

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

مهندسی اکتشاف نفت

پایان نامه کارشناسی ارشد

تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری برای مدل سازی پتروفیزیکی و ارزیابی گاز

برجای یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران

دانشجو

یوسف شیری

اساتید راهنما

دکتر علی مرادزاده

دکتر رضا قوامی ریابی

استاد مشاور

علی چهارازی

زمستان ۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف نفت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای یوسف شیری

تحت عنوان: تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری برای مدل سازی پتروفیزیکی و ارزیابی گاز برجای یکی

از میادین هیدروکربوری جنوب ایران

در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت

مورد ارزیابی و با درجه ۱۹/۷۵ مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : علی چهارازی		نام و نام خانوادگی : دکتر علی مرادزاده
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر رضا قوامی ریابی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : علیرضا عرب امیری		نام و نام خانوادگی : ابولقاسم کامکار روحانی
			نام و نام خانوادگی : امین روشندل کاهو

تقدیم به

روح پرفخوح امام خمینی (ره)،

شهدای انقلاب و

شهدای هشت سال دفاع مقدس

و تقدیم به

دستهای زحمتکش پدر

و

محبت های بی دریغ مادر

تقدیر و تشکر

با ذکر حمد و سپاس خداوند، از زحمات گرانقدر عزیزانی که بنده را در قسمت های مختلف این پایان نامه یاری رسانده اند کمال تشکر را دارم.

نگارنده این پایان نامه بر خود می داند که از زحمات استادان راهنما دکتر علی مراد زاده و دکتر رضا قوامی ریابی و مشاور صنعتی جناب آقای علی چهرازی که در تمام مراحل انجام این کار دلسوزانه مرا یاری رسانده اند تشکر و سپاسگزاری نماید.

همکاری شرکت نفت فلات قاره در اختیار قرار دادن داده های لازم جای تقدیر و تشکر دارد.

از استادان گرانقدر دکتر بهزاد تخم چی، دکتر مهرداد سلیمانی منفرد، دکتر منصور ضیایی و دکتر محمد عطایی بخاطر راهنمایی ها و کمک های ارزشمندشان کمال تقدیر و سپاس گزاری را دارم.

در انتها از زحمات برادرم علیرضا شیری که در تهیه مقالات و کارهای کامپیوتری پایان نامه به بنده کمک کردند و همینطور دوستان گرانقدرم جناب آقای مهندس علی خلیل زاده و رضا کرمی و یاسر زارع و جواد قیاسی و ... بخاطر راهنمایی های ارزشمندشان، کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب یوسف شیرینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف نفت دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری برای مدل سازی پتروفیزیکی و ارزیابی گاز برجای یکی از میادین هیدروکربوری جنوب ایران تحت راهنمایی دکتر علی مراد زاده و دکتر رضا قوامی ریایی متعهد می شوم .

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

• تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۱۱

• امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

در مدل سازی های قدیمی، تخمین های کلی از وضعیت مخزن بر اساس مشاهدات کم و سطحی صورت می گرفته است که با توجه به نقش ذخایر هیدروکربوری در اقتصاد کشور ضرورت مطالعات دقیق مخزن با استفاده از روش ها و تکنولوژی های جدید جهت ارائه مدل های مناسب بر اساس تلفیق کلیه اطلاعات احساس می شود. میدان هیدروکربوری مورد مطالعه در این پایان نامه، میدان فارور A است که در آن دو چاه اکتشافی در سال ۱۹۷۴ حفاری شده و با استفاده از مدل سازی های رایج، میزان گاز برجای در آن ۲۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد برآورد گردیده است.

در مطالعه حاضر، هدف اصلی بر آن است که بر اساس تلفیق روش های آماری چند متغیره و روش های شبکه های عصبی و عصبی فازی، ایده های جدیدی جهت تعیین پارامتر های مخزنی، مدل سازی ساختمانی و محاسبه میزان هیدروکربور برجای در میدان فارور A به دست آید. برای نیل به اهداف مورد نظر در وهله اول به منظور ساخت لرزه نگاشت مصنوعی و عدم دسترسی به اطلاعات سرعت در یک چاه از رابطه گاردنر همراه با تغییراتی استفاده شده است و سپس از داده های لرزه ای دو بُعدی و انواع نگار های مرسوم مانند چگالی، سرعت، تخلخل و ... متعلق به میدان گازی فارور A بهره گرفته شده است. با بکار بستن معکوس سازس داده های لرزه ای به کمک نرم افزار HRS، امپدانس صوتی پهن باند که بیشترین وابستگی را با تخلخل دارد از داده های لرزه ای استخراج شد. سپس با استفاده از رگرسیون مرحله ای و اعتبارسنجی متقابل، نشانگر های لرزه ای (Acoustic Impedance) و Average Frequency به عنوان نشانگر های بهینه مرتبط با تخلخل انتخاب شدند. نهایتاً سه نوع مختلف از شبکه عصبی و عصبی فازی جهت تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که شبکه عصبی فازی (ANFIS)، جدا از سرعت و دقت بالا، به دلیل همبستگی بالاتر و خطای کمتر نسبت به سه نوع شبکه عصبی منجر به تخمین بهتری گردیده است.

پس از ساخت مدل ساختمانی، مدل تخلخل و اشباع آب میدان فارور A به کمک نرم افزار Petrel، میزان ذخیره گاز برجای مخزن، در ۳ حالت محاسبه شد. در حالت اول برای مقایسه مدلی شبیه مدل مورد استفاده شرکت نفت ساخته شد و مشاهده شد که محاسبه میزان گاز برجای محاسبه شده با نتایج ارزیابی شرکت نفت در تطابق خوبی می باشد. در حالت دوم، از مدل تخلخل ساخته شده توسط نرم افزار Petrel استفاده شد که این ارزیابی صحت مدل تخلخل ساخته شده را نشان می داد. در حالت سوم، با استفاده از مدل های ساخته شده، ارزیابی گاز برجای برای ستون گاز ۱۲۴ متر و حداکثر اشباع ۰/۸ صورت پذیرفت. بنابراین، میانگین ذخیره گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A، برای ۹۰ متر ستون گاز و حداکثر اشباع آب ۰/۷، ۲۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد با انحراف معیار ۰/۵ میلیارد متر مکعب و برای ۱۲۴ متر ستون گاز و حداکثر اشباع آب ۰/۸، ۴۵/۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد با انحراف معیار ۰/۹ میلیارد متر مکعب محاسبه شد. آنالیز حساسیت برای محاسبه حجم گاز برجای، اهمیت پارامتر های پتروفیزیکی اشباع آب، تخلخل و حجم مخزن را به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۵۷ و ۰/۴۷ نشان می دهد. از این رو در نتیجه گیری باید به تعیین و محاسبه درست این پارامتر ها با بکار گیری انواع داده ها و روش های نوین هوشمند اقدام نمود.

کلمات کلیدی: معکوس سازس داده های لرزه ای، داده های لرزه ای و چاه نگاری، مدل شبه تخلخل و اشباع آب، مدل سازی ساختمانی و زمین شناسی، محاسبه هیدروکربور برجای.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

Gardner's Relationship and Regression Analysis for Prediction of P-Wave Velocity; Case Study, Fractured Dolomitic Limestone Reservoir, Farour.A Oil Field, Persian Gulf, Iran

منتشر شده در

- The 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey.

پذیرش چاپ در

- Journal of Petroleum Science and Technology [ISSN: 1091-6466].

Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Prediction of Porosity from Seismic Attributes; Case Study, Farour.A Oil Field, Persian Gulf, Iran

منتشر شده در

- The 19th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey.

پذیرش چاپ در

- Journal of Seismic Exploration [ISSN: 0963-0651].

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول: کلیات
۲.....	۱-۱ مقدمه
۴..	۲-۱ مروری بر مدل سازی و استخراج پارامتر های پتروفیزیکی مخزن از روی داده های لرزه ای
۶.....	۳-۱ اهمیت و ضرورت مطالعه
۶.....	۴-۱ اهداف پایان نامه و روش تحقیق
۷.....	۵-۱ ساختار پایان نامه
۸.....	فصل دوم: معرفی منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده
۹.....	۱-۲ مقدمه
۹.....	۲-۲ میدان فارور A
۹.....	۳-۲ داده های مورد استفاده
۱۱.....	۴-۲ ساختارهای زمین شناسی مناطق جنوب ایران
۱۱.....	۱-۴-۲ سازند بختیاری
۱۱.....	۲-۴-۲ بخش لهبری
۱۳.....	۳-۴-۲ سازند آغاجری
۱۳.....	۴-۴-۲ سازند میشان
۱۳.....	۵-۴-۲ بخش گوری
۱۴.....	۶-۴-۲ سازند گچساران
۱۴.....	۷-۴-۲ سازند رازک
۱۵.....	۸-۴-۲ سازند آسماری
۱۵.....	۹-۴-۲ سازند پابده
۱۶.....	۱۰-۴-۲ سازند جهرم
۱۶.....	۵-۲ چاه فارور A1

۱۹.....	۶-۲ چاه فارور A2
۲۰.....	فصل سوم: اصول و مبانی روش های پردازش و مدل سازی مورد استفاده شده در مطالعه
۲۱.....	۱-۳ مقدمه
۲۱.....	۲-۳ تعیین خصوصیات پتروفیزیکی
۲۲.....	۳-۳ لرزه نگاری
۲۲.....	۱-۳-۳ روش های لرزه ای
۲۳.....	۲-۳-۳ اصول لرزه ای
۲۵.....	۳-۳-۳ نشانگر های لرزه ای
۲۸.....	۴-۳-۳ معکوس سازی داده های لرزه ای برای امیدانس صوتی
۳۱.....	۵-۳-۳ بازیابی امیدانس صوتی
۳۴.....	۶-۳-۳ محاسبه امیدانس صوتی از روی داده های لرزه ای محدود باند
۳۶.....	۴-۳-۳ نگار های مورد استفاده
۳۶.....	۵-۳-۳ محاسبه اشباع آب از روی نگار های چاه
۳۷.....	۶-۳-۳ رگرسیون چندگانه خطی
۴۰.....	۷-۳ یافتن بهترین نشانگر های لرزه ای جهت تخمین خصوصیات مخزنی
۴۰.....	۱-۷-۳ رگرسیون مرحله ای
۴۱.....	۲-۷-۳ اعتبارسنجی متقابل
۴۲.....	۸-۳ شبکه های عصبی مصنوعی
۴۲.....	۱-۸-۳ شبکه عصبی چند لایه پیش خور
۴۶.....	۲-۸-۳ شبکه عصبی احتمالی
۵۰.....	۳-۸-۳ شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی
۵۲.....	۹-۳ سیستم های استنتاج عصبی- فازی تطبیقی
۵۵.....	فصل چهارم: پردازش و مدل سازی داده ها

۵۶	۱-۴ مقدمه
۵۷	۲-۴ لیست نرم افزار های استفاده شده
۵۸	۳-۴ محاسبه سرعت موج طولی
۶۲	۴-۴ محاسبه اشباع آب از روی نگار مقاومت ویژه لاترولوگ عمیق (RLLd) سازند
۶۴	۵-۴ تخمین امپدانس صوتی با استفاده از تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری
۶۴	۱-۵-۴ وارد کردن داده ها
۶۵	۲-۵-۴ ترسیم افق های لرزه ای
۶۶	۳-۵-۴ انطباق دادن نگار ها با داده های لرزه ای
۶۹	۴-۵-۴ ایجاد مدل امپدانس صوتی با فرکانس پایین
۷۰	۵-۵-۴ ایجاد مدل امپدانس صوتی پهن باند
۷۳	۶-۴ تهیه مدل شبه تخلخل و اشباع آب
۸۶	۷-۴ مدل سازی ساختمانی و زمین شناسی میدان
۹۲	۸-۴ محاسبه حجم گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A
۹۵	۹-۴ آنالیز ریسک برای محاسبه حجم گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A
۹۹	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۰	۱-۵ جمع بندی نتایج و بحث روی آنها
۱۰۲	۲-۵ پیشنهادات
۱۰۳	منابع و مراجع

فهرست پیوست ها

۱۰۷	پیوست الف شرح نگارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر
-----	---

فهرست اشکال

- فصل دوم: معرفی منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده ۸
- شکل (۱-۲) نقشه میدان فارور A و میادین همجوار ۱۰
- شکل (۲-۲) نقشه خطوط لرزه ای دو بُعدی به همراه محل حفر دو چاه در میدان فارور A، محور های افقی و عمودی، طول و عرض جغرافیایی بر حسب UTM می باشند ۱۰
- شکل (۳-۲) واحد های سنگ شناسی منطقه زاگرس ۱۲
- شکل (۴-۲) ستون سنگ شناسی دو چاه حفر شده در میدان فارور A ۱۷
- شکل (۵-۲) مقطع شبه تخلخل برای خط لرزه ای ۱۰۷۵ که پراکندگی تخلخل و گسل موجود در مخزن را نشان می دهد. نگار سمت راست اشباع آب و سمت چپ تخلخل است ۱۸
- فصل سوم: اصول و مبانی روش های پردازش و مدل سازی مورد استفاده شده در مطالعه ۲۰
- شکل (۱-۳) طرح کلی واکاوی داده های مخزنی ۲۲
- شکل (۲-۳) قانون اسنل ۲۴
- شکل (۳-۳) طرح کلی که بیانگر مدل کانولوشن است. الف) مدلی که در آن از کانولوشن موجک لرزه ای زمانی و سری انعکاسی، لرزه نگاشت ایجاد می شود. ب) طیف دامنه و فرکانس برای موجک، بازتاب دهنده ها و لرزه نگاشت ۲۹
- شکل (۴-۳) طرح کلی که ارتباط عوامل مختلف را با امپدانس صوتی و ضرایب انعکاسی نشان می دهد ۳۰
- شکل (۵-۳) معکوس سازی به روش لیندست. از چپ به راست، رد لرزه اولیه که با استفاده از معادله (۴-۳) رد لرزه دوم را ایجاد و با اضافه شدن فرکانس های پایین، نگار پایانی به دست می آید ۳۲
- شکل (۶-۳) نگار تخلخل به عنوان هدف در سمت چپ و سه نشانگر لرزه ای به عنوان ورودی یا متغیر های مستقل در سمت راست، که برای رگرسیون چندگانه خطی استفاده شده اند ۳۸
- شکل (۷-۳) یک شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) با M ورودی و K پرسپترون و یک خروجی ۴۳
- شکل (۸-۳) شکل تابع لوجیستیک ۴۵

شکل (۳-۹) طرح کلی که بیانگر تفاوت بین بردار های آموزش s_i و s_j است و خروجی های آنها t_i و t_j که معلوم هستند و بردار x_k که خروجی آن یعنی y_k نامعلوم است ۴۷

شکل (۳-۱۰) طرح کلی بردار های s_i و s_j و x_k . محور های مختصات بیانگر دامنه نشانگر های لرزه ای است و فاصله مختصاتی نیست ۴۷

شکل (۳-۱۱) یک شبکه عصبی ساده PNN که در آن از دو گروه (هر یک شامل سه نقطه) و دو نشانگر استفاده شده است ۵۰

شکل (۳-۱۲) ساختار ANFIS برای مدل سوگنو با دو قانون ۵۳

فصل چهارم: پردازش و مدل سازی داده ها ۵۵

شکل (۴-۱) نمودار سرعت موج طولی در مقابل چگالی برای سنگ های مختلف (Gardner et al, 1974)، خط برجسته برای آهک دولومیتی شکسته آسماری است ۵۹

شکل (۴-۲) آنالیز همبستگی برای نگار های مختلف نسبت به نگار سرعت موج طولی ۶۰

شکل (۴-۳) بررسی آنالیز رگرسیون مرحله ای که در مرحله اول تخمین سرعت از نگار چگالی و در مرحله دوم تخمین سرعت از روی نگار چگالی و تخلخل است. الف) خطای تخمین محاسبه شده برای داده های آموزشی، ب) خطای اعتبار سنجی متقابل، ج) مقایسه خطای تخمین داده های آموزشی و خطای اعتبار سنجی متقابل ۶۱

شکل (۴-۴) اشباع آب محاسبه شده توسط معادله آرچی (۳-۱۹)، الف) اشباع آب محاسبه شده در چاه فارور A1، ب) اشباع آب محاسبه شده در چاه فارور A2 ۶۳

شکل (۴-۵) مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ با امتداد جنوب شرقی به شمال غربی مخزن که محل چاه فارور A1 و افق های لرزه ای بر روی آن مشخص شده است ۶۶

شکل (۴-۶) موجک استخراجی برای ایجاد لرزه نگاشت مصنوعی با استفاده از نگار های چاه و داده های لرزه ای. الف) طیف دامنه به زمان موجک، ب) طیف دامنه به فرکانس موجک ۶۸

شکل (۴-۷) همبستگی ایجاد شده بین لرزه نگاشت مصنوعی و واقعی در چاه فارور A1 که در نزدیکی مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ قرار دارد. رد لرزه های مشکلی، رد لرزه های واقعی در اطراف چاه فارور A1، رد لرزه های قرمز، میانگین رد لرزه های مشکلی رنگ و رد لرزه های آبی، رد لرزه مصنوعی حاصل از نگار سرعت و چگالی در چاه فارور A1 را نشان می دهد ۶۹

شکل (۴-۸) مدل امیدانس صوتی مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ با استفاده از نگار های چاه و افق های لرزه ای برای فرکانس های کمتر از ۱۵ هرتز ۷۰

شکل (۴-۹) طیف دامنه به فرکانس. الف) مقطع لرزه ای ۵۱۰۳، ب) مدل ایجاد شده بوسیله نگار های چاه و افق های لرزه ای ۷۱

شکل (۴-۱۰) مدل امیدانس صوتی پهن باند برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۷۲

شکل (۴-۱۱) همبستگی بین اشباع آب و مهمترین نشانگر های لرزه ای ۷۴

شکل (۴-۱۲) همبستگی بین تخلخل و مهمترین نشانگر های لرزه ای ۷۵

شکل (۴-۱۳) تخمین اشباع آب بوسیله نشانگر های لرزه ای با استفاده از شبکه عصبی PNN برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۷۷

شکل (۴-۱۴) تخمین اشباع آب بوسیله نشانگر های لرزه ای با استفاده از شبکه عصبی RBFN برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۷۸

شکل (۴-۱۵) تخمین اشباع آب بوسیله نشانگر های لرزه ای با استفاده از شبکه عصبی MLFN برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۷۹

شکل (۴-۱۶) تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی RBFN همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۸۲

شکل (۴-۱۷) تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی MLFN همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۸۳

شکل (۴-۱۸) تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی PNN همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۸۴

شکل (۴-۱۹) تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی فازی ANFIS همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی ۸۵

شکل (۴-۲۰) افق های لرزه ای آسماری و چهارم در نرم افزار Petrel که توسط نرم افزار HRS بصورت نقاطی که سر سازند ها را نشان می دهد استخراج شده است (محور های عرضی، طولی و عمقی بر حسب متر می باشند) ۸۷

- شکل (۴-۲۱) تبدیل افق های لرزه ای سازند های آسماری و جهرم به سطوح سرسازندی (محور های عرضی، طولی و عمقی بر حسب متر می باشند) ۸۷
- شکل (۴-۲۲) مدل ساختمانی میدان فارور A و B، سر سازند های رسم شده بترتیب از بالا به پایین، گوری، گچساران، آسماری، جهرم و گورپی می باشند (محور های عرضی، طولی و عمقی بر حسب متر می باشند) ۸۸
- شکل (۴-۲۳) سر سازند آسماری و جهرم بترتیب از بالا به پایین در میدان فارور A و B ۸۹
- شکل (۴-۲۴) مدل تخلخل برای مخزن آسماری در میدان فارور A ، الف)مدل حجمی با ارتفاع ستون گاز ۱۲۴ متر، ب) مقادیر تخلخل در سمت چپ و اشباع آب در سمت راست در اطراف چاه فارور A2 ۹۰
- شکل (۴-۲۵) مدل اشباع آب با حداکثر ۷۰ درصد اشباع در مخزن آسماری از میدان فارور A .. ۹۱
- شکل (۴-۲۶) نمودار تاثیر پذیری و همبستگی فاکتور های موثر بر محاسبه حجم گاز برجای برای مخزن آسماری با ستون گاز ۹۰ متر در میدان فارور A ۹۶
- شکل (۴-۲۷) تابع توزیع احتمال محاسبه حجم گاز برجای در شرایط استاندارد برای مخزن آسماری با ستون گاز ۹۰ متر در میدان فارور A ۹۶

فهرست جداول

فصل سوم: اصول و مبانی روش های پردازش و مدل سازی مورد استفاده شده در مطالعه	۲۰
جدول (۱-۳) لیست نشانگر های لرزه ای استفاده شده در مطالعه حاضر	۲۶
فصل چهارم: پردازش و مدل سازی داده ها	۵۵
جدول (۱-۴) بررسی آنالیز رگرسیون مرحله ای در سه حالت خطی و لگاریتمی متغیر های ورودی و خروجی	۶۲
جدول (۲-۴) خطای آموزش و اعتبار سنجی متقابل در رگرسیون مرحله ای برای تخمین اشباع آب از روی نشانگر های لرزه ای	۷۶
جدول (۳-۴) خطای آموزش و اعتبار سنجی متقابل در رگرسیون مرحله ای برای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای	۷۶
جدول (۴-۴) ضریب همبستگی و خطای تخمین اشباع آب از روی نشانگر های لرزه ای برای سه شبکه عصبی آموزش داده شده	۷۷
جدول (۵-۴) ضریب همبستگی و خطای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای سه شبکه عصبی آموزش داده شده	۸۰
جدول (۶-۴) ضریب همبستگی و خطای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای شبکه عصبی فازی با ساختار های متفاوت	۸۱
جدول (۷-۴) ارزیابی گاز برجای در مخزن آسماری از میدان فارور A با سناریو های مختلف و ارزیابی شرکت نفت	۹۵
جدول (۸-۴) اطلاعات خروجی نرم افزار @Risk برای محاسبه حجم گاز برجای در شرایط استاندارد برای مخزن آسماری در میدان فارور A	۹۸

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

منابع نفت و گاز هر کشور سرمایه گرانبهایی است که مدیریت درست در مراحل اکتشاف، حفاری و بهره برداری از آن باعث کاهش هزینه ها، تولید بیشتر و افزایش طول عمر مخازن می شود. با توجه به برآورد های انجام شده عمر منابع نفتی ایران ۸۰ سال و عمر منابع گازی ایران ۲۵۰ سال تخمین زده شده است. مدیریت درست مخازن و اکتشاف منابع جدید در بهبود این شرایط کمک بسزایی می کند. اولین چاه حفاری شده در ایران در نزدیک چشمه های نفتی در جنوب شرق خوزستان حفاری شد که به نفت نرسید. سپس اولین چاه نفتی که به بهره برداری منجر گردید بر روی تاقدیس های شهر مسجد سلیمان جایی که چشمه های نفتی به وفور دیده می شد حفاری گردید. شواهد نشان دهنده این هستند که اولین چاه های نفتی در ایران بر روی طاقدیس هایی که نزدیک چشمه های نفت و گاز قرار داشت زده می شد.

گذشت زمان باعث رشد تکنولوژی و افزایش دانش بشری در تمام زمینه های اکتشاف، حفاری و بهره برداری شده است تا جایی که امروزه مدل سازی استاتیک و دینامیک مخازن امری اجتناب ناپذیر در مدیریت مخازن است که باعث تولید بیشتر و افزایش طول عمر مخازن هیدروکربوری می شود. یک توصیف دقیق کمی از خصوصیات و ساختار مخزن برای بهره برداری از هیدروکربور برجای ضروری می باشد. این توصیف نیاز به ترکیب داده های مختلف چاه نگاری و مغزه و لرزه ای و دیگر اطلاعات زمین شناسی دارد. مهمترین عامل در توصیف مخزن، ترکیب تمام این داده ها و بدست آوردن یک مدل با کیفیت و تفکیک پذیری بالا است.

با اطلاعات بدست آمده، توسعه مخازن تا حد قابل قبولی بهتر صورت گرفته و تولید افزایش می یابد. اگر چه داده های چاه نگاری و مغزه خصوصیات مخزنی را با تفکیک پذیری عمودی به ما می دهد اما این اطلاعات محدود به اطراف چاه است. بر عکس، داده های لرزه نگاری دارای تفکیک پذیری جانبی بهتری هستند و نه تنها اطلاعات دورتر از چاه را به ما می دهند بلکه ما را از جنبه های ساختاری و چینه ای بهره مند می سازند (Graebner and Wason, 1981). از آنجا که داده های لرزه ای یک

پوشش سه بُعدی از یک منطقه را در اختیار ما می گذارند ، محققین همواره در فکر استفاده از این داده ها برای توصیف مخازن بوده اند.

بنابراین، روشی که باعث ترکیب این دو تفکیک پذیری افقی و قائم شود یک روش موثر در توصیف مخزن در دو یا سه بُعد بشمار می رود (Cornish and King, 1988) .

در توصیف مخازن روش های زیادی در ژئوفیزیک مطرح شده است. یکی از این روش ها معکوس سازی داده های لرزه ای است که داده های لرزه ای انعکاسی را به خصوصیات سنگ شناسی تعمیم می دهد و یک تخمین کمی، توصیف مخزن را برای ما بهتر می کند.

امپدانس صوتی، که حاصل ضرب سرعت امواج لرزه ای و چگالی است، یک مثال از خصوصیات سنگ شناسی است که بصورت عمده در توصیف مخازن استفاده می شود. داده های لرزه ای انعکاسی بوسیله تغییر در امپدانس صوتی سطح بین دو سازند ایجاد می شود (Aleman, 2004). بر اساس امپدانس صوتی می توان تفسیر بهتری از خصوصیات سنگ شناسی، چینه ای، ساختاری و سیال مخزن را با دقت و جزئیات بیشتری در مقایسه با روش های مرسوم لرزه نگاری بدست آورد (Aleman, 2004). علاوه بر آن، نقشه ها و مدل های تخلخل و زون های بهره ده که به توصیف هر چه بهتر مخزن کمک می کنند نیز از این مدل ها قابل استخراج می باشند.

پراکندگی تخلخل و اشباع آب از جمله پارامتر های مهم در تخمین میزان هیدروکربور برجای است که با توجه به استخراج این اطلاعات از داده های موجود می توان به طور قابل توجهی، دقت تخمین را افزایش داد. از این رو پس از تهیه امپدانس صوتی که خروجی معکوس سازی است و یکی از نشانگر های لرزه ای¹ مهم و مرتبط با تخلخل می باشد، استفاده از روشی که بتوان تخلخل را از این نشانگر و دیگر نشانگر های لرزه ای بدست آورد، مهم و حائز اهمیت است. اشباع آب نیز اهمیت بسزایی در تخمین میزان ذخیره دارد. بنابراین استفاده از نشانگر های لرزه ای و داده های چاه نگاری، تا حد بالایی ما را در توصیف کمی و کیفی مخزن یاری می رساند و ارزیابی ها را تا حد قابل قبولی به

1. Seismic Attributes

واقعیت مخزن نزدیک می کند.

۲-۱ مروری بر مدل سازی و استخراج پارامتر های پتروفیزیکی مخزن از روی داده های

لرزه‌ای

معکوس سازی امپدانس صوتی در دهه ۱۹۷۰ مطرح و جایگزین رد لرزه ها^۱ برای بازتاب پذیری لایه ها شدند (Lindseth, 1979) و به مرور زمان با رشد تکنولوژی و دانش بشری ارتقا یافت. در معکوس سازی داده های لرزه ای کارهای زیادی در سال های اخیر انجام شده است. چاوس^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۷ نگار پرتو گاما طبیعی را با استفاده از شبکه های عصبی از روی نشانگر های لرزه ای تخمین زدند. اگر چه این تخمین از روی داده های لرزه ای بین چاهی با کیفیت بالا انجام شد اما سوتو^۳ و هولیچ^۴ از همان نشانگر های لرزه ای با داده های لرزه ای سطحی به تخمین نگار گاما پرداختند (Chawathe et al, 1997. Soto and Holditch, 1999). بالچ^۵ و همکاران در سال ۱۹۹۹ رتبه بندی فازی را جهت پیدا کردن بهترین نشانگر های لرزه ای مرتبط با خصوصیات مخزنی بکار بستند و همبستگی بین نشانگر های لرزه ای و تخلخل و اشباع آب و ضخامت زون های بهره ده را بوسیله شبکه های عصبی مدل کردند (Balch et al, 1999). در سال ۲۰۰۱ همپسون^۶ و همکاران، لیپارت^۷ و هارت^۸ روش های رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی احتمالی (PNN^۹) را برای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از شبکه عصبی احتمالی بخاطر راحتی و دقت محاسبات بهتر از رگرسیون چندگانه است (Hampson et al., 2001, Leiphart and Hart., 2001). راسل^{۱۰} در سال ۲۰۰۴ ضمن بررسی کامل روش های خطی و غیر خطی در تبدیل نشانگر های لرزه ای به تخلخل پرداخت و شبکه عصبی با تابع پایه

-
1. Trace
 2. Chawathe
 3. Soto
 4. Holditch
 5. Balch
 6. Hampson
 7. Leiphart
 8. Hart
 9. Probabilistic Neural Network
 10. Russell

شعاعی (RBFN¹) را به عنوان روشی مفید برای تخمین تخریب که ترکیبی از روشهای خطی و غیر خطی است معرفی کرد. آلمان¹ در سال ۲۰۰۴ معکوس سازی پهن باند را با پیدا کردن یک رابطه غیر خطی درجه دو بین امپدانس صوتی و تخریب بر روی یک مخزن کربناته با ساختمان پیچیده اعمال و بهترین نقطه جهت حفاری چاه را مشخص کرد. احمد^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۷ معکوس سازی را با استفاده از اطلاعات یک چاه از روی رابطه خطی امپدانس صوتی با تخریب انجام داد و محل حفر چاه دوم را با موفقیت مشخص نمودند که منجر به توسعه عملیات و کاربرد این روش در کل منطقه شدند. پدرس تاتالویچ^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۸ با اعمال معکوس سازی پهن باند و تهیه تخریب یک لایه گچی، اهمیت فرکانس های پایین در معکوس سازی و تخمین تخریب از روی نشانگر های لرزه ای را در نشان دادند و نقاط با تخریب بالا که حاصل تغییر پتروفیزیکی لایه است را مشخص کردند. کدخدایی ایلخچی^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۹ با ساخت یک سیستم استنتاج فازی (CFIS^۶) که از الگوریتم ژنتیک بهره می برد باعث بهینه سازی مدل های ساخته شده از نشانگر های لرزه ای توسط روش های فازی شدند و سیستم استنتاج فازی را بهترین الگوریتم و پس از آن شبکه عصبی احتمالی را بهترین شبکه عصبی برای تخمین تخریب از روی نشانگر های لرزه ای معرفی کردند. بنابراین اهمیت استخراج فرکانس های پایین برای معکوس سازی و استفاده از الگوریتم های بهینه در انتخاب و ترکیب نشانگر های لرزه ای برای تخمین خصوصیات پتروفیزیکی و مدل سازی آن یکی از چالش های اساسی در ترکیب داده های لرزه ای و چاه نگاری است.

در این زمینه امروزه دو نرم افزار تجاری (Fugro-Jason, 2010) و (CGGVeritas,) (2007) HRS^۷ جهت ترکیب داده های لرزه ای و چاه نگاری برای تخمین خصوصیات پتروفیزیکی استفاده می شود که در این کار از نرم افزار HRS استفاده شده است.

-
1. Radial Basis Function Neural Network
 2. Aleman
 3. Ahmad
 4. Pedersen-Tatalovic
 5. Kadkhodaie-Ilkhchi
 6. Committee Fuzzy Inference System
 7. Hampson-Russell Software

۱-۳ اهمیت و ضرورت مطالعه

آنچه که در مدل سازی های مرسوم به چشم می خورد، تخمین های کلی از روی مشاهدات کم و سطحی از مخازن است که باعث افزایش ریسک و هزینه ها شده است. با توجه به اینکه مطالعات دقیق مخزنی با استفاده از تکنولوژی های جدید در هر یک از میادین ایران ضروری می باشد، روش های جدید و نوین وارد شده در این مبحث، ضرورت بکار بستن این روش ها را برای بهینه سازی در مدل ها و کاهش هزینه ها ایجاب می کند. امروزه با توجه به پیشرفت صنعت کامپیوتر و بهره گیری از آن برای محاسبات بسیار پیچیده ریاضی، نرم افزارهای مختلف برای مدل سازی مخزن و انجام فرآیندهای تفسیر و استخراج اطلاعات از داده های خام ژئوفیزیکی و پترو فیزیکی ساخته شده اند.

با فهم دقیق توزیع پارامترهای مختلف پتروفیزیکی مخزن نظیر تخلخل و اشباع آب توسط روش های نوین و نرم افزار های مختلف می توان مدل مناسب تری را برای هر یک از ذخایر هیدروکربوری ارائه نمود و از آن در مراحل مختلف ارزیابی، توسعه و تکمیل و بهره برداری استفاده کرد.

میدان مورد مطالعه در این پایان نامه، میدان فارور A است که در آن دو چاه اکتشافی در سال ۱۹۷۴ حفاری شده است و با استفاده از مدل سازی های قدیمی، میزان گاز برجای در آن ۲۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد برآورد شده است. استفاده از روش های نوین و امروزی در ارزیابی های این میدان و اکثر میادین قدیمی ایران امری ضروری است که باید انجام شوند تا ارزیابی های انجام شده تصحیح گردند و یا صحت آنها بیشتر مورد بررسی گردد.

۱-۴ اهداف پایان نامه و روش تحقیق

هدف اساسی این پایان نامه، مطالعه ارتباط بین پارامتر های پتروفیزیکی مخزنی با نشانگر های لرزه ای جهت مدل سازی تخلخل و اشباع آب برای ارزیابی ذخیره مخزن گازی فارور A است. برای نیل به هدف ابتدا ارتباط بین مجموعه ای از نشانگر های لرزه ای و پارامتر های مخزنی در اطراف چاه ها مورد بررسی قرار می گیرد و سپس با استفاده از نتایج حاصل، پارامتر های مخزن در سراسر منطقه مورد مطالعه از روی داده های لرزه نگاری تخمین زده می شود.

برای این منظور از یک سری ابزارهای نوین مانند معکوس سازی امپدانس صوتی تا روش های آماری چندگانه، شبکه های عصبی و عصبی فازی استفاده شده است. در خاتمه پس از محاسبه و تخمین خصوصیات مخزنی، میزان هیدروکربور برجای مخزن محاسبه شده و ارزیابی و تفسیر های لازم انجام می گیرد.

در انجام محاسبات مورد نظر از نرم افزار های تخصصی مختلفی مثل Petrel (Schlumberger, 2008) ، HRS (CGGVeritas, 2007) ، Vista(GEDCO, 2002) ، MATLAB (MathWorks, 2008) ، Palisade DecisionTools (Palisade, 2009) و TatukGIS (TatukGIS, 2002) استفاده شده است که در فصل های آتی مراحل که در آنها هر یک از نرم افزار ها استفاده شده است توضیح داده می شود.

۱-۵ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در پنج فصل تهیه و تنظیم شده است. فصل اول شامل مقدمه، بررسی سوابق کارهای انجام شده، اهمیت و ضرورت مطالعه و اهداف مطالعه مورد نظر است. فصل دوم شامل شرح مختصری از ساختار های زمین شناسی و اطلاعاتی درباره میدان فارور A و داده های استفاده شده در مطالعه حاضر می شود. فصل سوم که به عنوان اصول و مبانی روش های پردازش و مدل سازی مورد استفاده شده در مطالعه نامگذاری شده است شامل مفاهیمی درباره چگونگی تعیین خصوصیات پتروفیزیکی، داده های لرزه نگاری و چاه نگاری و تکنیک های مختلف استفاده شده از جمله رگرسیون چند متغیره، انواع شبکه های عصبی و عصبی فازی است. در فصل چهارم به پردازش و مدل سازی داده ها پرداخته شده است و به تشریح تمام فرآیند ها از معکوس سازس داده های لرزه ای تا تهیه خصوصیات پتروفیزیکی و ارزیابی و تفسیر کمی و کیفی مخزن می پردازد. در فصل پنجم به نتایج مطالعه و پیشنهادات و کارهایی که در آینده قابل طرح و انجام است پرداخته شده است.

فصل دوم

معرفی منطقه مورد مطالعه و داده های مورد
استفاده

۱-۲ مقدمه

مطالعه حاضر بر روی میدان هیدروکربوری فارور A در خلیج فارس انجام شده است. در این فصل به موقعیت جغرافیایی، شرح مطالعات انجام شده، شرح زمین شناسی منطقه و داده های مورد استفاده از این میدان می پردازیم.

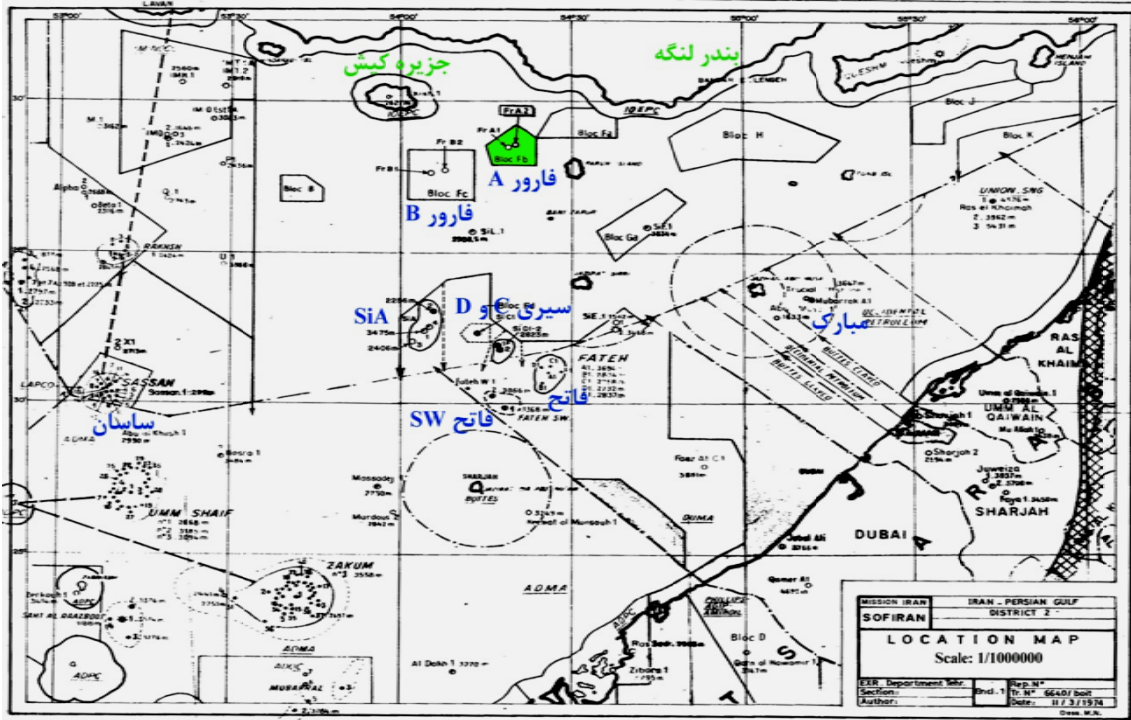
۲-۲ میدان فارور A

شکل (۱-۲) نقشه میدان فارور A و میادین همجوار آن را نشان می دهد. در این میدان، دو چاه فارور A1 و چاه فارور A2 حفاری شده است. میادین نفتی سیری C و D در ۷۰ و ۷۲ کیلومتری و فاتح و فاتح S.W در ۸۴ و ۹۶ کیلومتری جنوب، و SiA در ۷۲ کیلومتر جنوب غرب و مبارک در ۱۰۵ کیلومتری جنوب شرقی و ساسان در ۱۳۵ کیلومتری جنوب غرب این میدان قرار دارند. این میدان از نظر ساختاری بصورت یک تاقدیس متاثر از گنبد نمکی و حاصل فعالیت های تکتونیکی دوره کامبرین است که تغییر شکل آن از کرتاسه پسین تاکنون ادامه داشته است و دارای کلوزر^۱ (به فاصله عمقی اولین و آخرین منحنی های تراز بسته یک سازند کلوزر گفته می شود) ۵۵۰ متر برای سازند ایلام با مساحت افقی ۱۰۸ کیلومتر مربع است (Iranian offshore oil company, 1974).

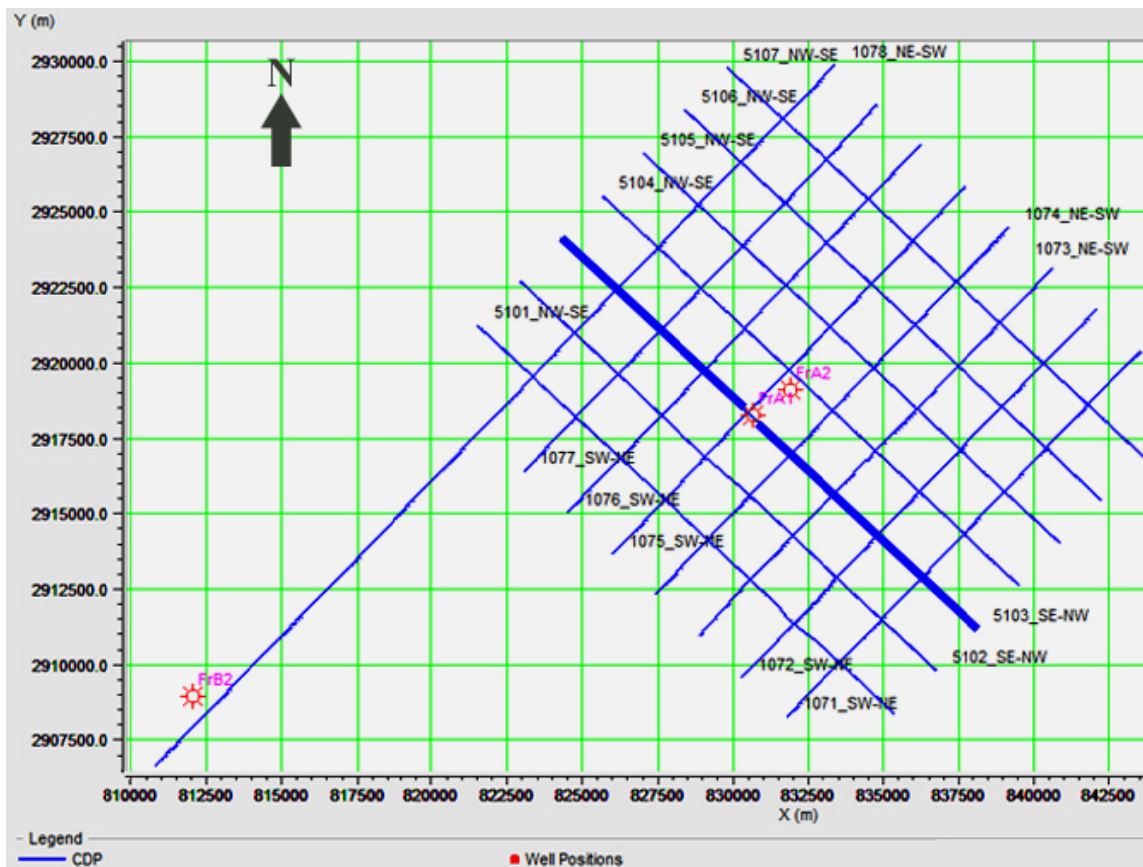
۳-۲ داده های مورد استفاده

داده های مورد استفاده در این مطالعه شامل ۸ پروفیل شمال شرقی به جنوب غربی و ۷ پروفیل شمال غربی به جنوب شرقی لرزه ای دو بُعدی بر انبارش شده و مهاجرت یافته از کل میدان و انواع نگار ها که شامل نگار های نوترون، صوتی، چگالی، مقاومت ویژه القایی و لاترولوگ عمیق در چاه های این میدان و VSP^۲ از چاه فارور B2 متعلق به میدان فارور B و اطلاعات حفاری و زمین شناسی می شود. شکل (۲-۲) خطوط لرزه ای برداشت شده از این میدان و محل حفر چاه ها نسبت به خطوط لرزه ای را نشان می دهد. در ضمن، تمام نتایج گرفته شده توسط شرکت ملی نفت بررسی و در صورت نیاز تصحیح گردیده اند.

1. Closure
2. Vertical Seismic Profiling



شکل (۱-۲). نقشه میدان فارور A و میادین همجوار (Iranian offshore oil company, 1974).



شکل (۲-۲). نقشه خطوط لرزه ای دو بُعدی به همراه محل حفر دو چاه در میدان فارور A، محور های افقی و عمودی، طول و عرض جغرافیایی بر حسب UTM می باشند.

۴-۲ ساختارهای زمین شناسی مناطق جنوب ایران

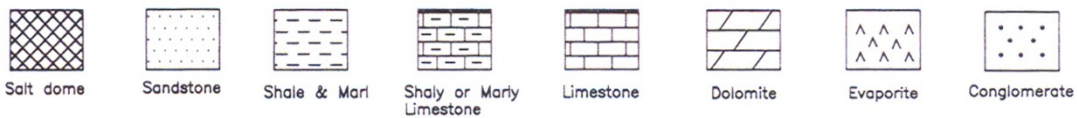
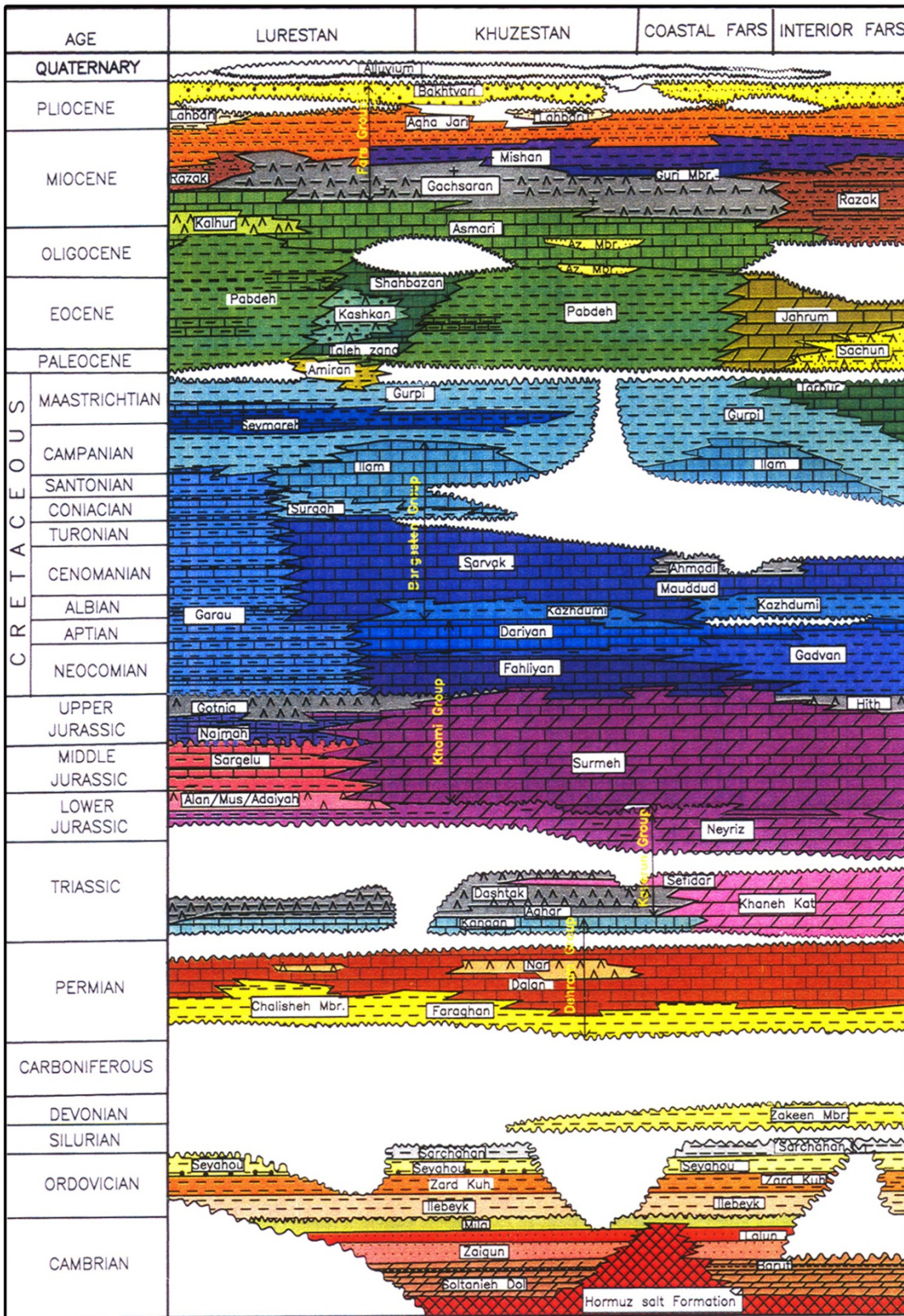
ساختارهای زمین شناسی جنوب ایران تحت تاثیر چین خوردگی زاگرس و در برخی نواحی متاثر از گنبد های نمکی هستند. شکل (۲-۳) سازند های مختلف در منطقه زاگرس را با توجه به کشیدگی های آنها نشان می دهد. از آنجائی که این مطالعه، مخزن آسماری متعلق به میدان فارور A را مورد ارزیابی قرار می دهد از این رو در ادامه به شرح سازند های موجود در منطقه مطالعاتی از جدید به قدیم پرداخته می شود.

۲-۴-۱ سازند بختیاری

نام این سازند از کوه های بختیاری در شمال شرق خوزستان اخذ شده است و شامل کنگلومراهای آهکی و چرت دار است که به طور متناوب همراه با ماسه سنگ بوده و به حالت دگرشیب رسوبات سری فارس را در لرستان و خوزستان فرا می گیرد. مقطع تیپ آن در گذار لندر واقع در شمال مسجد سلیمان اندازه گیری شده است و ضخامت آن در حدود ۵۱۸ متر است. قطعات سازنده این کنگلومرا، گرد و کروی و اصولاً متعلق به کرتاسه، اولیگوسن و چرت های قهوه ای تیره هستند که با سیمانی از آهک و رس به هم چسبیده اند. در سطح تماس زیرین این سازند، معمولاً سازند آغاچاری با دگر شیبی زاویه دار یا فرسایشی دیده می شود. سن این سازند پلیوسن پایانی و جوان تر است و سطح بالایی آن را رسوبات آبرفتی پوشانده است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۴-۲ بخش لهبری

نام این بخش از ناودیس لهبری در خوزستان انتخاب و مقطع نازک آن در تنگ توکاب واقع در شمال شرق دامنه تاقدیس هفتکل اندازه گیری شده است. ضخامت آن ۱۵۷۵ متر و از لحاظ سنگ شناسی شامل سیلتستون های هوا زده و نرم گچدار است که در آن لایه های مارن و ماسه سنگ و گچ نیز دیده می شود. سطح تماس زیرین آن بر روی ماسه سنگ ها و مارن های قرمز سازند آغاچاری قرار دارد و در سطح تماس فوقانی با سازند بختیاری به حالت دگر شیب قرار دارد. سن بخش لهبری پلیوسن است و از خوزستان به سمت شمال شرق و جنوب شرق با سازند آغاچاری بتدریج و بصورت



شکل (۲-۳). واحد های سنگ شناسی منطقه زاگرس (NISOC, 1382).

بین انگشتی تبدیل می شود (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۳-۴-۲ سازند آجاجاری

نام این سازند از میدان نفتی آجاجاری انتخاب شده است و مقطع تیپ آن در طول جاده امیدیه که به چاه های نفتی آجاجاری منتهی می شود، اندازه گیری شده است، ضخامت این سازند به ۲۹۶۵ متر می رسد. این سازند از لحاظ سنگ شناسی شامل ماسه سنگ های آهک دار قهوه ای خاکستری، رگه های گچ، مارن های قرمز و سیلتستون است. در سطح تماس زیرین این سازند، مارن های خاکستری و آهک های سازند میشان قرار دارند و در سطح تماس فوقانی آن، سازند بختیاری به حالت دگر شیبی قرار دارد. سن این سازند میوسن فوقانی تا پلیوسن تعیین شده است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۴-۴-۲ سازند میشان

نام این سازند از روستای میشان در خوزستان گرفته شده است و مقطع تیپ آن از دامنه های جنوب غربی میدان نفتی گچساران گرفته شده است، ضخامت آن در محل مقطع تیپ ۷۱۰ متر و از نظر سنگ شناسی شامل ۶۱ متر تناوب آهک صدف دار و مارن خاکستری و ۶۴۹ متر تناوب رسوبات هوازده مارنی نرم و آهک صدفدار مقاوم تر است. سطح تماس زیرین این سازند بطور ناگهانی با گچ های سازند گچساران مشخص می شود و سطح تماس فوقانی آن به صورت تدریجی مارن ها و ماسه سنگ های آجاجاری است. سن این سازند میوسن آغازی تا میانی است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۵-۴-۲ بخش گوری

نام این بخش از تنگ گوری انتخاب شده و مقطع تیپ آن در دامنه جنوبی کوه گچ و در شرق گنبد نمکی و ۲۸ کیلومتری جنوب شرق شهر لار قرار دارد. ضخامت آن ۱۱۲/۸ متر است و از لحاظ سنگ شناسی شامل آهک های فسیل دار کرم رنگ سخت با لایه هایی از مارن است. در سطح تماس زیرین آن، مارن ها و گچ های قرمز رنگ سازند گچساران قرار دارد و سطح تماس فوقانی آن با مارن های سازند میشان بطور هم شیب پوشانیده شده است. سن آهک گوری میوسن زیرین تا اوایل میوسن میانی متغیر است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۴-۶ سازند گچساران

نام این سازند از میدان نفتی گچساران انتخاب شده است، این سازند در خوزستان دارای ۷ بخش است. بخش یک با ضخامت ۳۹/۶ متر که به آن پوش سنگ گفته می شود و تناوبی از لایه های ضخیم انیدریت و لایه های نازک آهکی و گاهی همراه با شیل های قیری است و بطور هم شیب بر روی سازند آسماری قرار دارند و دارای فشار سیال زیادی نسبت به سازند آسماری است. بخش دو با ضخامت ۱۱۳/۵ متر و شامل قشر ضخیم نمک است که در آن لایه های از انیدریت و آهک نازک دیده می شود. بخش سه با ضخامت ۲۲۵ متر که بخش زیرین آن را انیدریت و بخش فوقانی آن را تناوبی از انیدریت و لایه های نازک آهک و مارن تشکیل می دهد. بخش چهار با ضخامت ۸۳۴/۵ متر و شامل لایه های ضخیم نمک همراه با مارن و آهک خاکستری یا انیدریت است. بخش پنج با ضخامت ۳۰۸ متر و شامل تناوبی از انیدریت با مارن های قرمز تا خاکستری می شود. بخش شش با ضخامت ۲۷۸ متر که ۱۰۳ متر پایینی آن را تناوبی از انیدریت با مارن قرمز و آهک، قسمت میانی آن را نمک و انیدریت و ۶۱ متر فوقانی آن را انیدریت با مارن های قرمز یا خاکستری رنگ تشکیل می دهد. بخش هفت با ضخامت ۱۳۷ متر که به طور هم شیب به وسیله سازند میشان پوشیده می شود و تناوبی از انیدریت و مارن خاکستری و آهک ماسه ای است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۴-۷ سازند رازک

نام این سازند از دهکده رازک در ناحیه فارس گرفته شده است و مقطع تیپ آن در دامنه شمالی کوه جهرم و در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب شرق جهرم اندازه گیری شده است. ضخامت آن در محل مقطع تیپ ۸۰۴/۷ متر است و از لحاظ سنگ شناسی شامل مارن های سیلتی قرمز تا سبز و خاکستری همراه با لایه های فرعی آهک سیلتی می شود. سطح تماس زیرین این سازند با سازند آسماری و سطح تماس فوقانی آن با سازند میشان یا بخش گوری بصورت تدریجی است. سن این سازند میوسن آغازی و گسترش زیادی در ناحیه فارس داخلی دارد (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۴-۸ سازند آسماری

نام این سازند از کوه آسماری در خوزستان گرفته شده است، مقطع تیپ آن در تنگ گل ترش در جنوب غربی کوه آسماری انتخاب شده است. ضخامت آن در مقطع تیپ ۳۱۴ متر است ولی عموماً از چند متر تا ۵۱۸ متر متفاوت است. از لحاظ سنگ شناسی شامل آهک کرم تا قهوه ای رنگ است. این سازند در سطح تماس زیرین خود شیل ها و مارن های سازند پابده را بطور هم شیب می پوشاند اما در لرستان با دگر شیبی روی سازند آهکی و دولومیتی شهبازان قرار می گیرد و در بخشی از نواحی فارس به حالت دگرشیبی فرسایشی سازند جهرم را فرا می گیرد. در سطح تماس فوقانی سازند گچساران قرار دارد و در فارس داخلی هم سازند رازک جانشین گچساران می شود. سن کلی سازند آسماری اولیگوسن تا میوسن آغازی است. سازند آسماری شامل دو بخش ماسه سنگی اهواز و بخش انیدریتی کلههر است. بخش ماسه سنگی اهواز از ماسه سنگ آهکی، گاهی آهک ماسه ای همراه با کمی شیل ساخته شده است و بخش قاعده سازند آسماری را در چاه های نفتی اهواز و منصوری تشکیل می دهد. در مقطع تیپ ضخامت آن ۲۳۱/۵ متر است. بخش انیدریتی کلههر که مقطع تیپ آن در لرستان و در منطقه ای به نام کوه اناران است دارای ضخامت ۱۱۹ متر است و از لحاظ سنگ شناسی شامل ۵ متر ژئوپس، ۲۰ متر مارن و آهک مارنی، ۹۵ متر ژئوپس ضخیم و دو لایه نازک آهکی می شود. این بخش فقط در جنوب غربی لرستان گسترش خوبی دارد.

سازند آسماری از نظر جغرافیایی، در تمام منطقه زاگرس، در هر کجا که سازند آسماری در زیر سازند گچساران یا سازند مشابه آن قرار داشته باشد، به علت درز و شکاف فراوان و تخلخل زیاد، جدیدترین سنگ مخزن نفت محسوب می شود (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۴-۹ سازند پابده

نام این سازند از کوه پابده در خوزستان گرفته شده است و مقطع تیپ آن در تنگ پابده در جنوب شرق کوه پابده واقع در شمال میدان نفتی لالی اندازه گیری شده است و ضخامت آن ۷۹۸/۵ متر است و شامل ۱۴۰ متر بخش شیل ارغوانی با شیل ها و مارن های همراه با لایه های نازکی از آهک،

۷۴ متر بخش شیلی با آهک رسی، ۴۲/۶ متر بخش آهک رسی با ندول های چرتی، ۸۲/۳ متر بخش شیل های تیره با لایه های آهکی پراکنده در قاعده و ۴۵۸/۵ متر بخش فوقانی با آهک های رسی لایه نازک با تناوبی از شیل است. سطح تماس زیرین آن با سازند شیلی و مارنی گورپی هم شیب است. و سطح تماس فوقانی آن را سازند آسماری گاهی بصورت هم شیب و تدریجی و گاهی با دگر شیبی می پوشاند. سن این سازند پالتوسن تا میوسن است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۴-۱۰ سازند جهرم

نام این سازند از کوه جهرم در ناحیه فارس انتخاب شده است و مقطع تیپ آن در تنگ آب در دامنه شمال کوه جهرم اندازه گیری شده است و از لحاظ سنگ شناسی شامل ۳۵ متر دولومیت های قهوه ای رنگ ، ۱۶۱/۵ متر دولومیت های لایه نازک تا لایه متوسط و ۲۸۷/۵ متر بخش فوقانی با آهک دولومیتی با میکروفسیل های فراوان است. سطح تماس زیرین آن در محل مقطع تیپ با سازند ساچون هم شیب است و سطح تماس فوقانی آن با سازند آسماری از نوع دگرشیبی فرسایشی است. سن این سازند پالتوسن تا ائوسن پسین است (درویش زاده، ۱۳۸۲).

۲-۵ چاه فارور A1

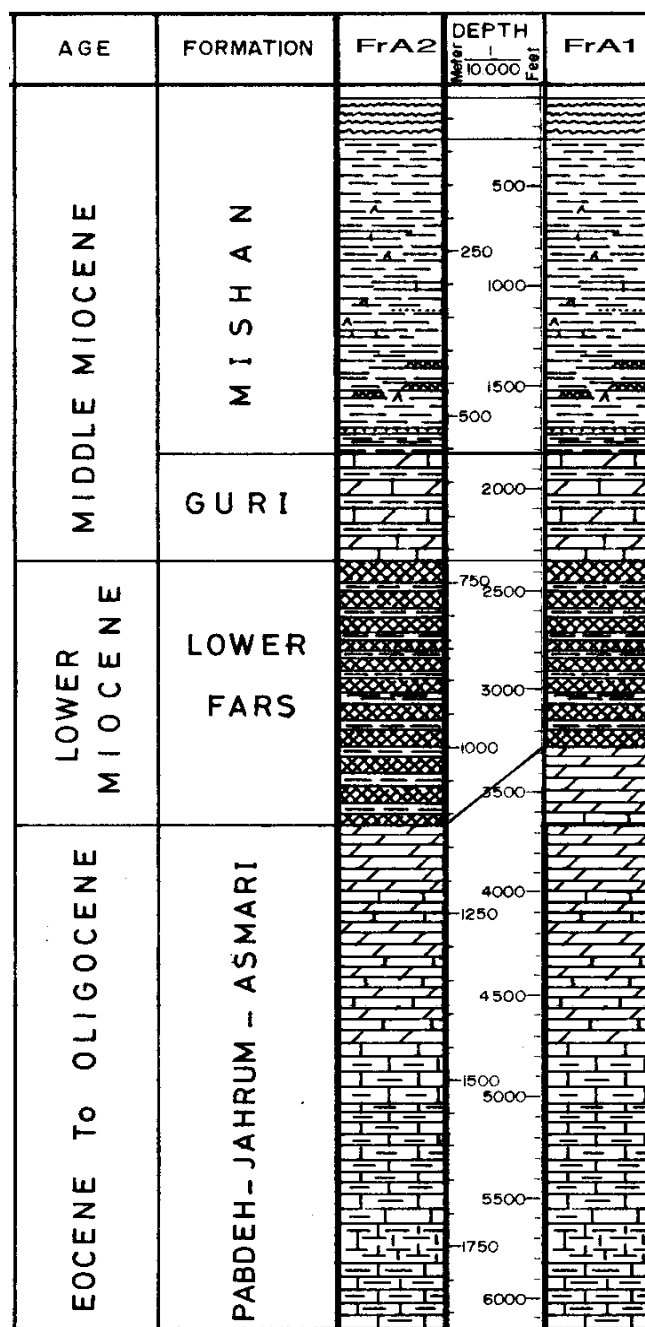
این چاه، سیزدهمین چاه اکتشافی حفاری شده در ناحیه دو توسط ساف ایران^۱ در سال ۱۹۷۴ است که در یال غربی میدان فارور A در ۲۶ کیلومتری شمال شرق چاه فارور B2 و ۴۱ کیلومتری جنوب شرق چاه کیش ۱ حفاری شده است (شکل ۱-۲).

هدف حفاری این چاه، احتمال وجود نفت در مخازن کرتاسه و ژوراسیک یعنی سازندهای ایلام، میشریف، داریان، فهلیان و سورمه بوده است. دو مخزن اولی در میادین سیری C و D و فاتح ، سه مخزن بعدی در میادین فاتح و ساسان در بردارنده نفت بوده اند (Iranian offshore oil company, 1974).

نتایج بررسی های شرکت نفت نشان داد که مخزن آسماری تنها مخزن گازی با تخلخل خوب و همگن

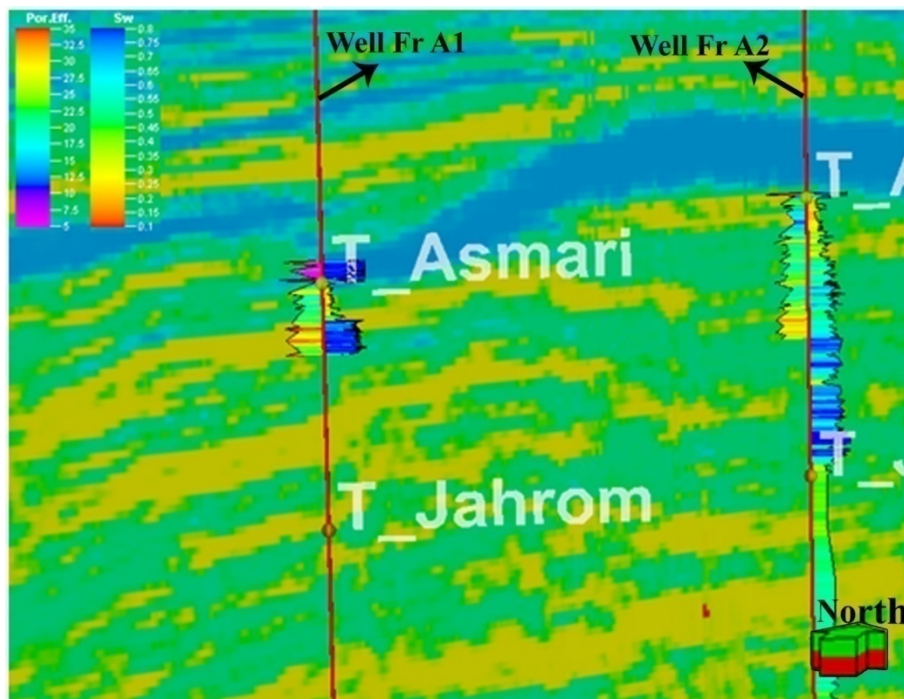
1. SAFIRAN

و تراوایی بسیار زیاد در این منطقه است و سطح تماس گاز و نفت در عمق ۳۹۴۵ فوتی قرار دارد ، بنابراین ستون گاز در مخزن آسماری چاه فارور A1، ۱۰۱ فوت ارزیابی شد. گاز این مخزن متان با چگالی (gr/cm^3) ۰/۲ و بدون مولفه های سنگین است (Iranian offshore oil company, 1974). شکل (۴-۲) ستون سنگ شناسی میدان فارور A را بر حسب دو چاه حفاری شده برای مخزن آسماری نشان می دهد.



شکل (۴-۲). ستون سنگ شناسی دو چاه حفر شده در میدان فارور A (Iranian offshore oil company, 1974).

سازند آسماری در مخزن مورد نظر از لحاظ سنگ شناسی آهک دولومیتی و دولومیت حفره دار با مقادیر نادر از شیل است. تخلخل متوسط این سازند ۲۵ درصد و تراوایی آن بسیار بالا است، اما بخاطر شرایط جوی نامساعد هنگام حفاری سازند آسماری هیچگونه داده مغزه از آن برداشته نشده است و چاه آزمایشی هم انجام نشده است. اشباع آب در منطقه گازی ۲۰ درصد است و مقاومت آب سازندی ۰/۰۲۲ اهم در دمای ۱۴۰ درجه فارنهایت مخزن است. از سطح تماس آب و گاز تا عمق ۴۰۰۰ فوتی، تخلخل متوسط سازند آسماری ۲۰ درصد و بعد از آن تا عمق ۴۶۰۰ فوتی در سازند جهرم که از لحاظ سنگ شناسی گچی است، تخلخل به حد پایینی می رسد و در ادامه، سازند پابده، آهک شیلی است. این چاه به علت مشکلات حفاری تا عمق ۱۹۸۰ متری (سازند گورپی) حفاری شده است. همانطور که در شکل (۲-۴) و شکل (۲-۵) می بینید، حفر این چاه بر روی گسل حاصل از گرابن گنبد نمکی باعث حذف قسمتی از سازند گچساران و تکرار سازند آسماری در محل حفاری فارور A1 شده است. نگار های بدست آمده از این چاه نیز متاثر از رفتار گسل بوده است بطوری که قابل تعمیم به کل مخزن نیست.



شکل (۲-۵). مقطع شبه تخلخل برای مقطع لرزه ای ۱۰۷۵ که پراکندگی تخلخل و گسل موجود در مخزن را نشان می دهد. نگار سمت راست اشباع آب و سمت چپ تخلخل است.

۲-۶ چاه فارور A2

چاه فارور A2 یک چاه اکتشافی است که در ناحیه دو توسط ساف ایران در سال ۱۹۷۴ حفاری شده است. این چاه در ۱/۸ کیلومتری شمال شرق فارور A1 و ۴۱ کیلومتری جنوب شرق کیش ۱ حفاری شده است (شکل ۲-۲ و شکل ۱-۲). به علت مشکلات حفاری در چاه فارور A1 که منجر به توقف حفاری در سازند گورپی شده بود، تصمیم به حفاری این چاه و بررسی احتمال نفت در سازند های کرتاسه ایلام، میشریف و داریان گرفته شد که هدف اصلی این بررسی، سازند میشریف بوده است. بررسی های شرکت نفت نشان داد که مخزن آسماری در چاه فارور A2 همانند چاه فارور A1 است. در این چاه ستون گاز ۹۰ متر است که از عمق ۱۱۲۶ متری شروع و تا عمق ۱۲۱۶ متری که سطح تماس گاز و آب است ادامه دارد و چاه نگاری ها موید این مطلب است که سازند های کرتاسه در این میدان از آب اشباع شده اند. اشباع گاز در مخزن آسماری و در ستون گاز از ۹۰ درصد تا ۳۰ درصد تغییر می کند. با توجه به محاسبات انجام گرفته شده قبلی و کنتورهایی که برای سازند آسماری کشیده شده است میزان گاز برجای در آن در شرایط مخزن ۱۸۰ میلیون متر مکعب است. فشار مخزن ۱۴۰ بار و میزان گاز قابل بازیافت ۲۵ میلیارد متر مکعب گاز در شرایط استاندارد است (Iranian offshore oil company, 1974). این چاه تمام اهداف خود را که شامل چهار مخزن آسماری، ایلام، میشریف و داریان بود حفاری کرده است و در عمق ۲۴۰۸ متری متوقف شده است. مخزن آسماری شامل گاز خشک و تنها متان اما با غلظتی حدود ۱۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ PPM هیدروژن سولفید است که بهره برداری از آن را دشوار می کند.

فصل سوم

اصول و مبانی روش های پردازش و مدل سازی

مورد استفاده شده در مطالعه

۳-۱ مقدمه

در این فصل با تئوری ها، اصول و قواعد اصلی روش های پردازش و مدل سازی بکار گرفته شده در این پایان نامه آشنا می شویم. بخش های مختلف این فصل طوری تنظیم شده است که ابتدا یک دید کلی از فرآیند مدل سازی و تعیین خصوصیات پتروفیزیکی را به ما می دهد و پس از آن به شرح اصول به کار رفته شده در مراحل مختلف انجام این مطالعه با حفظ ترتیب آنها پرداخته شده است.

۳-۲ تعیین خصوصیات پتروفیزیکی

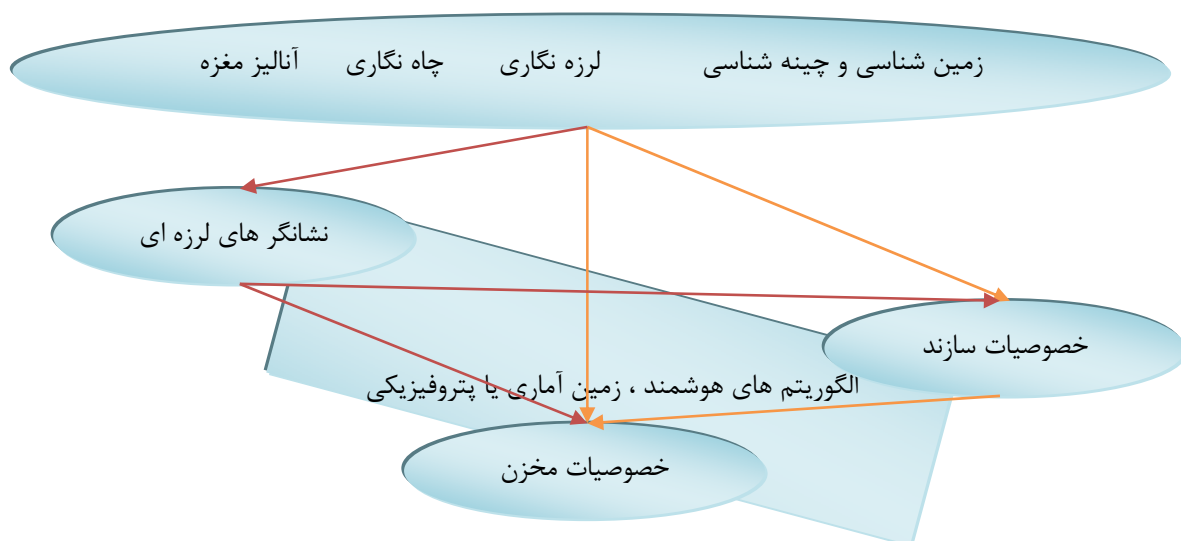
توصیف مخزن، کار بر روی داده ها است که هدف آن توسعه و ایجاد یک مدل دقیق با بهترین استفاده از داده های موجود می باشد. مشکلاتی از قبیل عدم قطعیت، غیر خطی بودن روابط مجهول بین انواع داده ها، حجم داده ها و حصول داده ها از روش ها و منابع متفاوت، لزوم بکار گیری دیگر روش های هوشمند و شبکه های عصبی را ضروری می سازد. تجربه نشان می دهد که بکارگیری این روش ها در صنعت نفت تا حد قابل توجهی مشکلات مذکور را مرتفع کرده و باعث موفقیت های زیادی شده است. میزان موفقیت در اکتشاف منابع نفت و گاز از ۳۰ درصد در دهه ۱۹۸۰ به ۴۰ درصد در دهه ۱۹۹۰ رسیده است و موفقیت حفاری های نفت و گاز از ۳۰ درصد در آغاز سال ۱۹۹۰ به ۴۷ درصد در سال ۱۹۹۶ رسیده است. در کل، این روش ها در کاهش میزان هزینه ها و کاهش ریسک اکتشاف و حفاری و بهره برداری بسیار مفید هستند و تاثیر بسزایی در تولید بهینه میزان نفت و گاز در چاه ها و طول عمر آنها دارند (Nikraves and Aminzadeh, 2001).

کاربرد های اخیر روش های هوشمند، ما را در پیدا کردن منابع جدید و مدیریت بهتر مخازن و بهینه سازی تولید تواناتر کرده است. این روش ها در تولید بهتر از مخازن با تراوایی های بسیار پایین مانند شیل های ترکدار و مخازن شکسته گازی و مخازنی که در زیر نمک ها و آبهای عمیق قرار دارند و منابع نفت و گاز آینده را شامل می شوند ارزش خود را به اثبات رسانده اند.

روش های هوشمندی مانند شبکه های عصبی و روش های فازی برای آنالیز داده ها و تفسیر ها قدرت بسیار زیادی دارند و یک نقطه عطف در زمینه های علم و مهندسی در تبدیل داده ها به اطلاعات و

اطلاعات به علم بشمار می روند. در صنایع نفت و گاز، این روش های هوشمند در آنالیز های عدم قطعیت و بررسی میزان ریسک و تفسیر و ... و استخراج اطلاعات از داده های مختلف مانند داده های لرزه ای سه بُعدی و داده های زمین شناسی و چاه نگاری و داده های تولید قابل استفاده هستند. علاوه بر این موارد، این روش ها می توانند یک ابزار مفید برای مشخص کردن مناطق نفت و گاز در میادین تولیدی باشند و ما را در تولید هر چه بهتر نفت و گاز باقی مانده یاری برسانند.

نیک روش^۱ و امین زاده^۲ (۲۰۰۱) واکاوی داده های مخزنی^۳ را با استفاده از نموداری که در شکل (۳-۱) مشاهده می شود نشان داده اند. این نمودار، مهمترین مولفه های ترکیب خصوصیات مخزنی را نشان می دهد. این محققین از طریق سه الگوریتم پتروفیزیکی، زمین آماری و هوشمند سعی نمودند تا خصوصیات مخزنی را از یک سری داده های دیگر مانند داده های لرزه ای بدست آورند.



شکل (۳-۱). طرح کلی واکاوی داده های مخزنی (Nikraves and Aminzadeh, 2001).

۳-۳ لرزه نگاری

۳-۳-۱ روش های لرزه ای

روش لرزه ای اکثراً به عنوان ابزاری برای اکتشاف منابع نفت و گاز استفاده می شوند. این روش بطور

-
1. Nikraves
 2. Aminzadeh
 3. Reservoir Data mining

معمول جهت استخراج اطلاعات ساختمانی زیر سطحی به کار می رود. تئوری پایه و اساسی لرزه ای بر اساس حرکت سیگنال ها در زیر سطح است. برداشت های لرزه ای عموماً به دو دسته زیر تقسیم می شوند (Gadallah, 1994):

۱. روش انکساری: این روش در پیدا کردن واحد های سنگ شناسی توسط سرعت صوت و همچنین در استخراج ساختار های زمین شناسی عمیق و رسوبات تبخیری و کربناته که دارای سرعت بالایی هستند مفید می باشد.
۲. روش انعکاسی: این روش نسبت به روش انکساری بیشتر استفاده می شود و در پیدا کردن سر سازند ها^۱ مفید می باشد.

۲-۲-۳ اصول لرزه ای

زمانی که انرژی لرزه ای که حاصل یک منبع انفجاری یا وایروسایز است به داخل زمین ارسال می شود، این انرژی به درون لایه های زمین منتشر می شود. اگر موج منتشر شده به یک سطح که میان دو لایه با سرعت ها مختلف قرار دارد برخورد کند، بخشی از انرژی توسط سطح منعکس می شود و باقی مانده آن از داخل لایه بعدی عبور می کند. به این وسیله موج لرزه ای به مولفه های مختلفی تجزیه می شود. میزان انرژی منعکس شده و عبور کرده توسط میزان اختلاف امپدانس صوتی دو سطح تعیین می شود. امپدانس صوتی (Z)، حاصل ضرب چگالی (ρ) و سرعت (V) سنگ است و معمولاً با سختی سنگ رابطه مستقیمی دارد.

اگر دامنه یک موج را با A_0 نشان دهیم زمانی که این موج به سطح میان دو لایه که اختلاف سرعت و چگالی دارند برخورد می کند، موج عبوری با دامنه A_1 به درون لایه دوم و در همان جهت عبور می کند و موج انعکاسی با دامنه A_2 به سمت منبع بازگشت می کند. ضریب انعکاسی R با نسبت دامنه موج انعکاس یافته به دامنه موج اولیه تعریف می شود و در اصطلاح، امپدانس صوتی برای یک برخورد عمود توسط معادله زوپریتز^۱ بصورت زیر تعریف می شود (Emre, 2005).

1. Formation Tops
2. Zeoppritz

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (1-3)$$

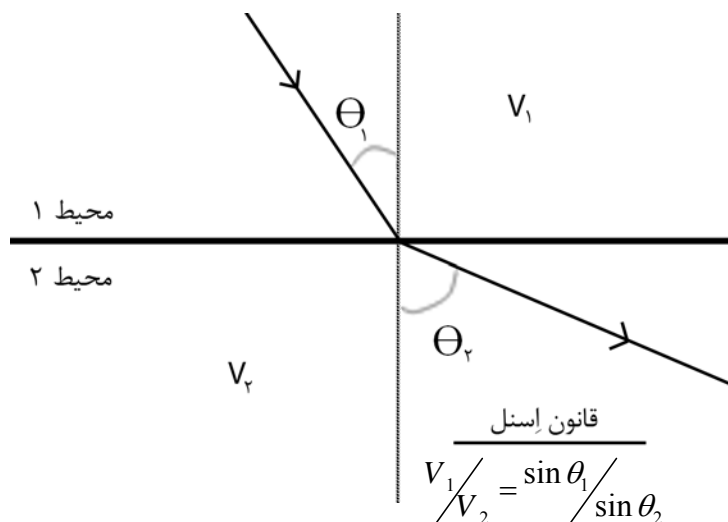
در این معادله Z_1 و Z_2 امپدانس های صوتی لایه های اول و دوم هستند . این معادله بر حسب سرعت و چگالی بصورت زیر نوشته می شود:

$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (2-3)$$

حال در صورتی که موج برخوردی به سطح لایه ها به صورت عمود نباشد، از قانون اسنل^۲ استفاده می کنیم. قانون اسنل به ارتباط بین سرعت و زاویه ای که موج قبل از انعکاس و بعد از عبور از لایه دوم می سازد می پردازد. پس از اینکه قسمتی از موج انعکاس پیدا کرد، مقدار باقی مانده با تغییر زاویه از داخل لایه دوم عبور می کند که به آن موج انکساری می گویند.

$$\frac{\sin \theta_1}{V_1} = \frac{\sin \theta_2}{V_2} \quad (3-3)$$

قانون اسنل ثابت بودن نسبت زاویه ها به سرعت را بیان می کند. قانون اسنل در شکل (۲-۳) نشان داده شده است (Emre, 2005).



شکل (۲-۳). قانون اسنل (Emre, 2005)

۳-۳-۳ نشانگر های لرزه ای

نشانگر های لرزه ای یک اندازه گیری هندسی، جنبشی و پویا یا یک ویژگی آماری که از داده های لرزه ای استخراج می شود بشمار می رود. به همین منوال، می توان آنها را به تمامی اطلاعاتی که از داده های لرزه ای استخراج نمود اطلاق کرد، خواه بصورت اندازه گیری مستقیم یا به وسیله یک دلیل منطقی یا تجربی باشد (Chen and Sidney, 1997).

برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ نشانگر های لرزه ای پیچیده مورد توجه قرار گرفتند. در آغاز به خاطر راحتی مشاهده آنها و بعد ها به خاطر استخراج آنها از دیگر داده های لرزه ای، به یک ابزار معتبر جهت توصیف مخازن تبدیل شدند. مطالعه و تفسیر نشانگر های لرزه ای به ما اطلاعات کیفی در بُعد هندسی و خصوصیات فیزیکی زیر سطحی را در اختیار ما می گذارند (Taner, 2001).

روش های مختلفی برای استخراج نشانگر های لرزه ای ابداع شده اند. این روش ها شامل تحلیل رد لرزه مختلط^۱، روش های آماری بازه ای^۲، اندازه گیری همبستگی^۳، آنالیز فوریه، آنالیز زمان - فرکانس، تبدیل موجک^۴، مولفه های اصلی^۵ و روش های تجربی مختلف می شوند (Barnes, 2001).

نشانگر های لرزه ای را می توان قبل یا بعد از برانبارش یا قبل یا بعد از مهاجرت محاسبه نمود. نشانگر های لرزه ای را می توان بر حسب نوع به موارد زیر تقسیم بندی کرد (Russell, 2004):

۱. نشانگر های لحظه ای^۶: این نشانگر ها از تلفیق رد لرزه ها و تبدیل هیلبرت^۷ به دست می آیند.

۲. نشانگر های فرکانسی پنجره ای^۸: این نشانگر ها حاصل محاسبه طیف دامنه در یک

-
1. Complex trace analysis
 2. Interval statistics
 3. Correlation measures
 4. Wavelet transforms
 5. Principal components
 6. instantaneous attributes
 7. Hilbert Transform
 8. Windowed frequency

محدوده مشخص فرکانس هستند.

۳. نشانگر های بازگشتی^۱: این نشانگر ها حاصل عملگر بازگشتی بر روی رد لرزه ها می باشند.

۴. نشانگر های میان گذر^۲: این نشانگر ها حاصل اعمال فیلتر میان گذر بر روی رد لرزه ها می باشند.

۵. نشانگرهای رد لرزه ای چندگانه^۳: این نشانگر ها حاصل اعمال یک عملگر بر روی چندین رد لرزه در داده های لرزه ای سه بُعدی می باشند.

۶. نشانگر های (Amplitude Versus Offset (AVO): این نشانگر ها از داده های لرزه ای برانبارش نشده به دست می آیند.

۷. نشانگر های Model-Base: این نشانگر ها از الهام گیری یک مدل اولیه برای مدل نهایی استخراج می شوند.

با توجه به کثرت نشانگر های لرزه ای، لیست نشانگر هایی که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است به اختصار در جدول (۱-۳) آورده شده است.

جدول (۱-۳). لیست نشانگر های لرزه ای استفاده شده در مطالعه حاضر.

شماره	نام نشانگر	توضیح
۱	Amplitude Envelope	به وسیله رد لرزه و تبدیل هیلبرت تعریف می شود.
۲	Amplitude Weighted Cosine Phase	حاصل ضرب دو نشانگر ۱ و ۷ است.
۳	Amplitude Weighted Frequency	حاصل ضرب دو نشانگر ۱ و ۱۷ است.
۴	Amplitude Weighted Phase	حاصل ضرب دو نشانگر ۱ و ۱۸ است.
۵	Average Frequency	میانگین طیف دامنه در اطراف یک زمان مشخص است.

1. Recursive
2. Band pass
3. Multi-trace

ادامه جدول (۳-۱).

۶	Apparent Polarity	از تعیین قطبیت یک لرزه نگاشت در جاهایی که نشانگر ۱ بیشینه است حاصل می گردد.
۷	Cosine Instantaneous Phase	کسینوس نشانگر ۱۸ است.
۸	Derivative	از مشتق گیری نسبت به نمونه های اطراف بر روی یک رد لرزه ایجاد می شود.
۹	Derivative Instantaneous Amplitude	مشتق نشانگر ۱ است.
۱۰	Dominant Frequency	از مقدار بیشینه طیف دامنه در اطراف یک زمان مشخص حاصل می شود.
۱۱	Filter 10 - 20	فیلتر میان گذر.
۱۲	Filter 20 - 30	فیلتر میان گذر.
۱۳	Filter 30 - 40	فیلتر میان گذر.
۱۴	Filter 40 - 50	فیلتر میان گذر.
۱۵	Filter 50 - 60	فیلتر میان گذر.
۱۶	Filter 60 - 70	فیلتر میان گذر.
۱۷	Instantaneous Frequency	مشتق زمانی نشانگر ۱۸ است.
۱۸	Instantaneous Phase	فاز یک رد لرزه پیچیده است که با رد لرزه و تبدیل هیلبرت تعریف می شود.
۱۹	Integrate	از انتگرال رد لرزه ورودی حاصل می شود.
۲۰	Integrated Absolute Amplitude	از انتگرال نشانگر ۱ حاصل می شود.
۲۱	Quadrature Trace	از ۹۰ درجه برگردان منفی فاز حاصل می شود.
۲۲	Second Derivative	از مشتق دوم بر روی رد لرزه ها حاصل می شود.
۲۳	Second Derivative Instantaneous Amplitude	از مشتق دوم بر روی نشانگر ۱ حاصل می شود.
۲۴	Time	زمان هر یک از نمونه ها بر روی رد لرزه.

ادامه جدول (۳-۱).

۲۵	X-Coordinate	طول جغرافیایی رد لرزه.
۲۶	Y-Coordinate	عرض جغرافیایی رد لرزه.

۳-۳-۴ معکوس سازی داده های لرزه ای برای امپدانس صوتی

یکی از اهداف اصلی لرزه نگاری انعکاسی، استخراج امپدانس صوتی بر حسب عمق از داده های لرزه ای است. این واقعیت که امپدانس صوتی از حاصل ضرب سرعت در چگالی به دست می آید بدیهی است. بنابراین معکوس سازی امپدانس صوتی به معنی برگرداندن داده های لرزه ای به نگار های شبه تخلخل برای هر رد لرزه می باشد.

دامنه های لرزه ای، خصوصیات سطوح بین لایه هایی که منعکس کننده اختلاف امپدانس صوتی بین دو لایه است می باشند. این تغییرات بصورت خاص برای ساختار های زیر سطحی و مشخص کردن لایه های حاوی هیدروکربور استفاده می شوند و زمانی که با داده های چاه نگاری ترکیب می شوند ابزار مناسبی برای بررسی رخساره ها هستند (Becquey et al., 1979). نگار های شبه امپدانس صوتی، خصوصیات سنگی هستند که تغییرات جانبی سنگ شناسی را که مهمترین خاصیت سنگ ها بشمار می روند و شامل تخلخل و سیالات داخل آنها می شود به ما می دهند.

زمانی که دامنه امواج لرزه ای به نگار های شبه امپدانس تبدیل می شود، کمبود فرکانس های بالا و پایین در داده های لرزه ای در مدل امپدانس صوتی نیز خود را نشان می دهند و این مشکلی است که در مدل های مرسوم دیده می شود (Aleman, 2004). معادله (۳-۴) را در نظر بگیرید.

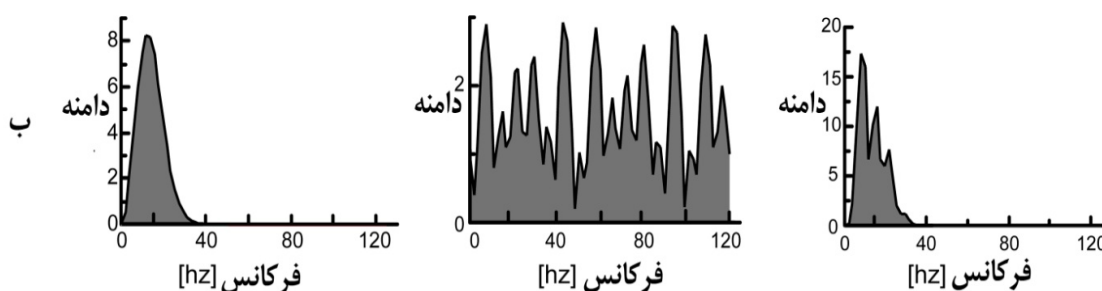
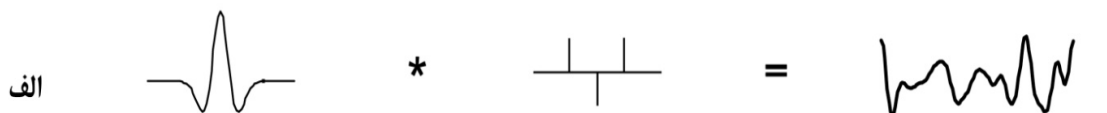
$$x(t) = r(t) * w(t) \quad (۳-۴)$$

که در آن $x(t)$ لرزه نگاشت و $r(t)$ تابع انعکاس و $w(t)$ موجک لرزه ای هستند و $*$ عملگر همامیخت^۱ می باشد. در این معادله $r(t)$ پهن باند^۲ است اما موجک لرزه ای اینطور نیست و فرکانسی بین ۱۰ تا ۵۰ هرتز دارد. بنابراین زمانی که همامیخت انجام می شود، لرزه نگاشت که

1. Convolutional operator
2. Broadband

خروجی حاصل آن است بصورت محدود باند^۱ خواهد بود که در شکل (۳-۳) آن را مشاهده می کنید. در نتیجه، اطلاعاتی خارج از این پهنای باند به راحتی قابل استخراج از لرزه نگاشت نیست و امپدانس صوتی استخراج شده نیز بصورت محدود باند خواهد بود و این امر بر حذف فرکانس های بالا و پایین دلالت دارد (Oldenburg et al., 1983).

برای تصحیح و ترمیم کیفیت و تفکیک پذیری مدل امپدانس صوتی محدود باند، باید فرکانس های پایینی که از آن حذف شده است را به آن اضافه کرد. این اطلاعات را می توان از اطلاعات سرعت برون راند انعکاسی^۲، داده های چاه نگاری و سرعت های مهاجرت زمانی به دست آورد و از این اطلاعات می توان جهت مشخص کردن سکانس های چینه ای بالا رونده تدریجی^۳، برگرداندن لایه های نازک به مدل و ... استفاده کرد. در این صورت یک مدل امپدانس صوتی خواهیم داشت که تمام اطلاعات لرزه ای و چاه نگاری را که توسط موجک ایجاد شده است در خود دارد. نگار های سرعت مصنوعی تاثیر بسزایی در چینه شناسی لرزه ای دارند، و این داده ها حین فرآیند معکوس سازی لرزه نگاشت ها

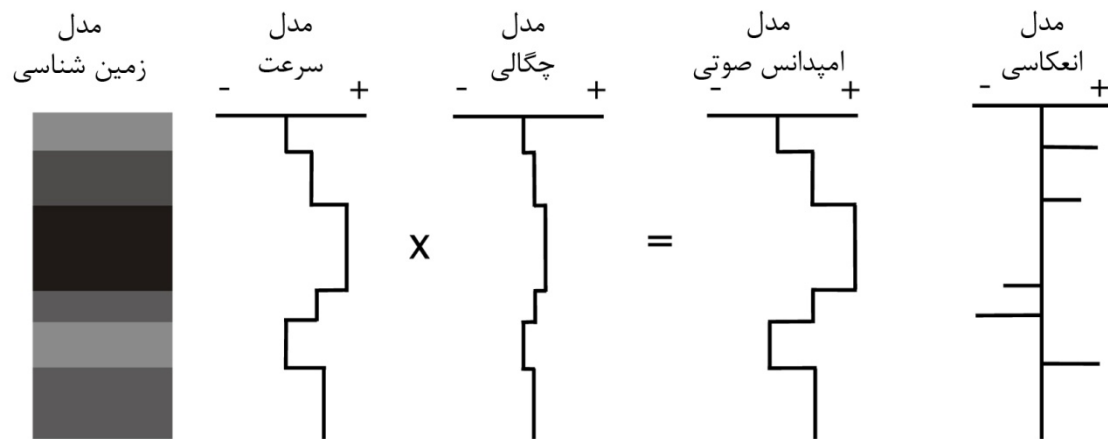


شکل (۳-۳). طرح کلی که بیانگر مدل هممیکت است. الف) مدلی که در آن از هممیکت موجک لرزه ای زمانی و سری انعکاسی، لرزه نگاشت ایجاد می شود. ب) طیف دامنه و فرکانس برای موجک، بازتاب دهنده ها و لرزه نگاشت (Aleman, 2004).

1. Band-limited
2. Reflection move out velocity
3. Gradational coarsening upward sequences

بدست می آیند و نگار های امپدانس صوتی و ضرایب انعکاسی از ضروریات این فرآیند می باشند. همانطور که قبلا بیان شد، امپدانس صوتی از حاصل ضرب سرعت در چگالی به دست می آید و ضرایب انعکاسی قسمتی از دامنه موج برخوردی به لایه ها هستند که به خاطر اختلاف امپدانس صوتی انعکاس می یابد.

معادله (۲-۳) که معادله ضریب انعکاس است هم می تواند مثبت و هم منفی باشد. اگر مقدار آن مثبت شود دلیل آن این است که امپدانس صوتی بین دو لایه افزایش می یابد و اگر منفی شد، کاهش امپدانس صوتی بین دو لایه اتفاق افتاده است. ضریب انعکاسی بین دو عدد +۱ و -۱ تغییر می کند و به تغییرات امپدانس صوتی وابسته است و امپدانس صوتی نیز تابع سرعت و چگالی می باشد. شکل (۳-۴) این تغییرات و وابستگی ها را نسبت به هم نشان می دهد. تغییرات شدید در سرعت، بازتاب دهنده های قوی ایجاد می کند اما تغییرات چگالی نیز به اندازه خود باعث تغییر در بازتاب دهنده ها می شود که کمتر به آن اشاره می شود (Hardage, 1987).



شکل (۳-۴). طرح کلی که ارتباط عوامل مختلف را با امپدانس صوتی و ضرایب انعکاسی نشان می دهد (Aleman, 2004).

در یک توالی چینه ای، ضرایب انعکاسی در هر یک از سطوح بر حسب تغییر در امپدانس صوتی ایجاد می شوند. این سطوح بر روی لرزه نگاشت ها، بازتاب دهنده نامیده می شوند و زمانی پدیدار می شوند که امپدانس صوتی تغییر کند و به اندازه ای باشد که توسط دستگاه های لرزه ای ثبت شوند. امپدانس

صوتی به اندازه کافی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته شده است و می توان اندازه بازتاب دهنده را به تغییرات امپدانس صوتی نسبت داد و اصل و بنیاد بازتاب دهنده را تشخیص داد (Badley, 1985). برخی از پیکربندی های سنگ شناسی نوع خاصی از بازتاب دهنده ها را بر روی لرزه نگاشت ایجاد می کنند و این امر به مهندسين اکتشاف در شناسایی آنها، کمک شایانی می کند. برای مثال، تغییرات امپدانس صوتی بین ماسه سنگ های اشباع از آب، اشباع از گاز و شیل ها زیاد است و بازتاب دهنده های قوی ایجاد می کنند. با این وجود، برخی اوقات هیچ تغییراتی در امپدانس صوتی بین مخازن ماسه سنگی و پوش سنگ های رسی دیده نمی شود و تشخیص بازتاب دهنده ها سخت است. مواردی وجود دارد که لایه های ضخیم مخازن ماسه سنگی دارای لایه های متعدد شیلی در میان خود است ولی هیچ بازتاب دهنده ای در این لایه ها دیده نمی شود اما اگر مخازن گازی باشند این لایه ها قابل مشاهده است (Badley, 1985).

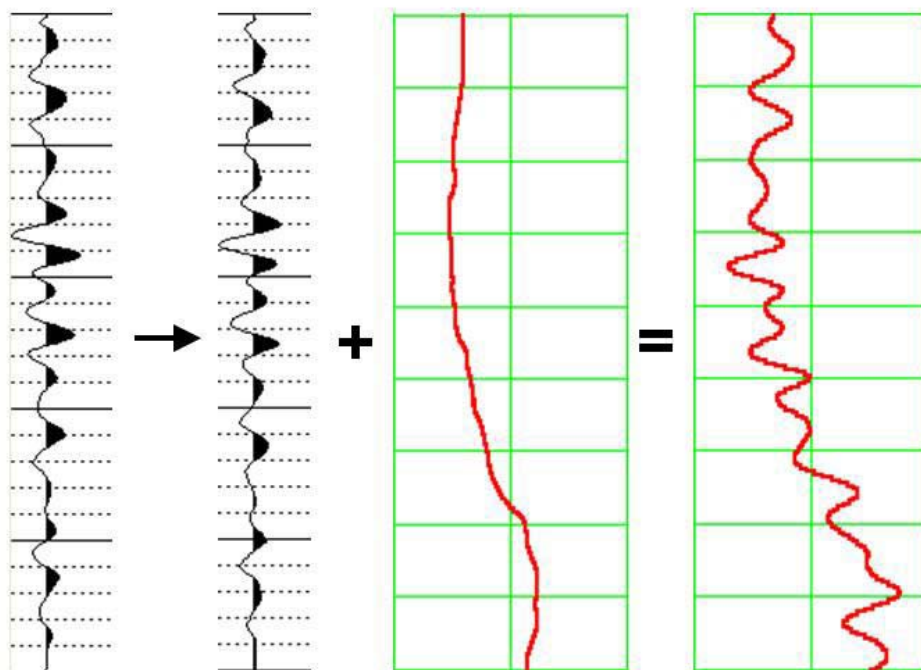
۳-۳-۵ بازیابی امپدانس صوتی

همانطور که در فصل یک اشاره شد، معکوس سازی امپدانس صوتی در دهه ۱۹۷۰ بوجود آمد و جایگزین رد لرزه های لرزه ای شد (Lindseth, 1979). با این وجود، بخاطر اینکه رد لرزه ها محدود باند بودند وقتی امپدانس صوتی از آنها استخراج می شد، آنها نیز بصورت محدود باند بودند. نبود اطلاعات فرکانس های بالا و فرکانس های پایین، جزئیات روند ها را از مدل های شبه امپدانس حذف می کردند. راه حل این مساله توسط لیندست^۱ در سال ۱۹۷۹ ارائه شد و فرکانس های پایین با استفاده از یک مدل استخراج شده از داده های چاه نگاری بازیابی شد. به این ترتیب که بعد از ایجاد یک مدل توسط داده های چاه نگاری، با استفاده از یک فیلتر پایین گذر یک مدل با فرکانس پایین ایجاد و به مدل شبه امپدانس اضافه می شد. شکل (۳-۵) این فرآیند را نشان می دهد.

الگوریتم های مختلفی برای تهیه امپدانس صوتی از داده های لرزه ای معرفی شده است که هر یک دارای مزیت ها و معایب خاص خود است.

1. Lindseth

زمانی که معکوس سازی محدود باند توسعه پیدا کرد روش های بسیاری برای معکوس سازی امیدانس صوتی مانند معکوس سازی Sparse-Spike توسط اولدنبرگ^۱ و همکاران در سال ۱۹۸۳ و Model-Base توسط همپسون و راسل^۲ در سال ۱۹۹۰ معرفی شدند که در ادامه به بررسی مختصر آنها می پردازیم.



شکل (۳-۵). معکوس سازی به روش لیندست. از چپ به راست، رد لرزه اولیه که با استفاده از معادله (۳-۴) رد لرزه دوم را ایجاد و با اضافه شدن فرکانس های پایین، نگار پایانی به دست می آید (Hampson and Russell, 1992).

الگوریتم بازگشتی یا معکوس سازی محدود باند^۳

خروجی الگوریتم بازگشتی، مدل امیدانس صوتی محدود باند است. در این روش رد لرزه ها، حاصل یک توالی امیدانس صوتی در نظر گرفته شده اند، بنابراین اولین امیدانس صوتی مطابق با اولین سطح مشترک است و برای محاسبه امیدانس صوتی سطح دوم امیدانس صوتی سطح اول لازم و ضروری است و سطح مشترک سوم به دوم و علی الاخر و دارای مزایا و معایب زیر است (Lindseth, 1979).

1. Oldenburg
2. Hampson and Russel
3. Recursive OR Band limited Inversion

مزایا:

- پایداری در برابر نوفه ها.
- کاهش زمان محاسبات و نتایج قابل قبول.

معایب:

- ناپایداری در برابر مقادیر زیاد ضرایب بازتابی.
- نادیده گرفتن موجک و لایه های نازک.

الگوریتم معکوس سازی اسپایک های پراکنده غیر مقید یا معکوس سازی رنگی^۱

روش معکوس سازی اسپایک های پراکنده غیر مقید شبیه روش معکوس سازی محدود باند است و یک عملگر به انطباق طیف دامنه داده های لرزه ای و امپدانس صوتی می پردازد و کاهش زمان محاسبات و سادگی انجام از مزیت های آن بشمار می رود (Hampson and Russell, 1990).

الگوریتم مدل پایه یا معکوس سازی خطی تعمیم یافته^۲

در روش الگوریتم مدل پایه تلاش بر این است، مدل اولیه ای که بوسیله لرزه نگاشت مصنوعی تهیه می شود در یک حد قابل قبول با داده های لرزه ای انطباق یابد. فرض را بر این می گیریم که موجک را داریم و با استفاده از آن لرزه نگاشت مصنوعی ایجاد می کنیم. لرزه نگاشت مصنوعی جهت ایجاد مدل اولیه استفاده می شود. با تلفیق این مدل و داده های لرزه ای، امپدانس صوتی پهن باند را خواهیم داشت (Hampson and Russell, 1990).

الگوریتم معکوس سازی اسپایک های پراکنده^۳

روش معکوس سازی اسپایک های پراکنده داده های لرزه ای را برای مدل سازی لایه های زمین با حداقل تعداد ضرایب انعکاسی استفاده می کند و دارای مزایای زیر است (Hampson and Russell, 1990).

1. Colored Inversion or Unconstrained Sparse-Spike Inversion
2. Generalized Linear Inversion or Model Based
3. Sparse-Spike Inversion

- نتایج زمین شناسی قابل قبول تری نسبت به روش بازگشتی دارد.
- کیفیت داده های لرزه ای تاثیر بسزایی در نتیجه ها دارند.
- نتیجه نهایی، امیدانس صوتی بصورت پهن باند خواهد بود.

الگوریتم شبکه های عصبی

در الگوریتم شبکه های عصبی با بکارگیری شبکه های عصبی، رد لرزه ها را به رد های امیدانسی تبدیل می کنیم. ابتدا با استفاده از مدل اولیه (خروجی حاصل تلفیق داده های چاه و افق های لرزه ای) و داده های لرزه ای در اطراف چاه ها، به آموزش شبکه می پردازیم و بعد از آن با استفاده از شبکه آموزش داده شده امیدانس صوتی پهن باند را در کل میدان محاسبه می کنیم.

۳-۳-۶ محاسبه امیدانس صوتی از روی داده های لرزه ای محدود باند

داده های لرزه ای همیشه بصورت محدود باند به دست می آیند. برتوسن^۱ و یورسین^۲ (۱۹۸۳) یک روش جهت ایجاد مدل امیدانس صوتی از روی داده های محدود باند ارائه دادند که به شرح آن می پردازیم. تعیین تابع بازتاب ها بصورت زیر تعریف می شوند:

$$\hat{r}(t) = \int_0^t r(t-u)p(u)du = r(t) * p(t) \quad (۵-۳)$$

که در آن $r(t)$ تابع بازتاب، $p(t)$ یک پالس لرزه ای محدود باند و $\hat{r}(t)$ تابع تخمین بازتاب است و با استفاده از معادله زیر امیدانس صوتی ($\hat{\xi}(t)$) قابل دستیابی است.

$$\hat{\xi}(t) = \xi(0)e^{2\int_0^t \hat{r}(u)du} \quad (۶-۳)$$

$$\hat{\xi}(t) \approx \xi(0)[1 + 2\int_0^t \hat{r}(u)du] \quad (۷-۳)$$

بسط تیلور برای معادله (۷-۳) اگر و تنها اگر در صورتی که مقدار انتگرال کمتر از ۰/۵ باشد قابل استفاده است (Berteussen and Ursin, 1983). می توان معادله (۷-۳) را بصورت همامیخت $\hat{r}(t)$ بر

1. Berteussen
2. Ursin

تابع پله ای $n(t)$ در نظر گرفت.

$$n(t) = \begin{cases} 1 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (۸-۳)$$

بالاخره از معادله (۳-۵) جهت محاسبه انتگرال پالس لرزه ای استفاده می کنیم.

$$v(t) = p(t) * n(t) = \int_0^t p(u) du \quad (۹-۳)$$

برتوسن و یورسین (۱۹۸۳) نشان دادند که امپدانس صوتی تخمین زده شده منهای امپدانس صوتی که از لایه بالایی به دست می آید تقریباً مساوی دو برابر امپدانس صوتی لایه بالایی ضربدر همامیخت تابع بازتاب و انتگرال پالس لرزه ای است.

معمولاً امپدانس صوتی حاصل از داده های لرزه ای محدود باند نتیجه همامیخت بین امپدانس لرزه ای واقعی و پالس لرزه ای است.

$$\hat{\xi}(t) - \xi(0) \approx [\xi(t) - \xi(0)n(t)] * p(t) \quad (۱۰-۳)$$

همانطور که می دانیم داده های لرزه ای بصورت ناپیوسته ثبت می شوند بنابراین تخمین ضرایب بازتاب بصورت زیر محاسبه می شود.

$$\hat{r}_k = r_k * p_k = \sum_{j=-M}^M c_k - j p_j \quad (۱۱-۳)$$

که در آن p_k یک پالس لرزه ای محدود باند با فاز صفر است. بنابراین امپدانس صوتی تخمین زده شده برای داده های ناپیوسته بصورت زیر است.

$$\hat{\xi}_{k+1} - \xi_1 \approx 2\xi_1 \sum_{j=1}^k \hat{r}_j = 2\xi_1 c_k * v_k \quad (۱۲-۳)$$

که در آن v_k بیانگر انتگرال پالس لرزه ای است.

$$v_k = \sum_{j=-M}^k p_j \quad (۱۳-۳)$$

و این معادله در صورتی قابل قبول است که قدر مطلق مجموع ضرایب تخمینی انعکاسی \hat{r}_j کمتر از

۰/۵ باشد.

معادله زیر یک تخمین ناپیوسته امیدانس صوتی را زمانی که مجموع ضرایب بازتابی و ضرایب تخمینی برای همه لایه ها خیلی کمتر از ۰/۵ باشد نشان می دهد (Berteussen and Ursin, 1983).

$$\hat{\xi}_{k+1} - \xi_1 \approx \xi_{k+1} * p_k - \xi_1 v_k \quad (14-3)$$

۳-۴ نگار های مورد استفاده

در این مطالعه نگار های صوتی، چگالی، تخلخل، مقاومت القایی عمیق، مقاومت جانبی عمیق و VSP^۱ یا چک شات^۲ مورد استفاده قرار گرفته است به همین دلیل شرح مختصر آنها در پیوست الف می آید.

۳-۵ محاسبه اشباع آب از روی نگار های چاه

اشباع آب بخشی از فضای خالی سنگ مخزن است که توسط آب پر شده است، فضای خالی سنگ مخزن از سه سیال آب و نفت و گاز پر شده است و با داشتن اشباع آب که بین صفر و یک تغییر می کند می توان اشباع هیدروکربور را به دست آورد. محاسبه اشباع آب و هیدروکربور یکی از اهداف اولیه چاه نگاری است. اگر بخواهیم از روی نگار مقاومت الکتریکی اشباع آب را در یک سازند که عاری از مواد رسی و با تخلخل بین دانه ای همگن است تعیین کنیم از معادله آرچی به شرح ذیل استفاده می کنیم (Ellis and Singer, 2007).

$$F = R_o / R_w \quad (15-3)$$

که در آن F ، ضریب مقاوت سازندی و R_o ، مقاوت ویژه سنگ تمیز کاملاً اشباع از آب و R_w ، مقاوت ویژه الکتریکی آب سازند است. ضریب مقاوت سازندی با تخلخل بصورت زیر مرتبط می شود:

$$F = m / \phi^a \quad (16-3)$$

که در آن ϕ ، تخلخل، a به لیتولوژی و جنس سنگ بستگی دارد و m ، بعنوان ضریب سیمان شدگی

1. Vertical Seismic Profiling
2. Check Shot

توصیف کننده نوع سیمان شدگی است. ارتباط بین اشباع آب و مقاومت ویژه سازند به شرح زیر است:

$$S_w^n = R_o / R_t \quad (17-3)$$

که در آن S_w ، اشباع آب، n ، توان اشباعی و R_t ، مقاومت ویژه سنگ زمانی که اشباع آب کمتر از یک است می باشد. ترکیب روابط بالا معادله آرچی را برای محاسبه اشباع شدگی آب که یکی از ابتدایی ترین معادله ها در بحث چاه نگاری است به ما می دهد.

$$S_w^n = \frac{aR_w}{\phi^m R_t} = F \frac{R_w}{R_t} \quad (18-3)$$

فرم عمومی و کاربردی این معادله که برای محاسبه اشباع آب استفاده می شود (با فرض $n=2$) بصورت زیر است (Ellis and Singer, 2007).

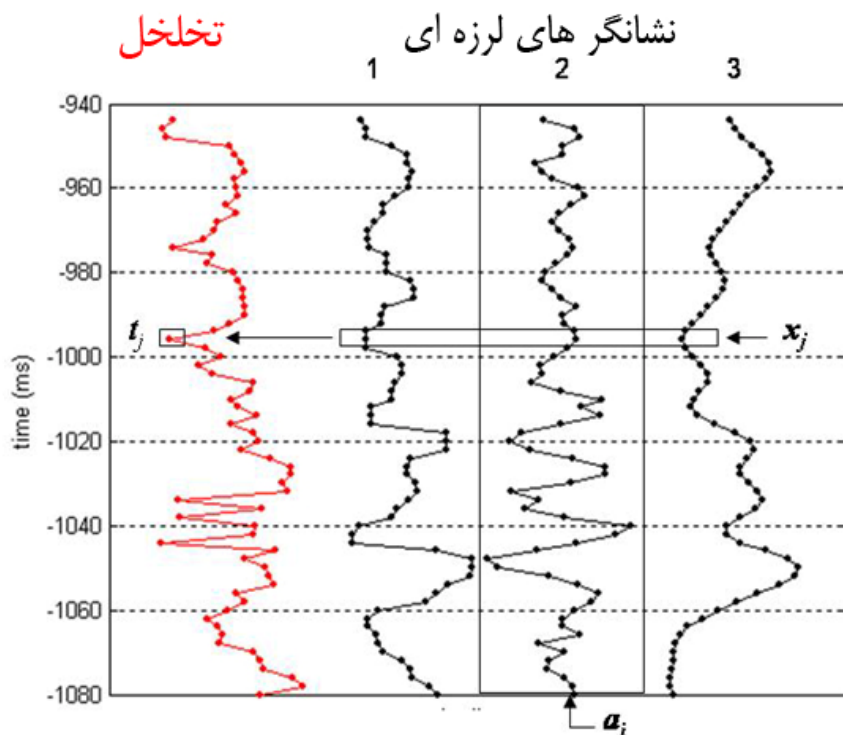
$$S_w = \sqrt{\frac{0.62 \times R_w}{\phi^{2.15} \times R_t}} \quad (19-3)$$

۳-۶ رگرسیون چندگانه خطی

در این بخش به شرح بهینه ترین روش ترکیب خطی نشانگرها جهت تخمین خصوصیات مخزنی می پردازیم.

رگرسیون چندگانه خطی که یک جواب کلی از بهترین خط منطبق شده به خط مستقیم است، در این مطالعه برای برآورد نگار سرعت در یک چاه از سایر نگارها و یافتن و تلفیق بهترین نشانگرهای لرزه ای برای تخمین خصوصیات مخزن استفاده شده است (Hampson et al., 2001).

در شکل (۳-۶) که یک نگار تخلخل در سمت چپ و سه نشانگر لرزه ای در سمت راست نشان داده شده است، هدف ترکیب بهینه این نشانگرها برای تخمین نگار تخلخل است. حال ما یک نگار هدف t و M نشانگر لرزه ای a_i که هر یک از آنها دارای N نمونه است داریم. به طور معمول تعداد نمونه ها از تعداد نشانگرهای لرزه ای بیشتر است، بنابراین زمانی که $M \ll N$ است، مانند شکل (۳-۶) که از سه نشانگر لرزه ای و ۶۹ نمونه تشکیل شده است.



شکل (۳-۶). نگار تخلخل به عنوان هدف در سمت چپ و سه نشانه‌گر لرزه ای به عنوان ورودی یا متغیر های مستقل در سمت راست، که برای رگرسیون چندگانه خطی استفاده شده اند (Russell, 2004).

ما یک فرمول خطی ابتدایی را برای تخمین تخلخل بصورت زیر می نویسیم.

$$t = w_0 a_0 + w_1 a_1 + \dots + w_M a_M \quad (۳-۲۰)$$

که در آن $t^T = [t_1 \ t_2 \ \dots \ t_N]$ و $a_i^T = [a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{iN}]$ است. بردار نشانه‌گر لرزه ای صفر بصورت $a_0^T = [1 \ 1 \ \dots \ 1]$ نوشته می شود. در رابطه فوق T علامت ترانهاده ماتریس است.

رابطه (۳-۲۰) را می توان بصورت فشرده شده زیر نوشت (Johnson and Wichern, 1998).

$$t = A w \quad (۳-۲۱)$$

که در آن

$$w = \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ \vdots \\ w_M \end{bmatrix} \text{ و } A = \begin{bmatrix} 1 & a_{11} & \dots & a_{1M} \\ 1 & a_{21} & \dots & a_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & a_{N1} & \dots & a_{NM} \end{bmatrix}$$

در ادامه به حل موردی رگرسیون چندگانه خطی می پردازیم. برای شروع معادله (۳-۲۰) را بصورت زیر می نویسیم.

$$t = w_0 + Aw \quad (۳-۲۲)$$

و $w^T = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_M]$ و $A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_M]$ است بنابراین وزن ها را می توان بصورت زیر نوشت.

$$w = \sum^{-1} \sigma_{At} \quad (۳-۲۳)$$

و

$$w_0 = \mu_t - w^T \mu_A \quad (۳-۲۴)$$

که در آن σ کواریانس، μ_t و μ_A میانگین متغیرهای وابسته و مستقل است و σ_{At} و μ_A و μ_t و وارون ماتریس کواریانس (\sum^{-1}) بصورت زیر است.

$$\sigma_{At} = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1 t} \\ \sigma_{a_2 t} \\ \vdots \\ \sigma_{a_M t} \end{bmatrix}, \quad \mu_A = \begin{bmatrix} \mu_{a_1} \\ \mu_{a_2} \\ \vdots \\ \mu_{a_M} \end{bmatrix}, \quad \sum^{-1} = \frac{1}{\sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}^2} \begin{bmatrix} \sigma_{22} & -\sigma_{12} \\ \sigma_{12} & -\sigma_{11} \end{bmatrix}$$

حال به حل این مساله زمانی که $M = 2$ است می پردازیم، بنابراین معادله رگرسیونی ما به شکل زیر خواهد بود.

$$t = w_0 + w_1 a_1 + w_2 a_2 \quad (۳-۲۵)$$

از معادله (۳-۲۳) دو جمله دوم آن بصورت:

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1 a_1} & \sigma_{a_1 a_2} \\ \sigma_{a_1 a_2} & \sigma_{a_2 a_2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{a_1 t} \\ \sigma_{a_2 t} \end{bmatrix} = \frac{1}{\sigma_{a_1 a_1} \sigma_{a_2 a_2} - \sigma_{a_1 a_2}^2} \begin{bmatrix} \sigma_{a_2 a_2} \sigma_{a_1 t} - \sigma_{a_1 a_2} \sigma_{a_2 t} \\ \sigma_{a_1 a_1} \sigma_{a_2 t} - \sigma_{a_1 a_2} \sigma_{a_1 t} \end{bmatrix}$$

و جمله اول آن بصورت زیر خواهد بود.

$$w_0 = \mu_y - [w_1 \ w_2] \begin{bmatrix} \mu_{a_1} \\ \mu_{a_2} \end{bmatrix} = \mu_t - (w_1 \mu_{a_1} + w_2 \mu_{a_2}) \quad (۳-۲۶)$$

زمانی که a_1 و a_2 مستقل از هم باشند، مقادیر وزن ها بصورت زیر است.

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1 a_1} & 0 \\ 0 & \sigma_{a_2 a_2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sigma_{a_1 t} \\ \sigma_{a_2 t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sigma_{a_1 t}}{\sigma_{a_1 a_1}} \\ \frac{\sigma_{a_2 t}}{\sigma_{a_2 a_2}} \end{bmatrix} \quad (27-3)$$

به عبارت دیگر وزن ها بوسیله تقسیم کوواریانس نشانگر های لرزه ای با تخلخل بر کوواریانس نشانگر های لرزه ای به دست می آیند (Russell, 2004).

۷-۳ یافتن بهترین نشانگر های لرزه ای جهت تخمین خصوصیات مخزنی

همانطور که قبلا بحث شد، نشانگر های زیادی برای تخمین خصوصیات مخزنی قابل استفاده است. اما چه تعداد از این نشانگر ها را می توان برای تخمین خصوصیات مخزنی استفاده کرد؟ با توجه به اینکه افزایش تعداد نشانگر ها، علی رغم افزایش همبستگی بین داده های تخمین زده شده و واقعی از یک حدی به بعد باعث بیش برآزش^۱ در شبکه تحت آموزش می شود و افزایش خطا در تخمین از نتایج آن خواهد بود (Hampson et al., 2001). بنابراین روشی که با آن بتوان تعداد بهینه این نشانگر ها را مشخص کرد مفید خواهد بود که در ادامه به بررسی آن می پردازیم.

۱-۷-۳ رگرسیون مرحله ای^۲

یکی از روش های مفید جهت پیدا کردن بهینه نشانگر های لرزه ای رگرسیون مرحله ای است که توسط ماسترس^۳ در سال ۱۹۹۵ معرفی شد و شامل مراحل زیر می شود:

۱. پیدا کردن بهترین نشانگر لرزه ای با روش جستجوی جامع^۴ از روی همه نشانگر ها. معادله

زیر میانگین مجموع مربعات خطا بین مقادیر تخمین زده شده و مقادیر واقعی را به ما می

دهد، نشانگری که کمترین میانگین مجموع مربعات خطا را داشته باشد اولین نشانگر انتخابی

خواهد بود ($M = 1$).

-
1. Over fitting
 2. Stepwise regression
 3. Masters
 4. Exhaustive Search

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - w_0 - w_1 a_{i1} - \dots - w_M a_{iM})^2 \quad (28-3)$$

۱. پیدا کردن بهترین جفت نشانگر از بین تمام نشانگرها با ترکیب نشانگری که در مرحله قبل

انتخاب شد و یکی دیگر از نشانگرها. در این مرحله نیز از معادله (۲۸-۳) برای بهترین جفت

نشانگر با حداقل میانگین مجموع مربعات خطا استفاده می‌کنیم ($M = 2$).

۲. پیدا کردن بهترین سه نشانگر، در این مرحله از جفت نشانگر مرحله قبل و یک نشانگر دیگر

برای تخمین استفاده می‌کنیم و نشانگری که کمترین میانگین مجموع مربعات خطا را داشته

باشد، نشانگر انتخابی سوم خواهد بود.

۳. تکرار فرآیند تا جایی که مورد علاقه است.

رگرسیون مرحله ای روشی موثر در پیدا کردن بهترین نشانگرها است. اما تعداد بهینه این نشانگرها

را نمی‌دهد و دارای محدودیتی در افزایش تعداد نشانگرها نیست و از یک حد به بعد افزایش تعداد

نشانگرها باعث بیش برآزش خواهد شد (Russell, 2004). در ادامه روشی ارائه خواهد شد که این

نقص را رفع می‌کند و تعداد بهینه نشانگرها را به ما می‌دهد.

۳-۷-۲ اعتبارسنجی متقابل^۱

رگرسیون مرحله ای، مجموعه افزایشی از نشانگرها را آنچنان که باعث کاهش خطا در داده‌های

آموزش می‌شود به ما می‌دهد، اما این افزایش نشانگرها تا چه زمانی ادامه داشته باشد؟ این امر

توسط روشی که اعتبارسنجی متقابل نام دارد صورت می‌پذیرد و به اینصورت است که نمونه ای را از

کل نمونه‌هایی که برای آموزش شبکه استفاده می‌شود کنار می‌گذاریم و شبکه را آموزش می‌دهیم،

سپس از روی شبکه آموزش داده شده مقادیر نمونه کنار گذاشته شده را تخمین می‌زنیم و مجموع

مربعات خطای آن را با استفاده از معادله (۲۸-۳) حساب می‌کنیم. حال نمونه کنار گذاشته شده را به

مجموعه بازگردانده و یک نمونه دیگر انتخاب می‌کنیم و مجموع مربعات خطا را برای آن حساب

1. Cross-validation

می کنیم. این کار را برای تمام نمونه ها تکرار کرده و در انتها میانگین تمام مجموع مربعات خطا را اندازه می گیریم که به آن خطای اعتبار سنجی گفته می شود. خطای اعتبار سنجی را برای هر یک از مراحل رگرسیونی حساب می کنیم و آنجایی که این خطا افزایش می یابد زمانی است که فرآیند رگرسیون مرحله ای را متوقف می کنیم. در بحث مطالعات نفتی هر یک از نمونه ها، نشانگرها و نگار مورد بررسی در یک چاه نسبت به کل چاه ها می تواند باشد، این امر هم منطقی تر و هم باعث افزایش سرعت می شود (Russell, 2004).

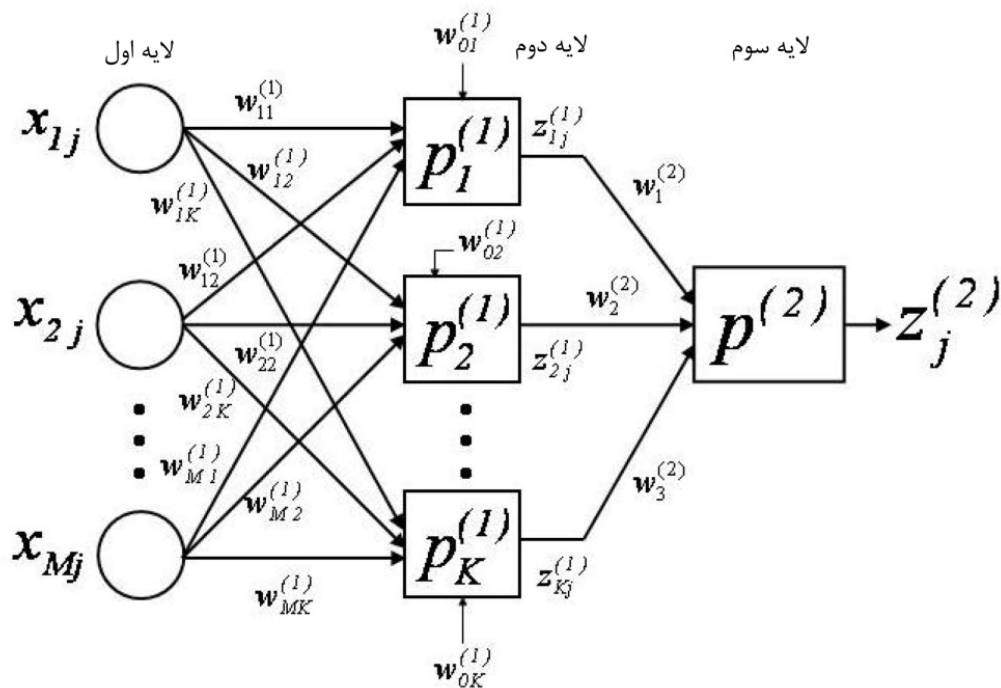
۳-۸ شبکه های عصبی مصنوعی

هدف اصلی این روش طراحی مدلی ریاضی از روی مسائل زیستی است بطوریکه خصوصیات و ساختار های شبکه های زیستی را به منظور ایجاد یک سیستم هوشمند پردازش اطلاعات تقلید کند. اولین مدل ریاضی در سال ۱۹۴۳ توسط مک کولوچ^۱ و پیتز^۲ و همکاران معرفی شد. یک شبکه عصبی انطباقی^۳ یک ساختار شبکه ای است که شامل یک سری گره های^۴ جهت دار متصل به هم می شود و به این خاطر به آنها انطباقی گفته می شود که خروجی این گره ها به یک پارامتر تغییرپذیر وابسته است. شبکه های عصبی با الگوریتم ها و ساختار های مختلف وجود دارند که در ادامه به بررسی برخی از آنها می پردازیم.

۳-۸-۱ شبکه عصبی چند لایه پیش خور^۵

این شبکه یک ساختار کلاسیک از شبکه های عصبی است و به پرسپترون چند لایه (MLP^6) ارجاع داده می شود. شکل (۳-۷) بیانگر یک MLP با M ورودی و K پرسپترون است، لایه اول بیانگر لایه ورودی است و لایه دوم به عنوان لایه مخفی شناخته می شود و لایه آخر لایه خروجی ها است. تعداد لایه های مخفی قابل افزایش است.

-
1. McCulloch
 2. Pitts
 3. Adaptive
 4. Node
 5. Multi-layer Feed Forward Neural Network (MLFN)
 6. Multi-Layer Perceptron



شکل (۳-۷). ساختار یک شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) با M ورودی و K پرسپترون و یک خروجی (Russell, 2004).

برای تخمین خصوصیات مخزن با استفاده از MLP، لایه ورودی یک بردار برای M نشانگر واحد زمان یا عمق است. در آن $K_j^T = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{Mj}]$ ، $j = 1, \dots, N$ بیانگر تعداد نمونه های لرزه ای در

با در نظر گرفتن i به عنوان شماره نشانگر و k به عنوان شماره پرسپترون و q به عنوان شماره لایه، وزن ها را بصورت $w_{ik}^{(q)}$ نشان می دهیم.

در یک MLP تک لایه که هر پرسپترون شامل مجموعه ای از وزن ها و یک تابع جمع و یک تابع غیر خطی است، خروجی حاصل از وزن ها و مجموع در لایه اول بصورت زیر نوشته می شود (Russell, 2004).

$$y_{kj}^{(1)} = \sum_{i=0}^M w_{ki}^{(1)} x_{ij}, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (3-29)$$

در معادله (۳-۲۹) بایس $x_{0j} = 1$ است. این معادله بصورت فرم ماتریسی و برداری بصورت زیر است.

1. Bias

$$y_{kj}^{(1)} = W^{(1)T} x_j \quad (30-3)$$

که در آن $y_j^{(1)}$ و x_j و $W^{(1)T}$ بصورت زیر است.

$$y_j^{(1)} = \begin{bmatrix} y_{1j}^{(1)} \\ y_{2j}^{(1)} \\ \vdots \\ y_{kj}^{(1)} \end{bmatrix}, x_j = \begin{bmatrix} 1 \\ x_{1j} \\ \vdots \\ x_{2j} \end{bmatrix}, W^{(1)T} = \begin{bmatrix} w_{10}^{(1)} & w_{20}^{(1)} & \dots & w_{M0}^{(1)} \\ w_{11}^{(1)} & w_{21}^{(1)} & \dots & w_{M1}^{(1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1k}^{(1)} & w_{2k}^{(1)} & \dots & w_{Mk}^{(1)} \end{bmatrix}$$

باید توجه داشت که در دو معادله (3-29) و (3-30) وزن های صفر نرون جدیدی را ایجاد نمی کنند، تابع غیر خطی را می توان بصورت زیر نوشت.

$$z_{kj}^{(1)} = f(y_{kj}^{(1)}) \quad (31-3)$$

شکل برداری آن بصورت زیر است.

$$z_j^{(1)} = f(y_j^{(1)}) \quad (32-3)$$

خروجی لایه اول در لایه دوم تغذیه می شود و دوباره از بایس استفاده می کنیم. خروجی لایه دوم دارای $K + 1$ وزن خواهد بود که بصورت زیر نوشته می شود.

$$y_j^{(2)} = \sum_{k=0}^K w_{kj}^{(2)} z_{kj}^{(1)} = w_j^{(2)T} z_j^{(1)}, j = 1, 2, \dots, N \quad (33-3)$$

بنابراین خروجی لایه دوم را می توان بصورت زیر نوشت.

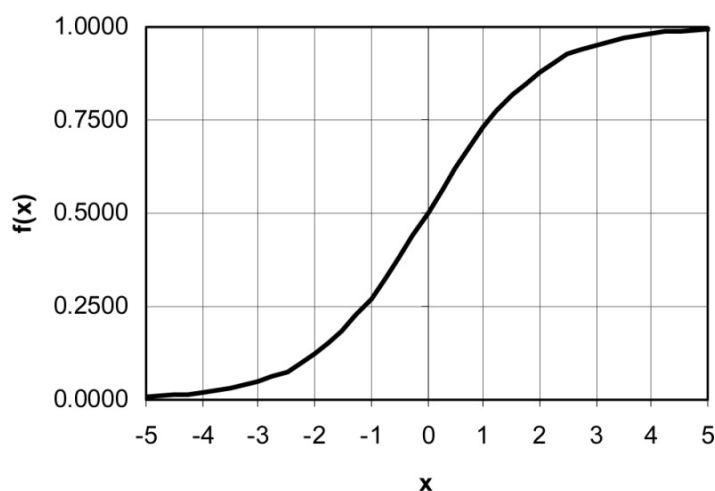
$$z_j^{(2)} = f^{(2)}(y_j^{(2)}) \quad (34-3)$$

از ترکیب معادلات بالا، با توجه به اینکه یک MLP با دو لایه پرسپترونی در شکل (3-7) نشان داده شده است، می توان خروجی را بصورت زیر نوشت.

$$z_j^{(2)} = f^{(2)}(W^{(2)T} f^{(1)}(W^{(1)T} x_j)) \quad (34-3)$$

تابع استفاده شده در MLP تابع لوجیستیک^۱ است که معادله آن در زیر آورده شده و در شکل (3-8) نشان داده شده است.

$$f(x) = \text{logist}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (35-3)$$



شکل (۳-۸). شکل تابع لوجیستیک (Russell, 2004).

مقادیر تابع لوجیستیک بین صفر و یک است، دو تابع دیگر که در شبکه های عصبی معمولاً استفاده می شود، توابع تانژانت هایپربولیک^۲ و پله ای هستند که مقادیر آنها بین مثبت یک و منهای یک تغییر می کند. ارتباط تابع تانژانت هایپربولیک با تابع لوجیستیک بصورت زیر است (Russell, 2004).

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)} = 2\text{logist}(x) - 1 \quad (3-36)$$

در انتها با اعمال تمام ورودی ها به شبکه MLP معادله (۳-۳۰) به شکل ماتریسی بصورت زیر نوشته خواهد شد (Russell, 2004).

$$Y^{(1)} = W^{(1)T} X \quad (3-37)$$

که در آن

$$Y^{(1)} = [y_1^{(1)} \quad y_2^{(1)} \quad \dots \quad y_N^{(1)}] = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1N} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{K1} & y_{K2} & \dots & y_{KN} \end{bmatrix}$$

1. Logistic
2. Hyperbolic tangent function

$$X = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{MN} \end{bmatrix}$$

۳-۸-۲ شبکه عصبی احتمالی^۱

شبکه عصبی احتمالی یا PNN که یک شبکه عصبی بر پایه پنجره پارزن^۲ است توسط اسپچت^۳ در سال ۱۹۹۰ معرفی شد. داده های استفاده شده برای آموزش این شبکه شامل N نمونه t_i که خصوصیات مخزنی گرفته شده از نگارهای تخلخل، اشباع آب و ... است می شود. هر یک از این نمونه ها وابسته به یک بردار که شامل M نشانگر لرزه ای است، می شود. حال با توجه به شکل (۳-۹) و (۳-۱۰) با در نظر گرفتن $s_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iM})^T, i = 1, 2, \dots, N$ به عنوان بردار نشانگر های لرزه ای و t_i به عنوان خروجی که از خصوصیات پتروفیزیکی مخزن است، معادله آن بصورت زیر نوشته خواهد شد.

$$y(s_i) = t_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (۳-۳۸)$$

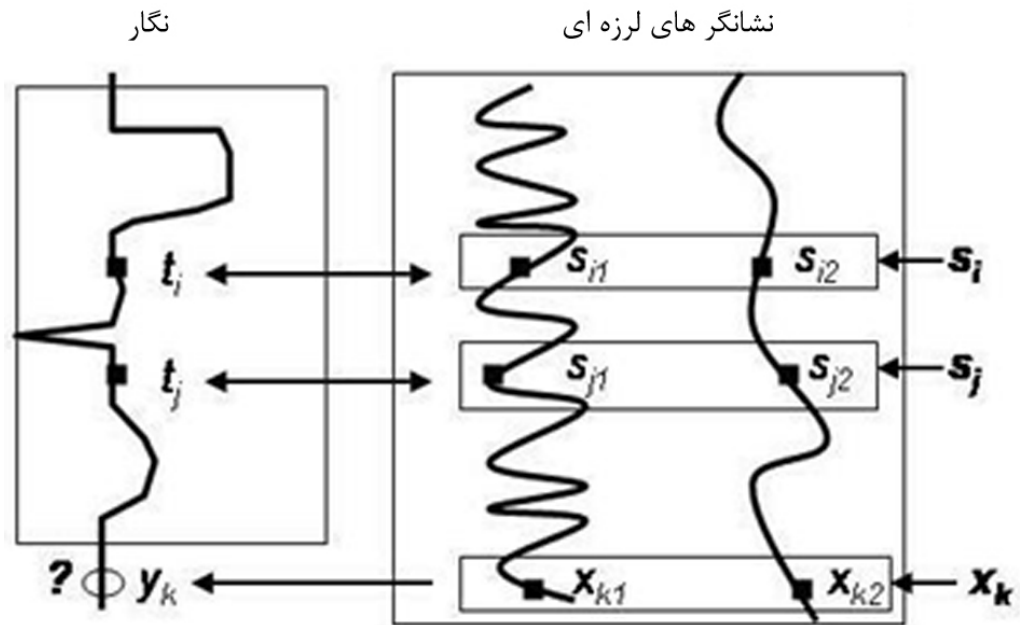
الگوریتم PNN بر اساس اصول فاصله^۴ در فضای نشانگر ها تعریف می شود (شکل ۳-۹). سه بردار نشانگر های دو بُعدی در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است و فاصله بین آنها بیانگر فاصله در دامنه های نشانگر ها و نه فاصله مختصاتی است. حال ما سه بردار s_i و s_j و x_k داریم که دو بردار s_i و s_j از داده های آموزش و بردار x_k بردار ارزیابی (تخمین) است. فاصله بین این بردار ها که در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است بصورت زیر است.

$$d_{ij} = |s_i - s_j| = \sqrt{(s_{i1} - s_{j1})^2 + (s_{i2} - s_{j2})^2},$$

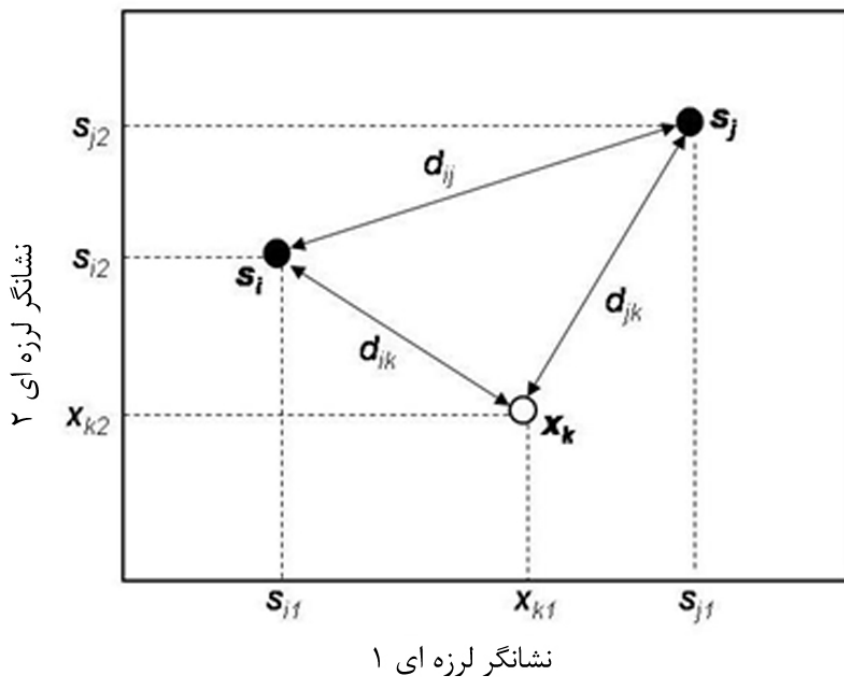
$$d_{ik} = |s_i - x_k| = \sqrt{(s_{i1} - x_{k1})^2 + (s_{i2} - x_{k2})^2},$$

$$d_{jk} = |s_j - x_k| = \sqrt{(s_{j1} - x_{k1})^2 + (s_{j2} - x_{k2})^2}.$$

-
1. Probabilistic Neural Network (PNN)
 2. Parzen window
 3. Specht
 4. Distance



شکل (۳-۹). طرح کلی که بیانگر تفاوت بین بردارهای آموزش s_i و s_j است و خروجی‌های آنها t_i و t_j که معلوم هستند و بردار x_k که خروجی آن یعنی y_k نامعلوم است (Russell, 2004).



شکل (۳-۱۰). طرح کلی بردارهای s_i و s_j و x_k . محورهای مختصات بیانگر دامنه نشانه‌گرهای لرزه‌ای است و فاصله مختصاتی نیست (Russell, 2004).

که در آن d_{ij} فاصله بین داده های آموزشی و d_{ik} و d_{jk} فاصله بین داده های تخمین است. نکته مهمی که باید به آن اشاره کرد این است که این فاصله ها نیستند که در شبکه عصبی ما به کار می روند بلکه تابع پایه اعمال شده بر این فاصله که در اینجا تابع گوسی است و بصورت زیر نوشته می شود.

$$\phi(d) = \exp\left[-\frac{d^2}{\sigma^2}\right] \quad (39-3)$$

که در آن σ انحراف معیار تابع گوسی است. معادله (39-3) همان پنجره پارزن است که با استفاده از آن، شبکه های عصبی احتمالی و تابع پایه شعاعی¹ را تعریف می کنیم.

حال PNN را برای هر یک از نقاط x_k بصورت زیر تعریف می کنیم (Russell, 2004).

$$p(x_k) = \sum_{j=1}^N \exp\left[-\frac{|x_k - s_j|^2}{\sigma^2}\right] = \sum_{j=1}^N \phi_{kj} \quad (40-3)$$

که در آن $\phi(d_{kj})$ بصورت ϕ_{kj} آورده شده است. اگر ما از تمام نقاط داده شده برای آموزش PNN استفاده کنیم و یک نتیجه واحد بگیریم روشی درست برای تخمین را به ما نمی دهد اما اگر داده های آموزش را به چند گروه² تقسیم کنیم در این صورت PNN ابزار مناسبی برای طبقه بندی خواهد بود (این روش از قوانین بیزین³ گرفته شده است). حال ساده ترین مورد را که در آن دو گروه داریم در نظر بگیرید بطوریکه گروه C_1 با N_1 نقطه و گروه C_2 با N_2 نقطه باشد و $N_1 + N_2 = N$ ، بنابراین مساله بصورت زیر تعریف می شود.

$$P_1(x_k) = \frac{\sum_{j \in N_1} \phi_{kj}}{p(x_k)} \quad (41-3)$$

9

$$P_2(x_k) = \frac{\sum_{j \in N_2} \phi_{kj}}{p(x_k)} \quad (42-3)$$

-
1. Radial Basis Function Neural Network (RBFN)
 2. Class
 3. Bayes' Theorem

نرمالیزه شدن در روابط فوق که توسط $p(x_k)$ معادله (۳-۴۰) تعریف شده است باعث $p_1(x_k) + p_2(x_k) = 1$ می شود. مقادیر p_j به عنوان احتمال عضویت در یک گروه تعریف می شوند. حال اگر $p_1(x_k) > p_2(x_k)$ آنگاه x_k یک عضو از گروه C_1 و یا اگر $p_1(x_k) < p_2(x_k)$ آنگاه x_k یک عضو از گروه C_2 خواهد شد.

حال برای حالتی که در آن دو گروه که هر یک دارای یک تابع از دو نشانگر و هر یک دارای سه نقطه است، محاسبه مجموع توابع PNN برای x_k بصورت ترکیبی از توابع پایه از این شش نقطه خواهد بود و بصورت زیر تعریف می شود.

$$p(x_k) = \sum_{j=1}^6 \exp \left[-\frac{|x_k - s_j|^2}{\sigma^2} \right] \quad (۳-۴۳)$$

$$= \exp \left[\frac{(x_{1k} - s_{11})^2 + (x_{2k} - s_{21})^2}{\sigma^2} \right] + \dots + \exp \left[\frac{(x_{1k} - s_{16})^2 + (x_{2k} - s_{26})^2}{\sigma^2} \right]$$

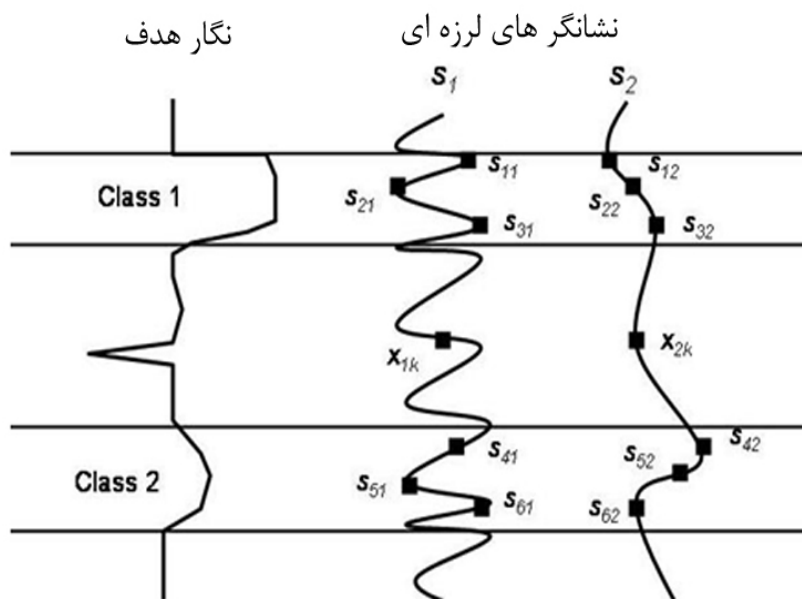
باید توجه داشت که معادله (۳-۴۳) نتیجه مجموع شش تابع گوسی است. حال هر یک از توابع احتمال گروه ها بصورت زیر خواهد بود.

$$p_1(x_k) = \frac{\sum_{j=1}^3 \exp \left[-\frac{|x_k - s_j|^2}{\sigma^2} \right]}{p(x_k)} \quad (۳-۴۴)$$

و

$$p_2(x_k) = \frac{\sum_{j=4}^6 \exp \left[-\frac{|x_k - s_j|^2}{\sigma^2} \right]}{p(x_k)} \quad (۳-۴۴)$$

طبقه بندی ها برای دو گروه در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است. این مثال قابل تعمیم به K گروه و M نشانگر است (Russell, 2004).



شکل (۳-۱۱). یک شبکه عصبی ساده PNN که در آن از دو گروه (هر یک شامل سه نقطه) و دو نشانگر استفاده شده است (Russell, 2004).

۳-۸-۳ شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی

شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی (RBFN) به عنوان روشی که یک درون یابی دقیق را بین مجموعه ای از داده ها در فضای چند بُعدی انجام می دهد در سال ۱۹۸۷ توسط پاول^۱ طراحی شد. حال با توجه به شکل (۳-۹) و (۳-۱۰) با در نظر گرفتن $s_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{im})^T, i = 1, 2, \dots, N$ به عنوان بردار نشانگر های لرزه ای و t_i به عنوان خروجی که از خصوصیات پتروفیزیکی مخزن است، شکل عمومی معادله آن بصورت زیر است (Russell, 2004).

$$t(s_i) = \sum_{j=1}^N w_j \phi(|s_i - s_j|) = \sum_{j=1}^N w_j \phi_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (۳-۴۵)$$

که در آن $\phi(|x_i - x_j|)$ یک مجموعه N تایی از توابع پایه شعاعی هستند که به فاصله نشانگر ها وابسته هستند و با ϕ_{ij} نشان داده شده اند. یک تابع پایه شعاعی، تابعی است که خروجی آن زمانی که از نقطه مرکزی فاصله می گیرد دارای یک کاهش یا افزایش یکنواخت است (Orr, 1996). توابع زیادی مانند تابع thin-plate spline (۳-۴۶) و تابع multi-quartic (۳-۴۷) وجود دارند که این خاصیت را

1. Powell

دارا می باشند (Bishop, 1995).

$$\phi(x) = x^2 \ln(x) \quad (46-3)$$

$$\phi(x) = (x^2 + \sigma^2)^\beta, \quad 0 < \beta < 1 \quad (47-3)$$

با این وجود تابع پایه گوسی به عنوان موثرترین تابع شناخته شده در این شبکه عصبی استفاده شده است. بنابراین معادله (45-3) بصورت زیر نوشته می شود.

$$t(s_i) = \sum_{j=1}^N w_j \phi_{ij} = \sum_{j=1}^N w_j \exp\left[-\frac{|s_i - s_j|^2}{\sigma^2}\right], \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (48-3)$$

که در آن $w_j, j = 1, 2, \dots, N$ وزن های مطلوب هستند. برای پیدا کردن وزن های معادله (48-3)، آن را بصورت یک دستگاه N معادله ای که هر یک N مجهول دارد بصورت زیر می نویسیم.

$$\begin{cases} t_1 = w_1 \phi_{11} + w_2 \phi_{12} + \dots + w_N \phi_{1N} \\ t_2 = w_1 \phi_{21} + w_2 \phi_{22} + \dots + w_N \phi_{2N} \\ \vdots \\ t_N = w_1 \phi_{N1} + w_2 \phi_{N2} + \dots + w_N \phi_{NN} \end{cases} \quad (49-3)$$

معادله (49-3) به شکل ماتریس بصورت زیر است.

$$t = \Phi w \quad (50-3)$$

که در آن t و w و Φ بصورت زیر است.

$$t = \begin{bmatrix} t_1 \\ \vdots \\ t_N \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \dots & \phi_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{N1} & \dots & \phi_{NN} \end{bmatrix}$$

جواب معادله (50-3) بصورت زیر است.

$$w = [\Phi + \lambda I]^{-1} t \quad (51-3)$$

که در آن λ فاکتور سفید کننده پیشین¹ و I ماتریس همانی است و این معادله زمانی که ماتریس متقارن است براحتی حل می شود. پس از آنکه وزن ها مشخص شد، با توجه به شکل (3-9)، با

استفاده از معادله (۳-۵۲) از روی نشانگر های لرزه ای به تخمین خصوصیات مخزنی می پردازیم (Russell, 2004).

$$y(x_k) = \sum_{j=1}^N w_j \exp \left[-\frac{|x_k - s_j|^2}{\sigma^2} \right] \quad (۳-۵۲)$$

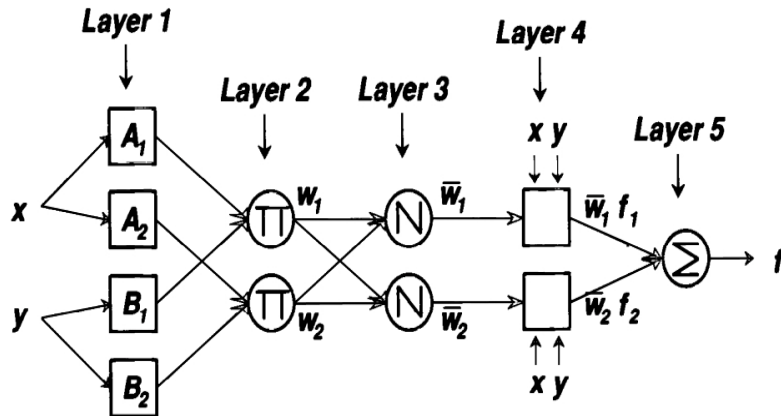
۳-۹ سیستم های استنتاج عصبی - فازی تطبیقی^۲

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط زاده^۳ ابداع شد (Zadeh, 1965). هر مجموعه فازی با یک تابع عضویت (MF^۴) تعریف می شود و انواع گوناگونی مانند گوسی، مثلثی، سیگموئیدی^۵، دوزنقه ای، S شکل، Z شکل، π شکل، زنگوله ای^۶ و ... دارد. سیستم های استنتاجی فازی^۷ محبوب ترین شبکه محاسباتی بر اساس تئوری فازی بشمار می رود. قوانین اما و اگر^۸ فازی و منطق فازی^۹ و انتخاب شکل قوانین اما و اگر از مهمترین مولفه های آن بشمار می روند و بصورت موثر توانایی های بشر را برای کارهای خاص مدل سازی می کند. انواع مختلفی از سیستم استنتاجی فازی وجود دارند. تفاوت عمده انواع مختلف آنها تابع عضویت خروجی آن است و نوع سوگنو^{۱۰} و نوع ممدانی^{۱۱} محبوبیت و استفاده بیشتری دارد (Jang et al., 1997).

یانگ^{۱۲} در سال ۱۹۹۲ با ترکیب منطق فازی و شبکه های عصبی ابزار پردازش قدرتمندی ایجاد کرد که هم مزیت شبکه عصبی و هم منطق فازی را داشت و نوع مرسوم آن ANFIS است (Jang, 1992). ANFIS یک مدل فازی سوگنو در قالب یک شبکه با سیستم انطباقی است که مراحل آموزش را برای یک خروجی ثابت^۱ یا خطی^۲ تسریع می کند. یکی از مزیت های ANFIS روش آموزش ترکیبی آن برای تعیین پارامتر های منطقی و خروجی ها است. ساختار ANFIS در حالتی که دو ورودی و یک

-
1. Pre-whitening
 2. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)
 3. Zadeh
 4. Membership Function
 5. Sigmoid
 6. Bell-shape
 7. Fuzzy Inference System (FIS)
 8. If-then rules
 9. Fuzzy reasoning
 10. Sugeno
 11. Mamdani
 12. Jang

خروجی داشته باشد در شکل (۳-۱۶) آورده شده است.



شکل (۳-۱۲). ساختار ANFIS برای مدل سوگنو با دو قانون (Jang et al., 1997).

قوانین فازی برای یک مدل سوگنو خطی با در نظر گرفتن دو قانون اما و اگر فازی بصورت زیر نوشته می شود.

Rule 1: if x is A_1 and y is B_1 , then $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$,

Rule 2: if x is A_2 and y is B_2 , then $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

که در آن مجموعه $\{p, q, r\}$ پارامترهای خروجی هستند. با توجه به شکل (۳-۱۲) لایه های ANFIS را بصورت زیر خواهیم داشت.

لایه اول: هر گره i در این لایه یک گره انطباقی با تابع گره است. μ تابع عضویت است که تابع پارامتری منطقی است و شکل تابع عضویت را مشخص می کند:

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), & \text{for } i = 1, 2, \text{ or} \\ O_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(y), & \text{for } i = 3, 4. \end{aligned} \quad (۳-۵۳)$$

لایه دوم: هر گره در این لایه یک گره ثابت است و خروجی آنها حاصل ضرب سیگنال های ورودی به آن است.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (۳-۵۴)$$

لایه سوم: هر گره در این لایه یک گره ثابت است و گره i th نسبت قدرت آتش قانون i th به مجموع

1. Constant

2. Linear

قدرت آتش های قوانین است.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (55-3)$$

لایه چهارم: هر گره i در این لایه یک گره با تابع انطباقی است، $\{p_i, q_i, r_i\}$ یک مجموعه ای از پارامترها در این گره هستند. این پارامترها، پارامترهای خروجی هستند. در مدل سوگنو ثابت مقادیر پارامترهای q_i و p_i صفر هستند (Jang et al., 1997).

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i + q_i + r_i) \quad (56-3)$$

لایه پنجم: یک گره در این لایه وجود دارد که یک گره ثابت است و مجموع سیگنال های ورودی را حساب می کند (Jang et al., 1997).

$$\text{overall output} = O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (57-3)$$

فصل چهارم

پردازش و مدل سازی داده ها

۴-۱ مقدمه

با توجه به اینکه روش های ارائه شده، جدا از روش های جدیدی که در این پایان نامه به آن پرداخته شده است، در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از مهندسين در شرکت های نفتی قرار گرفته است. لذا نویسنده سعی نموده است که تمام مراحل کار را برای نیل به هدف مورد نظر به همراه جزئیات آن در این فصل ارائه کند تا بتوان از نتایج آن به راحتی و بدون هیچ ابهامی بهره گرفت و در صورت انجام کار های مشابه، تجربیات حاصل از آن مفید و راه گشا باشد. در این فصل کلیه مراحل انجام کار از آماده سازی داده ها، تعبیر و تفسیر تا انجام معکوس سازی و مدل سازی و محاسبات حجمی توضیح داده شده است. در این تحقیق، کلیه مراحل معکوس سازی و تهیه مقاطع تخلخل و اشباع آب بر روی تمام مقاطع موجود در میدان انجام شده ولی برای اختصار و نمونه فقط نتایج برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ که در نزدیکی چاه فارور A1 قرار دارد (شکل ۲-۲) نشان داده شده است. مراحل کار به صورت زیر است:

- محاسبه سرعت موج طولی در یکی از چاه ها به وسیله رگرسیون مرحله ای و با استفاده از نگار های دیگر در شرایطی که نگار صوتی در آن چاه گرفته نشده بود.
- محاسبه اشباع آب در چاه های حفاری شده در این میدان.
- تخمین امیدانس صوتی با استفاده از تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری.
- تخمین تخلخل و اشباع آب از روی نشانگر های لرزه ای.
- مدل سازی ساختمانی و زمین شناسی میدان.
- محاسبه حجم گاز برجای در مخزن آسماری.

شرح و نتیجه گیری ها و مشکلات و پیشنهاداتی که در انجام مراحل مختلف کار وجود داشته است در هر یک از بخش های فوق ارائه شده است.

۴-۲ لیست نرم افزار های استفاده شده

در مراحل مختلف این کار از نرم افزار های متفاوتی استفاده شده است. در ادامه لیست این نرم افزار ها با ذکر توضیح مختصری از کار های انجام شده با آنان آورده شده است اما جزئیات آنها در بخش های آتی ذکر گردیده است.

۱. نرم افزار (HRS) Hampson-Russell Software

نرم افزار HRS یک نرم افزار مفید در معکوس سازی و کار بر روی نشانگر های لرزه ای و ... است، این نرم افزار مدول های مختلفی دارد که در این پایان نامه از مدول های Well Explorer, eLog, EMERGE, STRATA برای استخراج نشانگر های لرزه ای، ترسیم افق لرزه ای، معکوس سازی، تهیه مدل های تخلخل و اشباع آب با استفاده از شبکه های عصبی و ... استفاده شده است.

۲. نرم افزار Petrel

این نرم افزار محصول شرکت شلومبرژر است و از آن برای تهیه مدل ساختمانی و زمین شناسی مخزن و ارزیابی نفت و گاز برجای استفاده شده است.

۳. نرم افزار (Vista) Vista (2D and 3D Seismic Processing)

این نرم افزار برای پردازش داده های لرزه ای است و از آن در تبدیل فرمت نشانگر های لرزه ای از SEGY به ASCII استفاده شده است.

۴. نرم افزار MATLAB

این نرم افزار که یک نرم افزار محاسباتی است و بمنظور طراحی مدل عصبی فازی و تخمین خصوصیات مخزنی از روی نشانگر های لرزه ای مورد استفاده قرار گرفته است.

۵. نرم افزار Palisade DecisionTools

این نرم افزار یک نرم افزار آمار و احتمال و آنالیز ریسک است و دارای مدول های مختلفی است که در این کار از مدول StatTools برای آنالیز های رگرسیونی و از مدول @Risk برای آنالیز ریسک میزان هیدرکربور برجای استفاده شده است.

۶. نرم افزار TatukGIS Calculator

از این نرم افزار برای تبدیل مختصات های جغرافیایی از درجه به UTM استفاده شده است.

۳-۴ محاسبه سرعت موج طولی

در چاه فارور A2، نگار صوتی در محدوده مخزن آسماری برداشت نشده بود. این نگار در آنالیز های بعدی از جمله در معکوس سازی، آنجایی که لرزه نگاشت مصنوعی و مدل امپدانس صوتی با فرکانس پایین تهیه می شود لازم و ضروری است.

رابطه گاردنر^۱ (۱-۴) یک رابطه تجربی است که در این زمینه استفاده می شود و در آن با استفاده از نگار چگالی (ρ)، سرعت موج طولی (V_p) را در جایی که نگار صوتی موجود نباشد محاسبه می کنند (Gardner et al, 1974).

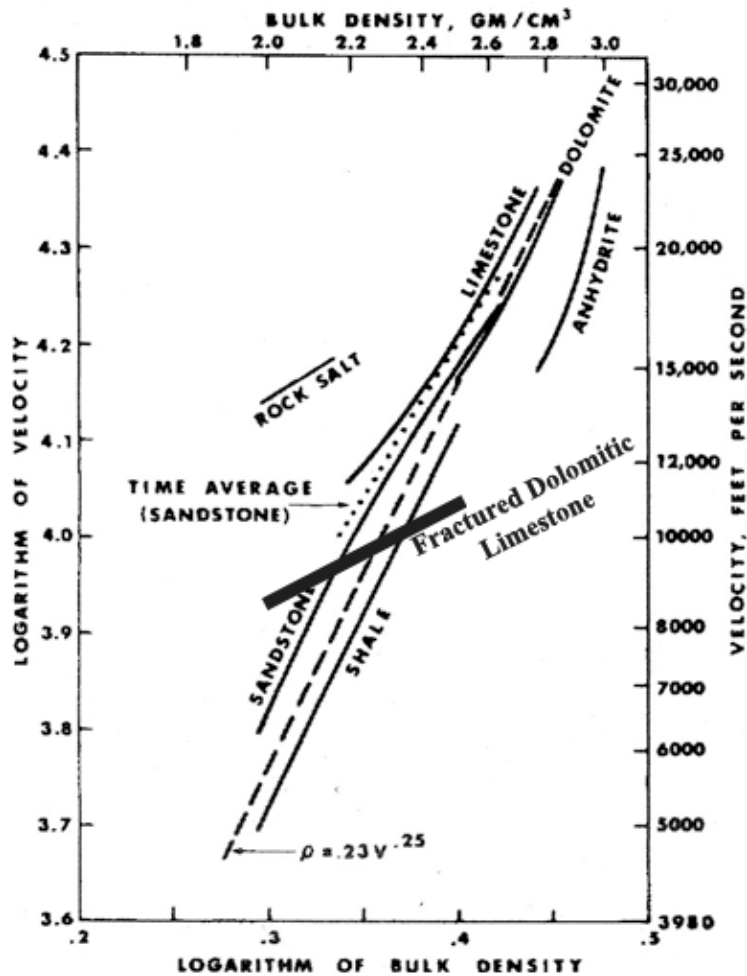
$$\rho = 0.23 V_p^{0.25} \quad (1-4)$$

ابتدا با استفاده از آنالیز رگرسیون بر روی لگاریتم چگالی و لگاریتم سرعت، ضرایب معادله گاردنر بر روی داده های موجود چاه فارور A1 محاسبه گردید، همانطور که در معادله و شکل (۱-۴) مشاهده می شود، این ضرایب به هیچ وجه با معادله گاردنر (۱-۴) و نمودار شکل (۱-۴) که در سال ۱۹۷۴ توسط گاردنر و همکاران با استفاده از میداین مختلف تهیه شده بود قابل انطباق نیست. از این رو ضرایب معادله تصحیح شد و معادله گاردنر برای سازند آهک دولومیتی شکسته آسماری به صورت معادله زیر ارائه گردید.

$$\rho = 0.00008695 V_p^{1.09} \quad (2-4)$$

همانطور که در شکل (۱-۴) ملاحظه می شود، خطی که معرف ارتباط نگار صوتی به نگار چگالی در سازند آسماری در چاه فارور A1 است، تفاوت و انحراف زیادی نسبت به بقیه خطوط دارد. تصمیم بر آن گرفته شد که با استفاده از ضرایب جدید بدست آمده در معادله (۲-۴)، سرعت امواج طولی برای چاه فارور A2، برای قسمتی از مخزن که نگار صوتی در آن تهیه نشده بود محاسبه گردد.

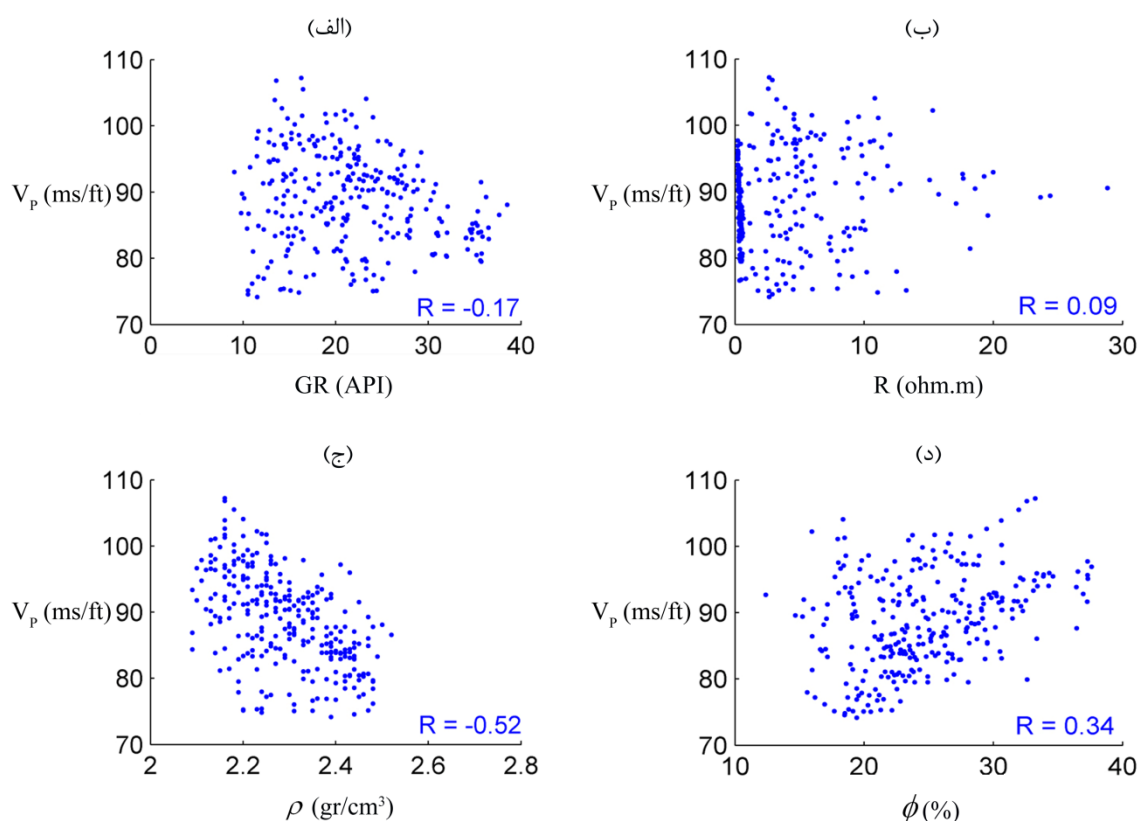
1. Gardner's relationship



شکل (۴-۱). نمودار سرعت موج طولی در مقابل چگالی برای سنگ های مختلف (Gardner et al, 1974)، خط برجسته برای آهک دولومیتی شکسته آسماری میدان فارور A است که در مطالعه حاضر به دست آمد.

بررسی نتایج حاصل نشان می دهد که همبستگی سرعت های تخمین زده شده و واقعی در چاه فارور A1، ۵۱ درصد است. در نتیجه برای افزایش این همبستگی و دقت تخمین، آنالیز رگرسیون چندگانه یا مرحله ای با استفاده از معیار اعتبارسنجی متقابل انجام شد.

به این ترتیب، در ابتدا همبستگی بین سرعت با سایر نگارهای موجود مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. با توجه به این همبستگی ها نگارهای مقاومت ویژه عمیق سازند و گاما بخاطر ضرایب همبستگی بسیار پایین آنها (شکل ۴-۲ الف، ب) حذف شدند. در مرحله بعد اعتبارسنجی متقابل برای تخمین سرعت از روی نگارهای چگالی و تخلخل انجام شد. همانطور که در فصل سوم اشاره شد، معیار تفکیک داده ها برای اعتبارسنجی متقابل در این مطالعه



شکل (۲-۴). آنالیز همبستگی برای نگارهای مختلف نسبت به نگار سرعت موج طولی.

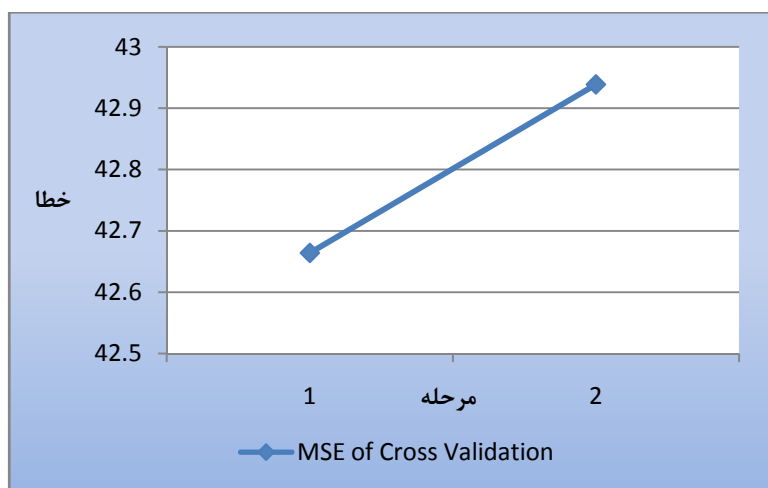
و کارهای مشابه، چاه‌ها هستند، اما همانطور که اشاره شد تنها داده موجود مخزن آسماری چاه فارور A1 است. بنابراین، برای انجام اعتبارسنجی متقابل این داده‌ها را به دو قسمت بر حسب عمق تقسیم کردیم. نتایج اعتبارسنجی متقابل در شکل (۳-۴) آورده شده است و بیانگر افزایش اندک در خطای محاسبه شده در مرحله دوم آنالیز رگرسیون مرحله‌ای است که با توجه به تعداد کم داده‌ها برای آموزش آنالیز رگرسیونی، این افزایش اندک نادیده گرفته شد و دو نگار چگالی و تخلخل برای آنالیز رگرسیون مرحله‌ای انتخاب شدند. پس از این آنالیز، سه معادله رگرسیونی خطی و غیرخطی (۳-۴)، (۴-۴) و (۵-۴) بدست آمد که همبستگی بین داده‌های تخمینی و واقعی را از ۵۱ درصد در مرحله اول به ۶۴ درصد در مرحله دوم، با افزایش تخلخل به آنالیز رگرسیونی مرحله‌ای رساند.

$$V = e^{-0.0061\rho + 0.42\phi + 8.5} \quad (۳-۴)$$

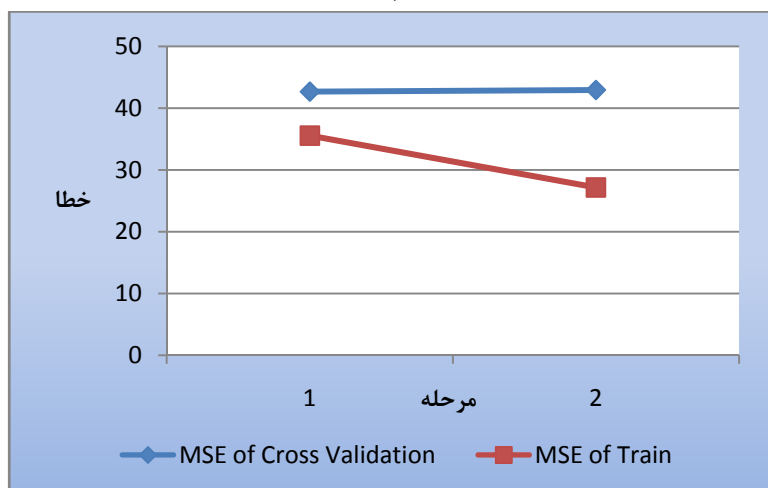
$$V = 8052 \frac{\rho^{0.98}}{\phi^{0.15}} \quad (۴-۴)$$



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۳-۴). بررسی آنالیز رگرسیون مرحله ای که در مرحله اول تخمین سرعت از نگار چگالی و در مرحله دوم تخمین سرعت از روی نگار چگالی و تخلخل است. الف) خطای تخمین محاسبه شده برای داده های آموزشی، ب) خطای اعتبار سنجی متقابل، ج) مقایسه خطای تخمین داده های آموزشی و خطای اعتبار سنجی متقابل.

$$V = 4713\rho - 70\phi + 2271 \quad (5-4)$$

در این میان، معادله رگرسیونی که در آن سرعت بصورت لگاریتمی و متغیرهای مستقل بصورت خطی در نظر گرفته شده بودند بهترین کارایی و ارزیابی را داشت. در معادلات (4-1) تا (4-5) سرعت بر حسب ft/s ، چگالی بر حسب gr/cm^3 و تخلخل بر حسب درصد می باشند. جدول (4-1) نتایج بررسی های رگرسیونی (ضریب همبستگی) را در دو مرحله جهت تخمین سرعت موج طولی از روی نگار چگالی و نگار های چگالی و تخلخل نشان می دهد.

جدول (4-1). بررسی آنالیز رگرسیون مرحله ای در سه حالت خطی و لگاریتمی متغیرهای ورودی و خروجی.

متغیرهای ورودی به رگرسیون مرحله ای	مرحله اول (چگالی)	مرحله دوم (چگالی و تخلخل)
تمام متغیرها خطی	۰/۵۱۱۱	۰/۶۴۲۴
ورودی ها خطی و خروجی لگاریتمی	۰/۵۱۸۶	۰/۶۴۵۵
تمام متغیرها لگاریتمی	۰/۵۱۷۸	۰/۶۴۴۹

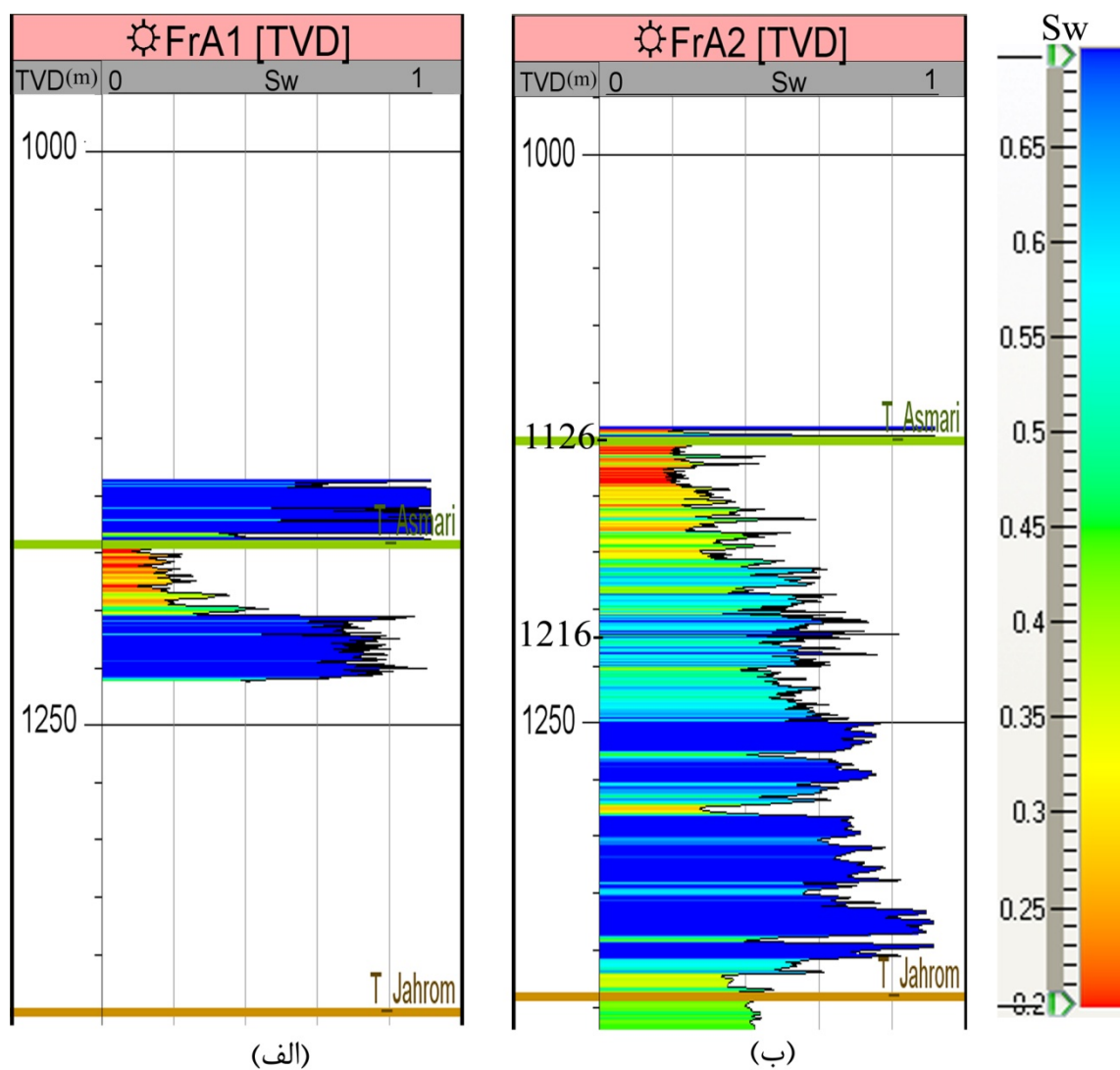
۴-۴ محاسبه اشباع آب از روی نگار مقاومت ویژه لاترولوگ عمیق (R_{LLd}) سازند

در این مرحله با توجه به اینکه نگار اشباع آب در دسترس نبود، اشباع آب با استفاده از معادله آرچی (3-19) محاسبه شد. این محاسبه در منوی Transform از مدول elog نرم افزار HRS انجام شد. استفاده از معادله آرچی در صنعت نفت ایران بر روی سازند های کربناته متداول است و برآورد های آن قابل قبول می باشد. در این محاسبه، مقاومت ویژه آب سازند آسماری (ohm.m) ۰/۰۲۲ و مقادیر تخلخل از نگار نوترون گرفته شد و برای مقاومت ویژه الکتریکی عمیق سازند هم از نگار لاترولوگ عمیق استفاده شد. با توجه به تخمین های صورت گرفته در سال ۱۹۷۴، اشباع آب در مخزن آسماری در چاه فارور A2 بصورت تدریجی بین ۰/۱ تا ۰/۷ از سر سازند آسماری در عمق ۱۱۲۶ متری تا محل تماس آب و گاز در عمق ۱۲۱۶ متری تغییر می کند (Iranian offshore oil company, 1974).

شکل (4-4)، اشباع آب محاسبه شده در دو چاه فارور A1 و فارور A2 را نشان می دهد. اشباع آب در چاه فارور A1 به دلیل اینکه بر روی گسل موجود در این میدان حفاری شده است قابل تعمیم به کل

میدان نیست. اما اشباع آب محاسبه شده در چاه فارور A2 تدریجی و قابل ارجاع به کل میدان است (شرکت نفت نیز در سال ۱۹۷۴ از چاه فارور A2 برای آنالیزها و محاسبه گاز برجای میدان استفاده کرده است).

شرکت نفت در سال ۱۹۷۴ اشباع آب ۰/۷ در عمق ۱۲۱۶ متری را بر اساس اشباع آب چاه فارور A2، سطح تماس آب و گاز در مخزن آسماری اختیار کرده است. اما با توجه به شکل (۴-۴) که اشباع آب محاسبه شده در چاه فارور A2 را نشان می دهد، در این عمق اشباع آب تغییرات خاصی ندارد و مقدار آن حدود ۰/۶۵ ثابت است و در عمق ۱۲۲۵ متری مقدار آن نیز کاهش هم می یابد.



شکل (۴-۴). اشباع آب محاسبه شده توسط معادله آرچی (۳-۱۹)، (الف) اشباع آب محاسبه شده در چاه فارور A1، (ب) اشباع آب محاسبه شده در چاه فارور A2.

بنابراین عمق ۱۲۵۰ متری جایبکه اشباع آب محاسبه شده از ۰/۶ به ۰/۸۳ تغییر می کند بجای عمق ۱۲۱۶ متری که تغییرات خاصی در آن مشاهده نمی شود سطح تماس آب و گاز اختیار شد. این امر باعث برآورد متفاوتی از حجم گاز برجای مخزن آسماری می شود که در آخرین بخش های این فصل به آن می پردازیم.

۴-۵ تخمین امپدانس صوتی با استفاده از تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری

در این بخش به مراحل مختلف تلفیق داده های لرزه ای و چاه نگاری با استفاده از نرم افزار Hampson-Russell Software (HRS) از وارد کردن داده ها تا تهیه خطوط شبه امپدانس صوتی در میدان فارور A می پردازیم. راهنمای این نرم افزار، جزئیات انجام این مراحل را کاملاً شرح داده است و در بخش های آتی تنها یک سری نکات عمده و خارج از راهنمای نرم افزار شرح داده شده است.

۴-۵-۱ وارد کردن داده ها

وارد کردن داده های چاه نگاری در این نرم افزار آسان است، به این ترتیب که با استفاده از قسمت Well Explorer این نرم افزار، داده های نگار مربوط را بصورت دو ستون در یک فایل متنی که ستون اول آن عمق و ستون دوم آن مقادیر اندازه گیری شده است قرار داده و با وارد کردن این داده ها و خصوصیات و پارامتر های مختلف نگار و چاه در مراحل مختلف ، یک نگار وارد این نرم افزار می شود. در ادامه تمام کارهای مربوط به نرم افزار در قسمت STRATA نرم افزار انجام می شود. وارد کردن داده های لرزه ای بخصوص داده های لرزه ای دو بُعدی به مراتب سخت تر است زیرا نکاتی را باید در آن رعایت کرد که در غیر این صورت نرم افزار قادر به تشخیص صحیح این داده ها نیست. با استفاده از منوی لرزه ای در سمت چپ نرم افزار مراحل وارد کردن داده ها را به صورت از پیش تعیین شده انجام می دهیم. وارد کردن داده های لرزه ای سه بُعدی به راحتی قابل انجام است ولی وارد کردن داده های دو بُعدی دقت در نکات زیر را می طلبد.

- فرمت اولیه داده های لرزه ای ممکن است با فرمت SEG-Y با دو ساختار IBM یا IEEE باشند، داده های لرزه ای که وارد نرم افزار HRS می شوند باید با فرمت SEG-Y با ساختار

IBM باشند، در صورت مغایرت می توان داده ها را وارد یک نرم افزار دیگر مانند Petrel کرده و از داده های لرزه ای خروجی با فرمت SEG-Y با ساختار IBM گرفته شود.

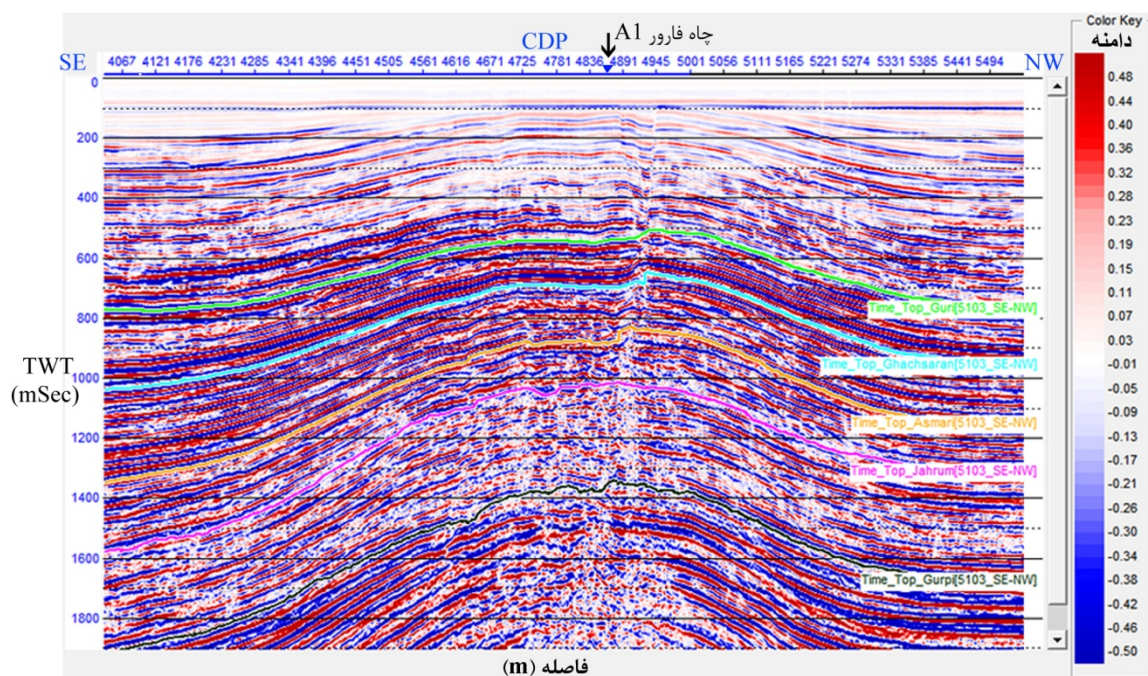
- بهترین چیدمان داده های دو بُعدی در نرم افزار HRS بصورت Multiple است که مقاطع لرزه ای را بصورت یگ گروه از مقاطع جدا از هم وارد نرم افزار می کند.
- به منظور وارد کردن همه مقاطع به طور هم زمان، ساختار بارگیری مقاطع باید بصورت یکسان انتخاب شوند. برای این منظور ابتدا مراحل وارد کردن یک مقطع لرزه ای دو بُعدی تا مراحل پایانی طی می شود اما قبل از اتمام مراحل، منوی Save format to file انتخاب می شود و ساختار بارگیری یکی از مقاطع در قسمتی از کامپیوتر ذخیره می شود. سپس برای وارد کردن مقاطع لرزه ای بصورت Multiple اقدام می شود و در آخرین مرحله با استفاده از منوی Load Format From File ساختار ذخیره شده در کامپیوتر بارگیری و به تمام مقاطع ارجاع داده می شود.
- در صورتیکه طول و یا عمق مقاطع لرزه ای خارج از محدوده مخزن باشند، برای کاهش عملیات پردازش کامپیوتر می توان با ابزار Copy که در منوی Process نرم افزار قرار دارد، مقاطع را بصورت عمقی و طولی بریده و به اندازه دلخواه در آورد.

۴-۵-۲ ترسیم افق های لرزه ای^۱

افق های لرزه ای، سر سازند ها را در سرتاسر میدان ترسیم می کند که برای تبدیل به عمق و ساخت مدل سرعت و تخمین و ارزیابی نفت و گاز برجای در مخزن و ... لازم و ضروری هستند. برای ترسیم افق لرزه ای در نرم افزار HRS به نزدیکترین چاهی که نگار VSP در آن موجود است و در نزدیکی یکی از مقاطع لرزه ای قرار دارد مراجعه کرده و دو برابر زمان رسید موج از سطح به سر سازند را بر روی مقطع لرزه ای ترسیم می کنیم. داده های چک شات نیز در صورتی که برای سر سازند ها در دسترس باشد قابل استفاده اند. افق های لرزه ای را به ترتیب از سطح به عمق و برای تمام مقاطع که

1. Pick Horizons

در محدوده میدان قرار دارند رسم می کنیم. شکل (۴-۵) افق های لرزه ای رسم شده در مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ (شکل ۲-۲) با امتداد جنوب شرقی به شمال غربی میدان را با کمک داده های VSP در چاه فارور B2 نشان می دهد. همانطور که در این شکل مشخص است، دو برابر زمان رسید موج برای تمام سر سازندها، و حتی سر سازند جهرم که در چاه های حفاری شده میدان فارور A به خاطر تغییرات تدریجی سنگ شناسی سازند آسماری به جهرم نا مشخص بود به راحتی قابل دستیابی است. وجود این سر سازند ها و نگار سرعت در چاه ها و نگار VSP در چاه فارور B2، در تهیه مدل زمان به عمق و مدل سرعت استفاده می شود.



شکل (۴-۵). مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ با امتداد جنوب شرقی به شمال غربی مخزن که محل چاه فارور A1 و افق های لرزه ای بر روی آن مشخص شده است.

۴-۵-۳ انطباق دادن نگار ها با داده های لرزه ای

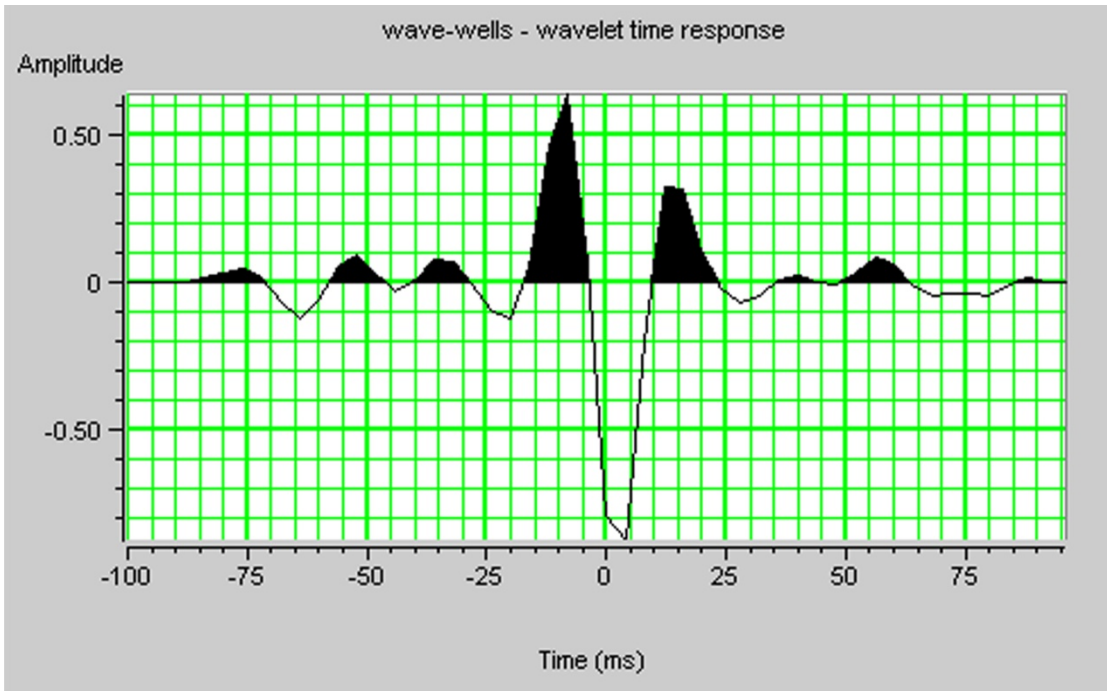
در این بخش به انطباق دادن و انطباق هر چه بیشتر لرزه نگاشت با لرزه نگاشت مصنوعی حاصل از داده های چاه نگاری پرداخته می شود. همانطور که می دانیم داده های چاه نگاری و لرزه ای در دو بُعد مختلف عمق و زمان اندازه گیری می شوند. با استفاده از نگار سرعت و اطلاعات حاصل از چک شات یا نگار VSP بُعد اندازه گیری های چاه ها را از عمق به زمان تبدیل می کنیم که البته انطباق

دادن هر چه بیشتر داده های لرزه ای با لرزه نگاشت مصنوعی نیز به تصحیح و انطباق هر چه بیشتر این دو بُعد کمک می کند. بنابراین، بعد از اعمال نگار VSP یا چک شات چاه فارور B2 بر نگار سرعت چاه های موجود و تهیه بُعد سرعت برای چاه ها، انطباق دادن و تصحیح بُعد زمان به عمق به صورت زیر انجام می شود .

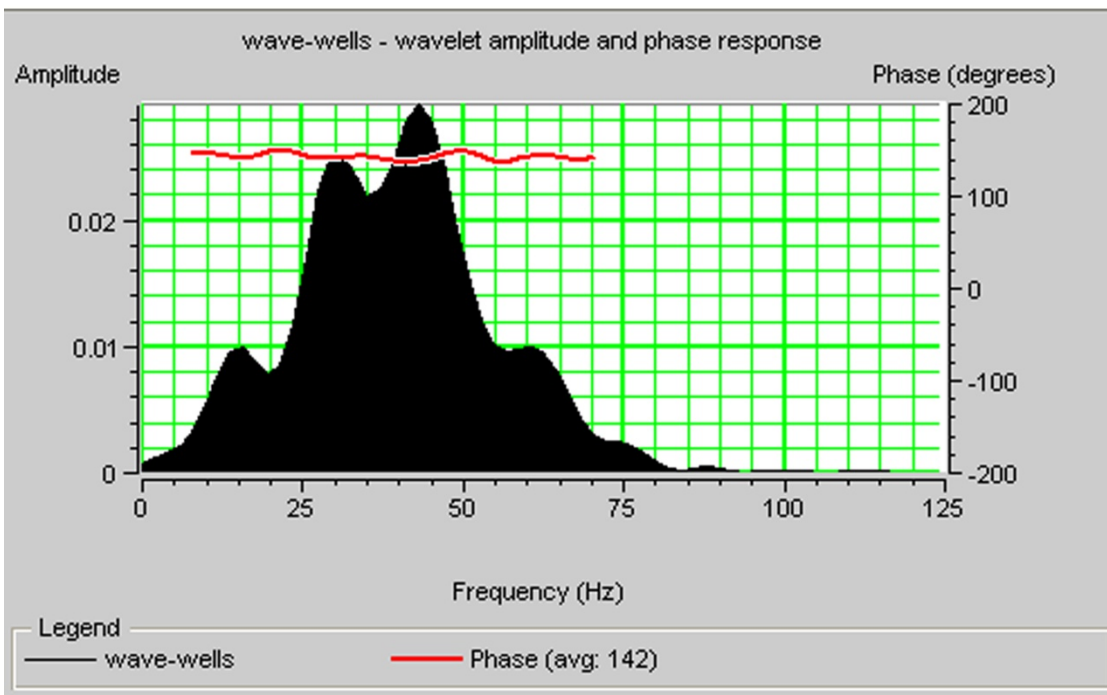
۱. مشخص کردن فاز موجک، که برای شروع فاز آن را صفر در نظر می گیریم.
۲. استخراج آماری موجک از داده ای لرزه ای، که به صورت آماری از روی داده های لرزه ای یک موجک با فاز صفر استخراج می کنیم.
۳. با استفاده از موجک بدست آمده به انطباق دادن لرزه نگاشت های مصنوعی و واقعی در کل چاه ها می پردازیم. باید دقت داشت که عملیات کشش^۱ و فشردگی^۲ دامنه های لرزه نگاشت مصنوعی برای انطباق با لرزه نگاشت واقعی بصورت مجزا در هر یک از سازندها صورت می گیرد و نباید افق های لرزه ای را جابجا کرد.
۴. پس از انطباق دادن اولیه به استخراج موجک با استفاده از کلیه چاه ها می پردازیم.
۵. انطباق دادن را تکرار و استخراج موجک را دوباره انجام می دهیم.
۶. این کار را آنقدر ادامه می دهیم تا یک همبستگی خوب بین لرزه نگاشت واقعی و مصنوعی در محل چاه ها ایجاد شود.

موجک استخراجی حاصل از این کار در نهایت به صورت شکل (۴-۶) در آمد. با استفاده از این موجک و تصحیح سرعت در عمق های مختلف و انجام همبستگی، ضریب همبستگی حاصل بین دو لرزه نگاشت واقعی و مصنوعی در اطراف چاه ها برای میدان فارور A و یک چاه از میدان فارور B که از داده چک شات آن استفاده کردیم به حدود ۷۰ درصد رسید. شکل (۴-۷) این همبستگی را برای چاه فارور A1 نشان می دهد.

1. Stretch
2. Squeeze

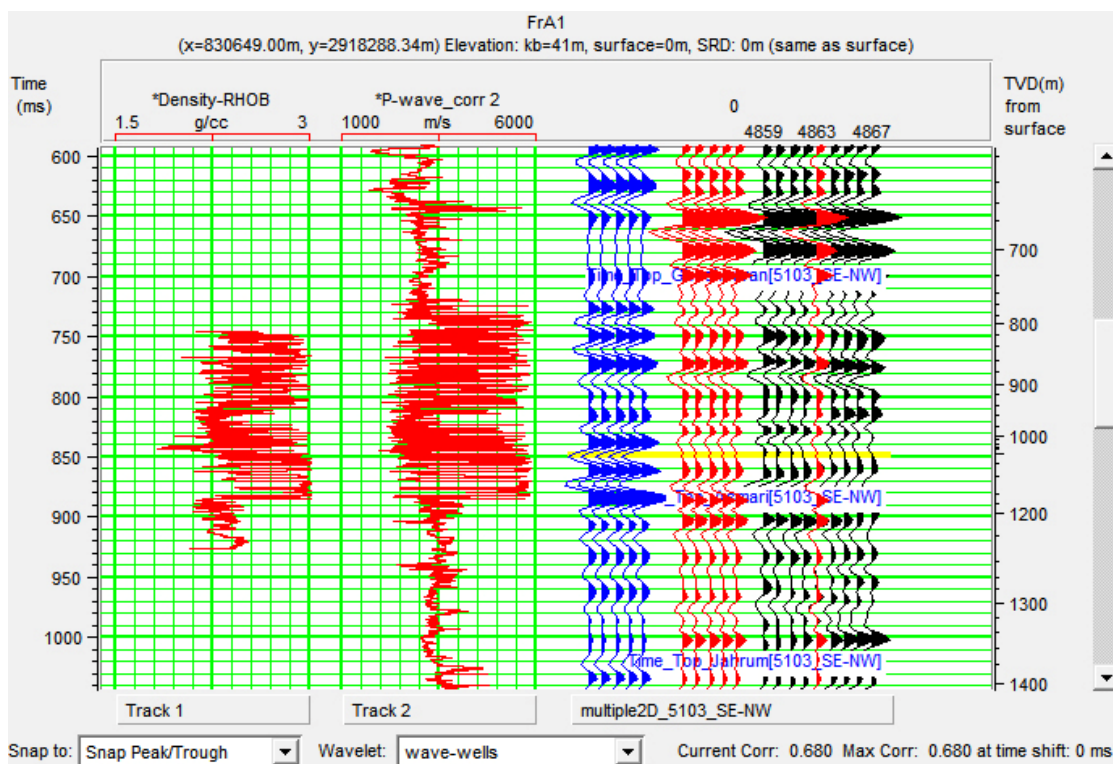


الف



ب

شکل (۴-۶). موجک استخراجی برای ایجاد لرزه نگاشت مصنوعی با استفاده از نگارهای چاه و داده های لرزه ای. الف) طیف دامنه به زمان موجک، ب) طیف دامنه به فرکانس موجک.

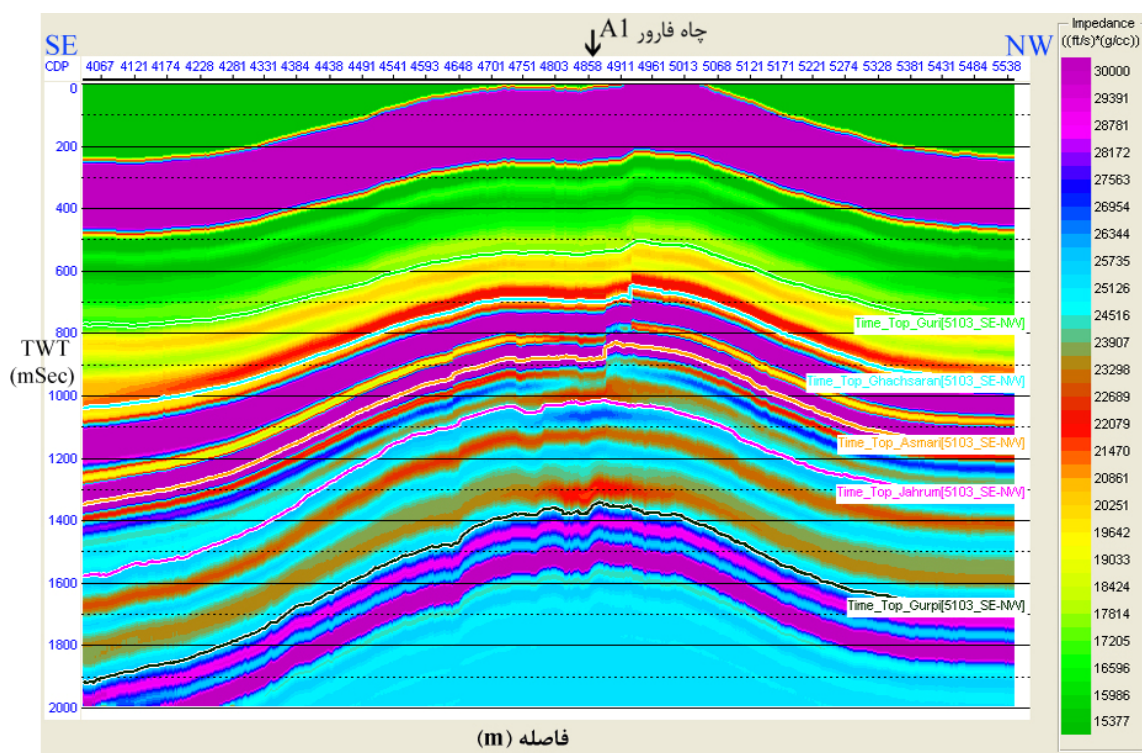


شکل (۴-۷). همبستگی ایجاد شده بین لرزه نگاشت مصنوعی و واقعی در چاه فارور A1 که در نزدیکی مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ قرار دارد. رد لرزه های مشکی، رد لرزه های واقعی در اطراف چاه فارور A1، رد لرزه های قرمز، میانگین رد لرزه های مشکی رنگ و رد لرزه های آبی، رد لرزه مصنوعی حاصل از نگار سرعت و چگالی در چاه فارور A1 را نشان می دهد.

۴-۵-۴ ایجاد مدل امپدانس صوتی با فرکانس پایین

در این مرحله با استفاده از نگار های چاه و افق های لرزه ای مدل امپدانس صوتی با فرکانس پایین را ایجاد می کنیم، این مدل جهت احیای فرکانس های پایین برای مدل امپدانس صوتی نهایی که فاقد فرکانس های پایین است استفاده می شود. شکل (۴-۸) مدل امپدانس استخراج شده با فرکانس کمتر از ۱۵ هرتز را برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ نشان می دهد که در آن امپدانس صوتی در محدوده مخزن بین ۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰ متغیر است و امتداد لایه ها به خوبی در آن مشخص است. جابجایی قائم در این شکل، حاصل گسل گرابن بر میدان فارور A است. این مدل توسط نرم افزار HRS و با استفاده از منوی Model در مدول STRATA ایجاد شده است. مدل ایجاد شده تنها شامل فرکانس هایی است که طی برداشت های لرزه ای حذف شده اند. همانطور که در شکل (۴-۹ الف) می بینید طیف دامنه به فرکانس مقطع لرزه ای ۵۱۰۳، بیشتر فرکانس های بین ۱۵ تا ۷۰ را در بر می گیرد، بنابراین

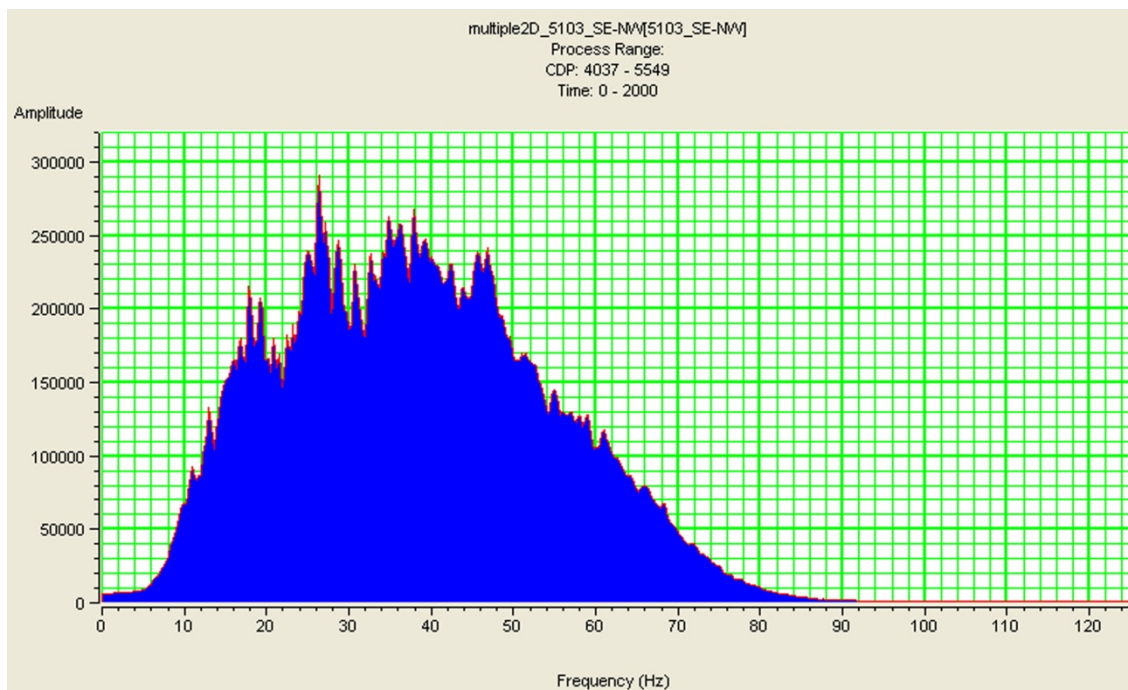
با تلفیق مدل امپدانس صوتی که تنها فرکانس های پایین را دربر دارد و حاصل استخراج امپدانس صوتی از چاه ها و افق های لرزه ای است با مدل امپدانس صوتی محدود باند حاصل از لرزه نگاشت، این کاستی را از مدل امپدانس صوتی محدود باند بر طرف می کنیم و در نهایت یک مدل پهن باند امپدانس صوتی خواهیم داشت. شکل (۴-۹) ب) طیف دامنه به فرکانس مدل امپدانس صوتی با فرکانس کمتر از ۱۵ هرتز (شکل ۴-۸) را نشان می دهد.



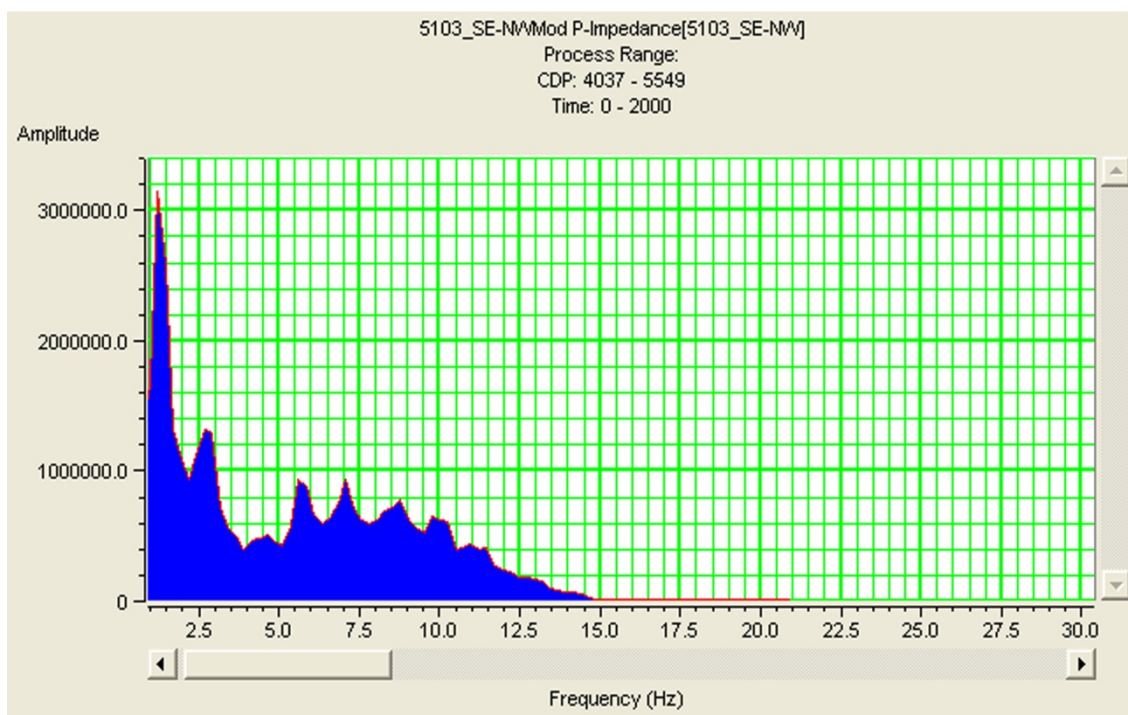
شکل (۴-۸). مدل امپدانس صوتی مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ با استفاده از نگار های چاه و افق های لرزه ای برای فرکانس های کمتر از ۱۵ هرتز.

۴-۵ ایجاد مدل امپدانس صوتی پهن باند

در این قسمت به تلفیق مدل امپدانس صوتی با فرکانس پایین و مدل محدود باند امپدانس صوتی حاصل از لرزه نگاشت می پردازیم. الگوریتم های مختلفی برای تلفیق این داده ها وجود دارند. با توجه به کارایی الگوریتم Model Base در نرم افزار HRS نسبت به دیگر روش ها، این الگوریتم را که خروجی آن به صورت پهن باند است انتخاب می کنیم. به این ترتیب، امپدانس صوتی پهن باند برای



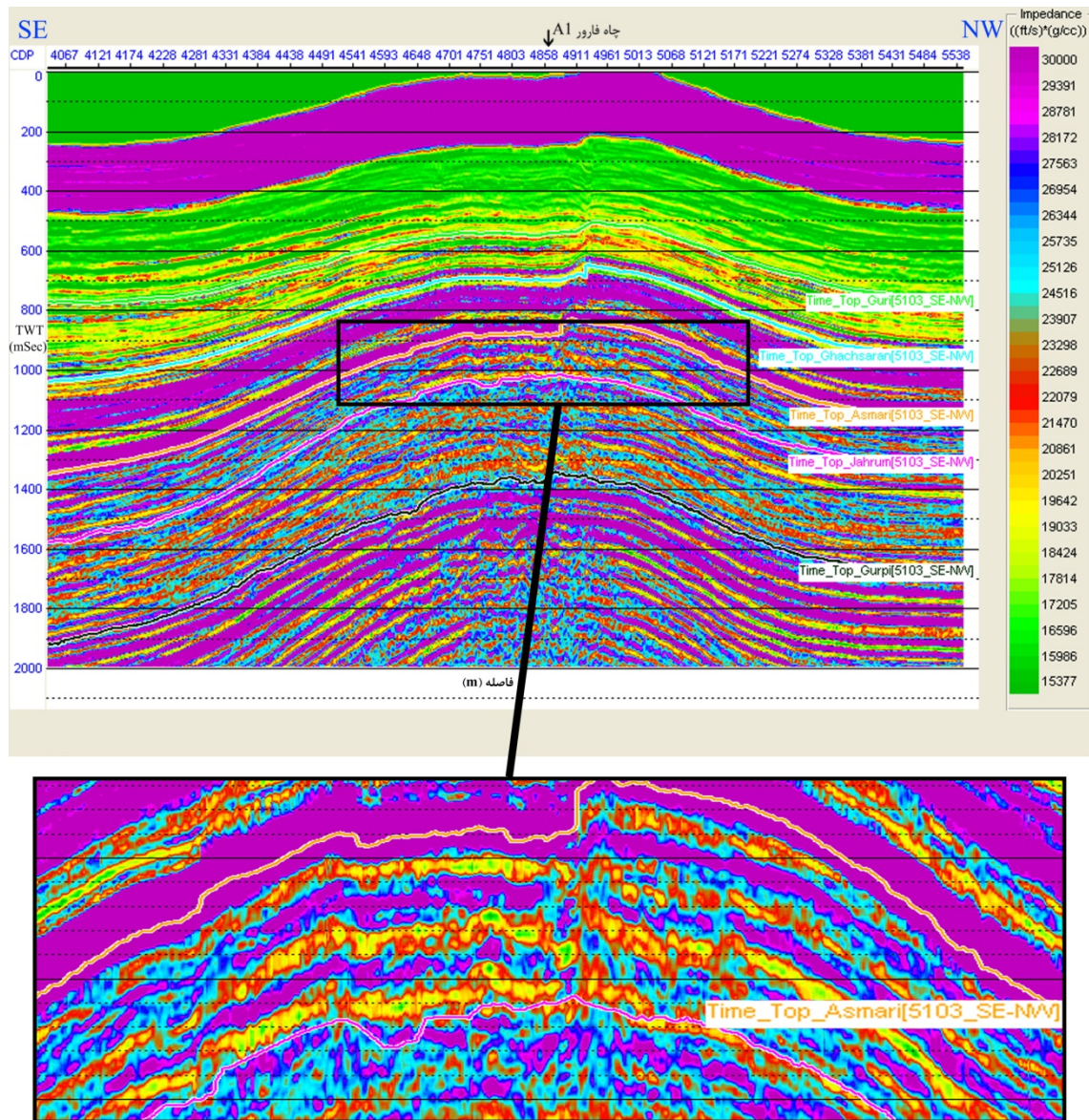
الف



ب

شکل (۴-۹). طیف دامنه به فرکانس. الف) مقطع لرزه ای ۵۱۰۳، ب) مدل ایجاد شده بوسیله نگار های چاه و افق های لرزه ای.

تمام مقاطع لرزه ای تهیه شد. شکل (۴-۱۰) مدل امپدانس صوتی نهایی را برای مقطع ۵۱۰۳ نشان می دهد. همانطور که مشاهده می کنید تفسیر مخزن در این شرایط بسیار راحت تر از تفسیر از روی مقطع لرزه ای اولیه (شکل ۴-۵) می باشد و تغییرات سنگ شناسی لایه ها به صورت افقی و عمودی به راحتی قابل تشخیص است.

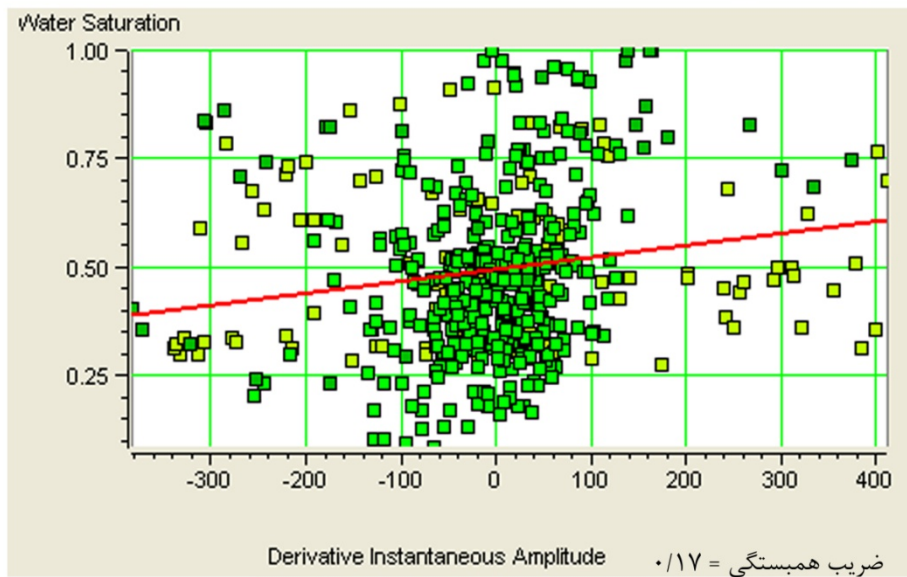
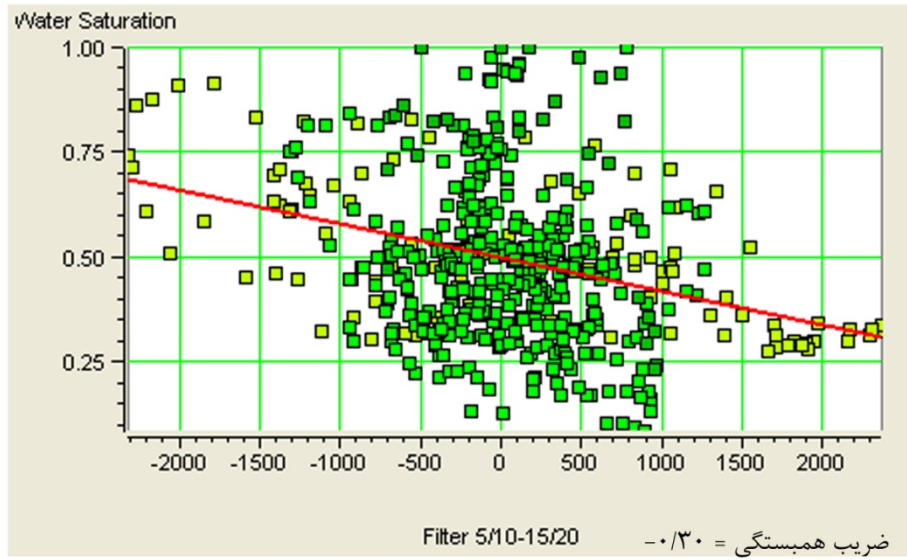
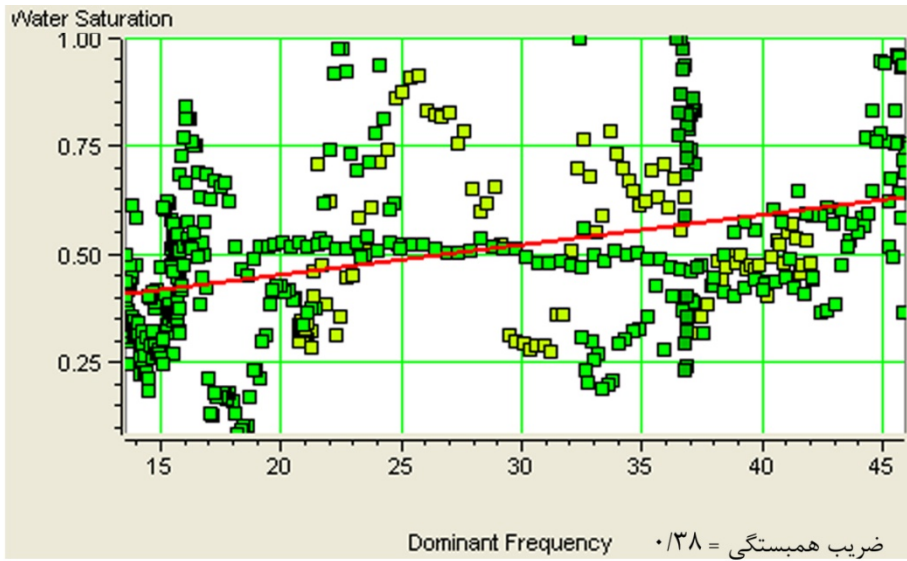


شکل (۴-۱۰). مدل امپدانس صوتی پهن باند برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.

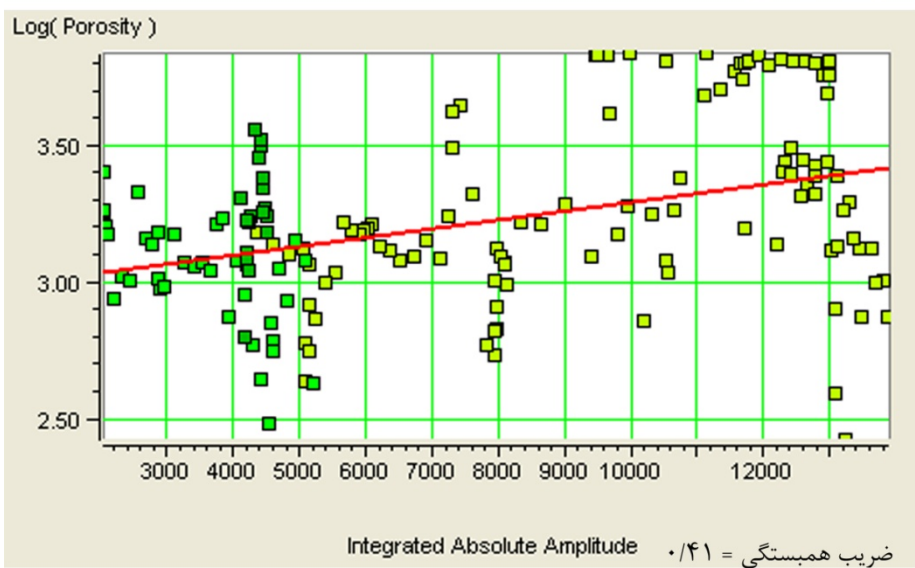
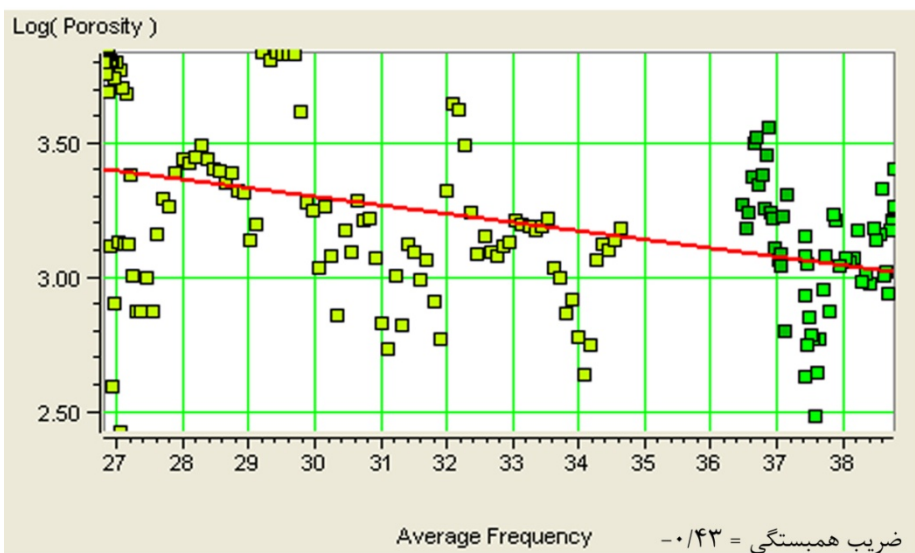
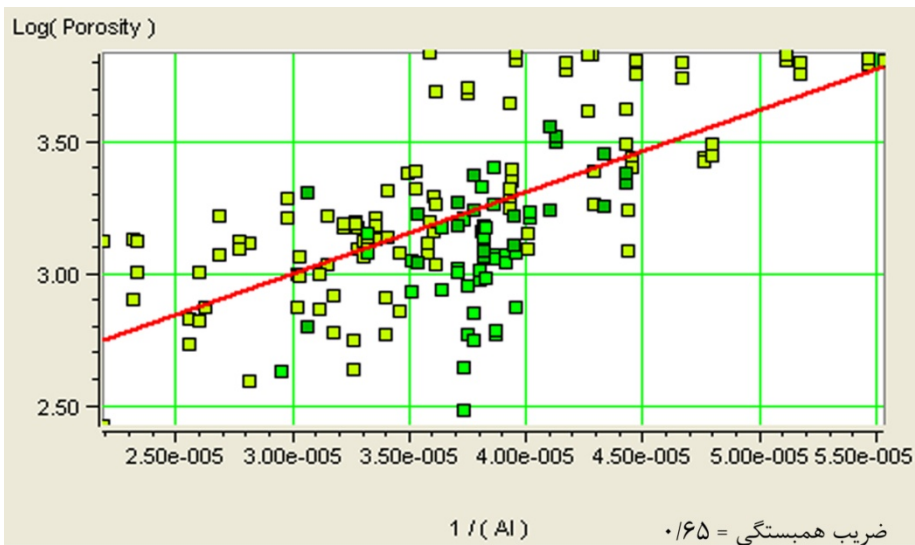
۴-۶ تهیه مدل شبه تخلخل و اشباع آب

در این قسمت با تلفیق داده های چاه نگاری و نشانگر های لرزه ای مدل شبه تخلخل و مدل اشباع آب را برای میدان فارور A تهیه می کنیم. در این قسمت با استفاده از قسمت EMERGE نرم افزار HRS مدل شبه تخلخل و اشباع آب را تهیه می کنیم. در آغاز باید بهترین نشانگر های لرزه ای را برای تخمین تخلخل و اشباع آب مشخص کرد. با استفاده از اعتبار سنجی متقابل، تعداد بهینه این نشانگر ها برای تخمین تخلخل و اشباع آب مشخص می شوند. نشانگر های استخراج شده در اطراف چاه ها به عنوان ورودی و نگار های تخلخل و اشباع آب به عنوان خروجی برای آموزش سه شبکه عصبی و یک شبکه عصبی فازی استفاده شدند.

در اولین اقدام، میانگین نزدیک ترین رد لرزه های نشانگرها و مدل شبه امپدانس صوتی به چاه ها و نگار های تخلخل و اشباع آب چاه ها را برای آموزش شبکه جدا می کنیم. به این ترتیب میانگین نزدیکترین رد لرزه های نشانگر های مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ برای چاه فارور A1 و مقطع لرزه ای ۵۱۰۴ برای چاه فارور A2 و مقطع لرزه ای ۱۰۷۸ برای چاه فارور B2 استخراج شدند (شکل ۲-۲). سپس، تعداد بهینه از بهترین نشانگر ها را برای تخمین تخلخل و اشباع آب مشخص می کنیم، بعد از آن با استفاده از این داده ها ، شبکه را آموزش می دهیم و در نهایت با استفاده از شبکه های آموزش داده شده، با تلفیق نشانگر های منتخب ، مدل شبه تخلخل و اشباع آب را در کل میدان تهیه می کنیم. بنابراین، برای تخمین نگار تخلخل و اشباع آب، رگرسیون مرحله ای با معیار اعتبار سنجی متقابل بر روی تمام نشانگر های لرزه ای صورت پذیرفت و دو نشانگر Dominant Frequency و Filter 10-20 برای تخمین اشباع آب و دو نشانگر $1/(Acoustic Impedance)$ و Average Frequency برای تخمین تخلخل انتخاب شدند. شکل (۴-۱۱) و شکل (۴-۱۲) ضرایب همبستگی اشباع آب و تخلخل با مهمترین نشانگر های لرزه ای و جدول (۴-۲) و جدول (۴-۳) تعداد بهینه نشانگر های لرزه ای با استفاده از روش خطای اعتبار سنجی متقابل را برای تخمین اشباع آب و تخلخل نشان می دهد. همانطور که در جدول (۴-۲) و (۴-۳) مشاهده می کنید، انتخاب نشانگر سوم باعث افزایش خطای



شکل (۴-۱۱). همبستگی بین اشباع آب و مهمترین نشانگر های لرزه ای.



شکل (۴-۱۲). همبستگی بین تخلخل و مهمترین نشانگر های لرزه ای.

جدول (۲-۴). خطای آموزش و اعتبار سنجی متقابل در رگرسیون مرحله ای برای تخمین اشباع آب از روی نشانگر های لرزه ای.

تعداد نشانگر ها	خروجی	بهترین و آخرین نشانگر استفاده شده	خطای آموزش (RMS)	خطای اعتبار سنجی متقابل (RMS)
۱	اشباع آب	Dominant Frequency	۰/۱۷۵۱	۰/۱۷۸۸
۲	اشباع آب	Filter 10-20	۰/۱۶۴۷	۰/۱۷۱۲
۳	اشباع آب	Derivative Instantaneous Amplitude	۰/۱۶۲۴	۰/۱۷۸۱

جدول (۳-۴). خطای آموزش و اعتبار سنجی متقابل در رگرسیون مرحله ای برای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای.

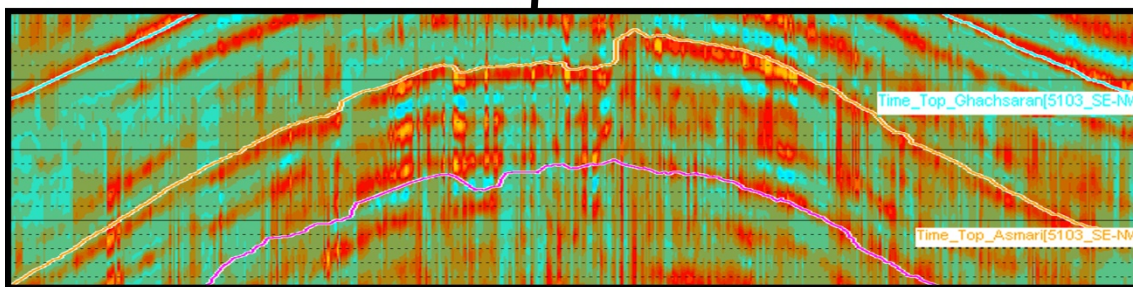
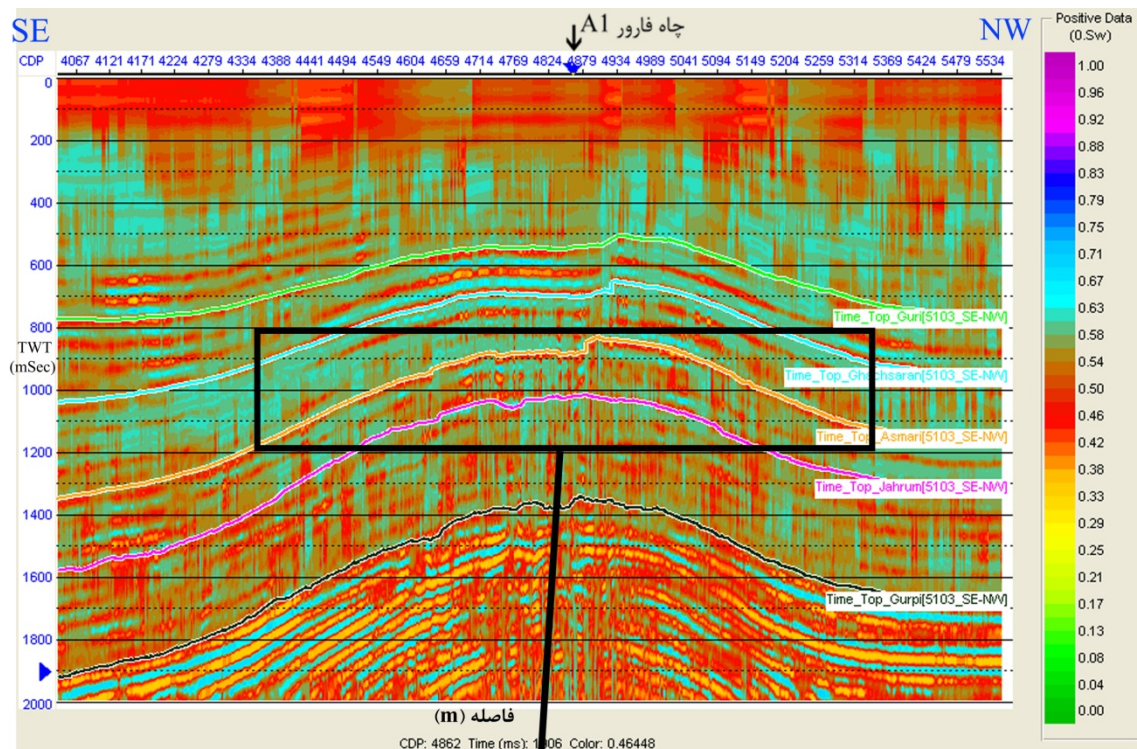
تعداد نشانگر ها	خروجی	بهترین و آخرین نشانگر استفاده شده	خطای آموزش (RMS)	خطای اعتبار سنجی متقابل (RMS)
۱	لگاریتم تخلخل	1/(Acoustic Impedance)	۶/۵۱۷	۸/۱۵۳
۲	لگاریتم تخلخل	Average Frequency	۵/۵۵۴	۷/۰۵۶
۳	لگاریتم تخلخل	Integrated Absolute Amplitude	۵/۲۹۲	۳۸/۴۰۲

اعتبار سنجی متقابل می شود و افزودن نشانگر سوم برای تخمین مجاز نمی باشد. باید توجه داشت که استفاده از داده های لرزه ای دو بُعدی در این فرآیند ها بسیار پیچیده تر و دارای حساسیت های بیشتری نسبت به داده های لرزه ای سه بُعدی هستند، مخصوصاً زمانی که داده های لرزه ای در فاصله دورتری از چاه قرار دارند و استخراج نشانگر ها در اطراف چاه ها را سخت تر می کنند در صورتی که برای داده های لرزه ای سه بُعدی، جدا از فراوانی رد لرزه ها در اطراف چاه ها، این رد لرزه ها دارای کیفیت و همخوانی بیشتری نسبت به داده های دو بُعدی دارند.

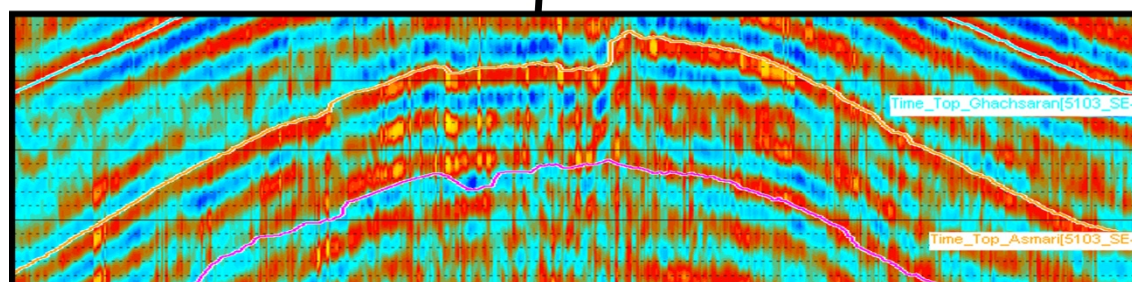
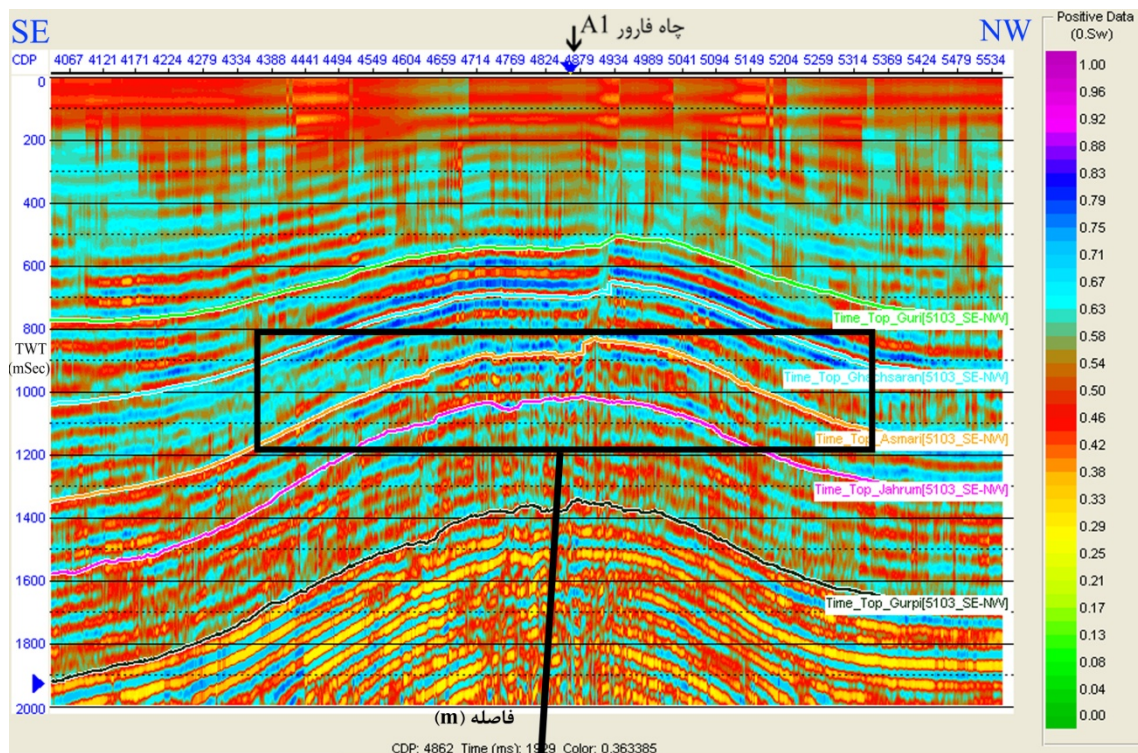
اشباع آب به وسیله سه شبکه عصبی تخمین و نتایج آن در جدول (۴-۴) آورده شده است. همانطور که مشاهده می کنید تفاوت چندانی بین خروجی های این شبکه ها دیده نمی شود و مقادیر ضریب همبستگی نیز بسیار پایین است بنابراین کیفیت قابل قبولی نمی توان از آنها انتظار داشت، شکل (۴-۱۳)، شکل (۴-۱۴) و شکل (۴-۱۵) تخمین اشباع آب با استفاده از سه شبکه عصبی مختلف در

جدول (۴-۴) ضریب همبستگی و خطای تخمین اشباع آب از روی نشانگر های لرزه ای برای سه شبکه عصبی آموزش داده شده.

نوع شبکه عصبی	خطا (RMS)	ضریب همبستگی
RBFN	۰/۱۶۴۴	۰/۵۰۱۵
MLFN	۰/۱۶۳۸	۰/۵۰۶۶
PNN	۰/۱۶۵۷	۰/۵۰۳۱

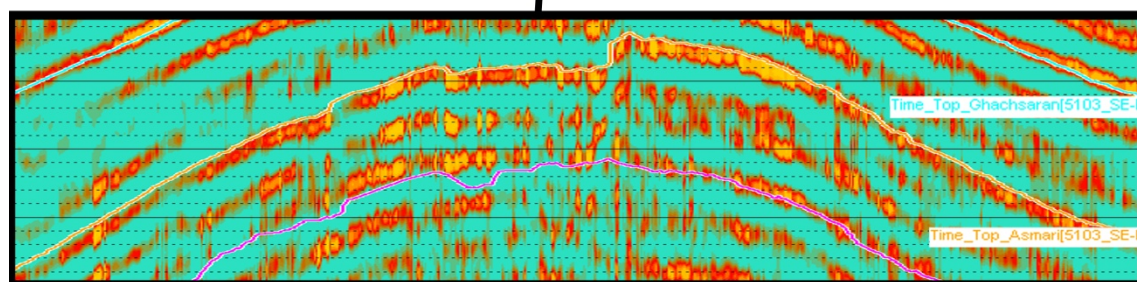
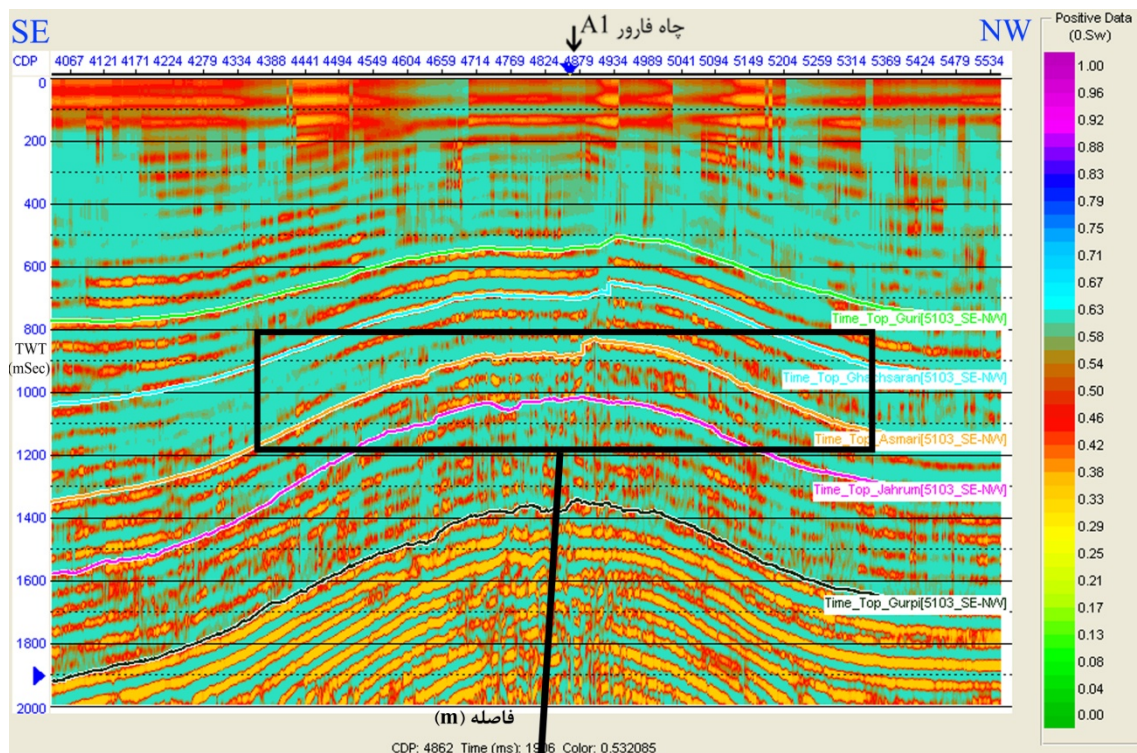


شکل (۴-۱۳). تخمین اشباع آب بوسیله نشانگر های لرزه ای با استفاده از شبکه عصبی PNN برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.



شکل (۴-۱۴). تخمین اشباع آب بوسیله نشانگر های لرزه ای با استفاده از شبکه عصبی RBFN برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.

محدوده مخزن برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ که در نزدیکی چاه فارور A1 قرار دارد را نشان می دهد. همانطور که در این اشکال مشاهده می کنید، سطح تمیزی برای اشباع آب و گاز و تغییرات تدریجی آن بر حسب عمق مشخص نیست. باید توجه داشت که کمی چاه های حفر شده در این میدان و دو بُعدی بودن داده ها و فاصله چاه ها از مقاطع لرزه ای و کوتاه بودن بازه نگار برداری از جمله دلایل اصلی این تخمین با کیفیت پایین شده است.



شکل (۴-۱۵). تخمین اشباع آب بوسیله نشانگر های لرزه ای با استفاده از شبکه عصبی MLFN برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.

تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای منتخب با تقریب و کیفیت خوبی صورت پذیرفت. جدول (۴-۵) ضریب همبستگی و خطای محاسبات تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای را برای سه نوع شبکه عصبی مختلف نشان می دهد، همانطور که مشاهده می کنید، شبکه عصبی PNN بهترین تخمین تخلخل را از روی نشانگرها زده است و این در حالی است که راسل (۲۰۰۴)، شبکه RBFN و کدخدایی ایلخچی و همکاران (۲۰۰۹)، شبکه PNN را بهترین شبکه عصبی برای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای معرفی می کنند.

جدول (۴-۵) ضریب همبستگی و خطای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای سه شبکه عصبی آموزش داده شده.

نوع شبکه عصبی	خطا (RMS)	ضریب همبستگی
RBFN	۷/۲۸	۰/۶۰
MLFN	۶/۵۳	۰/۶۸
PNN	۶/۱۱	۰/۷۴

با توجه به اینکه شبکه عصبی فازی روشی قدرتمند در این زمینه است، تخمین تخلخل از روی نشانگر های منتخب بوسیله شبکه عصبی فازی معروف به ANFIS نیز انجام شد، این تخمین با استفاده از ابزار ANFIS و با نوشتن کد های لازم در نرم افزار MATLAB انجام شد و نتایج آن در جدول (۴-۶) آورده شده است. همانطور که مشاهده می کنید شبکه عصبی فازی سوگنو ثابت با استفاده از ۲ قانون فازی برای تابع عضویت ورودی و تابع عضویت پی (π) شکل بهترین ضریب همبستگی و کمترین خطا را به ما ارائه می دهد و این تخمین بهتر از سه نوع شبکه عصبی است.

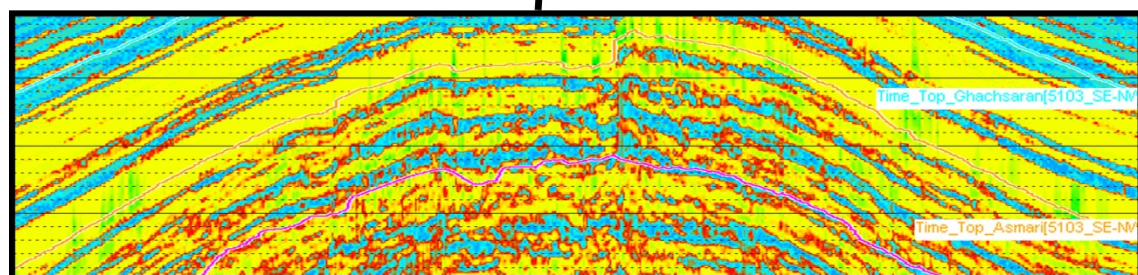
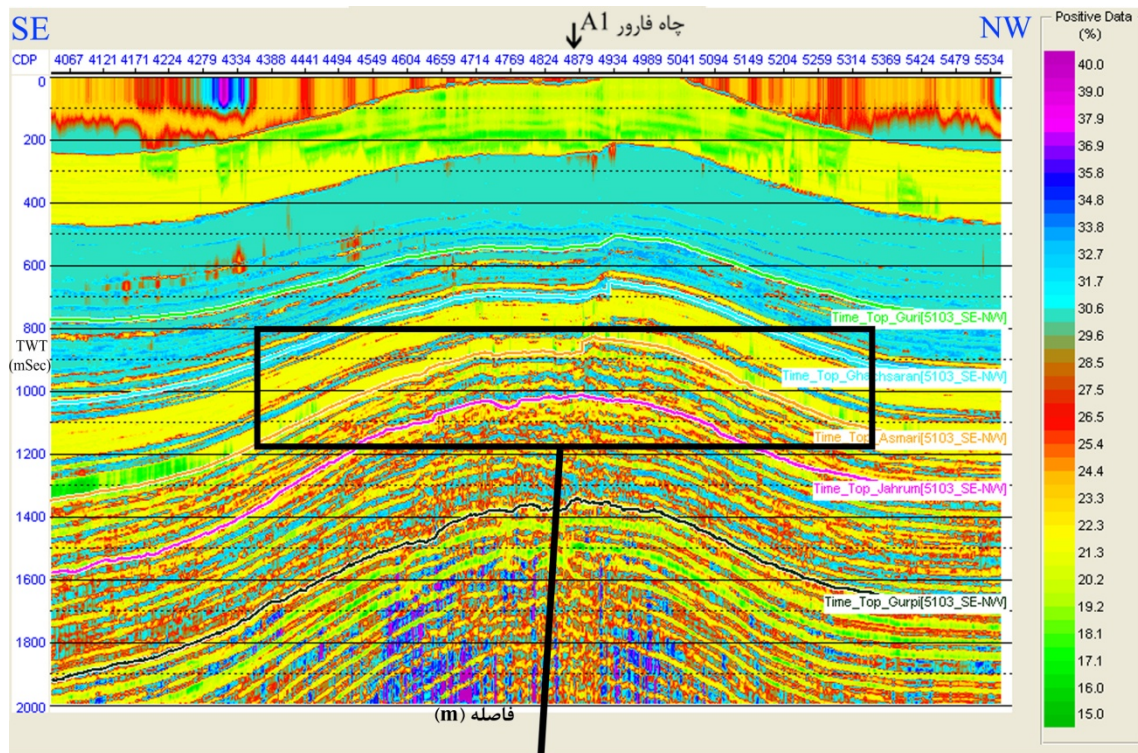
بنابراین شبکه عصبی فازی به عنوان بهترین وسیله ارزیابی و تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای معرفی می شود و این در حالی است که کدخدایی و همکاران (۲۰۰۹) ^۱ CFIS که یک سیستم فازی ترکیبی است را بهتر از شبکه های عصبی برای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای معرفی می کنند. شکل (۴-۱۶)، شکل (۴-۱۷)، شکل (۴-۱۸) و شکل (۴-۱۹) تخمین تخلخل را با استفاده از سه شبکه عصبی و بهترین شبکه عصبی فازی آموزش داده شده نشان می دهد، همانطور که مشاهده می کنید، شبکه عصبی فازی بهترین تخمین را به ما ارائه می دهد و تغییرات تخلخل، در لایه های مختلف مخزن، مقادیری حدود ۲۲ تا ۲۷ درصد است را دارد. شبکه PNN نیز تخمین خوبی را در بین شبکه های عصبی به ما داده و مقادیر تخلخل بین ۲۲ تا ۲۸ درصد تغییر می کند و این در حالی است که دو شبکه عصبی RBFN و MLFN مقادیر تخلخل را بیش از حد تخمین زده اند. و این تفاوت ها می تواند به دلیل انتخاب بهینه پارامتر های مختلف موثر در هر یک از شبکه ها باشد.

1. Committee Fuzzy Inference System

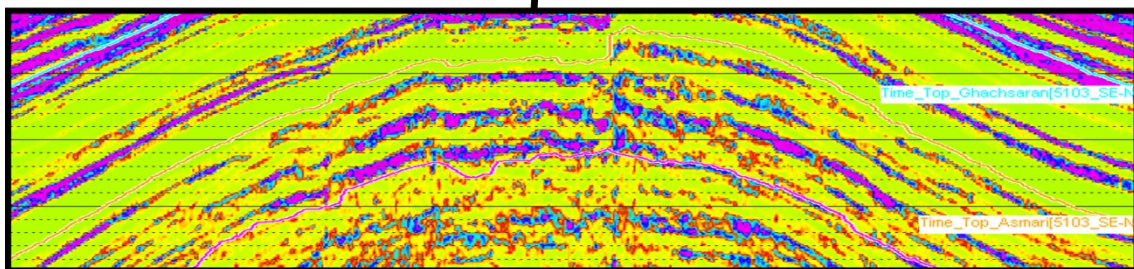
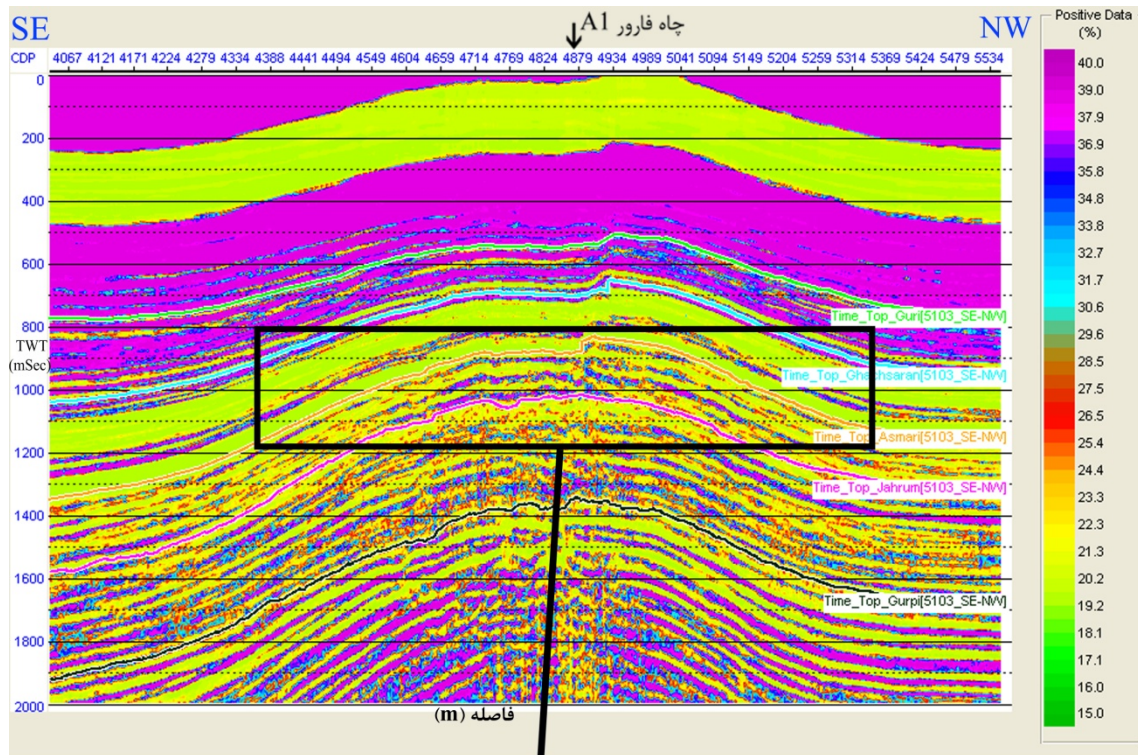
جدول (۴-۶) ضریب همبستگی و خطای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای شبکه عصبی فازی با ساختار های متفاوت.

ساختار شبکه عصبی فازی		خطا (RMS)	ضریب همبستگی	
نوع سوگنو	نوع تابع عضویت	تعداد قوانین فازی برای ورودی ها		
ثابت	گوسین	۲	۵/۹۷۵	۰/۷۵۰
ثابت	پی شکل	۲	۵/۶۸۳	۰/۷۶۵
ثابت	زنگوله ای	۲	۵/۵۶۱	۰/۷۵۱
ثابت	گوسین	۳	۱۰/۰۶۵	۰/۴۲۶
ثابت	پی شکل	۳	۹۴۶۹۷۱/۸۵۸	۰/۰۴۶
ثابت	زنگوله ای	۳	۱۵/۶۹۸	۰/۳۵۹
خطی	گوسین	۲	۶/۱۷۰	۰/۷۴۲
خطی	پی شکل	۲	۶/۵۱۵	۰/۷۰۷
خطی	زنگوله ای	۲	۶/۳۵۴	۰/۷۲۱
خطی	گوسین	۳	۱۶۷/۵۰۰	۰/۵۲۲
خطی	پی شکل	۳	۲۹۳۴۸۴/۳۱۱	۰/۱۲۳
خطی	زنگوله ای	۳	۱۷۴۷/۲۶۵	۰/۵۰۰

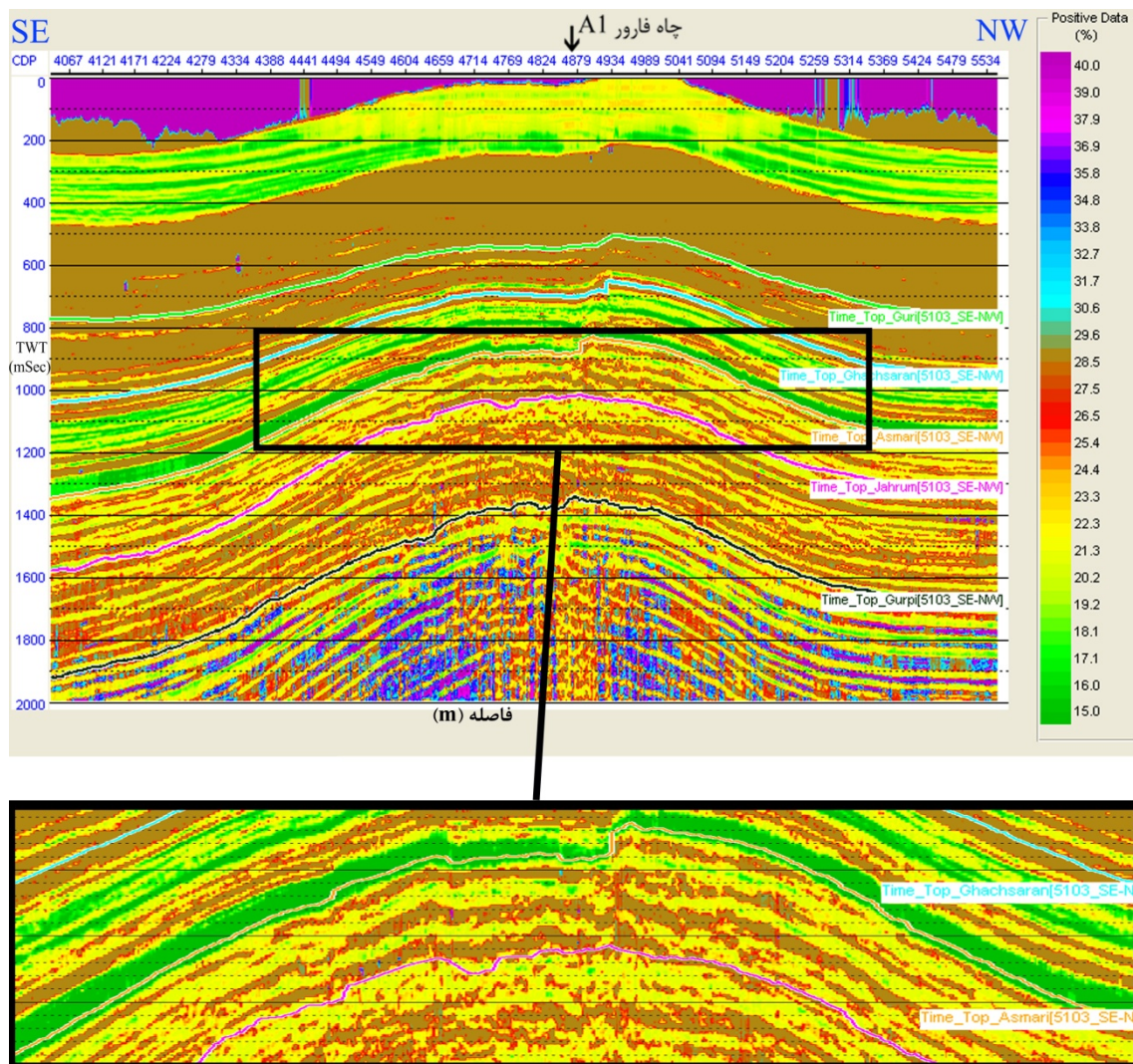
استفاده مقاطع تخلخل و اشباع آب می تواند در تفسیر هر چه بهتر مخازن و ساختار های زیرزمینی و برای ساخت یک مدل سه بُعدی شبه تخلخل و اشباع آب برای ارزیابی نفت و گاز برجای باشد. البته بررسی و آنالیز و مدل سازی داده های لرزه ای سه بُعدی نسبت به داده های دو بُعدی راحت تر و از کیفیت بهتری برخوردار است. لذا توصیه می شود که برای اینگونه آنالیز ها مخصوصاً برای مدل سازی در صورت امکان از داده های لرزه ای سه بُعدی استفاده شود.



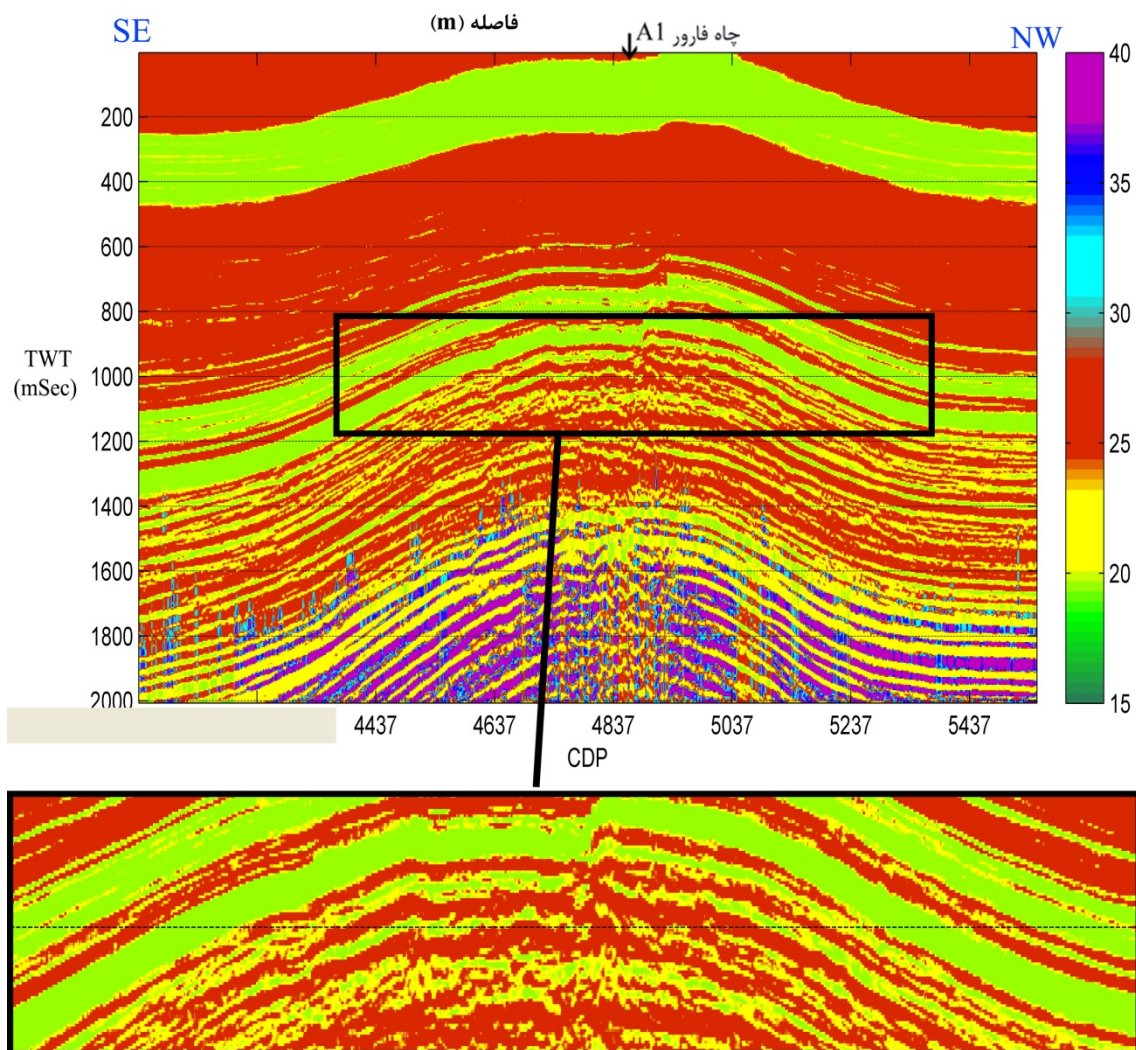
شکل (۴-۱۶). تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی RBFN همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.



شکل (۴-۱۷). تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی MLFN همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.



شکل (۴-۱۸). تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی PNN همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.

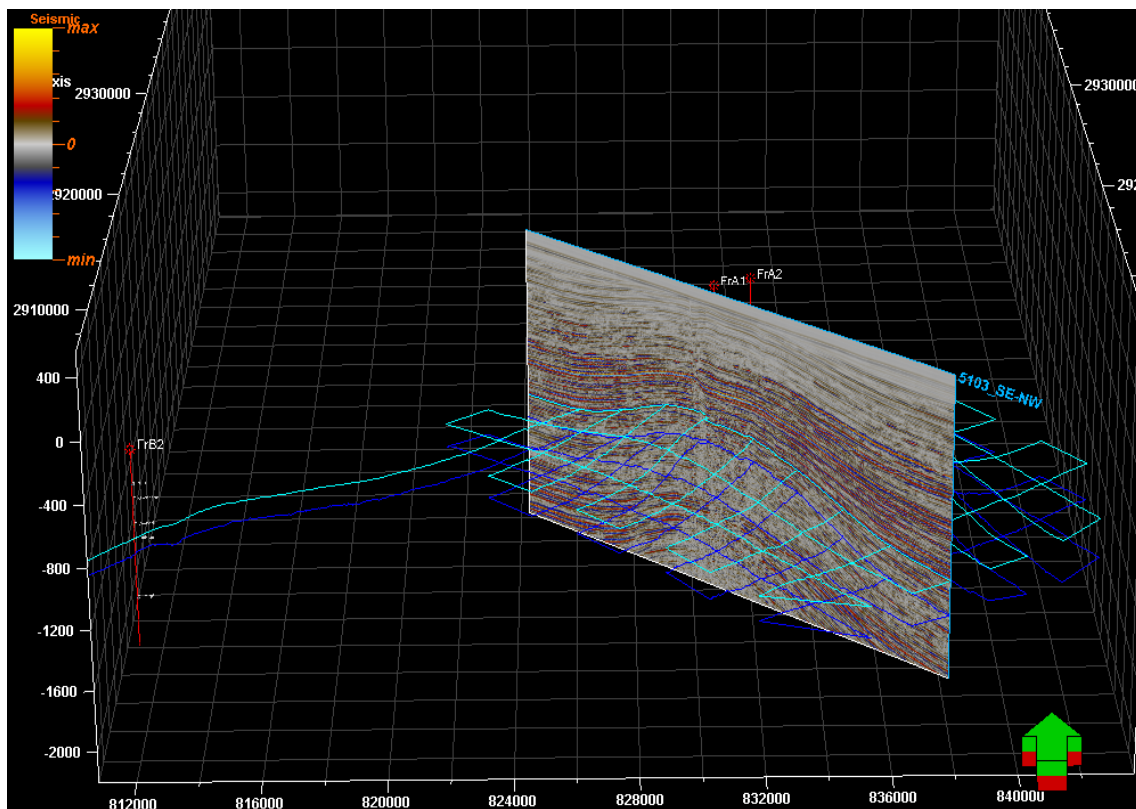


شکل (۴-۱۹). تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای برای مقطع لرزه ای ۵۱۰۳ در نزدیکی چاه فارور A1 با استفاده از شبکه عصبی فازی ANFIS همراه با ذکر جزئیات مخزن در شکل پایینی.

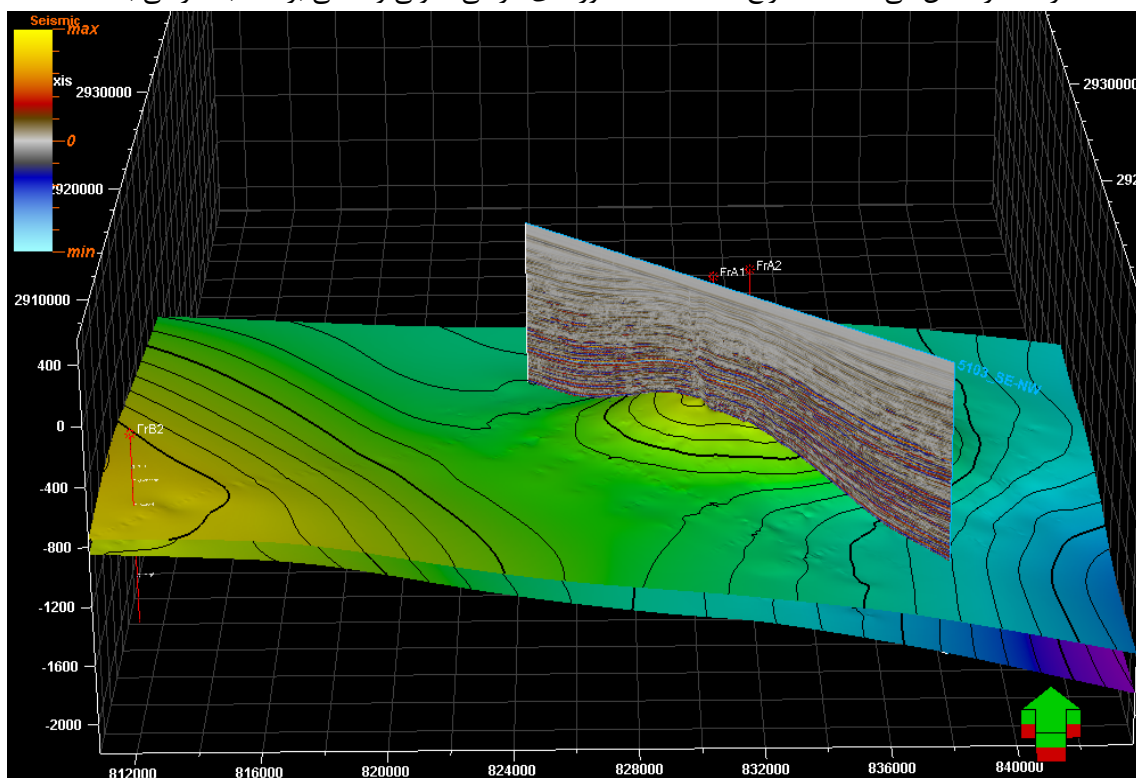
۷-۴ مدل سازی ساختمانی و زمین شناسی میدان

پس از تهیه مقاطع تخلخل و اشباع آب برای تمام مقاطع لرزه ای موجود در میدان فارور A بوسیله نرم افزار HRS، مدل سازی مخزن برای محاسبه حجم گاز برجای مخزن آسماری در نرم افزار Petrel، صورت پذیرفت. در این بخش مدل ساختمانی و زمین شناسی مخزن با استفاده از نرم افزار Petrel ساخته می شود. این مدل در ارزیابی هیدروکربور برجای قابل استفاده است و تا حد بسیار زیادی ارزیابی ها را دقیق تر و کیفیت تفسیر ها را بالا می برد. با توجه به اینکه میدان فارور A1 بصورت یک تاقدیس با گسل های کوچک بر روی راس آن است، آنالیز ها و بررسی ها با پیچیدگی های خاصی روبرو نیست. در اولین گام برای شروع، داده های لرزه ای و نگار های چاه را وارد نرم افزار می کنیم. با توجه به اینکه نگار ها قبلا در نرم افزار HRS وارد شده بود، وارد کردن نگار ها به نرم افزار Petrel از روی نرم افزار HRS بسیار آسان تر از وارد کردن آنها بصورت دستی است. پس از آن سر سازند ها که موقعیت عمقی و زمانی برای هر یک از سر سازند ها در محل چاه ها را مشخص می کند وارد می کنیم.

در مرحله بعد گسل ها و افق های لرزه ای را باید مشخص کنیم. با توجه به اینکه افق های لرزه ای در نرم افزار HRS ساخته شده بودند همین افق ها در نرم افزار Petrel بارگذاری شدند و تا حد زیادی حجم کارها را کاهش دادند (شکل ۴-۲۰). این افق ها در کل میدان به صورت نقطه ای، سر سازند ها را در محل مقاطع لرزه ای نشان می دهند و در محیط نرم افزار Petrel به راحتی قابل تبدیل به سطوح سر سازندی هستند (شکل ۴-۲۱). حال با توجه به اینکه بُعد استفاده شده بر حسب زمان است با استفاده از سطوح سر سازندی، عمق و زمان سر سازند ها در اطراف چاه ها، نگار چک شات یا VSP و نگار صوتی، بُعد زمان را به بُعد عمق تبدیل می کنیم. این عمل در قسمت تنظیمات چاه ها قابل دسترسی است. ساخت مدل ساختمانی یکی از مهمترین قسمت های کار می باشد، در این مرحله محدوده مورد بررسی میدان را مشخص می کنیم و میدان را بصورت سه بُعدی به سلول هایی که دارای ویژگی های مخزنی از قبیل تخلخل و اشباع آب و طول و عرض و عمق جغرافیایی و ... است

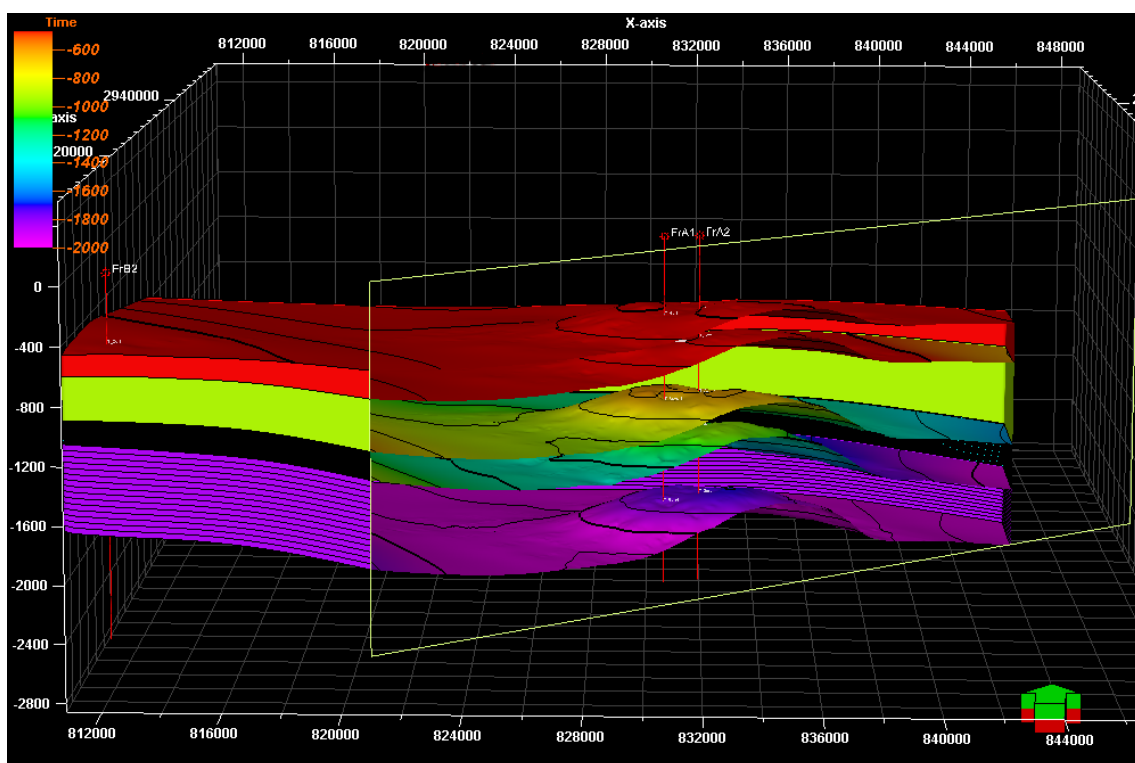


شکل (۴-۲۰). افق های لرزه ای آسماری و جهرم در نرم افزار Petrel که توسط نرم افزار HRS بصورت نقاطی که سر سازند ها را نشان می دهد استخراج شده است (محور های عرضی، طولی و عمقی بر حسب متر می باشند).



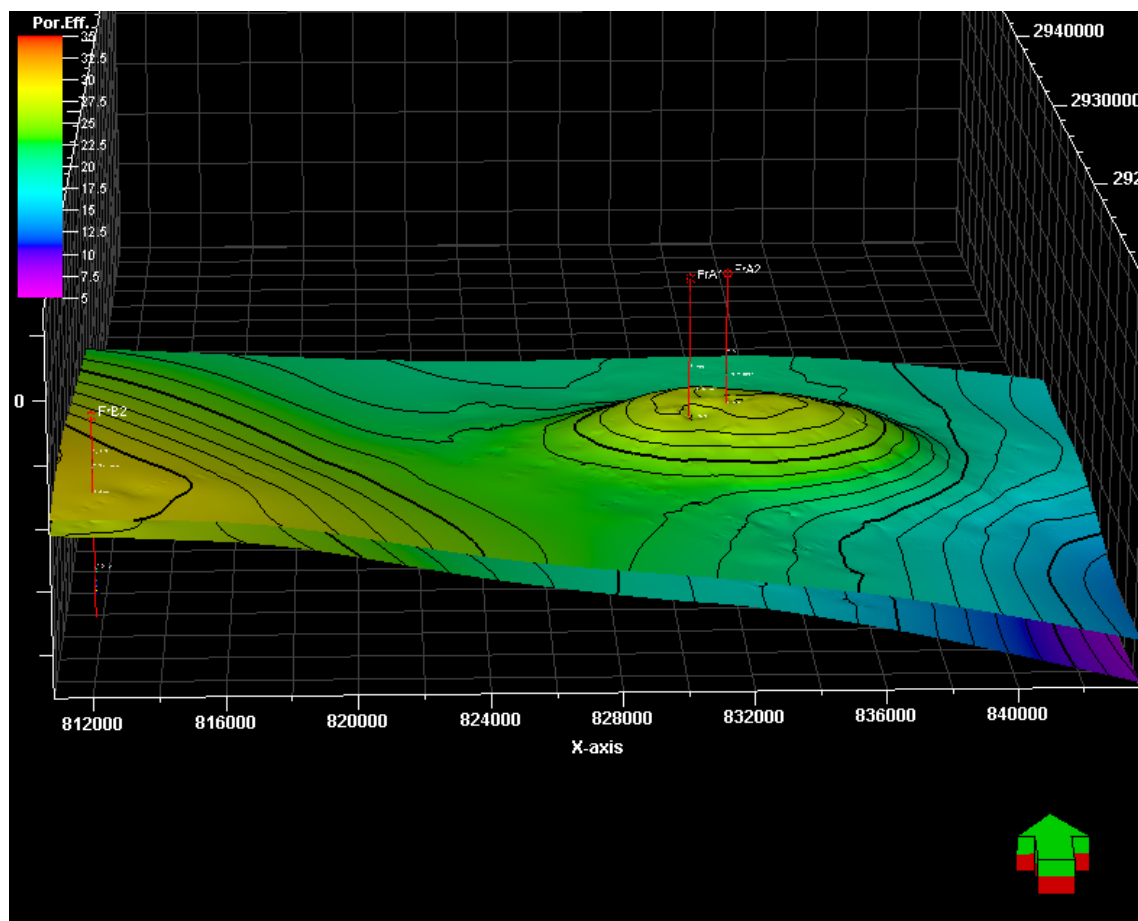
شکل (۴-۲۱). تبدیل افق های لرزه ای سازند های آسماری و جهرم به سطوح سرسازندگی (محور های عرضی، طولی و عمقی بر حسب متر می باشند).

تبدیل می کنیم. بعد از ایجاد مدل ساختمانی، مدل سرعت را به کمک افق های لرزه ای و سر سازند های داده شده در هر یک از چاه ها، می سازیم. ساخت مدل سرعت باعث می شود که هر یک از سلول ها از واحد زمان به واحد عمق تبدیل شوند. برای این کار، پس از تهیه مدل ساختمانی، با استفاده از منوی Make velocity model واقع در قسمت Geophysics نرم افزار Petrel، سر سازند ها در اطراف چاه ها و سطوح سر سازندی را وارد کرده و مدل سرعت را ایجاد می کنیم. با استفاده از مدل سرعت ما می توانیم هر یک از داده های ورودی مانند داده های لرزه ای، افق های لرزه ای و ... را از بُعد زمان به بُعد عمق تبدیل کنیم. شکل (۴-۲۲) مدل ساختمانی میدان فارور A را در دو بُعد زمان و عمق نشان می دهد (بُعد زمان با رنگ مشخص شده است).

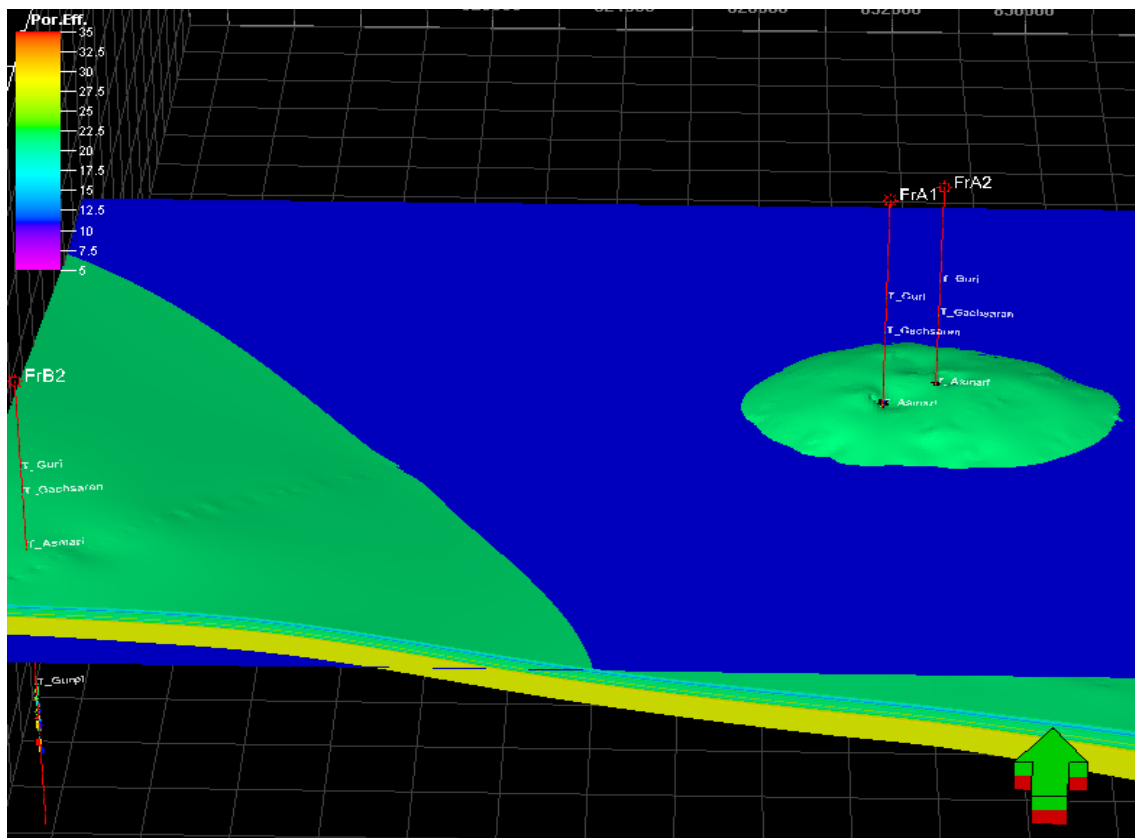


شکل (۴-۲۲). مدل ساختمانی میدان فارور A و B، سر سازند های رسم شده بترتیب از بالا به پایین، گوری، گچساران، آسماری، جهرم و گورپی می باشند (محور های عرضی، طولی و عمقی بر حسب متر می باشند). مدل سازی خصوصیات پتروفیزیکی با توجه به داده های در دسترس و روش های گوناگون متفاوت است. استفاده از داده های لرزه ای دو بُعدی جدا از محدودیت ها و مشکلاتی که در نرم افزار HRS داشتند در این نرم افزار نیز با مشکلات خاص خود همراه بودند. همانطور که می دانید مقاطع تخریح

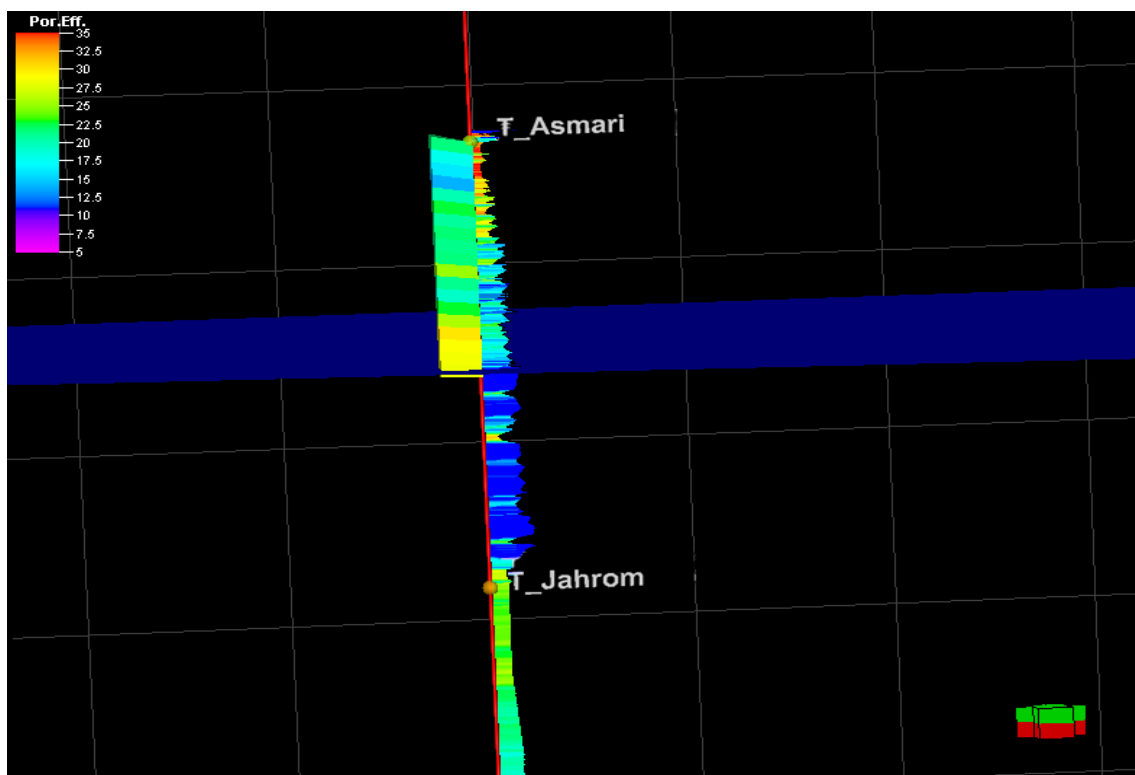
برای تمام مقاطع لرزه ای تهیه شد. تخلخل یکی از خصوصیات پتروفیزیکی مهم مخزن در ارزیابی میزان هیدروکربور برجای است. متاسفانه نرم افزار Petrel در قبول مقاطع شبه تخلخل تهیه شده به عنوان یک حجم تخلخل دچار محدودیت بود، در صورتی که اگر این داده ها قابل تعمیم به سلول های مدل ساخته شده بود، تا حد زیادی مدل ساخته شده با واقعیت مخزن نزدیک می شد. بنابراین از داده های چاه نگاری برای تعمیم تخلخل و اشباع آب در مدل استفاده شد. شکل (۴-۲۳) سر سازند های آسماری و جهرم و شکل (۴-۲۴) مدل حجمی و مدل تخلخل و سطح آب و گاز با ارتفاع ستون گاز ۱۲۴ متر و شکل (۴-۲۵) مدل اشباع آب را نشان می دهد.



شکل (۴-۲۳). سر سازند آسماری و جهرم بترتیب از بالا به پایین در میدان فارور A و B.

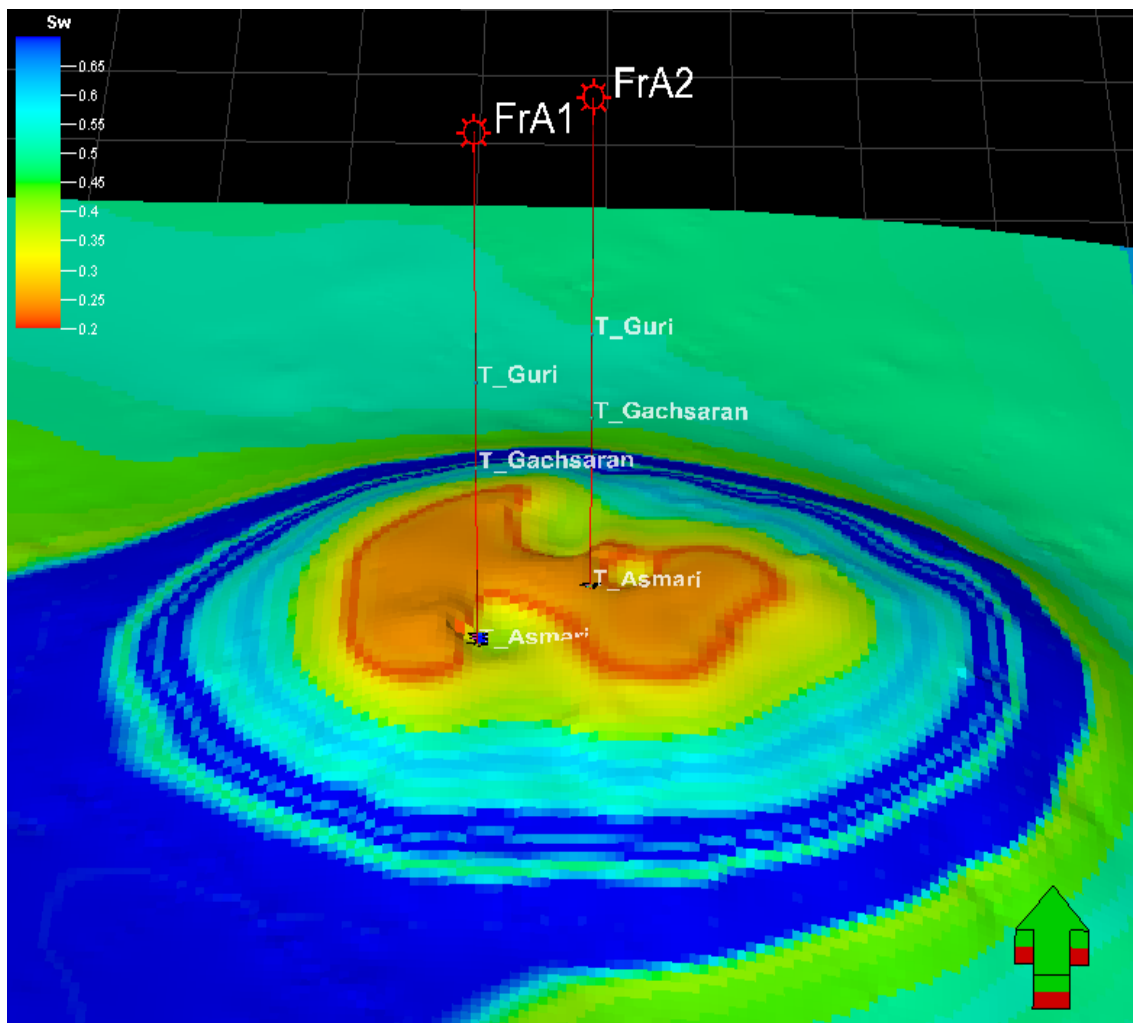


FrA2 (الف)



(ب)

شکل (۴-۲۴). مدل تخلخل برای مخزن آسماری در میدان فارور A ، (الف) مدل حجمی با ارتفاع ستون گاز ۱۲۴ متر، (ب) مقادیر تخلخل در سمت چپ و اشباع آب در سمت راست در اطراف چاه فارور A2.



شکل (۴-۲۵). مدل اشباع آب با حداکثر ۷۰ درصد اشباع در مخزن آسماری از میدان فارور A.

شرکت نفت در سال ۱۹۷۴، برای میدان فارور A، حد بالای اشباع آب را برای تعیین سطح تماس آب و گاز ۰/۷ و در عمق ۱۲۱۶ متری چاه فارور A2 اختیار کرده است. سطح تماس آب و گاز چنان مشخص می شود که با افزایش عمق تغییرات خاصی در میزان اشباع آب رخ ندهد، اما با توجه به شکل (۴-۴) در چاه فارور A2، از عمق ۱۱۲۶ متری تا عمق ۱۱۸۲ متری اشباع آب بسیار کم است و از عمق ۱۱۸۲ متری تا عمق ۱۲۵۰ متری اشباع آب با تغییرات اندک، کمتر از ۰/۷۰ و با میانگین ۰/۵۵ است. اما در عمق ۱۲۵۰ متری، اشباع آب به بالای ۰/۸۰ می رسد و تا انتهای سازند آسماری تغییرات زیادی نمی کند و از آنجا به بعد، با توجه به گزارش شرکت نفت، سازند های زیرین اشباع از آب هستند. بنابراین عمق ۱۲۵۰ متری به عنوان سطح آب و گاز اختیار شد.

۸-۴ محاسبه حجم گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A

معادله حجم (۶-۴) برای محاسبه حجم گاز برجای در هر مرحله ای از تولید قبل از آنکه مخزن دچار افت فشار قابل توجهی شود قابل استفاده است (Ahmed, 2000).

$$G = \frac{43,450Ah\phi(1-S_{wi})}{B_{gi}} \quad (۶-۴)$$

که در آن، G میزان گاز برجای بر حسب فوت مکعب در شرایط استاندارد (scf)، A ، سطح مخزن برحسب جریب ($acre$)، h ، ضخامت زون بهره ده برحسب متر، ϕ ، تخلخل بصورت کسری بین صفر و یک، S_{wi} ، اشباع آب بصورت کسری بین صفر و یک و B_{gi} ، فاکتور حجمی گاز برحسب ft^3 / scf است.

B_g برای تبدیل حجم گاز از شرایط مخزن به شرایط استاندارد که دارای فشار نسبی $14/7$ پوند بر اینچ مربع (psi) و دمای 60 درجه فارنهایت (F°) است استفاده می شود و معادله آن بصورت زیر است (Ahmed, 2000).

$$B_g = 0.02827 \frac{zT}{P} \quad (۷-۴)$$

که در آن، B_g ، فاکتور حجمی گاز که بر حسب ft^3 / scf ، z ، فاکتور فشرده شدگی گاز که برای گاز واقعی یک است، T دما بر حسب درجه رانکین^۱ (درجه رانکین دمای مطلق با درجه بندی فارنهایت است که در آن نقطه انجماد آب $491/67$ درجه و نقطه جوش آب $671/67$ درجه است) و P ، فشار فعلی مخزن بر حسب psi است. فشار مخزن آسماری 2030 پوند بر اینچ مربع و دمای آن 140 درجه فارنهایت است.

همانطور که در معادله (۶-۴) مشاهده می کنید محاسبه نفت و گاز برجای مخزن وابسته به حجم کلی مخزن، اشباع آب، تخلخل و تغییر حجمی گاز از زیر سطح به سطح است. این امر در گذشته با استفاده از منحنی های ترازوی که از سرسازند ها بوسیله داده های چاه نگاری و مقاطع لرزه ای تهیه

1. Rankine

می شد و یک مقدار میانگین از اشباع آب و تخلخل و عمق ستون گاز و نفت انجام می شد. اما امروزه، استخراج خصوصیات پتروفیزیکی از داده های لرزه نگاری، چاه نگاری و مغزه و استفاده از آنها برای مدل سازی مخازن، محاسبه حجم مخزن با بهترین تخمین ممکن، بعنوان حداقل کارایی این مدل ها مطرح می باشد. با توجه به محدودیت نرم افزار Petrel، در عدم تعمیم مقاطع دوبعدی تخلخل تهیه شده به سلول های مخزن، مدل سازی تخلخل و اشباع آب تنها توسط نگار های چاه صورت پذیرفت و پس از اختصاص مقادیر کمی به هر یک از سلول های مخزن و مشخص بودن سر سازند ها، تنها پارامتری که در محاسبه حجم مخزن باقی مانده است، ارتفاع ستون گاز است. ارتفاع ستون گاز از روی نگار اشباع آب در مخزن مشخص می شود. با توجه به اینکه مخازن گازی بالای ۹۰ درصد قابلیت برداشت دارند، بنابراین حداکثر اشباع آب ۹۰ درصد یا جایی که نگار اشباع آب مقادیر ثابت و بالایی را نشان می دهد معیار خوبی برای تعیین سطح تماس گاز و نفت است و محل تماس گاز و آب را مشخص می کند. اما با توجه به اینکه مقادیر اشباع آب از نگار مقاومت ویژه عمیق سازند و تخلخل استخراج شده است، کلیه مقادیر اندازه گیری شده اشباع آب متاثر از خطای اندازه گیری است.

با توجه به موارد فوق، محاسبه حجم گاز برجای بصورت سه سناریو با استفاده از مدل های ساخته شده صورت پذیرفت، این نتایج برای محاسبه حجم گاز برجای در مخزن آسماری در میدان فارور A و تخمین شرکت ملی نفت (۱۹۷۴) در جدول (۴-۷) آورده شده است که شامل موارد زیر می شود.

- سناریو اول: ارتفاع ستون گاز ۹۰ متر و مدل اشباع آب با تغییرات تدریجی تا حداکثر ۰/۷ و میانگین تخلخل ۲۵ درصد.
- سناریو دوم: ارتفاع ستون گاز ۹۰ متر و مدل اشباع آب با تغییرات تدریجی تا حداکثر ۰/۷ و استفاده از مدل تخلخل ساخته شده توسط چاه ها.
- سناریو سوم: ارتفاع ستون گاز ۱۲۴ متر و مدل اشباع آب با تغییرات تدریجی تا حداکثر ۰/۸ و استفاده از مدل تخلخل ساخته شده توسط چاه ها.

جدول (۴-۷). ارزیابی گاز برجای در مخزن آسماری از میدان فارور A با سناریو های مختلف و ارزیابی شرکت نفت.

میزان گاز برجای در شرایط استاندارد، میلیارد متر مکعب	میزان گاز برجای در شرایط مخزن، میلیون متر مکعب	حجم مخزن، میلیون متر مکعب	ارتفاع ستون گاز	اشباع آب در ستون گاز	مدل تخلخل استفاده شده
۲۶/۴۶۰	۱۹۲	۱۹۱۷	۹۰	تغییرات تدریجی و حداکثر ۰/۷	میانگین ۲۵ درصد
۲۷/۵۰۱	۱۹۹/۲۸	۱۹۱۷	۹۰	تغییرات تدریجی و حداکثر ۰/۷	Petrel
۴۵/۴۷۴	۳۲۹/۵۲	۳۳۲۴	۱۲۴	تغییرات تدریجی و حداکثر ۰/۸	Petrel
۲۵	۱۸۰	نا مشخص	۹۰	تغییرات تدریجی و حداکثر ۰/۷	تخمین شرکت نفت (۱۹۷۴)، میانگین ۲۵ درصد

• تخمین شرکت نفت (۱۹۷۴): ارتفاع ستون گاز ۹۰ متر و مدل اشباع آب با تغییرات تدریجی

تا حداکثر ۰/۷ و میانگین تخلخل ۲۵ درصد .

همانطور که مشاهده می کنید در سناریو اول که شبیه مدل شرکت نفت در سال ۱۹۷۴ است و در آن میانگین تخلخل ۲۵ درصد، مدل اشباع آب با تغییرات تدریجی و ارتفاع ستون گاز ۹۰ متر است، میزان گاز برجای مخزن آسماری در شرایط استاندارد، حدود یک و نیم میلیارد متر مکعب یعنی ۶ درصد نسبت به تخمینی که شرکت نفت در سال ۱۹۷۴ زده است تفاوت دارد و این مطلب دلیلی بر دقت خوب ترسیم سر سازند ها و تبدیل زمان به عمق مدل با استفاده از مدل سرعت ساخته شده را در این مطالعه نشان می دهد. سناریو دوم که در آن از مدل تخلخل و اشباع آب ساخته شده توسط نرم افزار Petrel بوسیله نگار های چاه ها استفاده شده است و ارتفاع ستون گاز ۹۰ متر است، میزان گاز برجای مخزن آسماری در شرایط استاندارد، حدود دو نیم میلیارد متر مکعب یعنی ۱۰ درصد نسبت به تخمینی که شرکت نفت در سال ۱۹۷۴ زده است تفاوت دارد و این مطلب دلیلی بر مدل سازی درست تخلخل با استفاده از چاه ها است. نتیجه ای که از این دو سناریو می توان گرفت این است که مدل اشباع آب و مدل تخلخل ساخته شده تا حد خوبی دقیق می باشد.

تفسیر نگار اشباع آب نشان داد که ارزیابی شرکت نفت در اختصاص ۹۰ متر ستون گاز کم است و این ستون ۱۲۴ متر است. حال در سناریو سوم، ارتفاع ستون گاز را ۱۲۴ متر، جایکه تغییرات اشباع آب تقریباً ثابت می شود و به ۸۰ درصد می رسد، اختیار می کنیم. با استفاده از مدل تخلخل و اشباع آب ساخته شده توسط چاه ها و افزایش ستون گاز از ۹۰ متر به ۱۲۴ متر، حجم گاز برجای مخزن، ۴۵/۴۷۴ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد ارزیابی شد.

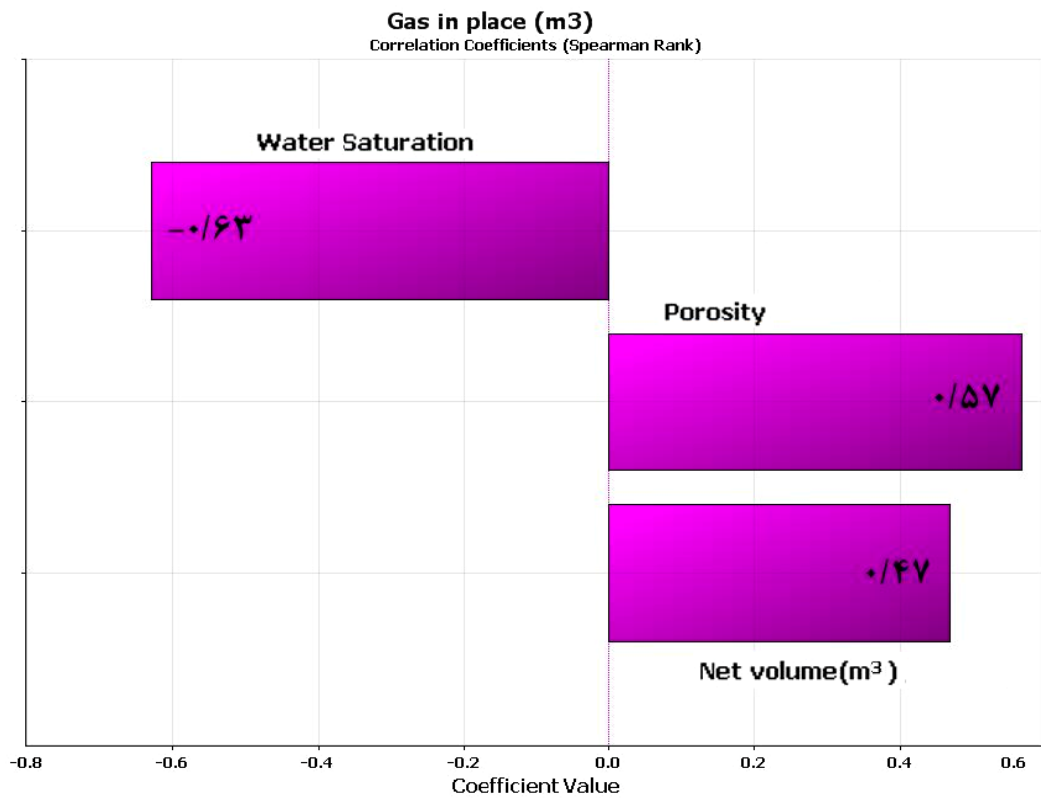
۹-۴ آنالیز ریسک برای محاسبه حجم گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A

با استفاده از مدول @Risk نرم افزار Palisade DecisionTools و بهره گیری از شبیه سازی مونت کارلو، آنالیز ریسک برای محاسبه میزان گاز برجای در شرایط استاندارد، با ۱۰۰۰۰۰۰ تکرار با شرایط زیر صورت پذیرفت:

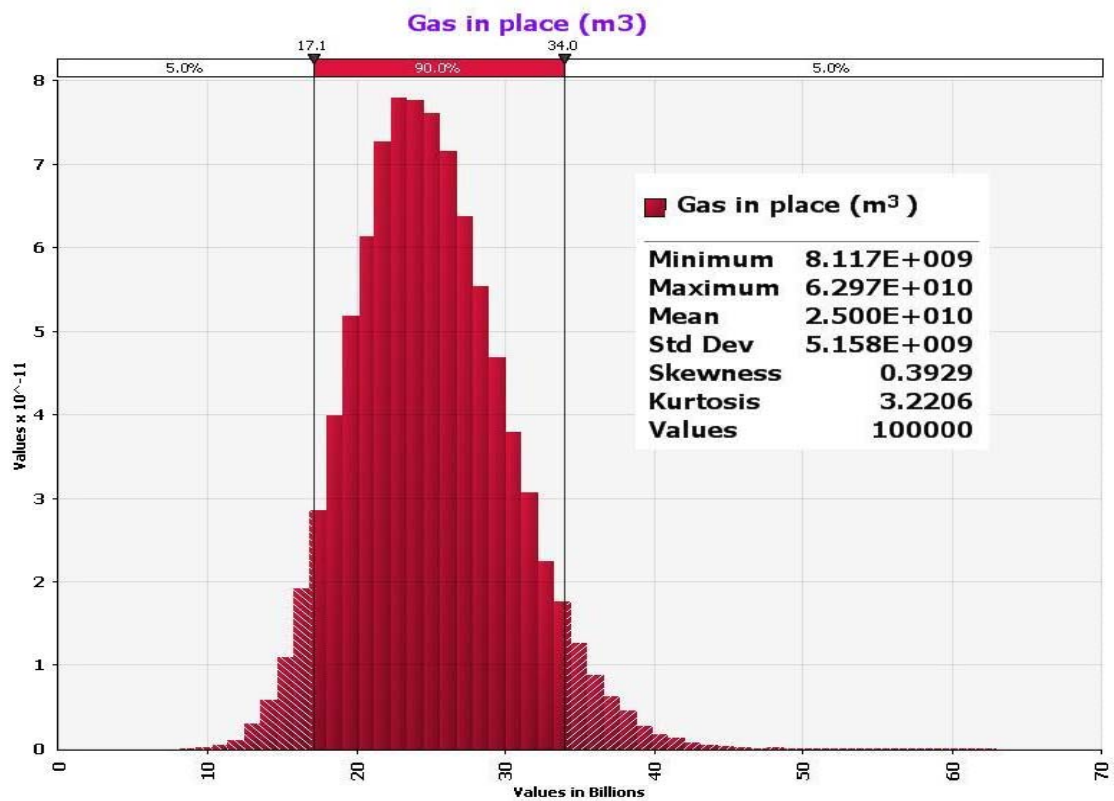
- اشباع آب با توجه به ارزیابی شرکت نفت و محاسبه آن بوسیله معادله آرچی، دارای توزیع نرمال با انحراف معیار ۰/۰۵ می باشد.
- تخلخل با توجه به تفسیر های انجام شده بر روی مقاطع شبه تخلخل ساخته شده در بخش ۴-۶، دارای توزیع نرمال با میانگین ۲۵ درصد و انحراف معیار ۳ درصد می باشد.
- حجم مخزن با توجه به سناریو اول و دوم دارای توزیع نرمال با انحراف معیار ۱۰ درصد نسبت به حجم مخزن با ۹۰ متر ستون گاز می باشد.

با توجه به شکل (۴-۲۶) که تاثیر پذیری و وابستگی (حساسیت) پارامتر های مختلف برای محاسبه حجم گاز برجای را نشان می دهد، ضریب همبستگی بین گاز برجای مخزن با اشباع آب ۰/۶۳، ضریب همبستگی بین گاز برجای مخزن با تخلخل ۰/۵۷ و ضریب همبستگی بین گاز برجای مخزن با حجم مخزن ۰/۴۷ است. از این رو در ارزیابی صحیح حجم ذخایر هیدروکربوری بایستی اشباع آب، تخلخل و حجم مخزن با نهایت دقت، با بکار گیری داده ها و روش های مختلف تعیین گردند.

با توجه به شکل (۴-۲۷) میزان گاز برجای مخزن آسماری با ستون گاز ۹۰ متر، با میانگین ۲۵ میلیارد متر مکعب و انحراف معیار ۰/۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد و با چولگی مثبت ۰/۴



شکل (۴-۲۶). نمودار تاثیر پذیری و همبستگی فاکتور های موثر بر محاسبه حجم گاز برجای برای مخزن آسماری با ستون گاز ۹۰ متر در میدان فارور A.



شکل (۴-۲۷). تابع توزیع احتمال محاسبه حجم گاز برجای در شرایط استاندارد برای مخزن آسماری با ستون گاز ۹۰ متر در میدان فارور A.

تخمین زده شد. چون چولگی بین ۰/۱ و ۰/۵ است، این مقدار نشان دهنده انحراف اندک توزیع حجم گاز در جای محاسبه شده از توزیع نرمال به سمت چپ میانگین است. جدول (۴-۸) نتایج آماری آنالیز ریسک برای محاسبه حجم گاز برجای مخزن آسماری با ستون گاز ۹۰ متر و حداکثر اشباع آب ۰/۷ و ستون گاز ۱۲۴ متر و حداکثر اشباع آب ۰/۸ در میدان فارور A را نشان می دهد. این پارامترها به ترتیب شامل مینیمم، ماکزیمم، میانگین، انحراف معیار، واریانس، چولگی، کشیدگی، مد و درصد های که معرف میزان ریسک محاسبه حجم گاز برجای است می شود. در این جدول میزان ریسک ۵ درصد، معادل احتمال وقوع ۹۵ درصد است یعنی احتمال وقوع، حاصل تفریق میزان ریسک از ۱۰۰ درصد است. بنابراین با میزان ریسک ۵ درصد، حجم گاز برجای مخزن آسماری با ۹۰ متر ستون گاز در میدان فارور A، ۱۷/۱ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد و حجم گاز برجای مخزن آسماری با ۱۲۴ متر ستون گاز در میدان فارور A، ۳۱/۴ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد خواهد بود. بنابراین در چنین شرایطی با سطوح اطمینانی مختلف، تصمیم گیری برای مدیریت مخزن و بهره برداری از آن آسان تر خواهد بود.

جدول (۴-۸) اطلاعات خروجی نرم افزار @Risk برای محاسبه حجم گاز برجای در شرایط استاندارد برای مخزن آسماری در میدان فارور A.

Description	Gas in place (m ³) with 90 meters Gas column	Gas in place (m ³) with 124 meters Gas column
Minimum	8116980000	15569140000
Maximum	62967670000	97475260000
Mean	25000840000	45527570000
Std Deviation	5157870000	9196635000
Variance	2.66036E+19	8.45781E+19
Skewness	0.392933	0.3883902
Kurtosis	3.220584	3.215292
Mode	23556000000	43671460000
5% Perc	17112990000	31477840000
10% Perc	18642140000	34189020000
15% Perc	19714960000	36081140000
20% Perc	20606440000	37695880000
25% Perc	21375070000	39032350000
30% Perc	22070430000	40305600000
35% Perc	22733610000	41518420000
40% Perc	23367430000	42686810000
45% Perc	24003990000	43775210000
50% Perc	24651230000	44914830000
55% Perc	25295930000	46079350000
60% Perc	25976850000	47270150000
65% Perc	26686300000	48561390000
70% Perc	27457080000	49880930000
75% Perc	28286570000	51346800000
80% Perc	29237390000	53019280000
85% Perc	30366070000	55068930000
90% Perc	31800330000	57655630000
95% Perc	34030380000	61629020000

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ جمع بندی نتایج و بحث روی آنها

با توجه به پیشرفت تکنولوژی، استفاده از نرم افزارها و ابزارهای جدید در پردازش و مدل سازی می تواند برای ارزیابی های دقیق تر میزان ذخایر هیدروکربوری نقش موثری ایفا کنند و میزان ریسک را بطور قابل توجهی در ارزیابی ها کاهش دهند و بدین طریق باعث افزایش تولید و رشد اقتصادی شوند. توصیف دقیق کمی و کیفی مخازن با استفاده از نرم افزارها و روش های جدید بکار گرفته شده مانند شبکه های عصبی و عصبی فازی برای تخمین پارامترهای پتروفیزیکی و تلفیق بهینه داده های لرزه نگاری، چاه نگاری، مغزه گیری و زمین شناسی باعث افزایش دقت تخمین های اکتشاف، حفاری و تولید می شود.

مطالعه حاضر بر روی میدان فارور A انجام شد و محدودیت داده ها یکی از مشکلات اصلی بود. نگار سرعت که در آنالیزهای اصلی فرآیند های این مطالعه ضروری بود که در یکی از دو چاه موجود در میدان مورد مطالعه و در محدوده مخزن وجود نداشت. با تلفیق سایر نگارهای چاه این نگار استخراج، ضرایب معادله گاردنر برای مخزن مورد مطالعه تصحیح، با استفاده از رگرسیون مرحله ای معادلات دقیق تری ارائه و بر اساس این معادلات ارزیابی سرعت را از ۵۱ درصد همبستگی در معادله گارنر تصحیح شده به ۶۴ درصد رسانید.

در بحث ارزیابی هیدروکربور برجای، توصیف و مدل سازی تخلخل و اشباع آب یکی از مسائل مهم به حساب می آید و هر اندازه که این مدل ها به واقعیت مخزن نزدیک تر باشند، ارزیابی ها دقیق تر خواهند بود. برای تهیه مدل های پراکندگی تخلخل و اشباع آب تلفیق اطلاعات یکی از راه حل های موثر است.

جهت تهیه مدل های دو بُعدی شبه تخلخل و اشباع آب با استفاده از نشانگرهای لرزه ای و داده های دو چاه موجود در منطقه مورد مطالعه، استخراج امپدانس صوتی به عنوان یکی از مهمترین نشانگرهای مرتبط با تخلخل ضروری بود. بهترین مدل شبه امپدانس زمانی قابل استحصال است که فرکانس های پایینی که از داده های لرزه ای حذف شده اند به آنها برگردانده شوند. استفاده از نگارهای

سرعت و چگالی و تهیه یک مدل با فرکانس پایین و تلفیق آن با مدل امیدانس صوتی حاصل از داده های لرزه ای که بصورت محدود باند است یکی از راه حل های مفید است که با استفاده از نرم افزار HRS و الگوریتم تلفیق Modelbase انجام شد. پس از استخراج کلیه رد لرزه نشانگر ها و امیدانس صوتی پهن باند در اطراف چاه ها، بهینه ترین ترکیب این نشانگر ها با استفاده از رگرسیون مرحله ای و اعتبار سنجی متقابل، برای تخمین تخلخل و اشباع آب انتخاب شدند.

تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای با موفقیت انجام شد و ضرایب همبستگی تخمین تخلخل با استفاده از شبکه RBFN، ۰/۶۰ و شبکه MLFN، ۰/۶۸ و شبکه PNN، ۰/۷۴ و بهترین شبکه آموزش داده شده ANFIS، ۰/۷۶ به دست آمد. همانطور که مشاهده می شود شبکه ANFIS بهترین ارزیابی و PNN بهترین شبکه عصبی برای تخمین تخلخل از روی نشانگر های لرزه ای هستند. نتایج تخمین اشباع آب به علت محدودیت داده ها رضایت بخش نبود و سه نوع شبکه عصبی آموزش داده شده با ضریب همبستگی ۰/۵۱ کیفیت بسیار پایینی را برای مقاطع لرزه ای مورد مطالعه ارائه دادند.

با استفاده از نرم افزار Petrel، مدل ساختمانی و تخلخل و اشباع آب و سرعت به خوبی قابل ساختن می باشد. متأسفانه، به علت محدودیت نرم افزار Petrel در تعمیم مقاطع تخلخل دو بُعدی تهیه شده در ساخت مدل سه بُعدی تخلخل، این مدل تنها بوسیله نگار تخلخل موجود در چاه ها تهیه شد و در محاسبات گاز برجای مخزن آسماری استفاده شدند. محاسبات گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A، در مقایسه با برآوردهای شرکت نفت از دقت خوبی برخوردار بودند و گاز برجای این مخزن با ارتفاع ستون گاز ۹۰ متر و سطح تماس آب و گاز با اشباع آب حداکثر ۰/۷، ذخیره گاز برجای آن ۲۷/۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد و با ارتفاع ستون گاز ۱۲۴/۸ متر و سطح تماس آب و گاز با اشباع آب حداکثر ۰/۸، ذخیره گاز برجای آن ۴۵/۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد تخمین زده شد. چون این مقادیر تخمین قطعی نمی باشد با استفاده از آنالیز ریسک، میانگین ذخیره گاز برجای مخزن آسماری در میدان فارور A، برای ۹۰ متر ستون گاز و حداکثر اشباع آب ۰/۷، ۲۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد و انحراف معیار ۰/۵ میلیارد متر مکعب و برای ۱۲۴ متر ستون

گاز و حداکثر اشباع آب ۰/۸ ، ۴۵/۵ میلیارد متر مکعب در شرایط استاندارد و انحراف معیار ۰/۹ میلیارد متر مکعب محاسبه شد. آنالیز حساسیت برای محاسبه حجم گاز برجای ، اهمیت اشباع آب، تخلخل و حجم مخزن را به ترتیب ۰/۶۳ ، ۰/۵۷ و ۰/۴۷ نشان می دهد. از این رو در نتیجه گیری باید به تعیین و محاسبه درست این پارامترها با بکارگیری انواع داده ها و روش های نوین هوشمند اقدام نمود.

۵-۲ پیشنهادات

در ادامه برخی از پیشنهادات که راه گشای کارهای آینده می باشد بیان می گردد.

- در این مطالعه سه شبکه عصبی و شبکه عصبی فازی ANFIS برای تخمین تخلخل و اشباع آب از روی نشانگرهای عصبی استفاده شد و مجال استفاده از روش های دیگر از جمله روش های فازی نبود. بکارگیری تمام این روش ها بر روی میادین مختلف و معرفی بهترین روش تخمین، از جمله کارهای تکمیلی در این زمینه می باشد.
- در این مطالعه، اشباع آب و تخلخل از روی نشانگرهای لرزه ای تخمین زده شد اما این دو تنها خصوصیات نیستند که قابل استخراج از نشانگرهای لرزه ای هستند. فشار منفذی (Pore Pressure) از جمله خصوصیات پتروفیزیکی است که دانستن توزیع آن امری مهم در صنایع نفت و گاز می باشد و امروزه توجه بسیاری از محققین و مهندسين را بسوی خود جلب کرده است.

منابع و مراجع

- درویش زاده، ع.، (۱۳۸۲)، زمین شناسی/ایران، چاپ سوم، انتشارات امیر کبیر، تهران، ص ۶۴۸.
- مرادزاده، ع.، قوامی ریایی، ر.، (۱۳۸۰)، چاه پیمایی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ص ۲۴۶.
- Ahmad, N., Spadini, G., Palekar, A., Subhani, M.A., (2007), Porosity Prediction Using 3D Seismic Inversion Kadanwari Gas Field, *Pakistan Journal of Hydrocarbon Research*, Vol. 17, pp. 95–102.
- Ahmed, T., (2000), *Reservoir Engineering Handbook*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, pp. 1211.
- Aleman, P.B., (2004), M.S thesis, Acoustic Impedance inversion of lower Permian carbonate buildup in the Permian basin, Texas A&M University.
- Asquith, G. and Gibson, C., (1982), *Basic Well Log Analysis for Geologist*, AAPG, Tulsa, Oklahoma USA. pp. 216.
- Badley, M. E., (1985), *Practical seismic interpretation*, Prentice- Hall, London, pp. 266.
- Balch R.S., Stubbs B.S., Weiss, W.W., Wo S., (1999), Using artificial intelligence to correlate multiple seismic attributes to reservoir properties, paper SPE 56733, 1999 SPE Annual Technical Conference and Exhibition Proceedings, Oct. 3-6, Houston, Texas.
- Barnes, A.E., (2001), Seismic attributes in your facies, *CSEG*, pp. 41–47.
- Becquey, M., Lavergne, M., Willm, C., (1979), Acoustic impedance logs computed from seismic traces, *Geophysics*, Vol. 44, pp. 1485–1501.
- Berteussen, K. A., and Ursin, B., (1983), Approximate computation of the acoustic impedance from seismic data, *Geophysics*, Vol. 48, pp. 1351–1358.
- Bishop, C.M., 1995, *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press, pp. 492.
- CGGVeritas, (2007), user manual, Hampson-Russell Software(HRS), Global Provider of Geophysical Services and Equipment.

Chawathe, A., Ouenes, A., Weiss, W.W., (1997), Interwell property mapping using crosswell seismic attributes, paper SPE 38747, 1997 SPE Annual Technical Conference and Exhibition Proceedings, Oct. 5-8, San Antonio, Texas.

Chen, Q., Sidney, S. (1997), Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring, *The Leading Edge*, Vol. 16, No. 5, pp. 445–448.

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.

Ellis, D.V., Singer, J. M., (2007), *Well Logging for Earth Scientists*, 2nd Edition, Springer, pp. 685.

Emre, A.F, (2005), M.S thesis, Reservoir characterization using intelligent seismic inversion, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University.

Fugro-Jason, (2010), User Manual, Fugro-Jason software.

Gadallah, M.R., (1994), *Reservoir Seismology, Geophysics in Non-technical Language*, PennWell Books, Tulsa, Oklahoma, pp. 384.

Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., and Gregory, A.R., (1974), Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps, *Geophysics*, Vol. 39, pp. 770–780.

GEDCO, (2002), User Manual, Vista - 2D/3D Seismic Data Processing.

Graebner, R., and Wason, H. M., (1981), Three dimensional methods in seismic exploration: *Science*, Vol. 211, pp. 535–540.

Hampson, D. and Russell, B., (1990), AVO inversion, Theory and practice, Annual Meeting Abstracts, Society of Exploration Geophysicists, pp. 1456–1458.

Hampson, D. and Russell, B., (1992), Strata Course Note, unpublished, Hampson Russell software, pp. 66.

Hampson, D.P., Schuelke, J.S., Quirein, J.A., (2001) Use of multi attribute transforms to predict log properties from seismic data, *Geophysics*, Vol. 66, No. 1, pp. 220–236.

Hardage B.A, (1999), *Vertical seismic profiling: Principles*, Seismic Exploration, Vol. 14, pp. 552.

Hardage, B. A., (1987), *Seismic stratigraphy*, Elsevier, Amsterdam, pp. 432.

Iranian offshore oil company, (1974), *Geological and Drilling Reports of Farour A Oil Field*, Iranian offshore oil company, Tehran.

Jang, J.S.R., (1992), PhD Dissertation, *Neuro-fuzzy modeling: architecture, analyses and applications*, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley.

Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., (1997), *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A computational approach to learning and machine intelligence*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, pp. 640.

Johnson, R.A. and Wichern, D.W., (1998), *Applied Multivariate Statistical Analysis*, Upper Saddle River, Prentice Hall.

Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rezaee, M.R., Rahimpour-Bonab, H., Chehrazi, A., (2009), *Petrophysical data prediction from seismic attributes using committee fuzzy Inference system*, *Computers & Geosciences*, pp. 2314–2330.

Kobesh, F.P., Blizard, R.B., (1959), *Geometric factor in sonic logging*, *Geophysics*, Vol. 24, pp. 64–76.

Leiphart, D.J., Hart, B.S., (2001), *Comparison of linear regression and a probabilistic neural network to predict porosity from 3D seismic attributes in Lower Brushy Canyon channeled sandstones, southeast New Mexico*, *Geophysics*, Vol. 66, No. 5, pp. 1349–1358.

Lindseth, R.O., (1979), *Synthetic sonic logs, A process for stratigraphic interpretation*, *Geophysics*, Vol. 44, pp. 3–26.

Masters, T., (1995), *Advanced algorithms for neural networks*, John Wiley & Sons, Inc.

MathWorks, (2008), *User Manual, MATLAB*.

McCulloch, W. S., Pitts, W., (1943), A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 5, pp. 115–133.

Nikraves, M., Aminzadeh, F., (2001), Past, present and future intelligent reservoir characterization trends, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 31, pp. 67–79.

NISOC, (1982), *Simplified Table of Rock Unit in Zagros Area*, Geology Department, Report No. pp. 5252.

Oldenburg, D. W., Scheuer, T., Levy, S., (1983), Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms, *Geophysics*, Vol. 48, pp. 1318–1337.

Orr, M., (1996), Introduction to radial basis function neural networks, Research Report for the Institute of Adaptive and Neural Computation, University of Edinburgh.

Palisade, (2009), User manual, Palisade Decision Tools.

Pedersen-Tatalovic, R., Uldall, A., Jacobsen, N.L., (2008), Event-based low-frequency impedance modeling using well logs and seismic attributes, *The Leading Edge*, pp. 592–603.

Powell, M.J.D., (1987), Radial basis functions for multivariable interpolation, a review. In J.C. Mason and M.G. Cox (Eds.), *Algorithms for Approximation*, Clarendon Press, pp. 143–167.

Russell, B.H., (2004), PhD Thesis, The application of multivariate statistics and neural networks to the prediction of reservoir parameters using seismic attributes, Department of Geology and Geophysics, University of Calgary, Alberta.

Schlumberger, (1972), *log interpretation manual/principle*, Vol. 1, Houston.

Schlumberger, (2008), User manual, Petrel software.

Soto, B.R., Holditch, S.A., (1999), Development of reservoir characterization models using core, well log, and 3D seismic data and intelligent software, paper SPE 57457, 1999 SPE Eastern Regional Conference and Exhibition proceedings, Oct. 21–22, Charleston, West Virginia.

Specht, D.F., (1990), Probabilistic neural networks, *Neural Networks* 3 (1), pp. 109–118.

Taner, M.T., (2001), *Seismic Attributes*, *CSEG*, pp. 48–56.

TatukGIS, (2002), User manual, Geographic Information Systems.

Zadeh, L.A., (1965), Fuzzy sets, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338–353.

پیوست الف

شرح نگارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر

الف-۱ نگار صوتی

نگار صوتی یک نگار تخلخل است که مدت زمان عبور موج صوتی تراکمی را در عمق نفوذی چند فوتی از دیواره چاه اندازه می‌گیرد. زمان عبور Δt بر حسب میکروثانیه بر فوت اندازه‌گیری می‌شود. این ابزار شامل یک یا چند فرستنده و دو یا چندین دریافت کننده می‌شود که نوع پیشرفته آن جبرانی (BHC^1) است که به خوبی اثر تغییر ضخامت دیواره چاه و کجی سوند در چاه را جبران می‌کند (Kobesh and Blizard, 1959, Schlumberger, 1972).

الف-۲ نگار چگالی

نگار چگالی سازند یک نگار تخلخل می‌باشد که چگالی الکترونی سازند را اندازه می‌گیرد. این نگار در پیدا کردن لایه‌های تبخیری، لایه‌های گاز دار، اندازه‌گیری چگالی هیدروکربور و ارزیابی مخازن ماسه‌ای شیلی و ساختمان‌های پیچیده سنگ شناسی کمک شایانی به مهندسی می‌کند (Schlumberger, 1972).

ابزار نگار برداری چگالی در تماس با سازند، اشعه گاما را که منبع کبالت ۶۰ یا سزیم ۱۳۷ دارند تشعشع می‌کند و اشعه گاما به الکترون‌های سازند برخورد می‌کند و این برخورد ها باعث کاهش انرژی اشعه گاما صادر شده می‌شوند که به این پدیده اثر کامپتون^۲ می‌گویند. گاما پخش شده در سازند توسط دریافت کننده‌ها که در فاصله مشخصی از فرستنده قرار دارند اندازه‌گیری می‌شود و بیانگر میزان چگالی کلی سازند است (Asquith and Gibson, 1982).

الف-۳ نگار نوترون

نگار نوترون یک نگار تخلخل است و غلظت هیدروژن را در سازند اندازه‌گیری می‌کند. در یک سازند تمیز که خالی از هرگونه رس است و تمام تخلخل با آب یا نفت پر شده است، نگار نوترون تخلخلی که از سیال پر شده است را اندازه می‌گیرد.

1. Borehole compensated
2. Compton

نوترون توسط یک منبع شیمیایی که در ابزار قرار دارد و ممکن است ترکیبی از امرسیم^۱ و بریلیم^۲ که پیوسته نوترون تشعشع می کند ایجاد می شود. این نوترون به هسته هایی که داخل سازند قرار دارند برخورد می کند و در نتیجه نوترون ها انرژی خود را بر اثر برخورد از دست می دهند و به خاطر اینکه نوترون با هیدروژن جرم اتمی یکسانی دارند بیشترین انرژی نوترون بر اثر برخورد با هیدروژن از بین می رود، بنابراین بیشترین کاهش انرژی تابعی از میزان هیدروژن سازند است و به این خاطر که هیدروژن در خلل و فرج سنگ است و متعلق به سیالات داخل آن است می توان آن را به تخلخل سازند نسبت داد. زمانی که سازند گاز دار بوده و نفت یا حاوی آب کمی است، تخلخل ناشی از نگار نوترون مقدار کمی را نشان می دهد و به این بدان خاطر است که غلظت هیدروژن در گاز به مراتب خیلی کمتر از نفت یا آب است، به این پدیده اثر گاز گفته می شود (Asquith and Gibson, 1982).

الف-۴ نگار مقاومت ویژه لاترولوگ

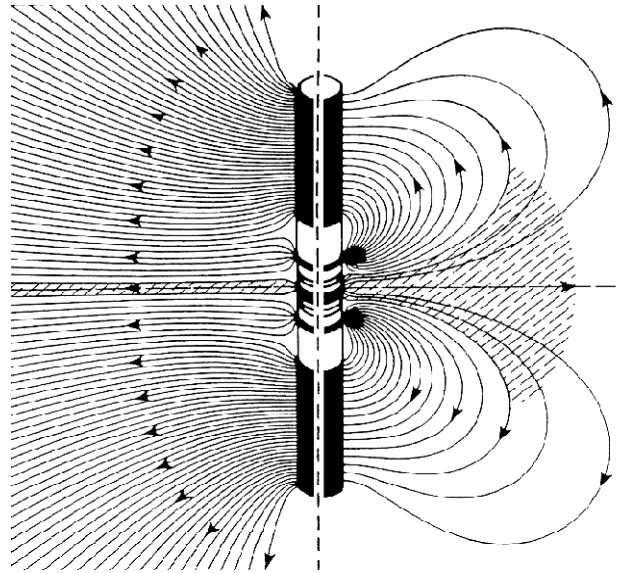
نگار لاترولوگ برای اندازه گیری مقاومت واقعی سازندی در چاه هایی که با گل شور حفاری می شوند و مقاومت آب سازندی و گل آب برابر دارند طراحی شده است. شکل (الف-۱) ابزار لاترولوگ مضاعف (DLL^۳) و خطوط جریان در اطراف آن را نشان می دهد. این ابزار ترکیبی از دو ابزار LLd^۴ و LLs^۵ است که دو مقاومت ویژه عمیق و بخش کم عمق سازند را هم زمان اندازه گیری می کند (مراد زاده و قوامی ریابی، ۱۳۸۰).

الف-۵ نگار القایی

این ابزار خاصیت هدایت الکتریکی را بوسیله سیم پیچ هایی که جریان تولید می کند اندازه گیری می کند و در چاه های خشک یا چاه هایی که با گل نفتی حفاری می شوند برای اندازه گیری مقاومت ویژه سازند مورد استفاده قرار می گیرند.

-
1. Americium
 2. Beryllium
 3. Dual Laterolog
 4. Deep Latrolog
 5. Shallow Latrolog

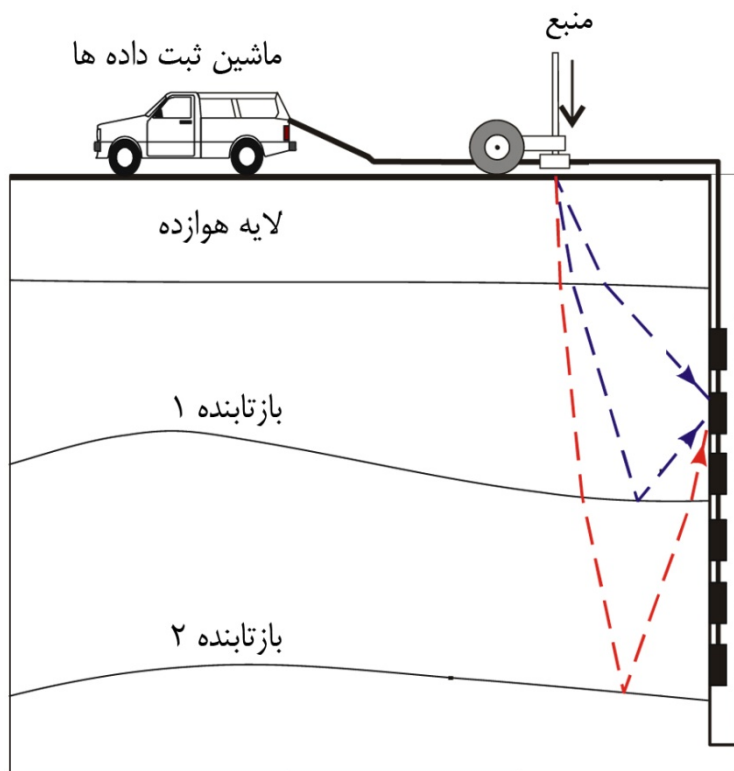
ابزاری که نگار آن در این مطالعه استفاده شد ابزار 6FF40 است که ترکیب بندی سیم پیچ های آن در دهه ۱۹۵۰ ارائه شد و دارای سه سیم پیچ فرستنده و سه سیم پیچ گیرنده و دارای بازه سوند ۴۰ اینچ است و مقاوت الکتریکی عمیق سازند را به ما می دهد.



شکل(الف-۱). ابزار DLL و خطوط جریان در اطراف آن (Ellis, 2007).

الف-۶ نگار VSP

یک پروفیل لرزه ای عمودی (VSP)، به این ترتیب ایجاد می شود که یک سیگنال لرزه ای در سطح ایجاد و توسط یک سری ژئوفون در داخل یک چاه حفر شده در عمق های مختلف ثبت می گردد. پس از اعمال تصحیح، خروجی حاصل از این فرآیند زمان رسیدن امواج از سطح به اعماق مختلف است که در تخمین عمق سطوح انعکاسی لرزه نگاشت ها و بررسی هم زمان داده های لرزه ای با داده های چاه نگاری و تعیین مدل سرعت حداقل استفاده هایی است که از این نگار در این مطالعه استفاده شده است. شکل (الف-۲) نحوه برداشت این نگار را نشان می دهد (Hardage, 1999).



شکل (الف-۲). طرح کلی برداشت VSP، همراه با تغییر (Hardage, 1999).

Abstract:

In most conventional modeling an appraisal of reservoir is made by using a limited superficial measurement. With considering the importance of hydrocarbon rule in economics of a country, it is necessary to provide a set of precise and suitable models by using of new technology which integrates all available data. In this thesis target of study is Farour A oil field in which two wildcat well were drilled in 1974 and with custom methods gas in place were predicted around 25 billion cubic meters in standard condition.

In this thesis, a number of new ideas based on neural network and ANFIS for determination of reservoir parameters, structural modeling and evaluation of gas in place in Farour A oil field engaged. First, for making synthetic seismogram, velocity information which was missed at one well location was predicted by Gardner's relationship with some modification. Then, 2D seismic data and petrophysical well logs such as density, velocity, porosity and so forth in Farour.A oil field were engaged in HRS software and by applying seismic inversion, broad-band acoustic impedance were extracted as the most related attribute to porosity. Next, by using stepwise regression and cross validation techniques, $1/(\text{Acoustic Impedance})$ and Average Frequency were selected as optimum types of related seismic attributes for porosity estimation. Finally, three types of neural and neuro-fuzzy (ANFIS) network were applied for porosity prediction using seismic attributes. Results showed that predicting porosity from seismic attributes by ANFIS performs fast convergence and high accuracy against three types of neural networks.

After making structural, porosity and water saturation models by Petrel software, gas in place reserve in Asmari reservoir was evaluated in three states. The first one was a model likes the NIOC model and built for comparison. At the second one, porosity model which was made by Petrel software examined and its accuracy has been checked. At the third one, gas in place was evaluated for 124 meters gas column where as water saturation is less than 0.8. So, average gas in place of Asmari reservoir in Farour A oil filed for 90 meters gas column for water saturation less than 0.7 was evaluated 25 billion cubic meters in standard condition with standard deviation of 0.5 and for 124 meters gas column with water saturation less than 0.8 was evaluated 45.5 billion cubic meters in standard condition with standard deviation of 0.9, Sensitivity analysis showed importance of precise calculation in porosity, water saturation and net volume with correlation coefficient of 0.63, 0.57 and 0.47 respectively versus gas in place reserve.

Keywords: Seismic Inversion, Seismic and Well Logging Data, Pseudo-Porosity and Water Saturation Modeling, Geological and Structural Modeling, Evaluation of Hydrocarbon In place.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

Integration of seismic and well logging data for petrophysical modeling and evaluation of in situ gas reserve for one of the hydrocarbon reservoir in the south part of Iran

A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science
in Petroleum Exploration Engineering

By:

Yousef Shiri

Supervisors:

Dr. Ali Moradzadeh

Dr. Reza Ghavami-Riabi

Advisor:

Ali Chehrazi

March 2011