الْحَمْدُ لَكَ
الْحَمْدُ لَكَ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

ارائه مدلی هوشمند برای ردیابی لایه‌های شیلی با محتوای کربن آلی بالا با استفاده از
نشانگرهای لرزه‌ای و شبکه‌های عصبی

معصومه عزیزی

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیایی

دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

اساتید مشاور:

دکتر احمد واعظیان

مهندس جواد قیاسی فریز

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۹۴

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه: نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم معصومه عزیزی

تحت عنوان: ارائه مدلی هوشمند برای ردیابی لایه‌های شیلی با محتوای کربن آلی بالا با

استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای و شبکه‌های عصبی

در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۸ 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 احمد واعظیان		دکتر منصور ضیایی
	مهندس جواد قیاسی فریز		دکتر مهرداد سلیمانی منفرد

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
			دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی
			دکتر امین روشندل کاهو

با احترام؛

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

و، همسر مهربانم

مَشکُر و قدردانی

ضمن سپاس و ستایش به درگاه ایزدمنان که به من توانایی داد که با استعانت از او بتوانم این پژوهش را انجام دهم، بر خود لازم می‌دانم از دگر می و تشویق اساتید و دوستان که در نگارش این مجموعه مرایاری نمودند، قدردانی نمایم:

جناب آقای دکتر ضیایی، استاد راهنما، که در طول نگارش این مجموعه بارها بهایی‌های عالمانه و بجایشان، سکانداری‌اش ایدهدایت این پایان‌نامه بوده‌اند و دکتر سلیمانی که با حسن خلق و فروتنی از هیچ‌کلی دریغ ننمودند و دلسوزانه مرا همراهی کردند، مَشکُر و سپاسگزاری می‌نمایم. جناب آقای دکتر احمد واعظیان و دکتر قیاسی اساتید مشاور، که با سه صدر مشاوره این تحقیق را پذیرفتند و در طول نگارش این مجموعه، همواره از نظرات کارشناسانه‌شان، بهره‌جستم.

و در خاتمه از دوست ارجمندم خانم خدیجه رنجبر و دیگر دوستانی که مراد انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی و مَشکُر می‌نمایم. وظیفه خود می‌دانم که از پدر و مادر مهربانم بخاطر زحمات و از خودگذشتگی‌هایشان در مسیر انجام این تحقیق مَشکُر و قدردانی کنم و مَشکُر ویژه از خواهر عزیز و همسر مهربانم که در تمام طول مسیر همراه و همگام من بوده‌اند.

با آرزوی موفقیت و بهروزی

معصومه غزیری

تعهد نامه

اینجانب معصومه عزیزی خالخیلی دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی اکتشاف نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده‌ی پایان‌نامه ارائه مدلی هوشمند برای ردیابی لایه‌های شیلی با محتوای کربن آلی بالا با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای و شبکه‌های عصبی تحت راهنمایی دکتر منصور ضیایی و دکتر مهرداد سلیمانی منفرد متعهد می‌شوم؛

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

۱۳۹۴/۱۱/۲۸

معصومه عزیزی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

آگاهی دقیق از پارامترهای ژئوشیمیایی سنگ منشأ جهت پیش‌بینی عملکرد آینده میدان نفتی لازم است. یکی از این پارامترها، کل کربن آلی (*Total Organic Carbon*) آن است. بنابراین جهت افزایش دقت در تخمین این پارامتر نیاز به بهبود روش‌های مدل‌سازی آن است.

هدف اصلی این مطالعه تعیین زون‌های غنی از ماده آلی (ردیابی لایه‌های شیلی) است که با ایجاد ارتباطی بین داده‌های پتروفیزیکی، آنالیزهای ژئوشیمیایی و داده‌های لرزه‌ای انجام می‌گیرد. با توجه به پوشش وسیع‌تر داده‌های لرزه‌ای نسبت به نگارهای چاه‌پیمایی، در این مطالعه سعی شده با تلفیق داده‌های مختلف از جمله ژئوشیمیایی، پتروفیزیکی و نشانگرهای لرزه‌ای نسبت به تخمین *TOC* اقدام و چگونگی توزیع *TOC* را علاوه بر چاه‌ها، در حد فاصل بین آن‌ها نیز بررسی نموده و لایه‌های شیلی با محتوای کربن آلی بالاتر شناسایی شوند.

ابتدا پتانسیل ژئوشیمیایی، نوع کروژن و نوع هیدروکربور تولیدی سازند کژدمی در سه چاه در یکی از میداین خلیج فارس، مورد بررسی قرار گرفتند و سپس به تخمین *TOC* با استفاده از روش $\Delta \log R$ پرداخته و مقادیر حاصل از آنالیز راک-ایول با مقادیر تخمینی مقایسه شد. پس از این مرحله به آموزش شبکه عصبی پرداخته شد که این شبکه با داشتن خطای میانگین مربعات $MSE = 0.048$ و میزان همبستگی (R) ۸۲ درصد نسبت به داده‌های آزمون و ۹۰ درصد نسبت به داده‌های اعتبارسنجی تخمینگر مناسبی بوده است و تا حدودی قادر به تشخیص لایه‌های شیلی با محتوای کل کربن آلی بالا می‌باشد.

سپس با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی به بررسی لیتولوژی سازند پرداخته شد. بدین منظور به کمک کراس‌پلات‌های مرتبط، لیتولوژی سازند که از ارزیابی پتروفیزیکی به‌دست آمده مورد تایید قرار گرفت تا به‌وسیله آن‌ها لایه‌های با محتوای کربن آلی بالا ردیابی شوند. همچنین از پارامترهای تخلخل و حجم شیل حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی نیز استفاده شد. در پایان نیز با استفاده از نگارهای تصحیح شده (تصحیحات محیطی) و به‌کمک داده‌های لرزه‌ای دوبعدی، نشانگرهای لرزه‌ای در سه چاه استخراج شده

و مقطع ژئوشیمیایی-لرزه‌ای *TOC* را به‌دست آورده که روش MLFN با میزان همبستگی ۷۵ درصد نسبت به داده‌های آموزش و ۴۸ درصد نسبت به داده‌های اعتبارسنجی بهترین عملکرد را داشته و فواصل خیلی که دارای محتوای کربن آلی بالاتری بودند شناسایی شده‌اند.

کلمات کلیدی: کل کربن آلی (*TOC*)، تعیین لیتولوژی، ارزیابی پتروفیزیکی، پیرولیز راک-اویل، نشانگرهای لرزه‌ای

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

عزیزی م.، ضیایی م.، سلیمانی م.، واعظیان ا.، قیاسی ج.، ۱۳۹۴، «تعیین نوع لیتولوژی به منظور ردیابی لایه‌های با محتوای کربن آلی بالا با استفاده از کراس پلات‌های مرتبط» پنجمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صداوسیما.

۱	فصل اول: کلیات و مروری بر مطالعات پیشین
۲	۱-۱ مقدمه
۶	۲-۱ مروری بر مطالعات پیشین
۹	۳-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه
۱۰	۴-۱ اهداف پایان نامه و روش تحقیق
۱۱	۵-۱ ساختار پایان نامه
۱۳	فصل دوم: مبانی و مفاهیم تحقیق
۱۴	۱-۲ مقدمه
۱۵	۲-۲ چاه پیمایی
۱۵	۱-۲-۲ اثر شیل ها بر نگارهای چاه پیمایی
۱۶	۲-۲-۲ محاسبه حجم شیل
۱۷	۳-۲-۲ تخلخل شیل .
۱۹	۳-۲ ژئوشیمی آلی
۲۰	۱-۳-۲ ارزیابی سنگ منشأ
۲۰	۱-۳-۲-۱ سنگ منشأ
۲۰	۲-۳-۲ شرایط لازم برای تشکیل نفت
۲۰	۳-۳-۲ تولید هیدروکربن از سنگ منشأ با افزایش عمق تدفین
۲۱	۴-۳-۲ روش های آزمایشگاهی به منظور ارزیابی سنگ منشأ
۲۳	۵-۳-۲ تخمین مقدار کل کربن آلی
۲۴	۶-۳-۲ توان هیدروکربن زایی و نوع هیدروکربن
۲۴	۴-۲ تخمین TOC با روش $\Delta \log R$
۲۸	۵-۲ شبکه های عصبی مصنوعی
۲۹	۱-۵-۲ تاریخچه شبکه عصبی مصنوعی
۳۰	۲-۵-۲ ساختار شبکه های عصبی مصنوعی

۳۱	۳-۵-۲ ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی
۳۲	۴-۵-۲ طراحی شبکه عصبی پس انتشار
۳۲	۱-۴-۵-۲ معرفی شبکه پرسپترون
۳۲	۲-۴-۵-۲ پرسپترون چندلایه
۳۳	۳-۴-۵-۲ مزایای شبکه‌های پرسپترون چند لایه
۳۳	۴-۴-۵-۲ معایب شبکه‌های پرسپترون چند لایه
۳۳	۵-۴-۵-۲ الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا
۳۴	۵-۵-۲ الگوریتم لونبرگ-مارکوارت
۳۵	۶-۵-۲ آنالیز با شبکه عصبی پیش‌خور چندلایه
۳۶	۷-۵-۲ آنالیز با شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی
۳۶	۸-۵-۲ آنالیز با شبکه عصبی احتمالاتی
۳۷	۶-۲ لرزه‌شناسی
۳۷	۱-۶-۲ وارون‌سازی
۳۹	۲-۶-۲ مراحل انجام وارون‌سازی لرزه‌ای
۴۳	۳-۶-۲ انواع روش‌های وارون‌سازی
۴۶	۴-۶-۲ مقاومت صوتی
۴۶	۵-۶-۲ نشانگرهای لرزه‌ای
۴۸	۱-۵-۶-۲ نشانگرهای دامنه
۴۸	۲-۵-۶-۲ نشانگرهای فرکانس
۴۸	۳-۵-۶-۲ نشانگرهای فاز
۴۹	۴-۵-۶-۲ ترکیب نشانگرها
۵۰	۵-۵-۶-۲ انتخاب نشانگرهای مناسب
۵۱	فصل سوم: زمین‌شناسی منطقه، تحلیل داده‌ها و روش کار
۵۲	۱-۳ مقدمه
۵۳	۲-۳ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی خلیج فارس

۵۵	۳-۳ زمین‌شناسی میدان
۵۵	۱-۳-۳ زمین‌شناسی ساختمانی
۵۶	۲-۳-۳ شرایط رسوب‌گذاری
۵۸	۳-۳-۳ چین‌شناسی منطقه خلیج فارس
۵۸	۱-۳-۳-۳ سازند کژدمی
۶۱	۴-۳ ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ منشأ
۶۲	۱-۴-۳ بررسی پارامترهای ژئوشیمیایی
۶۳	۲-۴-۳ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه‌های مورد مطالعه
۶۳	۱-۲-۴-۳ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه A
۶۶	۲-۲-۴-۳ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه B
۶۷	۳-۲-۴-۳ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه C
۶۹	۵-۳ ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سنگ منشأ با کمک روش $\Delta log R$
۷۰	۱-۵-۳ استفاده از روش $\Delta log R$ برای تخمین TOC در چاه‌های مورد بررسی
۷۵	۶-۳ ارزیابی پتروفیزیکی
۷۶	۱-۶-۳ انواع کراس‌پلات‌ها به‌منظور تعیین لیتولوژی
۷۶	۱-۱-۶-۳ کراس‌پلات $RHOMA-UMA$
۷۷	۲-۱-۶-۳ کراس‌پلات $MID-Plot$
۸۳	۳-۱-۶-۳ کراس‌پلات نوترون-چگالی
۸۸	۲-۶-۳ تخمین حجم شیل
۹۰	۳-۶-۳ نتایج تخمین تخلخل کل
۹۱	۷-۳ طراحی شبکه عصبی برای تخمین TOC و توصیف الگوریتم آن
۹۱	۱-۷-۳ مراحل ساخت مدل شبکه عصبی
۹۱	۲-۷-۳ انتخاب داده‌های آموزشی و آزمون

۹۲	۳-۷-۳ آماده سازی داده های ورودی
۹۳	۳-۷-۴ تعریف خطا
۹۳	۳-۷-۵ تخمین مقادیر <i>TOC</i> در سازند کژدمی با استفاده از شبکه عصبی چند لایه
۹۸	۳-۸-۸ مراحل تخمین <i>TOC</i> با استفاده از نشانگرهای داخلی و خارجی
۱۱۳	۳-۸-۱ رابطه نگار چگالی و مقطع لرزه ای-ژئوشیمیایی <i>TOC</i>
۱۱۵	۳-۸-۲ رابطه نگار حجم شیل و مقطع لرزه ای-ژئوشیمیایی <i>TOC</i>
۱۱۷	۳-۸-۳ رابطه نگار صوتی و مقطع لرزه ای-ژئوشیمیایی <i>TOC</i>
۱۱۹	فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۲۰	۴-۱ نتیجه گیری
۱۲۲	۵-۲ پیشنهادات
۱۲۴	پیوست الف شرح نگارهای مورد استفاده و رابطه آن ها با <i>TOC</i>
۱۲۵	الف-۱ نگارهای چاه پیمایی
۱۲۵	الف-۱-۱ نگار گاما
۱۲۷	الف-۱-۲ نگار صوتی
۱۲۸	الف-۱-۴ نگار نوترون
۱۲۹	الف-۱-۵ نگار مقاومت ویژه
۱۳۱	پیوست ب شرح برخی نشانگرهای لرزه ای
۱۳۲	ب-۱ معرفی برخی از نشانگرهای پایه
۱۳۲	ب-۱-۱ پوش ردلرزه
۱۳۲	ب-۱-۲ مشتق اول پوش
۱۳۲	ب-۱-۳ مشتق دوم پوش
۱۳۳	ب-۱-۴ فاز لحظه ای
۱۳۳	ب-۱-۵ فرکانس لحظه ای

۱۳۴	ب-۱-۶ نشانگر مقاومت صوتی
۱۳۵	ب-۲ برخی از مقاطع نشانگرهای مرتبط با <i>TOC</i>
۱۳۹	پیوست ج: کراس پلات ها در سایر چاه ها
۱۴۸	منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ پارامترهایی که به وسیله دستگاه راک-ایول به دست می‌آیند. مهم‌ترین پارامترها S_1 ۲۴
 S_2 , S_3 و $Tmax$ می‌باشند.
- شکل ۲-۲ نمودار S_2 -TOC و مقادیر LOM برای کروژن‌های نوع ۲ و ۳ ۲۶
- شکل ۳-۲ نمودار استاندارد تخمین TOC به روش $\Delta \log R$ ۲۷
- شکل ۴-۲ نحوه آماده‌سازی داده‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین میزان مواد آلی به روش $\Delta \log R$ ۲۸
- شکل ۵-۲ نمای شماتیک از شبکه عصبی ساخته شده (سمت راست) بر مبنای سیستم بیولوژیک ۳۱
- شکل ۶-۲ نمونه‌ای از شبکه پیشخور دو لایه ۳۵
- شکل ۷-۲ تشکیل رد لرزه‌ای و برگردان لرزه‌ای ۳۹
- شکل ۸-۲ مراحل انجام وارون‌سازی لرزه‌ای ۳۹
- شکل ۹-۲ مدل اولیه مقاومت صوتی در این تحقیق ۴۳
- شکل ۱-۳ موقعیت بلوک‌های پنج‌گانه نفتی در خلیج فارس و دریای عمان ۵۴
- شکل ۲-۳ ستون چینه‌شناسی سازندهای خلیج فارس در سواحل ایرانی و عربی ۶۰
- شکل ۳-۳ الف نمودار S_1 -TOC در نمونه‌های مورد مطالعه چاه (A) ۶۴
- شکل ۴-۳ الف نمودار S_1+S_2 -TOC برای ارزیابی ژنتیکی سازند کژدمی در چاه (A) ۶۴
- شکل ۵-۳ الف نمودار S_2/S_3 -TOC جهت تعیین کیفیت و کمیت هیدروکربن‌های تولیدی در چاه (A) ۶۵
- شکل ۶-۳ الف نمودار تغییرات S_2 -TOC به منظور تعیین نوع کروژن در چاه (A) ۶۵
- شکل ۳-۳ ب نمودار S_1 -TOC در نمونه‌های مورد مطالعه چاه (B) ۶۶
- شکل ۴-۳ ب نمودار S_1+S_2 -TOC برای ارزیابی ژنتیکی سازند کژدمی در چاه (B) ۶۶
- شکل ۵-۳ ب نمودار S_2/S_3 -TOC جهت تعیین کیفیت و کمیت هیدروکربن‌های تولیدی در چاه (B) ۶۷
- شکل ۶-۳ ب نمودار تغییرات S_2 -TOC به منظور تعیین نوع کروژن در چاه (B) ۶۷
- شکل ۳-۳ ج نمودار S_1 -TOC در نمونه‌های مورد مطالعه چاه (C) ۶۸
- شکل ۴-۳ ج نمودار S_1+S_2 -TOC برای ارزیابی ژنتیکی سازند کژدمی در چاه (C) ۶۸

- شکل ۳-۵-ج نمودار S_T/S_T-TOC جهت تعیین کیفیت و کمیت هیدروکربن‌های تولیدی در چاه (C) ۶۹
- شکل ۳-۶-ج نمودار تغییرات S_T-TOC به منظور تعیین نوع کروژن در چاه (C) ۶۹
- شکل ۳-۷-الف مقایسه TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta logR$ (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط رنگی) مربوط به سازند کژدمی (سمت چپ). برهم‌اندازی نگارهای درون‌چاهی صوتی و مقاومت ویژه در چاه A (سمت راست) ۷۱
- شکل ۳-۸-الف نمودار میزان ضریب تعیین مقادیر TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta logR$ و TOC اندازه‌گیری شده در چاه ۷۱
- شکل ۳-۷-ب نمودار میزان ضریب تعیین مقادیر TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta logR$ و TOC اندازه‌گیری شده در چاه B ۷۲
- شکل ۳-۸-ب مقایسه TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta logR$ (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط رنگی) مربوط به سازند کژدمی (سمت چپ). برهم‌اندازی نگارهای درون‌چاهی صوتی و مقاومت ویژه در چاه B (سمت راست) ۷۳
- شکل ۳-۷-ج مقایسه TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta logR$ (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط رنگی) مربوط به سازند کژدمی (سمت چپ). برهم‌اندازی نگارهای درون‌چاهی صوتی و مقاومت ویژه در چاه C (سمت راست) ۷۴
- شکل ۳-۷-ج نمودار میزان ضریب تعیین مقادیر TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta logR$ و TOC اندازه‌گیری شده در چاه C ۷۴
- شکل ۳-۹-کراس پلات $U_{maa} - \rho_{maa}$ در چارت CP-۲۱ ۷۷
- شکل ۳-۱۰-چارت cp-۱۵ (MID Plot) ۷۸
- شکل ۳-۱۱-الف کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده ($U.Kazhdumi$) و ستون لیتولوژی مربوطه (چاه A) ۷۹
- شکل ۳-۱۱-ب کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده ($M.Kazhdumi$) و ستون لیتولوژی مربوطه (چاه A) ۸۰
- شکل ۳-۱۱-ج کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده ($L.Kazhdumi$) و ستون لیتولوژی مربوطه (چاه A) ۸۱
- شکل ۳-۱۲-کراس پلات نوترون-چگالی در چارت CP-۱۱ ۸۴

- شکل ۳-۱۳- الف کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده بالایی (*U.Kazhdumi*) در چاه (A) ۸۵
- شکل ۳-۱۳- ب کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده میانی (*M.Kazhdum*) در چاه (A) ۸۶
- شکل ۳-۱۳- ج کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده پایینی (*L.Kazhdum*) در چاه (A) ۸۷
- شکل ۳-۱۴ مقایسه میان مقدار تخمین زده با شبکه عصبی و مقدار واقعی با استفاده از ۴ نگار ورودی ۹۶
- شکل ۳-۱۵ منحنی تغییرات میانگین مربعات خطا در برابر تعداد تکرارهای انجام شده در حالت های آموزش، اعتبار سنجی و آزمون ۹۷
- شکل ۳-۱۶ ضریب تعیین داده های تخمینی با شبکه عصبی و داده های واقعی ۹۷
- شکل ۳-۱۷ نمایش سه بعدی چاه های مورد مطالعه و خطوط لرزه ای ۹۸
- شکل ۳-۱۸ نمایش اطلاعات نگارها در چاه (A) ۹۹
- شکل ۳-۱۹ تصحیح نگار صوتی به وسیله چکشات ۱۰۰
- شکل ۳-۲۰ برآورد موجک های آماری ۱۰۱
- شکل ۳-۲۱ تطابق نگارهای چاه پیمایی، لرزه نگاشت مصنوعی و داده های لرزه نگاری ۱۰۲
- شکل ۳-۲۲ نمایش افق کژدمی بالایی بر روی مقطع لرزه ای واقع بر محل چاه (B) ۱۰۳
- شکل ۳-۲۳ مدل اولیه مقاومت صوتی با قرار گرفتن نگار *TOC* در چاه (B) ۱۰۴
- شکل ۳-۲۴ مدل نهایی مقاومت صوتی ۱۰۵
- شکل ۳-۲۵ جدول مربوط به تعداد نشانگرهای مرتبط با نگار هدف ۱۰۶
- شکل ۳-۲۶ نمودار *TOC* تخمین زده شده در مقابل *TOC* واقعی با استفاده از رگرسیون چند نشانگری ۱۰۷
- شکل ۳-۲۷ نتیجه آنالیز چند نشانگری، منحنی مشکی نشان دهنده خطای کل و منحنی قرمز نشان دهنده خطای اعتبار سنجی است. ۱۰۷
- شکل ۳-۲۸ نمودار *TOC* تخمین زده شده در مقابل *TOC* واقعی با استفاده از روش شبکه عصبی *MLFN* ۱۰۷
- ۱۰۹

- شکل ۳-۲۹-الف نمایش تطابق نگار TOC واقعی و محاسبه شده توسط روش $MLFN$ در محل چاه ۱۰۹
(Train) ها
- شکل ۳-۲۹-ب نمایش تطابق نگار TOC واقعی و محاسبه شده توسط روش $MLFN$ در محل چاهها
(Validation) ۱۱۰
- شکل ۳-۳۰-الف نتایج تخمین TOC در محدوده مورد مطالعه با اعمال روش $MLFN$ به روش بر
مبنای مدل در چاه (A) ۱۱۰
- شکل ۳-۳۰-ب نتایج تخمین TOC در محدوده مورد مطالعه با اعمال روش $MLFN$ به روش بر
مبنای مدل در چاه (B) ۱۱۱
- شکل ۳-۳۰-ج نتایج تخمین TOC در محدوده مورد مطالعه با اعمال روش $MLFN$ به روش بر
مبنای مدل در چاه (C) ۱۱۱
- شکل ۳-۳۱-الف مقطع TOC حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) در محل چاه (A) ۱۱۲
- شکل ۳-۳۱-ب مقطع TOC حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) در محل چاه (B) ۱۱۲
- شکل ۳-۳۱-ج مقطع TOC حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) در محل چاه (C) ۱۱۳
- شکل ۳-۳۲-الف رابطه نگار چگالی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل
چاه (A) ۱۱۴
- شکل ۳-۳۲-ب رابطه نگار چگالی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل
چاه (B) ۱۱۵
- شکل ۳-۳۲-ج رابطه نگار چگالی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل چاه
(C) ۱۱۵
- شکل ۳-۳۳-الف رابطه نگار حجم شیل با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل
چاه (A) ۱۱۶

- شکل ۳-۳۳-ب رابطه نگار حجم شیل با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل چاه (B) ۱۱۶
- شکل ۳-۳۳-ج رابطه نگار حجم شیل با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل چاه (C) ۱۱۷
- شکل ۳-۳۴-الف رابطه نگار صوتی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل چاه (A) ۱۱۷
- شکل ۳-۳۴-ب رابطه نگار صوتی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل چاه (B) ۱۱۸
- شکل ۳-۳۴-ج رابطه نگار صوتی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی $MLFN$ در محل چاه (C) ۱۱۸
- شکل الف-۱ ارتباط نگار گاما و TOC ۱۲۶
- شکل الف-۲ ارتباط نگار صوتی و TOC ۱۲۸
- شکل الف-۳ ارتباط نگار نوترون و TOC ۱۲۹
- شکل الف-۴ ارتباط نگار مقاومت ویژه و TOC ۱۳۰
- شکل ب-۱ مقطع حاصل از نشانگر پوش دامنه ۱۳۵
- شکل ب-۲ مقطع نشانگر لرزه‌ای فرکانس لحظه‌ای ۱۳۵
- شکل ب-۳ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۱۵/۲۰-۵/۱۰ ۱۳۶
- شکل ب-۴ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰ ۱۳۷
- شکل ب-۵ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۳۵/۴۰-۲۵/۳۰ ۱۳۷
- شکل ب-۶ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۱۵/۲۰-۵/۱۰ ۱۳۸
- شکل ج-۱ کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده ($U.Kazhdumi$) و ستون لیتولوژی مربوطه در چاه (B) ۱۴۰
- شکل ج-۲ کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده ($M.Kazhdumi$) و ستون لیتولوژی مربوطه در چاه (B) ۱۴۰

- ۱۴۱ شکل ج-۳ کراس پلات *RHOMA-UMA* محدوده (*L.Kazhdumi*) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه B)
- ۱۴۱ شکل ج-۴ کراس پلات *RHOMA-UMA* محدوده (*U.Kazhdumi*) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه C)
- ۱۴۲ شکل ج-۵ کراس پلات *RHOMA-UMA* محدوده (*M.Kazhdumi*) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه C)
- ۱۴۲ شکل ج-۶ کراس پلات *RHOMA-UMA* محدوده (*L.Kazhdumi*) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه C)
- ۱۴۳ شکل ج-۷ کراس پلات *MID Plot* محدوده (*U.Kazhdumi*) در (چاه C)
- ۱۴۳ شکل ج-۸ کراس پلات *MID Plot* محدوده (*M.Kazhdumi*) در (چاه C)
- ۱۴۴ شکل ج-۹ کراس پلات *MID Plot* محدوده (*L.Kazhdumi*) در (چاه C)
- ۱۴۴ شکل ج-۱۰ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده بالایی (*U.Kazhdumi*) در چاه (B)
- ۱۴۵ شکل ج-۱۱ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده میانی (*M.Kazhdumi*) در چاه (B)
- ۱۴۵ شکل ج-۱۲ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده پایینی (*L.Kazhdumi*) در چاه (B)
- ۱۴۶ شکل ج-۱۳ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده بالایی (*U. Kazhdumi*) در چاه (C)
- ۱۴۶ شکل ج-۱۴ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده میانی (*M.Kazhdum*) در چاه (C)
- ۱۴۷ شکل ج-۱۵ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده پایینی (*L.Kazhdumi*) در چاه (C)

فهرست جدول‌ها

- ۶۲ جدول ۱-۴ میزان *TOC* در سنگ‌های مختلف
- ۶۳ جدول ۲-۴ پارامترهای مربوط به ارزیابی کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی و محدوده آن‌ها
- ۸۹ جدول ۳-۴ نتایج حاصل از تخمین حجم شیل با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ در سه چاه مورد مطالعه
- ۹۰ جدول ۴-۴ نتایج حاصل از تخمین تخلخل کل با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ در سه چاه مورد مطالعه
- ۹۵ جدول ۵-۴ مقایسه نتایج تخمین میزان *TOC* در شبکه عصبی چند لایه با در نظر گرفتن ۴ ورودی
- ۱۰۸ جدول ۶-۴ نتایج تحلیل و تخمین *TOC* به روش‌های مختلف

فصل اول

کلیات و مروری بر مطالعات پیشین

اکتشاف منابع هیدروکربنی تاریخچه‌ای طولانی و درعین حال رو به رشدی دارد و در این مسیر استفاده از روش‌های ارزان، دقیق و سریع برای متخصصین نفت و گاز از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین دلیل محققین و متخصصین علوم زمین از جمله ژئوفیزیکدان‌ها و ژئوشیمی‌دان‌ها تمام تلاش خود را به کار می‌گیرند تا از میزان هزینه‌ها در یک عملیات اکتشافی بکاهند [۱].

در زمین‌شناسی نفت، ارزیابی پتروفیزیکی در حقیقت همان علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نگارهای چاه‌پیمایی به منظور بررسی کیفیت مخزنی بخش‌های مختلف سازند و زون‌بندی مخزن برای تعیین مناسب‌ترین زون‌ها جهت بهره‌برداری بهینه از مخازن و توسعه آگاهانه‌تر میادین نفتی می‌باشد. دلیل اصلی این که استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی بر به کارگیری مغزه^۱ ترجیح داده می‌شود، ارزان تر بودن هزینه انجام عملیات چاه‌پیمایی نسبت به مغزه‌گیری است. هم‌چنین نگارهای چاه‌پیمایی به صورت یک ثبت پیوسته از خواص سنگ‌های درون چاه می‌باشد [۲].

یک توصیف دقیق کمی از خصوصیات و ساختار مخزن برای بهره‌برداری از هیدروکربور برجا، ضروری می‌باشد. این توصیف نیاز به ترکیب داده‌های مختلف چاه‌نگاری و مغزه و لرزه‌ای و دیگر اطلاعات زمین‌شناسی دارد. مهم‌ترین عامل در توصیف مخزن، ترکیب تمام این داده‌ها و به دست آوردن یک مدل با کیفیت و تفکیک‌پذیری بالا است. روش لرزه‌نگاری به دلیل توانایی‌اش در تهیه تصویر از اعماق چند هزار متری زمین با وضوح چند ده متری، رایج‌ترین روش در پی جویی و اکتشاف منابع هیدروکربوری است. در بیست سال گذشته به علت استفاده از روش‌های لرزه‌نگاری دوبعدی و سه‌بعدی، کیفیت داده‌های لرزه‌ای بسیار افزایش یافته است. با این وجود کسب اطلاعات مفید از این داده‌ها، بستگی به مهارت و تخصص مفسر دارد.

^۱ Core

مفسر باید بتواند هوشیارانه، اصول علوم زمین‌شناسی و ژئوفیزیک را با هم بیامیزد تا خصوصیات پتروفیزیکی و مخزنی را از داده‌های لرزه‌ای استخراج نماید[۳].

با اطلاعات به‌دست آمده، توسعه مخازن تا حد قابل قبولی بهتر صورت گرفته و تولید افزایش می‌یابد. اگر چه داده‌های چاه‌نگاری و مغزه خصوصیات مخزنی را با تفکیک‌پذیری عمودی به ما می‌دهد اما این اطلاعات محدود به اطراف چاه است. بر عکس، داده‌های لرزه‌نگاری دارای تفکیک‌پذیری جانبی بهتری هستند و نه تنها اطلاعات دورتر از چاه را به ما می‌دهند بلکه ما را از جنبه‌های ساختاری و چینه‌ای بهره‌مند می‌سازند[۳].

از آن‌جا که داده‌های لرزه‌ای یک پوشش سه‌بعدی از یک منطقه را در اختیار ما می‌گذارند، محققین همواره در فکر استفاده از این داده‌ها برای توصیف مخازن بوده‌اند. بنابراین، روشی که باعث ترکیب این دو تفکیک-پذیری افقی و قائم شود یک روش موثر در توصیف مخزن به‌شمار می‌رود[۴].

یکی از اولین گام‌هایی که در بررسی یک منطقه برداشته می‌شود بازدید زمین‌شناسی محل و عملیات‌های لرزه‌نگاری می‌باشد. در صورت مطلوب بودن نتایج به‌دست آمده از روش‌های لرزه‌ای اولین چاه اکتشافی در منطقه حفر می‌شود. نمونه‌های تهیه شده از این چاه در آزمایشگاه مورد آنالیزهایی چون آنالیز ژئوشیمیایی قرار گرفته و توان تولید هیدروکربن در سنگ منشأ را مشخص می‌کنند[۱].

به طور عام در صنایع نفتی این نکته پذیرفته شده است که روش‌های ژئوشیمی به شکل قابل توجه، شانس موفقیت در اکتشافات نفتی را افزایش می‌دهند[۵].

یکی از شروط اساسی تشکیل و تجمع هیدروکربن در یک مخزن زیرزمینی، وجود سنگ منشأ^۲ با وسعت و ضخامت کافی و نیز پختگی لازم است. هم‌چنین یکی از مهم‌ترین ابزار مورد استفاده در مطالعات

² Source rock

ژئوشیمیایی، دستگاه راک-ایول^۳ می‌باشد که در مقیاسی بسیار وسیع برای اکتشاف نفت و گاز در حوضه های رسوبی سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است [۶].

در ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ منشأ، پیدایش و تکوین نفت و گاز، ارتباط مستقیمی با کمیت، کیفیت و بلوغ^۴ ماده آلی دارد. کل کربن آلی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده کمیت در سنگ منشأ بوده و عواملی مانند: شاخص هیدروژن^۵ (HI) این اندیس مشخص‌کننده پتانسیل نفتی نمونه سنگ منشأ است، شاخص اکسیژن^۶ (OI) مقدار اکسیژن موجود در کروژن است که با آن می‌توان درجه اکسیده شدن مواد آلی موجود در سنگ‌های منشأ را ارزیابی کرد و ... وابستگی شدیدی با آن دارند. کلیه موارد ذکر شده در آزمایشگاه به‌وسیله دستگاه پیرولیز راک-ایول و با صرف هزینه و زمان نسبتاً طولانی انجام می‌شود [۷].

اهمیت و نقش تعیین‌کننده خواص پتروفیزیکی در بررسی مخازن نفت و گاز، ایجاب می‌کند که از هر گونه اطلاعاتی برای پی بردن به این خواص استفاده نمود. راه مستقیم دستیابی به خواص مخزنی حفر چاه می‌باشد. از آنجایی که حفرچاه مخارج زیادی دارد و با توجه به این‌که داده‌های لرزه‌ای تنها اطلاعات برداشت شده از سطح می‌باشند، همواره تلاش برای استخراج خواص پتروفیزیکی از دل ردلرزه‌ها وجود داشته است. در این راستا وارون‌سازی لرزه‌ای^۷ به‌عنوان یکی از این نوع روش‌ها همواره مد نظر کارشناسان بوده است. به‌طور کلی دو روش مدل‌سازی مستقیم^۸ و مدل‌سازی معکوس^۹ در لرزه‌نگاری مورد بحث هستند. وارون‌سازی یا به‌عبارتی مدل‌سازی معکوس ژئوفیزیکی عبارت است از به نقشه درآوردن ساختار فیزیکی و خواص لایه‌های زیرسطحی زمین با استفاده از تلفیق اندازه‌گیری‌های چاه‌نگاری و لرزه‌نگاری می‌باشد [۸].

³ Rock-Eval

⁴ Maturity

⁵ Hydrogen Index

⁶ Oxygen Index

⁷ Seismic inversion

⁸ Forward modeling

⁹ Inverse modeling

اهمیت وارون‌سازی لرزه‌ای به علت استفاده از داده‌های مختلفی چون اطلاعات لرزه‌ای، نگارهای چاه-پیمایی و اطلاعات زمین‌شناسی است که با یکدیگر تلفیق شده و قدرت تفکیک و صحت مدل مخزن را بالا می‌برد [۹].

هدف از وارون‌سازی لرزه‌ای تخمین مقاومت صوتی^{۱۰} جهت بررسی بهتر مخزن از نظر سنگ‌شناسی و تخلخل^{۱۱} است. به عبارت دیگر، وارون‌سازی روشی است برای مدل کردن زمین با استفاده از داده‌های لرزه‌ای به عنوان ورودی که می‌تواند شبیه مدل‌سازی مستقیم اما در جهت خلاف آن عمل کند. به بیان دیگر هدف اصلی وارون‌سازی لرزه‌ای، تبدیل اطلاعات بازتاب لرزه‌ای به یک خاصیت کمی سنگ و توصیفی مخزن می‌باشد [۸].

تخمین ویژگی‌های مخزن نظیر تخلخل با استفاده از داده‌های لرزه‌ای اهمیت بسیار زیادی در فعالیتهای مربوط به مخازن نفتی دارد. نشانگرها و بررسی آن‌ها در مطالعه و بررسی میدان‌ها نقش مهمی را در تخمین ویژگی‌های مخزنی ایفا می‌کنند و از آن‌ها برای دستیابی به هدف‌های متفاوت در بررسی مخزن استفاده می‌گردد. با توجه به این‌که داده‌های دو بعدی لرزه‌نگاری به تنهایی توانایی تخمین ذخیره مخزن نفتی را ندارند، نیازمند استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای^{۱۲} برای تخمین ویژگی‌های مخزن می‌باشیم [۱۰].

مقاومت صوتی که حاصل ضرب سرعت موج فشاری و چگالی است، یک مثال از خصوصیات سنگ‌شناسی است که به‌صورت عمده در توصیف مخازن استفاده می‌شود. داده‌های لرزه‌ای انعکاسی به‌وسیله تغییر در مقاومت صوتی مرز بین دو سازند ایجاد می‌شود. بر اساس مقاومت صوتی می‌توان تفسیر بهتری از خصوصیات سنگ‌شناسی، چینه‌ای و ساختاری را با دقت و جزئیات بیشتری در مقایسه با روش‌های مرسوم لرزه‌نگاری به‌دست آورد [۱۱].

¹⁰ Acoustic Impedance

¹¹ Porosity

¹² Seismic attributes

۱-۲ مروری بر مطالعات پیشین

در این قسمت روش‌هایی که از گذشته تا به امروز جهت تخمین TOC استفاده شده شرح داده شده است. روشی که امروزه کم‌تر استفاده می‌شود و توسط رضایی در سال ۱۳۸۰ انجام می‌شد، سوزاندن مستقیم نمونه است. در این روش پس از پودر کردن و شستن نمونه با اسید کلریدریک برای از بین رفتن کربنات، نمونه در مجاورت اکسیژن و در شرایط اتمسفری در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده می‌شود. CO_2 حاصل از سوختن مواد آلی، مقدار کربن آلی را مشخص می‌کند [۱۲].

اسپیتالیه^{۱۳} و پیترز^{۱۴} از روش اندازه‌گیری کربن آلی با استفاده از پیرولیز که نسبت به روش قبلی دقیق‌تر است و با دستگاه راک-ایول محاسبه می‌شود استفاده نمودند [۱۳ و ۱۴].

امروزه به دلیل هزینه‌های فراوان آنالیزهای ژئوشیمیایی و نیاز به داده‌های فراوان، بهره جستن از روش‌های غیرمستقیم جهت تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی مورد توجه فراوان قرار گرفته است. امکان توصیف وضعیت مواد آلی از طریق نگارهای درون‌چاهی از خصوصیات فیزیکی آن‌ها سرچشمه می‌گیرد، بدین معنی که ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای با خصوصیات کانی‌های سنگ میزبان‌شان دارد (چگالی کم‌تر، سرعت صوت کم‌تر یا زمان عبور صوت بالاتر، مقاومت بالاتر، هیدروکربن غنی و غنی‌شدگی کربن بیش‌تر)؛ بنابراین نگارهایی که عموماً جهت ارزیابی سنگ‌های منشأ مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: نگار چگالی، صوتی، اشعه گاما، نوترون و مقاومت [۱۵، ۱۶ و ۱۷]

تاکنون محققین مختلفی تلاش نموده‌اند که یک تطابق کمی و کیفی بین پاسخ نمودارهای چاه و داده‌های ژئوشیمیایی ایجاد کنند. از میان آن‌ها بیرز^{۱۵} (۱۹۴۵)، سوانسون^{۱۶} (۱۹۶۰)، اشموکر^{۱۷} (۱۹۸۱)، فرتل

¹³ Espitalie

¹⁴ Peters

¹⁵ Beers

¹⁶ Swanson

¹⁷ Schmoker

^{۱۸}(۱۹۸۸) و در نهایت هرتزوک^{۱۹} و همکاران(۱۹۸۹) از نمودار طیفی پرتوی گاما جهت شناسایی سنگ‌های غنی از مواد آلی استفاده نموده‌اند. مقالات بسیار زیادی نیز در مورد ارزیابی سنگ منشأ با استفاده از نگار گاما ارائه شده است. در بسیاری از موارد ویژگی فیزیکی مورد استفاده در سنگ‌های غنی از مواد آلی، مقادیر بالای نگار گاما می‌باشد. در غالب موارد، این مقادیر بالا به اورانیوم همراه با مواد آلی نسبت داده شده است] ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲].

مندلسون و توکسوز^{۲۰} در سال ۱۹۸۵ مجموعه‌ای از نگارهای تخلخل (صوتی، چگالی و نوترون) و گاما را به کار گرفتند. مطالعه ایشان یک مدل فیزیکی برای تعیین پاسخ نگار به ویژگی‌های سنگ منشأ را ارائه داد. در این مدل ماده آلی به عنوان یک جزء از اجزای سازنده سنگ تلقی شده و پاسخ نگارها به عنوان تابعی از محتوای ماده آلی محاسبه شده است. سپس براساس رگرسیون ساده و چندمتغیره، مقادیر مختلف نگار، با کل محتوای کربن آلی اندازه‌گیری شده و تطابق داده شده‌اند. اگرچه در این زمینه معادلاتی که مقدار نگار و کل محتوای کربن آلی را مرتبط می‌کند به دست آمده‌اند، ولی هیچ شباهت واضحی بین این معادلات دیده نمی‌شود. بنابراین امکان پیش‌بینی کل کربن آلی در چاه‌های مجاور وجود نداشته و تمام معادلاتی که در این زمینه به دست آمده‌اند فقط به یک منطقه خاص تعلق داشته و در خارج از این منطقه فاقد ارزش است [۲۳].

پسی^{۲۱} و همکاران در سال ۱۹۹۰ روشی تحت عنوان $\Delta \log R$ را بیان کردند. این فن‌آوری هم‌پوشانی نمودارهای تخلخل (صوتی، چگالی، نوترون) و مقاومت را جهت شناسایی و محاسبه محتوای کل کربن آلی به کار می‌گیرد. در این روش با استفاده از برهم‌اندازی یکی از نگارهای تخلخل و مقاومت، مقدار کل کربن آلی تخمین زده می‌شود [۲۴].

¹⁸ Fertle2

¹⁹ Hertzog

²⁰ Mendelson & Toksoz

²¹ Passey

هوانگ و ویلیامسون^{۲۲} در سال ۱۹۹۶ با استفاده از شبکه عصبی، TOC را در یکی از سازندهای سنگ منشأ در کانادا تخمین زده‌اند. این مقاله جزء اولین مقالاتی است که از یک تکنیک هوشمند به نام شبکه عصبی به تخمین TOC پرداخته است و به نسبت روش‌های متداول قدیمی‌تر، نتایج بهتری را در پی داشته است [۲۵].

کمالی و میرشادی در سال ۲۰۰۴ با استفاده از تکنیک $\Delta \log R$ و نروفازی به تخمین محتوای ماده آلی در چاه‌های A و B در سازندهای پابده و گورپی در فروافتادگی دزفول پرداختند. عکس‌العمل نگارهای مقاومت ویژه عمیق (LLD)، چگالی، صوتی و نوترون در مقابل محتوای ماده آلی را در فروافتادگی دزفول نشان دادند. از بین این سه روش، برهم‌اندازی صوتی و مقاومت، کم‌ترین مقدار میانگین مربعات خطا را در مقایسه با آنالیز نمونه‌های آزمایشگاهی نشان داد که البته با توجه به احتمال خرابی سوند و یا عواملی از این قبیل، بهتر است که نتایج حاصل از سه روش را میانگین‌گیری نماییم [۲۶].

کدخدایی و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از یک ماشین کمپته به تخمین محتوای ماده آلی در میدان گازی پارس جنوبی پرداختند. یک ماشین کمپته با سیستم‌های هوشمند از گروهی سیستم هوشمند تشکیل شده است که خروجی هر کدام از سیستم‌ها را ترکیب کرده و بنابراین فواید همه کارها را با اندکی محاسبات اضافی جمع‌آوری می‌کند. بنابراین عملکرد مدل می‌تواند بالاتر از بهترین شبکه منفرد باشد [۲۷]. استفاده از این ماشین به نوبه خود، روشی جدید برای تخمین محتوای ماده آلی به حساب می‌آید. در این مقاله از سیستم‌های هوشمندی که شامل منطق فازی، نروفازی و شبکه عصبی می‌باشد و یک ماشین کمپته با سیستم‌های هوشمند، برای پیش‌بینی TOC از داده‌های پتروفیزیکی (نگارهای GR ، $NPHI$ ، DT ، $RHOB$ و LLD) استفاده شده است. برای این هدف، ۱۲۴ نمونه از بازه‌های نمودارگیری شده از سازندهای دالان و کنگان در میدان پارس جنوبی، برای پیرولیز راک-ایول و اندازه‌گیری TOC جمع‌آوری شدند.

²² Huang & Williamson

مجموعه داده‌ها به ۷۸ داده آموزشی برای ساختن مدل‌های هوشمند و ۳۷ داده آزمایشی برای ارزیابی اعتبار مدل‌ها به کار می‌رود. در مرحله اول پارامتر *TOC* با استفاده از سیستم‌های هوشمند که شامل منطق فازی، نروفازی و شبکه عصبی هستند، از داده‌های پتروفیزیکی پیش‌بینی می‌شود. در مرحله بعد، یک ماشین کمیته مبتنی بر سیستم هوشمند با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی *TOC* ساخته خواهد شد. ورودی‌های این ماشین کمیته، خروجی‌های سیستم‌های هوشمند ذکر شده در مرحله قبل هستند. روش توصیف‌شده در این مطالعه از دو جهت یک مدل جدید و بهبودیافته برای پیش‌بینی *TOC* از داده‌های پتروفیزیکی است.

کدخدایی و همکاران نیز در سال ۲۰۱۳ از نشانگرهای لرزه‌ای جهت تخمین محتوای کربن آلی سنگ منشأ استفاده کردند. در این مطالعه سعی شد با استفاده از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌نگاری سه‌بعدی و نشانگرهای لرزه‌ای درونی که از داده‌های لرزه‌ای خام استخراج می‌شوند و پیدا کردن رابطه بین این نشانگرها و مقادیر *TOC*، این پارامتر مهم ژئوشیمیایی در کل مقطع لرزه‌ای تخمین زده شود. نتایج بیانگر آن است که مقاومت صوتی بالاترین رابطه را با محتوای کربن آلی نشان می‌دهد. این رابطه، معکوس بوده و نقش موثری در شناسایی زون‌های با توزیع بالای مواد آلی ایفا می‌کند. همچنین، ضریب همبستگی بالای ۸۲ درصدی شبکه عصبی احتمالاتی در تخمین مواد آلی از نشانگرهای لرزه‌ای نشان از توانایی سیستم‌های هوشمند در برقراری روابط غیرخطی بین پارامترهای ورودی و خروجی دارد. [۲۸].

۳-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه

در کارهای اکتشافی و تولیدی، توصیف یکپارچه و کمی خصوصیات و ساختار مخزن که همه اطلاعات پتروفیزیکی، لرزه‌ای، زمین‌شناسی و ژئوشیمی موجود را شامل شود، می‌تواند به مقدار قابل توجهی در توسعه اقتصادی و ازدیاد برداشت مخزن بهبود ایجاد کند. تعیین خصوصیات مخزن یکی از اطلاعات کمی مهم در اکتشاف لرزه‌ای و آنالیز مخازن است. به منظور بهره‌برداری از هیدروکربور برجا، توصیف دقیق کمی

از خصوصیات مخزن، تخلخل مؤثر و ساختار مخزن ضروری است. این توصیف نیاز به ترکیب داده‌های گوناگون چاه‌نگاری، مغزه، لرزه‌ای و دیگر اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوشیمی دارد. مهم‌ترین عامل در توصیف مخزن، ترکیب همه این داده‌ها و به‌دست آوردن یک مدل با کیفیت و تفکیک‌پذیری زیاد است. معمولاً زمین‌شناسان و ژئوفیزیک‌دانان منطقه هدف را با کمک داده‌های چاه تفسیر می‌نمایند. در مکان‌هایی که مغزه‌گیری نشده تخمین خصوصیات مخزنی از روی نگارهای چاه با روش‌های استاتیکی کار پیچیده‌ای است و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته تخمین اجتناب‌ناپذیر است. این تکنیک‌ها با کاهش هزینه‌های اکتشاف در بهره‌برداری از منابع هیدروکربنی کمک شایانی می‌کنند. از جمله این تکنیک‌ها استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای است. نشانگرها و بررسی آن‌ها مهم‌ترین عملکرد را در برآورد ویژگی‌های مخزن دارند.

با فهم دقیق توزیع پارامترهای مختلف مخزن نظیر تخلخل، حجم شیل، اشباع سیالات مخزن همراه با پارامترهای ژئوشیمیایی مهم به‌وسیله روش‌های نوین و نرم‌افزارهای مختلف می‌توان مدل مناسب‌تری را برای هر یک از ذخایر هیدروکربوری ارائه نمود و از آن در مراحل مختلف ارزیابی، توسعه و تکمیل بهره‌برداری استفاده کرد. از این‌رو ردیابی لایه‌های شیلی انجام می‌گیرد تا به‌وسیله آن لایه‌های شیلی با توان هیدروکربوری بالاتر تعیین شوند که این فواصل به‌عنوان مناطق مخزنی در نظر گرفته نشوند. در این مطالعه نیز سعی بر این است تا با استفاده و تلفیق روش‌های مختلف بر روی چاه‌های یکی از میادین خلیج فارس ارزیابی‌های پتروفیزیکی، ژئوشیمیایی و لرزه‌ای انجام گیرد و این امری ضروری است تا ارزیابی‌های قبلی تصحیح گردیده و یا صحت آن‌ها بیش‌تر مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۴ اهداف پایان نامه و روش تحقیق

هدف اصلی این پایان نامه، ردیابی لایه‌های شیلی با محتوای کربن آلی بالا با بررسی داده‌های لرزه‌ای، نمودارهای چاه‌نگاری و تفسیر ژئوشیمیایی در میدان موردنظر می‌باشد تا میزان انطباق آن‌ها مورد مطالعه

قرار داده شود. در این راستا سعی بر آن بوده تا با استفاده از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای، روش قدیمی $AlogR$ ، شبکه‌های عصبی و تأثیر نشانگرهای لرزه‌ای بتوان به توزیع پارامترهای مخزنی تخلخل و حجم شیل در مخزن پی برد.

برای رسیدن به این هدف ابتدا باید در چاه‌های در دسترس که نمودارگیری انجام شده پارامترهایی چون تخلخل، اشباع آب، نفت و گاز، حجم شیل، آنالیزهای ژئوشیمیایی همراه با لیتولوژی به‌دست آید و سپس با استفاده از نتایج حاصل، پارامترهای مخزنی در سراسر منطقه مورد مطالعه از روی داده‌های لرزه‌نگاری تخمین زده شود. در این مطالعه برای بالابردن میزان دقت و صحت در ردیابی لایه‌های شیلی، از چندین روش دیگر استفاده کرده تا به اعتبار این کار افزوده باشیم.

برای این منظور از روش‌هایی مانند وارون‌سازی، روش‌های آماری و شبکه‌های عصبی استفاده شده است. در نهایت پس از محاسبه و تخمین خصوصیات مخزنی، تعیین و ردیابی لایه‌های شیلی با میزان کل کربن آلی بالا انجام می‌شود. در انجام محاسبات مورد نظر از نرم‌افزارهای تخصصی مثل ژئولاگ^{۲۳}، همپسون-راسل^{۲۴} و متلب^{۲۵} استفاده شده است که در فصل‌های آتی توضیح داده می‌شود.

۱-۵ ساختار پایان نامه

این پایان‌نامه در چهار فصل تهیه و تنظیم شده است. فصل اول شامل مقدمه، بررسی مطالعات پیشین و سوابق کارهای انجام شده در این زمینه، اهمیت و ضرورت مطالعه و اهداف مطالعه مورد نظر است. فصل دوم به عنوان تئوری و مبانی روش‌های پردازش مورد استفاده قرار گرفته شده در این مطالعه نام‌گذاری شده است که شامل مفاهیمی درباره چگونگی تعیین خصوصیات پتروفیزیکی، داده‌های لرزه‌ای، چاه‌نگاری، داده‌های ژئوشیمیایی و تکنیک‌های مختلف استفاده شده از جمله رگرسیون و روش‌های شبکه عصبی است. در

²³Geolog

²⁴ Hampson-Russell

²⁵ MATLAB

فصل سوم ابتدا به شرح مختصری از زمین‌شناسی و معرفی منطقه اکتفا شده و سپس به روش کار و آنالیز داده‌ها پرداخته شده است و به تشریح تمام فرآیندها از وارون‌سازی لرزه‌ای تا تهیه پارامترها، خصوصیات پتروفیزیکی، ارزیابی و تفسیر کمی و کیفی و ارزیابی ژئوشیمیایی مخزن می‌پردازد. در فصل چهارم به نتایج مطالعه و پیشنهادات و اقداماتی که در آینده قابل طرح و اجرا می‌باشد، پرداخته شده است.

فصل دوم

مبانی و مفاهیم تحقیق

مطالعه خواص سنگ‌ها و ارتباط آن‌ها با سیالاتی که درون آن‌ها هستند هدف اصلی مطالعات پتروفیزیکی است. ارزیابی پتروفیزیکی که همان علم تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل از نمودارهای چاه‌نگاری است، یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین ویژگی‌های سنگ مخزن هیدورکربوری است. علاوه بر موارد فوق، عواملی چون وضعیت هندسی مخزن، دما و فشار سازند و سنگ‌شناسی مخزن می‌تواند نقش مهمی در ارزیابی، تکمیل و بهره‌برداری از مخزن ایفا کند. می‌توان با تحلیل نگارهای صوتی و چگالی و تطابق این نگارها با داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی، میزان تخلخل مؤثر را تخمین زد. همچنین با استخراج نشانگرهای لرزه‌ای از جمله مقاومت صوتی و تلفیق آن با دیگر نشانگرهای لرزه‌ای از جمله فرکانس لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای و ... می‌توان به برخی رخدادهای زمین‌شناسی مؤثر در خصوصیات مخزنی و رویدادهای زمین‌شناسی مرتبط با خصوصیات مخزنی پی برد.

یکی از رهیافتهای جدید در صنعت نفت و گاز، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است که قابلیت‌های بسیار زیادی دارد. توانایی روش شبکه عصبی در یادگیری از راه تجربه و سپس قابلیت تعمیم‌پذیری برای حل مسائل جدید، موجب برتری این روش بر سایر روش‌ها شده است [۲۹]. شبکه‌های عصبی آموزش داده شده، قادر به تخمین پارامترهای اساسی مخزن از جمله سنگ‌شناسی، رخساره‌های سنگی و... با استفاده از داده‌های چاه‌نگاری با دقت بالا می‌باشند [۳۰ و ۳۱].

بدین ترتیب در این فصل سعی بر آن است تا به بررسی مفاهیم روش‌های مذکور به‌منظور ردیابی لایه‌های شیلی به‌وسیله تعیین خصوصیات مخزنی، زمین‌شناسی و آنالیزهای ژئوشیمیایی پرداخته شود.

۲-۲ چاه پیمایی

اطلاعات یک مخزن نفتی یا گازی از شیوه‌های مختلفی به دست می‌آید. یکی از این شیوه‌ها نمونه‌گیری یا مغزه‌گیری از سنگ مخزن است. نمونه‌گیری از یک سازند ابتدا از برون زد^{۲۶} آن سازند آغاز می‌شود، اما در زیر سطح زمین یعنی در چاه‌های نفت، نمونه‌گیری با گرفتن مغزه و یا با استفاده از کنده‌های حاصل از حفاری انجام می‌شود. اهمیت گرفتن نگار از این جهت قابل توجه است که می‌تواند اطلاعات حاصل از نمونه‌گیری و مغزه‌گیری را تکمیل کند. نگار یک فناوری مهم بررسی تکمیلی برای تکمیل اطلاعات حاصل از چاه محسوب می‌شود که بدون آن هرگز مطالعاتی که تحت عنوان مطالعات جامع مخزنی برای شبیه‌سازی مخزن انجام می‌گیرد نمی‌تواند ضریب اطمینان قابل قبولی داشته باشد [۳۲].

نگار چاه‌پیمایی، اندازه‌گیری پیوسته یک یا چند کمیت فیزیکی در مقابل عمق و یا زمان می‌باشد که در داخل چاه صورت می‌گیرد. نگارها را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد. آن‌هایی که از پدیده‌های طبیعی نشأت می‌گیرند و آن‌هایی که حاصل القای پدیده‌های خاص در سازند هستند. به عنوان مقایسه می‌توان گفت در گروه اول ویژگی سازند به وسیله گیرنده‌ها ثبت می‌شود، در حالی که در گروه دوم لازم است نوع خاصی از امواج، ذرات و یا جریان‌ات به وسیله فرستنده به داخل سازند فرستاده شود و گیرنده-هایی پاسخ ایجاد شده در سازند را اندازه‌گیری کنند [۳۲].

۲-۲-۱ اثر شیل‌ها بر نگارهای چاه‌پیمایی

ممکن است سازندهایی که تحت عنوان شیل شناخته می‌شوند، بخش عمده آن‌ها از کانی‌های رسی تشکیل شده باشند و در واقع سیلت استون^{۲۷} یا سیلت‌های رسی باشند. آن‌ها ممکن است گاز یا حتی نفت هم تولید کنند اما نپایستی مدل‌های مربوط به شیل گازی را در آن‌ها استفاده نمود. وجود شیل بر روی اغلب

²⁶ Out crops

²⁷ Silt stone

نگارهای چاه‌پیمایی اثرگذار است که شناسایی شیل را آسان می‌کند [۳۳]. مواردی از این اثرگذاری‌ها عبارتند از [۳۴]:

- (۱) نگار گاما: وجود شیل باعث افزایش گامای اندازه‌گیری شده می‌گردد.
- (۲) نگار مقاومت: در زون‌های شیلی، مقاومت کاهش یافته و هم‌چنین به خاطر کاهش اختلاف مقاومت بین آب، گاز و نفت، تعیین زون‌های هیدروکربنی دشوار می‌گردد.
- (۳) نگار نوترون: این نگار تابع میزان هیدروژن موجود در منافذ سنگ می‌باشد و به‌دلیل وجود آب ساختاری در کانی‌های رسی موجود در شیل، میزان تخلخل اندازه‌گیری شده افزایش می‌یابد.
- (۴) نگار چگالی: در زون‌های شیلی چگالی کاهش می‌یابد.
- (۵) نگار صوتی: در زون‌های شیلی میزان سرعت صوت به دلیل وجود آب ساختاری در کانی‌های رسی موجود در شیل کاهش می‌یابد و نگار صوتی زمان عبور بیش‌تری را نشان می‌دهد. شرح مختصر برخی از نگارهای پتروفیزیکی در پیوست آورده شده است.

۲-۲-۲ محاسبه حجم شیل

حجم شیل یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در کلیه مطالعات پتروفیزیکی و کیفیت مخزنی است. حجم شیل به معنی حجم کانی‌های رسی موجود در مخزن است. شیل می‌تواند تغییرات زیادی در مخازن ایجاد کند. ابزار طیفی گامای طبیعی ابزارهایی هستند که می‌توان از روی آن منشأ گاما را مشخص کرد. این ابزارها دارای فیلتر بر اساس انرژی پرتوی گامای ساطع شده از عناصر با هم فرق دارد در نتیجه می‌توان منشأ آن را به‌دست آورد. محاسبه حجم شیل به‌طور معمول با استفاده از نمودارهای SGR^{28} و CGR^{29} انجام می‌شود [۳۵].

²⁸ Sum of Gamma Ray

²⁹ Corrected Gamma Ray

کانی‌های رسی هم در سنگ مخزن و هم در سنگ غیر مخزنی موجود است. منشأ اصلی کانی‌های پتاسیم عمدتاً فلدسپات‌های پتاسیم‌دار و میکاها است و توریم معمولاً در کانی‌های رسی حضور دارند. گاما‌های ساطع شده از سه ایزوتوپ‌های رادیواکتیو، دارای تعدادی انرژی مجزا هستند. هر طیف ویژگی‌های یک سری از واپاشی را مشخص می‌کند و هر سری دارای علامت طیفی است که باعث تشخیص وجود آن می‌شود [۳۴]. پس برای تعیین میزان شیل از مجموع انرژی ساطع شده از پتاسیم و توریم استفاده می‌شود. حجم شیل محاسبه شده از هر کدام از این روش‌ها با یکدیگر متفاوت است. مقدار شیل محاسبه شده از SGR بیش‌تر از CGR است، زیرا در این روش علاوه بر توریم و پتاسیم ($Th \& K$) که توسط CGR ثبت می‌شود، کانی اورانیوم (U) نیز ثبت می‌گردد که قابلیت انحلال بالایی دارد و بیش‌تر در کانی‌های رسی که در شیل‌ها فراوانند دیده می‌شود اما در دولومیت‌ها نیز یافت می‌شود. به همین دلیل در محاسبه حجم شیل تنها با استفاده از نمودار CGR می‌توان به ارزیابی درستی از میزان حضور شیل دست یافت [۳۶].

حجم شیل از روی نگار CGR براساس رابطه مقابل به دست می‌آید:

$$V_{sh} = \frac{CGR - CGR_{clean}}{CGR_{sh} - CGR_{clean}} \quad (1-2)$$

در این رابطه CGR_{clean} کم‌ترین مقدار خوانده شده در سازندهای غیرشیلی (تمیز) و CGR_{sh} مقدار خوانده شده در سازند ۱۰۰ درصد شیلی است [۳۴].

۳-۲-۲ تخلخل شیل

تخلخل هر سنگ نسبت حجم فضاهای خالی موجود در آن به حجم کلی سنگ است. تخلخل مؤثر، تخلخل پیوسته خلل و فرج اشغال شده با آب جذبی و آب محصور در شیل‌ها را شامل نمی‌شود. در واقع این نوع تخلخل است که موردنظر مهندسان و کارشناسان نفتی است. زیرا تراوایی سنگ و توان بهره‌دهی آن به میزان تخلخل مؤثر بستگی دارد. تعیین تخلخل در حکم یکی از پارامترهای بسیار مهم و اساسی در تحقیقات جامع مخزن، از اهمیت خاصی برخوردار است. به‌طور معمول برای تعیین تخلخل مخزن دو راه

وجود دارد: روش اول اندازه‌گیری مستقیم تخلخل با آزمایش روی مغزه‌ها است. در ارتباط با اندازه‌گیری‌های مغزه، مسائل و مشکلاتی وجود دارد. مغزه‌گیری و به‌دست آوردن اطلاعات از مغزه مشکل، وقت‌گیر و بسیار پرهزینه است و به همین دلیل محاسبه تخلخل از روی مغزه در همه چاه‌ها کاری غیرمعمول است. روش دوم که غیرمستقیم است استفاده از نگارهای چاه است. علاوه بر سهولت و مزایای اقتصادی روش‌هایی که تخلخل را براساس اندازه‌گیری‌های نگارها تعیین می‌کنند، این روش‌ها اطلاعات را به‌صورت پیوسته در اختیار کارشناس قرار می‌دهند و در یک عمق مشخص، از حجم وسیع‌تری از سازند تأثیر می‌پذیرند. نگاری وجود ندارد که مستقیماً بتواند تخلخل را اندازه‌گیری کند اما متخصصان از روش‌های گوناگونی استفاده می‌کنند تا تخلخل را از داده‌های نگارها محاسبه کنند [۳۷]. بدین ترتیب با استفاده از نگارهای نوترون، چگالی و صوتی می‌توان به محاسبه تخلخل پرداخت. تخلخل کل در شیل‌ها نسبت به سایر لیتولوژی‌ها (آهک، ماسه و دولومیت) بالاتر است، اما تخلخل مؤثر که مورد توجه پتروفیزیکدانان و مهندسين مخزن است، در شیل‌ها مقدار پایینی دارد. همان‌طور که می‌دانید برخی کانی‌ها در شبکه مولکولی خود دارای اتم هیدروژن هستند. این هیدروژن می‌تواند آب موجود در ساختار بلوری و یا هیدروژن ساختاری باشد. اگرچه این هیدروژن در تخلخل مفید نقشی ندارد ولی توسط ابزار ثبت می‌شود. علاوه بر این کانی‌های رسی معمولاً در میان ساختار لایه‌ای خود مقدار زیادی آب دارند. به این ترتیب انتظار می‌رود، نگار نوترون در مقابل شیل‌ها مقدار بالایی را قرائت کند [۳۴].

در زیر رابطه مربوط به محاسبه تخلخل توسط نگار چگالی آورده شده است .

$$\Phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (2-2)$$

که در رابطه فوق Φ_D تخلخل حاصل از نگار چگالی، ρ_{ma} چگالی ماتریکس، ρ_b چگالی که از روی نگار قرائت می‌شود و ρ_f چگالی سیال می‌باشد [۳۴].

۲-۳ ژئوشیمی آلی

علم ژئوشیمی آلی امروزه یکی از شاخه‌های وسیع دانش زمین‌شناسی نفت است که با توانمندی‌های بسیار خود توانسته در زمینه اکتشاف نفت به یکی از کارآمدترین و کم‌هزینه‌ترین ابزارهای موجود بدل گردد. هم‌چنین می‌توان کاربرد روزافزون این شاخه از دانش را در مراحل بعدی بهره‌برداری از مخازن نفتی نیز مشاهده کرد. امروزه به کمک داده‌های حاصل از ژئوشیمی آلی و پردازش آن‌ها، طیف وسیعی از اطلاعات در اختیار متخصصان قرار می‌گیرد که با کمک همین اطلاعات می‌توانند یک دیدگاه کامل از حوضه رسوبی و فرآیندهای زمین‌شناسی روی داده در گذشته را متوجه شوند و با کمک آن اقدام به تصمیم‌گیری‌های مهم در زمینه اکتشاف مخازن جدید نمایند [۱].

در سال‌های اخیر، ژئوشیمی نفت به عنوان شاخه مهمی از ژئوشیمی آلی مطرح شد که نقش مهمی در بهبود مسائل اکتشافی و تولید ایفا می‌کند. اما این علم هنوز به حد کافی کامل نشده است و امروزه شاهد پیشرفت‌ها و کاربردهای جدید این علم در اکتشاف و به‌خصوص در تولید نفت هستیم. به‌کارگیری ژئوشیمی نفت به عنوان یک ابزار قدرتمند و تئوری کاربردی برای فهم و شناخت منشأ نفت، مهاجرت و تجمعات نفتی موفقیت‌آمیز بوده است [۳۸].

ژئوشیمی نفت می‌تواند نقش کلیدی و مهمی در اکتشاف منابع نفت و گاز باقی‌مانده در دنیا ایفا کند. کارآیی پیش‌بینی اولیه وجود نفت بر پایه علم ژئوفیزیک و داده‌های مخزنی با استفاده از علم ژئوشیمی دو برابر شده است [۳۹].

۲-۳-۱ ارزیابی سنگ منشأ (Source Rock Evaluation)

۲-۳-۱-۱ سنگ منشأ

سنگ منشأ از نظر تعریف، سنگ دانه‌ریز غنی از ماده آلی است که قادر است در اثر تکامل حرارتی هیدروکربن تولید کند. سنگ‌های منشأ را می‌توان در سه گروه قرار داد: سنگ منشأ مفید^{۳۰} که نفت خود را تولید و از خود خارج نموده است؛ سنگ منشأ محتمل^{۳۱} که پتانسیل منشأ بودن آن هنوز ارزیابی نشده است، ولی احتمال دارد نفت تولید کرده باشد؛ و سنگ منشأ بالقوه^{۳۲} به سنگ رسوبی نابالغی گفته می‌شود که توانایی تولید هیدروکربن را در صورت رسیدن به درجه بلوغ دارد [۱۲].

۲-۳-۱-۲ شرایط لازم برای تشکیل نفت

- شرایط احیایی؛ شرایط اکسیدان ماده آلی را متلاشی کرده و $H_2O + CO_2$ را ایجاد می‌کند.

- محیط بایستی برای فعالیت جانوران مرده‌خوار نامساعد باشد [۱۲].

۲-۳-۱-۳ تولید هیدروکربن از سنگ منشأ با افزایش عمق تدفین

از آنجایی که حرارت با عمق تدفین افزایش می‌یابد، عمق واقعی برای یک سنگ منشأ خاص برای تولید هیدروکربن به همان میزان که به نوع کروژن و تاریخچه تدفین بستگی دارد، به شیب زمین‌گرایی ناحیه نیز وابسته است. در اعماق خیلی کم، متان بیوژنیک^{۳۳} یا گاز مرداب از مواد آلی اولیه تولید می‌شود. به خاطر داشته باشید که این رویداد در آغاز دیاژنز^{۳۴} یا زون نابالغ^{۳۵} رخ می‌دهد. در عمق حدود ۱ تا ۲ کیلومتری، مرحله کاتاژنز^{۳۶} شروع می‌شود. مرحله آغازین کاتاژنز تا عمق حدود ۳ کیلومتری مطابق با زون

³⁰ Effective source rock

³¹ Possible source rock

³² Potential source rock

³³ Biogenic

³⁴ Diagenese

³⁵ Immature zone

³⁶ Catagenese

اصلی تولید نفت است. سنگ‌های منشأ که در این محدوده عمقی تدفین شده‌اند، در پنجره نفتی^{۳۷} واقع هستند. کاتارنز پایانی در عمق حدود ۳ تا ۳/۵ کیلومتری قرار دارد که زون اصلی تولید گاز می‌باشد. نخست گاز مرطوب^{۳۸} و متان با نرخ تولید یکسان حاصل می‌شوند، اما در عمق بیش از ۴ کیلومتری سنگ منشأ بسیار بالغ می‌شود. در این نقطه متارنز^{۳۹} شروع شد و فقط متان از شکست حرارتی^{۴۰} دیگر هیدروکربن‌ها تولید می‌شود.

از نقطه نظر حرارتی، پنجره نفتی وقتی شروع می‌شود که سنگ منشأ در حرارتی تقریباً بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته باشد. نفت حاصله در این درجه حرارت پایین، نسبتاً سنگین و نابالغ است. با افزایش درجه حرارت، نفت سبک‌تر زایش می‌یابد. حداکثر تولید نفت^{۴۱} در درجه حرارت حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد و سپس کاهش می‌یابد. در دمای حدود ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، پنجره نفتی بسته و زون اصلی تولید گاز شروع می‌شود.

تولید هیدروکربن در دمای حدود ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود، اما متان همچنان تا دمای بالاتر از ۳۱۵ درجه سانتی‌گراد در نقطه‌ای که سنگ منشأ متحمل دگرگونی ناحیه‌ای می‌شود از شکسته شدن نفت تولید می‌شود^[۴۰].

۲-۳-۱-۴ روش‌های آزمایشگاهی به منظور ارزیابی سنگ منشأ

در ارزیابی یک سنگ منشأ با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی، از سه روش کلی پتروگرافی^{۴۲} آلی، آنالیز شیمیایی و ارزیابی حرارتی استفاده می‌شود. با استفاده از این روش‌ها، پارامترهایی نظیر مقدار و نوع ماده آلی و نیز درجه بلوغ ماده آلی مشخص می‌گردند. پتروگرافی آلی شامل مطالعه مواد آلی توسط

³⁷ Oil generation window

³⁸ wet gas

³⁹ Metagenese

⁴⁰ Thermal cracking

⁴¹ Peak generation

⁴² Petrography

میکروسکوپ‌های با نور عبوری، نور انعکاسی و نور ماوراء بنفش می‌باشد. در این روش با استفاده از برخی ویژگی‌های قابل مشاهده توسط انواع میکروسکوپ‌ها، نظیر ساخت داخلی، شکل، رنگ و شدت انعکاس نور، می‌توان اجزای تشکیل دهنده کروژن را شناسایی نمود [۱۲].

از روش‌های مهم شیمیایی می‌توان تجزیه عنصری کروژن، اسپکتروفتومتری مادون قرمز^{۴۳}، رزونانس چرخش الکترون^{۴۴} و ایزوتوپ کربن را نام برد. پیرولیز^{۴۵} مواد آلی، یک روش حرارتی است که برای تشخیص کیفیت و بلوغ حرارتی^{۴۶} سنگ‌های منشأ استفاده می‌شود. این روش با حرارت دادن ماده آلی در غیاب اکسیژن انجام و جهت تولید و آزاد شدن هیدروکربن از مواد آلی و تعیین پتانسیل هیدروکربن‌زایی باقی‌مانده مواد آلی موجود در سنگ، به کار برده می‌شود. برای انجام این آنالیز از دستگاه پیرولیز راک-یول^{۴۷} استفاده می‌شود. این روش، اطلاعاتی نظیر کیفیت و کمیت ماده آلی، نوع ماده آلی، پتانسیل باقی‌مانده نمونه و تحول حرارتی ماده آلی را به دست می‌دهد. در طی این آنالیز چندین پیک شاخص در درجه حرارت‌های مختلف به دست می‌آید که هر کدام معنا و تفسیر خاص خود را در بردارد. در دمای حدود 300°C پیک S_1 برحسب میلی گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ، حاصل می‌شود. این پیک بیانگر میزان هیدروکربن‌های آزادی است که در زمان رسوب‌گذاری در سنگ وجود داشته و یا از کروژن در طی تدفین رسوبات شکل گرفته‌اند. در دمای بین 300 تا 600°C پیک S_2 برحسب میلی گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ، ظاهر می‌شود. این پیک ناشی از شکسته شدن کروژن و بیتومن‌های سنگینی است که تا دمای 300°C مقاوم بوده‌اند. درجه حرارتی که پیک S_2 در آن حداکثر است، درجه حرارت حداکثر (T_{max})، برحسب درجه سانتی‌گراد، نامیده می‌شود. در این درجه حرارت، مقدار هیدروکربن‌های تولید شده از شکستن حرارتی کروژن در حد نهایی خود است. پیک S_3 بیانگر میزان CO_2 است که از شکسته شدن گروه‌های کربوکسیل و

⁴³ Infrared spectrophotometry

⁴⁴ Electron spin resonance

⁴⁵ Pyrolysis

⁴⁶ Thermal maturity

⁴⁷ Pyrolysis

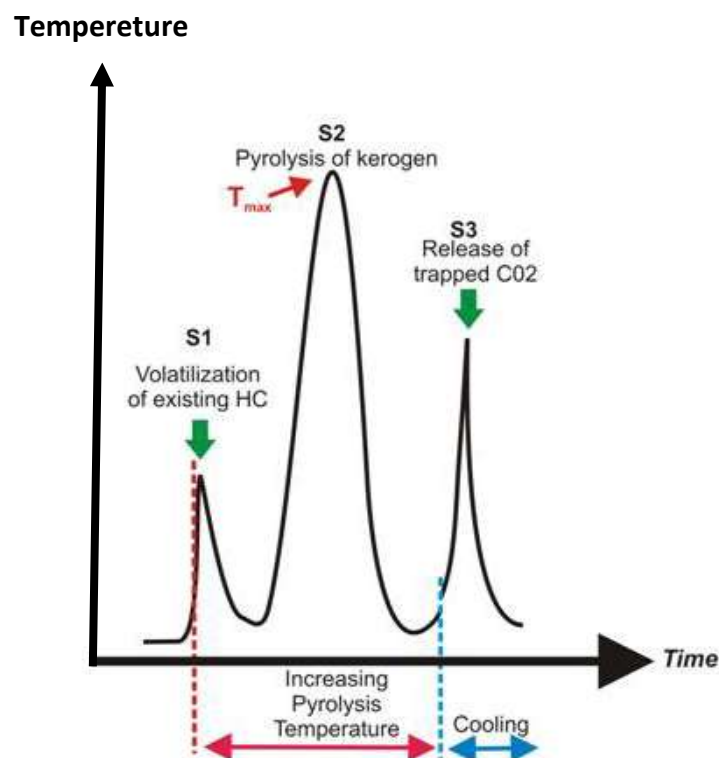
دیگر ترکیبات اکسیژن دار کروژن در دمای $300^{\circ}C$ تا $390^{\circ}C$ حاصل می‌شود. پیک S_4 میزان CO_2 ، برحسب میلی گرم CO_2 در هر گرم سنگ است و از اکسیداسیون کربن آلی باقی مانده در دمای $600^{\circ}C$ و تحت شرایط اتمسفر، پس از ثبت پیک S_2 ، به دست می‌آید [۱۲ و ۳۰].

۲-۳-۱-۵ تخمین مقدار کل کربن آلی

مقدار کل کربن آلی یکی از پارامترهای مهم در سنگ منشأ است که می‌تواند برای ارزیابی پتانسیل تولید و توصیف خصوصیات ژئوشیمی سنگ‌های مولد هیدروکربن استفاده شود. همچنین به کمک آن می‌توان پتانسیل باقی مانده هیدروکربن زایی سنگ منشأ را ارزیابی نمود [۴۱].

برای اندازه‌گیری مقدار کل کربن آلی در سنگ منشأ دو روش وجود دارد. روش اول که امروزه کمتر استفاده می‌شود، با استفاده از سوزاندن مستقیم نمونه است. در این روش بعد از پودر کردن و شستن نمونه با اسیدکلریدریک برای از بین رفتن کربنات، نمونه در مجاورت اکسیژن و تحت شرایط اتمسفر در درجه حرارت حدود $1000^{\circ}C$ سوزانده می‌شود و CO_2 حاصل از سوختن مواد آلی، مقدار کربن آلی را مشخص می‌کند [۱۲].

روش دوم اندازه‌گیری کربن آلی با استفاده از پیرولیز است که نسبت به روش قبلی دقیق‌تر است. با آنالیز نمونه با دستگاه پیرولیز راک-ایول، کل کربن آلی که برحسب درصد وزنی است، براساس پیک های S_1 و S_2 ، S_3 و S_4 تخمین زده می‌شود [۴۲]. پارامترهایی که به وسیله دستگاه پیرولیز راک-ایول قابل محاسبه‌اند در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۲ پارامترهایی که به وسیله دستگاه راک-یول به دست می‌آیند. مهم‌ترین پارامترها S_1 , S_2 , S_3 و T_{max} می‌باشند [۷].

۲-۳-۱-۶ توان هیدروکربن‌زایی و نوع هیدروکربن

با استفاده از اطلاعات پیرولیز راک-یول می‌توان توان هیدروکربن‌زایی و نوع هیدروکربن حاصله از سنگ منشأ را مشخص نمود. توان هیدروکربن‌زایی را می‌توان با استفاده از پارامترهای S_1 و S_2 و S_1+S_2 مشخص نمود. نوع هیدروکربن تولید شده از شاخص هیدروژن (HI) و نسبت S_2/S_3 به دست می‌آید [۴۲].

۲-۴ تخمین TOC با روش $(\Delta \log R)$

میزان و نحوه توزیع TOC علاوه بر تعیین توان تولید هیدروکربن، در ارزیابی پتانسیل گازی شیل‌ها و تکمیل چاه حائز اهمیت می‌باشند. نگارهای چگالی و صوتی می‌توانند بیانگر تغییرات در میزان مواد آلی موجود در شیل باشند. با افزایش مواد آلی، چگالی سازند کاهش و زمان عبور صوت افزایش می‌یابد. زیرا چگالی کروژن نسبت به کوارتز و رس کمتر است.

استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی جهت ارزیابی محتوای آلی شیل‌ها سابقه‌ای طولانی دارد. در گذشته تنها از نگار شدت پرتو گاما برای جدا کردن شیل غنی از مواد آلی از زمینه استفاده می‌شد. با پیشرفت تکنولوژی، استفاده از نگارهای چگالی و در سال‌های بعدی نگارهای صوتی و مقاومت ویژه رواج یافت. بنابراین میزان مواد آلی لایه‌های شیلی سازند بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان ارتباط میان این لایه‌ها با گاز و نفت موجود در سازند را تعیین نمود. در این قسمت به ارزیابی میزان ماده آلی لایه‌های شیلی سازند به روش $(\Delta \log R)$ پرداخته می‌شود [۳۴].

پسی و همکاران روش $\Delta \log R$ را برای تخمین میزان کربن آلی کل با به‌کارگیری نگارهای مختلف معرفی نمودند. اساس این روش بر چند مشاهده بنیان گشته است:

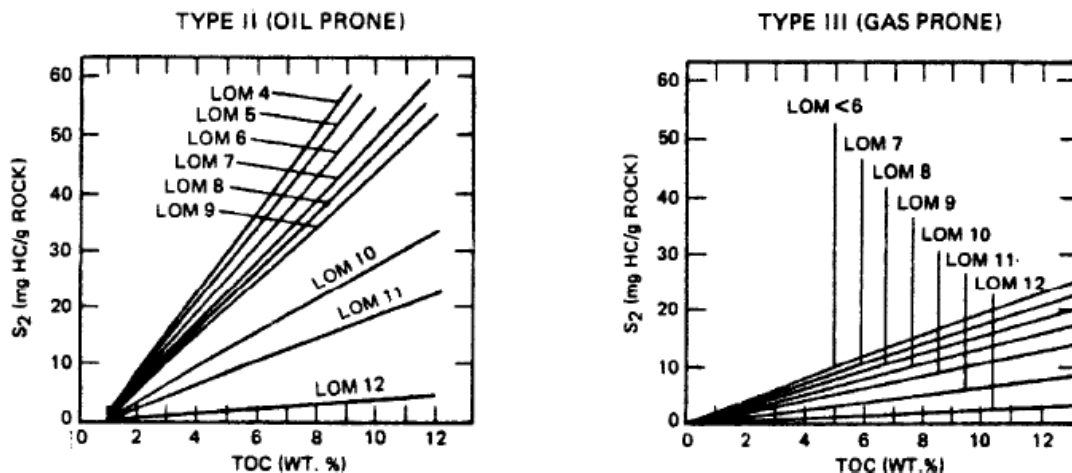
- زمان عبور صوت و چگالی به تغییرات کروژن موجود در سنگ حساس هستند.
- با افزایش بلوغ مواد آلی، مقاومت ویژه هم افزایش می‌یابد.
- جدایش لگاریتمی میان قرائت نگار صوتی و مقاومت ویژه عمیق به محتوای ماده آلی بستگی دارد.

در این روش پس از رقومی کردن دو نمودار صوتی و مقاومتی، باید آن‌ها را به حالت نمودارهای با مقیاس مناسب درآورده و تلفیق نمود. در جایی که سنگ غیر منشأ و دانه‌ریز وجود داشته باشد، این دو نمودار روی هم قرار گرفته و خط مبنا را ترسیم می‌نماید. با داشتن این خط مبنا^{۴۸}، فواصلی که غنی از ماده آلی هستند توسط جدایش دو نمودار تشخیص داده می‌شوند و جدایش بین آن‌ها به طریق $\Delta \log R$ در هر عمقی قابل اندازه‌گیری است. جدایش $\Delta \log R$ به شکل خطی مرتبط با میزان کل کربن آلی و تابعی از بلوغ است. عملاً میزان بلوغ ماده آلی از آنالیز نمونه‌های مختلف انعکاس ویتروینایت، شاخص دگرسانی

⁴⁸ Baseline

حرارتی و نمودار استاندارد (S_2 -TOC) و یا از تخمین تدفین و تاریخچه حرارتی به دست می آید که در شکل (۲-۲) نمودارهای مربوطه نمایش داده شده اند. مقدار $\Delta \log R$ از رابطه (۳-۲) محاسبه می شود.

$$\Delta \log R = \log_{10} (R / R_{baseline}) + 0.02 (\Delta t - \Delta t_{baseline}) \quad (3-2)$$



شکل ۲-۲ نمودار S_2 -TOC و مقادیر LOM برای کروژن های نوع ۲ و ۳ [۱۳].

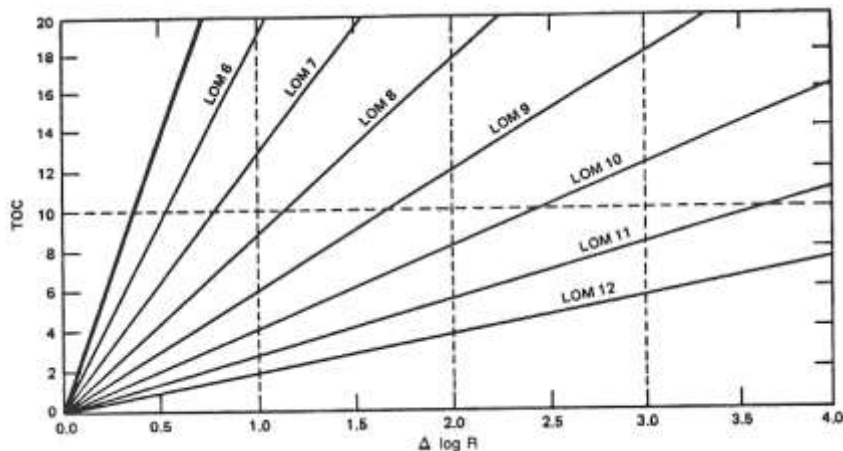
که در آن $\Delta t_{baseline}$ زمان عبور صوت در خط پایه و $R_{baseline}$ مقاومت ویژه در خط پایه است. با این پارامتر در صورت مشخص بودن بلوغ ماده آلی $(LOM)^{49}$ می توان میزان کربن آلی کل را محاسبه کرد.

$$TOC(wt\%) = \Delta \log R * 10^{(2.297 - 0.1688 * LOM)} \quad (4-2)$$

در این رابطه TOC میزان کربن آلی موجود در شیل بر حسب درصد وزنی و LOM درجه بلوغ ماده آلی می باشد که مقدار آن با شروع بلوغ برای کروژن نوع ۱ برابر ۷ است. مقدار LOM برای کروژن نوع ۲ در محدوده ۸-۹، آغاز پنجره نفتی را نشان می دهد. در حالی که پایان پنجره نفتی با مقادیر LOM برابر ۱۳-۱۴

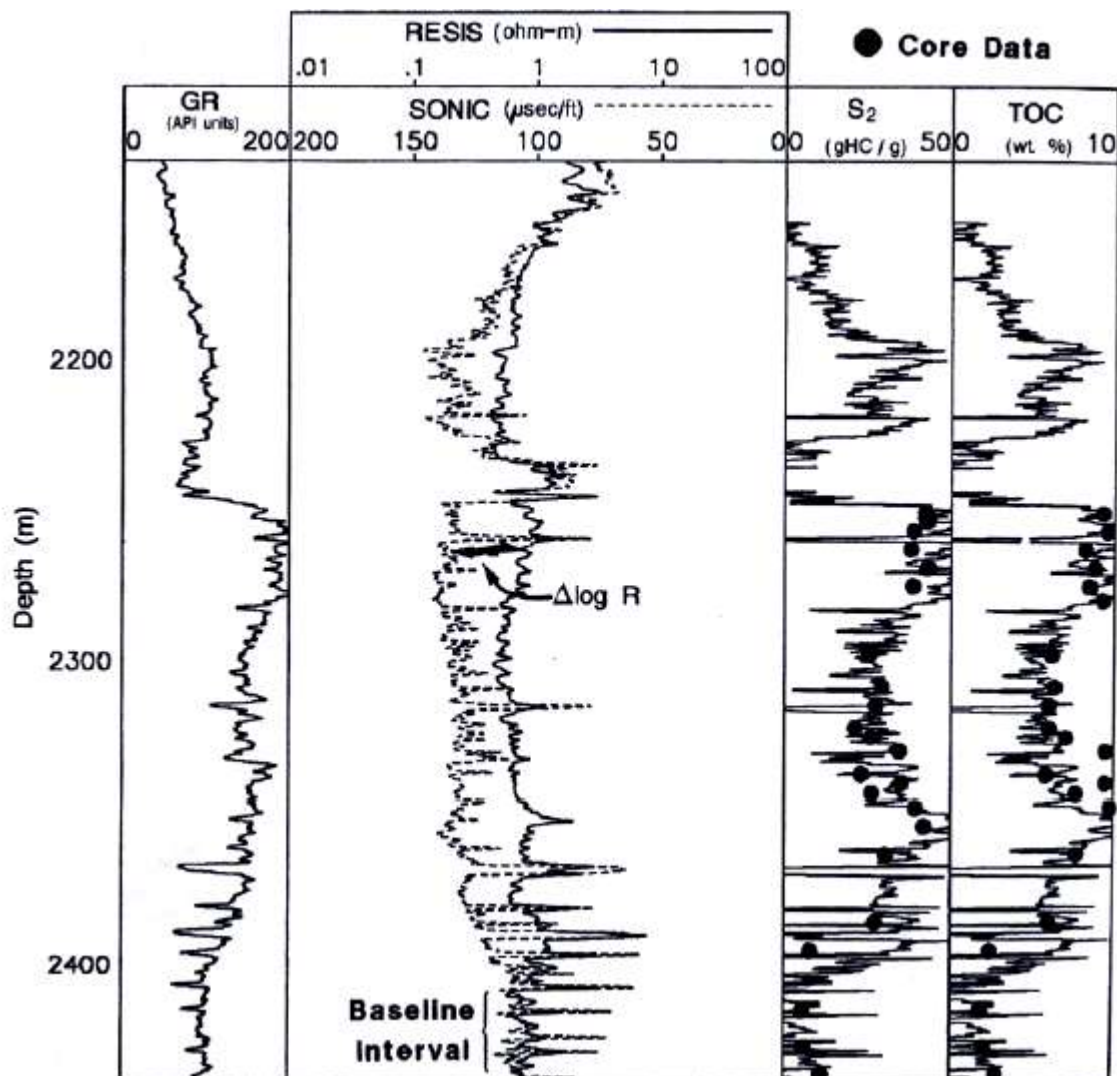
⁴⁹ Level of Organic Maturity

۱۲ مشخص می‌شود. در هر $\Delta \log R$ مشخص، با افزایش بلوغ، TOC کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان به جای استفاده از این معادله از یک نمودار استاندارد جهت استخراج TOC بهره برد شکل (۲-۳) [۷ و ۲۴].



شکل ۲-۳ نمودار استاندارد تخمین TOC به روش $\Delta \log R$ [۲۴].

پسی و همکاران نشان دادند پارامتر $\Delta \log R$ را می‌توان با میزان جدایش نگارهای نوترون و چگالی از نگار مقاومت ویژه نیز محاسبه نمود. با این حال به دلیل اطمینان بیش‌تر نسبت به اندازه‌گیری‌های نگار صوتی، استفاده از آن بر دو نگار ذکر شده ترجیح داده می‌شود. جهت استفاده از این روش بایستی محور اندازه‌گیری نگار مقاومت ویژه و صوتی را به شکلی استاندارد مدرج نمود شکل (۲-۴)



شکل ۲-۴ نحوه آماده‌سازی داده‌های چاه‌پیمایی جهت تخمین میزان مواد آلی به روش $\Delta \log R$ [۴۳].

۲-۵ شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با بهره‌گیری و تقلید از ساختار شبکه‌های عصبی درون بدن موجودات زنده ابداع گردیده و هدف از آن مدل نمودن رفتارها به وسیله این شبکه‌ها می‌باشد. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی تکنیک جدیدی در صنعت نفت به حساب می‌آید. این شبکه‌ها می‌توانند در شناسایی الگو، ذخیره داده‌ها و بازیابی آن‌ها، فیلتر کردن نوفه^{۵۰} داده‌ها و تقریب توابع برداری به کار روند. طراحی شبکه عصبی

⁵⁰ Noise

مصنوعی، راهی ساده و دقیق برای تخمین ویژگی‌های مهم مخزنی از جمله تخلخل و تراوایی و ... از روی داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی است [۴۴].

روش‌های قدیمی مورد استفاده در صنعت نفت معمولاً هزینه‌بر و وقت‌گیر بوده است. از این‌رو قادر به پاسخ‌گویی تمام نیازهای مهندسين و کارشناسان نخواهند بود، زیرا در دنیای امروز صنعت نفت با حجم وسیعی از داده‌ها و مسائل پیچیده سر و کار داریم. امروزه می‌توان الگوهای جدیدی برای حل مسائل پیش رو ارائه داد که در این میان روش‌های شبکه‌های عصبی در حل بسیاری از مسائل استفاده می‌شوند و کارایی خود را به مهندسين ثابت کرده‌اند. در این تحقیق نیز از این تکنیک جهت تخمین پارامتر TOC استفاده شده است.

۲-۵-۱ تاریخچه شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی توسط مک کلاک^{۵۱} و پیتز در سال ۱۹۴۳ معرفی شدند. اولین شبکه عصبی که توسط آن‌ها معرفی شد، دارای چند نرون ساده بود که قدرت محاسباتی قابل توجهی نداشت. در سال ۱۹۴۹ هب^{۵۲} اولین قانون آموزش شبکه‌های عصبی را پیشنهاد کرد که بر این اساس بود که اگر دو نرون به طور هم‌زمان فعال شوند، اثر ارتباطی بین آن‌ها افزایش پیدا می‌کند [۴۵].

در محدوده سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۲ روزنبلات^{۵۳} گروه بزرگی از شبکه‌های عصبی به نام پرسپترون را معرفی نمود. قانون آموزش این شبکه‌ها یک روش تکراری اصلاح وزن بود که بسیار قوی‌تر از قانون هب عمل می‌کرد. ویدرو^{۵۴} در سال ۱۹۶۰ شبکه آدلاین را ارائه داد. کاربردهای متعدد این شبکه در تشخیص متن، آن را به ابزاری در کنترل سیستم‌ها تبدیل کرد که هم‌چنان از آن استفاده می‌شود [۴۵].

⁵¹ McCulloch

⁵² Hebb

⁵³ Rosenblatt

⁵⁴ Widrow

در دهه ۱۹۷۰ میلادی کوهونن^{۵۵} تحقیقات فراگیری در مورد شبکه‌هایی با حافظه مشارکتی انجام داد که از آن در تشخیص صدا استفاده می‌شد [۴۶]. آندرسن^{۵۶} نیز تحقیقاتی در مورد شبکه پیشنهادی کوهونن انجام داد و نتیجه این تحقیقات، آن دسته از شبکه‌های عصبی است که امروزه در تشخیص‌های طبی به کار گرفته می‌شوند. گراسبرگ^{۵۷} نیز روابط ریاضی حاکم بر شبکه‌های عصبی را مطرح نمود. وی به اتفاق کار پنتر^{۵۸} تئوری مربوط به شبکه‌های عصبی را که قادر به مرتب کردن و طبقه‌بندی نمودن اطلاعات ورودی است و به نام تئوری تشدید تطابقی نامیده می‌شود، بنا کرد [۴۷]. با ابداع روش انتشار برگشتی که مستقیماً توسط پارکر^{۵۹} و لوکان ارائه گردید، تحولی در شبکه‌های عصبی صورت گرفت. از سایر کسانی که در پیش‌برد این زمینه سهمیم بودند، برنده جایزه نوبل فیزیک، هاپفیلد^{۶۰} بود که شبکه‌های عصبی را که بر اساس وزن ثابت عمل می‌کنند، برای اولین بار معرفی کرد. این شبکه‌ها حل مسائلی با قیدهای اولیه را ممکن ساختند [۴۸]. فوکوشیما^{۶۱} مجموعه‌ای از شبکه‌های عصبی به نام نروکگنیشن^{۶۲} جهت شناسایی حروف بسط داد. برنامه اصلاح شده او قادر به شناسایی حروف حتی با وجود تغییر شکل و یا دوران بود [۴۹].

۲-۵-۲ ساختار شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی از یک سری واحدهای ساختمانی اولیه تشکیل می‌شوند. این واحدهای اولیه را در سلول عصبی، نرون^{۶۳} می‌نامند. هر سلول عصبی دارای چندین ورودی است که پس از انجام عملیات پردازش، با هم ترکیب شده و یک خروجی مجزا ارائه می‌دهند. به عبارتی یک نرون، کوچک‌ترین واحد پردازش اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. این نرون‌ها به وسیله رابطه

⁵⁵ Kohonen

⁵⁶ Andersen

⁵⁷ Grossberg

⁵⁸ Carpenter

⁵⁹ Parker

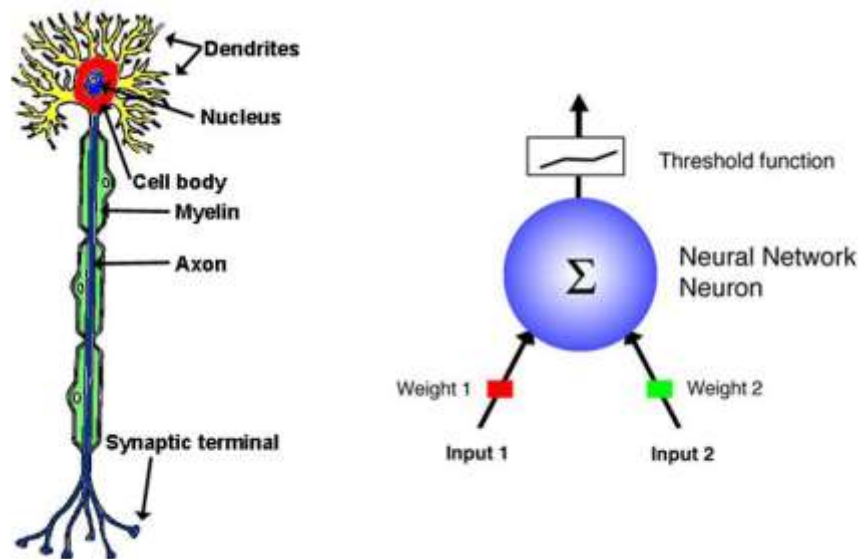
⁶⁰ Hopfield

⁶¹ Fukushima

⁶² Nerocognition

⁶³ Neuron

ساده‌ای به نام ارتباطات سینوپتیکی^{۶۴}، با هم ارتباط دارند. قدرت ارتباطات سینوپتیکی، به وسیله الحاق یک نرون به آن‌ها تغییر می‌یابد. نرون‌ها در یک شبکه عصبی مصنوعی در لایه‌ها سازمان می‌یابند و هر لایه برای هدف خاصی به کار می‌رود. در شکل (۲-۵) ساختار شبکه عصبی ساخته شده بر مبنای سیستم عصبی بیولوژیک را به طور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵ نمای شماتیک از شبکه عصبی ساخته شده (سمت راست) بر مبنای سیستم بیولوژیک (سمت چپ)

[۵۰].

لایه ورودی در حقیقت وظیفه انتقال اطلاعات در شبکه را بر عهده دارد. به جز لایه ورودی، تمامی لایه‌های دیگر در کار پردازش شرکت می‌کنند و در نهایت خروجی به دست می‌آید. لازم به ذکر است که اصلی‌ترین لایه در کار پردازش، لایه میانی است [۵۱].

۲-۵-۳ ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی

علی‌رغم آن‌که شبکه‌های عصبی مصنوعی به لحاظ پیچیدگی قابل مقایسه با سیستم‌های عصبی طبیعی نیستند، اما ویژگی‌هایی دارند که آن‌ها را در برخی کاربردها نظیر تفکیک الگو، کنترل و... ممتاز می‌سازد.

⁶⁴ Synaptic

این ویژگی‌ها عبارت‌اند از: قابلیت یادگیری، پردازش اطلاعات، قابلیت تعمیم، پردازش موازی و قدرت بالا با وجود نوفه [۵۲].

۲-۵-۴ طراحی شبکه عصبی پس انتشار^{۶۵}

شبکه عصبی پس انتشار، نوعی یادگیری با ناظر و مبتنی بر اصلاح خطا است. قانون پس انتشار خطا برای آموزش شبکه‌های عصبی چند لایه پیش‌خور که عموماً شبکه‌های چند لایه پرسپترون هم نامیده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵۳].

۲-۵-۴-۱ معرفی شبکه پرسپترون

یکی از شبکه‌های عصبی کلاسیک پرسپترون می‌باشد. اگر درباره شبکه عصبی صحبت می‌شود در بیش‌تر موارد در مورد یک پرسپترون یا نسخه‌ای از آن صحبت می‌شود. پرسپترون‌ها شبکه‌های عصبی چندلایه‌ای هستند که بدون بازگشت بوده و دارای لایه‌های ورودی و خروجی ثابتی هستند [۵۴].

۲-۵-۴-۲ پرسپترون چندلایه^{۶۶}

یک پرسپترون با دو یا تعداد بیشتر لایه‌های وزن آموزشی، یک شبکه *MLP* نامیده می‌شود. یک شبکه پرسپترون چندلایه می‌تواند مسائل خوشه‌بندی را نیز حل کند که در این حالت ممکن است که بیش از یک خروجی داشته باشد. در حالت کلی این موضوع می‌تواند از لحاظ ریاضیاتی اثبات شود که حتی یک شبکه پرسپترون چند لایه با یک لایه از نرون‌های مخفی می‌تواند به گونه‌ای دقیق یک تابع با شمار متناهی نقاط گسسته را تقریب بزند [۵۴].

⁶⁵ 1. Back Propagation

⁶⁶ Multi Layer Perceptron

۲-۵-۴ مزایای شبکه‌های پرسپترون چند لایه

یک شبکه پرسپترون چند لایه می‌تواند هر نگاشت دلخواهی را تقریب بزند، تنها وقتی که شبکه به اندازه کافی بزرگ باشد. اما اگر شبکه بسیار بزرگ باشد، مسأله یادگیری بدون محدودیت می‌شود و منجر به عمومیت ضعیف‌تری می‌شود [۵۴].

۲-۵-۴ معایب شبکه‌های پرسپترون چند لایه

شبکه‌های پرسپترون چند لایه دارای یادگیری با نظارت می‌باشند، بنابراین اگر مقدار هدف به آن‌ها داده نشود، نمی‌توانند به درستی کار کنند زیرا بعضی از مسائل وجود دارند که برای آن‌ها مقادیر هدف را نمی‌توان به درستی و به‌گونه‌ای دقیق تعیین کرد که در این نوع مسائل شبکه‌های پرسپترون چند لایه کاربرد بالایی ندارند.

ساختار پرسپترون چند لایه، یکی از پرکاربردترین و شناخته‌شده‌ترین انواع شبکه‌های عصبی در مراجع علمی است [۵۴]. در این نوع شبکه، هر نرون به تمامی نرون‌های لایه‌های قبل متصل است و جزء شبکه‌های کاملاً مرتبط^{۶۷} به حساب می‌آیند [۵۲].

۲-۵-۴ الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا^{۶۸}

در محیط نرم‌افزار متلب برای آموزش شبکه‌ها با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا، ۱۳ تابع مختلف طراحی شده است. در همه این توابع از گرادینان تابع عملکرد که در شبکه‌های پیش‌رو، معمولاً میانگین مربعات خطا^{۶۹} (MSE) در نظر گرفته می‌شود، استفاده شده تا با تصحیح پارامترها، تابع عملکرد کمینه شود. یک شبکه را می‌توان برای تخمین توابع رگرسیون غیرخطی، شناسایی الگو و یا طبقه‌بندی استفاده کرد. در حین آموزش، وزن‌ها و بایاس‌های شبکه بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌ها آموزش داده می‌شوند تا تابع

⁶⁷ Fully Connected

⁶⁸ Error back propagation algorithm

⁶⁹ Mean square error

خطا در شبکه کمینه شود. معمولاً تابع خطا میانگین مربعات اختلاف بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب است. در محیط نرم‌افزار متلب الگوریتم‌های متعددی قابل استفاده می‌باشند. فهم این که سرعت کدام الگوریتم آموزشی برای یک مسئله خاص بیش‌تر است، کار آسانی نیست. این موضوع به پارامترهای بسیاری مانند پیچیدگی مسئله، تعداد داده‌های ورودی، تعداد وزن‌ها و بایاس‌ها در شبکه و حداکثر خطای قابل قبول بستگی دارد. در حالت کلی برای شبکه‌هایی که حاوی چند صد وزن هستند، روش لونیبرگ-مارکوارت^{۷۰} سریع‌تر از بقیه همگرا می‌شود. خطا بر حسب تعداد لایه‌های پنهان و تابع تصمیم‌گیری و ... می‌تواند متفاوت باشد. انتخاب صحیح مجموعه آموزشی، ارائه داده‌ها (به گونه‌ای که قدرت تشخیص شبکه را ماکزیمم کند)، تفسیر نتایج شبکه و درک جزئیات درونی شبکه (مانند هندسه آن و پارامترهای کنترل‌کننده یادگیری) از نکات حائز اهمیت برای استفاده مطلوب شبکه هستند. در مورد هندسه شبکه انتخاب صحیح اندازه لایه پنهان امری مهم است. هرچقدر تعداد نرون‌های لایه پنهان بیش‌تر شود، قابلیت شبکه برای تشخیص الگو هم افزایش می‌یابد. البته زیاد شدن تعداد نرون‌ها در لایه پنهان ممکن است سبب بیش-برازش^{۷۱} شبکه شود. به بیان دیگر شبکه مثال‌های آموزشی را خوب یاد می‌گیرد ولی قابلیت و قدرت تعمیم آن کاهش می‌یابد [۵۵].

۲-۵-۵ الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت

روشی است برای یافتن کمینه یک تابع غیرخطی چند متغیره که به عنوان یک روش استاندارد برای حل مسئله کمینه مربعات برای توابع غیرخطی درآمده است [۵۶]. همانند روش‌های شبه نیوتن این روش نیز

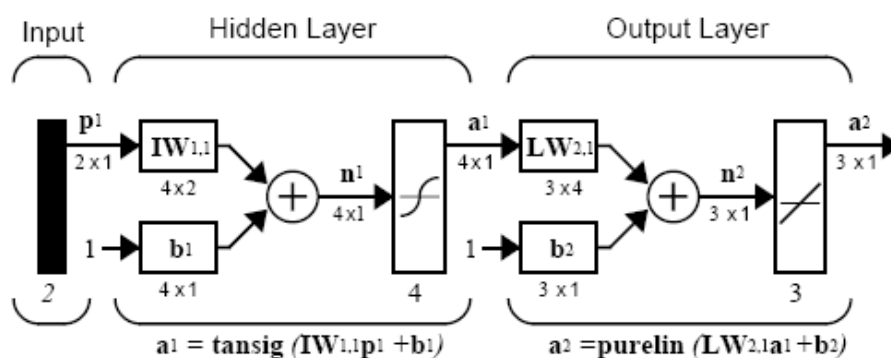
^{۷۰} Levenberg-Marquadt

^{۷۱} Over-fitting

سعی در کاهش محاسبات با استفاده از عدم محاسبه ماتریس هیسین دارد و بسیار سریع تر از بقیه الگوریتم-ها عمل می کند. اشکال عمده روش لونبرگ- مارکوارت نیاز آن به نگهداری ماتریس های پرحجم در حافظه است و این مسئله نیاز به فضای زیادی دارد [۵۷].

۲-۵-۶ آنالیز با شبکه عصبی پیش خور چندلایه^{۷۲}

در آموزش این شبکه، از الگوریتم پس انتشار خطا به عنوان اولین الگوی عملی ارائه شده برای آموزش این شبکه ها استفاده می شود [۵۸]. بنابراین تابع فعال سازی مورد استفاده آن ها، توابع اکیداً صعودی سیگموئیدی است. داده هایی که برای آموزش این شبکه ها مورد استفاده قرار می گیرد، هر کدام از یک جفت ورودی (نشانگرهای لرزه ای)، خروجی (به طور مثال نمودار TOC) متناظر با یکدیگر تشکیل شده اند. هم چنین اصلاح اوزان متناسب با حاصل ضرب خطا در ورودی، تا جایی انجام می شود که با تعدیل اوزان و کاهش اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی مطلوب، عملکرد شبکه راضی کننده باشد. در شکل (۲-۶) نمونه ای از شبکه پیشخور دو لایه نشان داده شده است.



شکل ۲-۶ نمونه ای از شبکه پیشخور دو لایه [۵۶]

⁷² Multi Layer Feedforward Neural Network

۲-۵-۷ آنالیز با شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی^{۷۳}

شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی، به طور گسترده برای تخمین غیرپارامتریک توابع چند بعدی از طریق مجموعه محدودی از اطلاعات آموزشی به کار می‌رود. این شبکه بیش‌ترین الهام را از تکنیک‌های آماری طبقه‌بندی الگوها گرفته و به واسطه آموزش سریع مورد توجه است [۵۹]. در این شبکه تنها یک لایه پنهان وجود دارد. بنابراین ساختار اصلی این شبکه‌ها را می‌توان متشکل از سه لایه ورودی، پنهان و خروجی دانست. در لایه ورودی، بدون اعمال هیچ‌گونه پردازشی، داده‌ها فقط وارد می‌شوند. در لایه دوم که همان لایه پنهان می‌باشد، یک انطباق غیرخطی بین فضای ورودی و فضایی که معمولاً بعد بزرگ‌تری دارد، برقرار می‌شود. پردازش در این لایه که در تبدیل الگوهای غیرخطی به الگوهای تفکیک‌پذیر خطی نقش مهمی دارد، بر اساس تابع گوسی با تابع پایه شعاعی انجام می‌گیرد. زیرا تابع نمایی جزء گروهی از توابع است که دارای بهترین خواص در تقریب‌سازی هستند [۶۰].

۲-۵-۸ آنالیز با شبکه عصبی احتمالاتی^{۷۴}

شبکه عصبی احتمالاتی جزء شبکه‌های تحت نظارت محسوب می‌شود و تابع مورد استفاده در آن، تابع انتقال نمایی است؛ اما در پشت این شبکه، ایده‌ای اصلی نهفته است که فعالیت شبکه براساس آن صورت می‌گیرد. طبق این ایده، مجموعه‌ای از یک یا چند نشانگر محاسبه شده به نام متغیرهای مستقل به منظور پیش‌بینی نمودار پارامتر مورد مطالعه (در این پژوهش *TOC*) به عنوان یک متغیر وابسته به کار می‌روند. این متغیرهای مستقل با ماهیتی برداری، ورودی‌های شبکه را تشکیل می‌دهند. این درحالی است که خروجی شبکه که از نوع متغیر وابسته می‌باشد، ماهیتی عددی دارد و تمام این داده‌ها با یکدیگر ارتباط

⁷³ Radial Basis Neural Network

⁷⁴ Probabilistic neural network

متناظر دارند. در این شبکه می‌توان متغیر وابسته را در مکان‌هایی که در آنجا متغیرهای مستقل، شناخته شده می‌باشند، تخمین زد. در واقع برای هر مجموعه آموزشی، شبکه احتمالاتی با فرض این که می‌توان مقدار هر خروجی را بصورت ترکیبی خطی از مقادیر ورودی در داده‌های آموزشی نوشت، عمل می‌کند که این تخمین براساس رابطه بنیادی رگرسیون عام شبکه عصبی احتمالاتی انجام می‌شود [۶۱].

۲-۶ لرزه‌شناسی

خواص پتروفیزیکی مخزن نظیر تخلخل، تراوایی و اشباع آب را می‌توان در محل چاه‌ها با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی یا نمونه‌های مغزه به‌دست آورد. از آن‌جا که خواص پتروفیزیکی مخزن به‌طور جانبی از چاهی به چاهی دیگر تغییر می‌کند، لذا طبیعی است که برآورد این خصوصیات در نقاط دور از چاه براساس اطلاعات چاه مشکل باشد. این امر در برآورد خصوصیات لبه‌های مخزن نمود بیش‌تری پیدا می‌کند. داده‌های لرزه‌ای و به خصوص لرزه‌نگاری سه بعدی حاوی اطلاعات با ارزشی در مورد تغییرات جانبی خصوصیات مخزن است. هنگامی که چاه‌ها در داده لرزه‌ای قرار دارند، می‌توان با استفاده از تفسیر لرزه‌ای، خصوصیات مخزن را برآورد کرد و از خصوصیات پتروفیزیکی در چاه‌ها به منزله نقاط کنترلی استفاده کرد [۶۲]. بدین ترتیب یکی از روش‌های ردیابی لایه‌های شیلی به‌کارگیری اطلاعات حاصل از خصوصیات مخزنی توسط داده‌های لرزه‌نگاری می‌باشد.

۲-۶-۱ وارون‌سازی

وارون‌سازی لرزه‌ای روشی برای تولید مدل زمین‌شناسی زیرسطحی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه‌نگاری است. علی‌رغم این که این روش در صنعت نفت از ۱۹۸۰ به کارگرفته شده است ولی به دلیل پیچیدگی‌های آن تا قبل از ۱۹۹۰ کاربرد زیادی پیدا نکرد تا این که هم‌زمان با رشد سریع فناوری رقومی به منزله یکی از روش‌های عملی و مهم در صنعت، جای خود را پیدا کرد. در این روش پاسخ‌های لرزه‌ای یا همان رد لرزه‌ای طی یک فرایند وارون‌سازی با الگوریتم‌های ریاضی به مدل بازتاب زمین برگردانده

می‌شوند. به‌طور کلی وارون‌سازی لرزه‌ای در دو مرحله پیش از برانبارش^{۷۵} و پس از برانبارش^{۷۶} می‌تواند صورت گیرد. روش‌های وارون‌سازی پس از برانبارش شامل روش‌های مبتنی بر مدل^{۷۷}، روش بازگشتی^{۷۸} و روش خارهای پراکنده^{۷۹} هستند.

وارون‌سازی در معنای کلی به معنای به‌دست آوردن پارامترهای مدل با استفاده از داده‌های موجود است. با این تعریف، وارون‌سازی در لرزه‌نگاری به معنای به‌دست آوردن مدل مقاومت صوتی زمین با استفاده از داده‌های لرزه‌ای خواهد بود. با به‌دست آوردن مقاومت صوتی که تخمینی از خصوصیات الاستیکی زمین است تخمینی از تغییرات تخلخل و تغییرات سیالات مخزنی حاصل می‌شود. در لرزه‌نگاری فرکانس‌های پایین و بالا قابل ثبت و مشاهده نیستند. برای جبران کمبود فرکانس‌های پایین می‌توان از داده‌های چاه‌پیمایی استفاده کرد. نمودارهایی که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند عمدتاً شامل نمودار چگالی و نمودار صوتی می‌باشند. مقاومت صوتی نتیجه حاصل ضرب سرعت در چگالی لایه‌های زمین می‌باشد. با استفاده از مقاومت صوتی لایه‌ها می‌توان ضرایب بازتاب موج لرزه‌ای را به‌دست آورد. در روش وارون‌سازی با استفاده از مقاطع لرزه‌ای و تلفیق اطلاعات نمودارهای پتروفیزیکی به‌منظور جبران فرکانس‌های پایین در ابتدا ضرایب بازتاب امواج لرزه‌ای به‌دست آمده و سپس مقاطع مقاومت صوتی حاصل می‌شود. شکل (۲-۷) نمایش‌گر تلفیق اطلاعات مختلف به منظور کسب نتایج مطلوب از روش وارون‌سازی می‌باشد [۶۳].

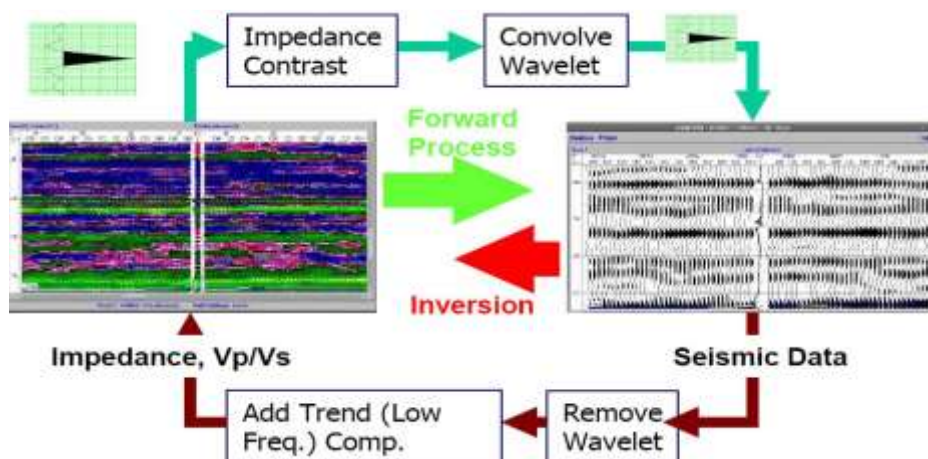
⁷⁵ Pre-stack

⁷⁶ Post-stack

⁷⁷ Model Based

⁷⁸ Band Limited

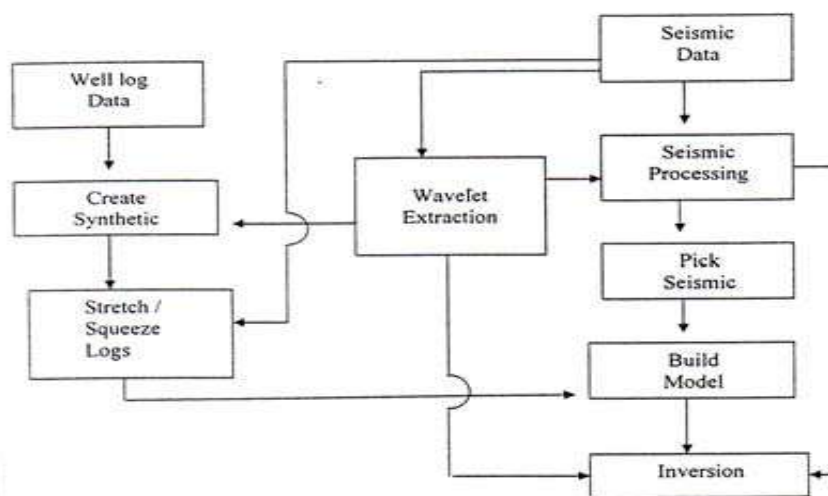
⁷⁹ Spars-Spike



شکل ۲-۷ تشکیل رد لرزه‌ای و برگردان لرزه‌ای [۶۴].

۲-۶-۲ مراحل انجام وارون‌سازی لرزه‌ای

همان‌طور که قبلاً بیان شد هدف از وارون‌سازی لرزه‌ای، تبدیل داده‌های لرزه‌ای به مقطع مقاومت صوتی می‌باشد. این فرآیند شامل حذف کردن تاثیر موجک لرزه‌ای است که در هنگام عملیات و پردازش روی داده‌ها اعمال شده است. برای انجام وارون‌سازی لرزه‌ای مراحل باید انجام شود که در شکل (۲-۸) آمده است.



شکل ۲-۸ مراحل انجام وارون‌سازی لرزه‌ای [۶۵].

گام ۱- جمع‌آوری داده‌های ورودی

داده‌های ورودی شامل داده‌های چاه‌ها، داده‌های لرزه‌ای، قیدها یا تحمیل‌گرها می‌باشد. مهم‌ترین نگارهایی که برای فرایند وارون‌سازی لرزه‌ای مورد نیاز هستند، نگارهای صوتی و چگالی می‌باشند.

گام ۲- تصحیح نگارهای چاه با *Check Shot* و یا *VSP*^{۸۰}

در اولین قدم باید داده‌های چاه و مقطع لرزه‌ای و یا *Check shot* تصحیح شوند. این کار با استفاده از *VSP* و *Check Shot* صورت می‌گیرد. در واقع این دو، رابط‌هایی هستند که قادرند نگارهای دیگر را از حوزه عمق به زمان تبدیل کنند. بنابراین داده‌های چاه و مقطع لرزه‌ای هم‌حوزه می‌شوند. نتیجه این که *Check shot* و *VSP* پل ارتباطی بین نگارهای با حوزه عمقی و مقطع لرزه‌ای با حوزه زمانی است و بدون وجود آن‌ها نمی‌توان هیچ‌گونه ارتباطی بین چاه و مقطع لرزه‌ای برقرار نمود.

گام ۳- تخمین موجک لرزه‌ای

مرحله بعدی برآورد موجک لرزه‌ای است. اولین قدم در برداشت داده‌های لرزه‌ای، تولید یک موج با طول زمانی محدود و مشخص می‌باشد. در عملیات لرزه‌نگاری، چشمه، انرژی را در مدت بسیار کوتاهی آزاد می‌کند و انرژی به صورت یک پالس به داخل زمین منتشر می‌شود که این موج به موجک لرزه‌ای معروف است. این موجک با انرژی و زمان متفاوت به گیرنده باز می‌گردد. تغییرات دامنه موجک از چشمه تا گیرنده تابعی از سرعت و چگالی زیر سطحی و همچنین موقعیت نسبی چشمه و گیرنده می‌باشد. مشخص بودن موجک لرزه‌ای در روش‌های مختلف تفسیر داده‌های لرزه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است. شناخت شکل صحیح موجک از تفسیر غلط چینه‌ای و ساختمانی جلوگیری کرده و علاوه بر آن قطبیت صحیح تابش را مشخص می‌نماید [۶۶]. در مواردی که نگارهای چاه‌پیمایی در دسترس باشند، می‌توان با استفاده از داده‌های

⁸⁰Vertical Seismic Profiling

چاه و داده‌های لرزه‌ای، موجک قابل قبولی به دست آورد. در این روش ابتدا با استفاده از نگار صوتی و نگار چگالی، نگار مقاومت صوتی در محل چاه محاسبه می‌شود.

$$I = \rho.V \quad (5-2)$$

ρ چگالی، V سرعت موج طولی و I مقدار مقاومت صوتی همگی در محل نمونه می‌باشد. با توجه به رابطه موجود بین مقاومت صوتی و ضرایب بازتاب که در زیر آمده سری ضرایب بازتاب در محل چاه به دست می‌آید.

$$R = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \quad (6-2)$$

استخراج موجک در قلب هر تکنیک برگردان لرزه‌ای قرار می‌گیرد و شکل موجک استنتاج شده لرزه‌ای شدیداً ارزیابی کیفیت مخزن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. لذا با استفاده از اطلاعات نگارهای چگالی و صوتی، مدلی از سری ضرایب بازتاب در محل چاه ساخته می‌شود. ابتدا با اعمال موجک تخمینی نگاشت لرزه‌ای مصنوعی ساخته می‌شود و این نگاشت با نگاشت لرزه‌ای در محل چاه مطابقت داده می‌شود. اگر خطا زیاد باشد موجک تغییر داده می‌شود تا خطا کاهش یابد. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که تطابق بین نگاشت مصنوعی و لرزه‌ای مطلوب باشد [۶۷].

معمولاً بین نگاشت مصنوعی و نگاشت لرزه‌ای تطابق کاملی حاصل نمی‌شود که ناشی از موارد زیر است:

❖ موجک به کار رفته در ایجاد نگاشت مصنوعی دقیق نیست.

❖ وجود بازتاب‌های چندگانه در داده‌های لرزه‌ای.

❖ تبدیل داده‌های عمقی چاه به زمان دقیق نمی‌باشند.

❖ ناهمگن بودن مواد سازنده لایه‌ها.

گام ۴- تصحیح چاه و مقطع لرزه‌ای

پس از آن که چاه و مقطع لرزه‌ای هم‌حوزه شدند و موجک لرزه‌ای نیز استخراج گردید اکنون باید مقطع

لرزه‌ای و چاه را با هم تصحیح نماییم. این کار به واسطه ساختن لرزه‌نگاشت مصنوعی انجام می‌گیرد. لرزه-نگاشت مصنوعی از همامیخت^{۸۱} موجک لرزه‌ای و ضریب بازتاب (RC) ساخته می‌شود [۶۸].

$$RC * Wavelet = SyntheticSeismogram$$

گام ۵- ساخت مدل اولیه

پس از استخراج موجک با استفاده از چاه و مقطع لرزه‌ای، و اطمینان پیدا کردن از این که چاه و مقطع لرزه‌ای تطابق خوبی دارند و یا به عبارتی پس از اطمینان از این که مقطع لرزه‌ای و نگارهای چاه با هم تصحیح شده‌اند، اکنون باید یک مدل اولیه از اطلاعات لرزه‌ای و نگارها ساخت. این مدل اولیه عموماً یک مدل واهمامیخت^{۸۲} است.

حال برای به دست آوردن ضریب بازتاب، مدل ساخته شده را در ردلرزه‌های مجاور (t) همامیخت کرده و ضریب بازتاب به دست می‌آید. این ضریب بازتاب، سری ضرایب بازتاب زمین در کل محدوده زیر پوشش لرزه‌نگاری سه بعدی می‌باشد. که در رابطه (۷-۲) به آن اشاره شده است.

$$RC = Model * t \quad (7-2)$$

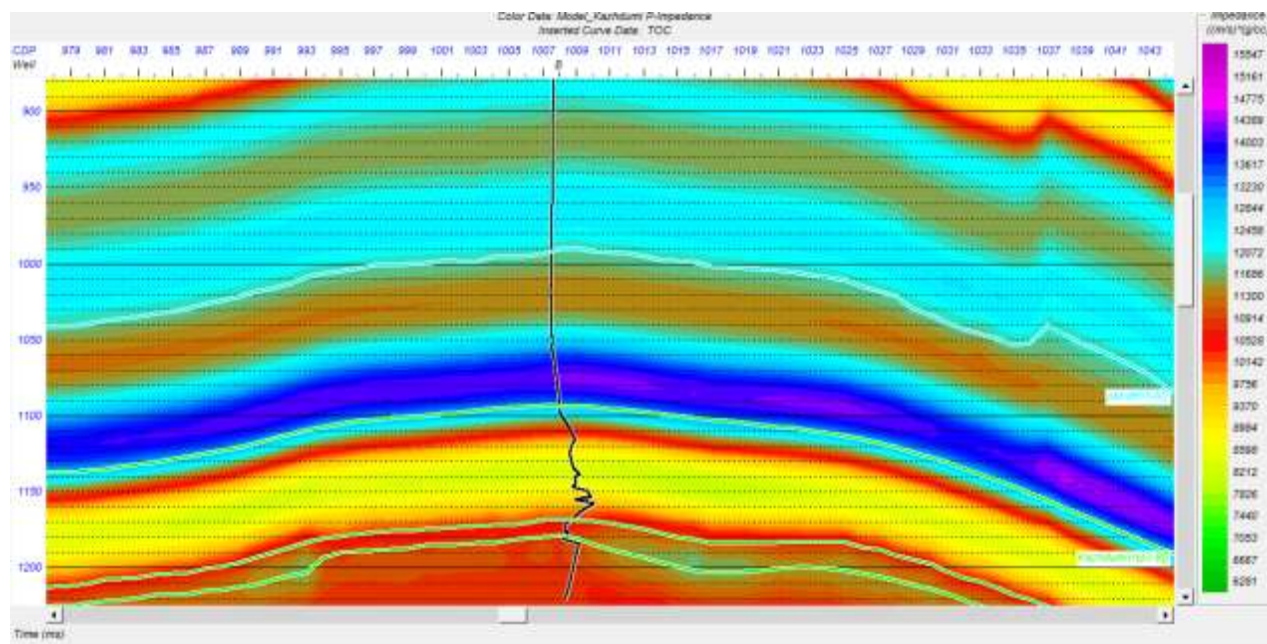
در این جا با استفاده از داده‌های افق‌های تفسیر شده و نگارهای صوتی و چگالی مدل اولیه مقاومت صوتی ساخته می‌شود. لازم به ذکر است که از افق‌های تفسیر شده جهت کنترل ژئومتری منطقه و از نگارهای صوتی و چگالی جهت کالیبره کردن مقاومت صوتی استفاده می‌شود.

پس از استخراج موجک با استفاده از چاه و مقطع لرزه‌ای یک مدل فرضی اولیه از اطلاعات لرزه‌ای و نگارها ساخته می‌شود. این مدل اولیه یک مدل امیدانسی است که با درون‌یابی مقاومت صوتی نگارهای چاه‌ها در هر واحد زمین‌شناسی به دست آمده و مؤلفه فرکانس پایین این مدل اغلب یک گزینه معتبر برای وارون‌سازی می‌باشد. کاربرد مدل زمین‌شناسی در وارون‌سازی دو مزیت دارد: مزیت اول آن محدود کردن

⁸¹ Convolution

⁸² Deconvolution

جواب‌های ممکن در وارون‌سازی لرزه‌ای است. زیرا همان‌گونه که ذکر شد، جواب وارون‌سازی یکتا نیست و مدل‌های بیشماری که از نظر ریاضی موجه هستند، وجود دارد. در مدل زمین‌شناسی شرط‌های محدود-کننده در هر عمق ایجاد می‌شوند و جواب وارون‌سازی محدود به این شرط‌ها می‌شود. مزیت دوم مدل زمین‌شناسی ایجاد اطلاعات فرکانس پایین است. معمولاً نتیجه وارون‌سازی در فرکانس‌های پایین‌تر از باند داده‌های لرزه‌ای به‌خوبی محدود نمی‌شود که می‌توان با استفاده از مدل زمین‌شناسی این داده‌ها را جایگزین نمود [۶۸]. در شکل (۲-۹) نمونه‌ای از یک مدل اولیه (مقاومت صوتی) را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۹ مدل اولیه مقاومت صوتی در این تحقیق

۲-۶-۳ انواع روش‌های وارون‌سازی

اهمیت وارون‌سازی لرزه‌ای به این خاطر است که در این فرایند داده‌های گوناگون شامل اطلاعات لرزه‌ای و اطلاعات نگار چاه و نتایج به‌دست آمده از مخزن و اطلاعات زمین‌شناسی با هم تلفیق شده و تفکیک‌پذیری و صحت و اعتبار مدل مخزن را بالا می‌برد و باعث می‌شود برای بهره‌برداری مخازن از چاه‌های کم‌تر در

محل‌های بهتر استفاده کنیم و این کمک عمده در جهت کنترل هزینه اکتشاف و تولید می‌باشد. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد روش‌های وارون‌سازی به روش‌های پیش از برانبارش و پس از برانبارش تقسیم می‌شوند. روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای پس از برانبارش موضوع بحث در این پژوهش می‌باشند. از این‌رو به توضیح آن می‌پردازیم. وارون‌سازی پس از برانبارش، مرحله‌ای است که در آن ردلرزه‌های برانبارش شده آنالیز شده و تلاش می‌شود که ساختمان و مدل مقاومت صوتی ساخته شود. در ابتدا مدل اولیه واهمامیخت به‌وسیله موجک استخراجی و نگارهای چاه ساخته می‌شود. سپس مرحله اصلی وارون‌سازی لرزه‌ای آغاز می‌شود. در نهایت تمام نتایج حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای به‌عنوان نشانگرهای خارجی وارد مرحله آنالیز نشانگرهای چندگانه در نرم‌افزار همپسون-راسل می‌گردد. روش‌های وارون‌سازی پس از برانبارش عبارت‌اند از:

۱- وارون‌سازی بازگشتی یا روش باند محدود ساده‌ترین روش وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است و به این دلیل که ردهای نهایی مقاومت صوتی، حاوی پهنای فرکانسی مشابه با داده‌های لرزه‌ای می‌باشند، به این روش باند محدود گفته می‌شود. وارون‌سازی باند فرکانسی محدود یک الگوریتم وارون‌سازی بازگشتی کلاسیک می‌باشد که اثر موجک لرزه‌ای را حذف می‌کند و مانند حالتی رفتار می‌کند که زمین از یک سری بازتابنده تشکیل شده است [۶۹].

۲- وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده: در این روش یک مدل برای ضرایب بازتاب فرض شده و تخمین موجک بر اساس مدل ضرایب بازتاب انجام می‌گیرد. در وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده هدف به‌دست آوردن سری ضرایب بازتاب از ردلرزه‌ای و بازسازی کامل باند فرکانسی مدل زمین است؛ به‌گونه‌ای که مدل دارای هر دو فرکانس‌های بالا و پایین باشد. در این روش از داده‌های لرزه‌ای به‌طور مستقیم در ساخت مدل مقاومت صوتی استفاده می‌شود. بنابراین در صورت نوفه‌دار بودن داده‌ها، نتایج به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد. همچنین نوع توزیع در نظر گرفته شده برای پارامترهای مدل، به منظور بازیابی فرکانس‌های زیاد مهم است [۷۰].

۳- وارون سازی زمان عبور موج^{۸۳}: در این روش پی گیری مسیر و زمان سیر موج ابزار اصلی می باشند.

۴- وارون سازی زمین آماری: اطلاعات اصلی در این روش به جای داده های لرزه ای از نگارهای چاه و اطلاعات زمین شناسی تأمین می شود. با این اطلاعات مدل اولیه زمین ساخته و برای افزودن اطلاعات تفضیلی تر به مدل از داده های لرزه ای استفاده می شود.

۵- وارون سازی بر مبنای مدل: اولین بار کوک و اشنایدر در سال ۱۹۸۳ این روش را معرفی کردند. اساس این روش بر پایه رفتار زمین به صورت بلوک های مقاومت صوتی استوار است. در این روش یک مدل اولیه با داده های لرزه ای مقایسه می شود. سپس اختلاف این دو در مدل تصحیح شده و این عمل تا زمانی تکرار می شود که مدل با داده های لرزه ای همخوانی قابل قبولی داشته باشد. روش وارون سازی بر پایه مدل به این دلیل که به طور مستقیم از اطلاعات لرزه ای استفاده نمی کند بسیار مورد توجه است. از جمله معایب این روش می توان به حساسیت و وابستگی زیاد آن به موجک اشاره کرد. همچنین مزایای این روش، حل شدن کامل معادله، شناسایی خطاها در حین حل مسئله و مدل سازی بازتاب های تکراری است [۷۱].

در روش وارون سازی بر پایه مدل ابتدا یک مدل زمین شناسی ساخته می شود. سپس این مدل با اطلاعات لرزه ای مقایسه می شود. از نتیجه مقایسه اطلاعات واقعی و مدل برای تصحیح مکرر مدل استفاده می شود تا با اطلاعات لرزه ای تطابق بهتری داشته باشد. از طرف دیگر در این روش ممکن است یک مدل سازگاری خوبی با داده های لرزه ای داشته باشد ولی مدل واقعی نباشد. مدلی که به عنوان هسته فرایند تلفیق اطلاعات پیشنهاد می شود از ترکیب مدل زمین شناسی با نگارهای چاه و سایر داده ها ساخته شده است [۷۲].

⁸³ Travel time inversion

۲-۶-۴ مقاومت صوتی

مقاومت صوتی به عنوان پارامتر مهم در تفسیرهای لرزه‌ای مانند شناسایی مرز سکانس‌ها در چینه‌نگاری لرزه‌ای و چینه‌نگاری سکانشی به کار می‌رود. به‌طوری‌که بازتابنده‌های قوی بر *AI* بالا و بازتابنده‌های ضعیف (*AI* پایین) بر مرزهای زمین‌شناسی منطبق هستند. این پارامتر در تعیین تغییرات جانبی سنگ‌شناسی به خوبی عمل می‌کند چون طی تغییرات سنگ‌شناسی، سرعت و چگالی تغییر می‌کند.

هم‌چنین قابل ذکر است، با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نتایج بیانگر آن بوده است که مقاومت صوتی (*AI*) بالاترین رابطه را با محتوای کربن آلی نشان می‌دهد. این رابطه، معکوس بوده و نقش مؤثری در شناسایی زون‌های با توزیع بالای مواد آلی ایفا می‌کند. تراکم بالای مواد آلی، باعث افزایش تخلخل، کاهش سرعت موج صوتی، کاهش چگالی و در نتیجه، کاهش مقاومت صوتی می‌شود. بنابراین از این نتایج می‌توان در ردیابی لایه‌های شیلی با محتوای کربن آلی بالاتر بهره برد [۷۳ و ۷۴].

۲-۶-۵ نشانگرهای لرزه‌ای

در تعریف ژئوفیزیکی، نشانگرهای لرزه‌ای تمام اطلاعات گرفته شده از داده‌های لرزه‌ای است که به‌صورت اندازه‌گیری‌های مستقیم محاسبه می‌شود و یا براساس تجربه از اطلاعات لرزه‌ای حاصل می‌شود. در حقیقت نشانگرهای لرزه‌ای توابع ریاضی مشتق شده از اطلاعات لرزه‌ای هستند که در حیطه زمان و فرکانس از داده‌های لرزه‌ای استخراج می‌گردند. این اطلاعات پایه‌ای شامل زمان، دامنه، فرکانس و جذب می‌باشند و این خصوصیات پایه‌ای، طبقه‌بندی نشانگرها را ممکن می‌سازند. براساس مطالعات اخیر نشانگرهای مشتق شده از زمان شامل اطلاعات ساختمانی می‌باشند و نشانگرهای مشتق شده از دامنه شامل اطلاعات چینه‌شناسی و مخزنی هستند و نشانگرهای مشتق شده از فرکانس شامل اطلاعاتی در ارتباط با خصوصیات مخزن می‌باشند و به آشکارسازی جزئی‌تر لایه‌بندی‌های زمین‌شناسی کمک می‌کنند. جذب انرژی، نشانگر دیگری است که می‌تواند اطلاعاتی در ارتباط با سیال و نفوذپذیری در اختیار ما قرار دهد [۷۴].

نشانگرهای لرزه‌ای برای کمک به ارتقای کیفیت تحلیل شرایط زیر زمین به کار می‌روند و می‌توانند حاوی اطلاعات جامعی از پدیده‌های مهم زمین‌شناسی منطقه و خواص جزئی سنگ مخزن باشند. افزایش تعداد نشانگرهای لرزه‌ای و تقسیم‌بندی آن‌ها توسط دانشمندان در ابتدا بسیار مناسب به نظر می‌رسید؛ اما گذر زمان نشان داده که این امر، مفسران را سردرگم می‌کند [۱۰].

در واقع هر نشانگر با دیدگاه خاص خود در مورد داده‌های لرزه‌ای، یک سری اطلاعات اضافی و مستقل در مورد هدف مورد مطالعه به دست می‌دهد که نباید آن‌ها را فقط با یک نشانگر تحلیل نمود [۷۵]. زیرا جزئیات مستخرج از هر نشانگر با دیگری متفاوت است. از این رو استخراج و ادغام تمامی نشانگرها و اطلاعات موجود در آن‌ها توسط مفسر کار دشواری است. لذا نشانگرهای اضافی باید حذف شده و نشانگرهای دلخواه با آن‌هایی که بهترین نتیجه را در یافتن پدیده‌ای خاص دارند، انتخاب شوند [۷۶].

نتیجه این عوامل باعث شده تا تلاش‌ها در جهت یافتن راهی برای دریافت تمامی جزئیات در یک خروجی صورت گیرد. برای درک بهتر از اطلاعات نشانگرهای لرزه‌ای قبل از هر چیز به واحد بودن یک نشانگر باید توجه کرد؛ یعنی برای شناسایی هر یک از خصوصیات پتروفیزیکی فقط باید به یک نشانگر رجوع کرد. اگر چند نشانگر برای یافتن عارضه‌های خاص مناسب هستند، بهترین آن‌ها را باید برگزید و نشانگرهای متفاوت از نظر کیفیت را نباید به عنوان نشانگر مجزا در نظر گرفت. عامل بعدی داشتن مفهوم معتبر ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی است؛ لذا نباید صرفاً به مفهوم ریاضی آن تکیه کرد [۷۷].

اکنون به بررسی وضعیت مخزن از دید نشانگرهای لرزه‌ای پرداخته می‌شود. نشانگرهایی که برای بررسی سیستم رسوبی و شناخت اولیه مخزن در نظر گرفته می‌شوند، به سه دسته کلی نشانگرهای دامنه، فرکانس و فاز تقسیم می‌شوند [۷۴].

۲-۶-۵-۱ نشانگرهای دامنه

یکی از مهم‌ترین نشانگرهای لرزه‌ای که پایه استخراج بسیاری از نشانگرهای دیگر است دامنه لرزه‌ای می‌باشد. دامنه لرزه‌ای نشانگری است که ارتباط بسیار خوبی با لیتولوژی و تخلخل مخزن دارد، لذا یکی از نشانگرهای لرزه‌ای بسیار مهم در شناسایی خصوصیات مخزنی است [۷۴].

۲-۶-۵-۲ نشانگرهای فرکانس

فرکانس لحظه‌ای عددی است که چگونگی تغییرات سریع فاز ردلرزه مختلط را بیان می‌کند. تغییر و تمایل به طرف فرکانس‌های پایین‌تر اغلب بر اثر بازتابش‌های ناشی از ماسه‌های گازدار، نفت میعانی و مخازن نفتی است. تمایل به سمت فرکانس‌های پایین اغلب فقط روی بازتابش‌هایی اتفاق می‌افتد که از بازتابنده‌هایی که بلافاصله زیر زون‌های نفتی قرار دارند بازتاب شده باشند. این نشانگرها برای پیش‌بینی نقاط جذب انرژی لرزه‌ای کاربرد دارند. تغییراتی شبیه نازک‌شدگی گوه‌ای و لبه‌های مرز بین آب و هیدروکربن، تمایل به تغییر شدید فرکانس لحظه‌ای دارند. این نشانگرها بیانگر مناطق دارای درزه و شکاف است که با فرکانس پایین مشخص می‌شوند. فرکانس لحظه‌ای به نوبه خیلی حساس است [۷۸].

۲-۶-۵-۳ نشانگرهای فاز

این نشانگرها به دلیل این که اطلاعات فاز، مستقل از دامنه‌های رد لرزه‌ای و مرتبط با فاز پیش‌رونده جبهه موج لرزه‌ای است، مستقل از توان بازتابی می‌باشند. فاز لحظه‌ای روی تداوم یک پدیده تاکید دارد. به عبارتی تمام قله‌های موج بدون توجه به دامنه آن‌ها مقادیر فاز مشابهی را نشان می‌دهند. همچنین این نشانگرها ساختار لایه‌بندی را به صورت جزئی نشان می‌دهند. هیدروکربن‌ها اغلب باعث تغییرات محلی فاز می‌شوند که این تغییرات در نقشه‌های فاز لحظه‌ای پدیدار می‌گردد [۷۴].

نشانگرهای لرزه‌ای به دو دسته کلی داخلی و خارجی تقسیم می‌شوند. نشانگرهای داخلی به شکل پیش-فرض نرم افزار از داده‌های لرزه‌ای خام استخراج می‌شود. برخلاف نشانگرهای داخلی، نشانگرهای خارجی

مانند مقاومت صوتی، به دلیل پیچیدگی بالا، باید به صورت فایل خارجی استاندارد ایجاد و فراخوانی شوند [۷۹].

۲-۶-۵-۴ ترکیب نشانگرها

رخساره‌های لرزه‌ای گاهی به قدری پیچیده‌اند که به تنهایی توسط یک نشانگر قابل شناسایی نیستند [۸۰]. بنابراین می‌توان به منظور افزایش اطلاعات ورودی برای دسته‌بندی رخساره‌ها و هم‌چنین افزایش توانایی جداسازی بین پدیده‌های موجود، با توجه با تأثیرگذاری نشانگرها در تفکیک پدیده‌ها، چند نشانگر لرزه‌ای را به طور هم‌زمان و در یک فضا به کار برد. در این صورت در حالی که یک نشانگر به یک پدیده خاص زمین‌شناسی موردنظر حساس می‌باشد، نشانگر دیگر ممکن است در مورد پدیده متفاوت دیگری حساسیت از خود نشان دهد و به جداسازی پدیده‌های موجود کمک بیش‌تری نماید [۸۱]. برای اثبات این ادعا باید گفت داده‌ای که تمامی نشانگرها از آن استخراج شده، مسلماً خود حاوی تمامی اطلاعاتی است که تک‌تک نشانگرهای استخراج شده به دست می‌دهند. بر این اساس، ترکیب یا تبدیل نشانگرهای مختلف امری ممکن است [۸۲]. علاوه بر این، خوشه‌بندی، ترکیب و تبدیل نشانگرها به فضاهای برداری با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی نیز عدم انطباق نشانگرها را نشان داده است [۸۳]. اما از آن جایی که در این مسیر از تعداد زیادی معادله و رابطه برای مدل‌های پیچیده استفاده می‌شود و هر یک از آن‌ها توصیفات متفاوتی از پدیده موردنظر دارند؛ مدل‌های پیچیده نیز ممکن است غیردقیق باشند. به بیان دیگر، اکثر مواقع و در هر معادله امکان مواجهه با تعدادی پارامتر که از نظر فیزیکی قابل اندازه‌گیری نیستند وجود دارد که این امر باعث کاهش دقت مدل‌های پیچیده می‌شود [۷۷]. بنابراین قبل از انجام هر کاری، نشانگرها جهت انتخاب بهترین-شان می‌بایست با یکدیگر مقایسه شده و با استفاده از تجارب مفسران مجرب، نهایت بهره‌برداری صورت گیرد.

۲-۶-۵ انتخاب نشانگرهای مناسب

ابتدا نشانگرهای لرزه‌ای از داده‌های خام لرزه‌ای در محل چاه‌ها محاسبه و استخراج می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

کسینوس فاز وزن داده شده با دامنه، فرکانس وزن داده شده با دامنه، فاز وزن داده شده با دامنه، قطبش ظاهری، کسینوس فاز لحظه‌ای، مشتق، مشتق دامنه لحظه‌ای، فرکانس میانگین، فرکانس غالب، فرکانس لحظه‌ای، فیلتر فرکانسی میان‌گذر با حد کم ۱۰-۵ هرتز و حد زیاد ۲۰-۱۵، فیلتر فرکانسی میان‌گذر با حد کم ۴۰-۳۵ هرتز و حد زیاد ۵۰-۴۵، فیلتر فرکانسی میان‌گذر با حد کم ۶۰-۵۵ هرتز و حد زیاد ۷۰-۶۵، انتگرال قدرمطلق دامنه، رد لرزه با تبدیل فاز 90° ، پوش دامنه، فاز لحظه‌ای، انتگرال، مشتق دوم و مشتق دوم دامنه لحظه‌ای. سپس از میان آن‌ها چند نشانگر که بهترین ارتباط را با پارامتر مورد بررسی دارند با استفاده از روش رگرسیون گام به گام انتخاب می‌گردند [۸۴]. شرح برخی از این نشانگرها در پیوست آورده شده است.

انتخاب تعداد زیادی نشانگر موجب پیچیده شدن بیش از اندازه مدل می‌شود. بنابراین حداکثر تعداد نشانگرهای مناسب و قابل قبول در نظر گرفته می‌شود. فرض کلیدی در این روش این است که اگر بهترین ترکیب M نشانگر از قبل معلوم است، بهترین ترکیب $M+I$ نشانگر، M نشانگر قبلی را نیز در بردارد.

فصل سوم

زمین‌شناسی منطقه و تحلیل داده‌ها و روش کار

۳-۱ مقدمه

در این فصل با توجه به اهداف مورد نظر در این مطالعه، پس از شرح مختصری از زمین‌شناسی منطقه، روش‌های مختلف تحقیق طی چندین مرحله مورد بررسی قرار گرفته است. در گام نخست به آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌ها و بررسی پتانسیل سازند کژدمی در سه چاه A، B و C پرداخته شده است. در مرحله بعد، مراحل مختلف انجام کار برای تخمین TOC با روش $(\Delta log R)$ انجام شده است. سپس ارزیابی پتروفیزیکی بر روی سازند هدف به منظور تعیین لیتولوژی به روش احتمالی و قطعی صورت گرفته است. در گام بعدی از شبکه‌های عصبی به منظور بالابردن دقت انجام ارزیابی‌های مراحل قبل بهره برده‌ایم و نهایتاً با اعمال داده‌های لرزه‌ای به ساخت مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی برای پارامتر TOC به کمک نشانگرهای لرزه‌ای مبادرت شده است.

برای انجام مراحل فوق در این مطالعه، نیاز بود تا اطلاعات کافی از داده‌های ژئوشیمیایی، نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌ای منطقه مورد نظر در اختیار قرار گیرد.

در این مطالعه از داده‌های چاه‌پیمایی سه چاه که نگارهای نوترون، صوتی، مقاومت، چگالی و... در آن‌ها موجود است، استفاده شده است. در این بخش بعد از مطالعه گزارش‌های در دسترس، به بررسی داده‌های چاه‌نگاری می‌پردازیم و تصحیحات احتمالی موردنیاز را انجام می‌دهیم. هم‌چنین به منظور هماهنگی داده‌های چاه‌پیمایی با داده‌های لرزه‌ای و تبدیل آن‌ها از مقیاس عمقی به مقیاس زمانی از داده‌های لرزه‌نگاری چاه (چک‌شات) استفاده می‌شود و سپس لرزه‌نگاشت مصنوعی ساخته می‌شود. در این مطالعه به کمک وارون‌سازی لرزه‌ای، مدل مقاومت صوتی تهیه می‌شود. لازم است با تکرار مدل‌سازی با پارامترهای مختلف به مدلی با کم‌ترین خطا دست یافت. با استفاده از نشانگرهای داخلی و خارجی به ساخت مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی برای پارامتر TOC می‌پردازیم و در نهایت رابطه پارامترهای مورد بحث از جمله لیتولوژی و حجم

شیل را با مقاطع لرزه‌ای مذکور در حالت‌های مختلف به‌دست می‌آوریم. این مطالعه بر روی سازند کژدمی در سه چاه واقع در خلیج فارس انجام شده است.

۳-۲ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی خلیج فارس

خلیج فارس به عنوان غنی‌ترین حوضه هیدروکربوری جهان، نقش بسیار مهمی در معادلات انرژی جهان دارد. تقریباً دو سوم ذخایر اثبات شده نفت و یک سوم ذخایر گاز طبیعی جهان در اختیار کشورهای حاشیه خلیج فارس قرار دارد. این حوضه در محدوده‌ای از خشکی‌های شرق عراق، جنوب و جنوب غرب ایران، شرق عربستان و سواحل امارات متحده عربی، قطر، بحرین و کویت قرار گرفته و حاوی تعداد زیادی از میادین نفتی و گازی می‌باشد [۸۵].

مخازن متعددی در مرز سیاسی بین ایران و کشورهای همسایه وجود دارد. این مخازن از لحاظ زمین‌شناسی یکپارچه و از لحاظ مالکیت مشترک است. بزرگ‌ترین میادین نفتی و گازی کشف شده در ایران تاکنون جزء مخازن مشترک محسوب می‌شوند.

امروزه خلیج فارس را به عنوان یک حوضه فروافتادگی تکتونیکی که در اواخر ترشیری تکامل یافته و بین عرض‌های جغرافیایی 24° تا 30° شمالی و طول‌های جغرافیایی 48° تا 57° درجه شرقی واقع شده است، در نظر می‌گیرند. خلیج فارس ساختاری نامتقارن دارد به‌طوری که شیب دامنه در سمت ایرانی بیش‌تر از قسمت عربی خلیج می‌باشد. شیب‌دارتر بودن دامنه در قسمت ایرانی را به چین‌خوردگی رشته‌کوه زاگرس مرتبط می‌دانند. بیش‌ترین عمق آب در خلیج فارس، در قسمت شمال شرق آن و نزدیک تنگه هرمز در حدود ۹۰ تا ۱۳۰ متر برآورد شده است، ولیکن عمق میانگین این خلیج ۳۵ متر در نظر گرفته می‌شود. عرض بیشینه خلیج فارس حدود ۳۳۸ کیلومتر و طول قسمت خط ساحل شمالی آن در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر می‌باشد و مساحتی در حدود ۲۲۰ هزار کیلومتر مربع را می‌پوشاند [۸۶].

در شکل (۱-۳) موقعیت بلوک‌های پنج‌گانه نفتی در خلیج فارس و دریای عمان که طرح مدل‌سازی سیستم‌های نفتی آن در دست مطالعه و اجرا می‌باشد نشان داده شده است. میدان مورد مطالعه در بلوک D قرار دارد.



شکل ۱-۳ موقعیت بلوک‌های پنج‌گانه نفتی در خلیج فارس و دریای عمان [۸۷]

رسوبات عهد حاضر خلیج فارس، از ساحل به سمت اعماق دانه‌ریزتر شده به گونه‌ای که مارن‌ها^{۸۴} در بخش مرکزی خلیج فارس تشکیل و رسوب می‌نمایند. آهک‌های مارنی، عمیق‌ترین رخساره عهد حاضر خلیج-فارس می‌باشند. رسوبات بستر در سواحل شرقی و غربی ایرانی خلیج فارس دانه‌ریزتر و از نوع گل و گل ماسه‌ای است در حالی که در بخش جنوبی این حوضه رسوبات عمدتاً کربناته می‌باشند. مارن‌ها رسوبات غالب این حوضه را تشکیل می‌دهند.

وجود تعداد زیادی سنگ منشأ بالغ و غنی از مواد آلی در خلیج فارس، بسیاری از سنگ‌های مخزن تولیدی را در اطراف و کشورهای حاشیه آن به ارمغان می‌آورد. در این منطقه، هیدروکربن‌ها بیش‌تر در ژوراسیک،

کرتاسه و کربنات‌های اواخر میوسن، انباشته شده بودند. سنگ‌های منشأ مختلف در مجموعه‌ای از دوره‌های فرسایش به واسطه بالا آمدن آب دریا، فرونشست‌های محلی و شرایط آب و هوایی مرطوب نهشته شده بودند [۸۸]. از نظر زمان زمین‌شناسی، این سازندها متعلق به ژوراسیک میانی، اکسفوردین، نئوکومین، آلبین، کامپونین (در کرتاسه)، ائوسن میانی و الیگوسن پایینی می‌باشند [۸۹].

پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی کمیت و کیفیت مواد آلی را در رسوبات کنترل می‌کنند. در میان آن‌ها شرایط انتقال و حمل و نقل رسوبات به منطقه، پتانسیل اکسیداسیون و محیط احیایی، بهره‌وری اولیه در زون نورگیر و درجه آشفستگی زیستی از مهم‌ترین فاکتورها می‌باشند که مقدار و نوع مواد آلی را تغییر می‌دهند [۹۰].

۳-۳ زمین‌شناسی میدان

۳-۳-۱ زمین‌شناسی ساختمانی

ساختمان میدان نفتی موردنظر واقع در شمال غرب خلیج فارس با دارا بودن جهت محوری شمال-شمال غربی و جنوب متأثر از دو روند چین‌خوردگی زاگرس و بخش عربی می‌باشد. بر اساس شواهد حاصل از تعبیر و تفسیر دو بعدی داده‌های لرزه‌ای و تولید نقشه‌های آن، مجموعه سه ساختمان این میدان و دو میدان مجاورش تاقدیس بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند که در زمین‌شناسی ساختمانی به چین‌های مرکب^{۸۵} معروف هستند. بر اساس مطالعات انجام گرفته مشخص گردیده است که در ساختمان این میدان دو مرحله چین‌خوردگی کاملاً مشهود می‌باشد، به‌طوری که مجموعه افق‌های پایین سروک (زیر ناپیوستگی تورونین) دارای یک سطح محوری و سازندها و بخش‌های بالای سروک دارای سطح محوری دیگری است و این دو سطح محوری در راستای یکدیگر قرار نمی‌گیرند.

⁸⁵ Anticlinorium

در بخش غربی ساختمان میدان، گسل پی‌سنگی عمیقی با جابجایی قائم حدود ۱۰۰ متر وجود دارد که ساختمان‌های این میدان و دو میدان مجاورش را تحت تأثیر خود قرار داده است. این گسل که از ساختمان نوروز تا خط ساحلی ادامه دارد می‌تواند در قسمت‌های خشکی نیز ادامه داشته باشد. گسل مزبور در مقاطع لرزه‌ای در افق‌های بالای سروک، در ورای یال غربی میدان قرار داشته و در افق‌های پایین سروک به محور ساختمانی نزدیک می‌شود.

۳-۳-۲ شرایط رسوب‌گذاری

در بررسی محیط رسوب‌گذاری سازندهای مختلف به ویژه افق‌های مخزنی در میدان مورد مطالعه می‌توان از نتایج حفاری ۵ حلقه چاه در این میدان و از اطلاعات لرزه‌نگاری منطقه بهره‌برداری نمود. همچنین استفاده از اطلاعات چاه‌های حفاری شده در میدان مجاور با توجه به نزدیکی دو میدان و یکسان بودن تقریبی محیط رسوب‌گذاری، می‌تواند اطلاعات ارزشمند چینه‌ای و رسوبی منطقه را در اختیار قرار دهد.

به‌طور کلی در اوایل کرتاسه به‌دلیل بالا آمدن سطح آب دریا، یک حوضه عمیق در لرستان تشکیل شده که تا میدان مورد مطالعه توسعه داشته است. در این حوضه شیل و کربنات سازند گرو نهشته شده است. تداوم این حوضه در منطقه طولانی نبوده و شرایط کم‌عمق‌تر در این ناحیه حکم‌فرما شده و نهشته‌های آهکی پلاتفرمی سازند فهلان رسوب‌گذاری کرده‌اند. این سازند در این مناطق به‌ویژه به سوی غرب و شمال غرب به‌صورت جانبی و تدریجی به شیل‌ها و آهک‌های رسی سازند گرو تبدیل می‌شود و با آن به‌صورت بین انگشتی قرار می‌گیرد. بعد از رسوب‌گذاری آهک‌های سولالی و یمامه، بخش رتاوی زیرین که به‌طور عمده از آهک و میان لایه‌های شیلی به رنگ خاکستری تیره است، رسوب می‌نماید. در طول زمان بارمین آپتین ابتدا بخش رتاوی فوقانی که به‌طور عمده از شیل و میان لایه‌های آهکی و کمی ماسه تشکیل گردیده است رسوب نموده و متعاقب آن رسوبات تخریبی حاصل از فرسایش فلات غربی به صورت رسوبات دلتایی، تشکیل ماسه‌سنگ‌های زیر را می‌دهد که به طرف مناطق عمیق‌تر خلیج فارس به تدریج به شیل و سنگ‌های

سیلتی سازند گدوان تبدیل می گردند. سازند رتاوی بالایی و زیر که بیش تر شامل آهک و شیل و ماسه سنگ هستند متعلق به محیط دلتایی می باشند که از نظر زمانی معادل سازند گدوان در نظر گرفته می شوند.

در طول زمان آپتین بالایی، ورود رسوبات تخریبی تمام شده و شرایط یک پلاتفرم کربناته حکم فرما می شود که نتیجه آن رسوب گذاری کربنات های سازند داریان می باشد. در بالای سازند داریان پدیده بیرون زدگی، فرسایش و وقفه رسوبی دیده می شود. بعد از آن در زمان آلبین سطح آب بالا آمده و شرایط اقلیمی و تکتونیکی به گونه ای می شود که یک محیط دلتایی در منطقه بوجود می آید که حاصل آن رسوب گذاری سازند کژدمی می باشد که حاصل فرسایش پی سنگ گرانیتهی سپر عربی بوده است.

در اواخر زمان آلبین ورود رسوبات تخریبی به حوضه خاتمه یافته و شرایط تشکیل یک پلاتفرم کربناته مهیا شده و در زمان سنومانین سازند کربناته سروک بر روی این پلاتفرم نهشته شده است. با توجه به عملکرد ناپیوستگی فرسایشی تورونین (در راس سازند سروک) در تاقدیس های این میدان و مجاور آن، ضخامت قابل توجهی از سازند سروک و گاهی مانند چاه شماره ۱۰ میدان مجاور همه ضخامت آن و حتی قسمتی از رأس شیل های کژدمی نیز فرسایش یافته است. ضمن این که فرآیند بالا آمدگی تا انتهای کرتاسه ادامه یافته و در رأس این دو میدان سازندهای لافان، ایلام و بخش اعظمی از سازند گورپی رسوب گذاری نشده است. ضخامت سازند گورپی در بخش های مختلف متفاوت بوده به طوری که از میدان مجاور به طرف میدان مورد مطالعه و نهایتاً به سمت مناطق شمالی میدان ضخامت گورپی کاهش یافته تا آن که در نواحی بالاتر از میدان، سازند پابده بر روی سازند سروک قرار می گیرد. با پیش روی دریا در اوایل دوران سوم، رسوبات دریای عمیق پابده و کربنات های چهارم با ضخامت های متفاوت نهشته می شوند. در میدان مورد مطالعه بخش بالایی رسوباتی به سن ائوسن مشابه رخساره چهارم و بخش پایینی آن همانند سازند پابده به سن پالئوسن می باشد. در زمان الیگو-میوسن^{۸۶} سازند آسماری با دو رخساره متفاوت سنگ شناسی شامل

⁸⁶ *Oligo-Miocene*

بخش کربنات زیرین و بخش ماسه‌سنگی غار (ماسه‌سنگ اهواز) در منطقه رسوب‌گذاری نموده است. در این منطقه بخش ماسه‌سنگ و بخش کربناته سازند آسماری توسط یک لایه شیلی به ضخامت حدود ۴ متر از یکدیگر جدا می‌شوند و دو مخزن جداگانه را تشکیل می‌دهند [۸۷].

۳-۳-۳ چینه‌شناسی منطقه خلیج فارس

مطالعات متعدد چینه‌شناسی توسط زمین‌شناسان مختلف ایرانی و خارجی در منطقه خلیج فارس صورت گرفته است. الدر^{۸۷} اولین مجموعه مدرن را به صورت گزارش در شرکت نفت تهیه نمود. جیمز و وایند^{۸۸} مجموعه جدیدتری را منتشر کردند و ستوده‌نیا همان مطالب را با اندکی تغییر در مجموعه چینه‌شناسی بین‌المللی انتشار داد. سرانجام فریدون قصبان کتابی با نام زمین‌شناسی نفت خلیج فارس را به رشته تحریر درآورد [۸۵ و ۹۱]. در ادامه با استفاده از این مطالعات، در مورد سازند مورد بررسی در منطقه خلیج فارس توضیحاتی داده می‌شود. سازند مورد بررسی در این تحقیق، سازند کژدمی می‌باشد. در شکل (۳-۲) بخشی از ستون چینه‌شناسی خلیج فارس نشان داده شده است.

۳-۳-۳-۱ سازند کژدمی

همان‌طور که اشاره شد در آلبین بالایی رسوب‌گذاری کژدمی و بورگان روی داریان و کربنات شعیبا شروع شده است. سازند کژدمی شامل سنگ آهک آمونوئیدی و بیتومنی تیره‌رنگ است که با سنگ آهک رسی تیره و شیل آهکی به صورت میان‌لایه قرار گرفته است. این لیتولوژی هم‌چنین یک پوشش برای مخازن کربنات سازند داریان زیرین در اغلب میادین به وجود می‌آورد. این سازند یک منشأ عمده برای هیدروکربن بوده است.

⁸⁷ Elder

⁸⁸ James & Wynd

سازند کژدمی در ناحیه فارس وجود دارد اما در مرکز و جنوب غربی لرستان به شیل سیاه و سنگ آهک دریایی گرو تبدیل می‌شود. این سازند شامل سنگ آهک رسی است که دارای مجموعه زیستی از فرامینفرهای پلانکتونی از جمله رادیولاریا و اسفنج می‌باشد. در جنوب غربی خوزستان، سازند کژدمی با ماسه‌سنگ بورگان و ماسه آزادگان بین انگشتی شده است. شیل‌های سیاه غنی از ماده آلی و سنگ آهک رسی سازندهای کژدمی و بالامبو ویژگی حوضه‌های درون فلات قاره‌ای ایران و عراق در ناحیه خلیج فارس می‌باشد. ضخامت سازند به سمت شمال غرب و شرق خلیج فارس افزایش می‌یابد. ضخامت کلی این سازند در آب‌های ایرانی میدان رسالت تقریباً ۶۰ متر و در میدان رشادت ۶۵ متر در خلیج فارس می‌باشد.

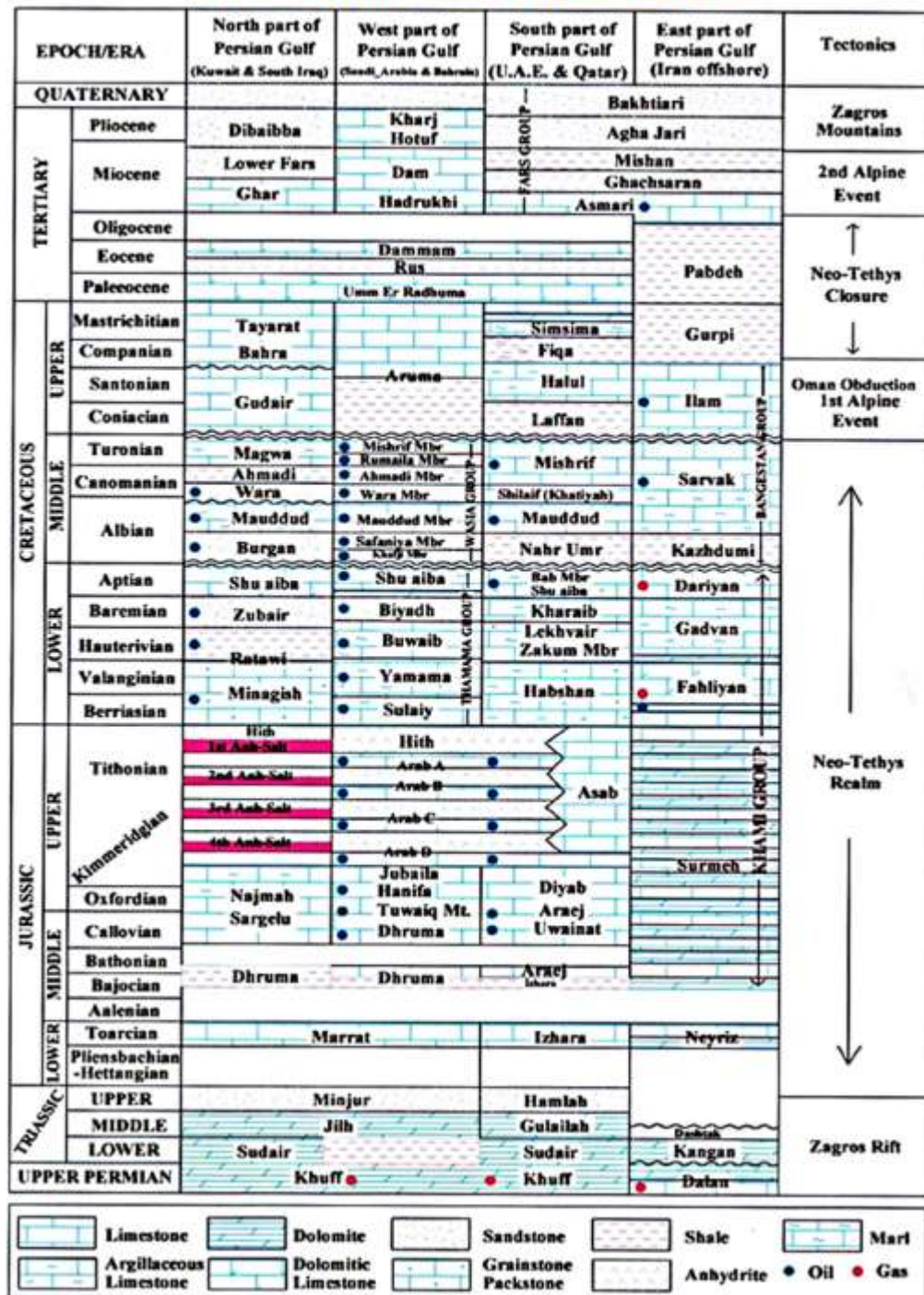
در منطقه مورد مطالعه سازند کژدمی از سه بخش متمایز تشکیل شده است:

الف- بخش شیلی: این بخش عمدتاً شامل شیل و مارن‌های تیره رنگ می‌باشد که در بین آن‌ها لایه‌هایی از آهک قهوه‌ای رس‌دار، ماسه‌ای و پیریت‌دار دیده خواهد شد.

ب- بخش آهکی: شامل آهک‌های قهوه‌ای روشن، کمی رسی و فسیل‌دار می‌باشد.

ج- بخش ماسه‌ای: این بخش قسمت مخزنی سازند کژدمی را تشکیل می‌دهد که از ماسه‌های کوارتزی ریزدانه همراه با بین لایه‌هایی از شیل‌های سیلتی تیره رنگ تشکیل یافته است. همچنین این بخش معادل ماسه‌سنگ‌های بورگان در کویت و جنوب شرقی عراق است که در مقایسه با آن‌ها ضخامت کمی دارد [۸۷].

Simplified Stratigraphy, Petroleum system and Tectonics of the Persian Gulf offshore-areas



شکل ۲-۳ ستون چینه‌شناسی سازندهای خلیج فارس در سواحل ایرانی و عربی [۹۲]

۳-۴ ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ منشأ

با توجه به این که سنگ منشأ باید مواد آلی را حفظ کند و مانع از اکسید شدن آن گردد، بنابراین باید سنگی دانه ریز بوده و در محیطی احیایی رسوب کرده باشد. چنین سنگی در گروه سنگ های تخریبی دریایی، گل سنگ یا شیل، در گروه سنگ های کربناته، آهک میکریتی و در گروه بینابین مارن خواهد بود [۹۳].

مواد آلی تحت تأثیر عواملی می توانند در مرحله اول تحت تأثیر فعالیت های زیستی و در مرحله بعدی نیز با فشار و حرارت تغییر شکل یافته و به نفت و گاز تبدیل شوند.

محتوای کربن آلی یکی از پارامترهای مهم جهت ارزیابی پتاسیل تولید هیدروکربن باقی مانده و توصیف ژئوشیمیایی لایه های تولید کننده نفت می باشد. به طور کلی لایه های غنی از کربن آلی با تخلخل نوترون بالا، زمان گذر صوتی بالا، چگالی پایین، تشعشع پرتوی گامای بالا و مقاومت بالاتر نسبت به سایر لایه ها با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی قابل شناسایی هستند.

این پارامتر ژئوشیمیایی، تعیین کننده میزان گاز یا نفت تولید شده و همچنین توانایی یک شیل در نگاه داشتن گاز جذب شده در سنگ منشأ فارغ از گاز موجود در فضای متخلخل است [۱۸].

حداقل میزان ماده آلی برای سنگ منشأ بودن در سنگ های شیلی ۰/۵ درصد و در سنگ های کربناته ۰/۲ درصد است. سنگ مادر شیلی فراوان تر از کربناته است ولی درصد معادل *TOC* در سنگ کربناته کم تر است. همان طور که در بالا اشاره شد سنگ های دانه ریز دارای مواد آلی بیش تری می باشند، زیرا این سنگ ها در محیط های کم انرژی نهشته می شوند. هرچه ارتفاع سطح آب از بستر دریا بیش تر شود انرژی محیط نیز کم تر می شود. بنابراین این می توان نتیجه گرفت میزان کل کربن آلی در این نوع سنگ ها بیش تر است. میزان محتوای کربن آلی در سنگ های مختلف نیز متفاوت است در جدول ۳-۱ لیست برخی از سنگ ها و محتوای کربن آلی آنها آمده است.

جدول ۳-۱ میزان TOC در سنگ‌های مختلف [۱۲]

نوع سنگ	$TOC(wt\%)$
شیل‌های قرمز	۰/۰۴
شیل‌های سبز	۰/۱-۰/۵
شیل‌های خاکستری	۱/۲-۳
شیل‌های سیاه	۷-۱۱
سنگ‌های آهکی و دولومیت‌ها	۰/۲-۳/۲
شیل‌های مارنی و یا آهک‌های آرژیلیتی	۴-۱۸

ارزیابی اولیه نمونه‌ها با استفاده از آنالیزهای ژئوشیمیایی ارزان و سریع، مانند پیرولیز راک-ایول، سنگ-های منشأ را از سایر افق‌های غیرمنشأ متمایز نموده و امکان انتخاب نمونه‌های بعدی برای آنالیزهای دقیق‌تر را فراهم می‌کند.

۳-۴-۱ بررسی پارامترهای ژئوشیمیایی

با توجه به هزینه بالای آنالیزهای ژئوشیمیایی، فواصل نمونه‌برداری معمولاً زیاد است. جهت انجام این مطالعه، نمونه‌های خرده سنگ حاصل از حفاری سازند کژدمی در سه چاه از میدان مورد مطالعه مورد آنالیز قرار گرفت. سپس به‌وسیله دستگاه پیرولیز راک-ایول به آنالیز پارامترهای ژئوشیمیایی پرداخته شد. از پارامترهای مهم محاسبه شده به‌وسیله دستگاه پیرولیز راک-ایول که در این مطالعه از آن‌ها استفاده شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در جدول ۳-۲ لیست برخی از پارامترهای ژئوشیمیایی آورده شده است.

S_1 (مقدار هیدروکربن آزاد)، S_2 (توان هیدروکربن‌زایی)، S_3 (مقدار CO_2 موجود در کروژن در اثر شکست حرارتی نمونه)، TOC (مقدار کل کربن آلی موجود در نمونه)، T_{max} (دمایی که پیک S_2 در آن بیشینه مقدار را نمایش می‌دهد). ضمناً می‌توان با استفاده از پارامترهای فوق شاخص هیدروژن HI (S_2/TOC) و شاخص اکسیژن OI (S_3/TOC) نمونه‌های مورد آنالیز را نیز محاسبه نمود [۶ و ۹۴].

جدول ۳-۲ پارامترهای مربوط به ارزیابی کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی و محدوده آنها [۹۴].

Quantity	TOC(%)	S ₁ (mg HC/g rock)	S ₂ (mg HC/g rock)
Poor	0-0.5	0-0.5	0-2.5
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5
Good	1-2	1-2	5-10
Very Good	2-4	2-4	10-20
Excellent	>4	>4	>20
Quality	HI (mg HC/g TOC)	S ₂ /S ₃	Kerogen Type
None	<50	<1	IV
Gas	50-200	1-5	III
Gas & Oil	200-300	5-10	II/III
Oil	300-600	10-15	II
Oil	>600	>15	I
Maturaion	RO(%)	Tmax(°c)	TAI
Immaturation	0.2-0.6	<435	1.5-2.6
Mature	Early 0.6-0.65	435-445	2.6-2.7
	Peak 0.65-0.9	445-450	2.7-2.9
Late	0.9-1.35	450-470	2.9-3.3
Postmature	>1.35	>470	>3.3

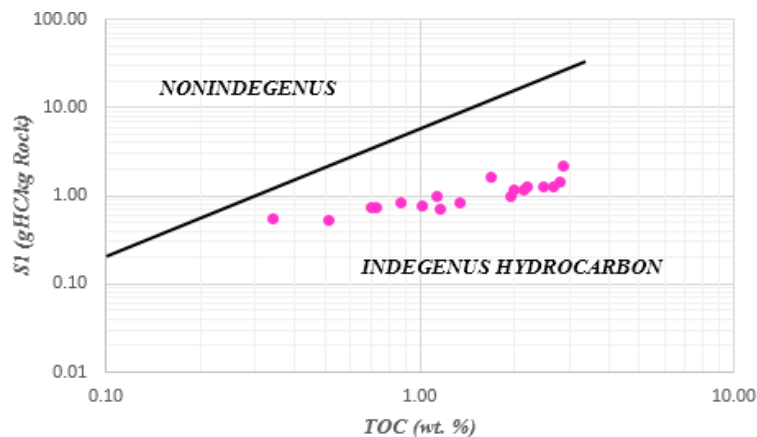
در ارزیابی نمونه‌ها، معمولاً جدول فوق راهنمای بسیار خوبی برای تعیین کمیت، کیفیت، نوع کروژن و درجه بلوغ مواد آلی می‌باشد. در این جا با توجه به محدوده‌های ذکر شده در بالا به بررسی و آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌ها می‌پردازیم.

۳-۴-۲ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه‌های مورد مطالعه

۳-۴-۲-۱ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه A

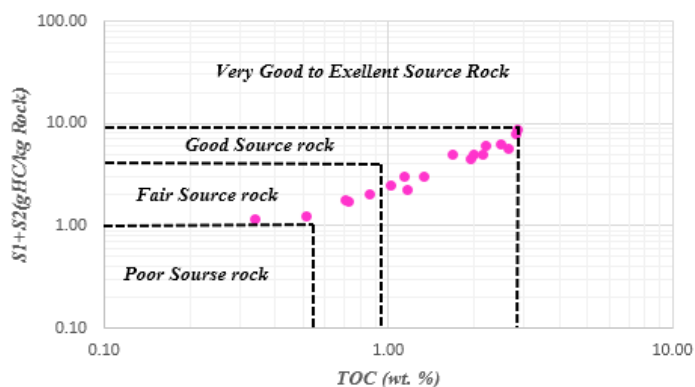
نمودار شکل (۳-۳-الف) برای بررسی این است که آیا خروجی‌های راک-ایول نشان‌دهنده خواص رسوبات از سازندهای مورد مطالعه‌اند یا آنها تحت تأثیر آلودگی احتمالی و یا مهاجرت هیدروکربن‌ها قرار گرفته‌اند؟ با توجه به شکل مذکور نمونه‌های زیر خط شامل مواد آلی برجا می‌باشند در حالی که نمونه‌های بالای خط

ممکن است به وسیله هیدروکربن‌های مهاجرت یافته آلوده شده باشند. مشاهده می‌گردد که کلیه نمونه‌ها در چاه A زیر خط قرار گرفته و برج می‌باشند.



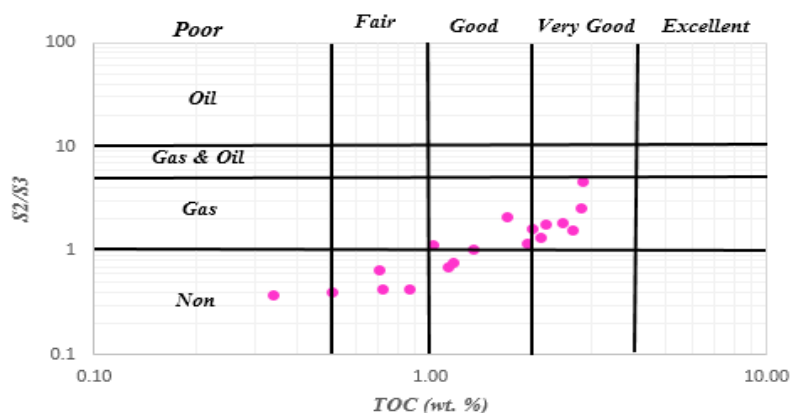
شکل ۳-۳-الف نمودار S_1 -TOC در نمونه‌های مورد مطالعه چاه A) برای تشخیص هیدروکربن‌های نابرجا (مهاجرت شده یا آلوده شده) از هیدروکربن‌های برج

شکل (۳-۴-الف) نمودار S_1+S_2 -TOC را در چاه A نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان پتانسیل تولیدی سازند را در رده سنگ منشأ متوسط تا خوب طبقه‌بندی کرد.



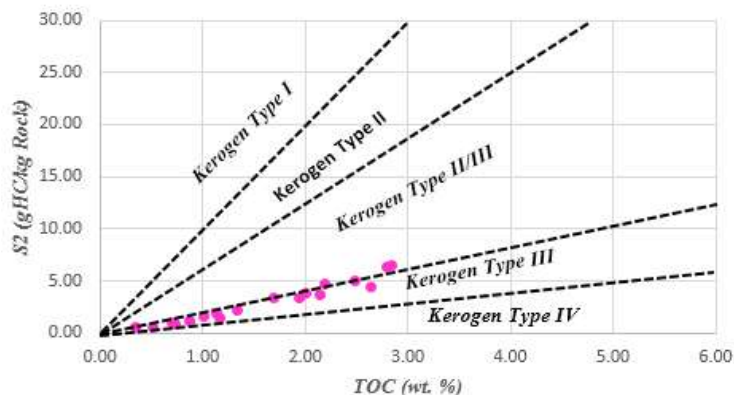
شکل ۳-۴-الف نمودار S_1+S_2 -TOC برای ارزیابی ژنتیکی سازند کژدمی در چاه A)

به منظور تعیین توانایی تولید هیدروکربن از نمودار S_2/S_3 در مقابل TOC استفاده شده است و نتایج آن در شکل (۳-۵-الف) دیده می‌شود. با توجه به شکل تعیین می‌گردد که سازند کژدمی در این چاه به عنوان یک سنگ منشأ متوسط تا خیلی خوب طبقه‌بندی می‌شود و محصول آن نیز گاز می‌باشد.



شکل ۳-۵-الف نمودار S_2/S_3 -TOC جهت تعیین کیفیت و کمیت هیدروکربن‌های تولیدی در چاه (A)

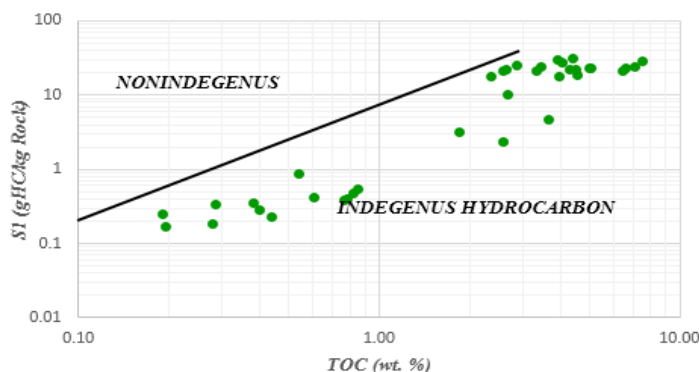
از نمودارهای استاندارد برای تعیین نوع کروژن، نمودار تغییرات S_2 -TOC می‌باشد. استفاده از نمودار مذکور برای نمونه‌های برگرفته از سازند کژدمی حاکی از تولید گاز و کروژن تیپ (III) در چاه (A) بوده است شکل (۳-۶-الف). از نظر منشأ، کروژن نوع II مخلوطی از بقایای گیاهان دریایی (خرده‌های فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون) و گیاهان خشکی است که در محیط‌های احیایی ته نشین شده است. کروژن نوع III بیش‌تر از بقایای گیاهان آلی خشکی می‌باشد (نمونه‌های چاه A). بنابراین پتانسیل تولید گاز را دارد.



شکل ۳-۶-الف نمودار تغییرات S_2 -TOC به منظور تعیین نوع کروژن در چاه (A)

۳-۴-۲-۲ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه B

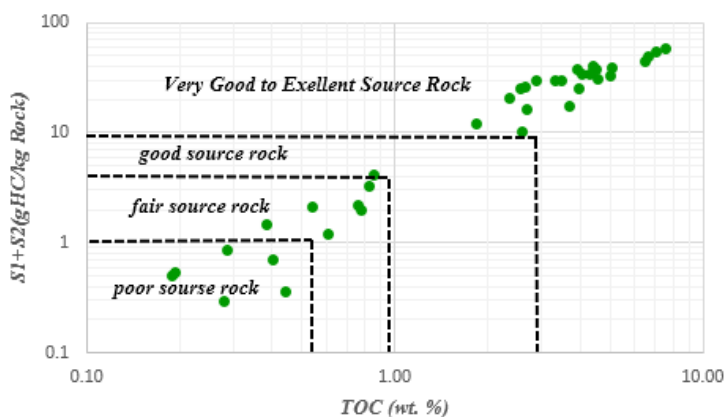
با توجه به شکل (۳-۳-ب) مشاهده می‌گردد که کلیه نمونه‌ها در چاه B زیر خط قرار گرفته و برج می‌باشند



شکل ۳-۳-ب نمودار S_1 -TOC در نمونه‌های مورد مطالعه چاه (B) برای تشخیص هیدروکربن‌های نابرجا (مهاجرت شده یا آلوده شده) از هیدروکربن‌های برج

(شکل ۳-۴-ب) نمودار S_1+S_2 -TOC را در چاه B نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان پتانسیل سازند را

به دو بخش سنگ منشأ ضعیف تا متوسط و بخش سنگ منشأ بسیار خوب تقسیم‌بندی نمود.

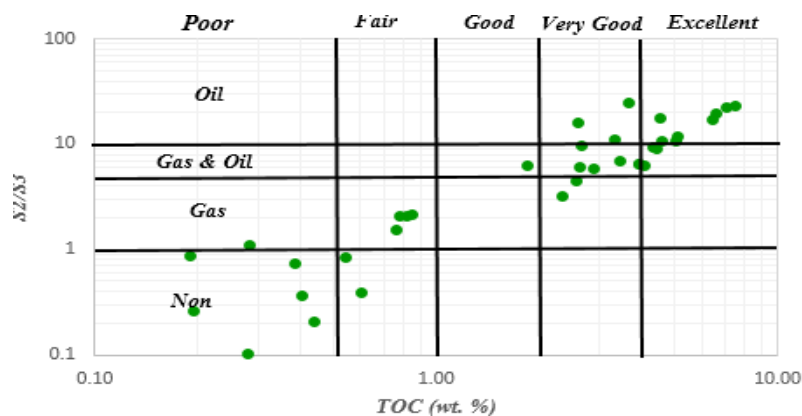


شکل ۳-۴-ب نمودار S_1+S_2 -TOC برای ارزیابی ژنتیکی سازند کژدمی در چاه (B)

با توجه به شکل (۳-۵-ب) سازند کژدمی در این چاه به عنوان سنگ منشأ دارای طیف گسترده‌ای از

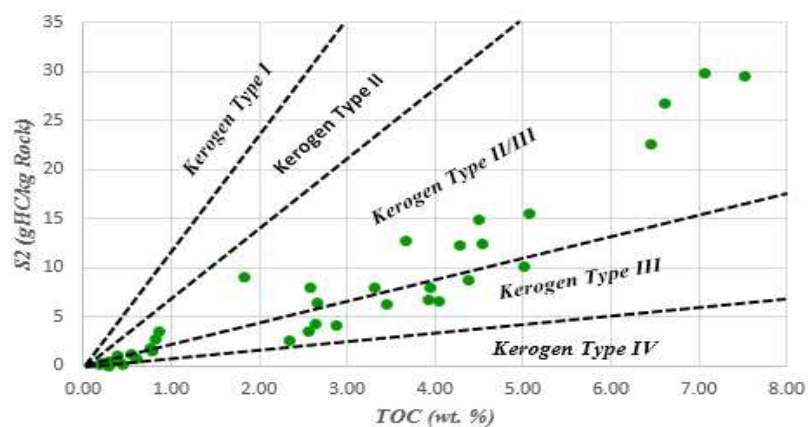
ضعیف تا بسیار خوب می‌باشد. البته طبق موقعیت اکثر داده‌ها به عنوان یک سنگ منشأ بسیار خوب

طبقه‌بندی می‌شود و محصول آن نیز گاز و نفت است.



شکل ۳-۵-ب نمودار S_2/S_3 -TOC جهت تعیین کیفیت و کمیت هیدروکربن‌های تولیدی در چاه (B)

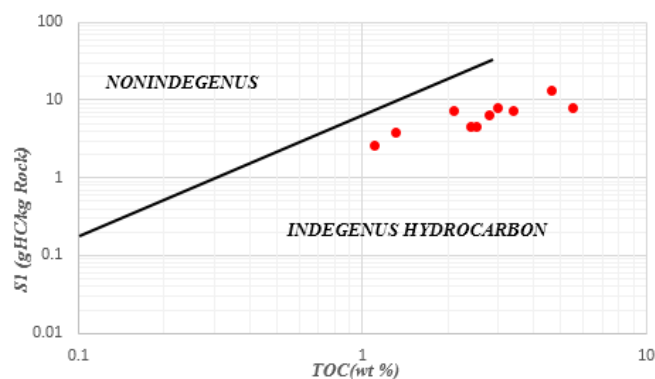
با توجه به شکل شماره (۳-۶-ب)، در چاه (B) تیپ کروژن‌های سازند تلفیقی از کروژن نوع II و II/III بوده که در این صورت محصول این سازند نیز گاز و نفت خواهد بود.



شکل ۳-۶-ب نمودار تغییرات S_2 -TOC به منظور تعیین نوع کروژن در چاه (B)

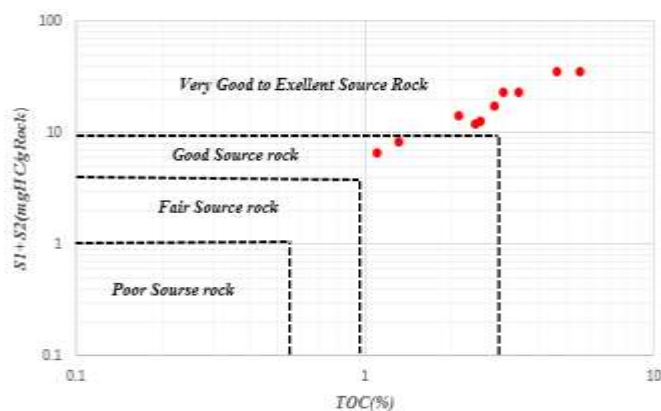
۳-۲-۴-۳ تحلیل نتایج پیرولیز راک-ایول چاه C

با توجه به شکل (۳-۳-ج) مشاهده می‌گردد که کلیه نمونه‌ها در چاه C زیر خط قرار گرفته و برجای می‌باشند.



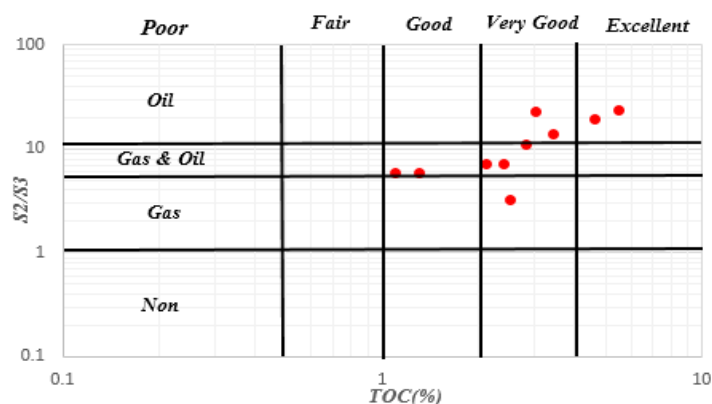
شکل ۳-۳ ج نمودار S_1 -TOC در نمونه‌های مورد مطالعه چاه (C) برای تشخیص هیدروکربن‌های نابرجا (مهاجرت شده یا آلوده شده) از هیدروکربن‌های برج

شکل (۳-۴-ج) نمودار S_1+S_2 -TOC را در چاه C نشان می‌دهد. در این شکل می‌توان پتانسیل سازند کژدمی را در رده سنگ منشأ خوب تا عالی طبقه‌بندی کرد.



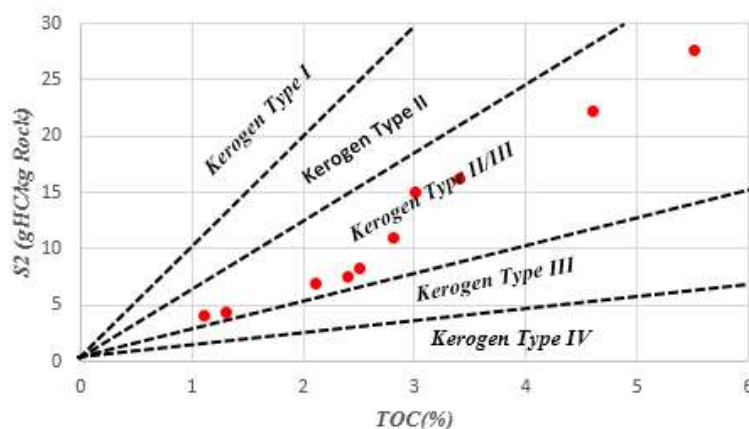
شکل ۳-۴ ج نمودار S_1+S_2 -TOC برای ارزیابی ژنتیکی سازند کژدمی در چاه (C)

با توجه به شکل (۳-۵-ج) سازند کژدمی در این چاه دارای سنگ منشأ خوب تا بسیار خوب است و محصول آن نیز گاز و بیش‌تر نفت است.



شکل ۳-۵- ج نمودار S_2/S_3 -TOC جهت تعیین کیفیت و کمیت هیدروکربن های تولیدی در چاه (C)

با توجه به شکل شماره (۳-۶-ج)، در چاه (C) نیز تیپ کروژن از نوع کروژن II/III بوده و محصول این سازند نیز نفت و گاز می باشد.



شکل ۳-۶- ج نمودار تغییرات S_2 -TOC به منظور تعیین نوع کروژن در چاه (C)

۳-۵ ارزیابی توان هیدروکربن زایی سنگ منشأ با کمک روش $\Delta log R$

در این بخش از تاثیر ماده آلی بر روی ابزارهای چاه پیمایی رایج در صنعت نفت استفاده می شود و روشی آسان با استفاده از برهم نهی نمودارهای درون چاهی بیان می شود. در سنگ های فقیر از ماده آلی و اشباع از آب، نمودارهای مقاومت ویژه و صوتی با یکدیگر موازی خواهند بود و می توانند بر روی هم قرار بگیرند. چون هردو نمودار به تغییرات تخلخل سازند پاسخ می دهند.

در مقابل در سنگ مخزن دارای هیدروکربن و سنگ مادر دارای کروژن و هیدروکربن ، جدایشی بین این دو نمودار اتفاق خواهد افتاد. در این شرایط با استفاده از نمودار پرتو گاما می توان مناطق مربوط به سنگ مخزن را تشخیص داد و از تحلیل حذف کرد. جدایش بین دو نمودار اخیر ناشی از دو اثر مهم است.

الف) پاسخ نمودار تخلخل (صوتی، چگالی، نوترون) به حضور کروژن به دلیل چگالی پایین.

ب) پاسخ نمودار مقاومت ویژه به سیال سازند.

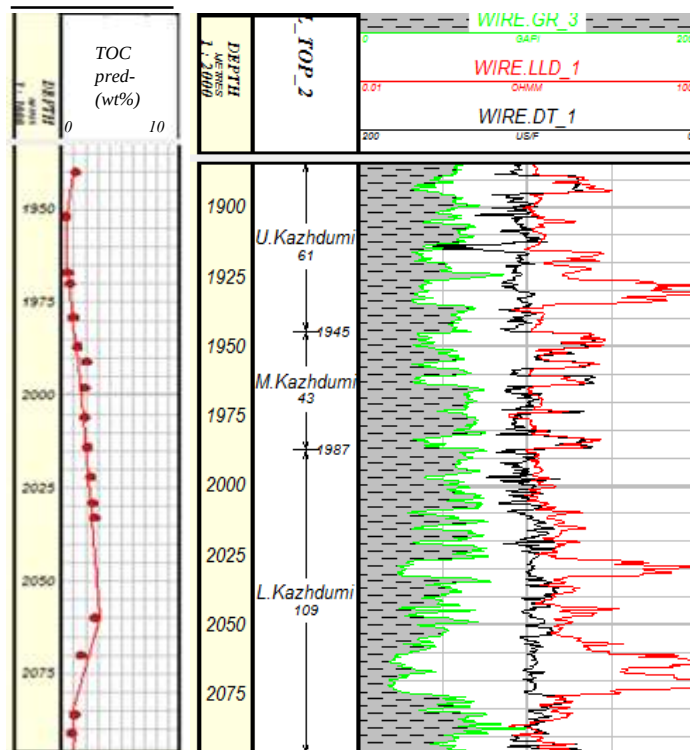
در یک سنگ منشأ نابالغ غنی از ماده آلی، هیچ هیدروکربنی تولید نشده است، اما بین دو نمودار صوتی و مقاومت ویژه جدایش وجود دارد. جدایش مشاهده شده بین دو نمودار اخیر مربوط به پاسخ نمودار تخلخل (صوتی، نوترون، چگالی) است. در صورتی که در سنگ منشأ بالغ از ماده آلی، علاوه بر پاسخ نمودار تخلخل، مقاومت ویژه به دلیل حضور هیدروکربن های تولید شده، افزایش می یابد.

نمودارهای درون چاهی مقاومت ویژه و صوتی در مناطق غنی از ماده آلی دارای جدایش مثبت هستند. جدایش مثبت زمانی اتفاق می افتد که نمودار درون چاهی مقاومت ویژه در سمت راست و نمودار صوتی در سمت چپ قرار بگیرند.

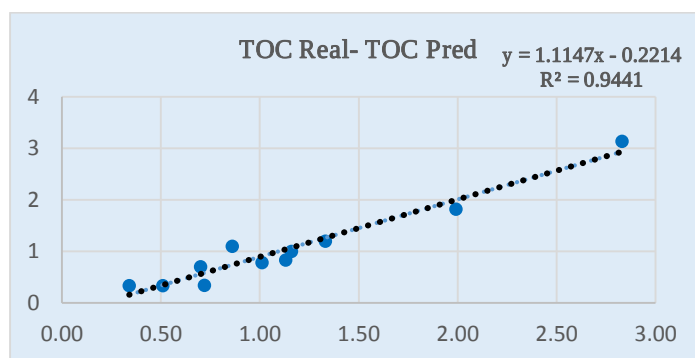
۳-۵-۱ استفاده از روش $\Delta \log R$ برای تخمین TOC در چاه های مورد بررسی

در چاه (A) از بین نگارهای تخلخل که تمامی آنها موجود است از نگار صوتی استفاده شده است. با برهم اندازی این نگار و نگار مقاومت عمیق (LLD) در سازند کژدمی و تعیین پارامترهای $LOM=8$ که با استفاده از نمودار S_2-TOC و نوع کروژن سازند مورد بررسی (شکل ۲-۲) آورده شده است. با اختیار مقادیر $(\Delta t_{baseline}=90.42)$ ، $(R_{baseline}=1.56)$ ، نسبت به تخمین TOC اقدام گردید. در (شکل ۴-۵-الف سمت راست) نمودار مربوط به برهم اندازی نگارهای صوتی و مقاومت آورده شده است. روابط محاسبه $\Delta \log R$ و TOC در فصل سوم (روابط ۲-۳ و ۴-۲) بیان شده اند و در نهایت با مقایسه مقادیر حاصل از این روش با مقادیر واقعی حاصل از آنالیز راک-ایول می توان دریافت که این روش در چاه (A) قادر است مقادیر قابل

قبولی از TOC را ارائه دهد و میزان ضریب تعیین TOC تخمین زده شده با مقدار واقعی آن از این روش ۹۴ درصد می‌باشد. در شکل (۳-۷-الف شکل سمت چپ) نمودار مقایسه مقادیر تخمینی TOC از روش $\Delta log R$ و مقادیر واقعی نمایش داده شده است.

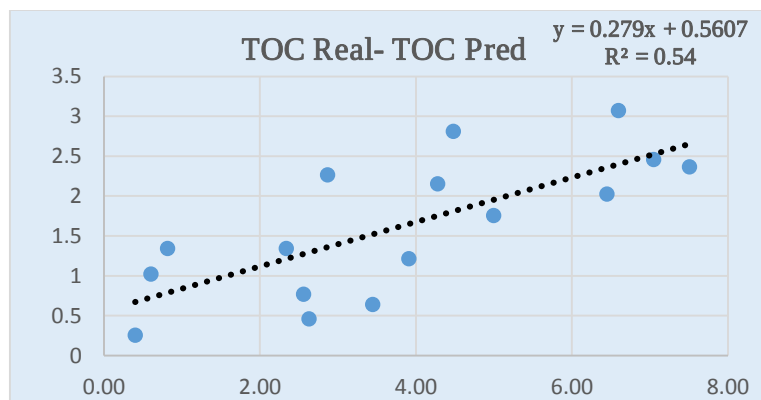


شکل ۳-۷-الف مقایسه TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta log R$ (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط رنگی) مربوط به سازند کژدمی (سمت چپ). بر هم‌اندازی نگارهای درون‌چاهی صوتی و مقاومت ویژه در چاه A (سمت راست)

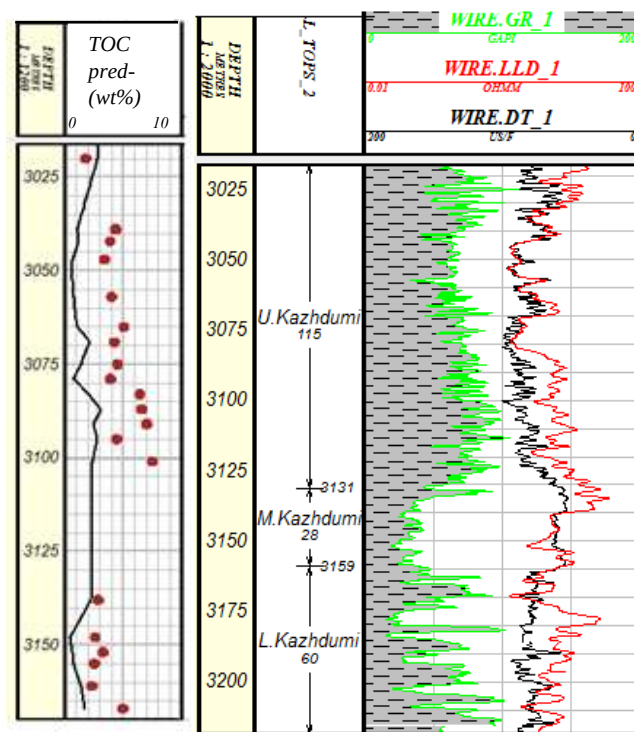


شکل ۳-۸-الف نمودار میزان ضریب تعیین مقادیر TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta log R$ و TOC اندازه‌گیری شده در چاه A

در چاه (B) نیز با برهم‌اندازی نگار صوتی و نگار مقاومت عمیق (LLD) در سازند کژدمی و تعیین پارامترهایی چون $LOM=10.25$ ، $(\Delta t_{baseline}=54.5)$ ، $(R_{baseline}=5)$ ، نسبت به تخمین TOC اقدام گردید. در (شکل ۳-۸-ب سمت راست) نمودار مربوط به برهم‌اندازی نگارهای صوتی و مقاومت آورده شده است. در نهایت با مقایسه مقادیر حاصل از این روش با مقادیر واقعی حاصل از آنالیز راک-ایول می‌توان دریافت که این روش در چاه (B) قادر به تخمین مقادیر قابل قبولی از TOC نبوده و میزان ضریب تعیین TOC حاصل از این روش با مقادیر واقعی TOC برای این چاه ۵۴ درصد می‌باشد که علت پایین بودن این ضریب به دلیل استفاده از داده‌های راک-ایول در سایر سازندها به دلیل کمبود داده در این چاه بوده است. طبق (-شکل ۳-۷-ب). در (شکل ۳-۸-ب سمت چپ) نمودار مقایسه مقادیر تخمینی TOC از روش $\Delta \log R$ و مقادیر واقعی نمایش داده شده است.

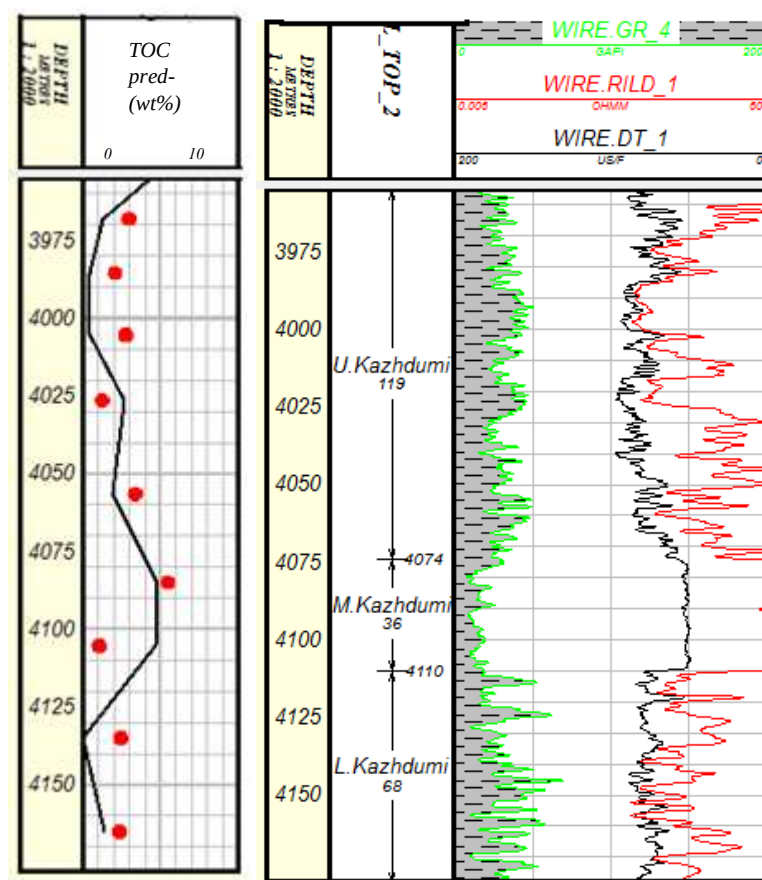


شکل ۳-۷-ب نمودار میزان ضریب تعیین مقادیر TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta \log R$ و TOC اندازه‌گیری شده در چاه B

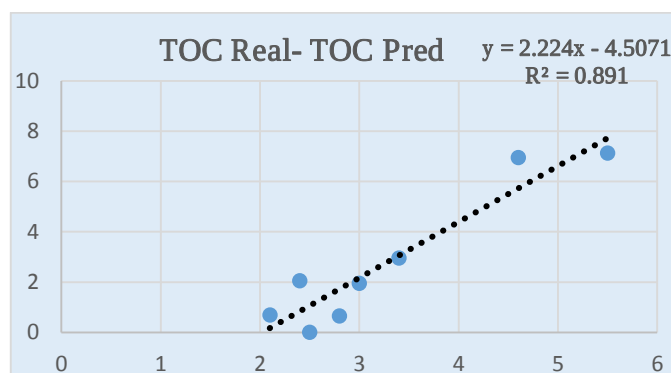


شکل ۳-۸-ب مقایسه TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta \log R$ (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط رنگی) مربوط به سازند کژدمی (سمت چپ). برهم‌اندازی نگارهای درون‌چاهی صوتی و مقاومت ویژه در چاه B (سمت راست)

در چاه (C) نیز با برهم‌اندازی نگار صوتی و نگار مقاومت عمیق (RILD) در سازند کژدمی و تعیین پارامترهای $LOM=10.5$ ، $(\Delta t_{baseline}=65)$ ، $(R_{baseline}=3.4)$ ، نسبت به تخمین TOC اقدام گردید. در (شکل ۳-۷-ج سمت راست) نمودار مربوط به برهم‌اندازی نگارهای صوتی و مقاومت آورده شده است. در نهایت با مقایسه مقادیر حاصل از این روش با مقادیر واقعی حاصل از آنالیز راک-ایول می‌توان دریافت که این روش در چاه (C) قادر به تخمین مقادیر قابل قبولی از TOC بوده و میزان ضریب تعیین TOC حاصل با مقادیر اندازه‌گیری شده برای این چاه از این روش ۸۹ درصد می‌باشد. در (شکل ۳-۷-ج سمت چپ) نمودار مقایسه مقادیر تخمینی TOC از روش $\Delta \log R$ و مقادیر واقعی نمایش داده شده است.



شکل ۳-۷ ج مقایسه TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta log R$ (خطوط پیوسته) و TOC اندازه‌گیری شده (نقاط رنگی) مربوط به سازند کژدمی (سمت چپ). برهم‌اندازی نگارهای درون چاهی صوتی و مقاومت ویژه در چاه C (سمت راست)



شکل ۳-۸ ج نمودار میزان ضریب تعیین مقادیر TOC تخمینی با استفاده از روش $\Delta log R$ و TOC اندازه‌گیری شده در چاه C

۳-۶ ارزیابی پتروفیزیکی

تعیین خواص پتروفیزیکی یک مخزن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از مهم‌ترین خواص پتروفیزیکی می‌توان به تعیین حجم شیل، تخلخل، اشباع آب و هیدروکربن و همچنین تراوایی اشاره کرد. در کنار خواص پتروفیزیکی، تعیین لیتولوژی و ضخامت زون خالص به ناخالص منطقه مورد مطالعه نیز با کمک خواص مخزنی همچون تخلخل و تراوایی و ... از اهمیت بالایی برخوردار است. خواص پتروفیزیکی یک مخزن معمولاً توسط روش‌هایی چون آنالیز مغزه و آزمایش چاه^{۸۹} نیز به دست می‌آیند که مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی می‌باشد و ضمناً به علت نبود مغزه‌های کافی، تغییرات سنگ‌شناسی و ناهمگنی سنگ مخزن، نتایج حاصل از تعیین این پارامترها توسط روش‌های مذکور از کیفیت مناسبی برخوردار نمی‌باشند. بنابراین روش بهینه برای کاهش هزینه‌ها، زمان و افزایش دقت استفاده از ارزیابی‌های موجود در نرم‌افزارهای پیشرفته مانند ژئولاگ و همچنین روش‌های تخمینی (شبکه عصبی مصنوعی) به کمک نگارهای اندازه‌گیری شده در مخزن می‌باشد.

برای انجام ارزیابی پتروفیزیکی از دو روش قطعی^{۹۰} و روش مبتنی بر احتمالات^{۹۱} استفاده می‌شود. در ارزیابی احتمالی، توصیفی از خواص فیزیکی و ویژگی‌های سیالات درون سنگ همراه با پارامترهای مؤثر بر آن‌ها به وسیله معادلات مرتبط و با کمک طرح‌های بهینه‌کننده ارزیابی و موارد دیگر پوشش داده می‌شود. معادلات مورد استفاده در بخش ارزیابی احتمالی به سادگی بخش ارزیابی قطعی نمی‌باشند. این معادلات از پارامترهای متنوع و فراوانی تأثیر می‌گیرند و به آن‌ها وابسته هستند و هم‌چون روش قطعی اکثراً به صورت خطی و ساده نیستند. در روش ارزیابی قطعی مجموعه‌ای از قدم‌ها به صورت گام به گام برداشته می‌شود تا

⁸⁹ Well Test

⁹⁰ Determin

⁹¹ Multimin

ارزیابی کامل شود. این قدم‌ها شامل محاسبه حجم شیل، تخلخل، اشباع آب و اشباع هیدروکربن و در نهایت به‌دست آوردن لیتولوژی بوده است.

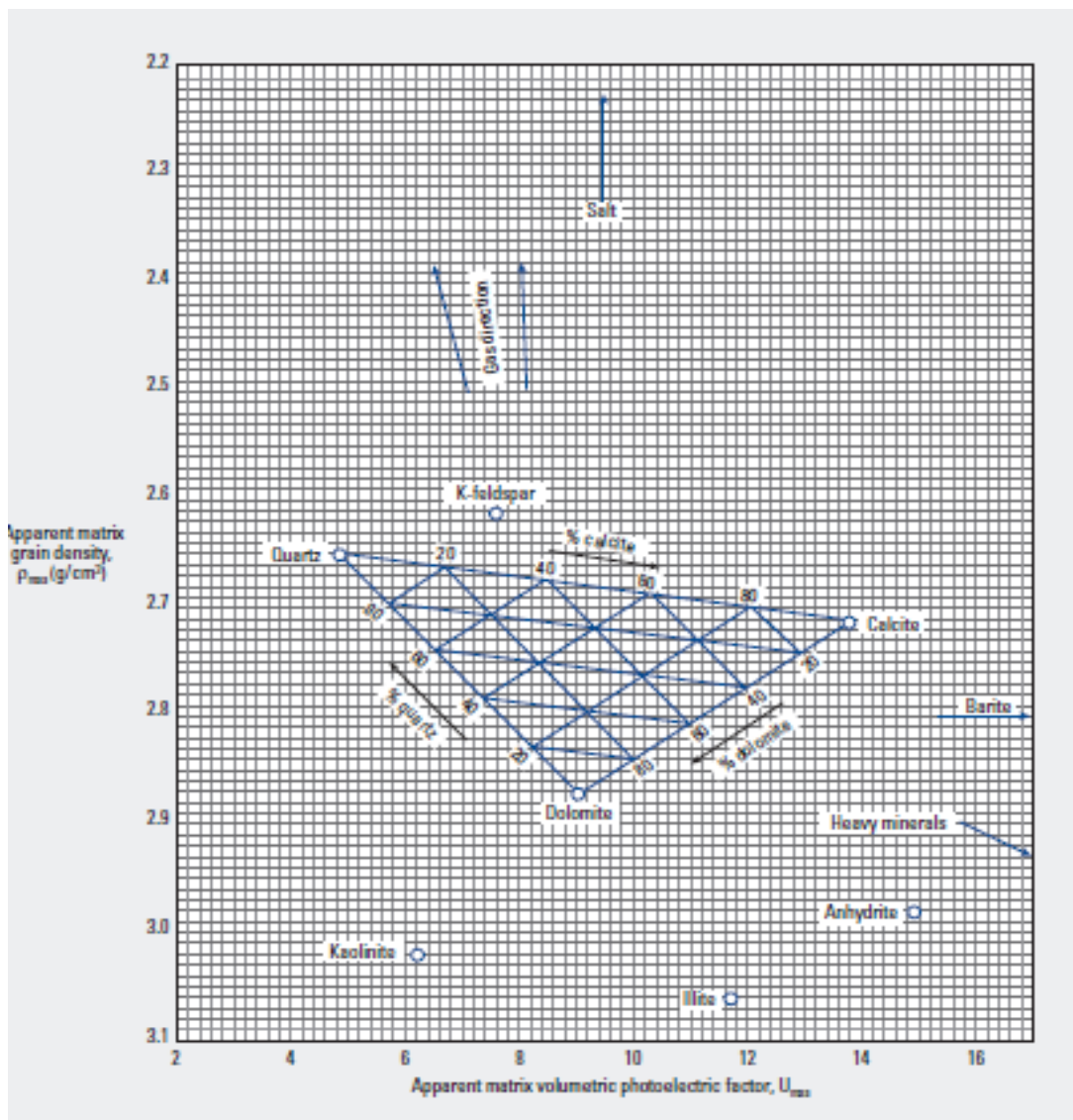
۳-۶-۱ انواع کراس پلات‌ها به‌منظور تعیین لیتولوژی

یکی از کاربردهای اصلی داده‌های نگار، تشخیص لیتولوژی است. پاسخ به این سوال که آیا یک مفسر می‌تواند در یک ناحیه ناشناخته فقط از روی داده‌های نگار، لیتولوژی را به‌دست آورد منفی است [۳۷]. می‌توان حدس‌هایی زد ولی تعداد متغیرها به قدری زیاد است که در صورتی که اطلاعی از لیتولوژی غالب وجود نداشته باشد، نمی‌توان کانی‌شناسی و لیتولوژی را تعیین کرد. از این‌رو دخالت دادن اطلاعات زمین‌شناسی در تفسیر نگار لازم است [۳۴].

روش‌های مختلفی برای تعیین لیتولوژی وجود دارند که کاربرد آن‌ها تابع فراهم بودن، تعداد و نوع نگارهای حساس به لیتولوژی است. به‌طور کلی حداقل دو نگار لازم است تا بتوان برآوردی از لیتولوژی انجام داد. کراس پلات‌های مختلف شامل: نوترون-چگالی، نوترون-صوتی، چگالی-صوتی و چگالی-فوتوالکتریک علاوه بر تخلخل، برای تعیین لیتولوژی نیز کاربرد دارند. با استفاده از این کراس پلات‌ها می‌توان حداقل دو ترکیب کانی‌شناسی مانند، دولومیت-آهک و یا آهک-ماسه را تعیین کرد [۳۴].

۳-۶-۱-۱ کراس پلات RHOMA-UMA

مهم‌ترین کاربرد این کراس پلات تعیین لیتولوژی می‌باشد. برای تعیین لیتولوژی با استفاده از این کراس پلات مراحل مختلفی به ترتیب باید انجام شود. در این کراس پلات هر نقطه می‌تواند در چندین مثلث که از ترکیبات کانی‌شناسی مختلف ساخته شده، قرار گیرد و مفسر باید ترکیب صحیحی از کانی‌شناسی منطقه را با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی موجود ارائه دهد. یکی از نکات مثبت و بارز این کراس پلات جداشدگی مناسب بین لیتولوژی‌های اصلی می‌باشد و بدین ترتیب درصد کانی‌های موجود در سازند را می‌توان به‌راحتی به‌دست آورد. در شکل (۳-۹) جدول شلومبرژه مربوطه مشاهده می‌شود.

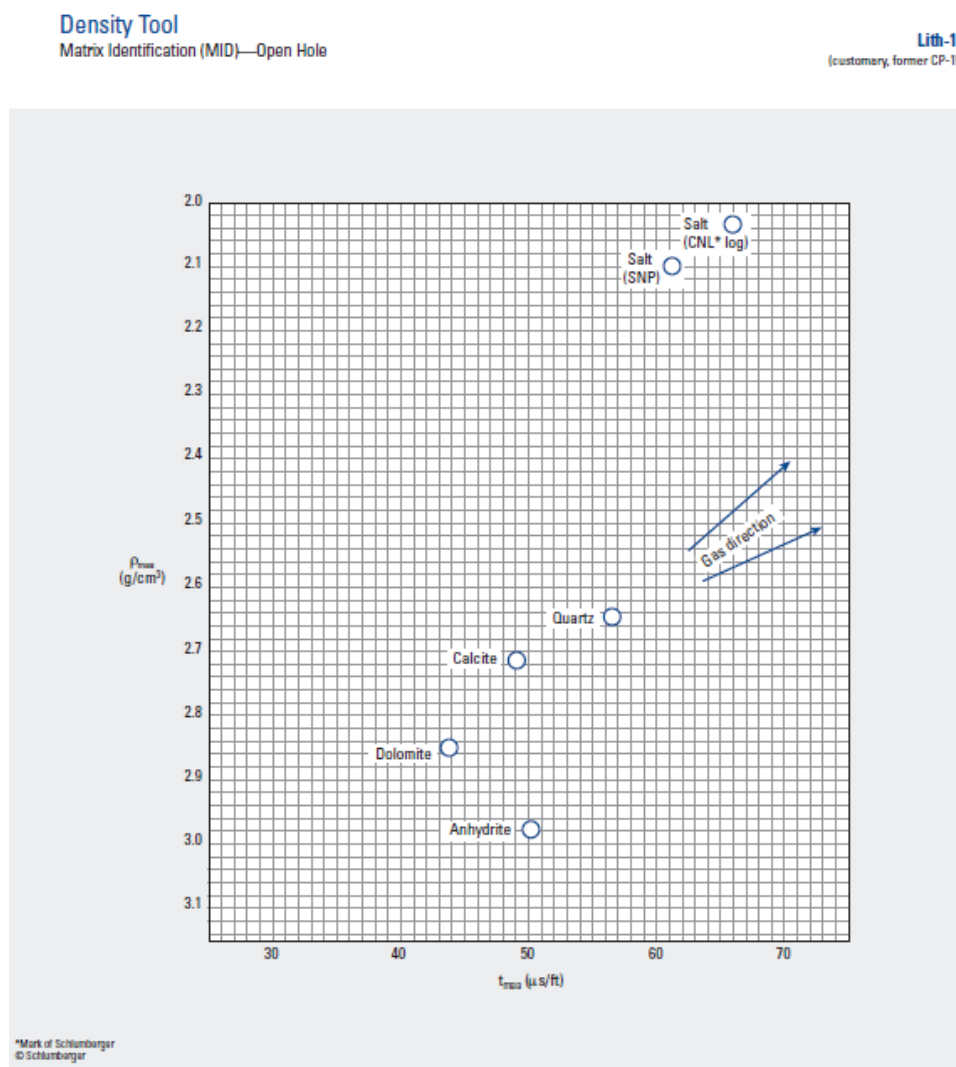


شکل ۳-۹ کراس پلات $U_{maa} - \rho_{maa}$ در چارت CP-21 [۷۹].

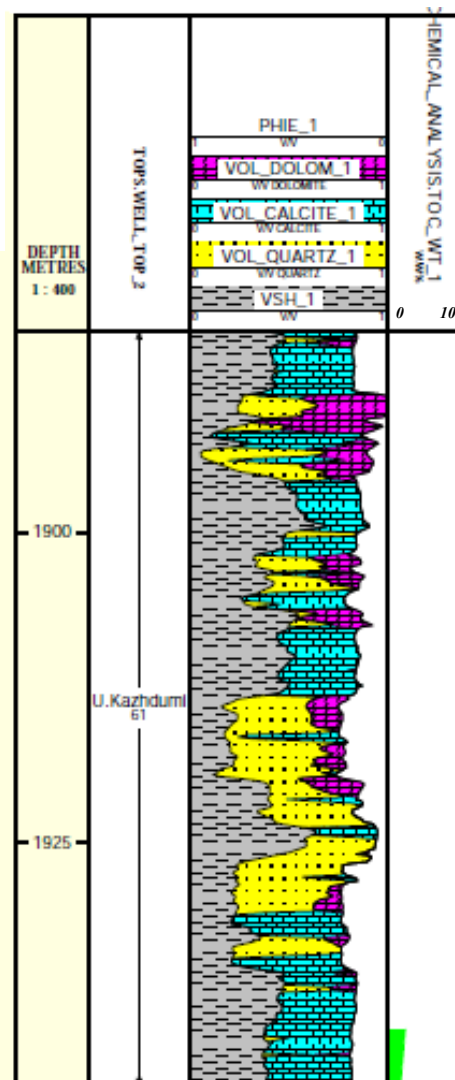
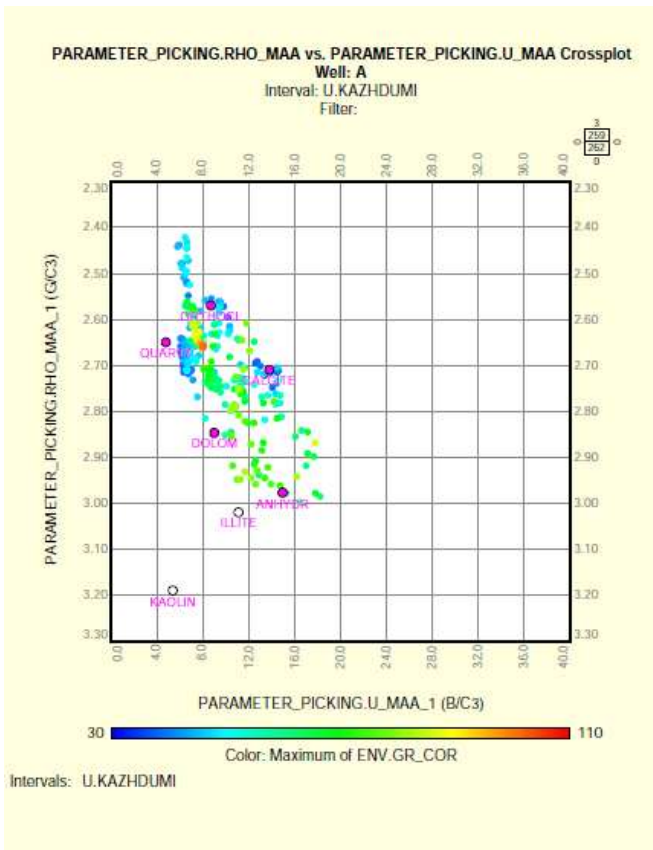
۳-۶-۱-۲ کراس پلات MID-Plot

در این کراس پلات نیز هر نقطه می‌تواند در چندین مثلث که از ترکیبات کانی‌شناسی متفاوت به‌وجود آمده قرار بگیرد. بنابراین انتخاب ترکیب سه‌گانه صحیح کانی‌شناسی وابسته به اطلاعات زمین‌شناسی موجود است. در صورتی که ترکیب سه‌گانه مشخص باشد با استفاده از چارت CP-۱۵ شلومبرژه می‌توان

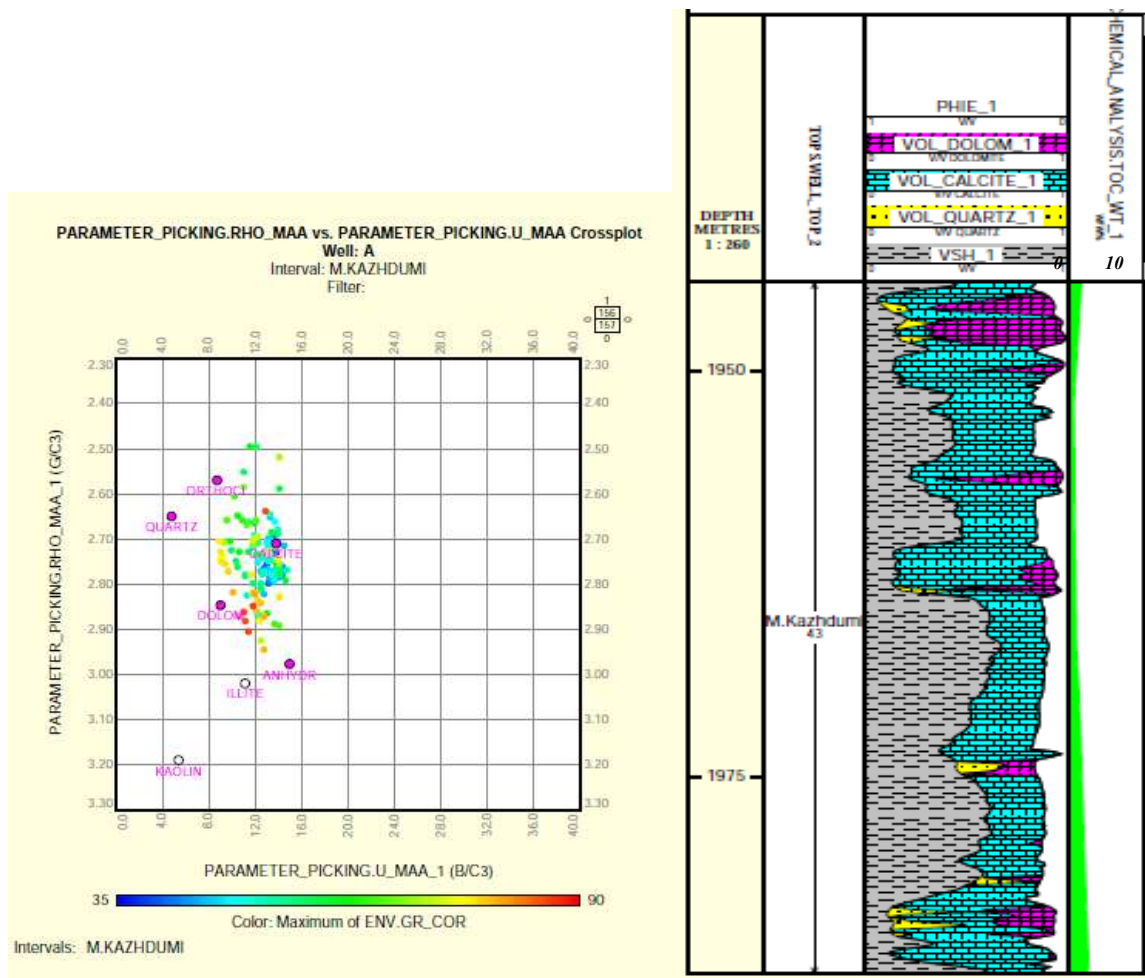
درصد هر کدام از کانی‌ها را تعیین کرد. (شکل ۳-۱۰) همچنین از این کراس پلات در تعیین نواحی گازی مخزن نیز استفاده می‌شود.



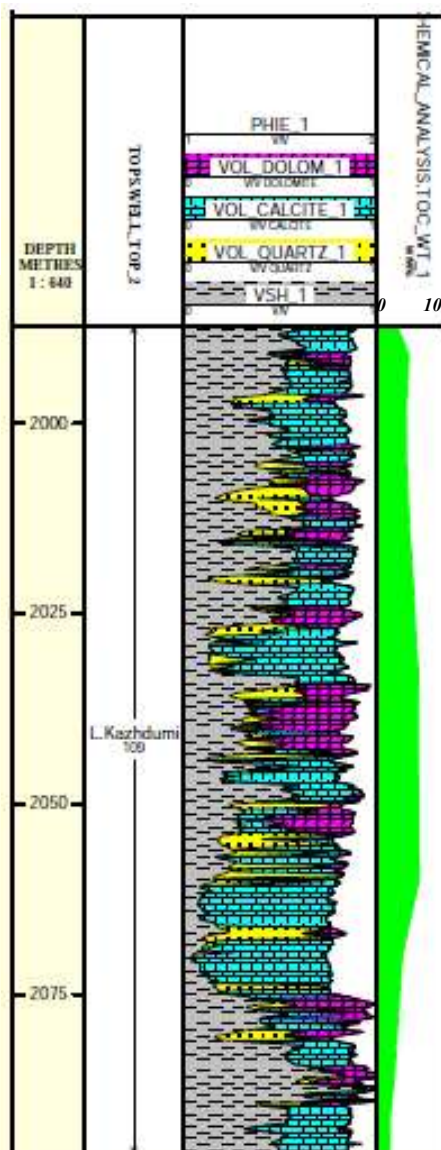
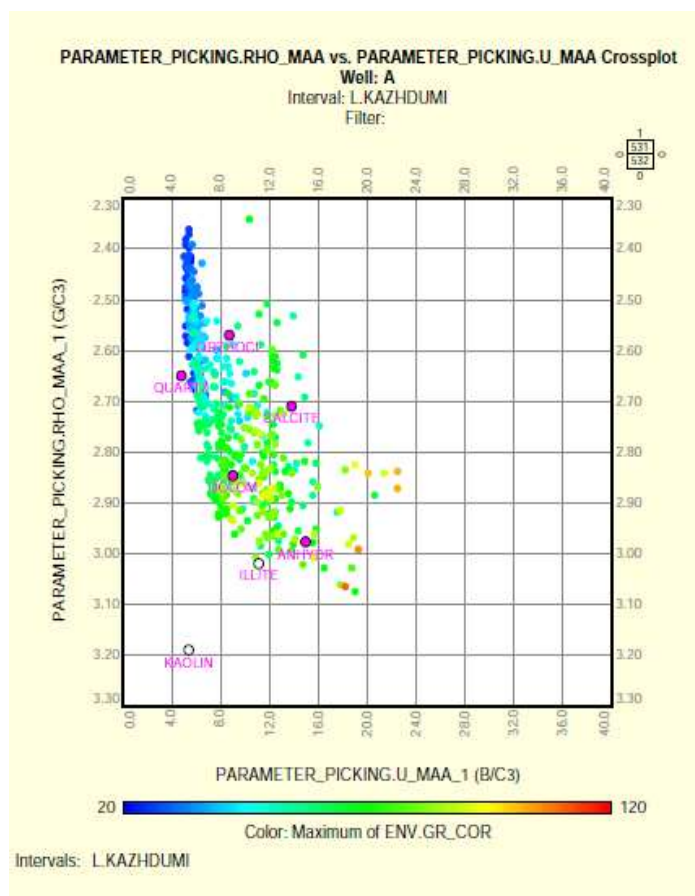
شکل ۳-۱۰ چارت ۱۵- cp (MID Plot) [۹۵]



شکل ۳-۱۱-الف کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده ($U.Kazhdumi$) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه A)



شکل ۳-۱۱-ب کراس پلات *RHOMA-UMA* محدود (M.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه A)



شکل ۳-۱۱ ج کراس پلات RHOMA-UMA محدوده (L.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه (چاه A)

با توجه به کراس پلات های شکل (۳-۱۱) و ستون لیتولوژی (حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی) که در سمت راست هر کراس پلات واقع شده درمی یابیم که در بخش بالایی سازند کژدمی کانی هایی چون کلسیت، دولومیت و کوارتز حضور دارند و از کراس پلات شکل (۳-۱۱-الف) هم این موضوع قابل اثبات است. با توجه به نگار TOC موجود در کنار ستون لیتولوژی مشاهده می شود این نگار از قسمت پایینی این بخش شروع شده که مقادیر بالایی را نشان نمی دهد. در بخش میانی ترکیب کانی شناسی بیش تر شامل کلسیت و مقدار

اندکی دولومیت می‌باشد و میزان *TOC* از قسمت‌های پایینی این بخش روندی افزایشی را نشان می‌دهد که این می‌تواند به دلیل وجود کانی‌های رسی و دولومیت‌های واقع در اعماق پایینی سازند باشد. در بخش پایینی وجود کانی‌هایی چون کوارتز، کلسیت، دولومیت و کانی‌های رسی مشهود است. *TOC* در اعماق میانی بخش پایینی مقادیر بالایی را نشان می‌دهد که این خود می‌تواند دلیلی بر وجود دولومیت و آهک‌های حاوی کانی‌های رسی باشد.

همان‌طور که در شکل (ج-۱) مشاهده می‌شود، در بخش بالایی سازند کژدمی، ترکیب کانی‌شناسی حاوی کلسیت، شیل، مقدار اندکی کانی‌های سنگین می‌باشد. با توجه به شکل (ج-۲) بخش میانی سازند دارای کلسیت و شیل و بخش پایینی سازند علاوه بر شیل و کلسیت شامل کانی‌هایی چون دولومیت، کوارتز و ایلیت می‌باشد. شواهدی مبنی بر حضور کانی‌های سنگین مانند باریت در تمامی محدوده‌ها از کراس‌پلات‌ها در دست می‌باشد، این موضوع می‌تواند به دلیل استفاده از باریت در گل حفاری پایه روغنی در این سازند از چاه باشد.

بنابراین با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی و نگارهای *TOC* کنار ستون لیتولوژی هر بخش مشاهده می‌شود که بخش بالایی سازند از بیش‌ترین محتوای کربن آلی برخوردار است که این خود می‌تواند به دلیل لیتولوژی شیلی و آهکی بیش‌تر در این محدوده باشد. زیرا این آهک‌ها با کانی‌های رسی همراه می‌باشند. اما همان‌طور که در شکل‌های (ج-۲ و ج-۳) مشاهده می‌شود بخش میانی و پایینی محتوای کربن آلی پایین‌تری دارند و این هم می‌تواند به حضور کوارتز فراوان در بخش پایینی و وجود آهک، دولومیت و شیل کم‌تر در این دو بخش برگردد. اما بخش پایینی نسبت به بخش میانی از نظر *TOC* غنی‌تر است.

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی احتمالی در چاه (C) در بخش بالایی سازند کانی‌هایی چون کلسیت (بیش‌تر در بخش‌های بالایی) و دولومیت (بیش‌تر در بخش‌های پایین‌تر) به چشم می‌خورد. میزان *TOC* نیز در نواحی پایینی مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد. در بخش میانی کلسیت لیتولوژی غالب را تشکیل

می‌دهد و نگار *TOC* از بالا تا میانه این بخش از سازند هم‌چنان سیر افزایشی دارد که نشان‌دهنده حضور آهک‌های حاوی رس می‌باشد. در بخش پایینی ترکیب کانی‌شناسی حاوی کانی‌هایی چون دولومیت، کوارتز و مقدار اندکی کلسیت نسبت به سایر بخش‌ها می‌باشد که دلیل پایین بودن نگار *TOC* در این محدوده وجود کوارتز بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین با توجه به مقادیر بالای چگالی در کژدمی بالایی و پایینی این فرضیه وجود دارد که این مقادیر به دلیل وزن لوله‌های جداری باشد. همان‌طور که در کراس‌پلات‌های *RHOMA-UMA* در چاه *C* مشاهده می‌شود ترکیب کانی‌شناسی به‌دست آمده از این کراس‌پلات‌ها با ستون لیتولوژی حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی تشابه کم‌تری دارد. بنابراین بهتر است که از کراس‌پلات *MID Plot* برای تشخیص کانی‌شناسی صحیح استفاده کرد که در شکل‌های (ج-۷)، (ج-۸) و (ج-۹) این کراس‌پلات‌ها نمایش داده شده است.

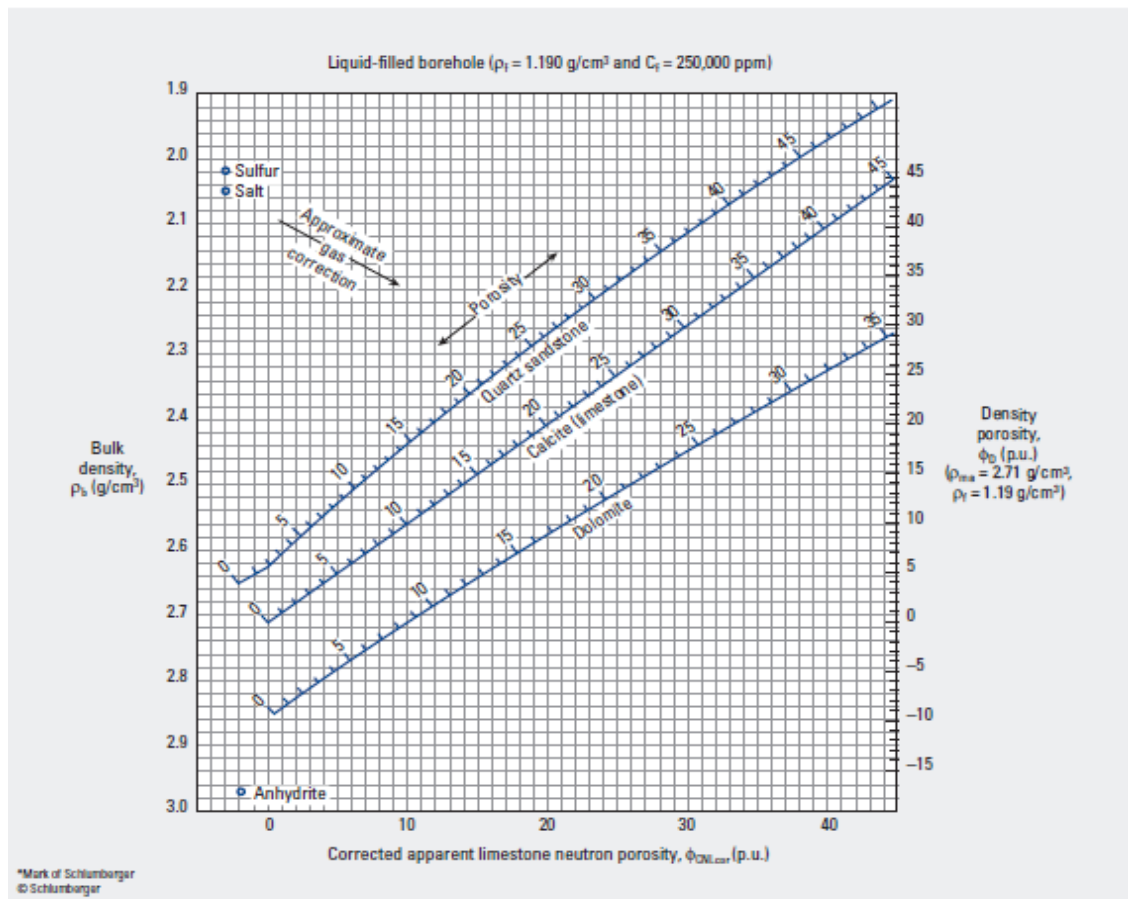
۳-۱-۶-۳ کراس‌پلات نوترون-چگالی

بهترین و دقیق‌ترین کراس‌پلات برای تعیین لیتولوژی و تخلخل در یک مخزن، کراس‌پلات نوترون-چگالی است. در این کراس‌پلات سه منحنی مربوط به لیتولوژی‌های غالب آهک، ماسه و دولومیت ترسیم شده‌اند که به آن‌ها خطوط ماتریکس گفته می‌شود. در نهایت برای تعیین لیتولوژی هر داده (که به‌صورت نقطه در پلات وجود دارد) فاصله آن را تا خطوط ماتریکس به‌دست می‌آورند. بدین‌ترتیب می‌توان درصد کانی‌های مختلف موجود در آن داده و در نهایت لیتولوژی غالب مخزن را به‌صورت کلی با توجه به کل داده‌ها تعیین کرد. طبیعی است نقطه‌ای که لیتولوژی آن تعیین می‌شود باید بین خطوط ماتریکس قرار بگیرد و بدین‌ترتیب نقاطی که خارج از این محدوده باشند شامل کانی‌هایی غیر از دولومیت، آهک و کوارتز هستند. در نهایت انتخاب لیتولوژی صحیح به سایر اطلاعات زمین‌شناسی وابسته است.

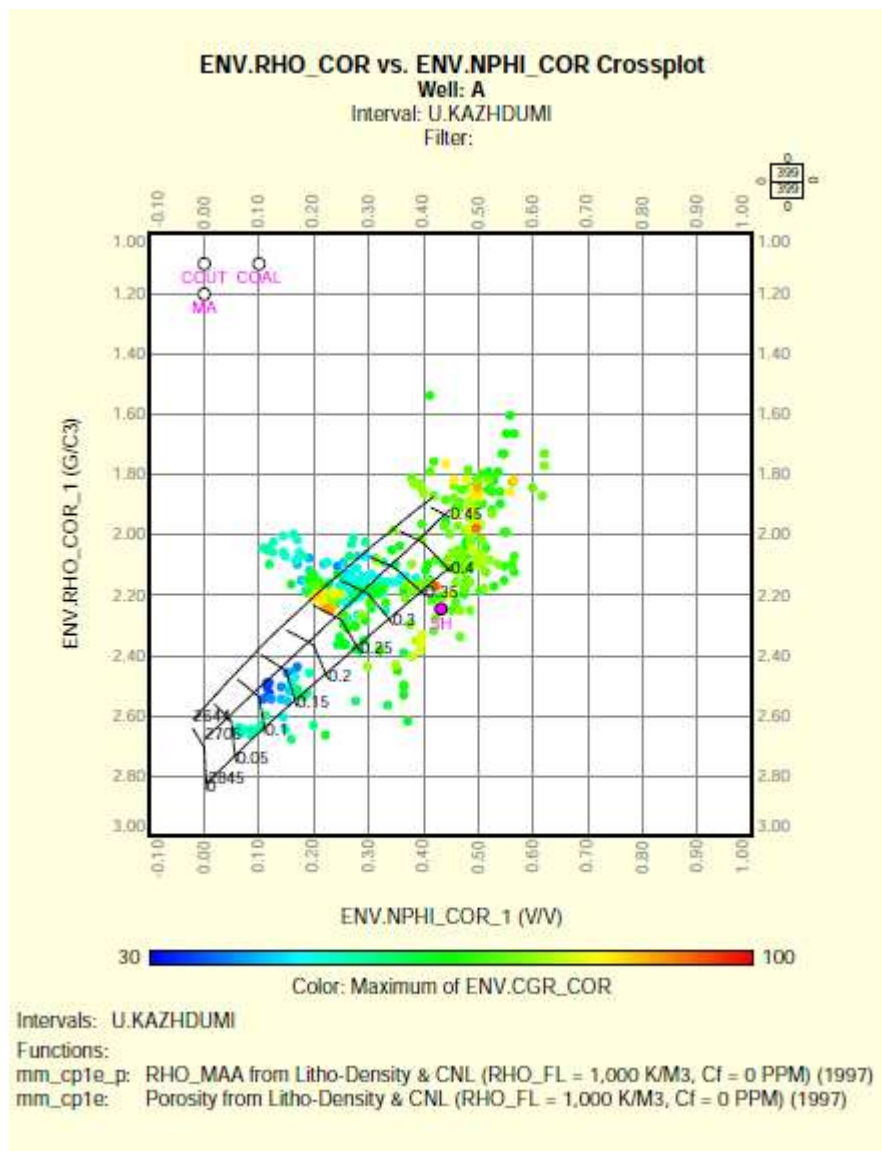
کراس‌پلات نوترون-چگالی چارت شلومبرژه در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است و کراس‌پلات‌های مربوط به سازند کژدمی هم در شکل‌های (۳-۱۳) آورده شده است.

CNL* Compensated Neutron Log and Litho-Density* Tool
(salt water in invaded zone)
Porosity and Lithology—Open Hole

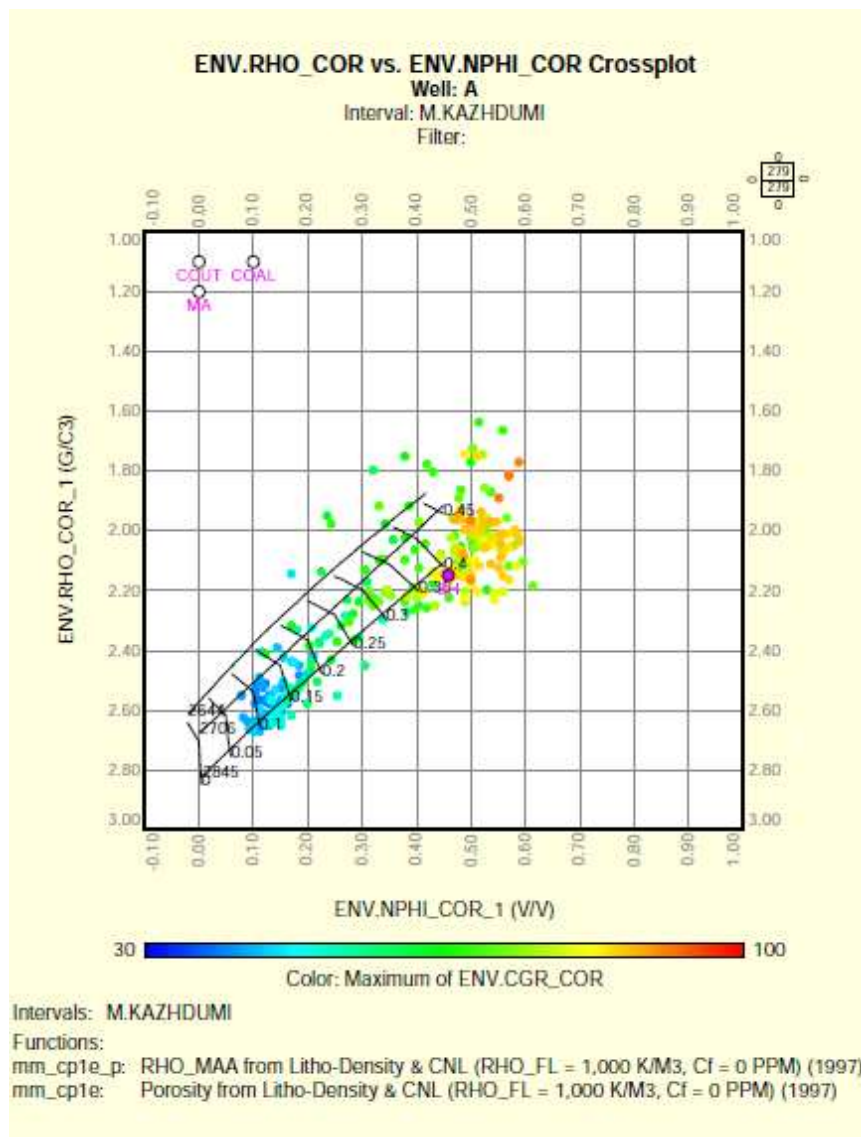
Por-12
(former CP-11)



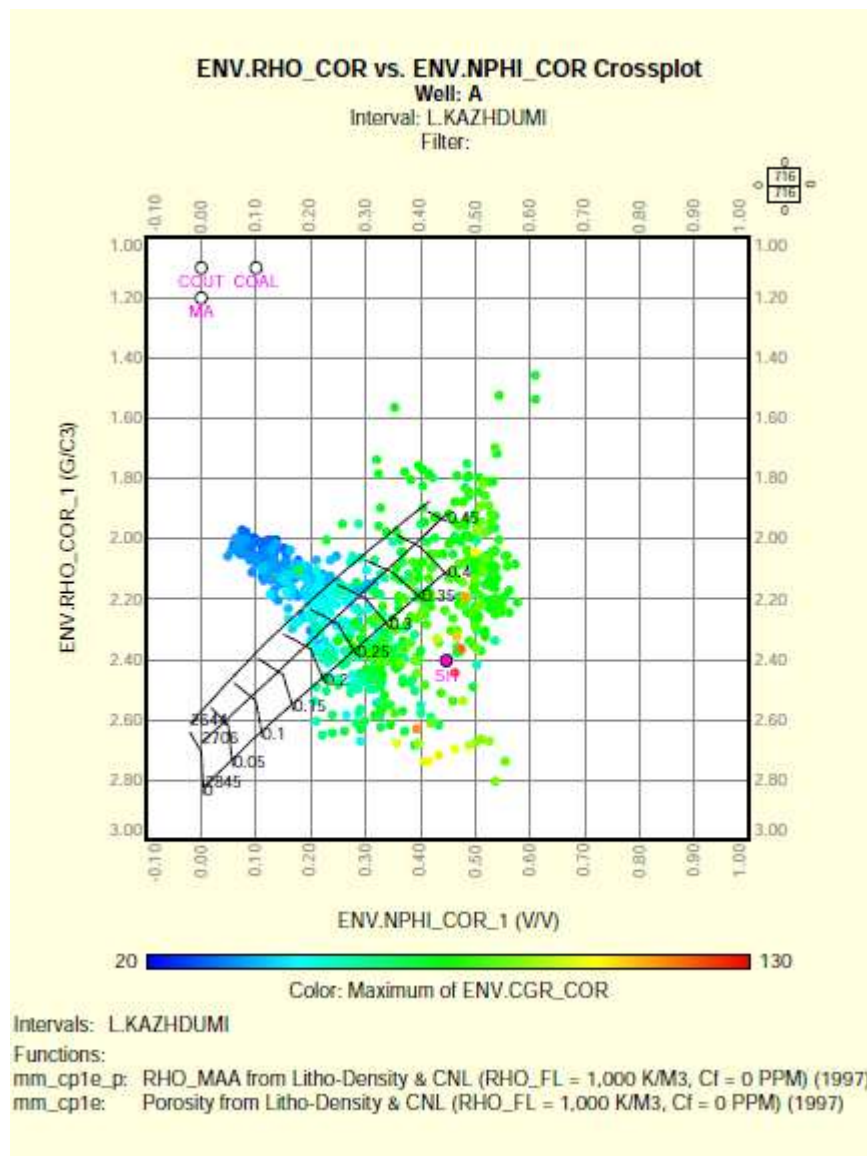
شکل ۳-۱۲ کراس پلات نوترون-چگالی در چارت CP-11 [۹۵].



شکل ۳-۱۳- الف کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده بالایی (U.Kazhdumi) در چاه (A)



شکل ۳-۱۳ ب کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده میانی (M.Kazhdum) در چاه (A)



شکل ۳-۱۳ ج کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده پایینی (L.Kazhdum) در چاه (A)

با توجه به کراس پلات های فوق، در چاه (A) در بخش بالایی سازند کژدمی دولومیت، آهک، شیل و مقدار اندکی کوارتز وجود دارد (شکل ۳-۱۳ الف). کانی شناسی بخش پایینی نیز همانند بخش بالایی است با این تفاوت که گاز نیز در این بخش وجود دارد (شکل ۳-۱۳ ج). در بخش میانی سازند نیز آهک، شیل و مقدار ناچیزی دولومیت مشاهده می شود (شکل ۳-۱۳ ب)

همان‌طور که در کراس پلات‌های چاه (B) در پیوست مشاهده می‌شود بخش پایینی سازند (شکل ج-۱۲)، علاوه بر کانی‌هایی چون دولومیت، کلسیت و شیل، کوارتز نیز دیده می‌شود و حضور گاز نیز در این بخش محتمل است. ترکیب کانی‌شناسی بخش بالایی همانند ترکیب بخش پایینی است تنها با این تفاوت که در این بخش کوارتز وجود ندارد (شکل ج-۱۰). در بخش میانی سازند نیز تنها آهک و مقدار ناچیزی دولومیت مشاهده می‌شود (شکل ج-۱۱).

همان‌طور که در کراس پلات‌های چاه (C) در پیوست مشاهده می‌شود شکل (ج-۱۵)، بخش پایینی سازند حاوی کانی‌هایی چون دولومیت، آهک و شیل می‌باشد. بخش بالایی نیز از نظر کانی‌شناسی همانند بخش پایینی سازند است (شکل ج-۱۳). در بخش میانی سازند کانی‌های آهک و مقدار ناچیزی دولومیت موجود است (شکل ج-۱۴). همان‌طور اشاره شد مقادیر بالای چگالی در چاه C به دلیل ثبت نگار چگالی ناشی از وزن لوله‌های جداری می‌باشد.

۳-۶-۲ تخمین حجم شیل

به‌طور معمول برای تخمین حجم شیل در مطالعات پتروفیزیکی از نمودار گاما (SGR) و (CGR) استفاده می‌شود. نمودار گاما میزان رادیواکتیویته سازند را اندازه‌گیری می‌کند و به‌منظور شناسایی لیتولوژی استفاده می‌گیرد. در ماسه‌سنگ‌های تمیز و آهک‌ها عموماً تمرکز عناصر رادیواکتیو کم و میزان قرائت نمودار گاما نیز پایین است؛ درمقابل لایه‌های شیلی و ماسه‌سنگ‌های فلدسپاتی میزان قرائت گامای بالایی دارند [۳۵]. حجم شیل، مجموع حجم ذرات رس خشک، سیلت و آب باندی رس‌ها در سازند است. این کمیت بر روی سایر خصوصیات پتروفیزیکی نظیر تخلخل و اشباع شدگی آب حاصل از آنالیز نگارها تأثیر می‌گذارد. لذا باید به دقت محاسبه و اثر آن از روی پارامترها حذف گردد. محاسبه شیل با استفاده از نگار پرتو گاما انجام می‌گیرد. این نگار پرتوهای گامای طبیعی سازندها را اندازه‌گیری می‌کند و مقیاس استاندارد آن API است. پرتوهای گاما از عناصر مختلف اورانیوم، توریم و پتاسیم ساطع می‌گردند. این عناصر سطوح انرژی

متفاوتی را دارا هستند. در صورتی که سازند دارای عناصر رادیواکتیو دیگری باشد، باعث ایجاد خطا در محاسبات می‌شود. در این مطالعه، محاسبه حجم شیل برای بخش‌های سه‌گانه سازند کژدمی در سه چاه انجام شده است که نتایج در جدول (۳-۳) نشان داده شده است. علت اختلاف شدید در میزان حجم شیل مینیمم و ماکزیمم به علت ضرایب عدم قطعیت در روش احتمالی و هم‌چنین به دلیل وجود بخش ماسه-سنگی در میان لایه‌های شیلی می‌باشد.

جدول ۳-۳ نتایج حاصل از تخمین حجم شیل با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ در سه چاه مورد مطالعه

چاه	سازند	عمق	Max V_{shale}	Min V_{shale}	Mean V_{shale}
A	کژدمی (بالایی)	1833.95 - 1944.45	0.4396	0.0613	0.3693
A	کژدمی (میانی)	1944.45 - 1986.97	0.6701	0.0619	0.3719
A	کژدمی (پایینی)	1986.97 - 2096.09	0.9887	0.0467	0.3725
B	کژدمی (بالایی)	3016 - 3131.12	1	0	0.467724
B	کژدمی (میانی)	3131.12 - 3158.87	0.780441	0	0.19989
B	کژدمی (پایینی)	3158.87 - 3215.37	0.304459	0.003208	0.414707
C	کژدمی (بالایی)	3955.14 - 4073.86	0.774479	0.145414	0.404356
C	کژدمی (میانی)	407.86 - 4115.92	0.86903	0.033351	0.193348
C	کژدمی (پایینی)	4115.92 - 4177.94	0.999925	0.13449	0.544277

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود در چاه A میزان متوسط حجم شیل در سه بخش سازند تقریباً مقدار مشابهی است. اما در چاه B میزان میانگین در قسمت‌های بالایی و پایینی مقادیر بیش‌تری را به خود اختصاص داده‌اند و در چاه C بیش‌ترین میزان میانگین حجم شیل ابتدا در بخش پایینی و سپس در بخش بالایی تخمین زده شده است. در بخش میانی در این چاه میزان حجم شیل پایینی تخمین زده شد اما میزان TOC در این بخش نسبت به سایر بخش‌ها مقادیر بالاتری را نشان داده است که این می‌تواند

دلیلی بر لیتولوژی سازند در این بخش (حضور شیل‌های تیره و آهک‌های آرژیلیتی) یا شرایط حاکم بر محیط رسوبی باشد.

۳-۶-۳ نتایج تخمین تخلخل کل

در جدول (۳-۴) نتایج حاصل از تخمین تخلخل کل در بخش‌های مختلف سازند کژدمی در سه چاه آورده شده است.

جدول ۳-۴ نتایج حاصل از تخمین تخلخل کل با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ در سه چاه مورد مطالعه

چاه	سازند	عمق	Max PHIT	Min PHIT	Mean PHIT
A	کژدمی (بالایی)	1833.95 - 1944.45	0.434759	0.064171	0.296924
A	کژدمی (میانی)	1944.45 - 1986.97	0.39785	0.062732	0.241237
A	کژدمی (پایینی)	1986.97 - 2096.09	0.554233	0.111511	0.268002
B	کژدمی (بالایی)	3016 - 3131.12	0.1926	0.13478	0.189789
B	کژدمی (میانی)	3131.12 - 3158.87	0.190273	0.058896	0.124092
B	کژدمی (پایینی)	3158.87 - 3215.37	0.254933	0.099788	0.176649
C	کژدمی (بالایی)	3955.14 - 4073.86	0.257913	0.015735	0.122814
C	کژدمی (میانی)	4073.86 - 4115.92	0.181688	0.005633	0.027
C	کژدمی (پایینی)	4115.92 - 4177.94	0.16537	0.017345	0.105865

با توجه به ارزیابی پتروفیزیکی در چاه A، بخش بالایی به‌دلیل وجود ماسه بیش‌تر نسبت به سایر بخش‌ها میزان تخلخل کل در این بخش بالاترین مقدار را داراست. هم‌چنین در چاه B هم در بخش بالایی شاهد شیل بیش‌تری هستیم و تخلخل در این بخش مقدار بیش‌تری را به خود اختصاص داده است. در چاه C به‌دلیل ماسه و شیل بیش‌تر در بخش بالایی، تخلخل کل در این بخش مقدار بیش‌تری را نشان می‌دهد. به

دلیل عدم قطعیت موجود در ارزیابی به روش احتمالی اختلاف فاحشی در مینیمم و ماکزیمم تداخل وجود دارد.

۳-۷ طراحی شبکه عصبی برای تخمین TOC و توصیف الگوریتم آن

۳-۷-۱ مراحل ساخت مدل شبکه عصبی

مراحل ساخت یک مدل شبکه عصبی به منظور تخمین پارامتر مورد بررسی عبارت‌اند از:

- ۱- شناخت متغیرهای ورودی و خروجی.
- ۲- تبدیل مقادیر ورودی و خروجی در بازه $[0,1]$ یا $[-1,1]$.
- ۳- انتخاب هندسه و ساختار مناسب برای شبکه عصبی.
- ۴- آموزش با داده‌های آموزشی معرف.
- ۵- آزمایش و اعتبارسنجی شبکه با داده‌های مستقل از مجموعه آموزشی.

۳-۷-۲ انتخاب داده‌های آموزشی و آزمون

انتخاب یک مجموعه آموزشی مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا کیفیت عملکرد نهایی شبکه، تابع مثال‌های آموزشی به کار رفته در آموزش آن‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر مجموعه داده‌های آموزشی می‌بایستی از تمام دامنه مقادیر متغیرها انتخاب شوند [۹۶].

با توجه به اختلاف زیاد ضریب همبستگی نگارهای پتروفیزیکی در چاه‌ها، انتخاب یک چاه به عنوان داده‌های اعتبارسنجی، باعث عدم آموزش شبکه برای تمام دامنه مقادیر متغیرها می‌گردد. بنابراین داده‌های آموزش، آزمون و اعتبارسنجی به صورت تصادفی و از میان کلیه داده‌های چاه‌ها انتخاب گردیده است. به این منظور داده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های آموزش، داده‌های اعتبارسنجی و داده‌های آزمون. در این راستا ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش، ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی و ۱۵ درصد باقی‌مانده نیز جهت آزمون شبکه استفاده شد. از داده‌های آموزش برای تعیین وزن‌ها استفاده می‌شود. داده‌های اعتبارسنجی در حین آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما در تعیین وزن‌ها نقش مستقیمی ندارند. وظیفه داده‌های

اعتبارسنجی نظارت بر قابلیت تعمیم^{۹۲} شبکه به موازات آموزش شبکه می‌باشد و برای بهینه ساختن تعداد نرون‌های شبکه به کار می‌روند.

۳-۷-۳ آماده‌سازی داده‌های ورودی

در سیستم‌های هوشمند به‌ویژه شبکه‌های عصبی بهترین وضعیت برای تصمیم‌گیری هنگامی است که داده‌ها نرمالیزه شده باشند (قرار گرفتن تمام مقادیر در بازه $[0,1]$ یا $[-1,1]$).

حتی اگر تمام مقادیر برای یک ورودی یا خروجی در دامنه $[0,1]$ باشد، بهتر است که نرمالیزه شوند تا بتواند تمام مقادیر بین صفر و یک را شامل شود [۹۷].

یکی از دلایل نرمالیزه کردن داده‌ها برای شبکه‌های عصبی این است که توابع انتقال (مانند توابع سیگموئید) نمی‌توانند بین مقادیر خیلی بزرگ فرق بگذارند. در واقع مهم‌ترین دلیل نرمالیزه کردن، کمک به عملیات آموزش است. در مطالعه حاضر، ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه‌های عصبی بین $[-1,1]$ نرمالیزه شده‌اند. برای نرمالیزه کردن ورودی‌ها از رابطه زیر استفاده شده است.

$$X_{nor} = 2 * \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) - 1 \quad (۱-۳)$$

که در آن X_{min} حداقل مقدار در مجموعه ورودی داده‌های آموزشی و

X_{max} حداکثر مقدار در مجموعه ورودی داده‌های آموزشی است. برای نرمالیزه کردن خروجی‌ها نیز از رابطه زیر استفاده شده است.

$$Y_{nor} = 2 * \left(\frac{Y - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} \right) - 1 \quad (۲-۳)$$

که در آن Y_{min} حداقل مقدار در مجموعه خروجی داده‌های آموزشی و Y_{max} حداکثر مقدار در مجموعه خروجی داده‌های آموزشی می‌باشد.

^{۹۲} Generalization

۳-۷-۴ تعریف خطا

برای محاسبه خطای شبکه عصبی از رابطه MSE که به صورت زیر بیان می‌گردد، استفاده می‌شود.

$$MSE = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_{actual} - y_{estimated} \right)^2 \quad (3-3)$$

که در این رابطه n نشان‌دهنده تعداد نمونه‌ها، y_{actual} نشان‌دهنده مقدار خروجی واقعی و $y_{estimated}$ نشان‌دهنده مقدار خروجی محاسبه شده است.

تابع عملکرد انتخاب شده برای داده‌های آموزشی MSE می‌باشد. برای آموزش شبکه از الگوریتم لونیگ-مارکوارت با تابع $Trainlm$ استفاده شده است. زیرا خطای الگوریتم LM با سرعت بیش‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها کاهش می‌یابد و کارکرد خوب در آموزش گروهی شبکه^{۹۳} برای بهینه کردن اوزان شبکه از دیگر مزیت استفاده از این الگوریتم می‌باشد.

۳-۷-۵ تخمین مقادیر (TOC) در سازند کژدمی با استفاده از شبکه عصبی چند لایه

در طراحی شبکه، نگارهای پرتو گاما، مقاومت، نوترون و صوتی متغیرهای ورودی و داده‌های TOC نیز به‌عنوان خروجی مطلوب در نظر گرفته می‌شود. برنامه نویسی نهایی با استفاده از نرم‌افزار $MATLAB$ انجام می‌پذیرد. در قالب این برنامه، ابتدا ماتریس‌های ورودی و خروجی به‌صورت مجموعه آموزشی به شبکه اعمال می‌شوند. برای کارایی بیش‌تر شبکه، داده‌ها قبل از آموزش شبکه، پردازش می‌شوند.

مقادیر اولیه پارامترهای شبکه هم به‌طور تصادفی در بازه کوچکی انتخاب شده و سپس با اجرای برنامه شبکه با داده‌های آموزشی، آموزش می‌بینند و پارامترهای تنظیم شده نهایی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این موضوع که چه تعداد الگو برای آموزش شبکه کافی است و آیا حد آستانه‌ای وجود دارد که با داده‌های پایین‌تر از آن شبکه کارا نباشد، جواب روشنی ندارد و به پیچیدگی مسئله و کیفیت داده‌ها وابسته است. بعد از آن که همه داده‌های آموزش یک دور کامل به شبکه ارائه شدند، با استفاده از وزن‌های حاصل،

⁹³ Batch mode

داده‌های اعتبارسنجی وارد شبکه شده و مقادیر TOC آن‌ها محاسبه می‌شود. مقادیر محاسبه شده توسط شبکه برای داده‌های آموزش و داده‌های اعتبارسنجی با مقادیر اصلی مقایسه شده و مقادیر خطای داده‌های آموزش و اعتبارسنجی محاسبه می‌گردد. این خطاها (خطای داده‌های آموزش و اعتبارسنجی) بعد از هر دور کامل ارائه داده‌های آموزش به شبکه مجدداً محاسبه می‌شود. مشاهده می‌گردد که از یک مرحله به بعد خطای داده‌های اعتبارسنجی افزایش می‌یابد. این بدان معناست که شبکه قدرت تعمیم خود را رفته رفته از دست می‌دهد و به حفظ کردن داده‌های آموزشی می‌پردازد، بدون آن‌که قادر به دریافت ارتباط صحیح بین داده‌های ورودی و خروجی باشد. لذا پس از آن‌که شبکه بعد از دفعات متوالی، خطای اعتبارسنجی بیش‌تری تولید نمود، فرآیند آموزش متوقف شده و وزن‌های مربوط به کم‌ترین خطای اعتبارسنجی، به‌عنوان بهترین نتیجه مربوط به آموزش در نظر گرفته می‌شود. در صورتی‌که میزان خطاها مطلوب نباشد، لازم است دور جدیدی از آموزش آغاز گردد. پس از آن‌که خطای مربوط به داده‌های آموزشی و داده‌های اعتبارسنجی به میزان مطلوب رسید، از داده‌های آزمون که تا این مرحله از کار مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، برای سنجیدن نهایی قابلیت تعمیم شبکه استفاده می‌شود. این دسته داده به شبکه آموزش دیده که ضرایب وزن مطلوب آن تعیین شده است، وارد شده و خروجی آن‌ها محاسبه می‌گردد و در نهایت با مقادیر اصلی مقایسه می‌شود. در صورتی‌که خطای داده‌های آزمون میزان مطلوبی داشته باشد، کار به اتمام رسیده است.

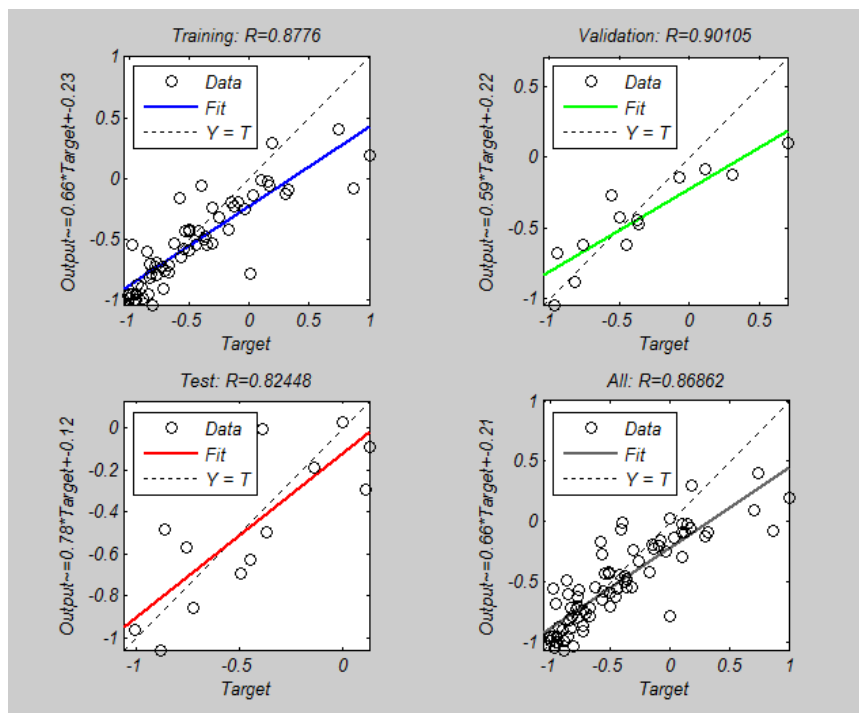
تعداد بهینه نرون‌های میانی با روش سعی و خطا به دست می‌آید. یعنی با شروع از تعداد کم نرون‌های میانی و سپس افزایش تدریجی آن‌ها و بررسی روند تغییرات خطا، تعداد بهینه مشخص می‌شود. در این پژوهش، شبکه‌ای که به کار می‌رود، دارای ۴ نرون در لایه ورودی (نگارهای پرتو گاما، مقاومت، نوترون و صوتی)، ۲۰ نرون در لایه میانی و یک نرون در لایه خروجی محتوای کربن آلی است. هم‌گرایی خطا در طول آموزش شبکه به تعداد مثال‌های به‌کار رفته برای آموزش شبکه بستگی دارد. اگر تعداد الگوها و یا

تعداد نرون‌های لایه میانی کم باشد، شبکه نمی‌تواند ارتباط موجود بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را به‌درستی فرا گیرد. علاوه بر آن، اگر تعداد نرون‌های لایه میانی از حد لازم بیش‌تر باشد، شبکه شروع به حفظ کردن الگوها می‌کند. به‌طوری که در مرحله آموزش خوب ولی برای داده‌های آزمون ضعیف عمل نموده و قابلیت تعمیم‌پذیری ندارد. با اختیار نمودن تعداد نرون‌های بهینه که در این تحقیق با سعی و خطا انتخاب شد (تعداد ۲۰ نرون) در مرحله بعد چهار نگار $GR, DT, NPHI$ و LLD به‌عنوان ورودی و مقادیر TOC را هم به‌عنوان تابع هدف در جعبه‌ابزار^{۹۴} متلب وارد می‌کنیم. توابع انتقال در دو لایه پنهان، تابع تانژانت سیگموئید ($tansig$) و در لایه خروجی تابع خطی ($porelin$) در نظر گرفته شد. شرط توقف شبکه افزایش خطای سری اعتبارسنجی بعد از تعداد تکرار خاص بوده است که در شکل ۳-۱۵ آمده است.

جدول ۳-۵ مقایسه نتایج تخمین میزان TOC در شبکه عصبی چند لایه با در نظر گرفتن ۴ ورودی.

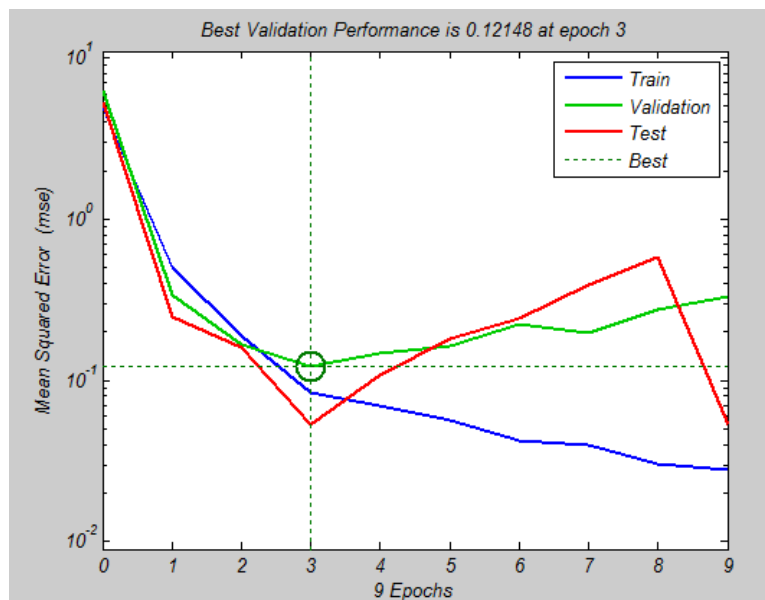
نگارهای ورودی	ضریب همبستگی داده‌های آموزش	ضریب همبستگی داده‌های آزمون	ضریب همبستگی داده‌های اعتبارسنجی	ضریب همبستگی تمام داده‌ها	MSE میانگین مربعات خطا
$GR, DT, NPHI, LLD$	0.877	0.824	0.901	0.868	0.048

⁹⁴ ToolBox



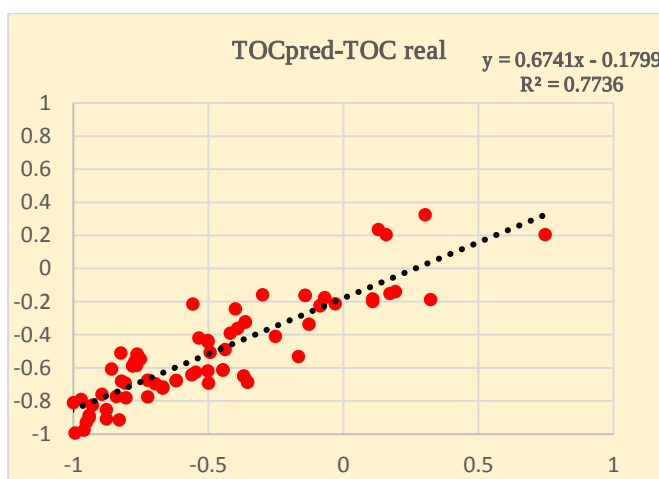
شکل ۳-۱۴ مقایسه میان مقدار تخمین زده با شبکه عصبی و مقدار واقعی با استفاده از ۴ نگار ورودی.

در شکل ۳-۱۵، منحنی میانگین مربعات خطا بر حسب تعداد تکرار برای ترکیب داده‌های چاه‌ها رسم شده است. پس از چندین مرحله تکرار، خطای شبکه مینیمم می‌شود. به‌طوری که اگر آموزش شبکه باز هم ادامه پیدا کند، خطای مجموعه آموزشی شروع به بالا رفتن می‌کند و شبکه، الگوها را حفظ خواهد کرد. همان‌طور که در شکل می‌بینید شبکه در ایپاک سوم بهترین عملکرد را داشته است.



شکل ۳-۱۵ منحنی تغییرات میانگین مربعات خطا در برابر تعداد تکرارهای انجام شده در حالت های آموزش، اعتبار سنجی و آزمون

با توجه به این که میزان ضریب تعیین داده‌های تخمینی با داده‌های ورودی مقدار بالایی است (۷۷ درصد)، بنابراین روش شبکه عصبی کارایی خوبی داشته است با توجه به نمودار شکل (۳-۱۶). با بررسی اعداد تخمینی از روش شبکه عصبی و مقایسه با مقادیر واقعی، این روش تا حدودی توانسته همان لایه‌های با محتوای کربن آلی بالاتر را که با کراس پلات‌ها ردیابی نموده‌ایم، شناسایی کند.



شکل ۳-۱۶ همبستگی داده‌های تخمینی با شبکه عصبی و داده‌های واقعی

۳-۸ مراحل تخمین TOC با استفاده از نشانگرهای داخلی و خارجی

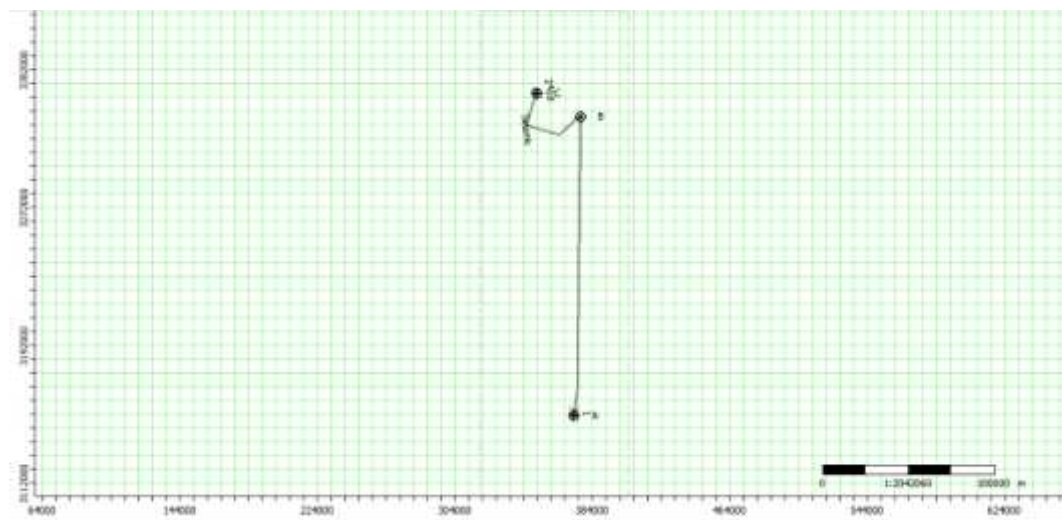
داده‌های مورد نیاز در این تحقیق شامل داده‌های لرزه‌نگاری دو بعدی، نگارهای چاه‌پیمایی، داده‌های چک‌شات و کلیه اطلاعات ژئوشیمیایی منطقه می‌باشد. جهت انجام مراحل وارون‌سازی لرزه‌ای و استخراج نشانگرهای لرزه‌ای از نرم افزار همپسون-راسل^{۹۵} استفاده شده است. مراحل کار به شرح زیر است:

۱- ابتدا داده‌های مورد نیاز با فرمت مناسب وارد نرم افزار گردید. این داده‌ها عبارت‌اند از:

- نگارهای پتروفیزیکی که تصحیحات لازم بر روی آن‌ها انجام شده است.
- اطلاعات مربوط به سرسازندها (Tops).
- شیب و آزمونوت و نوع چاه‌ها (انحرافی یا قائم)، نام چاه‌ها، مختصات UTM چاه‌ها و ارتفاع میز دوار
- داده‌های چک‌شات

کلیه این اطلاعات از قسمت بارگذاری داده‌ها^{۹۵} در نرم‌افزار همپسون-راسل وارد می‌شوند.

در شکل (۳-۱۷) مختصات چاه‌ها و در شکل (۳-۱۸) اطلاعات مربوط به نگارهای پتروفیزیکی نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۷ نمایش سه بعدی چاه‌های مورد مطالعه و خطوط لرزه‌ای

⁹⁵ Data loading

Table View | Curve View | Base Map | History | Summary

Well: A There are 28 logs in the table. SRD elevation: <Same As Surface>

☐ Tops(20) ☒ Always check table

☐ Deviated Geometry Delete Deviated Geometry

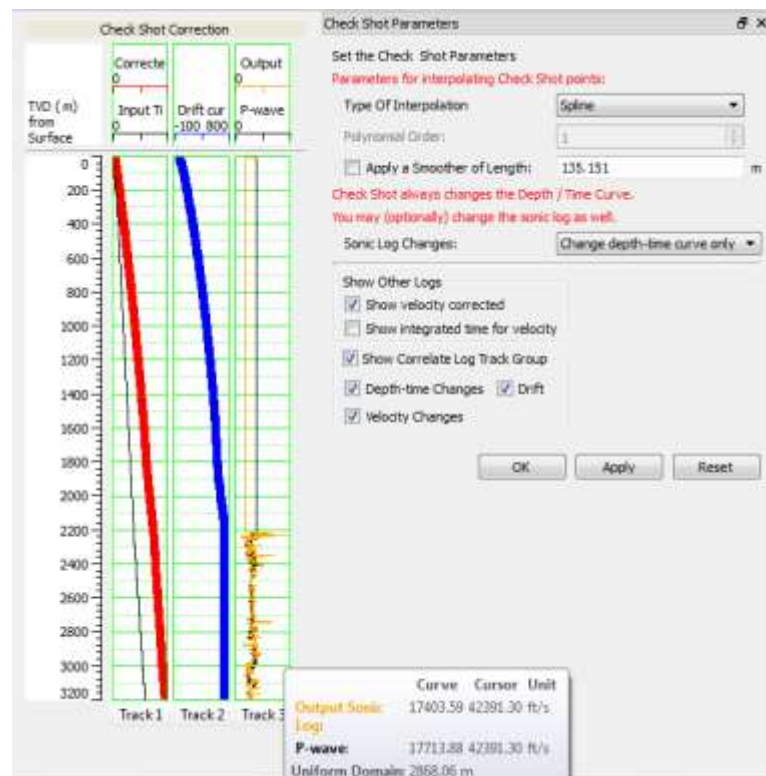
	Log Name	Log Type	Amplitude Units	Domain	Domain Units	Measured From	Log Source	User Log Type
1	Caliper	Caliper	in	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	CALI
2	CGR	Gamma Ray	gapi	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	CGR_COR
3	Check Shot	Check Shot	ms (One Way time)	Depth	m	Kelly Bushing	Geoview Log	
4	Depth-time_P-wave	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	Geoview Log	DEPTH-TIME
5	Depth-time_P-wave_chkA	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	Geoview Log	DEPTH-TIME
6	Depth-time_P-wave_corr_statA	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	Geoview Log	DEPTH-TIME
7	Difference_TOC RBF	TOC	w/w%	Depth	m	Kelly Bushing	Geoview Log	
8	Emerge_TOC RBF	TOC	w/w%	Depth	m	Kelly Bushing	Geoview Log	
9	GR	Gamma Ray	gapi	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	GR_COR
10	LLD	Resistivity	ohmm	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	LLD
11	LLD_COR	Resistivity	ohmm	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	LLD_COR
12	LLS	Resistivity	ohmm	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	LLS
13	LLS_COR	Resistivity	ohmm	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	LLS_COR

شکل ۳-۱۸ نمایش اطلاعات نگارها در چاه (A)

لازم به ذکر است که چاه A در $CDP=11$ ، چاه B در $CDP=1008$ و چاه C در $CDP=2350$ واقع شده‌اند. سپس داده‌های لرزه‌ای وارد نرم‌افزار می‌شود، این بخش از کار نیازمند دقت بالایی می‌باشد.

۲- پس از وارد کردن داده‌های چاه‌پیمایی به نرم‌افزار با کالیبره کردن نگارهای چاه با داده‌های چک‌شات این نگارها از حوزه عمق به حوزه زمان تبدیل می‌شوند تا داده‌های چاه و مقطع لرزه‌ای هم‌حوزه شوند.

دلیل این امر این است که داده‌های نگار صوتی، سرعت سنگ‌های اطراف چاه را نشان می‌دهد و از طرفی امواج لرزه‌ای تحت تاثیر مواردی مثل جذب و پراکندگی قرار می‌گیرند. بنابراین هرکدام از این داده‌ها به تنهایی رابطه مناسبی برای تبدیل زمان به عمق را به‌دست نمی‌دهند. برای حل این مشکلات از داده‌های چک‌شات که تاثیر موارد فوق را تا حد قابل قبولی حذف می‌کند، استفاده می‌شوند. در شکل (۳-۱۹) تصحیح نگار صوتی به‌وسیله چک‌شات نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۹ تصحیح نگار صوتی به وسیله چکشات

۳- در این مرحله به ترتیب زیر، لرزه‌نگاشت مصنوعی ساخته می‌شود:

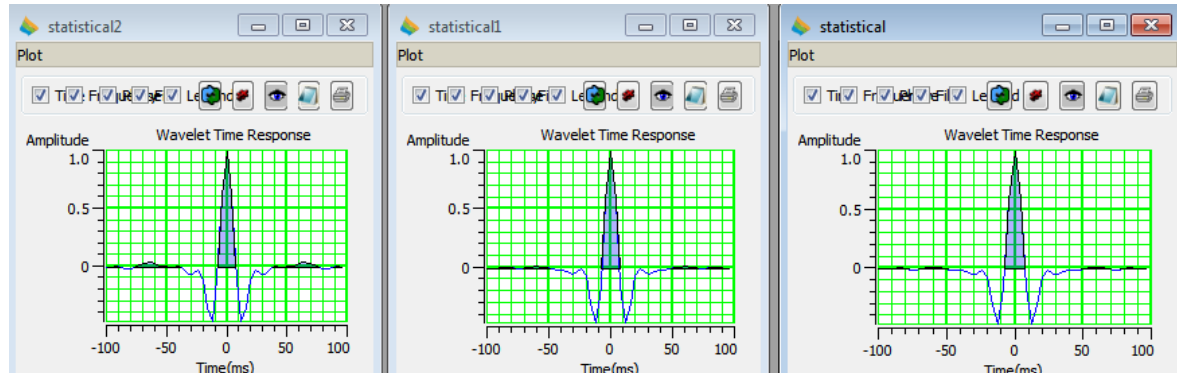
الف - برای این کار ابتدا با استفاده از نگار صوتی و نگار چگالی، نگار مقاومت صوتی از حاصل ضرب نگارهای چگالی و صوتی در محل چاه محاسبه می‌شود.

ب - با توجه به رابطه موجود بین مقاومت صوتی و ضرایب بازتاب، سری ضرایب بازتاب در محل چاه به دست می‌آید.

ج - موجک لرزه‌ای در فاز صفر یا مینیمم از داده‌های چاه و لرزه‌ای استخراج می‌گردد.

استخراج موجک به دو روش آماری و استفاده از چاه‌ها انجام می‌شود که در شکل (۳-۲۰) موجک‌های آماری استخراج شده نشان داده شده‌اند. قابل ذکر است که عملیات استخراج موجک با استفاده از هر یک از چاه‌ها به‌طور جداگانه و یک بار با استفاده از تمام چاه‌ها انجام شده است که از آوردن تمامی شکل‌ها اجتناب ورزیده

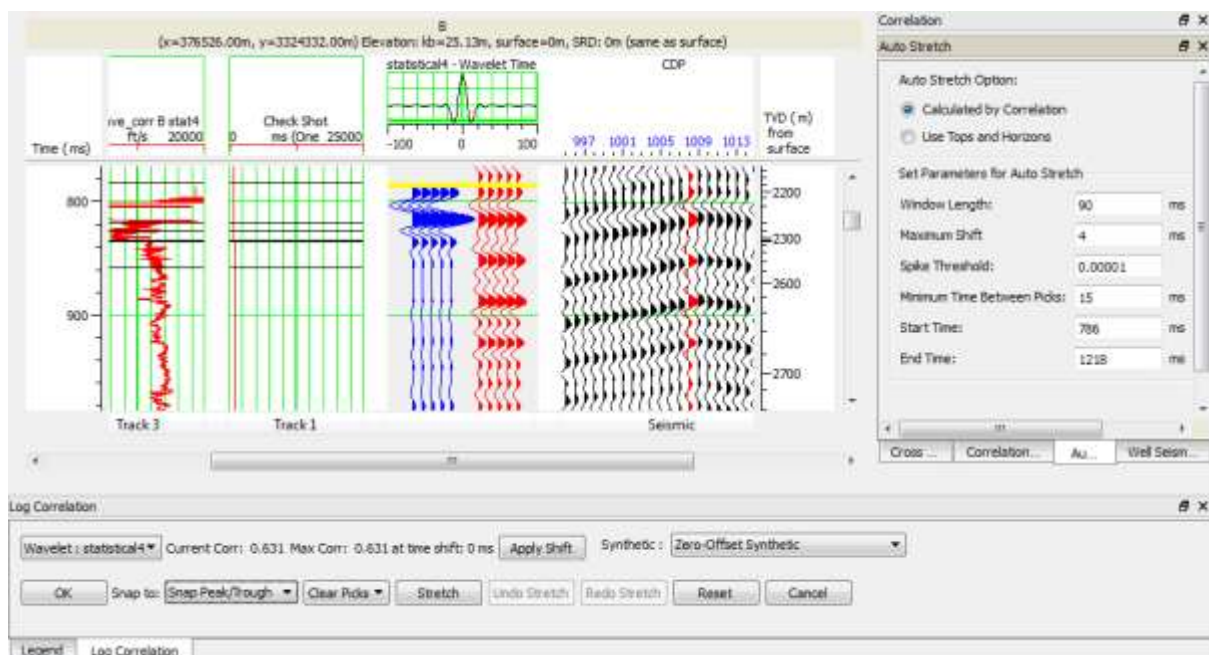
شد. با استفاده از موجک به دست آمده به انطباق دادن لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی و واقعی در کل چاه‌ها اقدام می‌کنیم.



شکل ۳-۲۰ برآورد موجک‌های آماری مصنوعی در فاز صفر

د- لرزه‌نگاشت مصنوعی از هم‌امیخت موجک لرزه‌ای و سری‌های ضرایب بازتابش ساخته می‌شود. اکنون نگاشت‌های مصنوعی به منظور تعیین افق‌های لرزه‌ای با مقطع لرزه‌ای در محل چاه مطابقت داده می‌شود. البته نباید انتظار داشت که داده‌های لرزه‌ای از نظر دامنه، فرکانس و فاز با داده‌های درون‌چاهی کاملاً منطبق باشد. زیرا به عنوان مثال فرکانس‌های مورد استفاده در امواج لرزه‌ای بین ۸ تا ۸۰ هرتز است، در حالی که فرکانس‌های مورد استفاده در نگار صوتی بین ۱۰ تا ۳۰ کیلوهرتز می‌باشد. برای بالابردن همبستگی بین ردلرزه مصنوعی و واقعی در اطراف چاه، لازم است قله‌ها و دره‌ها^{۹۶} را در مقابل هم قرار داده و به صورت دستی بر هم منطبق شوند تا بهترین همبستگی بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و واقعی در محل چاه‌ها ایجاد شود. موجک استخراجی حاصل از این کار در نهایت به صورت شکل زیر می‌باشد که بهترین انطباق به مقدار ۶۳ درصد حاصل شد. در شکل (۳-۲۱) میزان انطباق و موجک استخراجی نمایش داده شده است.

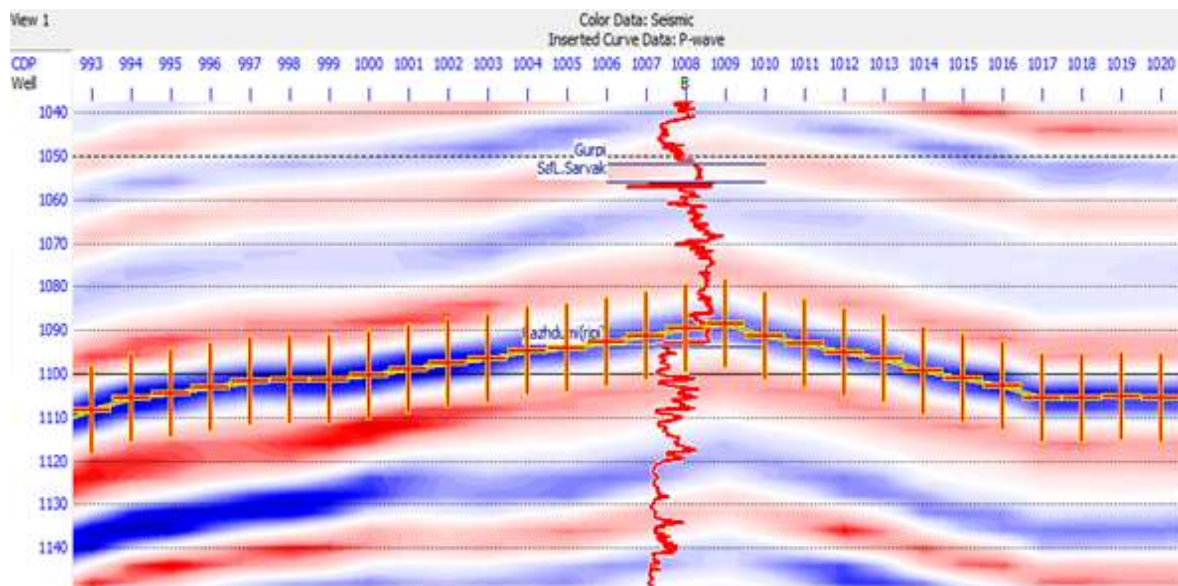
^{۹۶} Peak & Trough.



شکل ۳-۲۱ تطابق نگارهای چاه‌پیمایی، لرزه‌نگاشت مصنوعی و داده‌های لرزه‌نگاری

۴- پس از اتمام کار ساخت لرزه‌نگاشت مصنوعی، با در دست داشتن اطلاعاتی چون محل قرار گیری سر سازندها و اینکه سر سازندها در لرزه‌نگاشت مصنوعی در چه محلی واقع شده‌اند، پیک کردن افق‌های^{۹۷} مورد مطالعه در میدان آغاز می‌شود. که در شکل (۳-۲۲) نمایی از پیک کردن افق‌ها در چاه (B) نشان داده شده است.

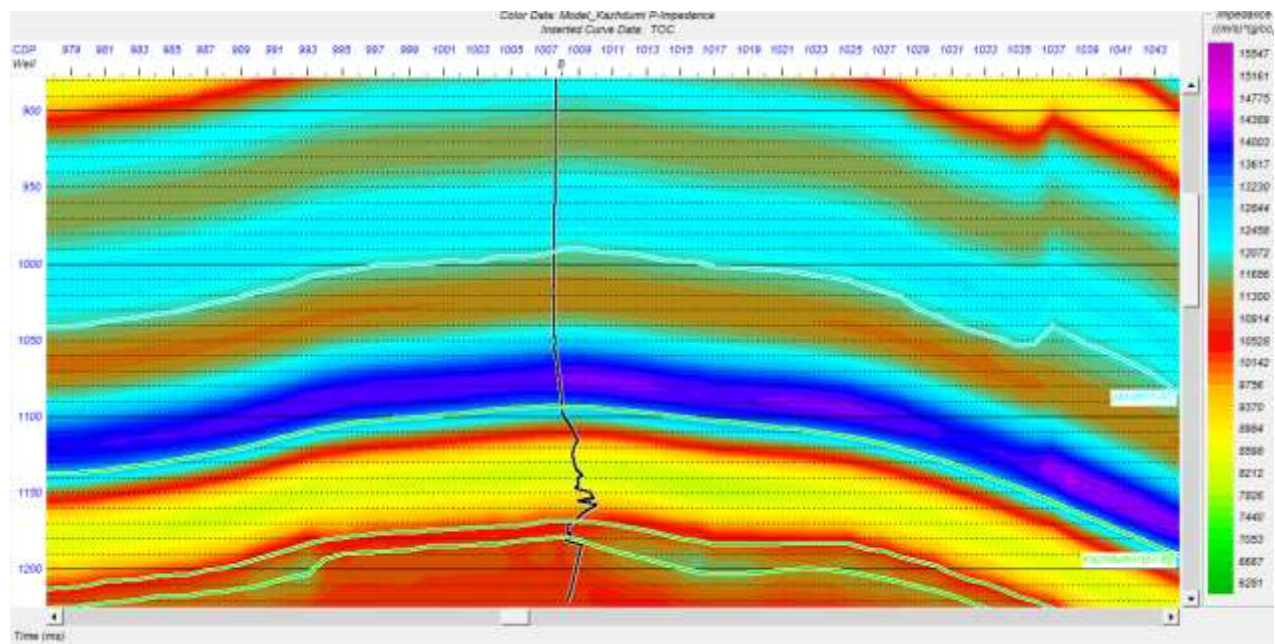
^{۹۷} Pick Horizon



شکل ۳-۲۲ نمایش افق کژدمی بالایی بر روی مقطع لرزه‌ای واقع بر محل چاه (B)

۵- پس از تعیین محل سرسازندها نشانگر لرزه‌ای مقاومت صوتی استخراج می‌شود. هدف از وارون‌سازی در مرحله نخست تخمین مقاومت صوتی به منظور بررسی بهتر مخزن از نظر لیتولوژی، تخلخل و سایر خواص مخزنی و در مرحله بعد پیش‌بینی نقاط بهتر جهت حفاری‌های بعدی است. پس از کسب اطمینان از همبستگی خوب ردلرزه مصنوعی و ردلرزه واقعی در محل چاه‌ها، باید یک مدل فرضی اولیه از اطلاعات لرزه‌ای و نگارها ساخته شود. این مدل اولیه عموماً یک مدل زمین‌شناسی است. برای محاسبه این مدل ابتدا رابطه بین نگار مقاومت صوتی و ردلرزه در محل چاه‌ها به دست می‌آید. سپس به کمک درونیابی این رابطه بر روی تمام ردلرزه‌ها در محدوده لرزه‌ای اعمال می‌شود. به این ترتیب یک مدل مقاومت صوتی اولیه به دست می‌آید.

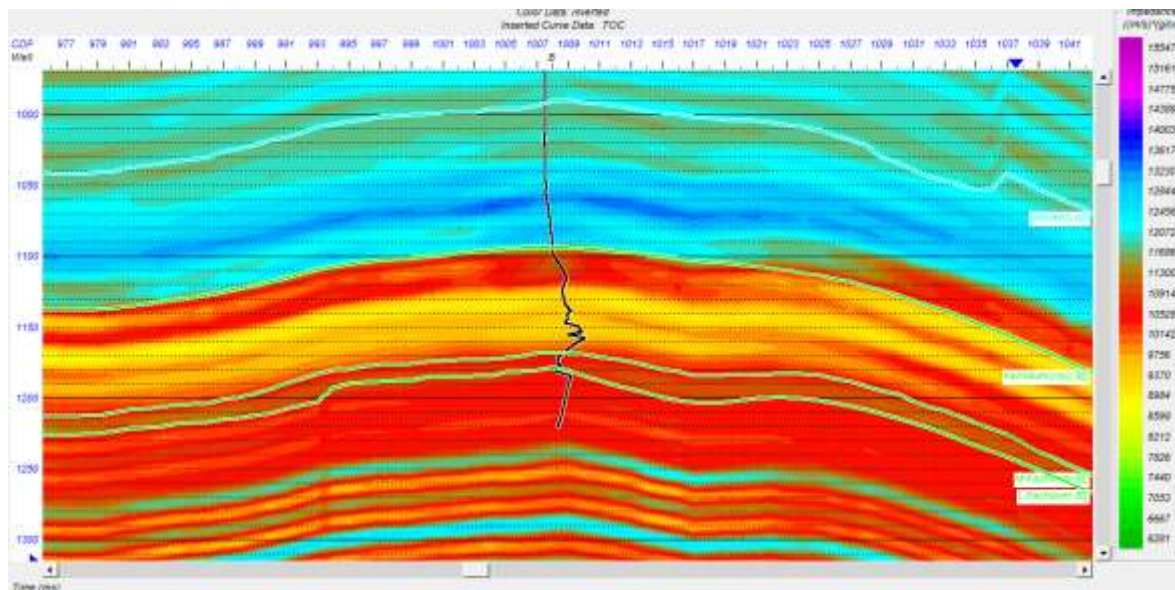
۶- در مرحله نهایی مقطع مقاومت صوتی جهت دستیابی به روند توزیع مقاومت صوتی و در نتیجه بررسی ارتباط آن با نگار هدف در کل محدوده لرزه‌نگاری تهیه می‌شود. در شکل (۳-۲۳) مقطع اولیه مقاومت صوتی در چاه (B) به همراه نگار هدف نمایش داده شده است.



شکل ۳-۲۳ مدل اولیه مقاومت صوتی با قرار گرفتن نگار *TOC* در چاه (B)

از آوردن تصاویر سایر چاه‌ها خودداری شده است. نتیجه‌ای که از این بخش حاصل شده رابطه عکس مقاومت صوتی با نگار هدف (*TOC*) می‌باشد. همان‌طور که در شکل فوق دیده می‌شود با کاهش محتوای کربن در افق کژدمی میانی میزان مقاومت صوتی سیر صعودی دارد. در اکثر بخش‌های دیگر نیز این ارتباط مشاهده می‌شود.

۷- پس از ساخت مدل اولیه نوبت به وارون‌سازی با استفاده از روش‌های بر پایه مدل و سایر روش‌ها می‌باشد که روش مطلوب در این تحقیق روش وارون‌سازی بر پایه مدل می‌باشد. به طور خلاصه می‌توان گفت در روش‌های وارون‌سازی، مدل اولیه ساخته شده آن‌قدر تغییر داده می‌شود که عدم تطابق بین لرزه‌نگاری و مدل ساخته با روش وارون‌سازی به حداقل برسد. مقاومت صوتی به‌دست آمده از این روش را به‌عنوان یک نشانگر در مراحل بعدی استفاده خواهیم کرد. در شکل (۳-۲۴) مدل نهایی (مدل مقاومت صوتی) در محل چاه B نشان داده شده است. با توجه به شکل درمی‌یابیم که مقاومت صوتی و *TOC* رابطه عکس دارند.



شکل ۲۴-۳ مدل نهایی مقاومت صوتی

۸- در این گام هدف پیدا کردن بهترین نشانگر با بررسی همه جانبه نشانگرهای موجود است. در تحلیل چند نشانگری باید به تعداد نشانگرهایی که مورد استفاده قرار می گیرند، توجه نمود. در این بخش به شرح بهینه ترین روش ترکیب خطی نشانگرها جهت تخمین خصوصیات مخزنی می پردازیم. هدف یافتن تعداد ترکیب بهینه نشانگرها به منظور تخمین TOC می باشد. تعداد بهینه نشانگرها توسط روش رگرسیون مرحله ای پیش رونده^{۹۸} تعیین گردید. در این روش ترکیب $M+1$ نشانگر شامل M نشانگر قبلی نیز می شود تا جایی که خطای تخمین^{۹۹} افزایش می یابد.

در این قسمت به کمک داده های چاه نگاری و نشانگرهای لرزه ای مقطع ژئوشیمیایی-لرزه ای TOC را در چاه های مورد بررسی تهیه و سپس مدل TOC به دست می آید. در آغاز باید بهترین نشانگرهای لرزه ای را برای تخمین TOC تعیین نمود. با استفاده از اعتبارسنجی متقابل، تعداد بهینه این نشانگرها برای تخمین TOC مشخص می شوند. نشانگرهای استخراج شده در اطراف چاه ها به عنوان ورودی و نگارهای TOC حاصل

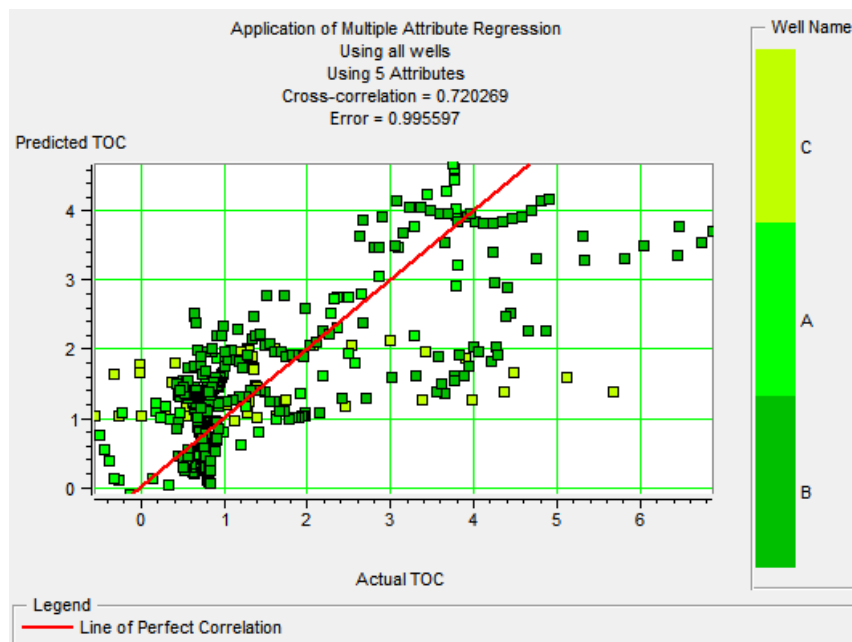
⁹⁸ Forward step-wise regression

⁹⁹ Validation error

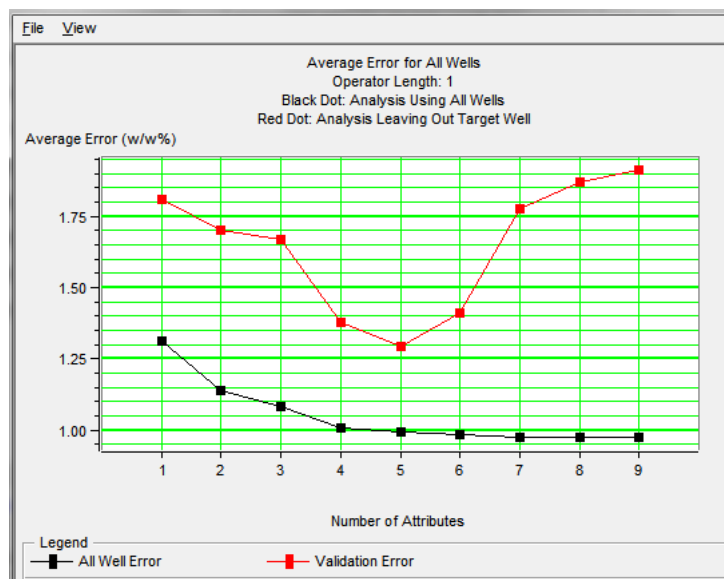
از آنالیز ژئوشیمیایی به عنوان خروجی برای آموزش سه شبکه عصبی استفاده شدند. باید توجه داشت که استفاده از داده‌های لرزه‌ای دو بعدی در این فرآیندها بسیار پیچیده‌تر و دارای حساسیت‌های بیشتری نسبت به داده‌های لرزه‌ای سه بعدی هستند. مخصوصاً زمانی که داده‌های لرزه‌ای در فاصله دورتری از چاه قرار دارند، استخراج نشانگرها در اطراف چاه‌ها را سخت‌تر می‌کنند. در صورتی که برای داده‌های لرزه‌ای سه بعدی، جدا از فراوانی ردلرزه‌ها در اطراف چاه‌ها، این ردلرزه‌ها دارای کیفیت و همخوانی بیشتری نسبت به داده‌های دو بعدی هستند. در شکل‌های (۳-۲۵)، (۳-۲۶) و (۳-۲۷) به ترتیب جدول تعداد بهینه نشانگرهای مرتبط با TOC ، نمودار TOC تخمین زده شده در مقابل TOC واقعی با استفاده از رگرسیون چند نشانگری و نتیجه آنالیز چند نشانگری آورده شده است.

	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	TOC	1 / (seismic_integrate_absolute_amplitude)	1.314596	1.811435
2	TOC	1 / (seismic_dominant_frequency)	1.137271	1.702303
3	TOC	(seismic_filter_510_1520)**2	1.081645	1.667777
4	TOC	(seismic_amplitude_envelope)**2	1.007527	1.380362
5	TOC	seismic_instantaneous_frequency	0.995597	1.294860
6	TOC	1 / (inverted)	0.985239	1.413004
7	TOC	Log(seismic_second_derivative_instantaneous_amplitu	0.977730	1.775503
8	TOC	seismic_integrate	0.976226	1.869019
9	TOC	1 / (seismic_derivative_instantaneous_amplitude)	0.975410	1.912253

شکل ۳-۲۵ جدول مربوط به تعداد نشانگرهای مرتبط با نگار هدف



شکل ۳-۲۶ نمودار TOC تخمین زده شده در مقابل TOC واقعی با استفاده از رگرسیون چندنشانه‌گری



شکل ۳-۲۷ نتیجه آنالیز چند نشانه‌گری، منحنی مشکی نشان‌دهنده خطای کل و منحنی قرمز نشان‌دهنده خطای اعتبار سنجی است.

همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش تعداد نشانه‌رها، انطباق TOC اندازه‌گیری شده و TOC تخمینی افزایش و خطای کلی آن‌ها (نمودار مشکی) کاهش می‌یابد. بدین معنی که با افزایش تعداد نشانه‌رها رابطه موجود بین داده‌ها در محل چاه‌ها بهتر تخمین زده می‌شود. زیرا افزایش تعداد نشانه‌رها به معنی برازش

یک چندجمله‌ای با مرتبه بیش‌تر بر داده‌هاست. ولی بعد از مدتی خطای اعتبارسنجی کاهش می‌یابد. در واقع خطای تخمین برای نقاط غیر از چاه افزایش می‌یابد و افزایش تعداد نشانگرها منجر به ایجاد خطا در نتیجه نهایی می‌شود.

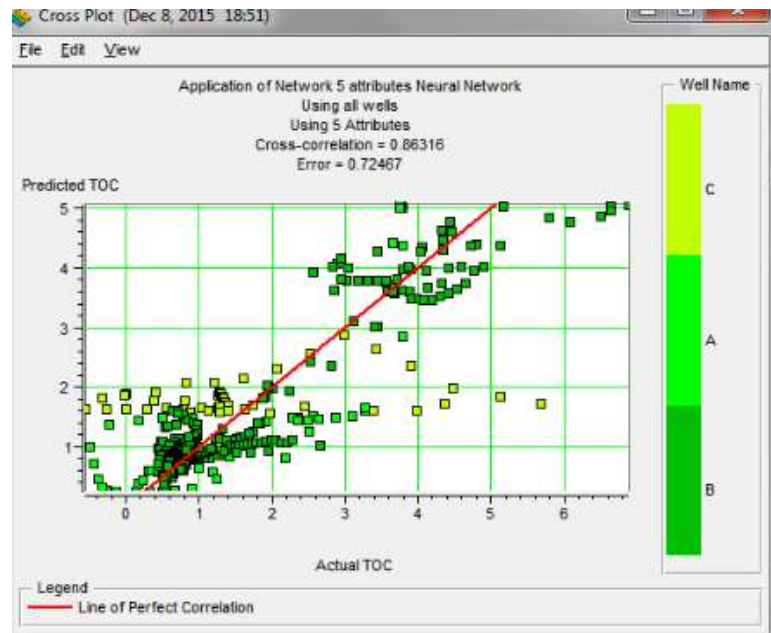
نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که پس از نشانگر پنجم خطای اعتبارسنجی افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که تا هنگامی که اضافه نمودن نشانگرهای جدید یک بهبود در برازش را داشته باشد، این روش کارآمد است ولی شاید این اضافه شدن برای دسته داده‌های جدید (نه برای دسته داده‌های آموزشی) مؤثر واقع نشود و گاه مضر باشد. این پدیده اغلب تحت عنوان آزمون افزون^{۱۰۰} نام برده می‌شود.

۹- در این مرحله برای محاسبه *TOC*، نشانگرهای ایجاد شده در مرحله قبل وارد الگوریتم شبکه‌های عصبی *PNN*، *MLFN* و *RBF* می‌شوند. در جدول (۳-۶) میزان همبستگی بین *TOC* چاه و *TOC* تخمین زده شده از طریق هر یک از این شبکه‌ها را می‌توان دید و در نهایت با توجه به جدول درمی‌یابیم که شبکه *MLFN* بهترین میزان همبستگی را دارد. در ادامه شکل‌های مربوط به میزان ضریب همبستگی آموزش و اعتبارسنجی در این شبکه نمایش داده شده و از آوردن مقاطع ساخته شده با روش‌های دیگر به دلیل همبستگی پایین‌تر اجتناب شده است.

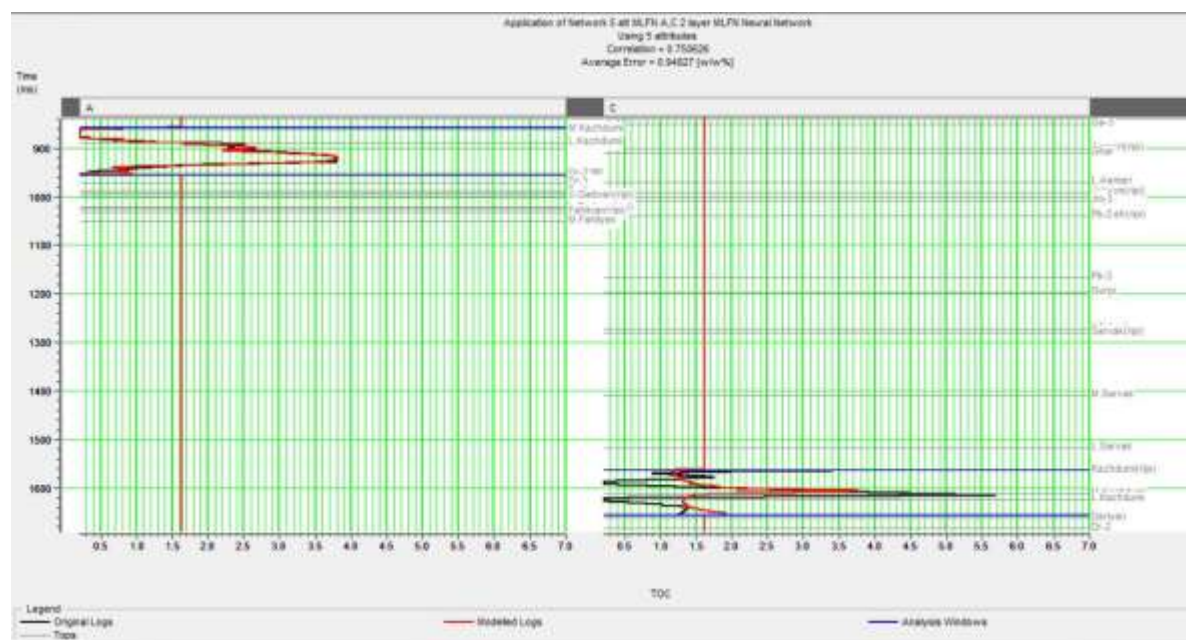
جدول ۳-۶ نتایج تحلیل و تخمین *TOC* به روش‌های مختلف

خطای اعتبارسنجی %	ضریب همبستگی داده‌های اعتبارسنجی	خطای آموزش %	ضریب همبستگی داده‌های آموزش	روش
۱/۴۳	%۱۲	۱/۲۹۴	%۶۳	<i>PNN</i>
۱/۳۸	%۳۸	۰/۹۵۴	%۷۵	<i>RBF</i>
۱/۳۴	%۴۸	۰/۹۴۸	%۷۵	<i>MLFN</i>

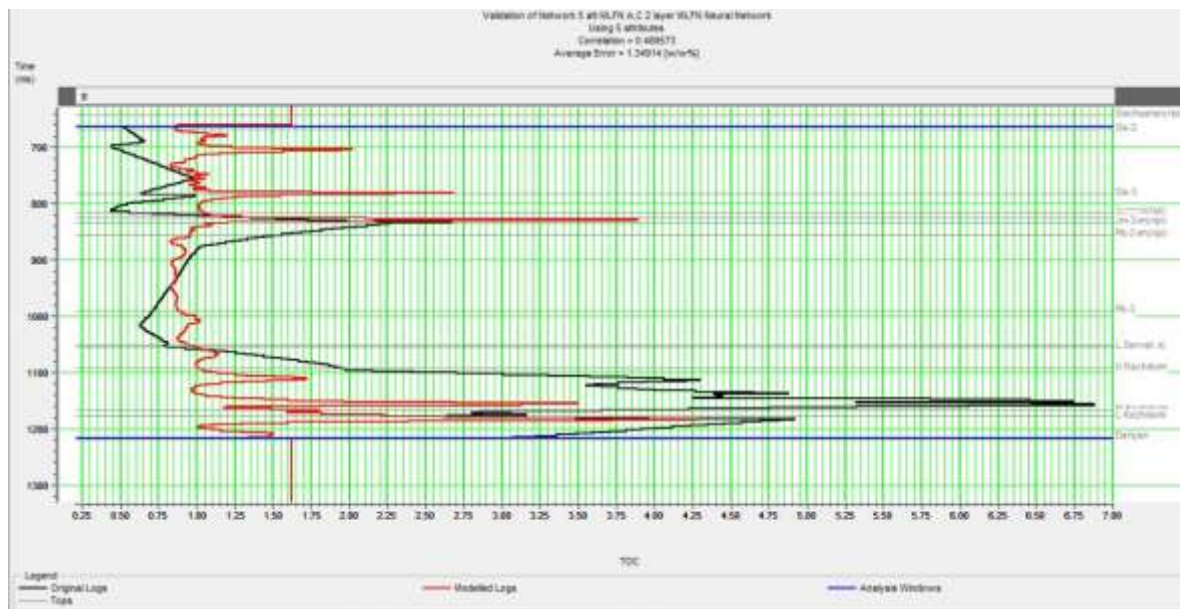
همان‌طور که مشاهده می‌شود، شبکه عصبی *MLFN* بهترین تخمین *TOC* را از روی نشانگرها زده است و این در حالی است که کدخدایی ایلخچی و همکاران (۲۰۱۳) *PNN* را بهترین شبکه عصبی برای تخمین *TOC* از روی نشانگرهای لرزه‌ای انتخاب نمودند. مقاطع مربوطه در شکل‌های (۳-۲۸) آورده شده است.



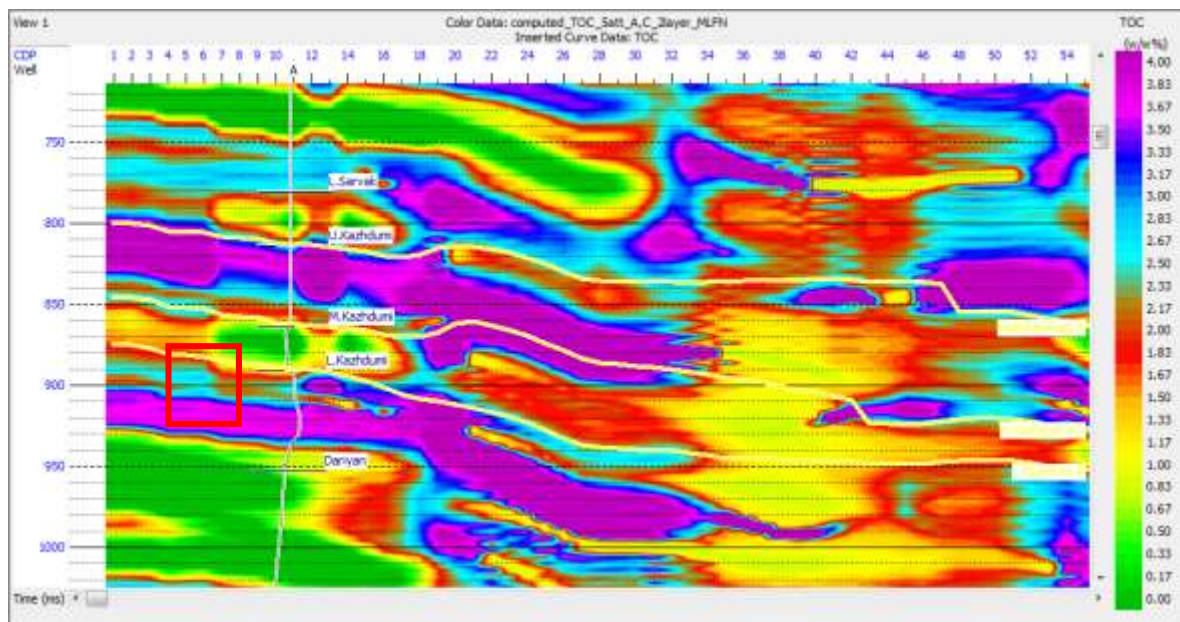
شکل ۳-۲۸ نمودار *TOC* تخمین زده شده در مقابل *TOC* واقعی با استفاده از روش شبکه عصبی *MLFN*



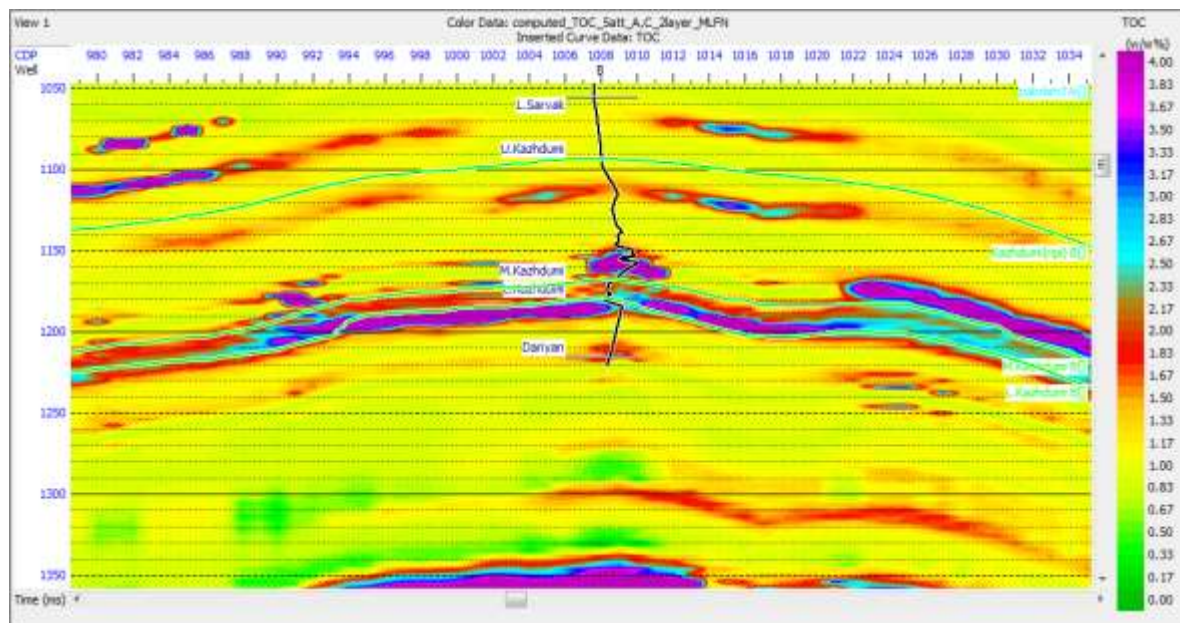
شکل ۳-۲۹ الف نمایش تطابق نگار *TOC* واقعی و محاسبه شده توسط روش *MLFN* در محل چاه‌ها (*Train*)



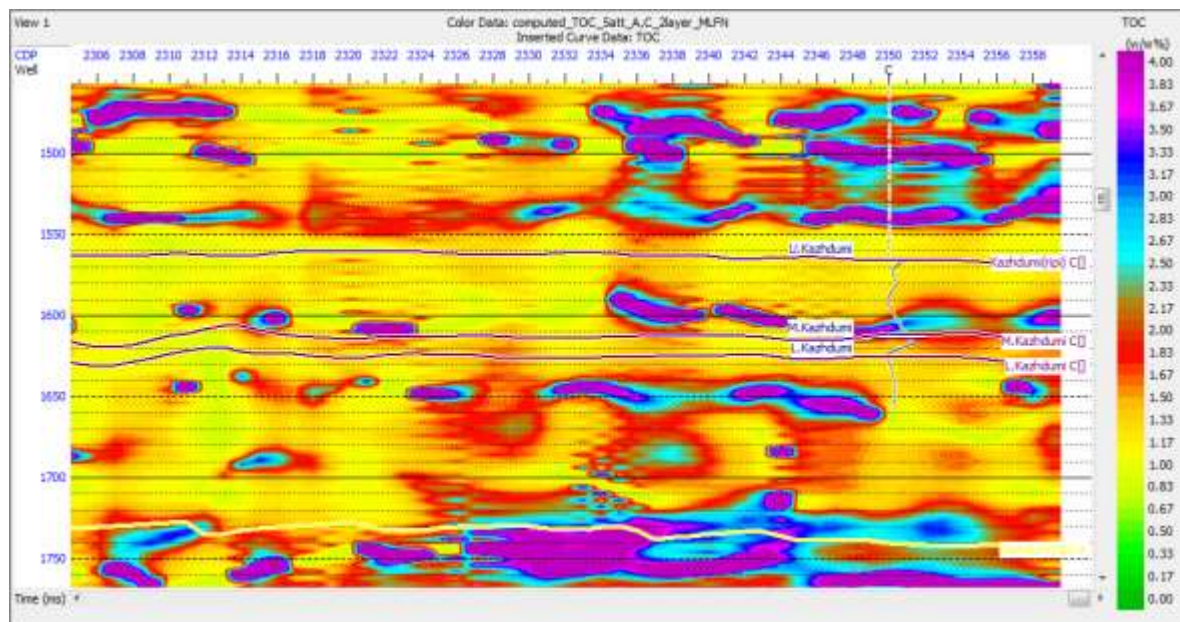
شکل ۳-۲۹-ب نمایش تطابق نگار TOC واقعی و محاسبه شده توسط روش MLFN در محل چاهها (Validation)



شکل ۳-۳۰-الف نتایج تخمین TOC در محدوده مورد مطالعه با اعمال روش MLFN به روش بر مبنای مدل در چاه (A)

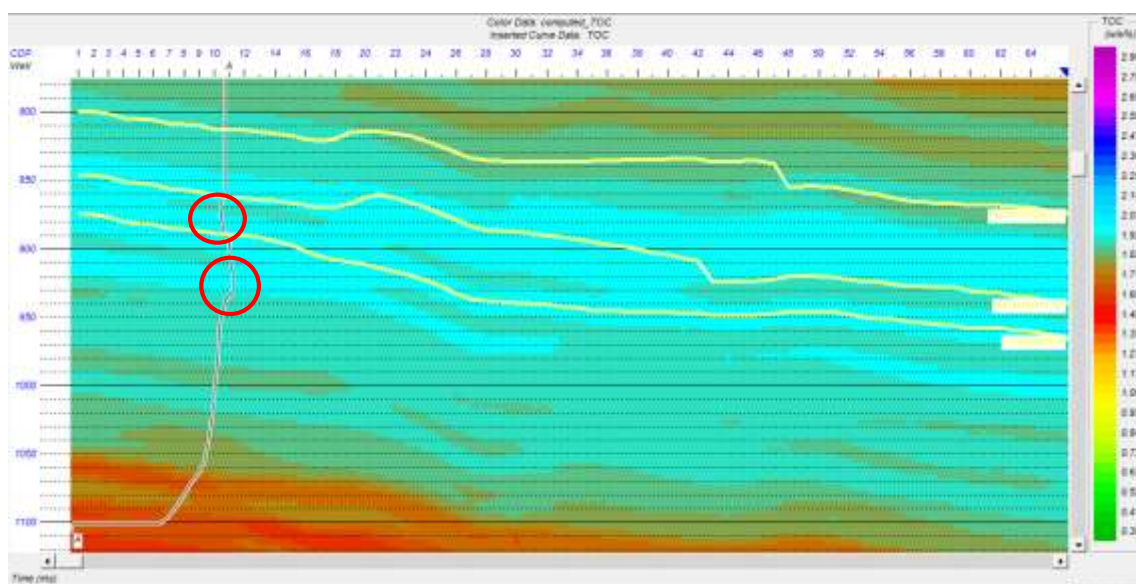


شکل ۳-۳۰-ب نتایج تخمین TOC در محدوده مورد مطالعه با اعمال روش MLFN به روش بر مبنای مدل در چاه (B)

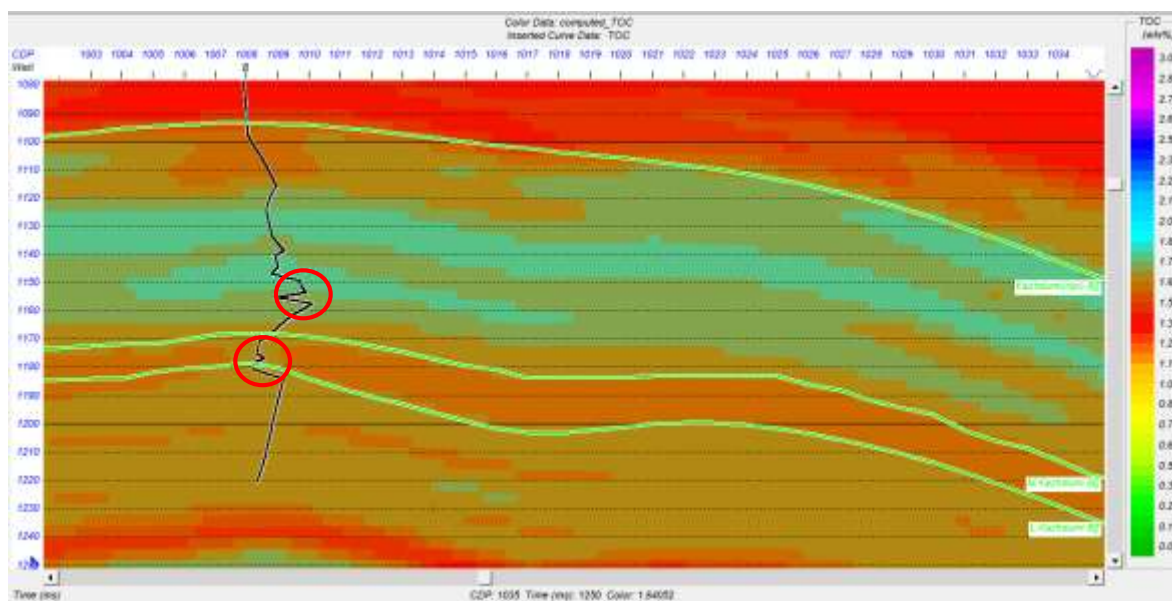


شکل ۳-۳۰-ج نتایج تخمین TOC در محدوده مورد مطالعه با اعمال روش MLFN به روش بر مبنای مدل در چاه (C)

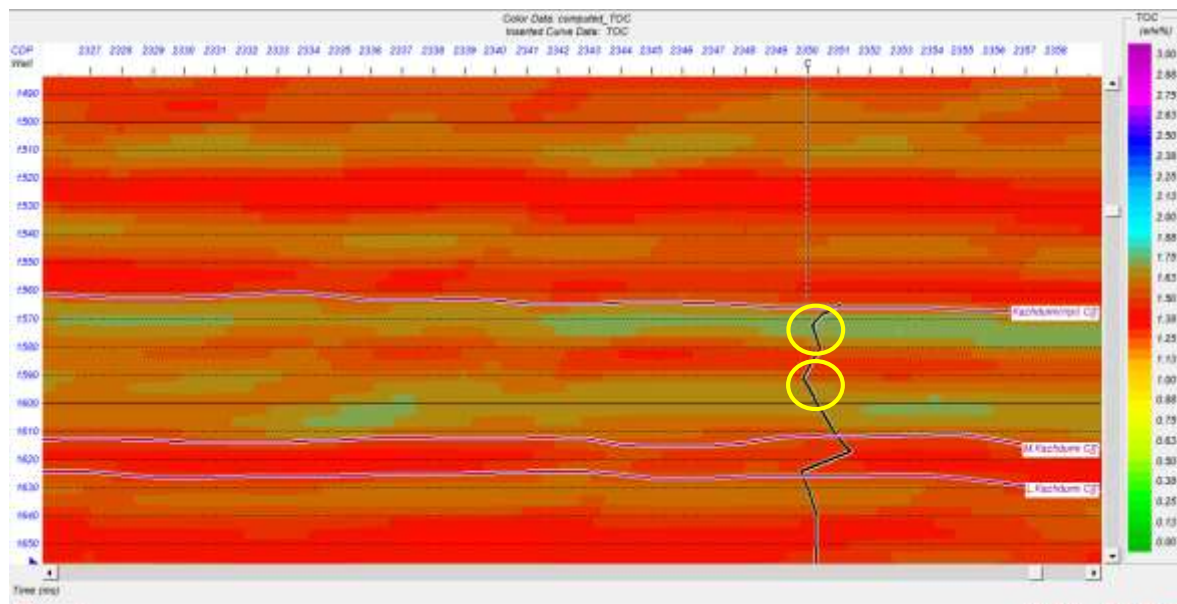
۱۱- در این مرحله به مقایسه مقاطع *TOC* حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) که در شکل‌های (۳-۳) در ادامه آورده شده و مقاطع حاصل از آنالیز چند نشانگری با روش شبکه عصبی *MLFN* که در صفحات پیشین آمده است، پرداخته شده است.



شکل ۳-۳۱-الف مقطع *TOC* حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) در محل چاه (A)



شکل ۳-۳۱-ب مقطع *TOC* حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) در محل چاه (B)



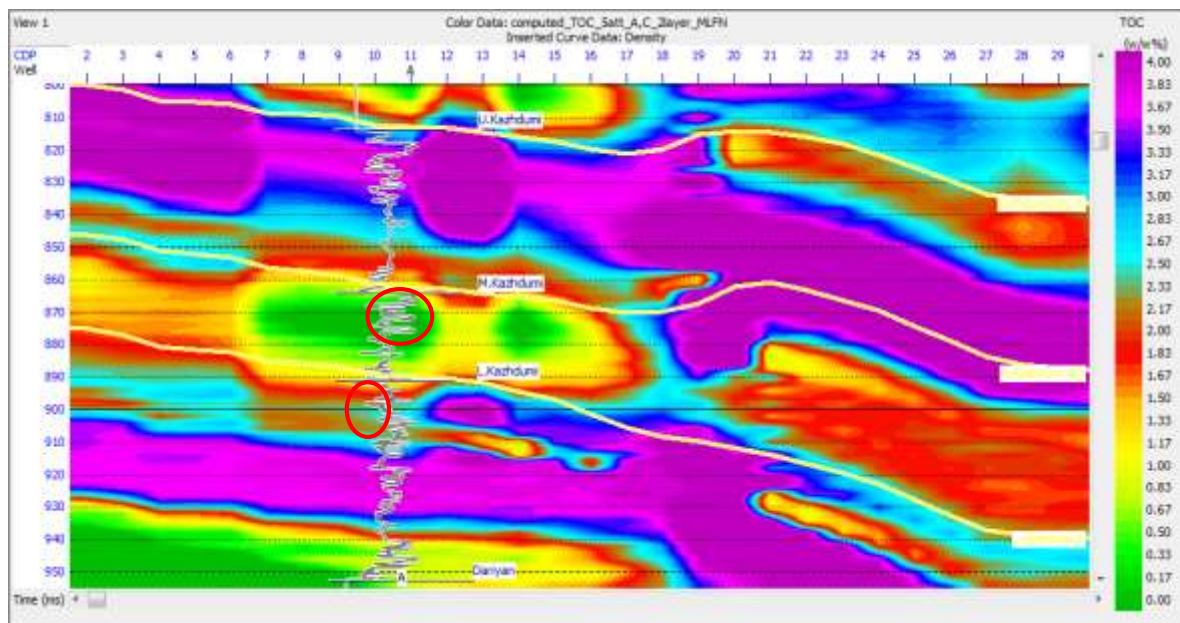
شکل ۳-۳۱- ج مقطع TOC حاصل از نشانگر خارجی (مقاومت صوتی) در محل چاه (C)

همان‌طور که در مقاطع فوق مشاهده می‌شود TOC حاصل از مقطع مقاومت صوتی (نشانگر خارجی) و TOC حاصل از روش شبکه عصبی *MLFN* (نشانگرهای داخلی) در چاه (A) نتیجه قابل قبول‌تری را ارائه دادند. هرچند هر دو نتایج درستی را نشان می‌دهند اما تفکیک‌پذیری لایه‌ها در روش چند نشانگری (نشانگرهای داخلی) بهتر عمل کرده است. با توجه به مقاطع مشاهده می‌شود که در چاه (A) لایه پایینی لایه‌ای غنی‌تر از لحاظ TOC می‌باشند.

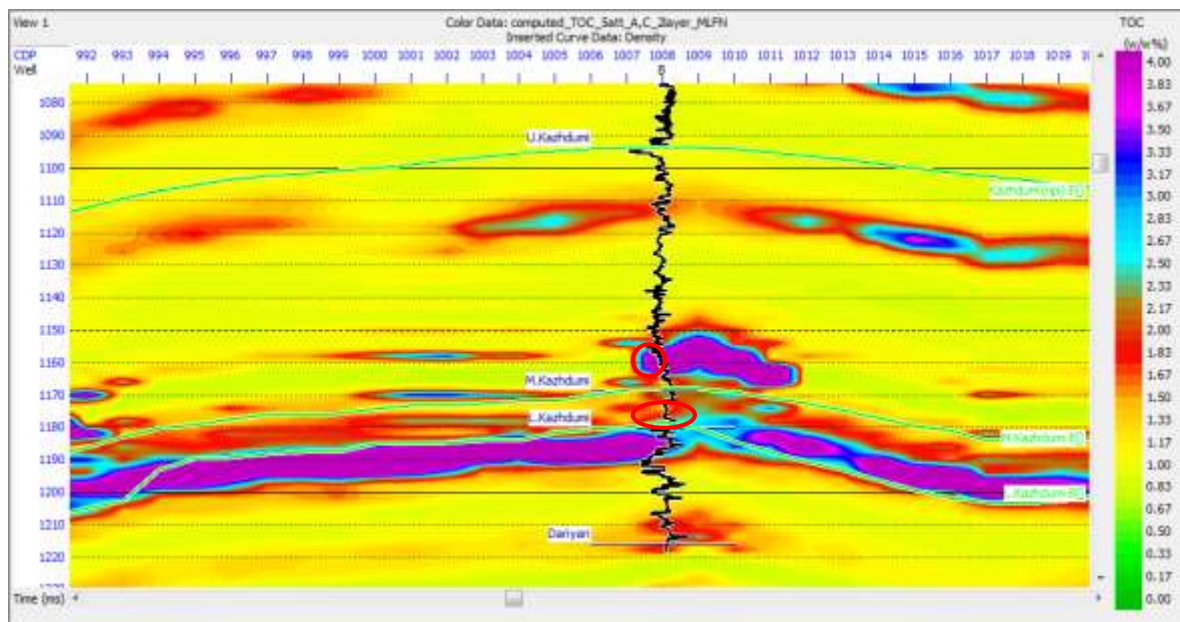
۱۲- در این مرحله که مرحله نهایی تحقیق است، هدف یافتن ارتباط بین نگارهای صوتی، حجم شیل چگالی با مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی TOC می‌باشد که مقاطع هریک در شکل‌های زیر آورده شده است.

۳-۸-۱ رابطه نگار چگالی و مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی TOC

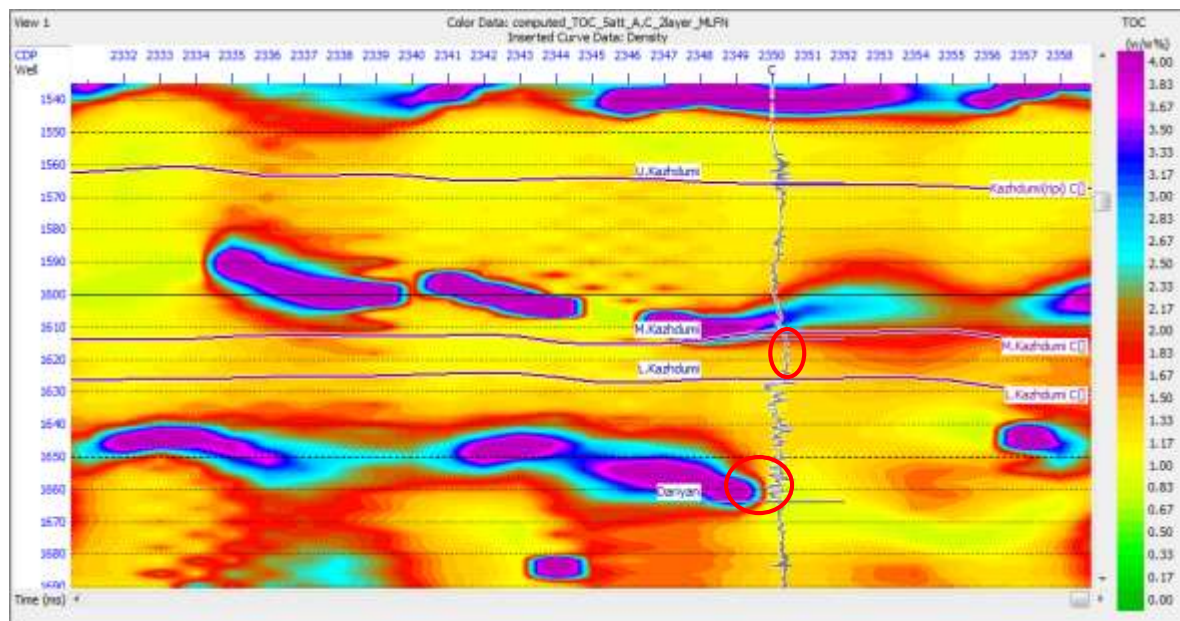
با توجه به این‌که مقاومت صوتی از حاصل ضرب نگار چگالی در سرعت موج صوتی به‌وجود می‌آید پس نگار چگالی با محتوای کربن آلی رابطه معکوس دارد، با توجه به نقاط مشخص شده در مقاطع زیر این ارتباط قابل فهم است.



شکل ۳-۳۲-الف رابطه نگار چگالی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (A)



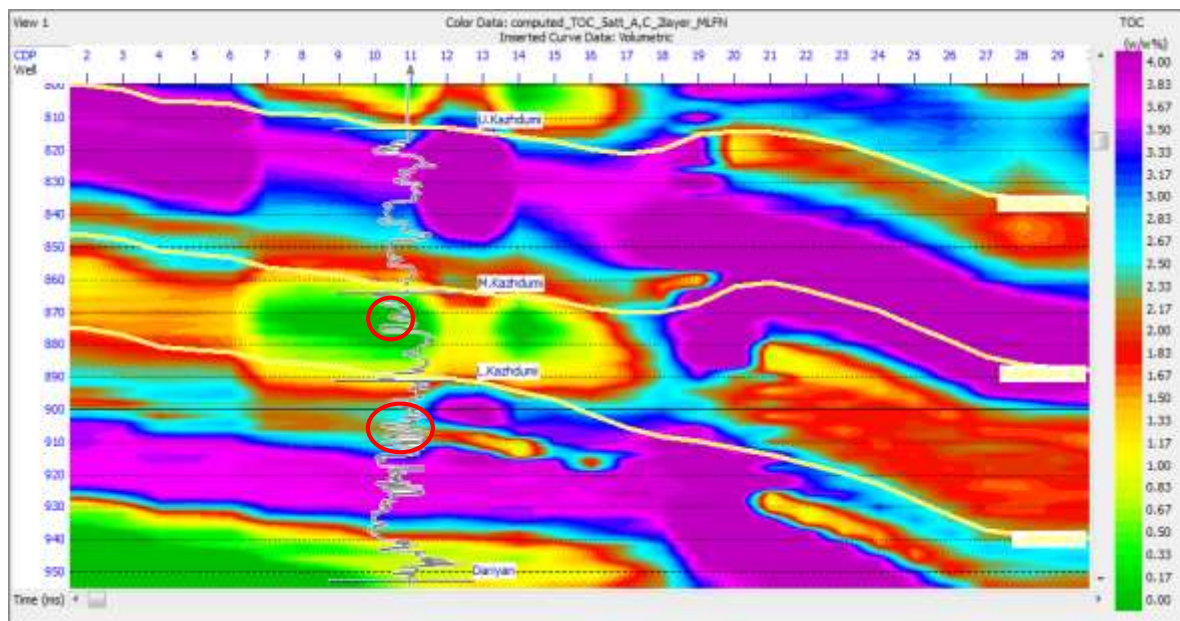
شکل ۳-۳۲-ب رابطه نگار چگالی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (B)



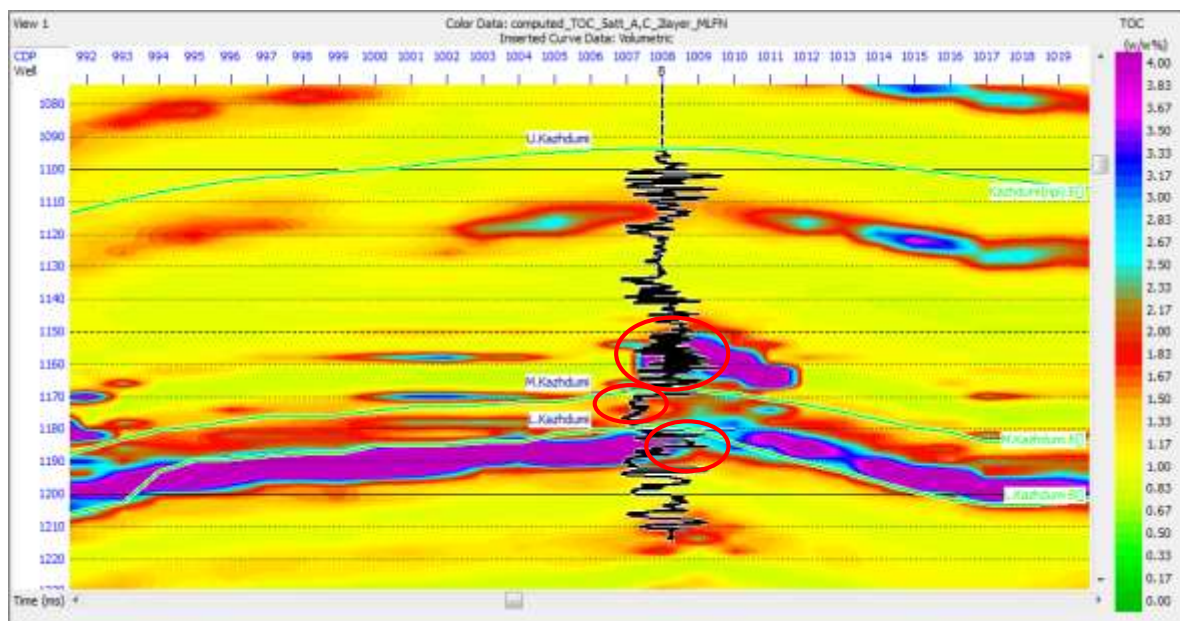
شکل ۳-۳۲- ج رابطه نگار چگالی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (C)

۳-۸-۲ رابطه نگار حجم شیل و مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی TOC

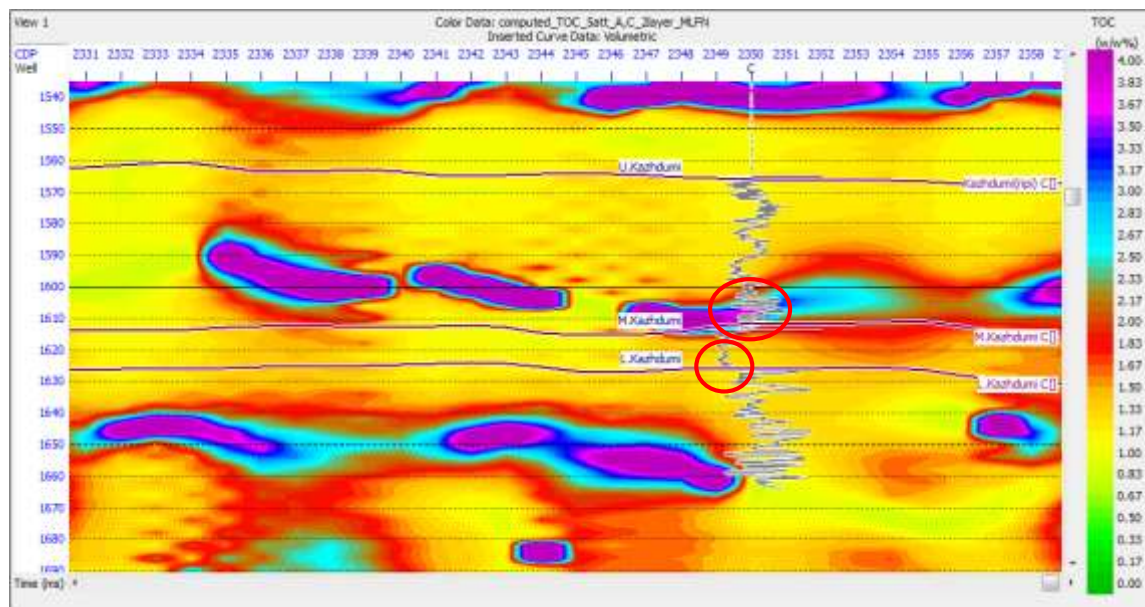
انتظار می‌رود میزان محتوای کربن آلی با افزایش حجم شیل افزایش یابد و در واقع رابطه‌ای مستقیم بین این دو پارامتر برقرار می‌باشد که این ارتباط در مقاطع زیر با توجه به نقاط مشخص شده قابل مشاهده است.



شکل ۳-۳۳-الف رابطه نگار حجم شیل با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (A)



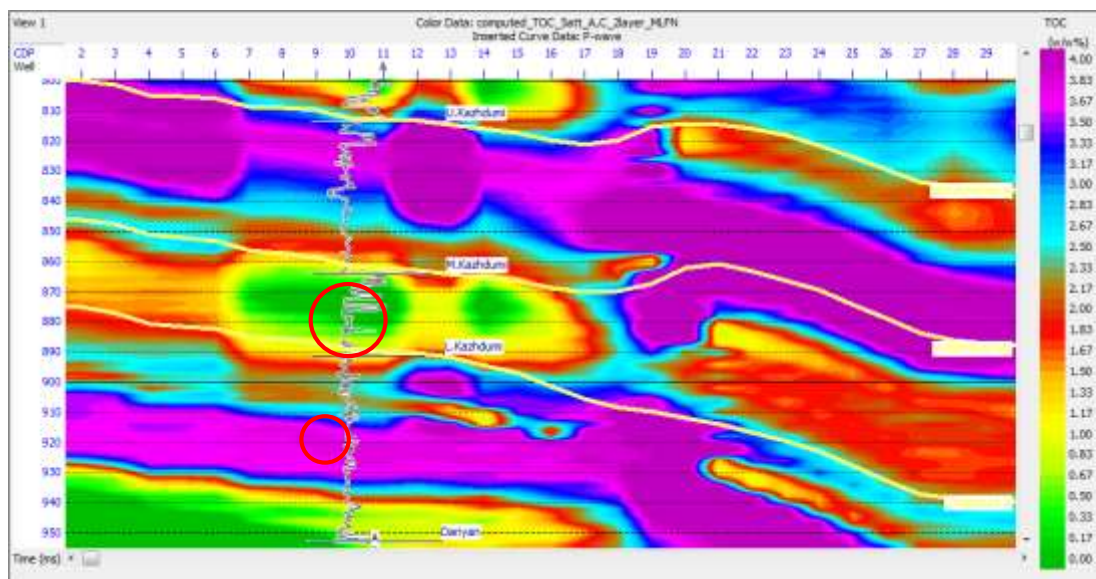
شکل ۳-۳۳-ب رابطه نگار حجم شیل با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (B)



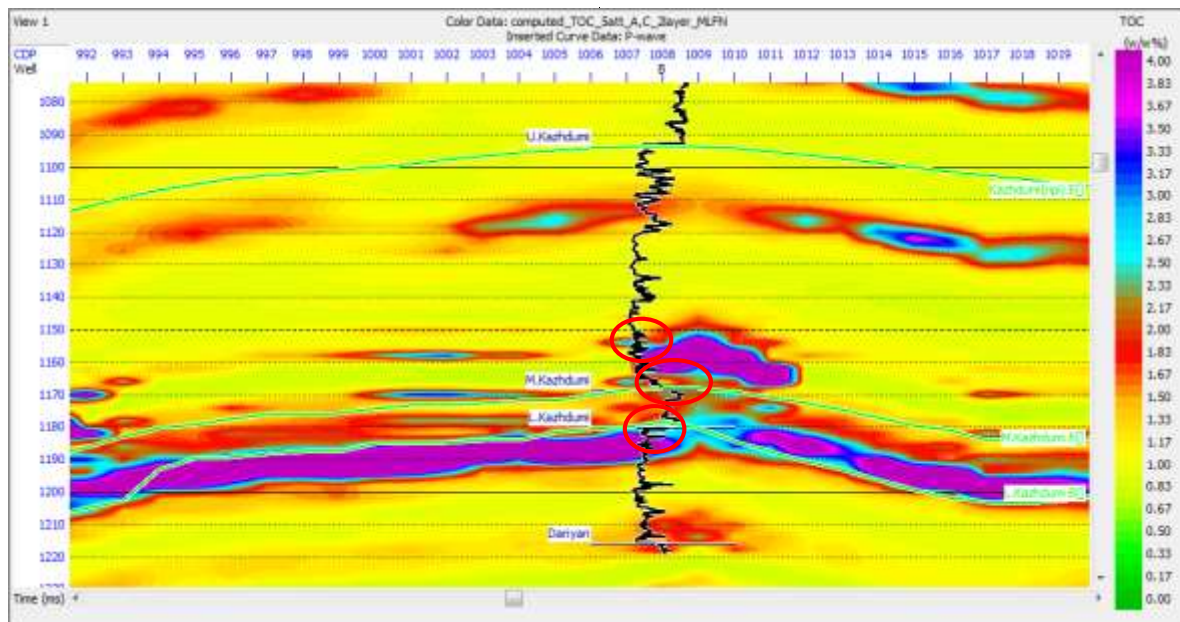
شکل ۳-۳۳- ج رابطه نگار حجم شیل با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (C)

۳-۸-۳ رابطه نگار صوتی و مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی TOC

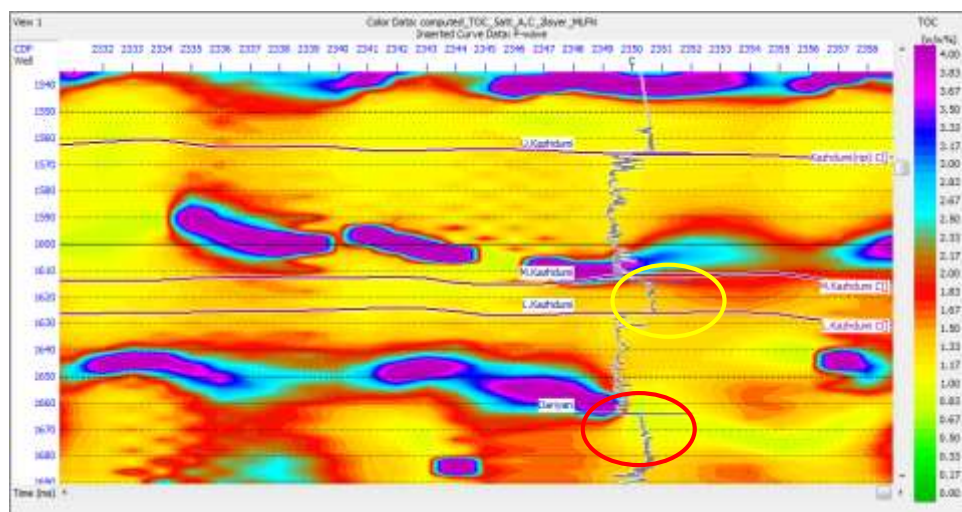
همان‌طور که در بالا گفته شد این دو نگار با هم رابطه عکس دارند. در چاه C در بخش میانی با افزایش زمان عبور صوت میزان TOC کاهش یافته است این ارتباط در سایر چاه‌ها نیز با توجه به نقاط مشخص شده در مقاطع قابل مشاهده است.



شکل ۳-۳۴- الف رابطه نگار صوتی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (A)



شکل ۳-۳۴-ب رابطه نگار صوتی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (B)



شکل ۳-۳۴-ج رابطه نگار صوتی با مقطع TOC حاصل از روش شبکه عصبی MLFN در محل چاه (C)

فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه ارزیابی سنگ منشأ هیدروکربنی و تخمین لایه‌های شیلی با کل محتوای کربن آلی بالاتر از داده‌های لرزه‌ای با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای و روش شبکه عصبی بود. برای رسیدن به این هدف تعداد سه چاه در یکی از میادین خلیج فارس که حاوی اطلاعات ژئوشیمیایی، چاهنگاری و لرزه‌ای بودند انتخاب شدند. سپس بررسی‌های لازم جهت ارزیابی سنگ منشأ انجام شد، نهایتاً نوع کروژن و نوع محصول تولیدی هر یک از چاه‌ها در سازند کژدمی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نهایی به‌دست آمده در این مطالعه را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

پتانسیل تولید سازند کژدمی در چاه A نشان می‌دهد که این سازند در این چاه در رده سنگ منشأ متوسط تا خوب، در چاه B به دو بخش سنگ منشأ ضعیف تا متوسط و سنگ منشأ بسیار خوب و در چاه C در رده سنگ منشأ خوب تا عالی طبقه‌بندی می‌شود. از نظر محصول تولیدی چاه A تولیدکننده گاز و در دو چاه دیگر علاوه بر گاز نفت هم تولید می‌شود، نوع کروژن‌ها هم در هر چاه همین موضوع را اثبات می‌کنند. به منظور تخمین TOC با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی از روش $\Delta \log R$ استفاده گردید که این روش، انطباق مناسبی بین داده‌های تخمین زده شده و واقعی از خود نشان دادند. این روش در دو چاه A و C نتایج بهتری را نشان دادند که به ترتیب ضریب تعیین ۹۴ و ۸۹ درصد را با مقادیر واقعی TOC نشان دادند اما در چاه B ضریب تعیین پایینی حدود ۵۴ درصد به‌دست آمده است.

با آموزش شبکه عصبی و ساخت مدل TOC، نتایج بیانگر این بوده‌اند که این شبکه با داشتن $MSE=0/048$ و میزان ضریب همبستگی (R) ۸۲ درصد نسبت به داده‌های آزمون و ۹۰ درصد نسبت به داده‌های اعتبارسنجی تخمین‌گر مناسبی بوده است.

در مطالعه نشانگرهای لرزه‌ای، روش استفاده از چندین نشانگر و رگرسیون قدم به قدم بهترین نتیجه را ایجاد کرده و مقطع ژئوشیمیایی-لرزه‌ای TOC به کمک آن به‌دست آمده است. هم‌چنین استفاده از این

روش در مقایسه با برخی روش‌ها نظیر استفاده از یک نشاگر (مقاومت صوتی) به دلیل قابلیت کاربرد چندین نشاگر به قدرت تفکیک بالاتری منجر می‌شود.

براساس نتایج وارون‌سازی لرزه‌ای حاصل از روش‌های خارهای پراکنده و بر پایه مدل، روش وارون‌سازی بر پایه مدل همبستگی بالاتر و خطای کم‌تری را نشان داد. بنابراین جهت انجام وارون‌سازی نهایی از روش بر پایه مدل استفاده گردیده است.

با استفاده از مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای و نشانگرهای لرزه‌ای استخراج شده از داده‌های لرزه‌ای و کمک گرفتن از سیستم‌های هوش مصنوعی، می‌توان مقطع وارون‌سازی شده را به مقطع محتوای کربن آلی تبدیل کرد.

با استفاده از مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی مطلوب به این نتیجه رسیدیم که نگار محتوای کربن آلی با نگار حجم شیل رابطه مستقیم و با نگارهای صوتی و چگالی رابطه عکس دارد که این نتایج در اکثر موارد به درستی اثبات شدند.

مطالعه اخیر نشان می‌دهد استفاده هم‌زمان از نگارهای چاه‌پیمایی و داده‌های لرزه‌نگاری نه تنها در تعیین خصوصیات مخزنی، بلکه برای ارزیابی پارامترهای ژئوشیمیایی (از قبیل محتوای کربن آلی یا TOC) نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

از آنجایی که داده‌های لرزه‌ای گستره وسیعی را در بر می‌گیرد، می‌توان برای بررسی توزیع مقدار TOC در فواصل بین چاهی از مدل‌سازی لرزه‌ای-ژئوشیمیایی TOC به منظور اهداف اکتشافی و کاهش هزینه‌های اکتشاف بهره برد.

مقایسه نتایج رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی $MLFN$ در تخمین محتوای کربن آلی از نشانگرهای لرزه‌ای، نشان داد شبکه عصبی $MLFN$ با ضریب همبستگی ۸۶ درصد، توانایی بالایی در برقراری روابط غیرخطی بین پارامترهای ورودی و خروجی دارد.

استفاده از ارزیابی پتروفیزیکی و مقطع لرزه‌ای-ژئوشیمیایی به ردیابی لایه‌هایی با محتوای کربن آلی بالاتر کمک بسیاری نمودند که با توجه به آن‌ها می‌توان نتیجه گرفت که بخش پایینی در چاه A، اواخر بخش بالایی و پایینی در چاه B و اعماق پایینی بخش بالایی و میانی در چاه C لایه‌های غنی‌تر از نظر TOC می‌باشند.

۴-۲ پیشنهادات

از آنجایی که استفاده از روش‌های هوشمند وابسته به وجود داده‌های کافی می‌باشد جهت تخمین نگار هدف بهتر است داده‌های بیش‌تری در اختیار داشته تا نگار هدف با دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی تخمین زده شود.

با توجه به مزایای مقاطع سه‌بعدی نسبت به دوبعدی لرزه‌ای بهتر است روش مورد استفاده در این مطالعه بر روی مقاطع سه بعدی نیز اعمال و نتایج این دو با یکدیگر مقایسه گردد.

از آنجایی که وجود تعداد نمونه‌های بیش‌تر حاصل از پیرولیز راک-ایول باعث تخمین دقیق‌تر TOC می‌شود، بهتر است در سازندها و میادین هیدروکربنی که از اهمیت بیش‌تری برخوردارند این موضوع مدنظر قرار گیرد.

اعمال فیلترهای مناسب در مرحله پردازش جهت از بین بردن نوفه‌های ناخواسته به نحوی که اصل داده آسیب نبیند. لازم به ذکر است که کیفیت داده‌های ورودی از جمله اطلاعات پتروفیزیکی چاه، کیفیت داده‌های لرزه‌نگاری و تعبیر و تفسیر آن‌ها و نیز روش‌های مورد استفاده جهت وارون‌سازی لرزه‌ای بسیار مهم می‌باشند، بنابراین توصیه می‌شود از داده‌های با کیفیت بهتر استفاده شود.

جهت بهینه‌سازی نتایج پیشنهاد می‌شود که این روش بر روی داده‌های سه بعدی و نیز با افزایش تعداد چاه به انجام برسد. به‌علاوه در دست بودن داده‌های مغزه جهت تعیین بهینه پارامترهای پتروفیزیکی قابل اهمیت می‌باشد.

تعیین لیتولوژی از قسمت *Litho-SI* برای تخمین *TOC* و تفکیک لیتولوژی با داشتن داده‌های موج برشی

و داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش

ساخت مدل زمین‌شناسی و استفاده از آن برای تشخیص *TOC* در کل میدان

تشخیص نوع سیال با استفاده از امپدانس الاستیک و ارتباط آن با *TOC* و بررسی میزان بلوغ سنگ منشأ

پیوست الف

شرح نگارهای مورد استفاده و رابطه آنها با *TOC*

الف-۱ نگارهای چاه پیمایی

نمودار چاه نگاری، اندازه گیری پیوسته یک یا چند کمیت فیزیکی در مقابل عمق و یا زمان می باشد که در داخل چاه صورت می گیرد. اولین نمودار در سال ۱۹۲۷ به منظور نشان دادن مقاومت ویژه سازندهای حفر شده، در داخل چاهی واقع در میدان نفتی پچل بورن فرانسه رانده شد. نمودارها را می توان به دو گروه عمده تقسیم بندی کرد. آن هایی که از پدیده های طبیعی نشأت می گیرند و آن هایی که حاصل القای پدیده های خاص در سازند هستند. به عنوان مقایسه می توان گفت در گروه اول ویژگی سازند بوسیله گیرنده ها ثبت می شود، در حالی که در گروه دوم لازم است نوع خاصی از امواج، ذرات و یا جریانات بوسیله فرستنده به داخل سازند فرستاده شود و گیرنده-هایی پاسخ ایجاد شده در سازند را اندازه گیری کنند [۹۸].

با توجه به این که کل محتوی کربن آلی موجود در سنگ های منشأ، پاسخ حاصل از نمودارهای چاه نگاری را به طور محسوسی تحت تأثیر قرار می دهد، در این قسمت به معرفی نمودارهای اصلی چاه نگاری (رادیواکتیو، صوتی چگالی و مقاومت الکتریکی) می پردازیم [۲۱].

الف-۱-۱ نگار گاما:

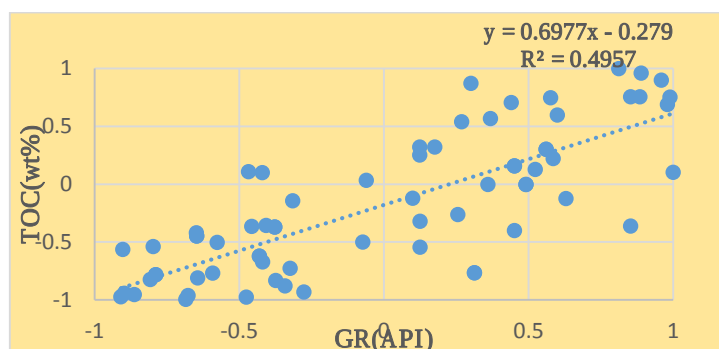
ارزیابی شیلی بودن سازند توسط این نگار انجام می شود گاهی از نگار مقاومت پتانسیل خودزا^{۱۰۱} نیز برای این هدف استفاده می شود. دو عنصر رادیواکتیو پتاسیم و توریم در شیل ها دیده می شود، از طرفی سازندهای ماسه سنگی و کربنات های بدون شیل (سازند تمیز) دارای مقادیر کمتری از این دو عنصرند. در نگار گاما به دلیل فراوانی عنصر ناپایدار، رادیو اکتیویته مشخصی دیده می شود. این نگار که میزان کل رادیواکتیویته سازند را نشان می دهد برای تمایز سازندهای حاوی هیدروکربن و سازندهای شیلی مورد استفاده قرار می گیرد. از این نگار می توان برای تعیین لیتولوژی مانند شناخت رس ها، نمک های تبخیری و کانی های سنگین پرتوزا استفاده نمود. این نگار برای ارزیابی درصد رس موجود در مخزن نیز قابل استفاده می باشد.

¹⁰¹ Spontaneous potential log

یک رابطه مثبت میان نگار گاما و میزان TOC موجود در سنگ وجود دارد. این رابطه عمدتاً به علت غنی بودن مواد آلی از اورانیوم که خود ناشی از جذب یون‌های اورانیوم موجود در آب دریا توسط پلانکتون‌ها^{۱۰۲} است، می‌باشد. با این وجود گاهی ممکن است میزان TOC مستقل از میزان اورانیوم و گاما باشد در محیط‌های دریایی محدود گاهی میزان اورانیوم با کاهش تدریجی اکسیژن کاهش یابد در حالی که میزان TOC در رسوبات افزایش می‌یابد [۹۹].

کاربرد نمودار اشعه گاما بیش‌تر در توالی‌های رسوبی شیل و ماسه‌سنگ است که برای تشخیص سنگ‌شناسی و تعیین مقدار شیل در ماسه‌سنگ‌ها، تطابق، تشخیص تغییرات عمودی رخساره‌ها و سکانس‌ها از آن استفاده می‌شود.

سنگ‌های غنی از ماده آلی می‌توانند به شدت رادیواکتیو باشند، به عنوان مثال آن‌ها می‌توانند مقدار اشعه گاما قرائت شده بالایی نسبت به سنگ‌های شیل و آهکی غیرمنشأ نشان دهند. این رادیواکتیویته طبیعی اغلب در اثر غنی‌شدگی عناصر اورانیوم، توریم و پتاسیم می‌باشد. فرض می‌شود که پلانکتون‌ها یون‌های اورانیوم موجود در آب دریا و عناصر کمیاب را جذب کرده و باعث تمرکز اورانیوم در سنگ‌های منشأ می‌شود. بنابراین می‌توان گفت رابطه‌ای خطی و مستقیم بین پاسخ نمودار گاما و کل محتوی کربن آلی برقرار می‌باشد [۲۶].



شکل الف-۱ ارتباط نگار گاما و TOC

الف-۱-۲ نگار صوتی

نمودار صوتی یک نوع نمودار تخلخل است که زمان عبور یک موج فشارش صوتی را در داخل یک فوت از سازند اندازه‌گیری می‌کند. ابزار برداشت کننده نمودار صوتی دارای یک یا چند فرستنده صوتی و دو یا چند دریافت کننده است. نمودارهای جدید صوتی دارای ابزار جبران کننده چاهی هستند که تاثیر مصنوعی تغییر قطر چاه و خطاهای ناشی از کج شدگی ابزار در حین راندن به داخل چاه را کاهش می‌دهد. ابزار صوتی با تولید امواج صوتی تخلخل را اندازه‌گیری می‌کند. زمان گذر امواج صوتی بر حسب میکروثانیه بر فوت می‌باشد که با سرعت موج تراکمی (فوت بر ثانیه) رابطه معکوس دارد.

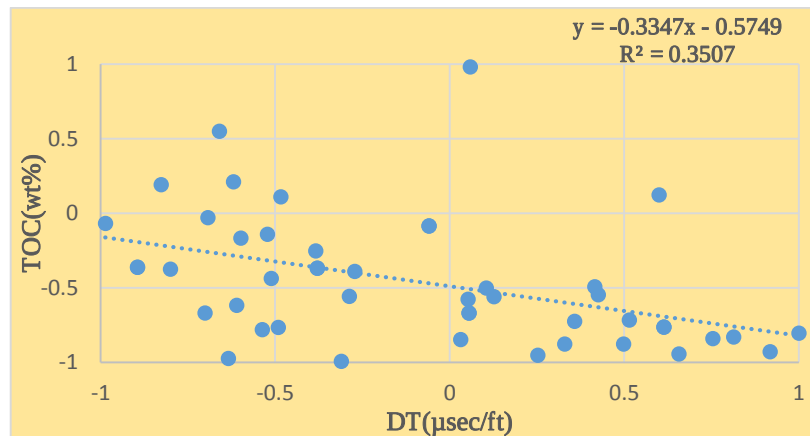
این نمودار بازتابی از سرعت مداوم صوت در سنگ‌ها است. معمولاً در سمت راست ستون نمودار چاه‌پیمایی رسم می‌شود و مقیاس آن ۴۰ تا ۸۰ میکروثانیه بر فوت است که به سمت چپ افزایش می‌یابد [۱۰۰]. این نمودار بیش‌تر در تشخیص سنگ‌شناسی، تعیین تخلخل، شکستگی سنگ‌ها و تطابق کاربرد دارد. برای تشخیص ماسه‌ها و کربنات‌ها از شیل‌ها، از نمودار اشعه گاما و برای تفکیک آهک‌های بدون تخلخل از ماسه‌ها و شیل‌ها، از نمودار صوتی استفاده شده است [۱۰۱].

این نگار یکی از مهم‌ترین نگارهای چاه‌پیمایی در ارزیابی سازندهاست. این نگار نشان دهنده‌ی زمان انتشار موج در داخل چاه و سازند است. ابزارهای نگار چاه‌پیمایی صوتی، سرعت رفت و برگشت موج طولی را اندازه می‌گیرند که به این زمان، زمان انتشار^{۱۰۳} (Δt) گفته می‌شود که بر حسب میکروثانیه بر فوت ($\mu sec/ft$) بیان می‌شود [۱۰۲]. سرعت صوت به تخلخل و ماهیت سیال موجود در خلل و فرج سنگ نیز بستگی دارد.

- هر چه تخلخل سنگ افزایش یابد، در صورت ثابت بودن بقیه پارامترها، سرعت کاهش می‌یابد.
- معمولاً پذیرفته می‌شود که در تخلخل و خمیره مشخص، اگر آب توسط نفت و نفت توسط گاز جایگزین شود، سرعت کاهش پیدا می‌کند.

¹⁰³ Transit Time

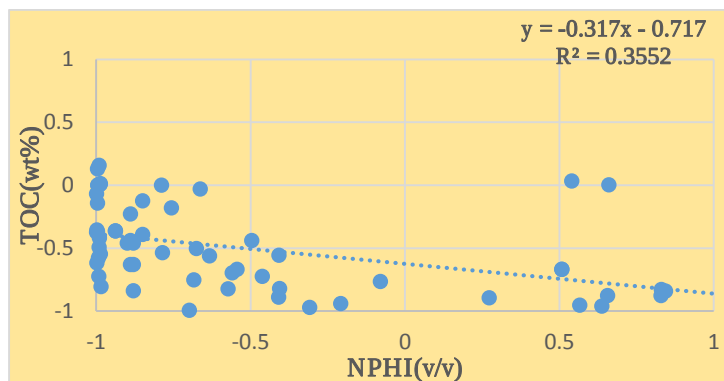
مواد آلی موجود در سنگ دارای چگالی کمتری نسبت به ماتریکس سنگ می‌باشد. در نتیجه با افزایش میزان TOC مقدار زمان گذر موج افزایش می‌یابد. بنابراین یک رابطه مثبت میان نگار صوتی و میزان TOC وجود دارد [۲۵].



شکل الف-۲ ارتباط نگار صوتی و TOC

الف-۱-۳ نگار نوترون

این نگار بر مبنای چگونگی پراکندگی نوترون‌ها در اثر برخورد با هسته اتم‌ها در سازند بنا شده است. سازندهایی با محتوای هیدروژن فراوان، تمرکز کمی از نوترون‌ها را نشان می‌دهند و بالعکس. قطر چاه، دما، شوری گل، گل کبره، فشار سازند و شوری آب از عوامل اثر گذار روی نگار نوترون می‌باشند. وجود گاز یا شیل نیز از دیگر عوامل اثر گذار روی این نگار چاه‌پیمایی‌اند. معمولاً این نگار با نگار چگالی به داخل چاه فرستاده می‌شود که هر دوی آن‌ها برای مشخص ساختن نوع سنگ و تخلخل کاربرد زیادی دارند. میزان فاصله میان نمودارهای نوترون و چگالی می‌تواند مشخص‌کننده سنگ‌شناسی باشند. همان‌طور که گفته شد مقادیر حاصل از نمودار نوترون حاصل تجمع اتم‌های هیدروژن در سنگ‌ها می‌باشد. حجم ماده آلی در سازند رابطه مستقیم با مقدار هیدروژن و تخلخل سازند دارد. بنابراین، در بازه‌های حاوی ماده آلی تخلخل نوترون افزایش می‌یابد [۲۷].

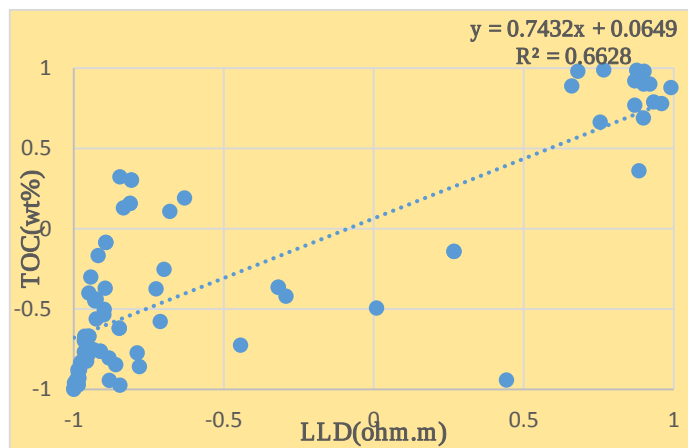


شکل الف-۳ ارتباط نگار نوترون و TOC

الف-۱-۴ نگار مقاومت ویژه

اندازه‌گیری مقاومت ویژه سازند برای ارزیابی درصد اشباع هیدروکربن از پارامترهای اساسی است. چندین تکنیک برای این کار استفاده می‌شود و تمام این تکنیک‌ها از یک پایه و اصل منشأ می‌گیرند: یک فرستنده (الکتروود یا سیم پیچ) سیگنالی را به داخل سازند فرستاده (جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی) یک یا چند گیرنده (الکتروود یا سیم‌پیچ) پاسخ سازند را در فاصله‌ای مشخص از فرستنده دریافت می‌کنند. مقاومت ویژه سازند، مقاومت آن را در برابر عبور جریان الکتریکی نشان می‌دهد. ابزارهای مورد استفاده اندازه‌گیری مقاومت ویژه بر اساس عمق نفوذشان قابل تفکیک‌اند.

از آنجایی که ماده آلی نارسانای الکتریکی می‌باشد، حضور آن در سنگ باعث افزایش مقاومت سنگ می‌شود. رابطه مقاومت و کل محتوای کربن آلی خطی به نظر نرسیده و حاوی پیچیدگی‌هایی می‌باشد. اثر ماده آلی بر روی رسانایی سنگ علاوه به مقدار ماده آلی به میزان بلوغ ماده آلی نیز مرتبط می‌باشد. [۲۶]. در اثر بلوغ سنگ منشأ، ایجاد شدن نفت آزاد در حفرات و شکستگی‌های سنگ به طور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش مقاومت سنگ می‌گردد. این ویژگی باعث شده است که ابزار مقاومت به عنوان نشانگر میزان بلوغ سنگ منشأ مورد استفاده قرار گیرد [۲۵].



شکل الف-۴ ارتباط نگار مقاومت ویژه و TOC

پیوست ب

شرح برخی از نشانگرهای لرزه‌ای

ب-۱ معرفی برخی از نشانگرهای پایه

ب-۱-۱ پوش رد لرزه

پوش رد لرزه یک نشانگر فیزیکی است که در واقع عبارت است از تانژانت رد لرزه که با قرارگیری پیرامون آن به رد لرزه مماس شده و می‌تواند به عنوان تفکیک کننده مؤثر برای مشخصات زیر استفاده شود [۱۰۳]:

(۱) عمدتاً نشان دهنده کنتراست مقاومت صوتی، همین‌طور بازتاب پذیری

(۲) نقاط روشن، تجمع گاز ممکن

(۳) مرزهای توالی

(۴) تغییرات عمده در محیط‌های رسوبی

(۵) ارتباط فضای متخلخل و سایر متغیرهای لیتولوژیکی

ب-۱-۲ مشتق اول پوش

مشتق اول پوش (میزان زمان تغییر پوش) تنوع انرژی رویدادهای منعکس شده را نشان می‌دهد. رویدادها با یک افزایش نسبی واضح حاکی از یک پهنای باند وسیع‌تری هستند. از این‌رو اثرات جذب کمتر است. این نشانگرها نیز نشانگر فیزیکی هستند و می‌توان آن را برای شناسایی امکان شکستگی و اثرات جذب مورد استفاده قرار دارد [۱۰۳].

ب-۱-۳ مشتق دوم پوش

مشتق دوم پوش اندازه‌گیری وضوح اوج پوش را فراهم می‌کند. می‌توان آن را برای شناسایی سطوح مشترک بازتاب دهنده درون پهنای باند لرزه‌ای مورد استفاده قرار داد [۱۰۴].

ب-۱-۴ فاز لحظه ای^{۱۰۴}

از آن جا که جبهه موج به عنوان خطوط با فاز ثابت تعریف می شود، نشانگر فاز نیز یک نشانگر فیزیکی است و می تواند بطور موثر به عنوان یک تفکیک کننده برای طبقه بندی اشکال هندسی استفاده شود. خصوصیات فاز لحظه ای عبارت است از [۱۰۴]: شاخص خوبی از تداوم جانبی می باشد.

(۱) در ارتباط با مولفه فاز انتشار موج است.

(۲) برای محاسبه سرعت فاز به کار می رود.

(۳) فاقد اطلاعات دامنه است؛ از این رو تمام رویدادها نشان داده شده است.

(۴) تجسم دقیقی از عناصر چینه شناسی می باشد.

ب-۱-۵ فرکانس لحظه ای^{۱۰۵}

محاسبه فرکانس های آنی به عنوان مشتق زمانی فاز و معنای آن، عنوان شماری از مقالات بوده است. [۱۰۵]

نشان داده شده است که نشانگرهای فرکانس لحظه ای مربوط به مرکز طیف توانی موجک لرزه ای است. نشانگر فرکانس لحظه ای به هر دو اثر انتشار موج و خصوصیات رسوبی (پارامترهای لیتولوژیکی و لایه های نازک) پاسخ می دهد. از این رو یک نشانگر فیزیکی است و می تواند به عنوان تفکیک کننده موثر استفاده شود. استفاده آن ها شامل:

(۱) شاخص هیدروکربن با آنومالی فرکانس پایین. این اثر است که گاهی اوقات با ماسه های تحکیم

نشده به علت محتوای نفت منافذ برجسته می شود.

¹⁰⁴ Instantenous phase

¹⁰⁵ Instantenous frequency

۲) شاخص زون شکسته، چرا که شکستگی‌ها ممکن است به‌عنوان زون‌های فرکانس پایین پدیدار شوند.

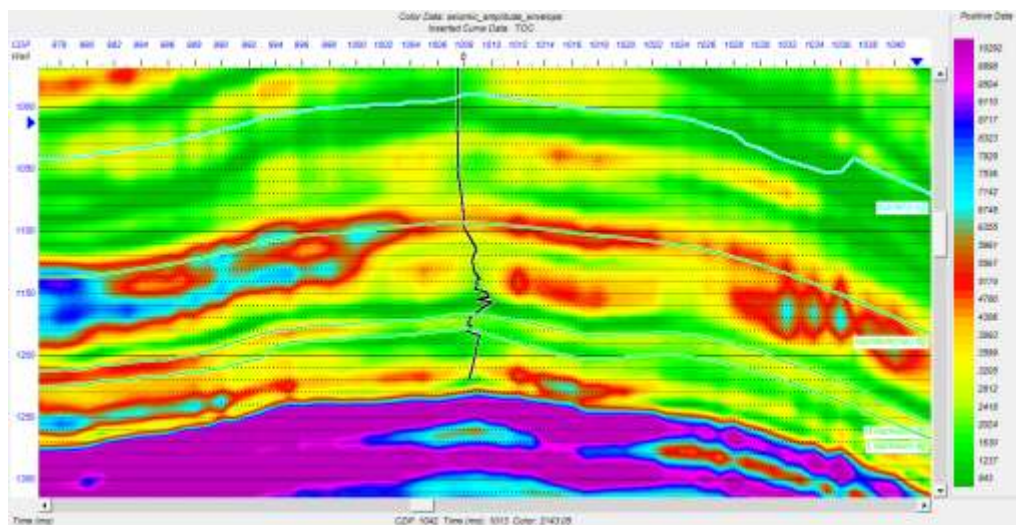
۳) شاخص ضخامت لایه؛ فرکانس‌های بالا سطوح مشترک واضحی را نمایش می‌دهند مانند به نمایش گذاشتن توسط شیل‌های نازک چند لایه. فرکانس‌های پایین‌تر نشان‌دهنده هندسه لایه‌های با چگالی بالاتر، مانند لیتولوژی ماسه‌خیز [۱۰۶].

ب-۱-۶ نشانگر مقاومت صوتی

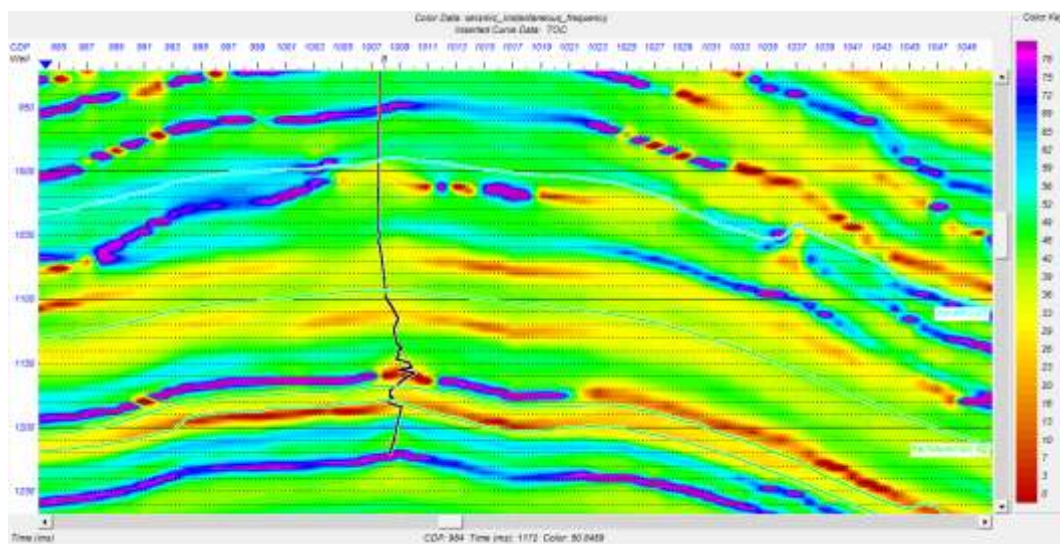
می‌توان گفت که مهم‌ترین نشانگر لرزه‌ای حساس به تخلخل که بتوان برای یک مقطع لرزه‌ای تهیه کرد، مقاومت صوتی در واقع حاصل ضرب چگالی در سرعت عبور موج فشاری از درون لایه‌هاست. مقاومت صوتی از خصوصیات سنگ است و ارتباطی به خصوصیات فصل مشترک ندارد و این امتیاز مهمی برای مقاومت صوتی به شما می‌رود. از آنجایی که سرعت لایه‌ها با افزایش عمق و نیز تغییر لیتولوژی تغییر می‌کند و لیتولوژی‌های سخت‌تر و محکم‌تر سرعت انتشار موج را افزایش می‌دهند؛ هم‌چنین با افزایش تخلخل در مخزن که کاهش چگالی را به همراه دارد، سرعت انتشار موج و به دنبال آن مقاومت صوتی کاهش می‌یابد، این نشانگر را می‌توان معرف سنگ‌شناسی لایه و حتی تا حدودی نشان‌دهنده سیال مخزنی موجود در لایه‌ها دانست. زیرا تأثیر سیال نیز نقش به‌سزائی در سرعت موج فشاری در لایه‌ها دارد؛ به‌طوری که حضور سیال باعث کاهش سرعت و چگالی لایه گردیده و مقاومت صوتی را کاهش می‌دهد. در این میان تأثیر سیال‌گازی را می‌توان به‌صورت محسوس‌تری مشاهده کرد. درنهایت می‌توان مقاومت صوتی را مهم‌ترین نشانگر مربوط به خصوصیات مخزنی نظیر تخلخل دانست که می‌توان با استفاده از مطالعات وارون‌سازی به آن دست یافت. بنابراین مقاومت صوتی نشان‌دهنده سطوح دگرشیبی و ناپیوستگی، توالی مرزهای سکانس-های چینه‌ای و مرتبط با تخلخل می‌باشد [۱۰۳].

ب-۲ برخی از مقاطع مرتبط با TOC

از جمله نشانگرهای مناسبی که برای بازتاب‌پذیری و شناسایی لکه‌های روشن مورد استفاده قرار می‌گیرد نشانگر پوش دامنه می‌باشد. این نشانگر نشان‌دهنده انرژی ردلرزه و متناسب با مقدار دامنه حاصل از ضریب بازتاب می‌باشد [۱۰۳]. همان‌طور که در شکل (ب-۱) مشاهده می‌شود نشانگر مقدار پوش دامنه در بخشی که مقدار TOC پایین‌تری دارد بیش‌تر از سایر لایه‌ها می‌باشد.



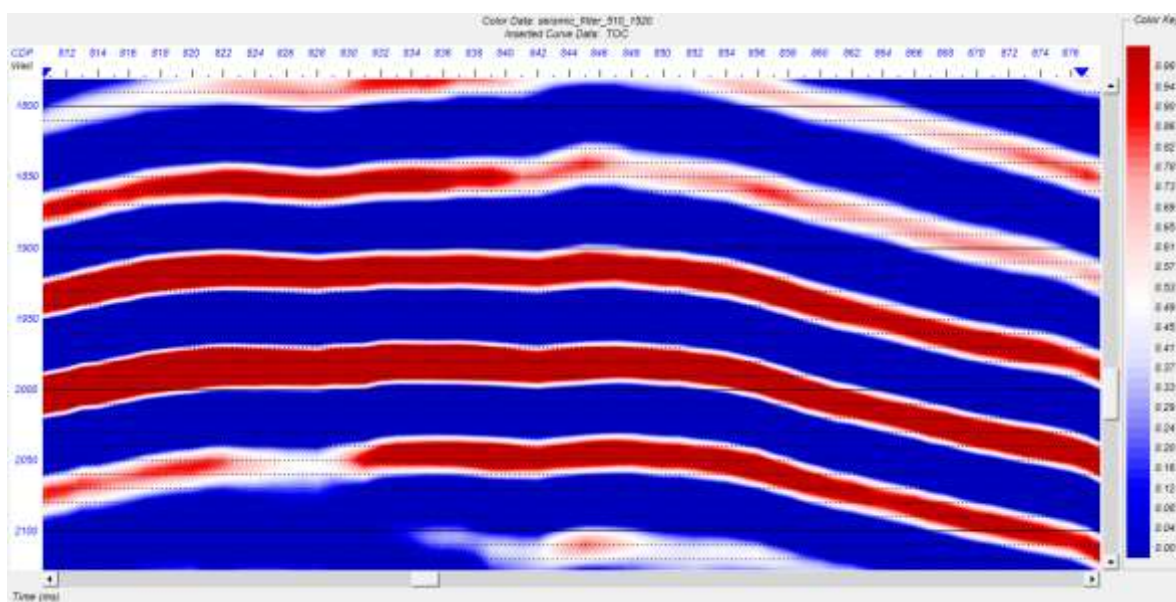
شکل ب-۱ مقطع حاصل از نشانگر پوش دامنه



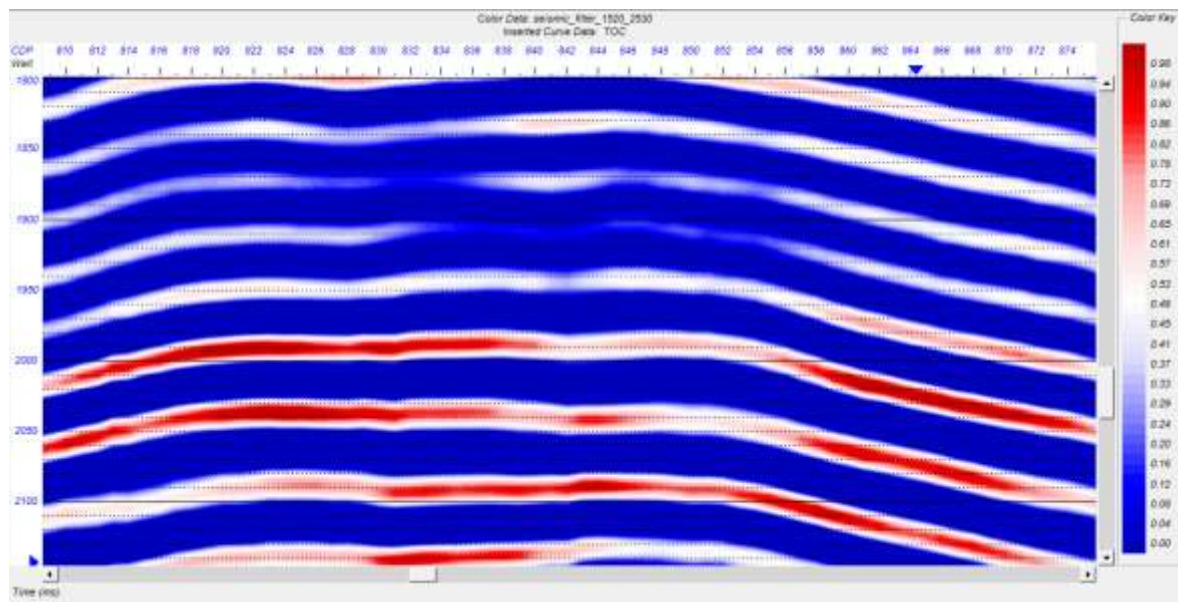
شکل ب-۲ مقطع نشانگر لرزه‌ای فرکانس لحظه‌ای

با توجه به شکل (ب-۲) و با توجه به توضیحات بالا که در قسمت فرکانس لحظه‌ای بیان شد، این نشانگر شاخص ضخامت لایه‌ها، تغییرات سنگ‌شناسی و محتوای سیال است؛ فرکانس‌های بالا سطوح مشترک واضحی را نمایش می‌دهند مانند به نمایش گذاشتن توسط شیل‌های نازک چند لایه. که در شکل نیز سازند مورد بررسی بیش‌تر از لایه‌های شیلی تشکیل شده است [۱۰۷].

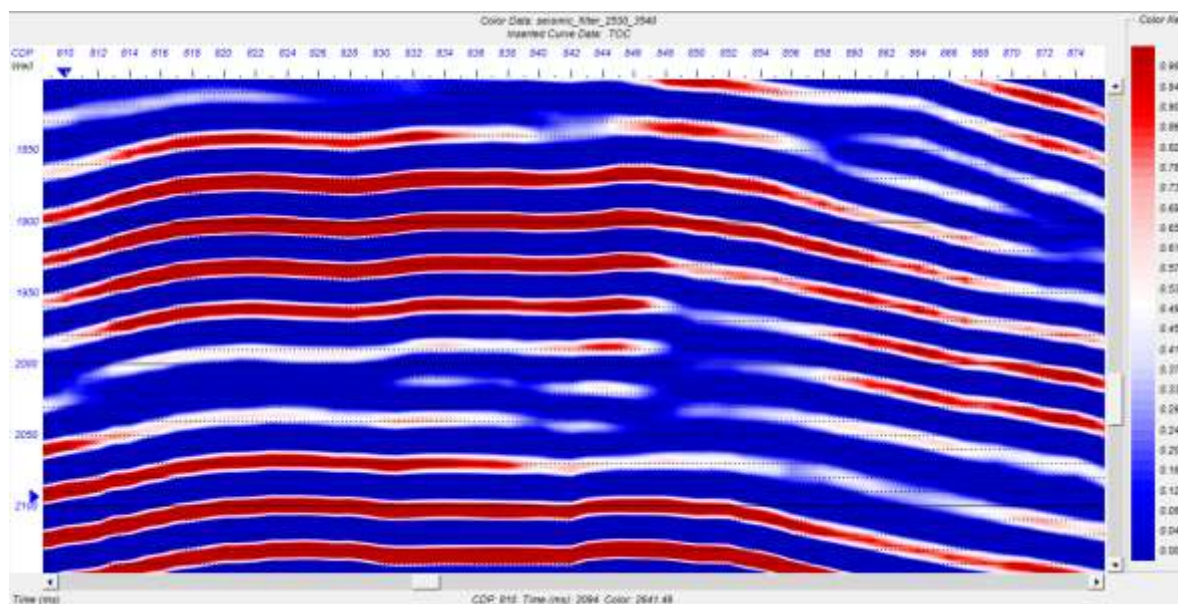
هر فرکانس منحصر به فرد و یا باندی از فرکانس‌ها می‌توانند به‌عنوان یک نشانگر عمل کنند. داده‌های لرزه‌ای در محدوده‌های مختلف فرکانس فیلتر می‌شوند زیرا هر محدوده فرکانس نشان‌دهنده الگوهای خاص زمین‌شناسی است که سایر محدوده‌های فرکانسی شاید به وضوح نشانگر آن نباشند. رابطه‌ای معکوس بین ضخامت لایه سنگ و اوج فرکانس مربوطه از بازتاب لرزه‌ای آن وجود دارد که، لایه‌های سنگ نازک‌تر در فرکانس‌های بالاتر خیلی بیش‌تر آشکار هستند و لایه‌های سنگی ضخیم‌تر در فرکانس‌های پایین‌تر بیش‌تر آشکار می‌شوند. این را می‌توان به‌عنوان شاخصی برای شناسایی کیفی نازک شدن یا ضخیم شدن یک واحد سنگی در جهات مختلف مورد استفاده قرار داد. تجزیه طیفی نیز به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان یک شاخص مستقیم هیدروکربن استفاده می‌شود.



شکل ب-۳ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۵/۱۰-۱۵/۲۰



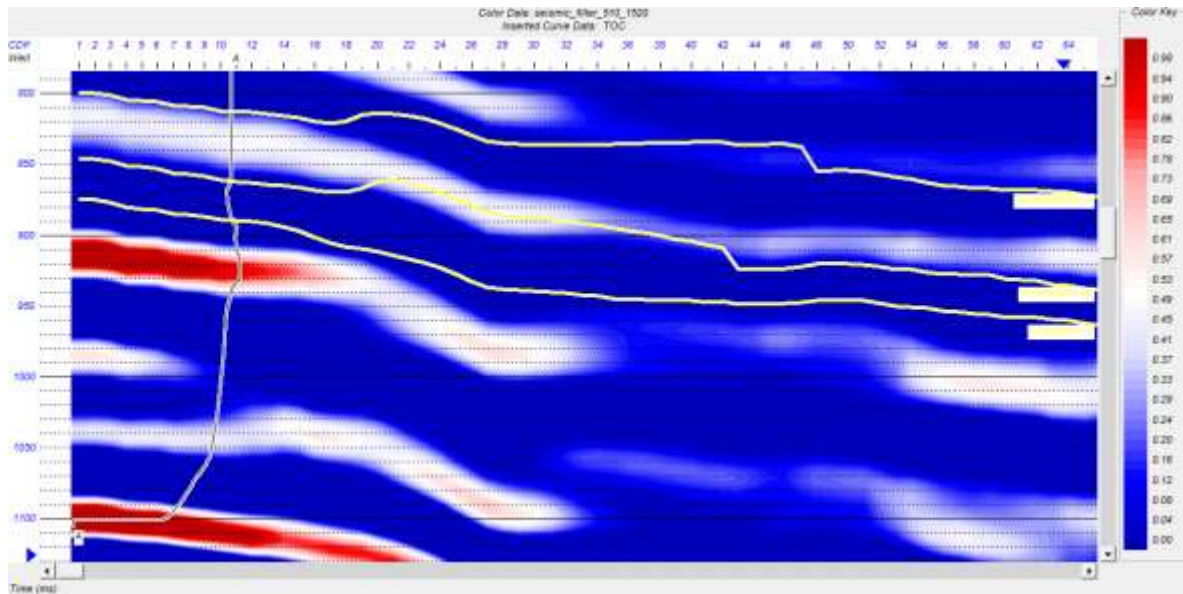
شکل ب-۴ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۲۵/۳۰-۱۵/۲۰



شکل ب-۵ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۳۵/۴۰-۲۵/۳۰

با توجه به توضیحات بالا و شکل‌های (ب-۳)، (ب-۴) و (ب-۵) مشاهده می‌شود که تمام مقاطع با یکدیگر متفاوتند و مقطع شکل (ب-۳) طبق جدول نشان داده شده در فصل چهار بیش‌ترین ارتباط را با TOC نشان

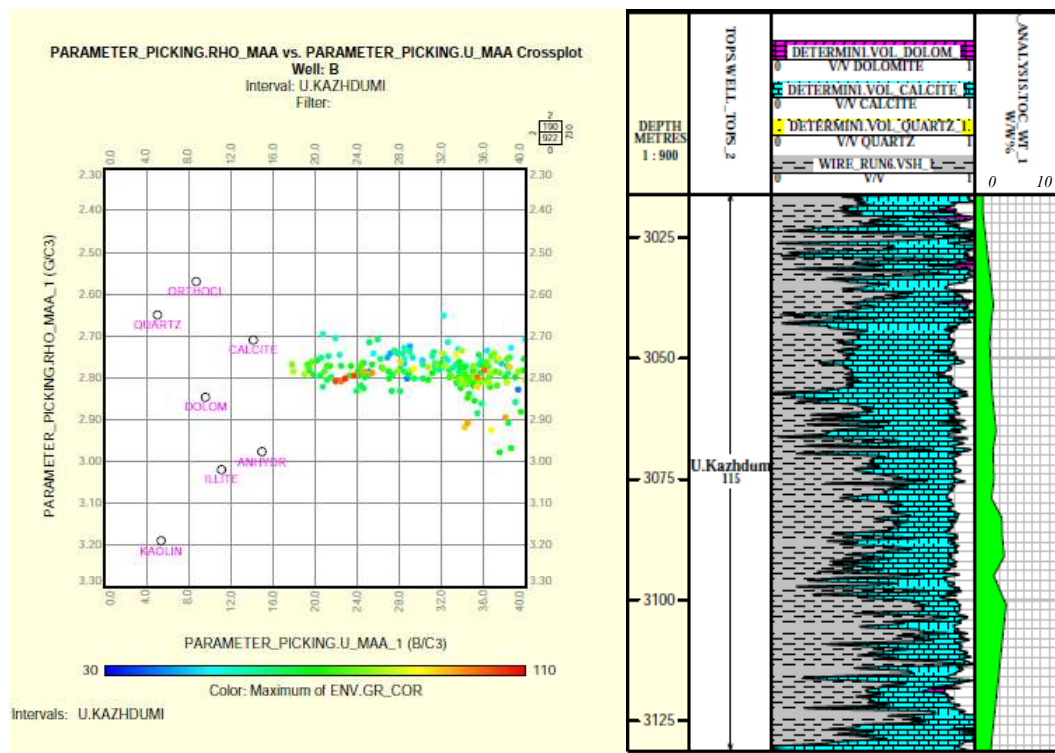
داده است. در فرکانس‌های پایین‌تر لایه‌های ضخیم‌تر بیش‌تر نمود پیدا کرده‌اند. با بررسی مقطع در محل چاه‌ها شکل زیر مشاهده شد که در جاهایی که میزان *TOC* بالاتر است فرکانس هم بالاتر است و بالعکس.



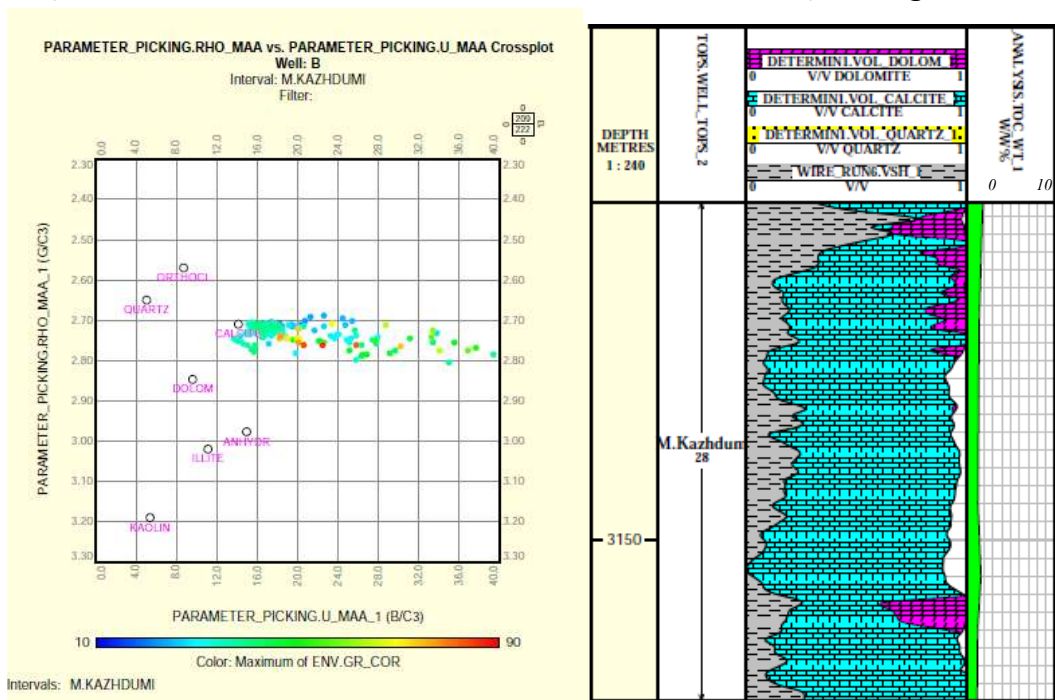
شکل ب-۶ مقطع نشانگر لرزه‌ای فیلتر ۵/۱۰-۱۵/۲۰

پیوست ج

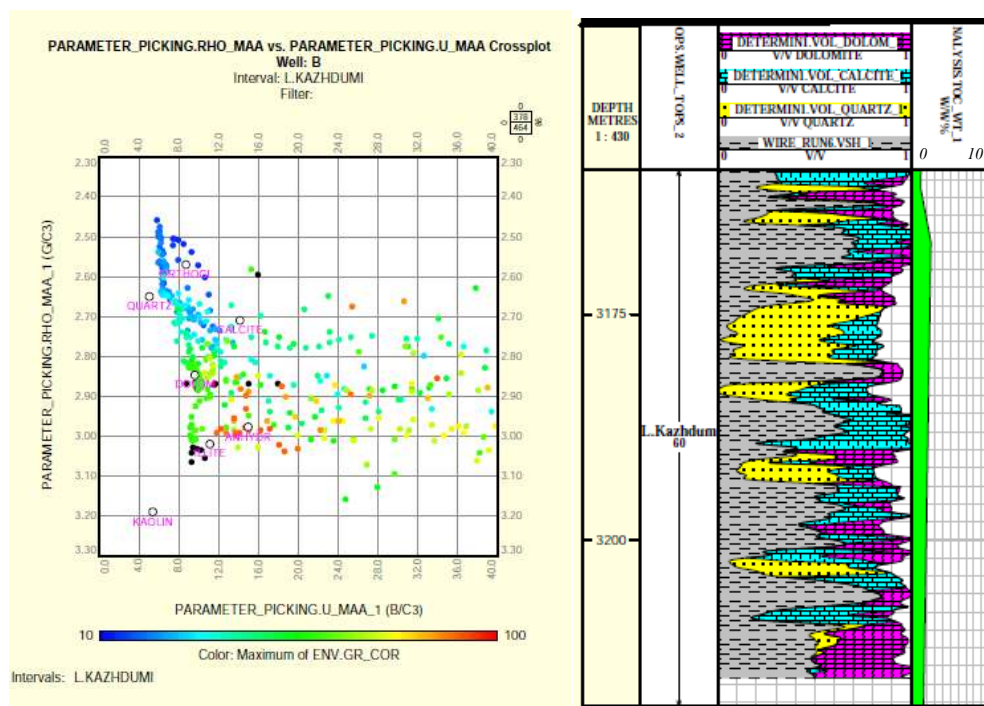
کراس پلات‌ها در سایر چاه‌ها



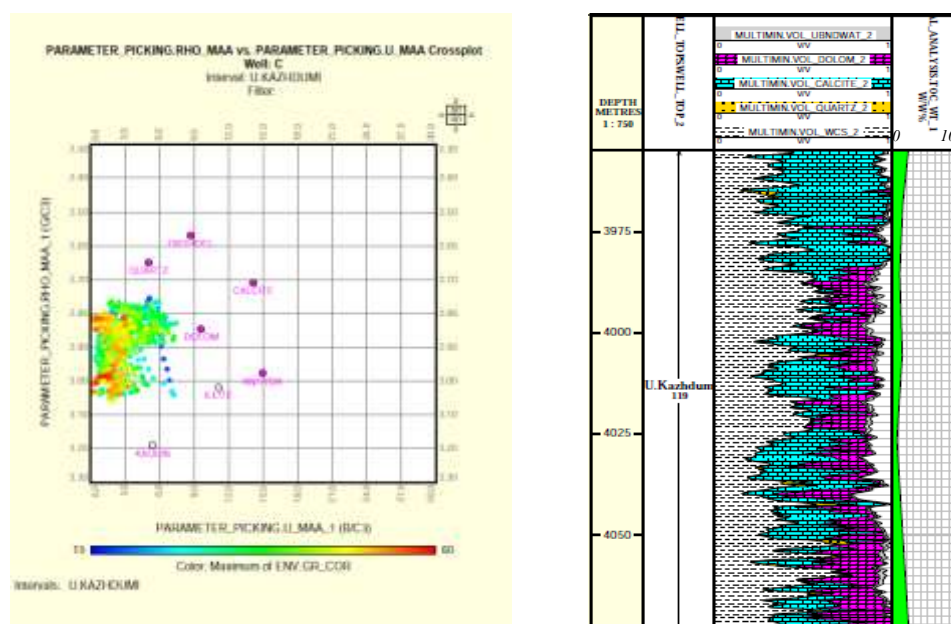
شکل ج-۱ کراس پلات RHOMA-UMA محدوده (U.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه B)



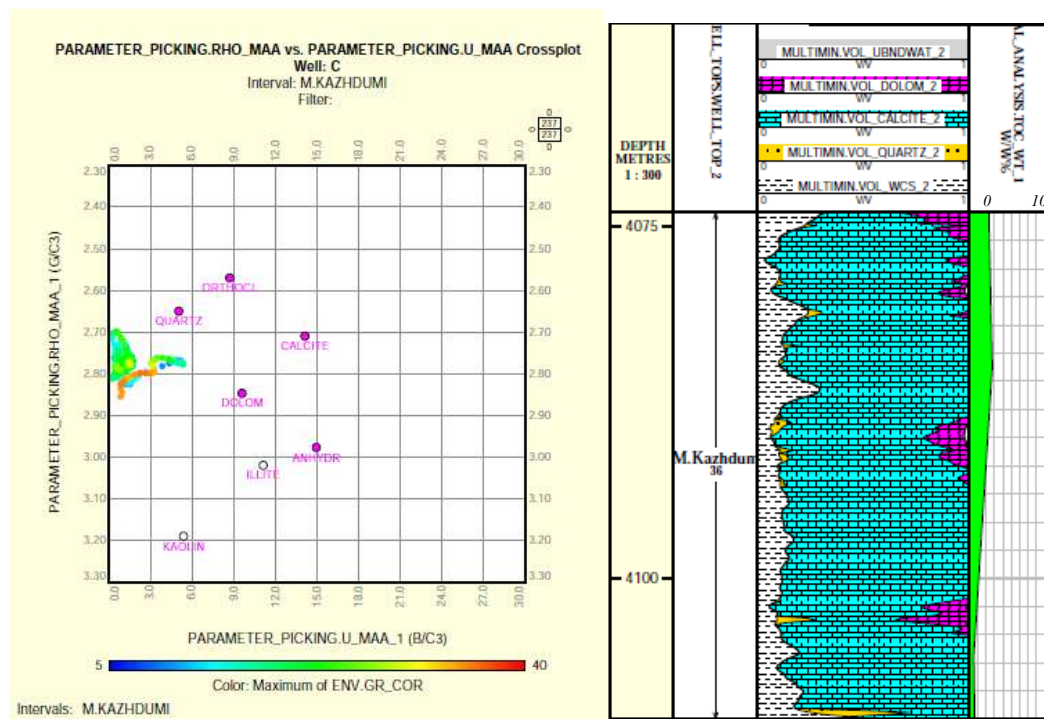
شکل ج-۲ کراس پلات RHOMA-UMA محدوده (M.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه B)



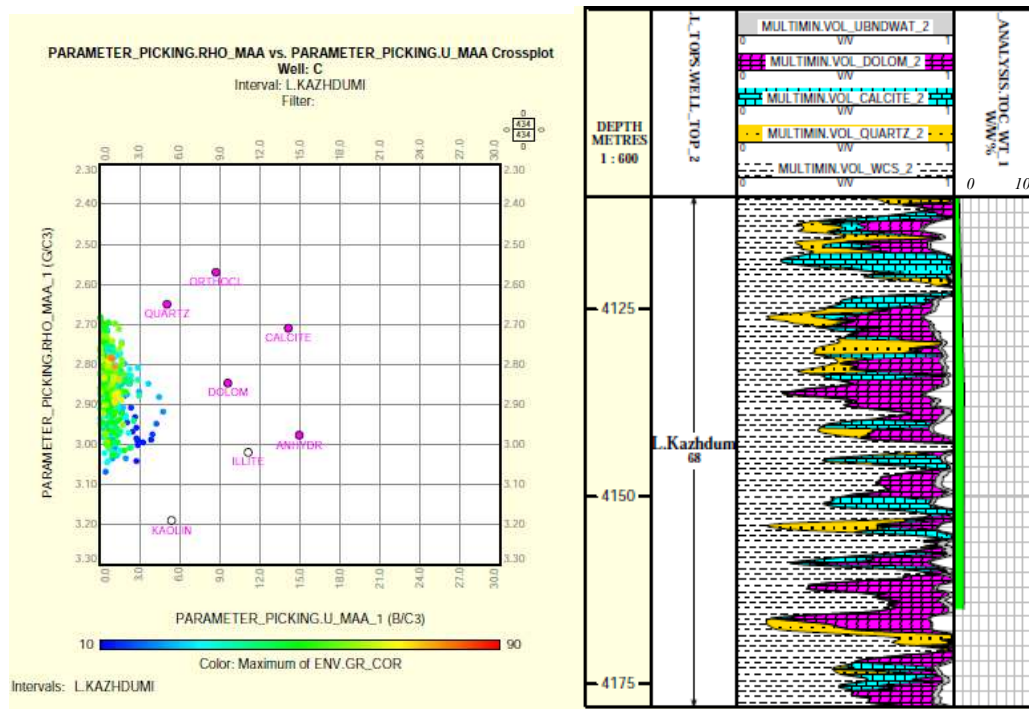
شکل ج-۳ کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده (L.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه B)



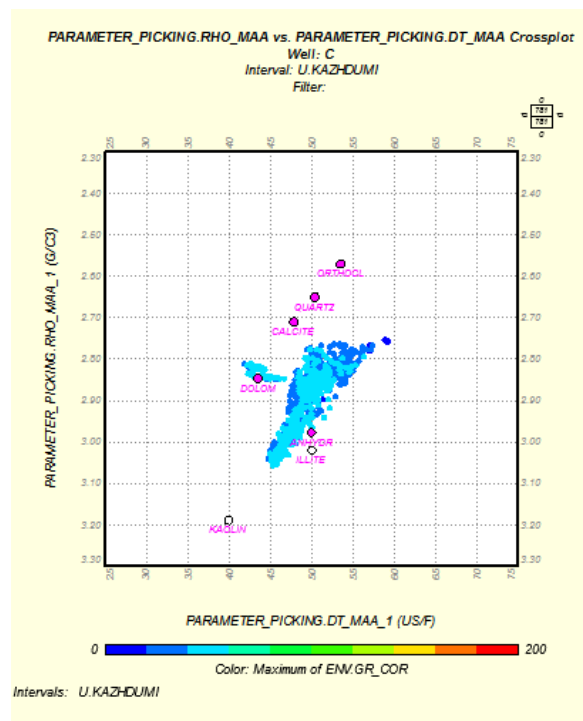
شکل ج-۴ کراس پلات $RHOMA-UMA$ محدوده (U.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه C)



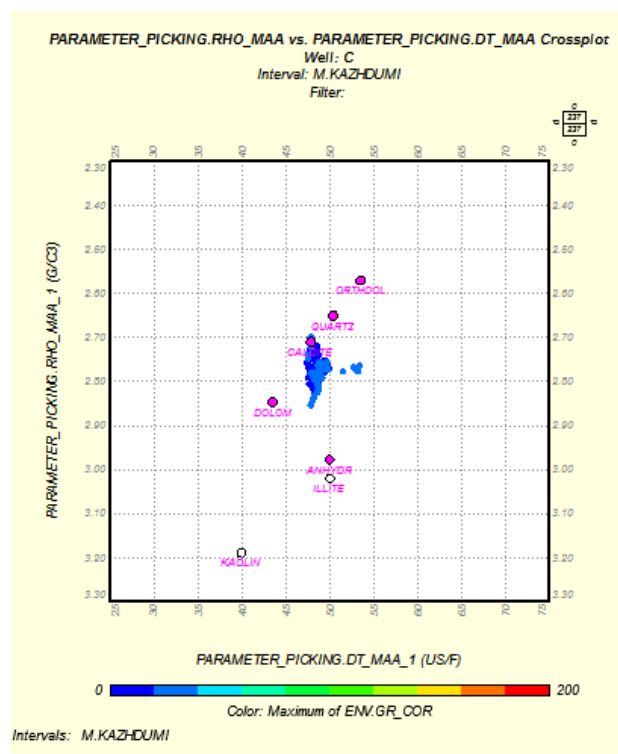
شکل ج-۵ کراس پلات RHOMA-UMA محدوده (M.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه C)



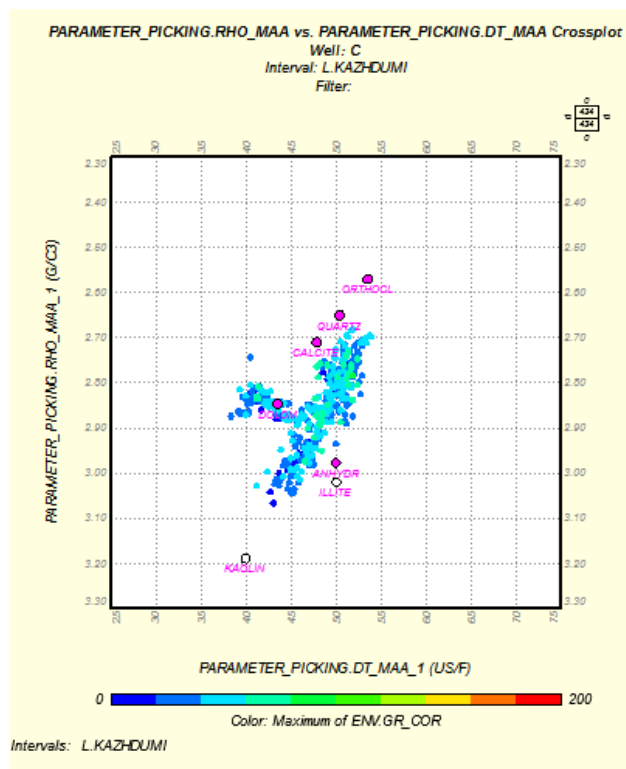
شکل ج-۶ کراس پلات RHOMA-UMA محدوده (L.Kazhdumi) و ستون لیتولوژی مربوطه در (چاه C)



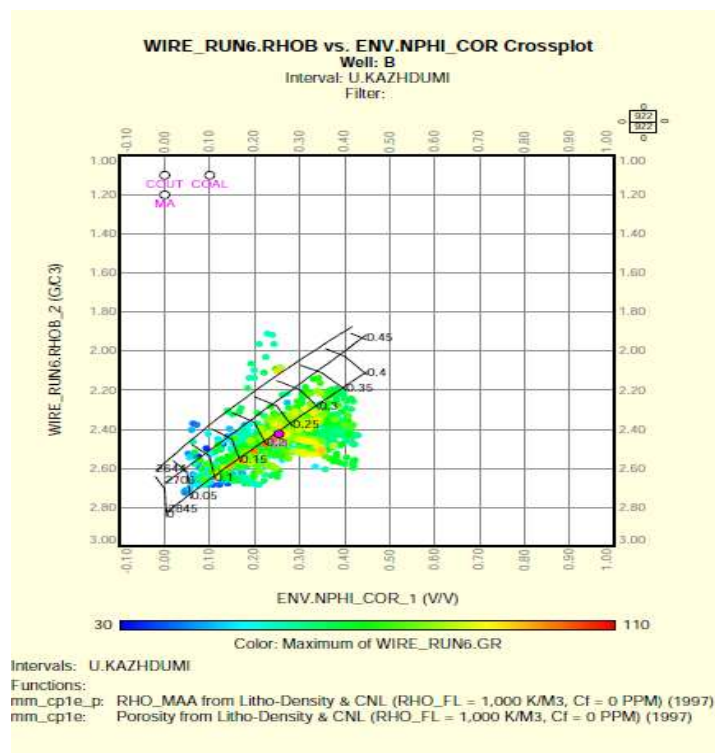
شکل ج-۷ کراس پلات MID Plot محدوده (U.Kazhdumi) در (چاه C)



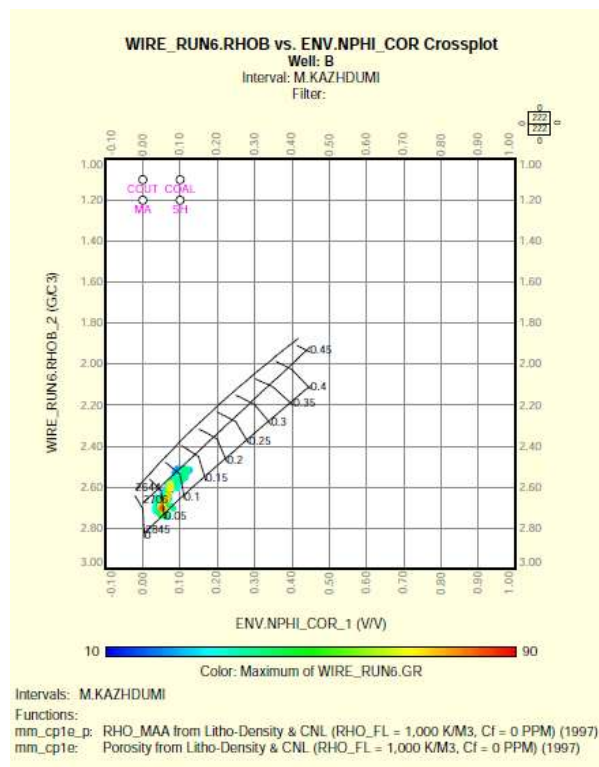
شکل ج-۸ کراس پلات MID Plot محدوده (M.Kazhdumi) در (چاه C)



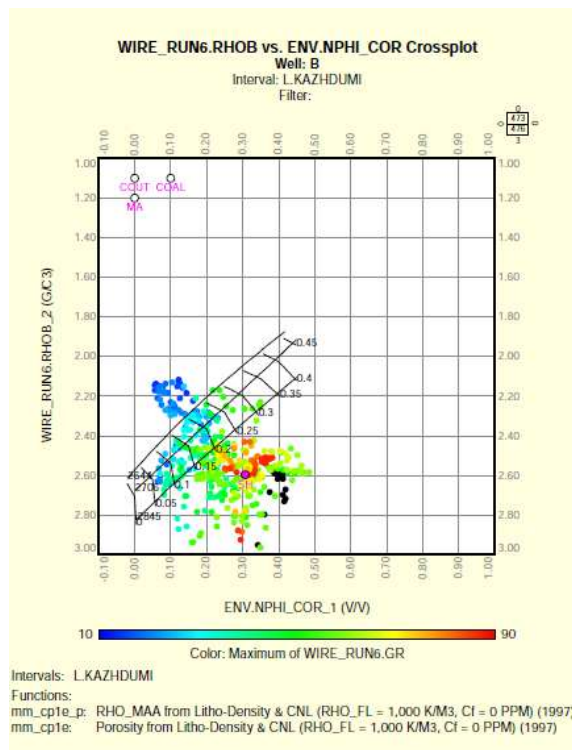
شکل ج-۹ کراس پلات MID Plot محدوده (L.Kazhdumi) در (چاه C)



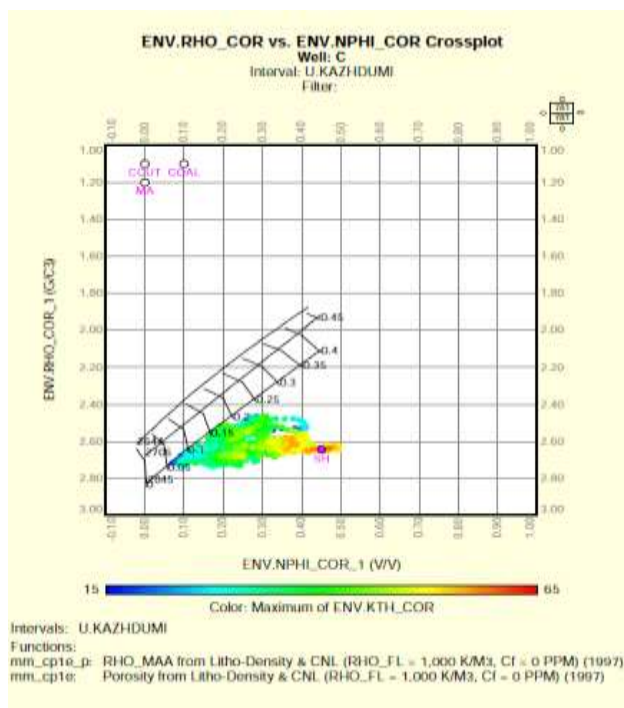
شکل ج-۱۰ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده بالایی (U.Kazhdumi) در چاه (B)



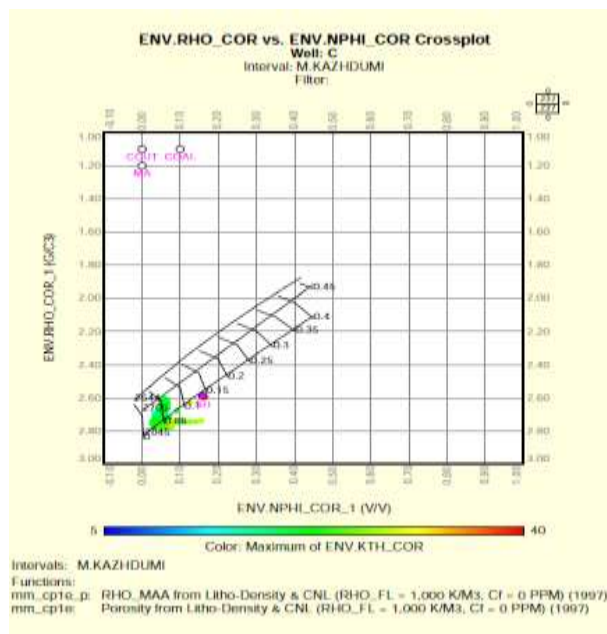
شکل ج-۱۱ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده میانی (M.Kazhdumi) در چاه (B)



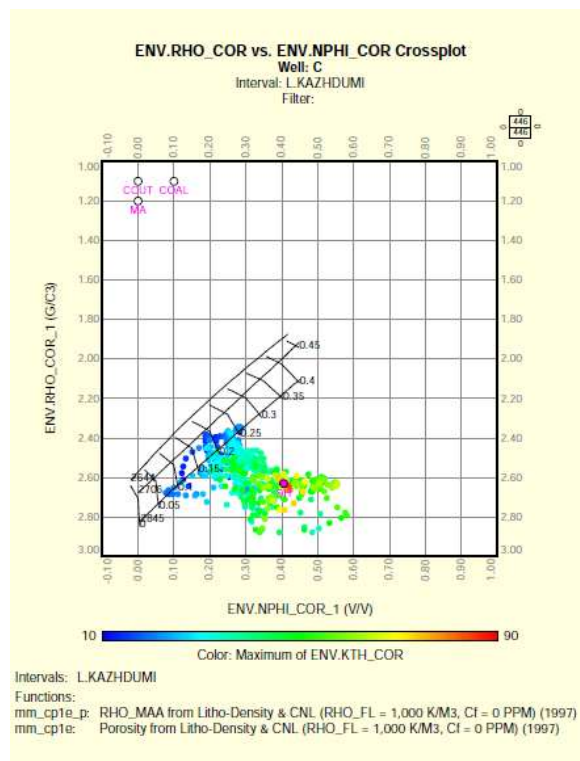
شکل ج-۱۲ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده پایینی (L.Kazhdumi) در چاه (B).



شکل ج-۱۳ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده بالایی (U. Kazhdumi) در چاه (C).



شکل ج-۱۴ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده میانی (M.Kazhdum) در چاه (C).



شکل ج-۱۵ کراس پلات نوترون-چگالی در محدوده پایینی (L.Kazhdumi) در چاه (C)

منابع

[۱] واعظیان ا.، (۱۳۹۳)، رساله دکتری "استفاده از داده‌های چاه‌نگاری، ژئوشیمیایی و لرزه‌ای جهت ارزیابی سنگ منشأ هیدروکربنی به کمک روش عصبی-فازی"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[2] Clavier, C., Coates, G., and Dumanoir, J., (1996), "Theoretical and experimental basis for the Dual-Water model for interpretation of shaly sands". *J. Pet. Tech.*

[3] Graebner, R., and Wason, H. M., (1981), "Three dimensional methods in seismic". *Science*, Vol. 211, pp. 535-540

[4] Cornish, B. E., and King, G. A., (1988), "combined interactive analysis and stochastic inversion for high resolution reservoir modeling". *Presented at the 50th Mtg., European Assn. Expl. Geophys.*

[5] Bordenave, M.L. (1993), "Applied Petroleum Geochemistry. Paris". *Editions technip*, 524p.

[6] Behar, F., Beaumont, V., Pentea do, B. (2001), "Rock-Eval 6 Technology". *Performances and Developments. Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFB*, v. 56, pp.111-134.

[7] Hunt J. M., (1996), "Petroleum Geochemistry and Geology". *W.H. Freeman and Company*, New York, 2nd edition, p. 743.

[8] Russell, B., (1988), "Introduction to seismic inversion methods". *Society of Exploration Geophysicists. (Course notes from SEG Continuing Education course)*

[9] Pendrel, J., (2006), "Seismic inversion- The best tool for reservoir characterization". *Scandinavian oil gas magazine*, v. 5, No. 6, pp. 19-22.

[10] Taner, M. T., (2001), "Seismic attributes". *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder*, v. 26, pp. 48-56.

[11] Russell, B., Hampson, D., (2008), "Combining Geostatistics and Multiattribute Transforms- A Channel Sand Case Study". *7th International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics, 1-3 February, Hyderabad, India.*

[۱۲] کمالی م.ر.، قربانی ب.، (۱۳۸۵)، "ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت"، چاپ اول، انتشارات آراین زمین، تهران، ۳۱۸ صفحه.

[13] Espitalie J, Deroo G, and Marquis F, (1985), "La pyrolyse Rock-Eval et. Ses applications".

[14] Peters K. E., (1986), "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed Pyrolysis". American association of Petroleum Geologists Bulletin, 70, 318-329.

[15] Serra O., (1986), "Fundamentals of Well-Log Interpretation", the Acquisition Logging Data vol. 1. Elsevier. 679 p.

[16] Herron, S.L., (1988), "Source rock evaluation using geochemical information from wireline

Logs and cores (abs)". AAPG Bulletin, v. 72, 1007.

[17] Luffel, D.L., (1992), "Evaluation of Devonian shale with new core and log analysis methods".

SPE 21297, p. 1192–1197.

[18] Beers R. F., (1945), "Radioactivity and organic content of some Paleozoic shales". AAPG Bulletin 26, pp 1–22.

[19] Swanson V. E., (1960), "Oil yield and uranium content of black shales". USGS professional paper, 356-A, p 1–44.

[20] Schmoker J. W., (1981), "Determination of organic-matter content of Appalachian Devonian shales from gamma-ray logs". AAPG Bulletin 65, pp 2165–2174.

[21] Fertl W. H., (1988), "Total organic carbon content determined from well logs", SPE Formation Evaluation, 15612, pp 407–419.

[22] Hertzog L., Colson B., O'Brian M., Scott H., Seeman O., (1989), "Geochemical logging with spectrometry tools", SPE Formation Evaluation 4, pp 153–162.

[23] Mendelson J. D., Toksoz M. N., (1985), "Source rock characterization using multivariate analysis of log data": Transactions of the Twenty-Sixth SPWLA Annual Logging Symposium, paper UU.

- [24] Passey O. R., Moretti F. U., Stroud J. D., (1990), "A practical modal for organic richness from porosity and resistivity logs", *AAPG Bulletin* 74, pp 1777–1794.
- [25] Huang Z., Williamson M. A. (1996), "Artificial neural network modelling as an aid to source rock characterization". *Marine and Petroleum Geology*, 13(2): 277-290.
- [26] Kamali M. R. and Mirshady A. A., (2004), "Total organic carbon content determined from well logs using ΔLogR and Neuro Fuzzy techniques", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 45(3–4): 141-148.
- [27] Kadkhodaie-Ilkhchi A., Rezaee M. R., Rahimpour-Bonab H., (2009), "A Committee Neural Network for Prediction of Normalized Oil Content from Well Log Data: an Example from South Pars Gas Field, Persian Gulf", *J. Pet. Sci. Eng, Elsevier Publications*, 65, pp 23-39.
- [28] Kadkhodaie-Ilkhchi A., Alizade B., (2013), "Using seismic attributes to estimate the organic carbon content of source rock", *Scientific journal promotes exploration and production of oil and gas*, No 107, pp 69-73.
- [29] Mohaghegh S.D., (2004), "Chevron A., Gaskari R., Siegfried R., Determining In-Situ Stress Profiles From Logs", *SPE*. 90070.
- [30] Dubois K., Geoffrey C., Bohling S., (2007), "Comparison of four approaches to a rock facies classification problem", *Computers & Geosciences.*, Vol. 33, pp. 599-617.
- [31] Siripitayananon P., Chen H., Hart B.S., (2001), "A New Technique for Lithofacies Prediction: Back-Propagation Neural Network", *Association for Computing Machinery. Inc.*
- [32] Serra O., (1984), "Fundamentals of Well-Log Interpretation". 1. The Acquisition Logging Data, *Developments in Petroleum Science. Part B, Elsevier, Amsterdam. Vol 15*, pp. 423.
- [33] Crain, E. R., (2011), "Unicorns in the garden of good and evil", part 4 - Shale gas. *Reservoir Issue*.

[۳۴] رضایی م.ر.، چهارازی ع.، (۱۳۸۹)، "اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی"، چاپ اول، موسسه انتشارات، دانشگاه تهران، ۷۰۰ صفحه.

- [35] Asquith G. and Krygowski D., (2004), "Basic Well Log Analysis", the American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma.
- [36] Tiab, D., Donaldson, c., (2004), "Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties", 2nd ed, university of Oklaho, 609-619.
- [37] Hearst, J., Nelson, P., and Paillet, F.L., (2000), "Well logging for physical properties", 2nd edition, Joh Wiley & sons Ltd, 106p.
- [38] Peters K. E., Fowler M. G., (2002), "Applications of petroleum geochemistry to exploration and reservoir management", Organic Geochemistry, 33(1): 5-36.
- [39] Demaison G., Murriss R. J., (1984), "Petroleum geochemistry and basin evaluation", Demaison G. and Huizinga B. J., (1991), "Genetic classification of petroleum systems".
- [۴۰] اشکان س.ع.م., (۱۳۸۳), " اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربنی و نفت‌ها با نگرشی ویژه به حوضه رسوبی زاگرس ", چاپ اول، روابط عمومی شرکت ملی نفت ایران، تهران، ۳۵۵ صفحه.
- [41] Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bonab, H., Rezaee, M.R., (2008). A committee machine with intelligent systems for estimation of total organic carbon content from petrophysical data: an example from Kangan and Dalan reservoirs in South Pars Gas Field, Iran. J. Comput. Geosci. 35, 459.474.
- [۴۲] رضایی م.ر., (۱۳۸۷), "زمین شناسی نفت", چاپ سوم، انتشارات فرهیختگان علوی، تهران، ۴۷۲ صفحه.
- [43] Passey, Q. R., Creany, S., Kulla, J. B., Moretti, F. J. and Stroud, J. D., (1989), "Well log evaluation of organic-rich rocks". 14th International Meeting on Organic Geochemistry, Paris, abstract 75.
- [۴۴] منهاج م.ب., (۱۳۸۱), " مبانی شبکه های عصبی ", انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [45] Hangman, M. T. and Demuth, H.B. and Beale, M. H., (1996), "Neural Network Design", PWS Publishing, Boston, MA.
- [46] Kohonen, T., (1997), "Associative Memory: A System-theoretical Approach", Springer.
- [47] Grossberg, S., (1976), "Adaptive Pattern Classification and Universal Recording (I)", Biol. Cybern, 23, PP.187-202.

[48] Hopfield, J. J., (1982), "Neural Networks Physical System with Emergent Collective Computational Abilities", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79, pp.2554-2558.

[49] Fukushima, K., (1988), "A Hierarchical Neural Network Capable Visual Pattern – Recognition", *Neural Networks*, 1, pp.119-130.

[50] Masters T., (1994), "Signal and image processing with neural networks".

[51] Jeirani Z., and Mohebbi A., (2006), "Estimating the initial pressure, permeability and skin factor of oil reservoirs using artificial neural networks", *Chemical Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Journal of Petroleum Science&Engineering*, vol.50, Issue 1, pp.11-20.

[۵۲] منهای م.ب.، (۱۳۸۹)، "مبانی شبکه‌های عصبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.

[53] Jamialahmadi, M., Javadpour, F.G., (1999), "Relationship of permeability porosity and depth using and artifical netural network", *JPT*.

[54] Nelles, O., (2001), "Nonlinear system identification from classical approaches to neural networks and fuzzy models", *Springer-Verlag*.

[۵۵] رنجبرخ.، پایان‌نامه ارشد، (۱۳۹۴)، "طراحی ماشینی مبتنی بر شبکه عصبی جهت مدل‌سازی تخلخل مطالعه‌ی موردی یکی از مخازن نفتی جنوب ایران"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.

[56] Demuth H. and Beale M., (2002), "Neural network toolbox User's guide of MATLAB", Version 4.

[57] H.D. Mittelmann., (2004), "The Least Squares Problem", Accessed on 4 Aug.

[۵۸] کیا م.، (۱۳۸۹)، "شبکه‌های عصبی در متلب"، چاپ سوم، نشر کیان رایانه سبز، ۲۲۹ صفحه.

[59] Rumelhart, D., McClelland, J., (1986), "Parallel Distributed Processing", MIT Press.

[60] Hartman, E., Keeler, J.D., Kowalski, J.M., (1990), "Layered neural networks with Gaussian hidden units as universal approximations", *Neural Computation*, vol. 2, p.p. 210-215.

[61] Poggio, T., Girosi F., (1990), "Networks for approximation and learning", *Proceedings of IEEE*, vol. 78, p.p. 1481-1497.

[۶۲] لطفی م.، پایان‌نامه ارشد، (۱۳۹۲)، "ارزیابی نشانگرهای لرزه‌ای در تخمین تخلخل مخزن در یکی از میادین نفتی جنوب ایران"، دانشگاه یزد، یزد.

[63] Banchs, R. E., and Michelena, R. J., (2002), "From 3D seismic attributes to pseudo-well-log volumes using neural networks", *Practical considerations. The Leading Edge*, October, 996-1001.

[64] Verwest, B., Masters. R., and Sena, A., (2001), "Elastic Impedance Inversion", *ARCO Exploration*.

[65] Russell, B., Hampson, D. P., Schuelke, J. S and Quirein, J. A., (1997) , " Multi- Attribute Seismic Analysis", *The leading Edge*, 16, P-1439-1443.

[66] Lines, L. R. & Treitel, S., (1984), "A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems".

[67] Hampson, D., and Galbraith, M., (1992), "Wavelet Extraction by Sonic Log", *Correlation, Edition Verities Seismic Processor Ltd*.

[68] Russell B.H., (1998), "Introduction to Seismic inversion methods", *Course notes series*, Vol 2.

[69] Brown, R. L., McElhattan, W., and Santiago, D. j., (1988), "Wavelet estimation: An interpretive approach", *Geophysics: The leading edge of exploration*, pp. 16-19.

[70] Scales, J. A. & Smith, M. L., (1994), "Introductory geophysical inverse theory", *Samizdat Press Golden, CO*.

[71] Cooke, D. A., and Schneider, W. A., (1983), "Generalized linear inversion of reflection seismic data: *Geophysics*", Vol.48, NO.6, pp.665-676.

[72] Huuse, M., and Feary, D. A., (2005), "Seismic inversion for acoustic impedance and porosity of cenozoic cool-water carbonate on the upper continental slope of the Great Australian Bight", *Marine Geology* 215, pp.123-134.

[73] Telford, W. M., and Sheriff, R. E., and Geldart, L.P., and Keys, D.A., (1976), *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.

[74] Brown R., 2001, "Understanding seismic attributes Geophysics", v. 66, p. 47-48.

[75] Neves, F.A., Zahrani, M.S., Brekamps, S.W., (2004), "Detection of potential fractures and small faults using seismic attributes", *The Leading Edge*, Saudi Aramco, Dhahran, Saudi Arabia, p.p. 903-906.

[76] Barnes, A.E., (2006), "Too many seismic attributes", *Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder*, p.p. 40-45.

[۷۷] لطفی م.؛ انصاری ع. ح.، (۱۳۹۲)، "مهم‌ترین نشانه‌های لرزه‌ای برای تفسیر لرزه‌ای تخلخل مخازن"،

اولین همایش ملی نفت و گاز ایران، کرمان.

[78] A.K. Srivastava, B.G. Samanta, V. Singh and G. Sen., (2004), "Utilization of seismic attributes for reservoir mapping-a case study from the Cambay basin", *EAGE*, India.

[79] *HRS User's Guide*. (2007), CCG Veritas Hampson- Russell, Calgary, Alberta, Canada.

[80] Valet, L., Mauris, G., (2007), "Attribute impact for a seismic image, fusion system based on fuzzy rules", *Listic-ESIA*, p.p. 1-6.

[81] Chopra, S., Marfurt, K.J., (2005), "Seismic attributes-A historical perspective", *Society of Exploration Geophysicists*, University of Texas, USA.

[82] De Groot, P.F.M., Bril, A.H., (1997), "Quantitative interpretation generally needs no seismic attributes", *59th Meeting of Eur. Assn. Geosci. Eng.*

[83] Aminzadeh, F., (2005), "A new concept for seismic anomaly detection", *US Offshore Technology Conference*, p.p. 1-5.

[84] Draper, N. R., and Smith, H., (1966), "Applied regression analysis", John Wiley & Sons, Inc.

[۸۵] ربانی ا.ر، ۱۳۹۲، "زمین شناسی و ژئوشیمی نفت خلیج فارس"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تفرش،

تفرش، ۵۸۰ صفحه.

[86] Ghazban, F., (2007), "Petroleum Geology of the Persian Gulf", Tehran University and National Iranian Oil Company, August.

- [۸۷]. شرکت نفت فلات قاره ایران، (۱۳۸۵).
- [88] Alsharhan A. S., (1989), "The petroleum geology of the United Arab Emirates", *Jour. Petrol. Geol.*, 12: 253-288.
- [89] Bordenave M. L., Huc A. Y., (1995), "The Cretaceous source rocks in the Zagros Foothills of Iran", *Revue De L institute Francais DU Petrole*. 50: 727-754.
- [90] Tourtelot H. A., (1979), "Black shale - its deposition and diagenesis", *Clay Clay Miner.* 27, 313e321.
- [91] James G. A. & Wynd J. G., (1965), "Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area", *Bull. AAPG, Vol. 49 (12): 2182-2245.*
- [۹۲]. درویش زاده ع.، (۱۳۸۲)، "زمین شناسی ایران"، چاپ سوم، انتشارات امیر کبیر، تهران.
- [۹۳]. افشارحر ع.، (۱۳۸۶)، "زمین شناسی نفت"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران، ۲۲۳ صفحه.
- [94] Peters K. E., Cassa M. R., (1994), "Applied source rock geochemistry". In L. B. Magoon and W. G. Dow (eds.), *the petroleum system-From source to trap: Tulsa, Okla, AAPG Memoir 60*, pp. 93-120.
- [95] Schlumberger. (2009), "Log Interpretation Charts"
- [۹۶]. حسینی پاک ع.ا.، شرف الدین م.، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده های اکتشافی"، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، تهران.
- [97] Cooke and Schneider. (1983), "Generalized Linear Inversion of Reflection Seismic Data", *Geophysics* 48, no.6, P.665-675.
- [98] Serra O., (1984), "Fundamentals of Well-Log Interpretation", 1. The Acquisition Logging Data, *Developments in Petroleum Science. Volume 15, Part B, Elsevier, Amsterdam, Pages 423.*
- [99] Serra, O.C.R., (1985), "Sedimentary environments from wireline logs".

[۱۰۰] شیر ی،. (۱۳۹۰)، پایان نامه ارشد " تلفیق داده‌های لرزه‌ای و چاه‌نگاری برای مدل‌سازی پتروفیزیکی و ارزیابی گاز برجای یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[101] Schlumberger, (1972), "log interpretation manual/principle", Vol. 1, Houston.

[102] Kobesh, F.P., and Blizard, R.B., (1959), "Geometric factor in sonic logging, Geophysics", Vol. 24, pp. 64–76.

[103] Taner, M. Turhan. (1992), "Attributes revisited", Rock solid Image, Houston, Texas, (revisited 2000).

[104] Subrahmanyam, D., Rao, P.H., (2008), "Seismic Attributes- a Review", 7th International conference & Exposition on Petroleum Geophysics, pp.398-404.

[105] Barnes, A. E., (1994), "Theory of two-dimensional complex seismic trace analysis", 64th Annual Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys. Expanded Abstracts, 94, 1580-1583, 1994.

[106] Cohen, Q. and Sidney, S., (1977), "Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring", The Leading Edge, 16.

[107] Taner, M.T., Sheriff, R.E., (1977), "Application of Amplitude, Frequency, and other Attributes to Stratigraphic and Hydrocarbon Determination", American Association of Petroleum Geologist Memoir 26.p.301-327.

Abstract

Accurate knowledge from source rock geochemical parameters is necessary to predict the future performance of the oil field. One of this parameters is Total Organic Carbon (TOC). Therefore, improved modeling techniques are necessary to increase the accuracy in this parameter estimation.

The main purpose of this study is identification of enriched zones of organic matters, which is done by creating a link between petrophysical, geochemical evaluation and interpretation of seismic section. According to comprehensive covering of seismic data compared to logging data, is tried to applying and integrating different data including geochemical, logging and seismic Attributes to estimate TOC and investigating kind of TOC distribution in additions to wells and also intervals between them to detect shale layers with higher total organic carbon content.

First with using common methods of geochemical evaluation in three wells in Persian Gulf region in Kazhdumi formation, geochemical potential, type of kerogen and product were analyzed and then TOC was estimated with $\Delta\log R$ method and estimated values of this method were compared with Rock-Eval values. After this step, neural network training was done which network with $MSE = 0.048$ and correlation (R) about 82 percent compared to test data and 90 compared validation data, was as a good estimator and some were able to detect shale layers with higher total organic carbon content.

Using well logs to examined formation lithology. Formation lithology obtained from petrophysical evaluation reviewed and approved by using associated cross plots so with cross plots to identified layers with high organic carbon content .also using porosity and shale volume parameters obtained petrophysical evaluation.

Finally, using corrected logs (invironmental correction), two-dimensional seismic data, appropriate seismic attributes were extracted around three wells, geochemical–seismic section of TOC was obtained that MLFN method with 75 percent compared to train data and 48 compared to validation data had the best performance and shale layers with higher organic carbon content were detected.

Key words: *Total organic carbon (TOC), Lithology identification, Petrophysical evaluation, Rock_Eval pyrolysis, Seismic attributes.*



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

*Developing an expert model for detection of TOC rich shaly intervals using
seismic attributes and neural network*

Masoomeh Azizi

Supervisors:

Dr.Mansur.Ziaaii

Dr.Mehrdad.Soleimani Monfared

Advisors:

Dr.Ahmad Vaezian

Mr Javad Ghiasi Freez

February 2016