

اللَّهُ الرَّحْمَنُ الرَّحِيمُ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گرایش ژئوفیزیک

تهیه نقشه شباهت و تحلیل رگرسیونی داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه در یک مخزن و کاربرد آن در تعیین نقاط با پتانسیل بالای اکتشافی

زهره ذاکری نژاد

استاد راهنما:

علی نجاتی کلاته

استاد مشاور:

امین روشندل کاهو

پایان نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۰

برای مادر و پدر نازنینم

و همسر بی آلامم

تقدیر و سپاسگزاری

در این مدت کوتاه با انسانی وارسته آشنا شدم. استاد صبور و گراندوری که بر تمامی کاستی‌های من چشم دوخت. بسیار سپاسگزارم از آقای دکتر امین روشندل کاهو، استاد عزیزم. تشکر می‌کنم از آقای دکتر علی نجاتی کلاته، استاد دلسوزم، که در سخت‌ترین شرایط همراهم بودند و از حمایتشان بهره‌مند بودم.

سپاسگزارم از پدر و مادر مهربانم که همواره مرا همراهی کردند. ممنونم از بهترین و بی‌آلایش‌ترین دوستم، تکیه‌گاه زندگیم، همسرم که همیشه حامی من بوده و هست. امیدوارم این هدیه ناچیز بتواند گوشه‌ای از زحماتشان را جبران کند.

در این مدت با دوستانی آشنا شدم که کمک‌هایشان راه‌گشای بسیاری از مشکلاتم بود. از همه دوستان عزیزم، علی حسینی، یوسف شیری، فاطمه و جواد ممنونم و سپاس از مریم عزیزم.

از جناب آقای شاه‌حسینی برای تمام کمک‌ها و لطف بی‌دریغشان سپاسگزارم و برای سایر پرسنل محترم دانشکده آرزوی بهروزی دارم.

تعهد نامه

اینجانب زهره ذاکری نژاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک. دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تهیه نقشه شباهت و تحلیل رگرسیونی داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه در یک مخزن و کاربرد آن در تعیین نقاط با پتانسیل بالای اکتشافی تحت راهنمایی دکتر علی نجاتی کلاته متعهد می‌شوم .

- 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 می‌باشد 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 می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

چکیده

تعیین تخلخل همواره در محاسبه ذخیره درجای هیدروکربور، بررسی تغییرات رخساره، برنامه‌ریزی بهینه جهت توسعه میدان، کاهش ریسک و همچنین حفر تعداد کمتری چاه و در نتیجه کاهش هزینه‌های حفاری بسیار حائز اهمیت است. از جمله روش‌های متداول مورد استفاده، می‌توان به رگرسیون و شبکه‌های عصبی اشاره کرد که به آنالیز نشانگرهای چندگانه می‌پردازند. هزینه‌های بالای حفاری مانع تصمیم‌گیری قطعی در مورد تعیین نقاط امیدبخش اکتشافی با تکیه بر یک روش می‌باشند. به همین دلیل در این مطالعه علاوه بر تخمین توزیع تخلخل با استفاده از روش‌های مرسوم ذکر شده، روش آنالیز جدیدی به نام نقشه شباهت، معرفی می‌شود. این روش آماری بوسیله خلاصه کردن همه اطلاعات، تنها در یک نقشه، وظیفه مفسر را برای آنالیز چندین نشانگر لرزه‌ای بصورت همزمان، آسان می‌کند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از وارون‌سازی به استخراج داده‌های مقاومت ظاهری لرزه‌ای پرداخته و سپس با تبدیل نشانگرهای چندگانه، از نتیجه به‌دست آمده به‌عنوان یک نشانگر، به‌همراه سایر نشانگرهای استخراج شده از داده‌های لرزه‌ای، نقشه توزیع تخلخل منطقه مورد مطالعه تهیه می‌شود. در بخش بعدی تحقیق از چهار نشانگر دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، فرکانس لحظه‌ای و مقاومت ظاهری لرزه‌ای برای تهیه نقشه شباهت استفاده شده است و چاه ۰۸-۰۸ که یک چاه تولیدکننده است، به عنوان نقطه مبنا انتخاب و شباهت منطقه مورد مطالعه با نقطه مبنا به نقشه در می‌آید. مقایسه نتیجه نقشه شباهت با نقشه توزیع تخلخل در محدوده مخزن، همخوانی مناسب میان این دو نقشه را که از روش‌های مختلف به‌دست آمده‌اند و هر کدام دارای اطلاعات مخصوصی برای مفسر می‌باشند، نشان می‌دهد. این نقشه که تاییدی بر صحت نقشه توزیع تخلخل به‌دست آمده از طریق شبکه عصبی و رگرسیون است، به ما کمک کرد تا نقطه جدیدی را در حدود خط گیرنده ۴۵ ام و خط چشمه ۵۵ ام به‌عنوان نقطه حفاری بهینه‌ی بعدی پیشنهاد بدهیم.

واژه‌های کلیدی: نقشه شباهت، توزیع تخلخل، نشانگر لرزه‌ای، نقطه بهینه حفاری، توصیف مخزن

مقالات مستخرج از پایان‌نامه:

نقشه شباهت و کاربرد آن در تعیین نقاط با پتانسیل بالای اکتشافی.
پذیرش چاپ در مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۲، جلد ۶ (۱۳۹۱).

نقشه شباهت و کاربرد آن در تعیین نقاط با پتانسیل بالای اکتشافی.
پذیرش ارائه در پنزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۶-۲۸ اردیبهشت، ۱۳۹۱.

فهرست مطالب

فصل اول	۱
مقدمه	۱
فصل دوم	۵
وارونسازی داده‌های لرزه‌ای	۵
۱-۲ لرزه‌نگاری	۶
۱-۱-۲ شیوه‌های لرزه‌نگاری	۶
۲-۱-۲ اصول لرزه‌ای	۷
۳-۱-۲ قانون اسنل	۹
۲-۲ وارونسازی داده‌های لرزه‌ای	۱۰
۱-۲-۲ مزایای وارونسازی داده‌های لرزه‌ای	۱۵
۳-۲ سری بازتاب	۱۶
۴-۲ موجک لرزه‌ای	۲۰
۲-۴-۲ اندازه‌گیری مستقیم موجک لرزه‌ای	۲۲
۳-۴-۲ تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای (روش آماری)	۲۳
۴-۴-۲ تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه	۲۴
۱-۴-۴-۲ روش تقسیم طیفی	۲۵
۲-۴-۴-۲ روش فیلتر وینر (فیلتر کمترین مربعات خطا)	۲۵
۵-۴-۲ تخمین موجک با برگردان داده‌های لرزه‌ای	۲۸
۵-۲ روش‌های وارونسازی لرزه‌ای پس از برانبارش	۲۸
۱-۵-۲ وارونسازی با باند محدود یا بازگشتی	۲۹

۳۱	۲-۵-۲ وارونسازی بلوکی یا بر مبنای مدل
۳۵	۳-۵-۲ وارونسازی خارهای پراکنده
۳۶	فصل سوم
۳۶	نشانگرهای لرزه‌ای و تحلیل آنها
۳۷	۱-۳ نشانگرهای لرزه‌ای
۳۸	۲-۳ تاریخچه استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای
۳۹	۳-۳ انواع نشانگرهای لرزه‌ای
۴۱	۱-۳-۳ طبقه‌بندی نشانگرها بر اساس ویژگی‌های آنها
۴۱	۱-۱-۳-۳ نشانگرهای پیش از برانبارش
۴۱	۲-۱-۳-۳ نشانگرهای پس از برانبارش
۴۱	۲-۳-۳ طبقه‌بندی بر اساس محتوای اطلاعات
۴۱	۱-۲-۳-۳ نشانگرهای لحظه‌ای
۴۲	۲-۲-۳-۳ نشانگرهای موجک
۴۲	۳-۳-۳ طبقه‌بندی بر اساس ارتباط نشانگرها با زمین‌شناسی
۴۲	۱-۳-۳-۳ نشانگرهای فیزیکی
۴۲	۲-۳-۳-۳ نشانگرهای هندسی
۴۳	۴-۳-۳ طبقه‌بندی بر اساس منشاء نشانگرها
۴۳	۱-۴-۳-۳ نشانگرهای بازتابی
۴۳	۲-۴-۳-۳ نشانگرهای عبوری
۴۳	۴-۳ محاسبه و بررسی نشانگرهای اصلی
۴۳	۱-۴-۳ پوش ردلرزه
۴۵	۲-۴-۳ سرعت تغییرات پوش

۴۵.....	۳-۴-۳ مشتق دوم پوش رد لرزه
۴۶.....	۳-۴-۴ فاز لحظه‌ای
۴۸.....	۳-۴-۶ فاکتور کیفیت لحظه‌ای
۴۸.....	۳-۴-۷ مقاومت ظاهری لرزه‌ای نسبی
۴۹.....	۳-۴-۸ شیب لحظه‌ای
۵۰.....	۳-۵-۵ تخلخل
۵۱.....	۳-۵-۱ عوامل تعیین کننده میزان تخلخل
۵۲.....	۳-۵-۲ تقسیم‌بندی تخلخل
۵۲.....	۳-۶-۶ تحلیل نشانگرها
۵۲.....	۳-۶-۱ رگرسیون خطی چند نشانگرها
۵۳.....	۳-۶-۱-۱ منحنی تقاطعی
۵۵.....	۳-۶-۱-۲ استفاده از منحنی‌های تقاطعی در چند نشانگرها
۵۶.....	۳-۶-۱-۳ استفاده از عملگر هم‌میخت
۵۹.....	۳-۶-۱-۴ به‌دست آوردن نشانگرها با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای
۶۱.....	۳-۶-۲ شبکه عصبی
۶۲.....	۳-۶-۲-۱ شبکه عصبی احتمالاتی (PNN)
۶۷.....	۳-۶-۲-۲ اعتبارسنجی
۷۰.....	۳-۶-۳ نقشه شباهت
۷۱.....	۳-۶-۳-۱ به‌دست آوردن نقشه شباهت
۷۷.....	فصل چهارم
۷۷.....	مراحل انجام کار و مقایسه نتایج
۷۸.....	۴-۱ مقدمه

۲-۴	فراخوانی داده‌های لرزه‌ای و ترسیم افق‌ها	۸۰
۲-۴	همبسته کردن نگارهای چاه با داده‌های لرزه‌ای	۸۲
۳-۴	تهیه مدل اولیه مقاومت ظاهری لرزه‌ای	۸۴
۴-۴	ایجاد مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای پهن باند	۸۶
۴-۷	نتیجه نهایی وارون‌سازی مقاومت لرزه‌ای ظاهری پهن باند	۸۷
۴-۵	تخمین تخلخل به کمک نشانگرهای لرزه‌ای	۸۷
۴-۵-۱	تخمین تخلخل با روش رگرسیون معمولی و چند متغیره	۸۸
۴-۵-۱-۱	تحلیل به کمک یک نشانگر (رگرسیون معمولی)	۸۸
۴-۵-۱-۲	تحلیل به کمک چند نشانگر (رگرسیون چند متغیره)	۸۹
۴-۵-۲	تحلیل به کمک شبکه‌های عصبی	۹۳
۴-۵-۳	تهیه نقشه شباهت	۹۶
	فصل پنجم	۱۰۰
	نتیجه‌گیری و پیشنهادات	۱۰۰

فهرست شکل‌ها

شکل	صفحه
شکل ۲-۱. قانون اسنل (امر، ۲۰۰۵).....	۱۰
شکل ۲-۲. مدل‌سازی مستقیم و وارون (راسل، ۱۹۹۱).....	۱۱
شکل ۲-۳. طرح کلی که بیانگر مدل هم‌میخت است. الف) مدلی که در آن از هم‌میخت موجک لرزه‌ای زمانی و سری بازتاب، ردلرزه ایجاد می‌شود. ب) طیف دامنه برای موجک، بازتابنده‌ها و ردلرزه (آلمن، ۲۰۰۴).....	۱۳
شکل ۲-۴. طرح کلی که ارتباط عوامل مختلف را با مقاومت ظاهری لرزه‌ای و ضرایب بازتاب نشان می‌دهد (آلمن، ۲۰۰۴).....	۱۸
شکل ۲-۵. اندازه‌گیری مستقیم موجک لرزه‌ای در دریا (هزینه و همکاران، ۱۳).....	۲۲
شکل ۲-۶. روش وارون‌سازی بر پایه مدل (راسل، ۱۹۹۱).....	۳۴
شکل ۳-۱. طبقه‌بندی نشانگرها (براون، ۲۰۰۱).....	۴۰
شکل ۳-۲. منحنی تقاطعی سنتی بین نگار چگالی - تخلخل با نشانگر لرزه‌ای (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).....	۵۴
شکل ۳-۳. اعمال تبدیل غیرخطی هم به نگار هدف و هم به نشانگر لرزه‌ای، همبستگی بین این دو را بهبود می‌بخشد.....	۵۵
شکل ۳-۴. با فرض داشتن سه نشانگر، هر نمونه نگار هدف به عنوان یک ترکیب خطی نمونه‌های نشانگر در همان زمان مدل می‌شود (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).....	۵۶
شکل ۳-۵. مقایسه بین نگار هدف (سمت چپ) و نشانگر لرزه‌ای (سمت راست) بر وجود اختلاف محتوای فرکانسی تاکید میکند که برای حل این اختلاف عملگر هم‌میخت پیشنهاد داده شده است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).....	۵۷
شکل ۳-۶. استفاده از عملگر هم‌میخت برای ۵ نقطه از نشانگر لرزه‌ای نسبت به نگار هدف (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).....	۵۸
شکل ۳-۷. منحنی تقاطعی بین نگار هدف و نشانگر لرزه‌ای. خط رگرسیون با کمینه کردن مجموع مربعات خطا با این نقاط برازش داده شده است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).....	۶۱
شکل ۳-۸. ساختار شبکه عصبی مصنوعی احتمالاتی (جهانبخشی و همکاران، ۱۳۹۰).....	۶۶

- شکل ۳-۹. منحنی تخمین به دست آمده توسط شبکه عصبی PNN برای تخمین نگار سرعت موج P و یک نشانگر (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۶۷
- شکل ۳-۱۰. نمایش اعتبارسنجی متقابل. دو منحنی به داده‌ها برازش داده شده‌اند. منحنی پیوسته چند جمله‌ای با درجه پایین‌تر میباشد و منحنی خط‌چین چند جمله‌ای با درجه بالاتر میباشد. منحنی خط‌چین با داده‌های آموزشی برازش بهتری دارد ولی در مقایسه با مجموعه داده‌های اعتبارسنجی برازش کمتری دارد (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۶۸
- شکل ۳-۱۱. نمودار پایینی کاهش خطای پیش‌بینی با افزایش تعداد نشانگرها و منحنی بالایی خطای اعتبارسنجی کل را نشان می‌دهد..... ۷۰
- شکل ۳-۱۲. محاسبه نشانگرهای لرزه‌ای بین دو افق (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸)..... ۷۲
- شکل ۳-۱۳. مراحل تهیه نقشه شباهت (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸)..... ۷۶
- شکل ۴-۱. (الف) موقعیت خطوط لرزه‌نگاری و چاه‌ها و (ب) مکعب داده‌های لرزه‌ای..... ۷۹
- شکل ۴-۲. روش کلی مراحل وارون‌سازی برنامه استراتا (راهنمای نرم افزار همپسون و راسل، ۲۰۰۷)..... ۸۰
- شکل ۴-۳. مقطع داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش در محدوده چاه ۰۸-۰۸ به همراه افق‌های لرزه‌ای ترسیم شده..... ۸۱
- شکل ۴-۴. موجک استخراجی برای ایجاد ردلرزه مصنوعی با استفاده از نگارهای چاه و داده‌های لرزه‌ای. (الف) طیف دامنه موجک، (ب) موجک لرزه‌ای در حوزه زمان..... ۸۳
- شکل ۴-۵. همبستگی ایجاد شده بین ردلرزه مصنوعی و ردلرزه واقعی که مربوط به چاه ۰۸-۰۸ است..... ۸۴
- شکل ۴-۶. مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای با استفاده از نگارهای چاه و افق‌های لرزه‌ای در محدوده چاه ۰۸-۰۸..... ۸۵
- شکل ۴-۷. نتیجه نهایی وارون‌سازی مقاومت لرزه‌ای ظاهری پهن باند..... ۸۷
- شکل ۴-۸. نمایش داده‌های تخلخل، مقاومت ظاهری لرزه‌ای و ردلرزه در محل چاه‌ها..... ۸۸
- شکل ۴-۹. نتایج اعتبارسنجی متقابل. طبق منحنی بالایی که اعتبارسنجی متقابل را نشان می‌دهد، تعداد بهینه شش نشانگر از میان هفت نشانگر انتخاب می‌شود..... ۹۰
- شکل ۴-۱۰. نمودار متقاطع داده‌های تخلخل واقعی و تخلخل به دست آمده از روش تحلیل چندنشانگری در محل چاه‌ها..... ۹۱

- شکل ۴-۱۱. مقایسه نگارهای تخلخل واقعی و تخمین زده شده توسط روش رگرسیون چندمتغییره در چاه‌ها. ۹۲.....
- شکل ۴-۱۲. مقطعی از تخلخل به‌دست آمده در محدوده چاه ۰۸-۰۸..... ۹۲.....
- شکل ۴-۱۳. نمودار متقاطع داده‌های تخلخل واقعی و تخلخل به‌دست آمده بوسیله شبکه عصبی احتمالاتی در محل چاه‌ها. ۹۴.....
- شکل ۴-۱۴. نمایش تطابق نگار تخلخل واقعی و محاسبه شده توسط شبکه عصبی احتمالاتی در محل چاه‌ها. ۹۵.....
- شکل ۴-۱۵. نتایج تخمین تخلخل در محدوده مورد مطالعه با اعمال شبکه عصبی PNN. ۹۵.....
- شکل ۴-۱۶. چهار نشانگر مورد استفاده به‌همراه نقشه‌های صفر-یک هر کدام از آن‌ها. ۹۷.....
- شکل ۴-۱۷. نقشه شباهت مربوط به نقطه مبنای چاه ۰۸ - ۰۸..... ۹۸.....
- شکل ۴-۱۸. توزیع تخلخل در محدوده میان دو افق مانویل و مانویل پایین. ۹۸.....

فهرست جدول‌ها

صفحه	جدول
۸۹.....	جدول ۴-۱ نتایج تحلیل و مقایسه خطا و همبستگی داده‌های تخلخل واقعی و داده‌های تخلخل به‌دست آمده به کمک یک نشانگر.....
۹۰.....	جدول ۴-۲ نتایج تحلیل به کمک چند نشانگر.....

فصل اول

مقدمه

به دست آوردن توصیف صحیحی از تغییرات جانبی ناهمگنی‌های مخزن اغلب در ساخت مدل مخزن، حیاتی است. همچنین تخمین توزیع خواص پتروفیزیکی مخزن مثل تخلخل و تراوایی یکی از اهداف مهم در توصیف سنگ مخزن می‌باشد که نقش مهمی در بهره‌برداری از آن دارد. اگر پارامترهای فوق در سراسر مخزن یکنواخت می‌بودند، اندازه‌گیری‌های صورت گرفته حتی در یک چاه برای توصیف مخزن کافی بود. ولی بخاطر ناهمگنی‌های موجود در سنگ مخزن، این پارامترها، تغییرات زیادی در محدوده مخزن از خود نشان می‌دهند. اگر چه داده‌های چاه‌نگاری خصوصیات مخزنی را با تفکیک‌پذیری بالای قائم فراهم می‌کنند، اما این اطلاعات محدود به اطراف چاه است و با توجه به تغییرات جانبی خصوصیات در محدوده مخزن نمی‌توان فقط به این دسته از داده‌ها اکتفا نمود.

امروزه، یکی از روش‌های به دست آوردن تصویر زیرسطحی مناسب برای اکتشاف منابع هیدروکربنی، استفاده از داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. بر خلاف داده‌های چاه‌نگاری، داده‌های لرزه‌نگاری دارای تفکیک‌پذیری جانبی بهتری هستند و یک پوشش سه بعدی از یک منطقه را در اختیار مفسر می‌گذارند. محققین همواره در پی استفاده از این داده‌ها برای توصیف مخازن بوده‌اند، اما استفاده از داده‌های خام پردازش شده بتنهایی کافی نمی‌باشد. امروزه نشانگرهای لرزه‌ای که حاوی اطلاعات پنهان شده در داده لرزه‌ای خام بودند، در مدل‌سازی و توصیف مخزن بصورت گسترده‌ای بکار برده می‌شوند (بارنز^۱، ۲۰۰۷؛ تانر^۲، ۲۰۰۱؛ براون^۳، ۲۰۰۱؛ مارفورت^۴، ۲۰۰۷).

با توجه به مزایا و معایب دو دسته داده متداول در مطالعات مخزن (لرزه‌نگاری و چاه‌نگاری) نیازمند استفاده از روش‌های تلفیقی بمنظور استفاده‌ی بهینه از همه‌ی داده‌های موجود برای دستیابی به مدلی مناسب از آنها هستیم. بنابراین تلفیق داده‌های لرزه‌ای سه بعدی با نگارهای پتروفیزیکی می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای توصیف تغییرات جانبی مخزن را بهبود دهد. مشکل اساسی که در راه تلفیق داده‌های لرزه‌ای و داده‌های چاه وجود دارد،

^۱ . Barnes

^۲ . Taner

^۳ . Brown

^۴ . Marfurt

روش ادغام این داده‌ها با یکدیگر به‌منظور تخمین خصوصیات مخزن می‌باشد. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است که امکان برآورد خصوصیات پتروفیزیکی مخزن را با استفاده از داده‌های لرزه‌ای (خام و نشانگرها) و نگارهای چاه‌نگاری نشان می‌دهد. این مطالعات که تحت عنوان کلی آنالیز نشانگرهای چندگانه انجام شده‌اند، اکثراً با استفاده از روش متداول رگرسیون و یا شبکه‌های عصبی به تلفیق داده‌های لرزه‌نگاری و نگارهای چاه پرداختند و به نتایج قابل ملاحظه‌ای در توصیف و تخمین توزیع پارامترهای پتروفیزیکی مخزن رسیدند (همپسون^۱ و همکاران، ۲۰۰۱؛ لیندث^۲، ۱۹۷۹؛ احمد^۳، ۲۰۰۷؛ لیپارت^۴ و هارت^۵، ۲۰۰۱؛ مچلینا^۶ و همکاران، ۱۹۹۸؛ المقبل^۷، ۲۰۰۲).

اما برای تعیین نقاط امیدبخش اکتشافی که محل جدید حفاری با ریسک کمتر می‌باشند، تنها نمی‌توان به نتایج آنالیز نشانگرهای چندگانه متکی بود. لذا در این پایان‌نامه علاوه بر آنالیز مذکور از نقشه شباهت که نوع دیگری از آنالیز نشانگرهای چندگانه می‌باشد، استفاده شده است تا بتوان در کنار توزیع پارامترهای پتروفیزیکی مخزن، با دقت و اطمینان بیشتر نقاط بهینه حفاری را تعیین نمود. در این روش بر مبنای محاسبات آماری میزان شباهت را در هر داده ورودی می‌توان نسبت به یک نقطه مبنا در همان داده به‌دست آورد که در تفسیر و تصمیم‌گیری‌های بعدی می‌تواند کمک بسیار زیادی بکند. در مورد مطالعاتی که در عرصه ژئوفیزیک در زمینه آنالیز شباهت انجام گرفته است، تنها می‌توان به دو مورد اشاره کرد: مقاله‌ی آنالیز شباهت : ابزاری برای جمع کردن اطلاعات نشانگرهای لرزه‌ای (مچلینا و همکاران، ۱۹۹۸) و پایان‌نامه‌ی توصیف مخزن با استفاده از بازتاب‌پذیری لرزه‌ای و نشانگرها (المقبل، ۲۰۰۲). بنابراین پتانسیل بالایی از نوع آوری را برای این آنالیز می‌توان تصور کرد. هدف از معرفی این نقشه کاهش عدم قطعیت تصمیم‌گیری در مورد نقاط با پتانسیل بالای اکتشافی

1 . Hampson

2 . Lindseth

3 . Ahmed

4 . Leiphart

5 . Hart

6 . Michelena

7 . AL-Moqbel

است که قرار است در برنامه‌های حفاری آتی قرار گیرند. هزینه‌های بالای حفاری نیاز به تفسیرهای مطمئن‌تر را افزایش می‌دهد و تفسیرهای دقیق‌تر مرهون داشتن نقشه‌ها و ابزارهای بیشتر است. به این منظور نقشه توزیع تخلخل را به روشی که همپسون و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از داده‌های سه بعدی لرزه‌ای و نگارهای چاه در میدان بلک فوت واقع در کانادا به دست آورده‌اند، تهیه می‌کنیم و در کنار نقشه شباهت که ایده‌ای نو از میچلنا و همکارانش است، قرار می‌دهیم. با بررسی و مطالعه همزمان این دو آنالیز که از دو روش کاملاً متفاوت و جداگانه‌ای حاصل گردیده‌اند، می‌توان با ریسک کمتری در مورد نقاط امیدوارکننده تصمیم گرفت و با قطعیت بیشتری نقطه حفاری بعدی را انتخاب کرد. برای تهیه نقشه شباهت از کدنویسی در محیط متلب استفاده شده است.

این پایان‌نامه در چهار فصل تهیه و تنظیم شده است. فصل اول شامل مقدمه، اهمیت و ضرورت مطالعه و اهداف مورد نظر است. فصل دوم به بیان مقدمات و تئوری کار در مورد وارون‌سازی می‌پردازد که یکی از نشانگرهای مهم در زمینه مطالعات مخزن و آنالیز نشانگرهای چندگانه می‌باشد. در فصل سوم توضیحاتی در مورد نشانگرهای لرزه‌ای و شیوه‌های تحلیل آنها که عبارتند از رگرسیون خطی چندگانه، شبکه عصبی و نقشه شباهت، ارائه شده است. فصل چهارم شامل مراحل انجام کار و مقایسه نتایج توزیع تخلخل به روش آنالیز متداول نشانگرهای چندگانه و نقشه شباهت می‌باشد و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات و کارهایی که در آینده قابل طرح و انجام است، در فصل آخر آورده شده است.

فصل دوم

وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای

۱-۲ لرزه‌نگاری

لرزه‌نگاری مهمترین ابزار ژئوفیزیک‌دان‌ها برای اکتشاف نفت و گاز می‌باشد. لرزه‌نگاری بر مطالعه امواج لرزه‌ای استوار است که توسط منبع به داخل زمین فرستاده شده، از لایه‌های متفاوت عبور کرده و قسمتی از آن به سمت منبع یا نقطه‌ای مشخص انعکاس می‌یابد. امواج در اثر اختلاف چگالی و سرعت موج در لایه‌های مختلف، انعکاس‌های گوناگون دارند و توسط ژئوفون‌ها (در خشکی) و هیدروفون‌ها (در دریا) دریافت می‌شوند. تفاوت در انعکاس امواج از مرزهای مختلف به زمین‌شناس امکان می‌دهد که محدوده و عمق سنگ‌های متخلخل را که احتمالاً حاوی نفت و گاز هستند، تخمین بزند. ابتدا ناحیه از نظر زمین‌شناسی سطحی بررسی می‌شود. در صورت مناسب بودن شرایط روش مغناطیس‌سنجی و ثقل‌سنجی انجام می‌گیرد و در صورت موفق بودن روش‌های مذکور، لرزه‌نگاری برای شناسایی ساختارهای مناسب در تجمع هیدروکربن‌ها استفاده می‌شود.

۱-۱-۲ شیوه‌های لرزه‌نگاری

روش‌های لرزه‌نگاری به سه دسته تقسیم می‌شوند:

الف) لرزه‌نگاری بازتابی (انعکاسی):

لرزه‌نگاری بازتابی بیشتر در مطالعات زمین‌ساختی در مقیاس وسیع‌تر ناحیه‌ای بکار می‌رود، از جمله در مطالعات ساختاری مخازن حاوی هیدروکربورها که در عمق دو تا سه هزار متر قرار دارند. در این روش امواج طولی توسط چشمه‌های انفجاری و یا مکانیکی با انرژی زیاد در سطح زمین ایجاد شده، بازتاب آن‌ها از فصل مشترک لایه‌ها بوسیله تعداد زیادی گیرنده که در یک الگوی مشخص قرار می‌گیرند، ثبت می‌شوند.

ب) لرزه‌نگاری شکست مرزی (انکساری):

برداشت لرزه‌نگاری شکست مرزی یا انکساری یکی از قدرتمندترین روش‌های ژئوفیزیکی برای کشف ساختارهای زیرسطحی است. استفاده از کاوش‌های لرزه‌نگاری انکساری برای تعیین لایه‌بندی زمین، به‌دست‌آوردن سرعت انتشار موج در لایه‌ها و عمق و ضخامت آن‌ها جایگاه ویژه‌ای را در ژئوفیزیک اکتشافی دارا می‌باشد. در این روش بطور کلی فقط زمان‌های مربوط به سیر موج‌ها جهت کسب اطلاعات لازم بکار می‌روند. معمولاً عمق نفوذ این روش کمتر از روش لرزه‌نگاری بازتابی می‌باشد.

ج) روش‌های ویژه

روش‌های ویژه به روش‌هایی گفته می‌شود، که بمنظور کسب اطلاعات خاص و دقیق از یک محدوده در مقیاس کوچک استفاده می‌شوند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش توموگرافی لرزه‌ای و لرزه‌نگاری درون‌چاهی اشاره کرد.

۲-۱-۲ اصول لرزه‌ای

زمانی که یک تکه سنگ بر روی آب می‌افتد، براحتی می‌توان دید که یک موج از مرکز، که محل افتادن سنگ است به خارج از آن منتشر می‌شود و با گذشت زمان این موج که به شکل دایره‌ای منتشر می‌شود، قطر آن افزایش می‌یابد. همچنین این پدیده به صورت عمودی نیز اتفاق می‌افتد که نشان‌دهنده‌ی انتشار موج در سه بعد است. انتشار امواج لرزه‌ای نیز به همین روش اتفاق می‌افتد. زمانی که انرژی لرزه‌ای که حاصل یک منبع انفجاری یا وایبروسایز است به داخل زمین وارد می‌شود، این انرژی به درون لایه‌های زمین منتشر می‌شود. اگر موج منتشر شده به یک سطح که میان دو لایه با سرعت‌ها و چگالی‌های مختلف قرار دارد، برخورد کند، بخشی از انرژی توسط سطح منعکس می‌شود و باقیمانده آن از داخل لایه بعدی عبور می‌کند. به این وسیله موج لرزه‌ای به مولفه‌های مختلفی تجزیه می‌شود. میزان انرژی منعکس شده و عبور کرده توسط میزان اختلاف مقاومت

ظاهری لرزه‌ای دو لایه تعیین می‌شود. مقاومت ظاهری لرزه‌ای (Z)، حاصل ضرب چگالی (ρ) و سرعت (V) سنگ است و معمولا 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 می‌کند، موج عبوری با دامنه A_1 به درون لایه دوم و در همان جهت عبور می‌کند و موج انعکاسی با دامنه A_2 به سمت منبع بازگشت می‌کند. ضریب بازتاب R با نسبت دامنه موج انعکاس یافته به دامنه موج اولیه تعریف می‌شود و در اصطلاح، مقاومت ظاهری لرزه‌ای برای یک برخورد عمود توسط معادله زوپریتز^۱ بصورت زیر تعریف می‌شود (شریف^۲ و گلدارت^۳، ۱۹۸۲):

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (۱)$$

در این معادله Z_1 و Z_2 مقاومت ظاهری لرزه‌ای لایه‌های تابش و عبوری هستند. سری بازتاب شامل سری بازتاب در افق‌های زمانی مختلف است. سری بازتاب بر حسب سرعت و چگالی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} \quad (۲)$$

که در آن، V_i و ρ_i بترتیب سرعت و چگالی لایه i ام می‌باشد.

در ارائه فرمول‌های ذکر شده تعدادی فرضیه لحاظ شده است. این فرضیه‌ها عبارتند از:

▪ زمین از لایه‌های افقی متعدد تشکیل شده است و لایه دارای سرعت ثابتی است.

^۱. Zeoppritz

^۲. Sheriff

^۳. Geldart

- موجک لرزه‌ای عمود بر امتداد لایه‌ها برخورد می‌کند، این باعث می‌شود که موج تبدیلی تولید نشود.
- موجک لرزه‌ای ثابت است (المقبل، ۲۰۰۲).

۲-۱-۳ قانون اسنل

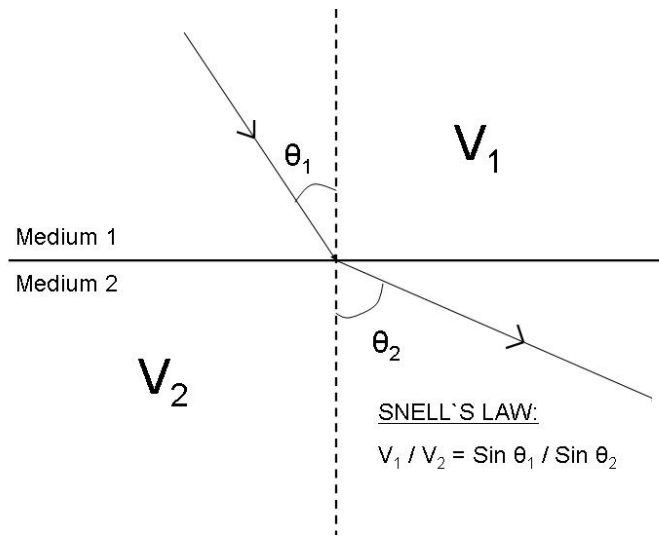
قانون اسنل به ارتباط بین سرعت و زاویه‌ای که موج قبل از انعکاس و بعد از عبور از لایه دوم می‌سازد، می‌پردازد. پس از اینکه قسمتی از موج انعکاس پیدا کرد، مقدار باقیمانده با تغییر زاویه از داخل لایه دوم عبور می‌کند که به آن موج عبوری می‌گویند. ارتباط میان زاویه تابش، بازتاب و عبور و سرعت‌های لایه‌های تابشی و عبوری بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\sin\theta_1}{v_1} = \frac{\sin\theta_2}{v_2} \quad (3)$$

که در آن، θ_1 زاویه تابش و بازتاب، θ_2 زاویه عبور، v_1 سرعت موج در محیط تابش و v_2 سرعت موج در محیط عبوری می‌باشد. قانون اسنل ثابت بودن نسبت زاویه‌ها به سرعت را بیان می‌کند.

این قانون در شکل ۱-۲ نشان داده شده است (امرہ^۱، ۲۰۰۵).

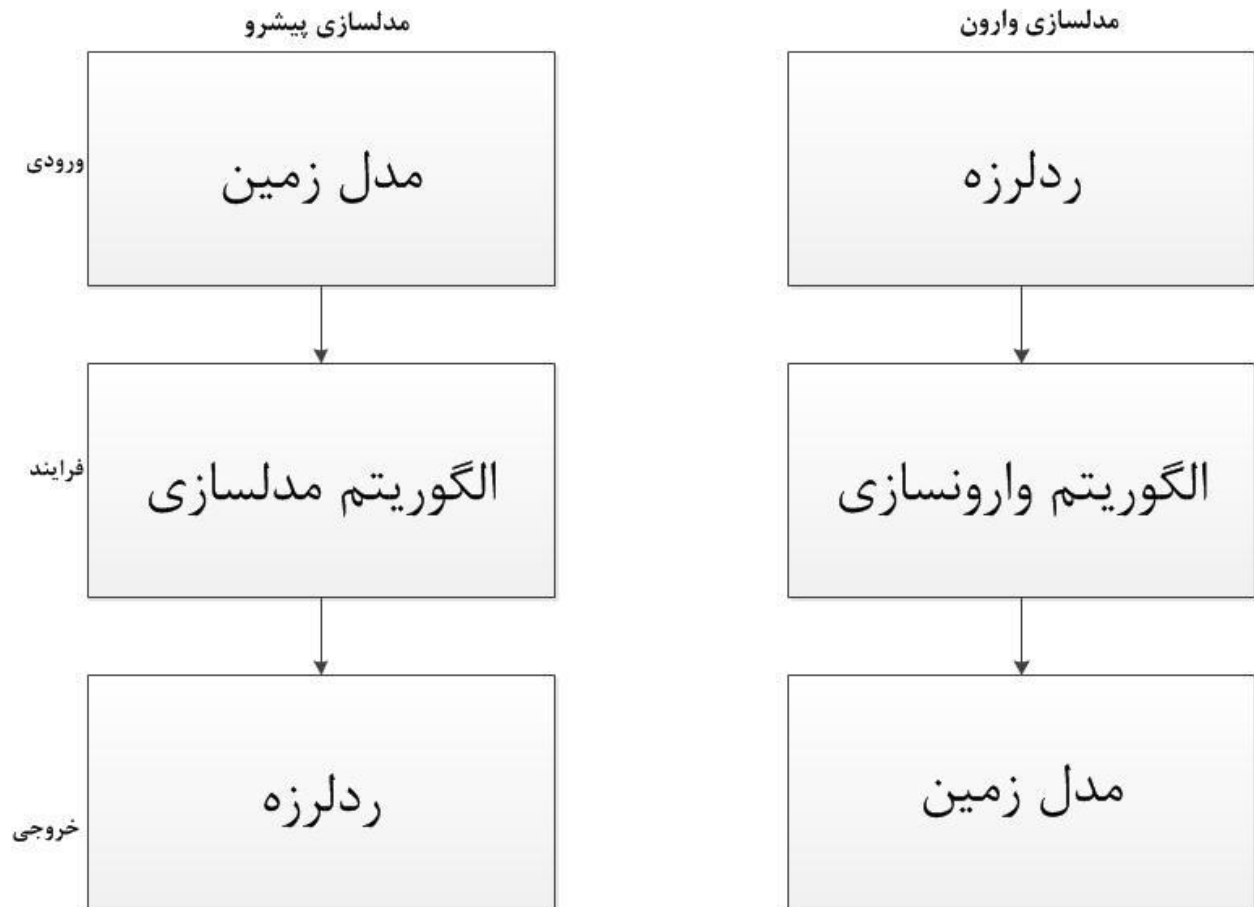
¹ . Emre



شکل ۲-۱. قانون اسنل (امره، ۲۰۰۵).

۲-۲ وارون سازی داده‌های لرزه‌ای

در ژئوفیزیک روش‌های زیادی برای توصیف مخازن، مطرح شده است. یکی از این روش‌ها وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است که داده‌های لرزه‌ای انعکاسی که حاصل از اندازه‌گیری‌های روی سطح زمین است را به خصوصیات سنگ‌شناسی تعمیم می‌دهد. این تعریف بسیار گسترده است. بطوریکه شامل تمام عملیاتی می‌باشد که در آنالیز لرزه‌ای و تفسیر لرزه‌ای انجام می‌گردد ولی در این مورد معنی وارون‌سازی تمامی روش‌هایی است که برای به‌دست آوردن مقاومت ظاهری لرزه‌ای باند پهن از ردلرزه‌هایی با باند محدود انجام می‌گردد. به بیان دیگر وارون‌سازی روشی می‌باشد که مدل زمین با ورودی داده‌های لرزه‌ای به‌دست می‌آید. یعنی در خلاف جهت مدل‌سازی پیشرو مانند به‌دست آوردن ردلرزه‌ها بر اساس مدل زمین حرکت کنیم. روابط بین مدل‌سازی پیشرو و مدل‌سازی وارون در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲. مدل‌سازی مستقیم و وارون (راسل^۱، ۱۹۹۱).

وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای به‌عنوان یک فرایند تصویرسازی بعضی خواص ژئوفیزیکی زیر سطحی از طریق داده‌های لرزه‌ای سطحی تعریف می‌شود. هر فرایند وارون‌سازی از یک عدم یکتایی رنج می‌برد که با مولفه‌های فرکانس خارج از پهنای باند سیگنال غالب مرتبط است (ایلماز^۲، ۲۰۰۱). وقتی نسبت سیگنال به نوفه پایین است، نتایج وارون‌سازی می‌تواند برای فرکانس‌های پایین و بالای طیف سوال برانگیز باشد. حاصل این وارون‌سازی، مقاومت ظاهری لرزه‌ای است. مقاومت ظاهری لرزه‌ای بمعنای برگرداندن داده‌های لرزه‌ای به

^۱ . Russell

^۲ . Yilmaz

نگارهای شبه تخلخل برای هر ردلرزه می‌باشد و بصورت عمده در توصیف مخازن استفاده می‌شود. معمولاً وارون‌سازی با داده‌های چاه همراه است. داده‌های چاه نسبت به داده‌های لرزه‌ای تفکیک‌پذیری قائم بالاتری دارند و اطلاعات دقیق‌تری از خواص ژئوفیزیکی در محل چاه را آشکار می‌کنند. در مقابل داده‌های لرزه‌ای سه بعدی همپوشانی وسیع‌تر اما تفکیک‌پذیری قائم پایین‌تری را فراهم می‌کنند (گرابنر^۱ و واسون^۲، ۱۹۸۱). برای درک بهتر وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای، ابتدا بایستی با نحوه تشکیل یک ردلرزه آشنا شد.

یک ردلرزه می‌تواند بصورت مدل هم‌میختی رابطه (۴) بیان شود:

$$x(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (4)$$

که در آن، $x(t)$ ردلرزه، $r(t)$ سری بازتاب زمین، $w(t)$ موجک چشمه لرزه‌ای و $n(t)$ نوفه را نشان می‌دهد. سری بازتاب زمین پهن باند است، یعنی دارای محدوده فرکانس وسیعی است، اما موجک لرزه‌ای اینطور نیست. بنابراین زمانی که هم‌میخت انجام می‌شود، ردلرزه که خروجی حاصل از آن است بصورت محدود باند خواهد بود که در شکل ۲-۳ مشاهده می‌شود. در نتیجه اطلاعاتی خارج از این پهنای باند براحتی قابل استخراج از ردلرزه نیست و مقاومت ظاهری لرزه‌ای استخراج شده نیز بصورت محدود باند خواهد بود. این امر بر حذف فرکانس‌های بالا و پایین دلالت دارد (اولدنبرگ^۳ و همکاران، ۱۹۸۳). برای تصحیح و ترمیم کیفیت و تفکیک‌پذیری مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای محدود باند، باید فرکانس‌های پایینی که از آن حذف شده است را به آن اضافه کرد. این اطلاعات را می‌توان از اطلاعات سرعتی برون‌راند انعکاسی^۴، داده‌های چاه‌نگاری و سرعت‌های مهاجرت زمانی به‌دست آورد. در اینصورت یک مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای خواهیم داشت که تمام اطلاعات لرزه‌ای و چاه‌نگاری را که توسط موجک ایجاد شده، در خود دارد. نگارهای سرعت مصنوعی تاثیر بسزایی در چینه‌شناسی لرزه‌ای

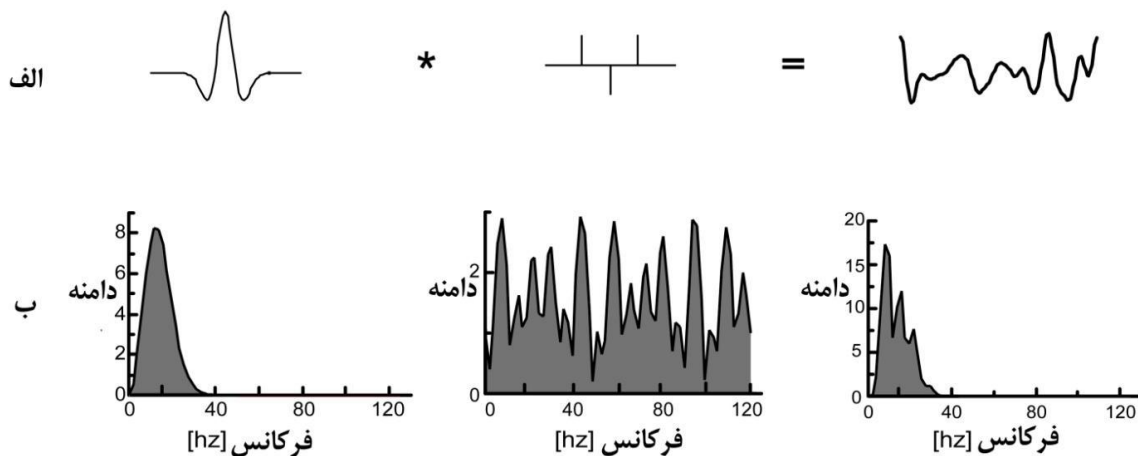
^۱ . Graebner

^۲ . Wason

^۳ . Oldenburg

^۴ . Reflection Moveout velocity

دارند و این داده‌ها حین فرآیند وارون‌سازی ردلرزه‌ها به دست می‌آیند و نگارهای مقاومت ظاهری لرزه‌ای و سری بازتاب زمین از ضروریات این فرآیند می‌باشند.



شکل ۲-۳. طرح کلی که بیانگر مدل هم‌میخت است. الف) مدلی که در آن از هم‌میخت موجک لرزه‌ای زمانی و سری بازتاب، ردلرزه ایجاد می‌شود. ب) طیف دامنه برای موجک، بازتابنده‌ها و ردلرزه (آلمن^۱، ۲۰۰۴).

از آنجا که زمین طور طبیعی به عنوان یک فیلتر پایین‌گذر عمل می‌کند، بنابراین محتوای فرکانسی موجک در اثر انتشار، به سمت فرکانس‌های پایین حرکت می‌نماید که قابلیت تفکیک‌پذیری قائم کاهش می‌یابد. زیرا با کاهش پهنای باند فرکانس و کاهش فرکانس غالب موجک، پهنای زمانی آن افزایش می‌یابد. برگردان لرزه‌ای روشی است برای برگرداندن داده‌های از دست رفته فرکانسی به واسطه حذف اثر موجک و بازسازی کامل باند فرکانسی سری بازتاب زمین. هدف از برگردان لرزه‌ای، تبدیل داده‌های لرزه‌ای باند محدود به شبه نگارهای مقاومت ظاهری لرزه‌ای باند پهن در هر برداشت نقطه عمقی مشترک و یا نقطه میانی مشترک می‌باشد. بنابراین برگردان لرزه‌ای فرایندی است که می‌کوشد بر اساس مدل‌های لرزه‌ای اولیه و موجک‌های تخمین زده شده، مدل مقاومت

¹ . Aleman

ظاهری لرزه‌ای نزدیک به مدل واقعی زمین را تخمین بزند (وروست^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). در برگردان داده‌های لرزه‌ای سعی می‌شود تا با ترکیب داده‌های لرزه‌ای با سایر داده‌های موجود مانند داده‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس و داده‌های حاصل از نگارهای چاه، اطلاعاتی به دست آید که بتوان آن‌ها را به خصوصیات نظیر نوع سنگ، میزان تخلخل، میزان هیدروکربن و مواردی نظیر اینها مرتبط ساخت. مقاومت ظاهری لرزه‌ای یکی از این داده‌ها است، یعنی با مشاهده تغییرات مقاومت ظاهری لرزه‌ای در یک لایه با ویژگی سنگ‌شناسی مشخص می‌توان به تغییرات رخساره سنگی در لایه پی برد. بنابراین مقاومت ظاهری لرزه‌ای به عنوان یک نشانگر لرزه‌ای عمل می‌کند (همپسون^۲ و همکاران، ۲۰۰۱). تفکیک‌پذیری عمقی ردلرزه خیلی پایین‌تر از تفکیک‌پذیری عمقی زمین واقعی است. بر مبنای مراحل پردازش داده‌ها، وارون‌سازی لرزه‌ای به دو گروه وارون‌سازی قبل از انبارش و وارون‌سازی پس از انبارش طبقه‌بندی می‌شود. که البته داده‌های لرزه‌ای موجود در این مطالعه داده‌های پس از انبارش هستند. مسائل وارون می‌توانند به راه‌های مختلفی حل شوند. یکی از روش‌های قوی، روش حداقل مربعات است که می‌تواند به مسائل خطی و غیرخطی بپردازد. وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای برای به دست آوردن سری بازتاب زمین، یک مساله‌ی خطی و وارون‌سازی سری بازتاب زمین برای به دست آوردن مقاومت ظاهری لرزه‌ای، یک مساله‌ی غیرخطی است. بنابراین اولین مرحله وارون‌سازی به دست آوردن سری بازتاب زمین و استفاده از آن به عنوان یک ورودی برای مرحله دوم وارون‌سازی و رسیدن به مقاومت ظاهری لرزه‌ای است (المقبل، ۲۰۰۲).

^۱ . Verwest

^۱ . Hampson

۲-۲-۱ مزایای وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای

خروجی نهایی وارون‌سازی لرزه‌ای، مقاومت ظاهری لرزه‌ای می‌باشد که به‌عنوان یکی از اطلاعات مورد نیاز در مراحل بعد می‌باشد. حال در اینجا این سوال مطرح می‌شود که چرا مقاومت ظاهری لرزه‌ای برای ما حائز اهمیت می‌باشد؟

یک مدل مناسب مقاومت ظاهری لرزه‌ای، شامل اطلاعات بیشتری نسبت به داده‌های لرزه‌ای می‌باشد. یعنی تمام اطلاعات داده‌های لرزه‌ای را بدون عوامل پیچیده همراه با اطلاعات چاه‌ها شامل می‌شود. یک مدل مناسب، بهترین راه برای به‌دست آوردن داده‌ها و بهترین راه برای درک توسط زمین‌شناسان و ژئوفیزیک‌دان‌ها و مهندسی نفت می‌باشد (لاتیمر^۱ و همکاران، ۲۰۰۰). در زیر بطور خلاصه نکات کلیدی اهمیت مقاومت ظاهری لرزه‌ای را بیان می‌کنیم:

- ۱- تصحیح و کاهش اثرات تداخل موجک در لایه‌های نازک.
- ۲- تبدیل مقطع لرزه‌ای از افق‌های بازتابی به لایه‌هایی که به زمین‌شناسی نزدیکتر هستند.
- ۳- امکان ترکیب داده‌های معلوم فرکانس پایین ژئوفیزیکی و داده‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس با داده‌های لرزه‌ای.
- ۴- تضعیف نوفه‌های تصادفی.
- ۵- مدل‌سازی و استفاده از داده‌های چینه‌شناسی لایه‌ها.
- ۶- افزایش قابلیت تفسیر افق‌های لرزه‌ای بر اساس خواص مرتبط با زمین‌شناسی.
- ۷- پهنای باند بیشتر برای نتایج حاصل از برگردان لرزه‌ای نسبت به داده‌های لرزه‌ای.

^۱ . Latimer

۸- امکان برقراری ارتباط بین مقاومت ظاهری لرزه‌ای به‌عنوان یک نشانگر لرزه‌ای^۱ و خواص پتروفیزیکی بخصوص تخلخل و میزان ذخیره.

۹- کالیبره شدن با داده‌های نگارهای چاه.

با توجه به این مزایا، تفسیرهایی که بر روی مقاطع مقاومت ظاهری لرزه‌ای انجام می‌شوند، دقیق‌تر می‌باشند، بخصوص در آن نواحی از مقاطع لرزه‌ای که امکان تعقیب بازتاب‌ها به دلایل مختلف وجود ندارد. همانطور که اشاره شد از موارد کاربرد مقاومت ظاهری لرزه‌ای به‌عنوان یک نشانگر لرزه‌ای، تخمین تخلخل سنگ و سایر پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشد. از میان خواص پتروفیزیکی، تخلخل ارتباط مشخص‌تر و قابل توجه‌تری با مقاومت ظاهری لرزه‌ای دارد. تحقیقات نشان داده است که تخمین سایر خواص پتروفیزیکی با استفاده از این نشانگر به تنهایی مطمئن نبوده و تنها تخلخل را می‌توان با اطمینان خوبی از مقاومت صوتی تخمین زد (ساطعی و مختاری، ۱۳۸۸).

۲-۳ سری بازتاب

وقتی انرژی موج لرزه‌ای توسط انفجار یا ضربه ناگهانی به زمین آزاد می‌شود، انرژی به‌عنوان یک موج الاستیک از زمین عبور داده می‌شود. ساده‌ترین نوع موج برای درک این موضوع، موج فشاری است، مثل صدا که یک آشفستگی اکوستیکی است. توانایی یک سنگ برای عبور دادن یک موج لرزه‌ای با مقاومت ظاهری لرزه‌ای بیان می‌شود که محصول ضرب سرعت موج تراکم‌ی و چگالی سنگ است. همانطور که انتظار می‌رود هر چه یک سنگ متراکم‌تر باشد دارای مقاومت لرزه‌ای ظاهری بالاتری است. به‌عنوان مثال یک ماسه‌سنگ متراکم معمولاً مقاومت ظاهری لرزه‌ای بالاتری نسبت به شیل دارد، علاوه بر این تخلخل بر روی سرعت هم اثر دارد و تخلخل بالاتر به

^۱ . Seismic attribute

معنی سرعت کمتر است. انعکاس لرزه‌ای وقتی اتفاق می‌افتد که مقاومت لرزه‌ای ظاهری تغییر کند. سری بازتاب یکی از اصول پایه‌ای فیزیکی در روش‌های لرزه‌ای می‌باشد. سری بازتاب زمین، پاسخ زمین به یک موجک با پهنای یک واحد زمانی و دامنه یک، که در اصطلاح به آن تابع ضربه^۱ می‌گویند، می‌باشد. در واقع سری بازتاب زمین، یک سری با خارهای پراکنده^۲ می‌باشد که محل خارها، محل زمانی دو طرفه مرز لایه‌ها و دامنه هر خار نیز برابر ضریب بازتاب در تابش قائم برای آن مرز می‌باشد که مطابق با رابطه (۵) تعریف می‌شود.

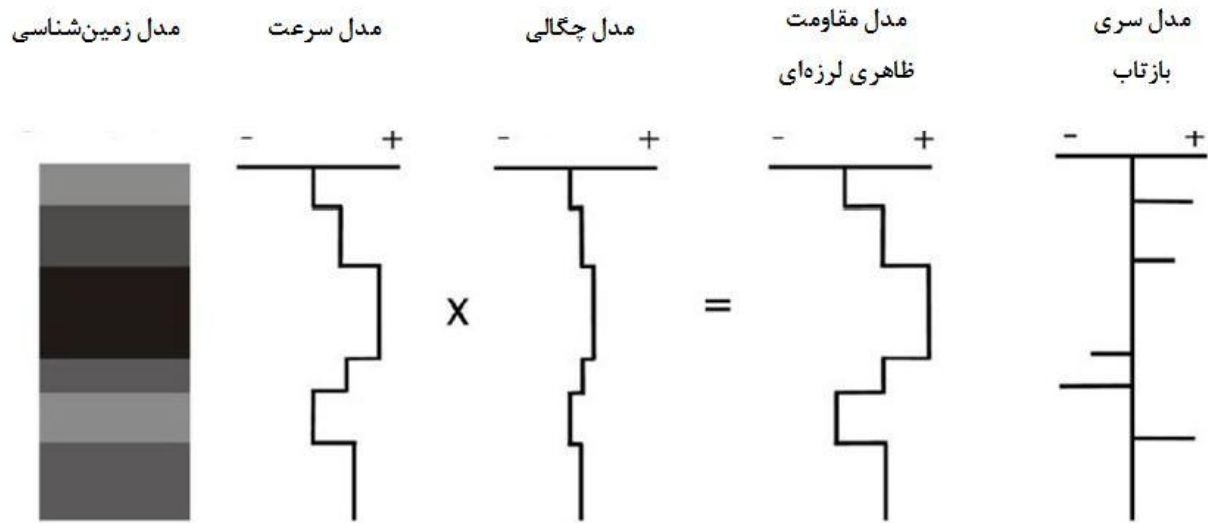
$$R(j) = \frac{z(j)-z(j-1)}{z(j)+z(j-1)} \quad (5)$$

برای موج‌های تابشی غیر قائم، نسبت دامنه‌ها به پارامترهای دیگری مثل زاویه تابش بستگی دارد. این معادله نشان می‌دهد که ضریب بازتاب بسته به اینکه $z(j-1)$ یا $z(j)$ کدام بزرگتر باشند می‌تواند مثبت یا منفی باشد. اگر مقدار آن مثبت باشد به این معنی است که مقاومت ظاهری لرزه‌ای بین دو لایه افزایش می‌یابد و اگر منفی باشد کاهش مقاومت ظاهری لرزه‌ای بین دو لایه اتفاق افتاده است. همچنین مقدار قطعی‌اش نمی‌تواند از یک بیشتر باشد. به طور کلی ضریب بازتاب بین دو عدد $+1$ و -1 تغییر می‌کند و به تغییرات مقاومت ظاهری لرزه‌ای وابسته است و مقاومت ظاهری لرزه‌ای نیز تابع سرعت و چگالی می‌باشد. شکل ۲-۴ این تغییرات و وابستگی‌ها را نسبت به هم نشان می‌دهد. تغییرات شدید در سرعت، بازتابنده‌های قوی ایجاد می‌کند، اما تغییرات چگالی نیز به اندازه‌ی خود باعث تغییر در بازتابنده‌ها می‌شود که کمتر به آن اشاره می‌شود (هاردیج^۳، ۱۹۸۷).

¹ . Spike

² . Sparse spike

³ . Hardage



شکل ۲-۴. طرح کلی که ارتباط عوامل مختلف را با مقاومت ظاهری لرزه‌ای و ضرایب بازتاب نشان می‌دهد (آلمن، ۲۰۰۴).

در یک توالی چینه‌ای، ضرایب بازتاب در هر یک از سطوح بر حسب تغییر در مقاومت ظاهری لرزه‌ای ایجاد می‌شوند. این سطوح بر روی ردلرزه‌ها، بازتابنده نامیده می‌شوند و زمانی پدیدار می‌شوند که مقاومت ظاهری لرزه‌ای تغییر کند و به اندازه‌ای باشد که توسط دستگاه‌های لرزه‌ای ثبت شوند (بدلی^۱، ۱۹۸۵).

برخی از پیکربندی‌های سنگ‌شناسی نوع خاصی از بازتابنده‌ها را بر روی ردلرزه ایجاد می‌کند و این امر به زمین‌شناسان در شناسایی آن‌ها کمک می‌کند. برای مثال، تغییرات مقاومت ظاهری لرزه‌ای بین ماسه سنگ‌های اشباع از آب، اشباع از گاز و شیل‌ها زیاد است و بازتابنده‌های قوی ایجاد می‌کنند. با این وجود، برخی اوقات هیچ تغییری در مقاومت ظاهری لرزه‌ای بین مخازن ماسه‌سنگی و پوش سنگ‌های رسی دیده نمی‌شود و تشخیص بازتابنده‌ها سخت است. مواردی وجود دارد که لایه‌های ضخیم مخازن ماسه‌سنگی، دارای لایه‌های متعدد شیلی در میان خود هستند ولی هیچ بازتابنده‌ای در این لایه‌ها دیده نمی‌شود. اما اگر مخازن گازی باشند این لایه‌ها قابل مشاهده هستند (بدلی، ۱۹۸۵).

^۱ . Badley

واضح است که همه دامنه‌ی موج تابشی نمی‌تواند بازتاب شود. اندازه‌ی دامنه‌ی عبوری اختلاف بین دامنه‌ی موج عبوری و دامنه‌ی موج بازتاب شده است.

$$T(j) = 1 - r(j) = \frac{2Z(j-1)}{Z(j)+Z(j-1)} \quad (۶)$$

توجه کنید که اگر r منفی باشد T بزرگتر از یک می‌شود که بزرگتر از دامنه‌ی موج تابشی است. راه حل این تناقض ظاهری در این موضوع نهفته است که انرژی فقط در سیستم فیزیکی نگهداری می‌شود و نه در دامنه. انرژی به مسیرهای بالا و پایین‌رونده مربوط می‌شود. برای مسیرهای پایین‌رونده دیده‌ایم که علامت r تغییر می‌کند. بنابراین ضریب انتقال کلی می‌تواند به صورت زیر بیان شود (راهنمای نرم‌افزار همپسون و راسل، ۱۹۹۹):

$$T_{2-way} = (1 - r(j))(1 + r(j)) = (1 - r(j))^2 \quad (۷)$$

بهترین روش برای به‌دست آوردن مقاومت ظاهری لرزه‌ای و سری بازتاب این است که آن‌ها را از روی نگار چاه‌ها به‌دست آورد. یعنی با حاصلضرب نگار سرعت در نگار چگالی می‌توان نگار مقاومت ظاهری لرزه‌ای را به‌دست آورد. سپس با استفاده از رابطه (۵) می‌توان نگار سری بازتاب را به‌دست آورد (راهنمای نرم‌افزار همپسون راسل، ۱۹۹۹). یک ردلرزه از عمل هم‌میخت بین سری بازتاب زمین و یک موجک لرزه‌ای محدود باند ایجاد می‌شود. مقایسه‌ی تفکیک‌پذیری عمقی ردلرزه و سری بازتاب، فقدان تفکیک‌پذیری عمقی ردلرزه‌ای را نشان می‌دهد که بهبود این تفکیک‌پذیری بوسیله‌ی به‌دست آوردن سری بازتاب از یک عملگر واهمامیخت امکان‌پذیر است که یک مساله‌ی وارون است.

۲-۴ موجک لرزه‌ای

برای انجام وارون‌سازی لرزه‌ای لازم است که با استفاده از سری بازتاب به دست آمده از نگارهای چاه‌نگاری، ردلرزه مصنوعی ساخت و آن را با ردلرزه واقعی در محل چاه مقایسه کرد. برای ساخت ردلرزه مصنوعی بایستی موجک لرزه‌ای نزدیک به موجک چشمه لرزه‌ای واقعی را در دست داشت. لذا بایستی روشی برای تخمین موجک چشمه لرزه‌ای در اختیار داشت. اولین قدم در برداشت داده‌های لرزه‌ای تولید یک موج با طول زمانی محدود و مشخص است. در عملیات لرزه‌نگاری، چشمه لرزه‌ای انرژی را در مدت بسیار کوتاهی آزاد می‌کند و انرژی بصورت یک موجک در داخل زمین منتشر می‌گردد که این موج به موجک چشمه لرزه‌ای معروف است. در برداشت زمینی، منابع معمول تولید موجک شامل دینامیت و ویبراتور است. دینامیت دارای قدرت نفوذ و نیروی بیشتری است و موجک ویبراتور دارای دوره تناوب و طول بیشتری است. در عملیات دریایی، تفنگ بادی رایج‌ترین منبع تولید موج است. موجک لرزه‌ای به‌عنوان یک بسته انرژی از منبع سرچشمه گرفته و به صورت سری زمانی تغییر یافته، با انرژی و زمان متفاوت به گیرنده باز می‌گردد. تغییرات موجک از چشمه تا گیرنده تابعی از سرعت و چگالی زیرسطحی و همچنین موقعیت چشمه و گیرنده می‌باشد. علاوه بر این، سه پدیده جذب، افراز^۱ و واگرایی کروی^۲ باعث کاهش انرژی موجک می‌شوند که از میان فرکانس‌های مختلف موجک لرزه‌ای، فرکانس‌های بالاتر بیشتر تحت تاثیر کاهش انرژی قرار می‌گیرند. بنابراین محتوای فرکانسی موجک بسمت فرکانس‌های پایین‌تر تغییر می‌کند. زمان یک موجک لرزه‌ای بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌ثانیه می‌باشد. با احتساب یک سرعت میانگین برابر با ۳۰۰۰ متر بر ثانیه، طول موج آن بین ۳۰ تا ۱۵۰ متر متغیر است. موضوع تخمین موجک در قلب هر پروژه وارون‌سازی لرزه‌ای قرار دارد و شکل موجک تخمین زده شده، شدیداً ارزیابی کیفیت مخزن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (راهنمای نرم‌افزار همپسون و راسل، ۱۹۹۹). یک موجک لرزه‌ای بوسیله شکل و محتوای طیفی (طیف فاز و طیف دامنه) تعریف می‌شود که فرکانس، دامنه و فاز موجک، سه مشخصه کنترل

^۱ . Partitioning

^۲ . Spherical spreading

کننده این دو می‌باشند. با در نظر گرفتن یک طیف دامنه مشخص و با تغییر در طیف فاز یک موجک، خصوصیات آن موجک بکلی تغییر می‌کند. بدین ترتیب بر اساس طیف فاز، انواع موجک لرزه‌ای با اشکال مختلف به دست می‌آید. موجک‌های معمول در عملیات لرزه‌نگاری بر اساس طیف فاز به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند. این تقسیم بندی عبارتست از موجک با فاز کمینه، موجک با فاز صفر و موجک با فاز غیر کمینه که شامل موجک با فاز بیشینه و موجک با فاز مرکب می‌شود.

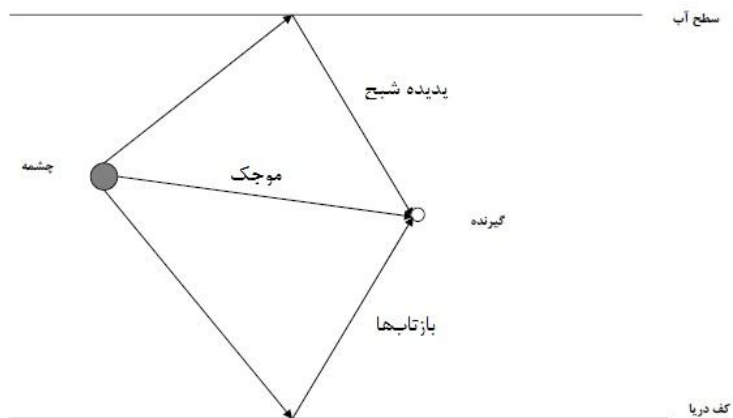
موجک فاز صفر و یا همان موجک ریکر، در بعد زمان متقارن است و در بعد فرکانس به ازای تمام فرکانس‌ها دارای فاز صفر است. این موجک دارای یک برآمدگی و دو فروافتادگی یا دو بخش جانبی می‌باشد. متقارن بودن این موجک یکی از ویژگی‌های مطلوب آن است، زیرا انرژی در قله آن متمرکز می‌گردد و هم‌امیخت آن با سری بازتاب زمین، بهتر بازتاب‌ها را نشان خواهد داد (هزینه و همکاران، ۱۳۸۵).

موجک با فاز کمینه برای واهمامیخت یک مساله حیاتی می‌باشد. موجک با فاز کمینه در بعد زمان نامتقارن است و غالب انرژی در ابتدای آن (زمانهای نخستین) متمرکز شده است و در زمان‌های منفی انرژی آن صفر است. یعنی موجک با فاز کمینه، علی^۱ می‌باشد. علت اهمیت موجک با فاز کمینه در این است که در روش عملی از نوع انفجار دینامیت، موجک حاصل از نوع فاز کمینه می‌باشد. امروزه در پردازش داده‌های لرزه‌ای تخمین موجک به منظور طراحی عملگر واهمامیخت بسیار مهم می‌باشد. تخمین دقیق موجک باعث افزایش کارایی واهمامیخت و افزایش قدرت تفکیک زمانی داده‌ها می‌گردد. از طرفی در مرحله تعبیر و تفسیر مهمترین مرحله وارون‌سازی داده‌ها به منظور تهیه مدل مقاومت لرزه‌ای ظاهری می‌باشد. کیفیت وارون‌سازی به همبستگی ردلرزه‌های مصنوعی و واقعی در اطراف چاه‌ها بستگی دارد. با افزایش دقت در تخمین موجک چشمه، این همبستگی افزایش می‌یابد (روشندل و سیاهکوهی، ۱۳۸۷).

¹ . Causal

۲-۴-۲ اندازه‌گیری مستقیم موجک لرزه‌ای

موجک لرزه‌ای را می‌توان بطور مستقیم نیز به‌دست آورد. در عملیات دریایی، با قرار دادن هیدروفون در اعماق نسبتاً زیاد (بطوریکه اثر آرایه چشمه حذف شده و همه آرایه مثل یک چشمه واحد عمل می‌کند) موجکی ثبت می‌گردد که به‌عنوان موجک چشمه لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود. نکته قابل توجه در این روش وجود پدیده شیخ^۱ است که با داشتن عمق منبع تولید موج (تفنگ بادی) و هیدروفون نسبت به سطح آب می‌توان زمان رسید این پدیده را پیش‌بینی کرد و اثر آن را از موج دریافتی حذف کرد. موج بازتاب شده از کف دریا، بعد از ثبت موجک به هیدروفون می‌رسد. این مطلب در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۵. اندازه‌گیری مستقیم موجک لرزه‌ای در دریا (هزینه و همکاران، ۱۳۸۵).

در داده‌های خشکی، اگر چشمه لرزه‌ای ویبراتور باشد شکل موجک، پهنای فرکانسی و طول آن توسط خود اپراتور مشخص می‌شود. در رابطه با دینامیت نیز با استفاده از لرزه‌نگاری درون‌چاهی^۲ می‌توان موجک

^۱ . Ghost Effect

^۲ . Vertical seismic profiling (VSP)

لرزه‌ای را تخمین زد. علاوه بر این شکل موج اولین رسید موج از چشمه به گیرنده نیز گاهی به‌عنوان یک تخمین کلی از شکل موجک لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود. این کار خالی از اشکال نیست، زیرا دریافت کننده، اول موجک را ثبت می‌کند ولی قبل از اتمام این کار موج‌های بازتابی لایه‌های زیرین زمین به گیرنده می‌رسند و باعث تداخل و تغییر شکل آن می‌شوند. همچنین باید به این نکته اذعان داشت که انفجار دینامیت باعث لرزش جانبی زمین می‌شود و روی گیرنده‌های نزدیک تاثیر می‌گذارد، زیرا ژئوفون‌ها نسبت به تغییرات عمودی زمین حساس هستند.

۲-۴-۳ تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای (روش آماری)

در فرایند استخراج موجک به روش آماری در استراتا^۱ فقط از ردلرزه برای استخراج موجک استفاده می‌کنیم. برای تخمین موجک توسط روش‌های آماری، فرضیات زیر را در نظر می‌گیریم:

۱- موجک لرزه‌ای ثابت است.

۲- موجک لرزه‌ای برای چشمه‌های آنی (دینامیت) دارای فاز کمینه و برای ویبراتور دارای فاز صفر است.

۳- سری بازتاب، یک سری تصادفی^۲ است.

طیف فاز بوسیله این روش محاسبه نمی‌شود و باید به‌عنوان یک پارامتر جدا توسط کاربر تولید شود. طیف دامنه موجک لرزه‌ای با استفاده از خودهمبستگی ردلرزه که با خودهمبستگی موجک لرزه‌ای برابر است، به‌دست می‌آید.

مراحل استخراج آماری موجک بصورت زیر می‌باشد (راهنمای همپسون و راسل، ۱۹۹۹):

۱- استخراج پنجره مورد تجزیه.

^۱ . Strata

^۲ . Random

- ۲- تقسیم‌بندی و مشخص کردن شروع و انتهای پنجره (۱۰ تا نمونه، ۱/۴ پنجره).
- ۳- انجام خودهمبستگی پنجره انتخابی.
- ۴- محاسبه طیف دامنه خودهمبستگی.
- ۵- به دست آوردن ریشه دوم طیف خودهمبستگی (نزدیک به طیف دامنه موجک می‌باشد).
- ۶- اضافه کردن فاز موجک.
- ۷- انجام تبدیل فوریه معکوس برای به دست آوردن موجک در بعد زمان.
- ۸- جمع این موجک با موجک‌های دیگر که از ردلرزه‌های دیگر در این پنجره به دست آمده‌اند.

۲-۴-۴ تخمین موجک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه

زمانی که داده‌های چاه‌نگاری در دسترس باشد، می‌توان با استفاده از این اطلاعات و داده‌های لرزه‌ای، موجک قابل قبولی به دست آورد. در این روش برای هر ردلرزه باید نگار صوتی و چگالی در دسترس باشد. به این ترتیب مقاومت ظاهری لرزه‌ای در محل چاه محاسبه شده و سپس سری بازتاب در محل چاه به دست می‌آید. البته نگارها در نقاط مجزا و ناپیوسته‌ای در دسترس ما هستند که توسط درون‌یابی یا برون‌یابی که بطور مشابه در مدل وارون هم بکار می‌رود، می‌توان نگارهای پیوسته مهیا کرد. این بدان معنی است که تاثیر تطابق نگارها^۱ و انتخاب داده‌ها، یکنواخت و هم‌شکل شود. این باعث می‌شود که یک محدوده مشخصی از ردلرزه‌های اطراف چاه مورد استفاده قرار گیرند. در محاسبه سری بازتاب در محل چاه نکاتی را باید در نظر گرفت. از جمله، انتخاب نرخ نمونه‌برداری صحیح با توجه به نرخ نمونه‌برداری از داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه و همچنین خطاهای مربوط به تبدیل نگارهای عمقی چاه به نگارهای زمانی را نیز باید در نظر گرفت (هزینه و همکاران، ۱۳۸۵).

در اینجا سه روش استخراج موجک لرزه ای بیان می‌شود:

^۱. Stretching

۲-۴-۴-۱ روش تقسیم طیفی

نگاشت لرزه‌ای در حوزه فرکانس، حاصلضرب تبدیل فوریه سری بازتاب و تبدیل فوریه موجک است. در نتیجه با تقسیم تبدیل فوریه ردلرزه بر تبدیل فوریه سری بازتاب، تبدیل فوریه موجک لرزه‌ای به دست می‌آید (هزینه و همکاران، ۱۳۸۵).

$$x(t) = W(t) * e(t) \xrightarrow{FT} x(\omega) = W(\omega)e(\omega) \quad (۸)$$

$$W(\omega) = \frac{x(\omega)}{e(\omega)}$$

چون در این روش موجک لرزه‌ای حاصل یک عمل تقسیم است، پس در جائیکه سری بازتاب معادل صفر شود به تبع آن تبدیل فوریه‌اش نیز صفر می‌شود. برای رفع این مشکل مقدار ثابتی بسیار کوچک تحت عنوان نوفه سفید به تبدیل فوریه سری بازتاب اضافه می‌شود. از آنجاییکه داده‌های واقعی دارای نوفه می‌باشند یک مقدار از کارآیی این روش کاسته می‌شود.

۲-۴-۴-۲ روش فیلتر وینر (فیلتر کمترین مربعات خطا)

این روش در حوزه زمان انجام می‌گیرد. از آنجاییکه داده‌های واقعی دارای نوفه می‌باشند، کاربرد این روش نتایج بهتری نسبت به تقسیم طیفی ارائه می‌دهد. فیلتر وینر مقدار ورودی x_t را طی رابطه هم‌میخت $y_t = f_t * x_t$ به مقدار خروجی y_t تبدیل می‌کند. فیلتر را موجک لرزه‌ای و ورودی را سری بازتاب در محل چاه در نظر می‌گیریم. سعی بر این است که مقدار خروجی واقعی به دست آمده، y_t ، به مقدار خروجی دلخواه، d_t ، یعنی مقدار ردلرزه در محل چاه نزدیک شود. بنابراین باید خطای حداقل مربعات، L ، بین مقدار خروجی واقعی و خروجی دلخواه کمینه شود.

$$L = \sum_t (d_t - y_t)^2 = \min \quad (9)$$

یعنی:

$$\frac{\partial L}{\partial f_i} = 0 \quad i = 0, 1, 2, \dots, (n-1) \quad (10)$$

با جایگذاری $y_t = f_t * x_t$ در رابطه (9) به رابطه (11) می‌رسیم:

$$L = \sum_t (d_t - \sum_{\tau} f_{\tau} x_{t-\tau})^2 \quad (11)$$

با مشتق‌گیری جزئی از رابطه (11) مطابق با رابطه (10) بمنظور کمینه کردن خطای حداقل مربعات به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\sum_{\tau} f_{\tau} \sum_t x_{t-\tau} x_{t-i} = \sum_t d_t x_{t-i} \quad i = 0, 1, 2, \dots, (n-1) \quad (12)$$

بعد از جایگزین کردن $\sum_t x_{t-\tau} x_{t-i} = r_{i-\tau}$ و $\sum_t d_t x_{t-i} = g_i$ در رابطه (12) شکل ماتریسی آن را بصورت زیر می‌نویسیم:

$$\begin{bmatrix} r_0 & r_1 & r_2 & \dots & r_{n-1} \\ r_1 & r_0 & r_1 & \dots & r_{n-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n-1} & r_{n-2} & r_{n-3} & \dots & r_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ \vdots \\ g_{n-1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

با حل این ماتریس که در آن r ماتریس خودهمبستگی^۱ ورودی x_t و g ماتریس همبستگی متقابل^۲ بین ورودی و خروجی دلخواه d_t است، ضرایب بهینه فیلتر وینر را به دست می‌آوریم (ایلماز، ۲۰۰۱).

^۱ . Autocorrelation

^۲ . Crosscorrelation

در کارهای عملی به دلیل مسائلی چون خطاهای موجود در سری بازتاب حاصل از چاه، نوفه‌های تصادفی در نگارهای چاه و داده‌های لرزه‌ای، کیفیت نتیجه به میزان زیادی کاهش می‌یابد. از طرفی خطای تبدیل نگار از مقیاس عمقی به مقیاس زمانی، باعث بیشترین مشکل می‌شود. زیرا نگارهای چاه بصورت تابعی از عمق برداشت می‌شوند و برای تبدیل به مقیاس زمان به اطلاعات دقیق سرعت برای محاسبه سری بازتاب به‌عنوان تابعی از زمان رفت و برگشت موج نیاز است. این اطلاعات یا از نگارهای صوتی و یا از چک‌شات^۱ و پروفیل لرزه‌ای به‌دست می‌آیند که در مورد اول خطاهایی نظیر حفرات موجود در چاه، تخلخل ثانویه و ... باعث مغشوش شدن نتایج می‌شوند. اغلب استفاده از چک‌شات نیز نمی‌تواند خطای موجود را برطرف نماید و برای تصحیح بایستی قسمت‌هایی از نگار را کشیده یا منقبض کرد.

بطور خلاصه مراحل تخمین موجک عبارتند از (راهنمای نرم افزار همپسون و راسل، ۱۹۹۹):

- ۱- مشخص کردن پنجره داده‌های لرزه‌ای، نگار چگالی و نگار سرعت.
- ۲- ضرب نگار صوتی در چگالی برای به‌دست آوردن مقاومت ظاهری لرزه‌ای و محاسبه ضریب بازتاب از مقاومت ظاهری لرزه‌ای.
- ۳- مجزا و مشخص کردن ابتدا و انتهای پنجره داده‌های لرزه‌ای سری بازتاب.
- ۴- محاسبه فیلتر وینر.
- ۵- به‌دست آوردن طیف دامنه توسط روش آماری و مقایسه آن با طیف دامنه موجک. که از این طریق می‌توانیم جابجایی زمانی درست را بین نگار و داده‌های لرزه‌ای به‌دست آوریم و دوباره مرحله ۴ را انجام دهیم.
- ۶- جمع این موجک با موجک‌های به‌دست آمده از ردلرزه‌های دیگر نزدیک چاه و انجام عمل میانگین‌گیری.

^۱ . Check shot

۷- تثبیت موجک محاسبه شده توسط یک فیلتر فرکانس بالا.

۲-۴-۵ تخمین موجک با برگردان داده‌های لرزه‌ای

در این روش نیز مانند دو روش قبلی، سری بازتاب در محل چاه به دست می‌آید و با اعمال موجک دلخواهی، ردلرزه مصنوعی محاسبه شده و با ردلرزه در محل چاه مطابقت داده می‌شود. اگر خطا زیاد باشد، موجک را تغییر داده و این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که تطابق مطلوبی بین ردلرزه مصنوعی و واقعی به دست آید. معمولاً بعلت وجود بازتاب‌های تکراری، خطا در تبدیل عمق به زمان، تغییرات جزئی ضرایب بازتاب در داخل لایه‌های زمین بعلت ناهمگن بودن مواد در داخل این لایه‌ها و برخورد غیرعمودی موج به لایه‌ها، تطابق کاملی بین ردلرزه مصنوعی و واقعی حاصل نمی‌شود.

برای تطابق بهتر، طیف دامنه موجک را از طریق روش‌های آماری به دست آورده و طیف فاز را نیز توسط روش آزمون و خطا، به دست می‌آوریم. این کاملترین و بهترین روش تخمین موجک لرزه‌ای می‌باشد که در صنعت نیز معمول است. با استفاده از پنجره‌هایی با طول مختلف، می‌توان موجک‌های مختلفی را به دست آورد و از این میان موجک مناسب‌تر را که میزان نوفه آن کمتر باشد، بعبارتی قسمت عمده انرژی موجک در مرکز آن متمرکز شده باشد، را انتخاب کنیم (هزینه و همکاران، ۱۳۸۵).

۲-۵ روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای پس از برانبارش

وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش، فرایندی است که در آن ردلرزه‌های برانبارش شده را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم و تلاش می‌کنیم تا ساختار مقاومت ظاهری لرزه‌ای یا سرعت زمین را دوباره بسازیم.

وارون‌سازی لرزه‌ای در دهه ۱۹۷۰ بوجود آمد و جایگزین ردلرزه‌ها شد (لیندث^۱، ۱۹۷۹). با این وجود به این دلیل که ردلرزه‌ها محدود باند بودند، وقتی مقاومت ظاهری لرزه‌ای از آن‌ها استخراج می‌شد، آن‌ها نیز بصورت محدود باند بودند. نبود فرکانس‌های بالا، جزئیات و نبود فرکانس‌های پایین، روندها را از مدل‌های شبه مقاومت ظاهری لرزه‌ای حذف می‌کرد. راه حل این مساله توسط لیندث (۱۹۷۹) ارائه شد و فرکانس‌های پایین با استفاده از یک مدل استخراج شده از داده‌های چاه‌نگاری بازیابی شد. به این ترتیب که بعد از ایجاد یک مدل توسط داده‌های چاه‌نگاری، با استفاده از یک فیلتر پایین‌گذر یک مدل با فرکانس پایین ایجاد و به مدل شبه مقاومت ظاهری لرزه‌ای اضافه می‌شد.

امروزه روش‌های متفاوت از وارون‌سازی پس از برانبارش در اکتشافات نفتی و توسعه آن‌ها کاربرد دارد و اگر بخواهیم آن‌ها را دسته‌بندی کنیم سه روش اصلی وجود دارد که بعضی از آن‌ها دارای فرضیات مشترک و یا مدل‌های مشترک می‌باشند. روش‌های اصلی به صورت زیر دسته‌بندی می‌گردند:

- وارون‌سازی با باند محدود یا بازگشتی
- وارون‌سازی بلوکی یا بر مبنای مدل
- وارون‌سازی خارهای پراکنده

هر کدام از روش‌های ذکر شده دارای محدودیت‌ها و امتیازاتی می‌باشند و کاربرد مناسب خود را دارند.

۲-۵-۱ وارون‌سازی با باند محدود یا بازگشتی

وارون‌سازی با باند محدود یکی از اولین روش‌های وارون‌سازی داده‌های پس از برانبارش می‌باشد. اصول این روش وارون‌سازی بسیار آسان است. اگر ما فرض کنیم که ردلرزه تخمینی از سری بازتاب زمین را نشان می‌دهد،

^۱ . Lindesth

پس این سری بازتاب می‌تواند وارون شود تا مقاومت ظاهری لرزه‌ای را به ما بدهد. بنابراین، از آنجاییکه ردلرزه محدود باند است این فرایند آنطور هم که بنظر می‌رسد آسان نیست. در فرکانس‌های پایین (۱۰-۰ Hz) و فرکانس‌های بالا (۲۵۰-۸۰ Hz) طیف بازتابی از بین خواهد رفت. همچنین در هر دوی فرکانس‌های بالا و پایین امکان آلودگی نوفه در ردلرزه وجود دارد که فرایند را پیچیده می‌کند (راهنمای نرم افزار همپسون و راسل، ۱۹۹۹).

در برنامه استراتا انجام وارون‌سازی با باند محدود شامل سه مرحله می‌شود:

۱- به‌دست آوردن مدل سرعت فرکانس پایین با استفاده از نگار صوتی یا سرعت‌های ریشه میانگین مربعات^۱ و یا ترکیب هر دوی آن‌ها.

در این روش، اطلاعات مدل بوسیله انتخاب بازتابنده‌های اصلی بر روی داده‌های لرزه‌ای به‌دست می‌آیند و اطلاعات دقیق سرعت را از روی نگار صوتی در نقاط انتخاب شده روی این بازتابنده‌ها فراهم می‌کنند. سپس این توابع سرعت یا " نقاط کنترل " برای به‌دست آوردن مقدار سرعت برای هر نمونه از ردلرزه‌ای که قرار است وارون‌سازی شود، درون‌یابی می‌گردند. رویدادهای انتخاب شده به‌عنوان یک راهنما برای درون‌یابی بکار می‌روند و اگر هیچ رویدادی انتخاب نشود، درون‌یابی به صورتی خطی در هر نمونه زمانی انجام می‌شود (راهنمای نرم افزار همپسون و راسل، ۱۹۹۹).

۲- وارون کردن ردلرزه با استفاده از روش وارون‌سازی بازگشتی که وارون معادله (۱) می‌باشد. که در این بخش باند فرکانس متوسط بین ۶۰-۱۰ هرتز مربوط به سرعت یا مقاومت ظاهری لرزه‌ای به‌دست می‌آید.

این کار با استفاده از فرمول زیر انجام می‌شود:

^۱ . Rout Mean Square (RMS)

$$I(j) = I(j - 1) \left[\frac{1+r(j)}{1-r(j)} \right] \quad (14)$$

فرمول بالا فرمول ناپیوسته‌ی وارون‌سازی نام دارد و اساس روش‌های وارون‌سازی می‌باشد. با استفاده از فرمول بالا اگر مقاومت ظاهری لرزه‌ای هر لایه و سری بازتاب همان لایه مشخص باشد، می‌توانیم مقاومت ظاهری لرزه‌ای لایه بعدی را نیز محاسبه کنیم. یعنی در ابتدا نیازمند داشتن مقاومت ظاهری لرزه‌ای لایه اول هستیم تا محاسبات بعدی را انجام دهیم. اثر نوفه، بخصوص در قسمت‌های پایین نگار مقاومت ظاهری لرزه‌ای به دست آمده از این روش بیشتر است. زیرا برای محاسبه مقاومت ظاهری لرزه‌ای هر لایه از مقاومت ظاهری لرزه‌ای لایه بالاتر استفاده می‌گردد و خطاها و اثر نوفه به صورت تجمعی افزایش می‌یابد.

۳- در این مرحله نتیجه مرحله اول، یعنی اطلاعات مدل فرکانس پایین و نتیجه مرحله دوم یعنی اطلاعات مدل فرکانس متوسط را با هم ترکیب می‌شوند تا نتیجه وارون‌سازی با باند محدود محاسبه گردد.

روش وارون‌سازی بازگشتی با دو مشکل عمده روبرو می‌باشد. یکی محدودیت پهنای باند و دیگری وجود نوفه می‌باشد. وجود نوفه باعث می‌گردد که نتیجه حاصل با واقعیت اختلاف داشته باشد. با وجود این مشکلات، روش وارون‌سازی بازگشتی، روش سریع و نسبتاً ساده برای مشخص شدن تغییرات نسبی مقاومت لرزه‌ای ظاهری است.

۲-۵-۲ وارون‌سازی بلوکی یا بر مبنای مدل

دلیل در نظر گرفتن نام "بلوکی" برای این الگوریتم وارون‌سازی در استراتا این است که این الگوریتم یک سری از نگارهای شبه سرعت بلوکی تهیه می‌کند که ابعاد میانگین این بلوک‌ها توسط کاربر تعیین می‌شود. اما بطور عمومی از نرخ نمونه‌برداری داده‌های ورودی بزرگتر است. در نتیجه نگارهای شبه سرعت بلوکی نسبت به نگارهای چگالی و سرعت که از اطلاعات چاه‌نگاری محاسبه شده‌اند، تفکیک‌پذیری پایین‌تری دارند.

ما در این حالت با یک زمین یک بعدی سروکار داریم که شامل N لایه می‌باشد و سه پارامتر ضخامت، سرعت و چگالی هر لایه برای ما مهم می‌باشد. $d(i)$ ، ضخامت لایه i ام، $v(i)$ ، سرعت لایه i ام و $\rho(i)$ را چگالی لایه i ام در نظر می‌گیریم. زمان رفت و برگشت موج درون لایه i ام بصورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t(i) = \frac{2d(i)}{v(i)} \quad (15)$$

زمان رفت و برگشت موج از سطح زمین به سطح لایه i ام بصورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tau(i) = \sum_{j=1}^{i-1} t(j) \quad i = 1, N \quad (16)$$

حال می‌توان ردلرزه‌ی اندازه‌گیری شده از این مدل یک بعدی زمین را با رابطه زیر بیان نمود:

$$T(i) = \sum_{j=1}^N r(j)w(i - \tau(j) + 1) + n(i) \quad (17)$$

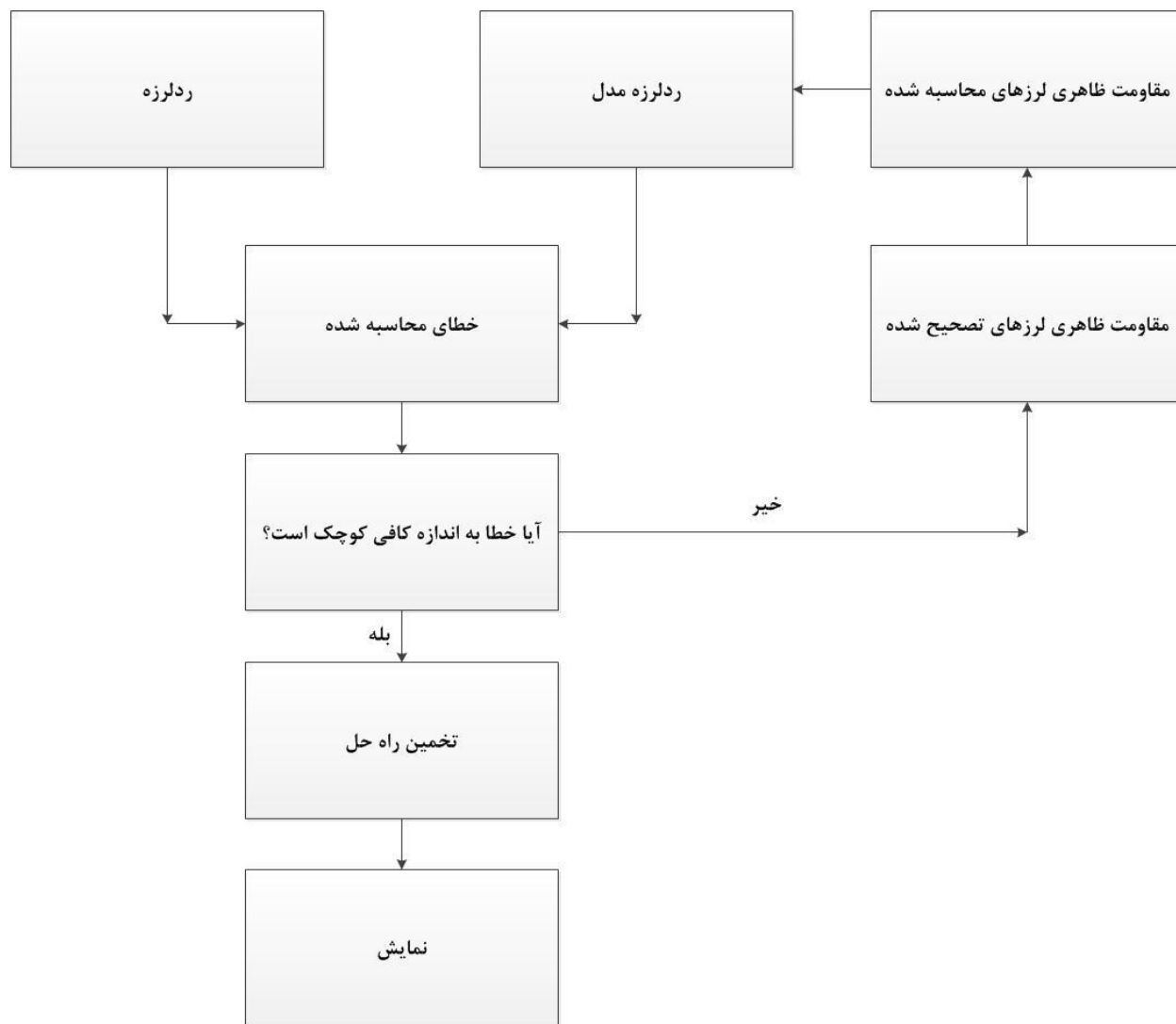
که در آن، i تعداد نمونه‌ها، $T(i)$ ، ردلرزه اندازه‌گیری شده و $\tau(i)$ زمان رفت و برگشت موج از سطح زمین به سطح لایه i ام می‌باشد. فرض می‌کنیم تخمین اولیه سری بارتاب با $r_0(j)$ توصیف می‌شود. سپس می‌توانیم ردلرزه‌ی مدل را بصورت زیر محاسبه کنیم:

$$M(i) = \sum_{j=1}^n r_0(j)w(i - \tau(j) + 1) \quad (18)$$

ردلرزه مدل M با ردلرزه اصلی T کاملاً متفاوت می‌باشد زیرا که مقدار r_0 با مقدار اصلی آن r متفاوت می‌باشد و همچنین ردلرزه اصلی دارای عامل نوفه $n(i)$ می‌باشد. روش بهینه‌سازی حداقل مربعات برای مقدار $r_0(j)$ حل می‌شود که میزان اختلاف بین M و T را تا حد امکان کاهش می‌دهد.

بطور خلاصه در روش وارون‌سازی بر مبنای مدل، یک مدل اولیه با داده‌های لرزه‌ای مقایسه می‌شود و سپس اختلاف در مدل تصحیح می‌گردد و این عمل مجدداً انجام می‌گردد تا جایی که مدل حاصل با داده‌های لرزه‌ای همخوانی قابل قبولی داشته باشد. نکته قابل توجه این است که در این روش یک مدل ممکن است در نهایت سازگاری خوبی با داده‌های لرزه‌ای نشان دهد، ولی مدل واقعی نباشد. چرا که حالت‌های مختلفی از مقاومت ظاهری لرزه‌ای وجود دارند که می‌توانند یک سری بازتاب ایجاد کنند. عبارتی عدم یکتایی مساله قابل توجهی در این روش می‌باشد.

یک راه برای تمایز بین مدل‌های ممکن استفاده از قید می‌باشد. در استراتا این قید شامل یک سری داده می‌شود که مستقل از ردلرزه‌ها می‌باشند و همچنین اطلاعاتی در رابطه با بازتاب‌های ناشناخته به ما می‌دهند. در وارون‌سازی هر ردلرزه در استراتا، برنامه دارای یک حدس اولیه از ردلرزه‌ها می‌باشد که در مرحله ساختن مدل شکل گرفته‌اند. این ردلرزه‌ها از نگارهای چاه در نقاط مختلف محدوده برداشت، به دست می‌آیند و برای تولید مقاومت ظاهری لرزه‌ای برای هر ردلرزه درون‌یابی می‌گردند (راهنمای نرم‌افزار همپسون و راسل، ۱۹۹۹). الگوریتم اصلی وارون‌سازی بر پایه مدل در شکل ۲-۷ نشان داده شده است.



شکل ۲-۶. روش وارون‌سازی بر پایه مدل (راسل، ۱۹۹۱).

۲-۵-۳ واریون‌سازی خارهای پراکنده

زمانی که واریون‌سازی محدود باند توسعه پیدا کرد، روش‌های بسیاری مانند روش واریون‌سازی خارهای پراکنده توسط اولدنبرگ در سال ۱۹۸۳ معرفی شدند. در روش خارهای پراکنده، واریون‌سازی پهنای باند کامل انجام می‌گردد. در این روش فرض بر این است که سری بازتاب زمین از یک دسته رخدادهای بزرگ (خارهای پراکنده) برهم نهشته شده بر زمینه‌ای گوسی از رخدادهای کوچکتر تشکیل شده است. این الگوریتم داده‌های لرزه‌ای را برای مدل‌سازی لایه‌های زمین با حداقل تعداد ضرایب بازتاب استفاده می‌کند و دارای مزایای زیر است:

- نسبت به روش واریون‌سازی محدود باند نتیجه قابل قبول‌تری دارد.
- کیفیت داده‌های لرزه‌ای تاثیر بسزایی در نتیجه‌ها دارند.
- نتیجه نهایی مقاومت ظاهری لرزه‌ای بصورت پهن باند خواهد بود.

فصل سوم

نشانگرهای لرزه‌ای و تحلیل آنها

۳-۱ نشانگرهای لرزه‌ای

نشانگر لرزه‌ای به هر پارامتری گفته می‌شود که بتوان آن را بنوعی از داده‌های لرزه‌ای قبل یا بعد از برانبارش به‌دست آورد، یا به شکل فضایی به نقشه در آورد (تانر^۱ و همکاران، ۱۹۷۹). از یک دیدگاه کلی، تعریف نشانگرهای لرزه‌ای، همه کمیت‌های به‌دست آمده از داده‌های لرزه‌ای را دربر می‌گیرد. این تعریف می‌تواند شامل یک رابطه ساده ریاضی مانند مشتق ردلرزه و یا رابطه پیچیده‌ای مانند سرعت‌های بازه‌ای، مقاومت ظاهری لرزه‌ای به‌دست آمده از وارون‌سازی، برآورد فشار حفره‌ها و تغییرات دامنه برحسب دورافت^۲ نیز باشد. نشانگر لرزه‌ای پارامتری است که بنحوی بتواند داده‌های لرزه‌ای را به مشخصه‌های مخزن ارتباط دهد و ویژگی‌های مخزن را آشکار سازد تعداد زیادی از تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که برآورد کردن خصوصیات نگاره‌ها با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای امکان‌پذیر است (لیپارت و هارت، ۲۰۰۱، همپسون و همکاران، ۲۰۰۱). رگرسیون خطی چندگانه، زمین‌آمار، شبکه‌های عصبی مصنوعی و سایر روش‌ها برای کشف روابط بین داده‌های چاه و داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای از دهه ۱۹۷۰ میلادی آغاز شد و نشانگرهای لرزه‌ای متعددی توسط محققان معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند که هر کدام از آن‌ها برای توصیف یکی از مشخصه‌های فیزیکی یا زمین‌شناختی لایه‌های زیرسطحی بکار می‌روند. اکثر نشانگرها، مشتقات غیرخطی از ردلرزه‌ها هستند. این غیرخطی بودن می‌تواند آن دسته از خصوصیات مخزنی و زمین‌شناسی را که نمی‌توان در داده‌های لرزه‌ای خام دید، مشخص کند. رابطه غیرخطی بین نشانگرها و خصوصیات نگاره‌ها، توانایی روش‌های خطی را برای برآورد کردن پارامترها، محدود می‌کند. بنابراین می‌بایست روش‌های غیرخطی (مانند استفاده از شبکه‌های عصبی) برای برآورد پارامترها را جستجو کرد.

^۱ . Taner

^۲ . Amplitude variations with offset (AVO)

۲-۳ تاریخچه استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای

بعضی از نشانگرهای لرزه‌ای مهم قبل از شروع برداشت لرزه‌ای به روش رقومی (دیجیتال) و هنگام استفاده از ثبت کاغذی، کشف و مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در آن زمان لرزه‌شناس‌ها دریافتند که محدوده‌هایی که در آنها بازتاب پیوستگی ندارد، می‌تواند منطبق با محل گسل‌ها باشد. شروع برداشت رقومی در سال ۱۹۶۳ که داده‌های با کیفیت زیاد را در اختیار مفسران قرار می‌داد، تحول بزرگی در مطالعات لرزه‌نگاری بوجود آورد. در دهه ۱۹۶۰، مفسران بازتابنده‌های قوی مجزایی، که لکه‌های روشن^۱ نامیده شدند، را روی مقاطع لرزه‌ای مشاهده کردند. حفاری‌های صورت گرفته در محل لکه‌های روشن مشخص کرد که این بازتاب‌ها مربوط به سنگ‌های مخزنی حاوی گاز هستند. این نواحی دارای دامنه‌های قوی‌تری نسبت به نواحی مجاورند که فقط از آب یا نفت اشباع شده‌اند (تانر، ۲۰۰۱). بنابراین از آن به بعد این نشانگر لرزه‌ای در حکم شاخصی از وجود گاز در لرزه‌نگاری بکار رفت و بدنبال آن محققان نشانگرهای بسیاری را کشف کردند و مورد استفاده قرار دادند. چوپرا^۲ و مارفورت^۳ (۲۰۰۵) نیز تاریخچه جامعی از توسعه نشانگرهای لرزه‌ای به همراه توصیف اغلب نشانگرهای لرزه‌ای اصلی را ارائه کرده‌اند. با افزایش تعداد نشانگرها در دهه ۱۹۸۰، تنوع نشانگرهای در دسترس لرزه‌شناسان برای بررسی خصوصیات زمین‌شناسی مخزن افزایش یافت. و بدلیل وقتگیر بودن آزمایش تک تک نشانگرها، بررسی‌هایی بمنظور انتخاب نشانگرها بصورت خودکار صورت گرفت که در آن با بررسی رایانه‌ای داده‌ها، سعی در به‌دست‌آوردن الگوی مناسب از نشانگرهای لرزه‌ای شد (دفیگویردو^۴، ۱۹۸۲). از اواخر دهه ۱۹۹۰ استفاده همزمان از چند نشانگر آغاز شد. تحقیقات روشن ساخت که ممکن است چندین نشانگر به یک خصوصیت

^۱ . Bright spot

^۲ . Chopra

^۳ . Marfurt

^۴ . de Figueiredo

مخزن حساس باشند و استفاده همزمان از این نشانگرها کیفیت برآورد را افزایش دهد (شولتز^۱ و همکاران، ۱۹۹۴).

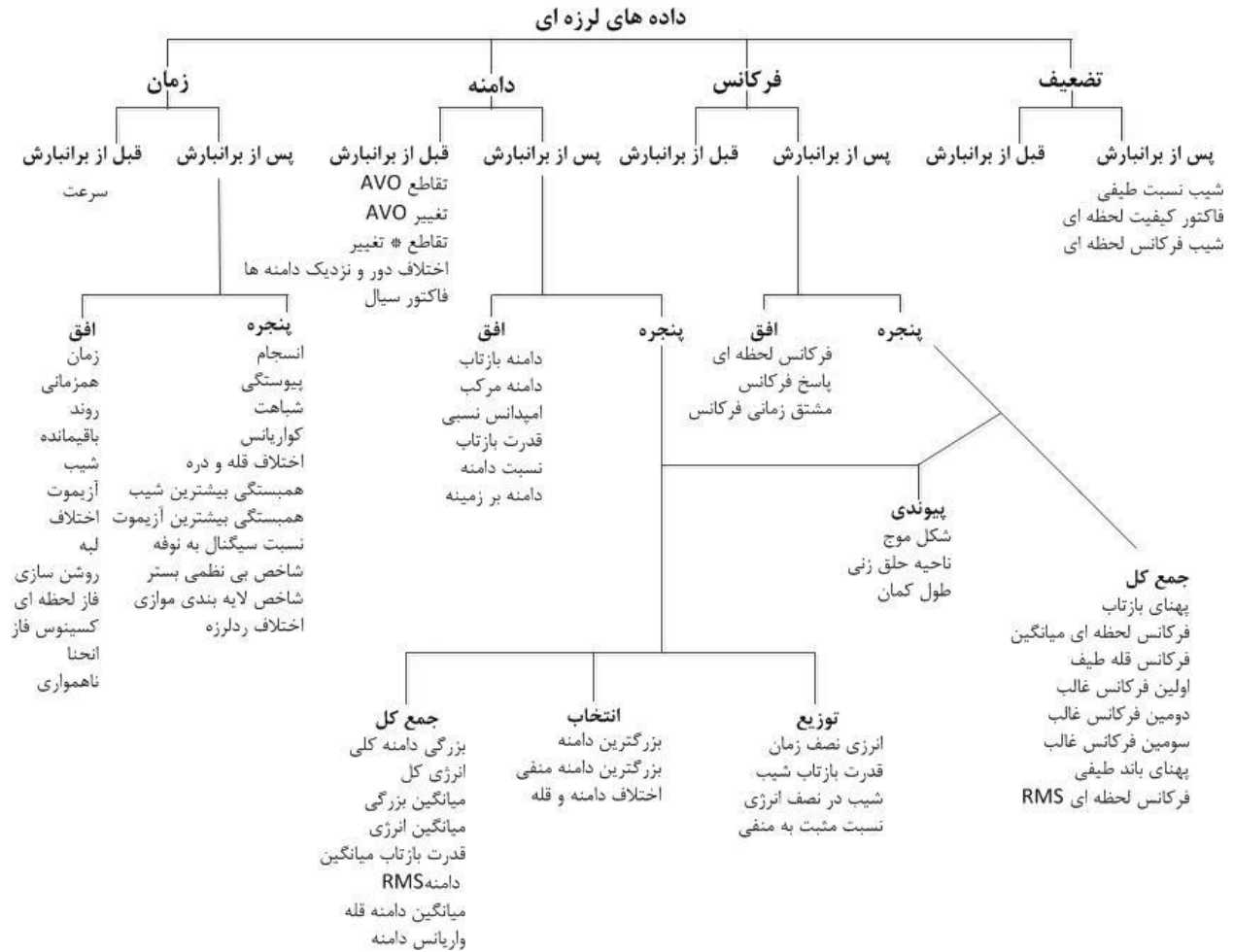
۳-۳ انواع نشانگرهای لرزه‌ای

نشانگرها به انواع مختلفی می‌توانند طبقه‌بندی شوند. ساده‌ترین روش طبقه‌بندی توسط براون (۲۰۰۱)^۲ ارائه گردیده‌است. در این طبقه‌بندی چهار دسته، زمان، دامنه، فرکانس و تضعیف معرفی گردیده است که در شکل ۳-۱ قابل ملاحظه است (براون، ۲۰۰۱).

بطور کلی نشانگرهای حاصل از زمان، اطلاعات ساختاری و نشانگرهای حاصل از دامنه و فرکانس، اطلاعات چینه‌شناسی مخزن را تهیه می‌نمایند. اما نشانگرهای دامنه قوی‌تر و مفیدتر از نشانگرهای حاصل از فرکانس هستند. نشانگر مربوط به تضعیف امروزه کاربرد چندانی ندارد، ولی می‌توان گفت اطلاعات ناحیه‌ای مربوط به نفوذپذیری مخزن را ارائه می‌دهد (براون، ۲۰۰۱).

^۱ . Schultz

^۲ . Brown



شکل ۳-۱. طبقه بندی نشانگرها (براون، ۲۰۰۱).

۳-۳-۱ طبقه‌بندی نشانگرها بر اساس ویژگی‌های آنها

۳-۳-۱-۱ نشانگرهای پیش از برانبارش

در این نوع از نشانگرها، داده ورودی، برداشت نقطه عمقی مشترک^۱ می‌باشند که دارای اطلاعات مربوط به جهت (آزیموت) و دورافت می‌باشند. استفاده از داده‌های پیش از برانبارش منجر به افزایش میزان محاسبات خواهد شد و در نتیجه این نوع از نشانگرها به علت افزایش زمان محاسبات از نظر کاربردی، عملی نمی‌باشند (تانر، ۲۰۰۰).

۳-۳-۱-۲ نشانگرهای پس از برانبارش

برانبارش یک فرایند میانگین‌گیری و حذف اثرات مربوط به دورافت و آزیموت می‌باشد. داده‌های ورودی می‌توانند نقاط عمقی مشترک برانبارش شده و یا کوچ داده شده باشند. نشانگرهای پس از برانبارش در پی‌جویی‌های اولیه برای مشاهده حجم بالای داده‌ها مناسب‌تر هستند، درحالی‌که برای بررسی دقیق جزئیات، نشانگرهای پیش از برانبارش در نظر گرفته می‌شوند (تانر، ۲۰۰۰).

۳-۳-۲ طبقه‌بندی بر اساس محتوای اطلاعات

۳-۳-۲-۱ نشانگرهای لحظه‌ای^۲

نشانگرهای لحظه‌ای به صورت نمونه به نمونه محاسبه می‌شوند و تغییرات لحظه‌ای پارامترهای مختلف را نشان می‌دهند. مقادیر لحظه‌ای نشانگرهایی مانند پوش ردلرزه و مشتقات آنها، فرکانس و فاز می‌توانند توسط تئوری ردلرزه مختلط حاصل گردند (تانر، ۲۰۰۰).

^۱ . common depth point (CDP)

^۲ . Instantaneous Attributes

۳-۳-۲ نشانگرهای موجک

نشانگرهای لحظه‌ای محاسبه شده در محل قله پوش ردلرزه ارتباط مستقیم با تبدیل فوریه موجک در اطراف قله پوش دارند. بطور مثال، فرکانس لحظه‌ای در پیک پوش با میانگین فرکانس طیف دامنه موجک برابر است. فاز لحظه‌ای نیز با فاز تقاطع^۱ موجک مطابقت دارد. این نشانگر به عنوان نشانگر پاسخ^۲ نیز نامیده می‌شود.

۳-۳-۳ طبقه‌بندی بر اساس ارتباط نشانگرها با زمین‌شناسی

۳-۳-۳-۱ نشانگرهای فیزیکی

نشانگرهای فیزیکی با کمیت‌ها و کیفیت‌های فیزیکی ارتباط دارند. بزرگی پوش ردلرزه با اختلاف مقاومت ظاهری لرزه‌ای، فرکانس‌های وابسته به ضخامت سنگ بستر، توزیع موج و جذب متناسب است. سرعت‌های میانگین و سرعت‌های لحظه‌ای بطور مستقیم به مشخصات سنگ وابسته هستند. بنابراین این نشانگرها اغلب در طبقه‌بندی‌های سنگ‌شناسی و توصیف مخزن کاربرد دارند (تانر، ۲۰۰۰).

۳-۳-۳-۲ نشانگرهای هندسی

نشانگرهای هندسی ارتباط فضایی و زمانی تمام نشانگرهای دیگر را توصیف می‌کنند. اندازه‌گیری شیب و انحنای سنگ بستر اطلاعاتی در رابطه با نهشته‌ها می‌دهد. در ابتدا تصور می‌شد که نشانگرهای هندسی به تفسیرهای چینه‌شناسی کمک می‌کنند. اگرچه تجربه‌های بیشتر نشان داده است که نشانگرهای هندسی رویدادها و ارتباط فضایی آن‌ها را تعریف می‌کنند و به تعیین کمیت ساختارهایی که مستقیماً به شناسایی الگوهای نهشته‌ای و سنگ‌شناسی مربوطه کمک می‌کنند، می‌پردازند (تانر، ۲۰۰۰).

^۱ . Intercept phase

^۲ . Response attribute

۳-۳-۴ طبقه‌بندی بر اساس منشاء نشانگرها

۳-۳-۴-۱ نشانگرهای بازتابی

نشانگرهای مربوط به این طبقه‌بندی به ویژگی‌های سطح برخورد بستگی دارند. تمام نشانگرهای لحظه‌ای و نشانگرهای موجک در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند. نشانگرهای پیش از برانبارش مانند AVO نیز نشانگرهای بازتابی می‌باشند، زیرا AVO نیز تغییرات دامنه بازتاب برحسب زاویه بازتاب از یک فصل مشترک را مطالعه می‌کند (تانر، ۲۰۰۰).

۳-۳-۴-۲ نشانگرهای عبوری

نشانگرهای عبوری به ویژگی‌های بستر بین دو فصل مشترک بستگی دارند، سرعت بازه‌ای، سرعت ریشه میانگین مربعات، سرعت میانگین و عامل جذب و انتشار در این دسته‌بندی قرار دارند (تانر، ۲۰۰۰).

۳-۴ محاسبه و بررسی نشانگرهای اصلی

۳-۴-۱ پوش ردلرزه

ردلرزه مختلط را می‌توان بصورت رابطه زیر تعریف نمود (تانر، ۲۰۰۰):

$$F(t) = f(t) + ig(t) \quad (19)$$

که در رابطه بالا $f(t)$ مقدار حقیقی ردلرزه مختلط یا همان ردلرزه با داده لرزه‌ای ثبت شده و $g(t)$ قسمت موهومی ردلرزه مختلط است که تبدیل هیلبرت تابع $f(t)$ می‌باشد. پوش ردلرزه را می‌توان بصورت رابطه زیر تعریف نمود:

$$E(t) = \sqrt{f(t)^2 + g(t)^2} \quad (20)$$

درواقع $E(t)$ میزان انرژی لحظه‌ای کل را نشان می‌دهد و بزرگی آن با بزرگی ردلرزه ورودی برابر است. مقدار آن تقریباً بین صفر و بیشترین مقدار دامنه ردلرزه تغییر می‌کند. همانطور که معادله (۲۰) نشان می‌دهد، پوش ردلرزه مستقل از فاز بوده و به صورت مستقیم به اختلاف مقاومت ظاهری لرزه‌ای بستگی دارد. این نشانگر ممکن است، نشان‌دهنده یک بازتابنده و یا نشان‌دهنده پاسخ ترکیب شده چندین بازتابنده باشد که این موضوع بستگی به پهنای باند لرزه‌ای دارد. پوش ردلرزه یک نشانگر فیزیکی می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان یک عامل تمایزکننده موثر در مشخصه‌های زیر استفاده گردد (تانر، ۲۰۰۰):

- نمایان کردن اختلاف مقاوت ظاهری لرزه‌ای
- لکه‌های روشن
- تجمع گاز
- توالی لایه‌ها
- اثرات کاهش ضخامت لایه‌ها
- عدم پیوستگی
- تغییرات اساسی سنگ‌شناسی
- تغییرات اساسی در نهشته‌های محیطی
- تغییرات جانبی نشان دهنده گسلش
- همبستگی فضایی با تخلخل و سایر تغییرات سنگ‌شناسی

۳-۴-۲ سرعت تغییرات پوش

نرخ زمانی تغییرات پوش، نشان دهنده تغییرات انرژی رویدادهای بازتابیده می‌باشد. مشتق محاسبه شده در آغاز رویدادها نشان دهنده پدیده جذب می‌باشد. افزایش تدریجی پوش نشان دهنده اثرات جذب بزرگ‌تر می‌باشد. رویدادهایی با افزایش نسبتا تیز و ناگهانی به پهنای باند عریض‌تر دلالت دارند، بنابراین اثرات جذب کمتری را نشان می‌دهند. برای اجرای این مشتق‌گیری از یک فیلتر در حوزه زمان استفاده می‌کنیم.

$$\frac{d[E(t)]}{dt} = E(t) * diff(t) \quad (21)$$

که * نشان دهنده عملگر هم‌میخت و $diff(t)$ عملگر مشتق‌گیری می‌باشد. این نشانگر نیز از نوع نشانگرهای فیزیکی است و برای شناسایی شکستگی و اثرات جذب کاربرد دارند (تانر ۲۰۰۰).

از کاربردهای این نشانگر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نشان دادن اثرات جذب که با افزایش تدریجی یا تندی و تیزی پوش نسبت عکس دارد.
- سرعت تغییرات پوش بیشتر از بزرگی پوش، از شیب پوش اثر می‌گیرد.
- تغییرات جانبی در این نشانگر نشان دهنده ناپیوستگی‌ها می‌باشد.
- شناسایی شکستگی‌ها

۳-۴-۳ مشتق دوم پوش ردلرزه

مشتق دوم پوش ردلرزه، اندازه‌ای از تیزی قله پوش می‌باشد که ممکن است به‌عنوان نمایش یک نشانگر اصلی مفیدتر باشد. نمایش‌های سیاه و سفید، همه‌ی قله‌های پوش را نشان می‌دهد که مطابق هستند با همه‌ی فصل مشترک‌های بازتابنده‌ای که در پهنای باند لرزه‌ای قابل رویت هستند.

از کاربردهای این نشانگر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نشان‌دهنده فصل مشترک‌های بازتابنده که در پهنای باند لرزه‌ای دیده می‌شوند.
- نشان‌دهنده تیزی رویدادها
- مشخص کننده تغییرات ناگهانی و تند سنگ‌شناسی
- نمایش خیلی خوب از تصویر زیرسطحی در محدوده پهنای باند لرزه‌ای

۳-۴-۴ فاز لحظه‌ای

آرگومان ردلرزه مختلط ذکر شده در معادله (۱۹) برابر است با فاز لحظه‌ای که مطابق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\phi(t) = \arctan\left(\frac{g(t)}{f(t)}\right) \quad (22)$$

برای نشان دادن فاز لحظه‌ای از مقیاس درجه استفاده می‌کنیم. اطلاعات فاز لرزه‌ای مستقل از دامنه ردلرزه می‌باشد و به فاز انتشار جبهه موج لرزه‌ای مربوط است. از آنجاییکه جبهه موج از خطوطی با فاز ثابت تشکیل یافته است، نشانگر فاز نیز یک نشانگر فیزیکی می‌باشد و می‌تواند بطور موثری به‌عنوان یک تمیزدهنده برای اشکال هندسی استفاده شود (تانر، ۲۰۰۰).

از کاربردهای این نشانگر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بهترین مشخص کننده پیوستگی جانبی
- وابسته به اجزاء تشکیل‌دهنده فاز انتشار موج
- قابل استفاده در محاسبه سرعت فاز
- توالی لایه‌ها
- مشخص کننده آشفتگی‌های موجود در بستر

- قابل استفاده در محاسبات فرکانس لحظه‌ای و شتاب
- بدلیل نداشتن اطلاعات دامنه، همه رویدادها را نشان می‌دهد

۳-۴-۵ فرکانس لحظه‌ای

مشتق زمانی فاز لحظه‌ای برابر است با فرکانس لحظه‌ای که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$F(t) = \frac{\partial \phi(t)}{\partial t} \quad (23)$$

بعد پاسخ برحسب دور بر ثانیه می‌باشد.

فرکانس لحظه‌ای به انتشار موج و نهشته‌های محیطی وابسته می‌باشد. بنابراین از نوع نشانگرهای فیزیکی بوده و در تمایز دادن موارد زیر موثر است (تانر، ۲۰۰۰):

- آشکارسازی لبه‌های با مقاومت لرزه‌ای ظاهری کم بسترهای نازک
- شاخص ضخامت لایه‌ها
- شاخص نواحی دارای شکستگی که در نواحی با فرکانس پایین ظاهر می‌شوند.
- شاخص هیدروکربن با استفاده از ناهنجاری فرکانس پایین. این اثر گاهی بوسیله ماسه سخت نشده بعلت نفت موجود در خلل و فرج، برجسته می‌شود.
- شاخص نواحی با بازتاب‌های آشفته
- شاخص نسبت ماسه به شیل

۳-۴-۶ فاکتور کیفیت لحظه‌ای

فاکتور کیفیت، نسبت انرژی ساطع شده بین دو قله با فاصله زمانی 2π به کل انرژی ساطع شده در یک دوره می‌باشد. در لرزه‌شناسی فاکتور کیفیت (Q) برای سنگ‌ها بین ۵۰ تا ۳۰۰ می‌باشد. این عامل متناسب با عوامل جذب می‌باشد و بصورت زیر نشان داده می‌شود (شریف^۱، ۲۰۰۲):

$$\frac{1}{Q} = \frac{\alpha v}{\pi f} = \frac{\alpha \lambda}{\pi} \quad (24)$$

که در آن، v سرعت، f فرکانس، λ طول موج و α نماد جذب می‌باشد که نشان‌دهنده کاهش نمایی دامنه با فاصله بعثت پدیده جذب می‌باشد. این نشانگر از نوع نشانگرهای عبوری می‌باشد و همچنین یک نشانگر فیزیکی نیز می‌باشد. (تانر، ۲۰۰۰).

از کاربردهای این نشانگر می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- شاخص ویژگی‌های جذب نسبی لایه‌ها
- تعیین حجم مایع، بوسیله تعیین نسبت فشار به فاکتور کیفیت لحظه‌ای مقطع موج برشی
- ارتباط شدید با تخلخل، نفوذپذیری و شکستگی

۳-۴-۷ مقاومت ظاهری لرزه‌ای نسبی

مقاومت ظاهری لرزه‌ای حاصلضرب سرعت موج در چگالی محیط می‌باشد. عبارتی مقاومت ظاهری، مقاومت سنگ‌ها در برابر انتشار امواج الاستیک می‌باشد. تباین مقاومت ظاهری لرزه‌ای در فصل مشترک لایه‌ها باعث بازتاب امواج لرزه‌ای می‌گردد.

سنگهای مختلف، مقادیر مقاومت ظاهری لرزه‌ای متفاوتی دارند. البته این مقادیر برای سنگهای مختلف همپوشانی دارند، به این معنی که دو سنگ متفاوت، ممکن است یک مقدار مقاومت ظاهری لرزه‌ای داشته

¹. Sheriff

باشند. این تشابه می‌تواند علل مختلفی داشته باشد که عبارت از عمق قرارگیری، فشردگی تکتونیکی، تخلخل بین دانه‌ای، تخلخل ناشی از شکستگی، نوع شکستگی، نوع سیمان و میزان اشباع خلل و فرج سنگ می‌باشند. در نتیجه از مشاهدات تغییرات مقاومت ظاهری لرزه‌ای در داخل یک لایه با ویژگی سنگ‌شناسی مشخص، می‌توان به تغییرات رخساره سنگی در داخل لایه پی برد. مقاومت ظاهری لرزه‌ای را می‌توان به سایر مشخصات توده سنگ نظیر تخلخل، میزان اشباع، شکستگی و... ربط داد. بنابراین تغییرات مقاومت ظاهری لرزه‌ای در محل مورد مطالعه، تغییرات این پارامترها را نیز می‌تواند مشخص سازد. این نشانگر، تباین خصوصیات فیزیکی را نشان می‌دهد. بنابراین یک نشانگر فیزیکی است که در فرایندهای کالیبراسیون زیادی استفاده می‌شود.

می‌توان کاربردهای این نشانگر را بصورت زیر خلاصه کرد (تانر، ۲۰۰۰):

- مقاومت ظاهری لرزه‌ای نسبی اختلاف مقاومت لرزه‌ای ظاهری محدود باند را نشان می‌دهد.
- با تخلخل ارتباط دارد.
- تباین زیاد این نشانگر، شاخصی از لایه‌های متوالی موجود است.
- ناپیوستگی‌ها را آشکار می‌سازد.
- شاخصی از دگرشیمی سطوح است.

۳-۴-۸ شیب لحظه‌ای

در مجموعه داده‌های سه بعدی، شیب فازهای ثابت در امتداد خط و عمود بر خط محاسبه می‌شوند و از طریق آن‌ها جهت شیب بیشینه به دست می‌آید. dt/dx شیب در جهت امتداد خط و dt/dy شیب در جهت عمود بر خط می‌باشد. شیب بیشینه بصورت زیر به دست می‌آید (تانر، ۲۰۰۰):

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{dt}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dt}{dy}\right)^2} \quad (25)$$

و جهت آن به صورت زیر خواهد بود:

$$\phi = \arctan \left[\frac{dt/dy}{dt/dx} \right] \quad (26)$$

۳-۵ تخلخل

تخلخل را می‌توان بصورت فضای خالی موجود در یک سازند بیان کرد که قابلیت دارا بودن نفت، گاز و آب را دارا می‌باشد. برای اینکه مخزنی از نظر اقتصادی مناسب و قابل بهره‌برداری باشد، می‌بایست دارای مقداری کافی از این فضاهای خالی باشد. تخلخل توسط نماد یونانی ϕ بیان می‌گردد و از نظر فیزیکی، نسبت حجم فضای خالی سنگ به حجم کل سنگ را شامل می‌شود.

$$\phi = \frac{V_p}{V_b} = 1 - \frac{V_{ma}}{V_b} \quad (27)$$

که در آن، V_p ، V_{ma} و V_b بترتیب حجم کل سنگ، حجم ماتریکس سنگ و حجم فضای خالی سنگ مورد نظر می‌باشند. تعیین تخلخل به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم و اساسی در تعیین ویژگی‌های یک میدان نفتی، دارای اهمیت خاصی می‌باشد. بطور معمول برای تعیین تخلخل مخزن از آزمایشات مغزه (اندازه‌گیری مستقیم تخلخل) و یا نگرهای چاه‌نگاری (اندازه‌گیری غیرمستقیم تخلخل) استفاده می‌شود که در مورد دوم با استفاده از روابط تجربی و ریاضی خاص و ایجاد ارتباط بین متغیرهای مختلفی که توسط نگرهای مذکور اندازه‌گیری می‌شوند، مقدار تخلخل سنگ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تعیین تخلخل از طریق مستقیم و انجام آزمایشات مغزه، بدلیل مشکلات مربوط به کار همیشه امکانپذیر نیست و به همین خاطر استفاده از نگرهای پتروفیزیکی، برای ارزیابی تخلخل مخازن نفتی از گذشته مورد توجه بوده و امروزه در بسیاری موارد این کار انجام می‌گیرد. چندین رابطه برای برقراری ارتباط بین داده‌های مربوط به قرائت‌های درون‌چاهی نگرهای چاه‌نگاری (مثل زمان

عبور صوت و چگالی) با مقدار تخلخل ارائه شده است. لازمه تبدیل این پارامترها به یکدیگر، دانستن بسیاری از مشخصه‌های دیگر همانند لیتولوژی، محتوای رس، چگالی دانه‌ها، نوع سیال منفذی و برخی عوامل دیگر می‌باشد که در حالت کلی برای ما ناشناخته هستند. یکی از مهمترین عوامل در تعیین حجم ذخیره مخازن تخلخل است که در موارد طبیعی می‌تواند از ۸۰ درصد برای رسوبات نرم کف اقیانوس‌ها تا کمتر از یک درصد در بعضی از سنگ آهک‌های کریستالی تغییر کند. تخلخل در مخازن بین ۵ تا ۴۰ درصد و در سایر موارد بین ۱۰ تا ۲۰ درصد متغیر است. تخلخل یک نمونه سنگ می‌تواند از اندازه‌گیری چگالی حجمی^۱ تعیین شود (بردلی^۲، ۱۹۸۷). معادله اصلی که چگالی سنگ را به تخلخل مربوط می‌کند به صورت زیر است (المقبل، ۲۰۰۲):

$$P_{\text{rock}} = \rho_{\text{grain}} (1-\phi) + \rho_{\text{fluid}} \phi \quad (28)$$

که در آن، ρ چگالی و ϕ تخلخل می‌باشد.

۳-۵-۱ عوامل تعیین کننده میزان تخلخل

عوامل تعیین کننده میزان تخلخل را می‌توان به دو گروه عمده‌ی عوامل اولیه و عوامل ثانویه تقسیم کرد. تاثیر این عوامل بر سنگ‌های مختلف، متفاوت است. در سنگ‌های تخریبی، عوامل اولیه تعیین کننده اصلی می‌باشند ولی در سنگ‌های کربناته، عوامل ثانویه اهمیت بیشتری دارند. از جمله مهمترین عوامل اولیه، جورشدگی و شکل ذرات می‌باشند. هر چه جورشدگی بهتر باشد تخلخل کاهش می‌یابد. شکل ذرات بر چگونگی قرارگیری ذرات در کنار هم موثر است. در این ارتباط گردشگری و کرویت از پارامترهای مهم می‌باشند که هرچه این دو پارامتر افزایش یابند، تخلخل نیز افزایش می‌یابد. عوامل ثانویه بعد از رسوب‌گذاری در طی فشردگی و دیاژنز بر رسوبات تاثیر می‌گذارند، بطوریکه محصول نهایی می‌تواند سنگی متخلخل یا سنگی متراکم باشد. از جمله عوامل

¹ . Bulk Density

² . Bradley

ثانویه می توان فشردگی، سیمانی شدن، شکستگی و انحلال را نام برد که دو عامل اول باعث کاهش تخلخل و دو عامل آخر باعث افزایش تخلخل می گردند.

۳-۵-۲ تقسیم بندی تخلخل

تخلخل از دیدگاه های مختلف تقسیم بندی می شود. از دیدگاه زمین شناسی و عوامل موثر بر آن به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم بندی می گردد. تخلخل اولیه تخلخلی است که در هنگام رسوب گذاری بوجود می آید و تخلخل ثانویه تخلخلی است که بعد از ته نشین شدن رسوبات و در طی تبدیل شدن رسوبات به سنگ یا بعد از سنگ شدن بوجود می آید. در پتروفیزیک و مهندسی نفت اغلب تخلخل به دو گروه تخلخل مفید یا موثر و تخلخل کل تقسیم بندی می گردد. تخلخل کل شامل تمام فضاهای خالی سنگ می شود، در حالیکه تخلخل مفید به بخشی از تخلخل که قابلیت جانمایی توسط سیال را داشته باشد، اطلاق می گردد و تخلخل اشغال شده توسط آب چسبیده به ذرات، ماتریکس و آب موجود در بین ذرات کوچکتر از سیلت که غیر متحرک می باشند را شامل نمی شود.

۳-۶ تحلیل نشانگرها

۳-۶-۱ رگرسیون خطی چند نشانگرها

یک راه برای تخمین خصوصیات مخزن مثل تخلخل استفاده از نشانگرهای لرزه ای سه بعدی و جمع وزن دار خطی نشانگرها است. در این روش، هدف ما پیدا کردن عملگری است که بتواند نگارهای چاه را با استفاده از داده های لرزه ای مجاور آن پیش بینی نماید. برای تحلیل از نشانگرهای لرزه ای بجای داده های لرزه ای خام استفاده می کنیم. علت انتخاب نشانگرهای لرزه ای این است که نمی توان در داده های خام لرزه ای همه

خصوصیات مخزنی و زمین‌شناسی را دید در حالیکه این اطلاعات در نشانگرهای لرزه‌ای که از داده‌های خام لرزه‌ای استخراج می‌شوند، مشخص می‌گردند و این باعث می‌شود که قدرت پیش‌بینی روش بالا رود و دلیل دوم انتخاب نشانگرها، در تجزیه داده‌های ورودی به اجزاء تشکیل دهنده آن می‌باشد که این فرایند پردازش نام دارد.

۳-۶-۱-۱-۱ منحنی تقاطعی

بطور ساده هرگاه یک نشانگر لرزه‌ای بصورت یکنواخت به ازاء هر نمونه از داده‌های لرزه‌ای مقدار داشته باشد با برقراری یک ارتباط خطی یا غیرخطی بین مقادیر آن نشانگر و مقادیری از نگارهای چاه (تخلخل) در محل چاه و سپس تعمیم رابطه تبدیل در طول مقطع لرزه‌ای می‌توان مقادیر نشانگر لرزه‌ای را به مقادیر تخلخل تبدیل کرد. با فرض اینکه کلیه عواملی که تخلخل را تحت تاثیر قرار می‌دهند، مقاومت ظاهرهای لرزه‌ای را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند و بالعکس، آنگاه می‌توان به تخلخل به‌دست آمده از این طریق اطمینان کرد.

ساده‌ترین روش برای برقراری ارتباط بین داده‌های لرزه‌ای هدف و نشانگرهای لرزه‌ای رسم منحنی‌های تقاطعی میان آن‌ها می‌باشد. شکل ۳-۲ به عنوان مثال منحنی تقاطعی چگالی-تخلخل را با نشانگر لرزه‌ای نشان داده است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱). فرض بر این است که نگار هدف در همان نرخ نمونه‌برداری نشانگر لرزه‌ای با زمان سیر ادغام شده است. این ادغام به طور موثری تفکیک‌پذیری نگار هدف را در حد تفکیک‌پذیری نشانگر لرزه‌ای کاهش می‌دهد. هر نقطه در منحنی تقاطعی شامل یک جفت عدد است که متناظر با یک نمونه زمانی مشخص است. با در نظر گرفتن یک ارتباط خطی بین نگار هدف و نشانگر، می‌توان یک خط مستقیم توسط رگرسیون به آن برازش داد:

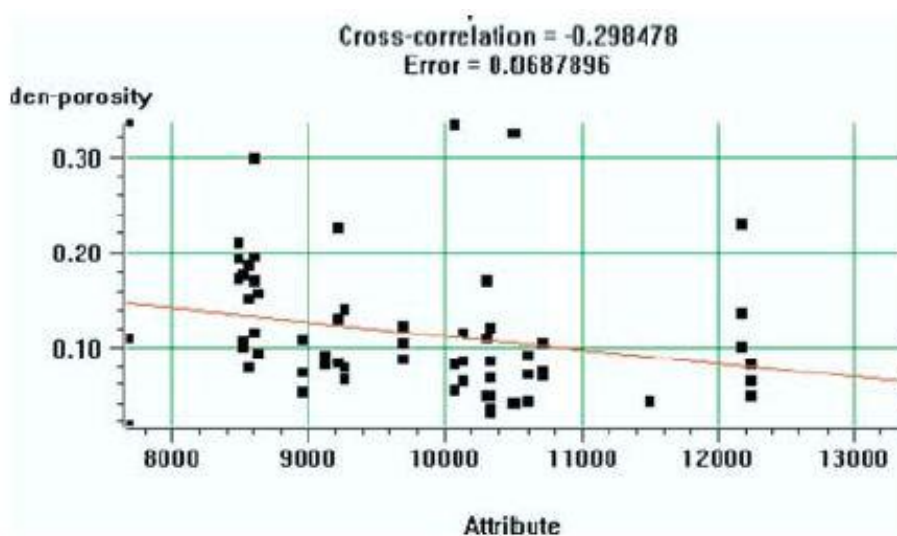
$$y = a + bx \quad (29)$$

که در آن، x نشانگر لرزه‌ای و y نگار تخلخل می‌باشد. ضرایب a و b در معادله (۲۹) از طریق کمینه کردن خطای پیش‌بینی حداقل مربعات به‌دست می‌آیند:

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - a - bx)^2 \quad (30)$$

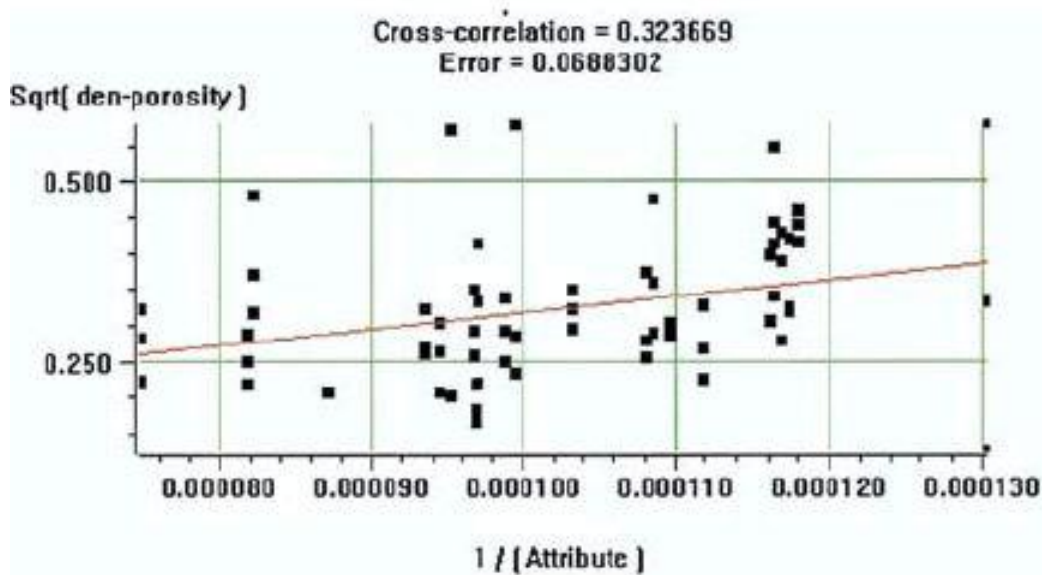
که در آن، N تعداد نمونه‌ها می‌باشد.

خطای پیش‌بینی محاسبه شده E ، مقیاسی از میزان انطباق خط رگرسیون تعریف شده توسط معادله (۲۰) می‌باشد.



شکل ۳-۲. منحنی تقاطعی متداول بین نگار چگالی- تخلخل با نشانگر لرزه‌ای (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

توجه کنید که اگر یک تبدیل غیرخطی به داده‌های هدف و یا نشانگر و یا هر دوی آن‌ها اعمال شود، همبستگی بین آن‌ها افزایش می‌یابد که در منحنی تقاطعی آن‌ها قابل مشاهده است. این مساله در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است بعد از اعمال تبدیل غیرخطی میزان همبستگی از حدود ۲۹ درصد در شکل ۳-۲ به ۳۲ درصد در شکل ۳-۳ افزایش یافته است.



شکل ۳-۳. اعمال تبدیل غیرخطی به نگار هدف و نشانگر لرزه‌ای و رسم منحنی تقاطعی (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

۳-۶-۱-۲ استفاده از منحنی‌های تقاطعی در چند نشانگرها

در بخش قبل با استفاده از یک نشانگر سعی در ایجاد برازش بین نشانگر موردنظر و مقدار نگار هدف داشتیم. اینک می‌خواهیم با استفاده از چندین نشانگر کیفیت برازش را بهبود ببخشیم. بسط و گسترش آنالیز خطی چند نشانگری بسیار آسان و قابل فهم است. برای سادگی کار سه نشانگر لرزه‌ای نشان داده شده در شکل ۳-۴ را در نظر می‌گیریم. می‌خواهیم رابطه‌ای قابل قبول بین آن‌ها و نگار هدف در نمونه‌های زمانی یکسان به دست آوریم. در هر نمونه زمانی نگار هدف توسط معادله خطی مطابق رابطه زیر، مدل‌سازی می‌شود.

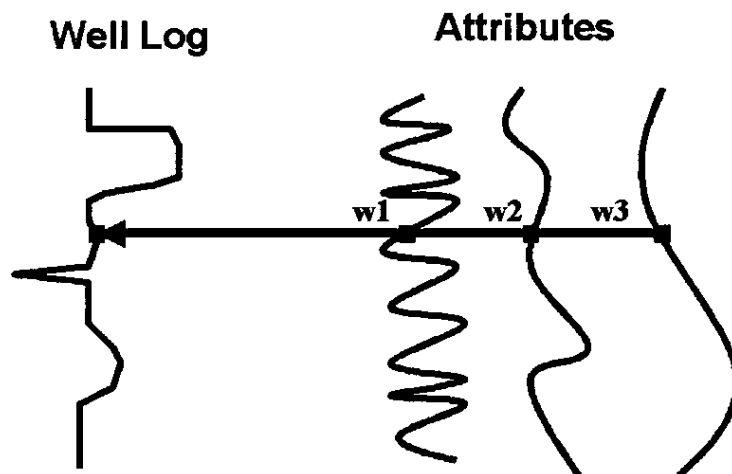
$$L(t) = w_0 + w_1 A_1(t) + w_2 A_2(t) + w_3 A_3(t) \quad (31)$$

که L_i مقدار نگار هدف، w_i ضرایب وزنی اختصاص داده شده به هر نشانگر و A_i نشانگرها می‌باشند.

ضرایب وزنی در معادله (۳۱) می‌توانند از طریق کمینه کردن میانگین مربعات خطا استخراج شوند. با بسط دادن معادله (۳۰) میانگین مربعات خطا را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - w_0 - w_1 A_{1i} - w_2 A_{2i} - w_3 A_{3i})^2 \quad (32)$$

که N تعداد نشانگرهای استفاده شده در تحلیل چندنشانگری می‌باشد. این شیوه از تحلیل مشکلاتی دارد که در مرحله بعد به بررسی و حل آن‌ها می‌پردازیم.



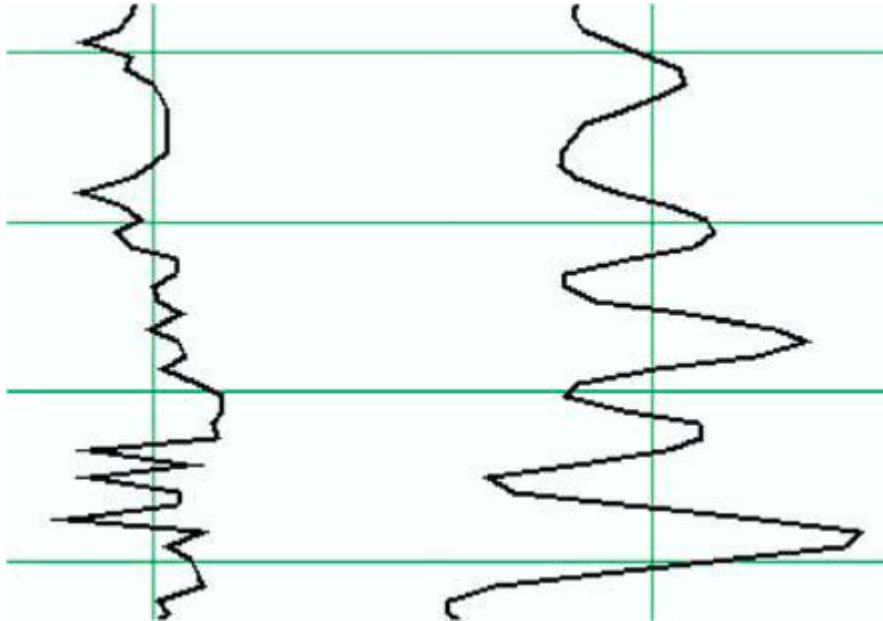
شکل ۳-۴. با فرض داشتن سه نشانگر، هر نمونه نگار هدف به عنوان یک ترکیب خطی نمونه‌های نشانگر در همان زمان مدل می‌شود (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

۳-۱-۶-۳ استفاده از عملگر هم‌میخت

در رگرسیون خطی چند نشانگرها که در مرحله قبل توضیح دادیم، به هر نشانگر در نمونه زمانی یکسان وزن واحدی^۱ نسبت دادیم که مشکل این رویکرد در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. شکل ۳-۵ نشان می‌دهد که

^۱ . Single

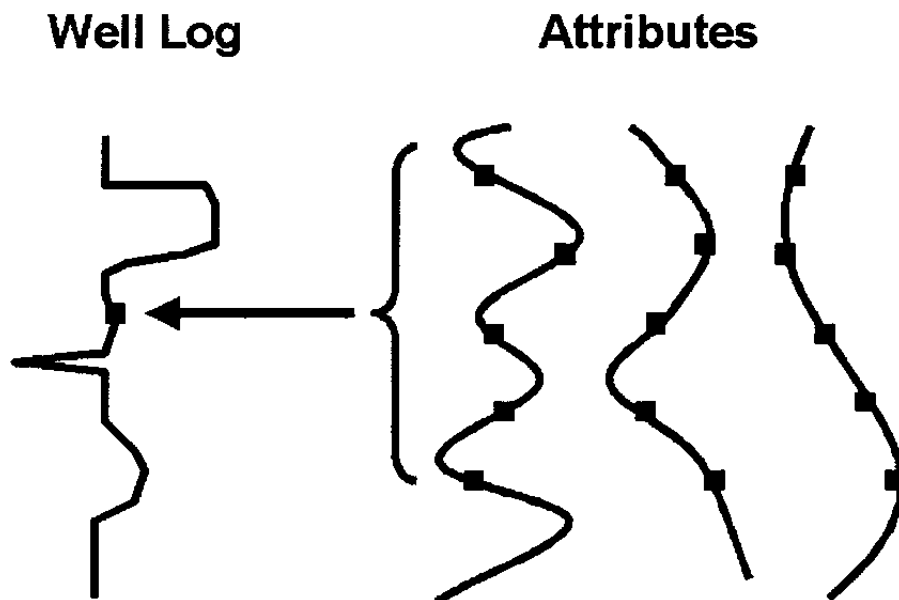
محتوای فرکانسی نگار هدف بسیار بیشتر از نشانگر لرزه‌ای می‌باشد. همانطور که می‌دانیم زمین به‌عنوان یک فیلتر پایین‌گذر، یک سری از فرکانس‌ها را حذف می‌کند در نتیجه ردلرزه حاصل برخلاف نگار هدف شامل همه فرکانس‌ها نمی‌باشد. بنابراین همبسته کردن نگار هدف با نشانگر لرزه‌ای بصورت نمونه به نمونه بهینه نمی‌باشد.



شکل ۳-۵. مقایسه بین نگار هدف (سمت چپ) و نشانگر لرزه‌ای (سمت راست) بر وجود اختلاف محتوای فرکانسی تاکید می‌کند که برای حل این اختلاف عملگر هممیخت پیشنهاد داده شده است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

بدلیل هممیخت موجک با سری بازتاب، مقدار به‌دست آمده در هر نمونه از نشانگر تحت تاثیر مقادیر نمونه‌های بالا و پایین در ردلرزه نیز می‌باشد و بهتر است که هر نمونه از نگار را به گروهی از نمونه‌های موجود در همسایگی نمونه نظیر در نشانگر لرزه‌ای نسبت دهیم. در شکل ۳-۶ این موضوع نشان داده شده است. در ژئوفیزیک برای ایجاد این ارتباط و یا عبارتی حل مشکل، استفاده از عملگر هممیخت پیشنهاد گردیده است.

همانطور که در شکل ۳-۶ مشخص است، سه نشانگر لرزه‌ای انتخاب و از هر کدام از نشانگرها ۵ نمونه زمانی به مقدار نگار هدف در زمان متناسب با آن توسط عملگر همامیخت مربوط شده است.



شکل ۳-۶. استفاده از عملگر همامیخت برای ۵ نقطه از نشانگر لرزه‌ای نسبت به نگار هدف (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

بعد از این توضیحات کاملاً قابل درک است که بجای معادله (۳۱)، معادله زیر را که عملگر همامیخت در آن وارد شده است، بکار ببریم:

$$L = w_0 + w_1 * A_1 + w_2 * A_2 + w_3 * A_3 \quad (33)$$

که در آن علامت * نشان‌دهنده همامیخت می‌باشد. یکبار دیگر ضرایب عملگر، یعنی وزن‌های مربوطه از طریق کمینه کردن خطای تخمین میانگین مربعات بصورت زیر به دست می‌آیند:

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - w_0 + w_1 A_{1i} + w_2 A_{2i} + w_3 A_{3i})^2 \quad (34)$$

۳-۶-۱-۴ به دست آوردن نشانگرها با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای

در مرحله قبل معادلاتی را به دست آوردیم که به ما اجازه می‌دهند، عملگرهای بهینه را برای هر گروه مشخص از نشانگرها تعیین کنیم. این عملگرها از این جهت بهینه هستند که خطای میانگین مربعات تخمین بین نگارهای واقعی هدف و نگارهای تخمین زده شده هدف را کمینه می‌کنند. حال باید ببینیم که نشانگرها را چگونه انتخاب نماییم. یک روش ممکن انجام جستجوی کامل است. فرض بر این است که ما می‌خواهیم بهترین M نشانگر از میان N نشانگر را برای یک عملگر مشخص با طول L به دست آوریم. یک راه واضح این است که تمامی ترکیب‌های M نشانگر را امتحان کنیم. وزن‌های بهینه برای هر ترکیب با استفاده از معادله (۳۴) به دست می‌آیند. سپس ترکیبی با کمترین خطای پیش‌بینی انتخاب می‌شود. اما این فرایند بسیار وقت‌گیر است و در واقع اشکال روش جستجوی کامل، زمان محاسبه بیش از حد آن می‌باشد. به‌طور مثال فرض کنید تعداد $N=25$ نشانگر داشته باشیم و بخواهیم بهترین ترکیب از $M=5$ نشانگر را برای عملگری با طول $L=9$ به دست آوریم. در این حالت $21 \times 22 \times 23 \times 24 \times 25 = 375600$ ترکیب از ۵ نشانگر داریم که باید بررسی نماییم. هرکدام از این ترکیب‌ها به راه حل یک سیستم خطی با $46 = 9 + 5$ مجهول نیاز دارند. بدلیل وقت‌گیر بودن این روش، روش دیگری را معرفی می‌کنیم که نسبت به روش جستجوی کامل بسیار سریعتر است، اما به اندازه‌ی آن بهینه نیست. این روش، روش رگرسیون مرحله‌ای نام دارد (دراپر^۱ و اسمیت^۲، ۱۹۶۶). در این روش فرض بر این است که اگر بهترین ترکیب از M نشانگر معلوم باشد، آنگاه بهترین ترکیب $M+1$ نشانگر شامل M نشانگر قبلی خواهد بود. واضح است که ضرایب وزنی که قبلاً محاسبه شده‌اند، دوباره باید استخراج شوند. مراحل انجام کار را قدم به قدم شرح می‌دهیم. در ابتدا بهترین تک نشانگر را بوسیله جستجوی کامل پیدا می‌کنیم. برای هر نشانگر موجود

^۱ . Smith

^۲ . Draper

در لیست، ضریب وزنی بهینه را پیدا کرده و خطای تخمین را محاسبه می‌نماییم. بهترین نشانگر دارای کمترین خطای تخمین می‌باشد. این نشانگر را نشانگر (۱) می‌نامیم.

در مرحله دوم بهترین جفت نشانگر را پیدا می‌کنیم. برای هر نشانگر دیگر موجود در لیست، مقدار خطای تخمین میانگین، بین نگار هدف و نگار حاصل از ترکیب نشانگر (۱) و هر کدام از نشانگرهای دیگر موجود در لیست را به دست می‌آوریم. بهترین جفت دارای کمترین خطا خواهد بود و آن را دومین نشانگر یعنی نشانگر (۲) می‌نامیم.

در مرحله سوم نشانگر (۳) را که بهترین ترکیب با نشانگرهای (۱) و (۲) را داشته باشد، همانند دو نشانگر قبلی تعیین می‌کنیم و فرایند انتخاب را تا جایی که مورد علاقه است، ادامه می‌دهیم. اولین نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که زمان محاسبه این روش بسیار کوتاه‌تر از زمان محاسبه با روش جستجوی کامل می‌باشد. برای مثال قبل، تعداد ترکیباتی که باید محاسبه و بررسی شوند از 6375600 به $21+22+23+24+25=115$ کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ابعاد سیستم خطی که باید حل شود از $10+1=9$ برای اولین ترکیب شروع می‌شود و بطور خطی تا $46=1+9 \times 5$ برای آخرین ۲۱ ترکیب افزایش می‌یابد.

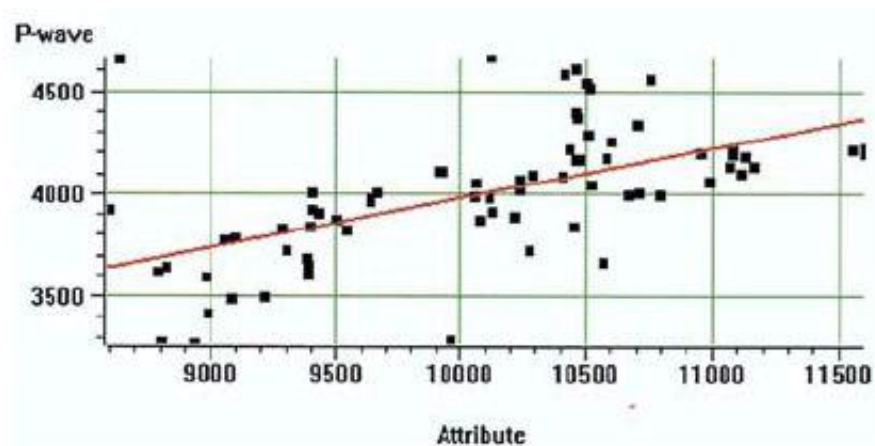
مزیت دیگر روش رگرسیون مرحله‌ای این است که می‌توان از استقلال نشانگرهای مورد استفاده مطمئن بود. زیرا رگرسیون مرحله‌ای بطور خودکار نشانگرهای غیرمستقل را که سهمی در بهبود خطای میانگین تخمین ندارند و تنها باعث طولانی شدن زمان محاسبات می‌شوند، حذف می‌کند.

مشکل روش رگرسیون مرحله‌ای این است که ما از به دست آمدن پاسخ بهینه مطمئن نیستیم. بعبارت دیگر ترکیب ۵ نشانگری که در این روش یافت می‌شود، ممکن است همان بهترین ۵ نشانگر یافت شده به روش جستجوی کامل نباشد. اگرچه هر نشانگر اضافی که این روش برای ما انتخاب می‌کند، دارای خطای تخمین کمتر یا مساوی با خطای تخمین ترکیبات کوچکتر قبلی است. اما نکته اینجا است که اگر خطای تخمین بزرگتر

باشد، رگرسیون مرحله‌ای بسادگی برای این نشانگر جدید تمام وزن‌ها را برابر صفر قرار می‌دهد و به این ترتیب خطای تخمین برابر با خطای تخمین محاسبه شده برای ترکیب قبلی می‌شود.

۳-۶-۲ شبکه عصبی

تمام بررسی‌هایی که در مراحل قبلی برای تبدیل نشانگرهای چندگانه به نگار خروجی مطلوب انجام شد، بصورت خطی بوده است. همانطور که قبلاً ذکر گردید، خط رگرسیون بوسیله کمینه کردن مجموع مربعات خطای تخمین به دست می‌آید و بین دو دسته داده یعنی نشانگر لرزه‌ای و نگار هدف محاسبه شده، یک خط برازش می‌دهد. شکل ۳-۷ منحنی تقاطعی بین نگار هدف که در اینجا سرعت موج P است را با یک تک نشانگر نشان می‌دهد. با نگاه کردن به شکل ممکن است حدس بزنیم که یک منحنی با درجه بالاتر بهتر با این نقاط برازش پیدا می‌کند. بنابراین راه دیگر، عبور دادن منحنی از این نقاط این است. یک تبدیل غیرخطی به هر دو متغیر اعمال می‌شود و یک معادله با درجه چند جمله‌ای بالاتر به آن برازش داده می‌شود. در این تحقیق ما از راه دیگری به نام شبکه عصبی برای به دست آوردن رابطه مناسب بین نشانگرها و نگار هدف استفاده می‌نماییم.



شکل ۳-۷. منحنی تقاطعی بین نگار هدف و نشانگر لرزه‌ای. خط رگرسیون با کمینه کردن مجموع مربعات خطا با این نقاط برازش داده شده است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

هدف اصلی این روش طراحی مدلی ریاضی از روی مسائل زیستی است بطوریکه خصوصیات و ساختارهای شبکه‌های زیستی را به‌منظور ایجاد یک سیستم هوشمند پردازش اطلاعات تقلید کند. شبکه‌های عصبی با الگوریتم و ساختارهای مختلف وجود دارند. یکی از شبکه‌های عصبی پرکاربرد در تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای و نگارهای چاه‌نگاری، شبکه‌های عصبی احتمالاتی^۱ می‌باشد که موفقیت زیادی در برآورد کردن تخلخل با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای دارد (دورینگتون^۲ و لینکز^۳، ۲۰۰۴).

۳-۶-۲-۱ شبکه عصبی احتمالاتی (PNN)

شبکه‌های عصبی احتمالاتی یک نوع خاص از شبکه‌های عصبی پیش‌خور^۴ بر اساس توابع پایه شعاعی^۵ هستند. با اعمال تغییراتی اندک می‌توان از شبکه‌های RBF^۶ برای تخمین توابع چگالی احتمالی هر کدام از کلاس‌های الگو استفاده نمود. با انجام این کار، دسته‌بندی الگوها با احتمال موفقیت بالایی صورت خواهد گرفت. شبکه عصبی احتمالاتی شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی است. لایه ورودی، صرفاً یک لایه توزیع است و هیچ پردازشی در این لایه انجام نمی‌شود. لایه پنهان لایه الگو نامیده می‌شود. تمامی نرون‌های لایه پنهان، نوعی تابع فعال‌سازی دارند که معمولاً به شکل توابع پایه شعاعی و از نوع گاوسی انتخاب می‌گردند. هر نرون لایه پنهان، محلی را برای پذیرایی از بردارهای ورودی فراهم می‌آورد که این محل دارای بازشدگی خاصی است. میزان هم‌پوشانی بین هر نرون لایه پنهان با نرون مجاور، این بازشدگی را تعیین می‌کند. لایه خروجی یک لایه رقابتی است. تعداد نرون‌ها در لایه رقابتی با تعداد رده‌ها برابر می‌باشد. تابع فعال‌سازی لایه پنهان به صورت زیر معرفی می‌گردد:

^۱ . Probabilistic neural Network (PNN)

^۲ . Dorrington

^۳ . Linkz

^۴ . Feed- Forward

^۵ . Radial Bases

^۶ . Radial Bases Function

$$a_{ij} = \Psi_j \left(\frac{p_i - x_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \quad (35)$$

که در آن p_i ، i امین درایه بردار ورودی به نرون j ام لایه پنهان و σ_{ij} ، x_{ij} و a_{ij} به ترتیب بازشدگی، مرکز و خروجی i امین تابع فعال سازی از j امین نرون لایه پنهان می باشد. خروجی نرون j ام لایه پنهان (A_j) از حاصل ضرب توابع فعال سازی مربوطه به صورت زیر به دست می آید:

$$A_j = \prod_{i=1}^n a_{ij} = \prod_{i=1}^n \Psi_j \left(\frac{p_i - x_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \quad (36)$$

اگر تابع فعال سازی به شکل گاوسی زیر انتخاب گردد:

$$\Psi = \exp\left(-\left(\frac{p_i - x_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2\right) \quad (37)$$

رابطه (37) به صورت زیر درمی آید:

$$A_j = \prod_{i=1}^n a_{ij} = \exp\left(-\sum \left(\frac{p_i - x_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2\right) \quad (38)$$

اما قسمت اصلی آموزش PNN مبتنی بر تکنیک احتمال است که اساس آن بر استفاده از استراتژی بیز¹ و تکنیک تخمین غیر پارامتریک پارزن² استوار می باشد. با استفاده از تئوری تصمیم گیری بیز، در صورت برقراری رابطه زیر، الگوی آموزشی می تواند به دسته K تعلق داشته باشد.

$$h_k l_k f_k(x) > h_q l_q f_q(x) \quad (39)$$

h_k و h_q به ترتیب احتمال مقدم برای کلاس های k و q می باشد یعنی احتمال اینکه یک نمونه از کلاس k یا کلاس q انتخاب شده باشد. l_k و l_q نیز احتمال خطای دسته بندی است. از طرف دیگر پارزن نشان داد که در

¹ . Bayes

² . Parzen

صورتی که یک تابع کرنل¹ بر روی قسمتی از داده‌های یک کلاس از مجموعه آموزش متمرکز شده باشد، آنگاه توابع کرنل، تقریب خوبی برای چگالی احتمالی کل آن کلاس خواهد بود. توابع گوسی یک نوع تابع کرنل می‌باشد. این توابع بر روی هر نقطه از یک کلاس متمرکز خواهد شد. تابع چگالی احتمالی برای یک کلاس توسط فرمول زیر تقریب زده می‌شود:

$$pdf_k(x) = \left(\frac{1}{2\pi^{n/2}\sigma^n}\right) \left(\frac{1}{p_k}\right) \sum_{j=1}^{p_k} \left(\exp\left(-\frac{(x-x_{kj})^2}{2\sigma^2}\right)\right) \quad (40)$$

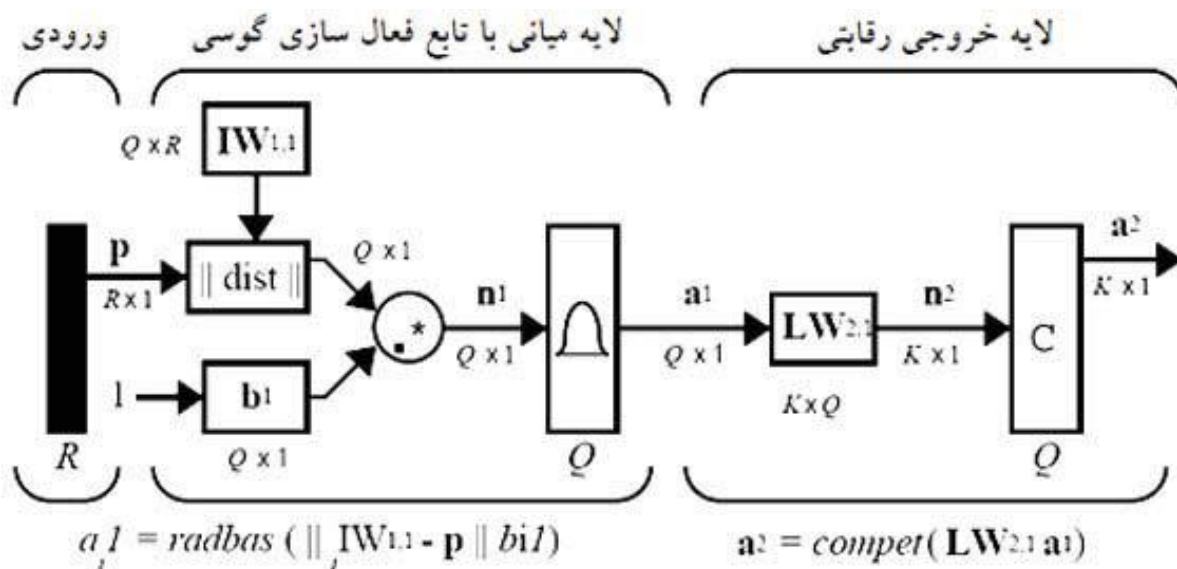
مقدار p_k برابر با تعداد داده‌های موجود در کلاس k و n تعداد ورودی‌ها است. عبارت x_{kj} نشان‌دهنده مرکز تابع گوسی می‌باشد و با داده j ام در مجموعه داده‌های متعلق به کلاس k متناظر است. این فرمول به ظاهر پیچیده، بدین معنی است که مجموع توابع گوسی محاسبه شده و میانگین آنها به دست می‌آید و سپس فاکتور وزن‌دهی اعمال می‌شود. این فاکتور وزن‌دهی (اولین جمله در سمت راست رابطه) شامل عباراتی ثابت و توان n ام بازشدگی می‌باشد. اگر مقدار عددی بازشدگی σ ، بیش از اندازه بزرگ انتخاب گردد، همه نرون‌های شبکه رفتار مشابهی از خود نشان داده و منجر به به تعمیم مبالغه‌ای می‌گردد که اثر نامطلوبی در روند آموزش خواهد داشت. اگر مقدار پارامتر بسیار کوچک باشد، به انطباق مبالغه‌ای می‌انجامد. یک روش مناسب برای انتخاب این پارامتر و گریز از تعمیم مبالغه‌ای یا انطباق مبالغه‌ای، استفاده از روش سعی و خطا می‌باشد. به این ترتیب که کارایی شبکه با مقادیر مختلف σ با استفاده از داده‌های زیر مجموعه آزمون بررسی شده و از نظر تعمیم یا انطباق مبالغه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، تا بهترین مقدار عددی σ تعیین شود. در شکل ۳-۸ معماری شبکه عصبی احتمالاتی نشان داده شده است. در این شکل، Q برابر با تعداد نرون‌های لایه پنهان است که در واقع معادل تعداد زوج‌های آموزشی (ورودی/هدف) می‌باشد. به عبارت دیگر در شبکه عصبی احتمالاتی هر نرون در لایه پنهان بر روی یکی از زوج‌های آموزشی زیرمجموعه داده‌های آموزش، متمرکز می‌شود تا بر روی بردار

¹ . Kernel

ورودی خاصی عمل نماید. از طرف دیگر فرض می‌شود که بردارهای ورودی دارای k کلاس متفاوت هستند. بنابراین هر بردار هدف دارای k عنصر می‌باشد که یکی از آنها "۱" و بقیه صفر هستند. مطابق شکل ۳-۸ وزن‌های لایه اول، $(IW_{1,1})^1$ با ترانهاده ماتریس Q برابر است. همانطور که قبلاً ذکر شد، ماتریس Q از زوج‌های آموزشی تشکیل شده است. زمانی که یک بردار ورودی به جعبه $\| \text{dist} \|$ اعمال می‌شود، فاصله آن از کلیه بردارهای آموزشی تعیین شده و مشخص می‌گردد که ورودی به کدام یک از بردارهای آموزشی نزدیک‌تر است. حاصل کار به صورت عنصر به عنصر در بایاس ضرب شده و به تابع فعال‌سازی اعمال می‌گردد. در نتیجه به ازای بردار ورودی نزدیک به بردار آموزشی، مقدار "۱" توسط این تابع تولید می‌شود. در صورتیکه ورودی دارای فاصله یکسانی با چند ورودی آموزشی باشد، خروجی a_1 دارای چند مقدار "۱" خواهد بود. وزن‌های لایه دوم $(LW_{1,2})^2$ برابر با ماتریس T از بردارهای هدف قرار داده می‌شود. هر بردار، تنها دارای یک مقدار "۱" متناظر با کلاس مربوط به آن می‌باشد و بقیه مقادیر صفر هستند. به هر حال، لایه دوم با استفاده از خروجی لایه اول، برداری از احتمال‌ها را به عنوان خروجی شبکه تولید می‌کند. به این ترتیب مقدار n_2 در لایه دوم از ضرب T در a_1 به دست می‌آید و در نهایت n_2 مقدار "۱" و به ازای بقیه مقادیر، عدد صفر را تولید می‌کند. بنابراین شبکه بردارهای ورودی را به یکی از k کلاس موجود که دارای حداکثر احتمال می‌باشد، نظیر می‌کند (جهانبخشی و همکاران، ۱۳۹۰).

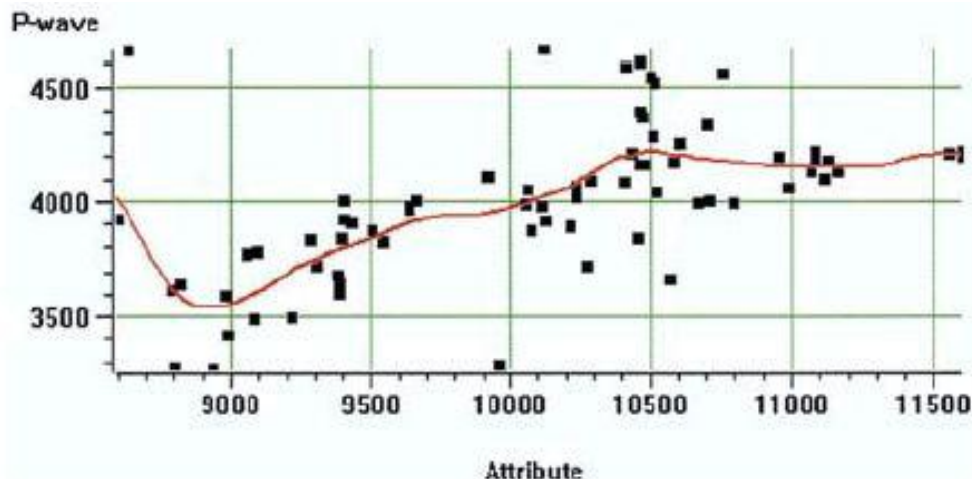
¹ . Input weight

² . layer Weight



شکل ۳-۸. ساختار شبکه عصبی مصنوعی احتمالاتی (جهانبخشی و همکاران، ۱۳۹۰)

نتایج حاصل از عملکرد شبکه PNN در یک منحنی تقاطعی ساده در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. بزرگترین مشکل شبکه PNN این است که هر نمونه آموزشی را ذخیره می‌کند و نمونه‌های خروجی را با آن‌ها مقایسه می‌کند. بنابراین هنگامی که تعداد نمونه‌ها زیاد است، سرعت کار پایین خواهد بود.



شکل ۳-۹. منحنی تخمین به دست آمده توسط شبکه عصبی PNN برای تخمین نگار سرعت موج P و یک نشانگر (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

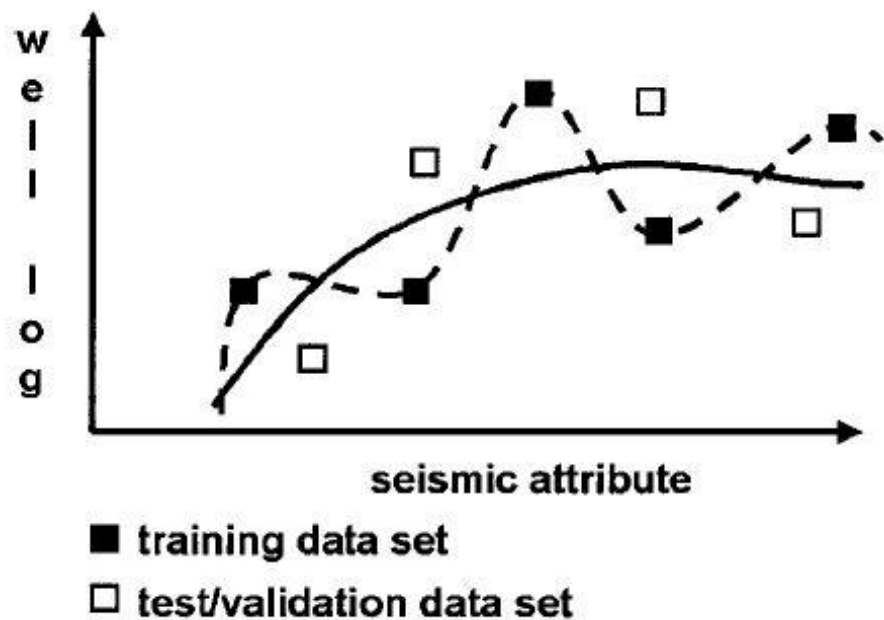
۳-۶-۲-۲ اعتبارسنجی^۱

نکته حائز اهمیت در روش چند نشانگر، تعداد صحیح نشانگرها است. رگرسیون مرحله‌ای مجموعه‌ای از نشانگرها را که باعث کاهش خطا در داده‌های آموزش می‌شوند به ما می‌دهد. اما این افزایش نشانگرها تا چه زمانی باید ادامه داشته باشد؟ در این بخش ما به این سوال پاسخ می‌دهیم. همانطور که قبلاً نیز بحث گردید ما می‌توانیم نشان دهیم که تبدیل نشانگر چندگانه با $M+1$ نشانگر باید همیشه دارای خطای تخمین کمتر و یا مساوی با تبدیل نشانگر چندگانه با M نشانگر باشد. بنابراین هرچه تعداد نشانگرهای بیشتری اضافه گردند، مقدار خطای تخمین رو به کاهش می‌رود. البته وقتی همیشه نشانگرهای اضافی که به داده‌های جدید در مجموعه آموزشی اعمال می‌شوند، برازش با داده‌های آموزشی را بهبود می‌بخشند، ممکن است در بهبود نتیجه موثر نباشند و یا حتی شرایط را بدتر کنند. این روند که بیش آموزش^۲ نام دارد توسط کالکومی^۳ (۱۹۹۷) شرح داده شده است. بطور موثر استفاده از تعداد بیشتری از نشانگرها مشابه برازش دادن منحنی تقاطعی با چند جمله‌ای درجه بالاتر می‌باشد. تکنیک‌های آماری زیادی در رابطه با اندازه‌گیری میزان اطمینان و درستی برازش منحنی‌های درجه

^۱ . Validation
^۲ . overtraining
^۳ . kalkomey

بالتر با نشانگرها وجود دارند (دراپر و اسمیت، ۱۹۶۶). متاسفانه تعدادی از این روش‌ها فقط در رگرسیون خطی کاربرد دارند و نمی‌توانند در تخمین غیرخطی با استفاده از شبکه عصبی بکار روند. به همین دلیل ما روش اعتبارسنجی متقابل^۱ را که در هر نوع تخمین کاربرد دارد، انتخاب کرده‌ایم.

در روش اعتبارسنجی متقابل کل مجموعه داده‌های آموزشی را به دو زیرمجموعه تقسیم می‌کنیم: مجموعه داده‌های آموزشی و مجموعه داده‌های اعتبارسنجی. داده‌های آموزشی برای به‌دست آوردن تبدیل استفاده می‌شوند، درحالی‌که داده‌های اعتبارسنجی برای اندازه‌گیری خطای تخمین نهایی بکار می‌روند. همانطور که در شکل ۳-۱۰ می‌بینیم، آموزش بیش از حد مجموعه داده‌های آموزشی منجر به برازش ضعیف‌تر با مجموعه داده‌های اعتبارسنجی شده است.



شکل ۳-۱۰. نمایش اعتبارسنجی متقابل. دو منحنی به داده‌ها برازش داده شده‌اند. منحنی پیوسته چند جمله‌ای با درجه پایین‌تر می‌باشد و منحنی خط‌چین چند جمله‌ای با درجه بالاتر می‌باشد. منحنی خط‌چین با داده‌های آموزشی برازش بهتری دارد، ولی در مقایسه با مجموعه داده‌های اعتبارسنجی برازش کمتری دارد (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱).

^۱ . Cross-validation

همانطور که در شکل ۳-۱۰ مشخص است، ما می‌توانیم در هر صورت با استفاده از منحنی‌های درجه بالاتر برازش با داده‌های آموزشی را افزایش دهیم. اما این کار همیشه ما را به جواب بهینه نمی‌رساند. با دقت کردن به منحنی خط چین و داده‌های اعتبارسنجی می‌بینیم که این منحنی برازش بسیار ضعیفی با داده‌های اعتبارسنجی دارد. به این ترتیب اهمیت و لزوم انجام اعتبارسنجی متقابل برای ما آشکار می‌شود.

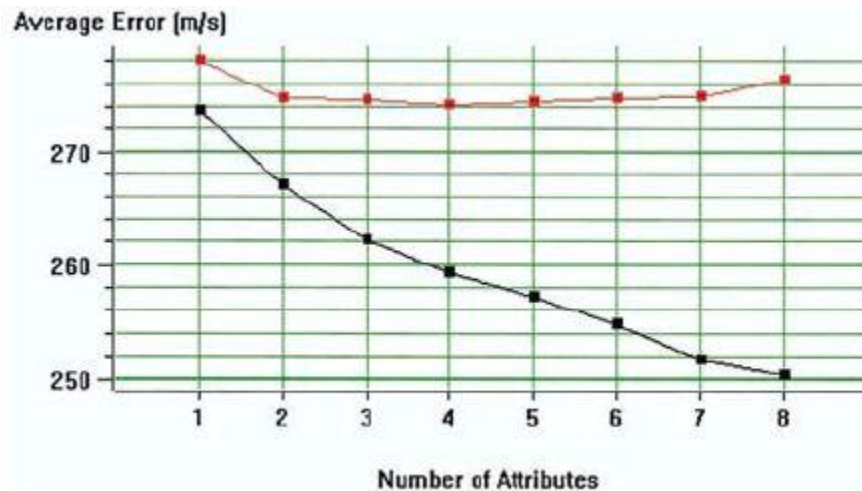
مجموعه داده‌های آموزشی شامل نمونه‌هایی آموزشی از همه چاه‌ها (بجز چاه‌های مشخص پنهان) و مجموعه داده‌های اعتبارسنجی شامل نمونه‌هایی از چاه‌های پنهان می‌باشند. در فرایند اعتبارسنجی متقابل، آنالیز به تعداد چاه‌ها تکرار می‌شود و هر بار یک چاه متفاوت را کنار می‌گذاریم. یعنی در هر بار آموزش نمونه‌ای را از کل نمونه‌هایی که برای آموزش شبکه استفاده می‌شوند، 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 (۳۴) حساب می‌کنیم. حالا نمونه کنار گذاشته شده را به مجموعه بازگردانده و یک نمونه دیگر انتخاب می‌کنیم و دوباره شبکه را آموزش می‌دهیم مجموع مربعات خطا را برای آن حساب می‌کنیم. این کار را برای تمام نمونه‌ها تکرار کرده و در انتها میانگین تمام مجموع مربعات خطا را اندازه می‌گیریم که به آن خطای اعتبارسنجی کل می‌گوییم و از معادله زیر به دست می‌آید:

$$E_v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_{vi}^2 \quad (41)$$

در این معادله e_{vi} خطای اعتبارسنجی برای چاه i ام و N تعداد چاه‌های موجود در آنالیز است.

خطای اعتبارسنجی را برای هر یک از مراحل رگرسیونی حساب می‌کنیم. یعنی با هر بار افزایش نشانگر این مراحل را برای اطمینان از اثربخش بودن آن نشانگر انجام می‌دهیم و آنجایی که این خطا افزایش می‌یابد، فرایند رگرسیون مرحله‌ای را متوقف می‌کنیم و به این صورت تعداد بهینه نشانگرها را مشخص می‌کنیم. شکل ۳-۱۱ منحنی کاهش خطا با افزایش نشانگرها به روش رگرسیون مرحله‌ای و همینطور منحنی خطای اعتبارسنجی کل

را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است، با توجه به منحنی خطای اعتبارسنجی کل بعد از نشانگر چهارم خطا بتدریج افزایش یافته است و باید فرایند رگرسیون مرحله‌ای متوقف شود. در واقع هر نشانگر اضافی بعد از نشانگر چهارم سیستم را دچار بیش آموزش می‌کند.



شکل ۳-۱۱. نمودار پایینی کاهش خطای پیش‌بینی با افزایش تعداد نشانگرها و منحنی بالایی خطای اعتبارسنجی کل را نشان می‌دهد.

۳-۶-۳ نقشه شباهت

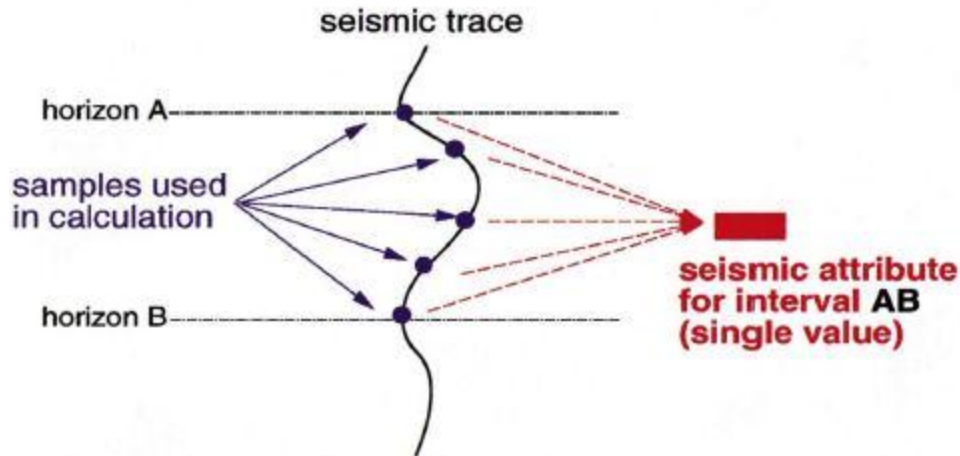
آنالیز نشانگرهای لرزه‌ای، عموماً بوسیله همبسته کردن نشانگرهای مختلف با خواص مخزن اجرا می‌شود. اگرچه مفسرهای با تجربه در مورد اینکه کدام نشانگر معمولاً یک همبستگی خوب با یک ویژگی خاص مخزن دارد، به درک خوبی رسیده‌اند، اما همبستگی بین نشانگرها و خواص مخزن نمی‌تواند از یک مخزن به مخزن دیگر برون‌یابی شود. هرچه تعداد نشانگرها زیادتر می‌شود، آنالیز هم سخت‌تر می‌شود، زیرا مفسر باید کمتر به تجربه‌هایش و بیشتر به همبستگی واقعی یافت شده در داده‌ها، اعتماد کند. گرچه بنظر می‌رسد که برخی از نشانگرها در مورد تغییرات جانبی در منطقه مورد مطالعه، اطلاعات متفاوتی را فراهم می‌کنند، با این حال آنها دارای اطلاعات اضافی هستند که می‌توانند حتی آنالیز را ناشیانه‌تر سازند. هر نشانگر ممکن است اطلاعات

دقیقی را آشکار کند که نمی‌توان در یک مقطع لرزه‌ای متعارف تشخیص داد. وقتی با چندین نشانگر لرزه‌ای سروکار داریم، نیاز به یک رویکرد مناسب برای دسته‌بندی و ترکیب اطلاعات نشانگرهای لرزه‌ای مختلف است. یک مثال ایجاد ارتباط وزن‌دار بین نشانگرهاست که در مباحث قبل به آن پرداختیم. راه دیگر استفاده از نقشه شباهت و آنالیز آن می‌باشد که هدف اصلی این پایان‌نامه است.

۳-۶-۳-۱ به دست آوردن نقشه شباهت

نقشه شباهت راهی برای ترکیب اطلاعات، بمنظور نشان دادن نقاط مشابه در مخزن، با توجه به یک نقطه مبنای انتخابی است. این نقطه مبنا می‌تواند یک چاه خشک یا یک چاه تولید کننده باشد. بعلاوه نقشه شباهت با نشان دادن روند و الگوهای عمومی مخزن، به توصیف مخزن کمک می‌کند. اگر فرض کنیم که تغییرات در مخزن تدریجی باشد، نقشه شباهت می‌تواند مناطقی از مخزن را که خواص آن شبیه ویژگی‌های اطراف نقطه مبنا است (یک چاه خشک یا یک چاه تولیدکننده)، به نقشه در بیاورد. برای تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای و اجتناب از مشکلات مربوط به تغییرات در ضخامت لایه‌ها، نقشه نشانگرهای لرزه‌ای، بین دو افق محاسبه می‌شود و مطابق شکل ۳-۱۲ از میانگین نقشه هر نشانگر میان دو افق به‌عنوان نقشه مربوط به آن بازه استفاده می‌گردد (میچلنا^۱ و همکاران، ۱۹۹۸).

¹. Michelena



شکل ۳-۱۲. محاسبه نشانگرهای لرزه‌ای بین دو افق (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).

ورودی آنالیزهای شباهت، یک مجموعه از نقشه‌های نشانگرهای لرزه‌ای غیر همبسته، مختصات نقطه مبنا و شعاع دور نقطه مبنا می‌باشد که ناحیه‌ای با پاسخ نشانگری تقریباً ثابت را حول نقطه مبنا شامل می‌شود. نقشه‌های نشانگرهای لرزه‌ای که برای آنالیز شباهت استفاده می‌شوند، باید مستقل از یکدیگر باشند تا از معرفی اطلاعات اضافی اجتناب شود. برای تولید یک مجموعه نشانگر مستقل می‌توان از روش‌هایی مثل متعامدسازی گرام-اشمیت^۱ استفاده کرد. با اعمال این روش به نشانگرهای متعارف و همبسته یک مجموعه نشانگر جدید و مستقل تولید می‌کنیم که نشانگرهای با کوچکترین مقدار انحراف معیار، دیگر مورد توجه نیستند. اگر دو بردار مستقل باشند، آنگاه با استفاده از فرایند گرام-اشمیت حتماً می‌توان دو بردار متعامد از آن‌ها به دست آورد در غیر این صورت دوبردار وابسته هستند. ایده اساسی بکار گرفته شده در این فرایند را می‌توان به این صورت خلاصه کرد که دو بردار مخالف صفر v_1 و u_2 را در فضای برداری V_1 در نظر می‌گیریم که لزوماً متعامد نیستند. هدف این است که با زدودن برخی از بردارهایی به شکل $\alpha_1 v_1$ از بردار u_2 آن را به یک بردار v_2 بصورت

^۱. Gram-Schmidt orthogonalization

$v_2 = u_2 - \alpha_1 v_1$ تبدیل کنیم، بنحوی که بردارهای v_1 و v_2 متعامد باشند. بعبارتی به دنبال یافتن اعداد حقیقی مناسبی برای α_1 هستیم. آنالیز مولفه‌های اصلی هم می‌تواند برای تولید نشانگرهای متعامد از نشانگرهای اصلی و همبسته، استفاده شود.

برای مشخص کردن حدود ناحیه‌ی اطراف چاه، که به عنوان ناحیه‌ی مرجع در نظر گرفته می‌شود، توزیع مقادیر نشانگرها در دور چاه را به‌عنوان تابعی از فاصله از چاه آنالیز می‌کنیم. فاصله مناسبی از چاه، جاییکه پاسخ نشانگرها تقریباً ثابت می‌ماند به‌عنوان شعاع ناحیه مرجع در نظر گرفته می‌شود که در محاسبات استفاده می‌شود. برای انتخاب مقدار مناسب شعاع، بعد از انتخاب نشانگرهای مناسب و مستقل نقشه نشانگرهای لرزه‌ای را تهیه می‌کنیم و روند تغییرات نشانگرها حول نقطه مبنا را بررسی می‌کنیم. اگر نشانگرهای لرزه‌ای حول و حوش چاه مبنا تغییرپذیری بالایی داشته باشند، نقشه شباهت به‌دست آمده زیاد قابل اعتماد نخواهد بود.

فرایند ایجاد نقشه‌های شباهت به سه مرحله تقسیم می‌شود که عبارتند از:

۱- محاسبه‌ی مقادیر مرجع

۲- طبقه‌بندی

۳- جمع

برای محاسبه مقدار مرجع، در یک پنجره حول نقطه مبنا، p ، در نقشه نشانگر مقدار میانگین (m_p) و انحراف معیار (s_p) نشانگر محاسبه می‌شود. در مرحله دوم، برای هر نقطه مانند a از نقشه نشانگر، یک پنجره مشابه نقطه مبنا، حول نقطه a در نظر گرفته می‌شود و میانگین مقادیر داخل پنجره (m_a) محاسبه می‌شود. سپس با توجه به نامساوی تعریف شده در رابطه (۴۲) مقدار صفر یا یک برای نقشه صفر-یک متناظر آن نشانگر در نقطه a در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار m_a در رابطه (۴۲) صدق کند، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر

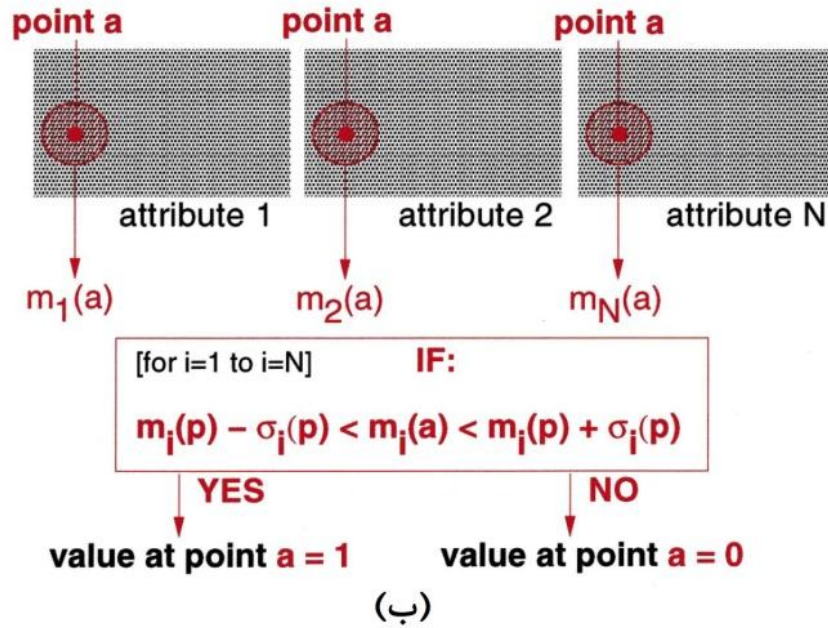
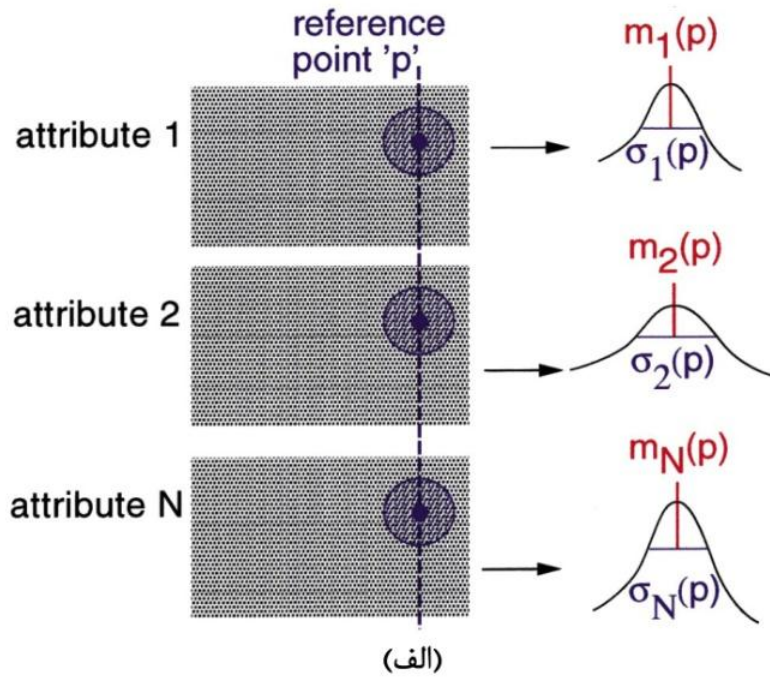
برای آن نقطه در نظر گرفته می‌شود. با تکرار این روش برای تمام نقاط نقشه نشانگر، می‌توان نقشه صفر-یک برای آن نشانگر را به دست آورد.

$$m_p - s_p < m_a < m_p + s_p \quad (42)$$

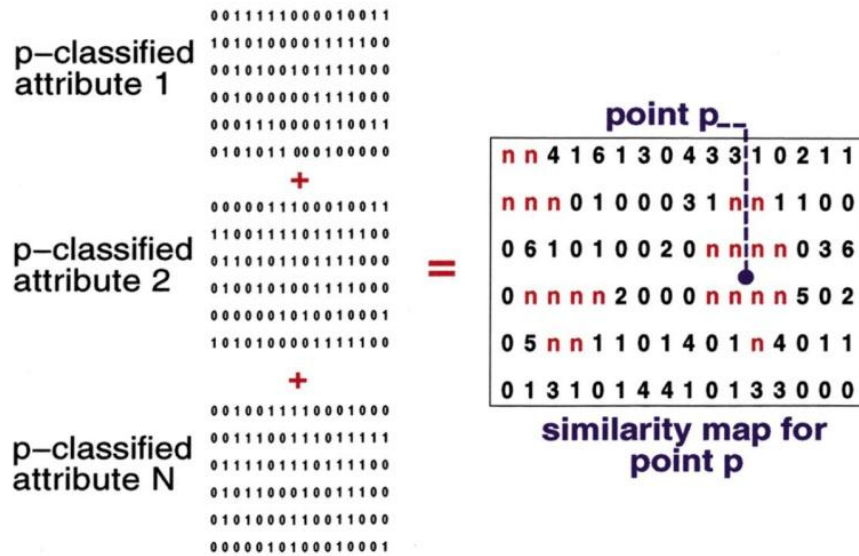
پس از آنکه نقشه صفر-یک برای هر کدام از نشانگرها به دست آمد، می‌توان با جمع تمام نقشه‌های صفر-یک نشانگرها، نقشه شباهت را به دست آورد در مناطقی که در نقشه‌های صفر-یک نشانگرها، مقدار یک قرار گرفته باشد، با جمع در نقشه شباهت یک مقدار بیشینه داده می‌شود که حاکی از شباهت بالای آن نقطه با نقطه مرجع است. در شکل ۳-۱۳ فرایند محاسبه نقشه شباهت بصورت شماتیک شده است (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).

علاوه بر محاسبه مقدار میانگین و انحراف معیار، راه‌های زیاد دیگری برای توصیف ماتریس مقادیر نشانگرها، حول نقطه مبنا وجود دارد که ممکن است در حضور نوفه قوی‌تر عمل کنند. به عنوان مثال می‌توان از میانگین عناصر ماتریس استفاده کرد و یا می‌توان یک سطح درجه دوم حول نقطه مبنا به ماتریس موردنظر برازش داد و همه این خصوصیات را با خصوصیات مشابه حول همه نقاط در نقشه مقایسه کرد. البته با داشتن نقشه چندین نشانگر غیر همبسته، محاسبه مقدار میانگین و انحراف معیار برای توصیف پاسخ لرزه‌ای حول نقطه مبنا کافی است. علاوه بر این سرعت محاسبه مقدار میانگین و انحراف معیار نیز بالاتر است.

سنگ‌های مشابه با شرایط مخزنی مشابه، پاسخ‌های لرزه‌ای یکسانی نیز تولید می‌کنند که نشانگرهای مستقل این اطلاعات را نشان می‌دهند. اگرچه عکس این موضوع برای نقاطی که دور از نقطه مبنا هستند، ممکن است همیشه درست نباشد. ما انتظار داریم که در نقاط نزدیک به نقطه مبنا که پاسخ‌های لرزه‌ای شبیه به هم است، خصوصیات سنگ‌ها نیز مشابه باشند. البته نباید فرض تدریجی بودن تغییرات در مخزن را نادیده بگیریم.



شکل ۳-۱۳. مراحل تهیه نقشه شباهت (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).



(ج)

ادامه شکل ۳-۱۳. مراحل تهیه نقشه شباهت (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).

بوضوح مشخص است که محدوده مقادیر در نقشه شباهت از صفر تا تعداد نشانگرهای مستقلی که استفاده شده است، تغییر می‌کند. اگر نقطه مبنا یک چاه تولید کننده باشد، نقشه شباهت مرتبط با آن، مناطق با پتانسیل بالای تولیدی را نشان می‌دهد و اگر چاه مبنا یک چاه خشک باشد، نقشه شباهت مربوط به آن، ناحیه‌ای با حق تقدم پایین‌تر در برنامه‌های اکتشافی را برجسته می‌کند، بنابراین با توجه به ریسک و هزینه‌های بالای حفاری این ابزار در انتخاب نقاط بعدی برای حفاری کمک شایانی می‌کند.

فصل چهارم

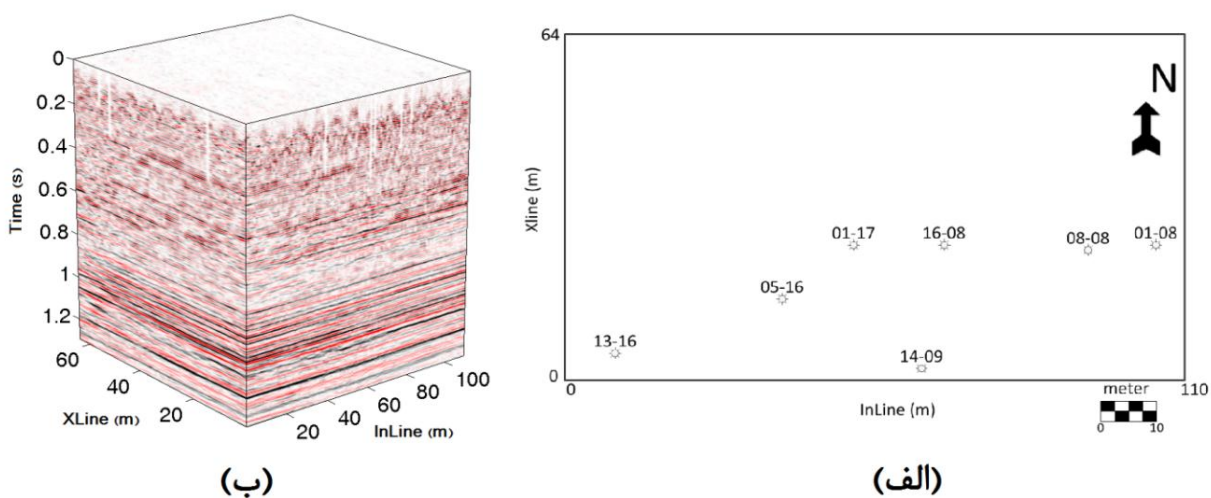
مراحل انجام کار و مقایسه نتایج

در این مطالعه قسمتی از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی ارائه شده در نرم افزار همپسون-راسل را انتخاب کردیم. این داده‌ها در ۱۱۹ خط گیرنده و ۸۱ خط چشمه با فاصله نمونه‌برداری زمانی ۲ میلی ثانیه برداشت شده‌اند. در محل داده‌ها ۱۳ عملیات چاه‌نگاری انجام شده است که از ۶ چاه که دارای نگار تخلخل هستند، استفاده کرده‌ایم. محدوده‌ای با ۱۱۰ خط گیرنده و ۶۴ خط چشمه از کل داده‌ها برای محاسبات انتخاب شد. در شکل ۴-۱ موقیعت خطوط لرزه‌نگاری و چاه‌ها به‌همراه مکعب داده‌های لرزه‌نگاری نشان داده شده است. بخش اول کار، انجام وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است. ابتدا نگارهای موجود در محل چاه‌ها (نگارهای صوتی، چگالی و تخلخل) به کمک داده‌های لرزه‌نگاری چاه (چکش‌شات) بمنظور هماهنگی با داده‌های لرزه‌ای، از مقیاس عمقی به مقیاس زمانی تبدیل می‌شوند و سپس ردلرزه مصنوعی ساخته می‌شود. پس از آن داده‌های چاه با داده‌های لرزه‌ای همبسته می‌شوند. در مرحله بعد به کمک وارون‌سازی لرزه‌ای، مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای تهیه می‌شود. لازم است با تکرار مدل‌سازی با پارامترهای مختلف به مدلی با کمترین خطا دست یافت. این مراحل در بخش استراتا از نرم‌افزار همپسون و راسل انجام می‌شود. مراحل کاری برنامه استراتا در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. مراحل وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای بصورت کامل‌تر در بخش‌های بعدی این فصل ارائه خواهد شد.

در قسمت بعد با انتخاب نشانگرهایی که در ارتباط با پارامترهای مخزنی مثل تخلخل هستند، بهترین رابطه برای تخلخل در قسمت مورد مطالعه به‌دست می‌آید. این بخش از کار در قسمت ایمرج^۱ از نرم‌افزار مذکور انجام می‌پذیرد. در نهایت به توزیع تخلخل در محدوده مورد مطالعه دست پیدا می‌کنیم. آخرین مرحله از کار که در واقع هدف انجام این تحقیق نیز هست، ارائه روش آنالیز جدید برای نشان دادن اطلاعات مربوط به نشانگرهاست که نقشه شباهت نام دارد. با مقایسه نقشه توزیع تخلخل به‌دست آمده در مرحله اول و نقشه شباهت حاصل،

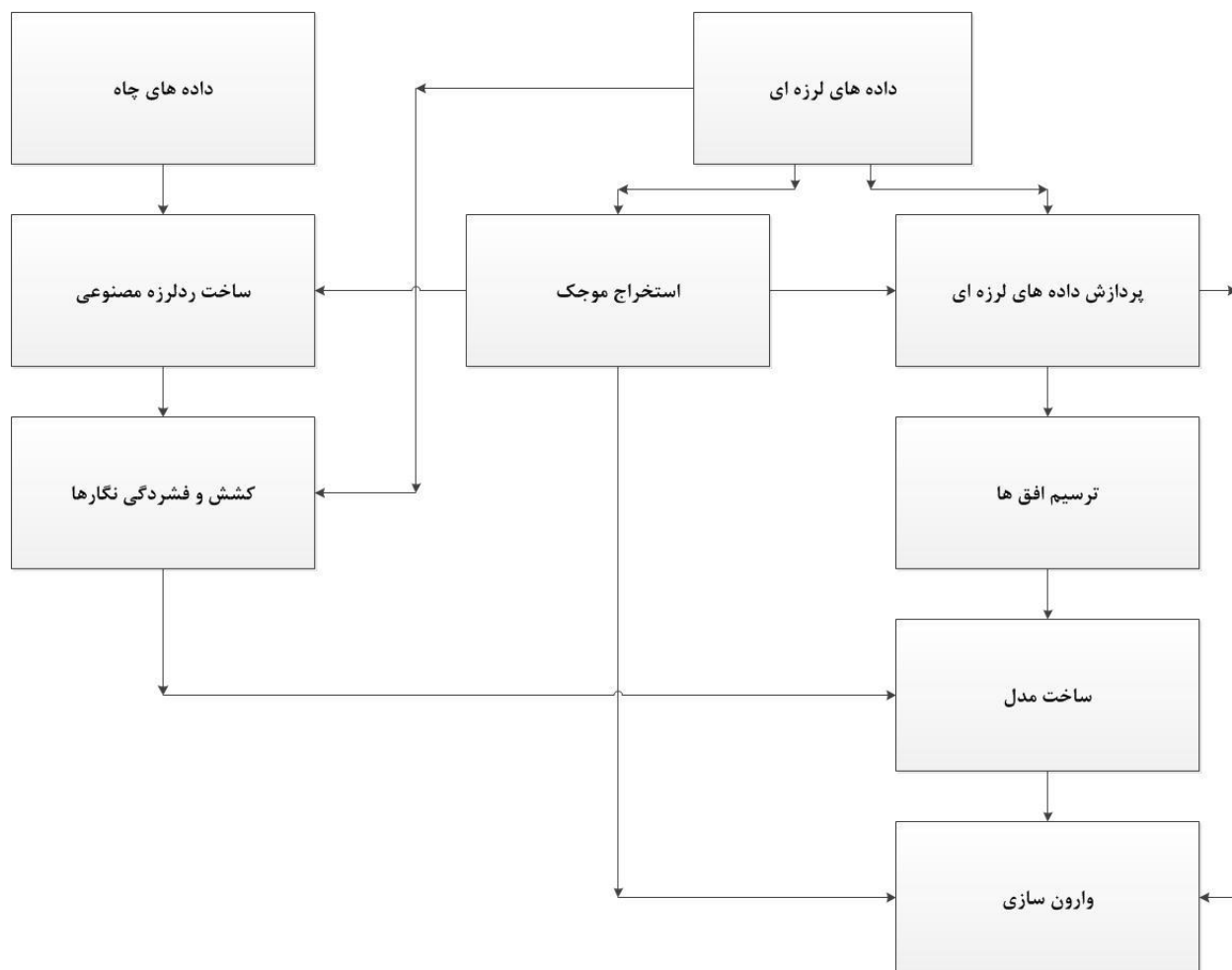
^۱. Emerge

می‌توان تفسیر دقیق‌تری نسبت به منطقه مورد مطالعه پیدا کرد و کار مفسر راحت‌تر و مطمئن‌تر می‌شود. برای تهیه نقشه شباهت در این مطالعه از نرم‌افزار متلب^۱ استفاده شده است.



شکل ۴- ۱. (الف) موقعیت خطوط لرزه‌نگاری و چاه‌ها و (ب) مکعب داده‌های لرزه‌ای.

^۱. MATLAB

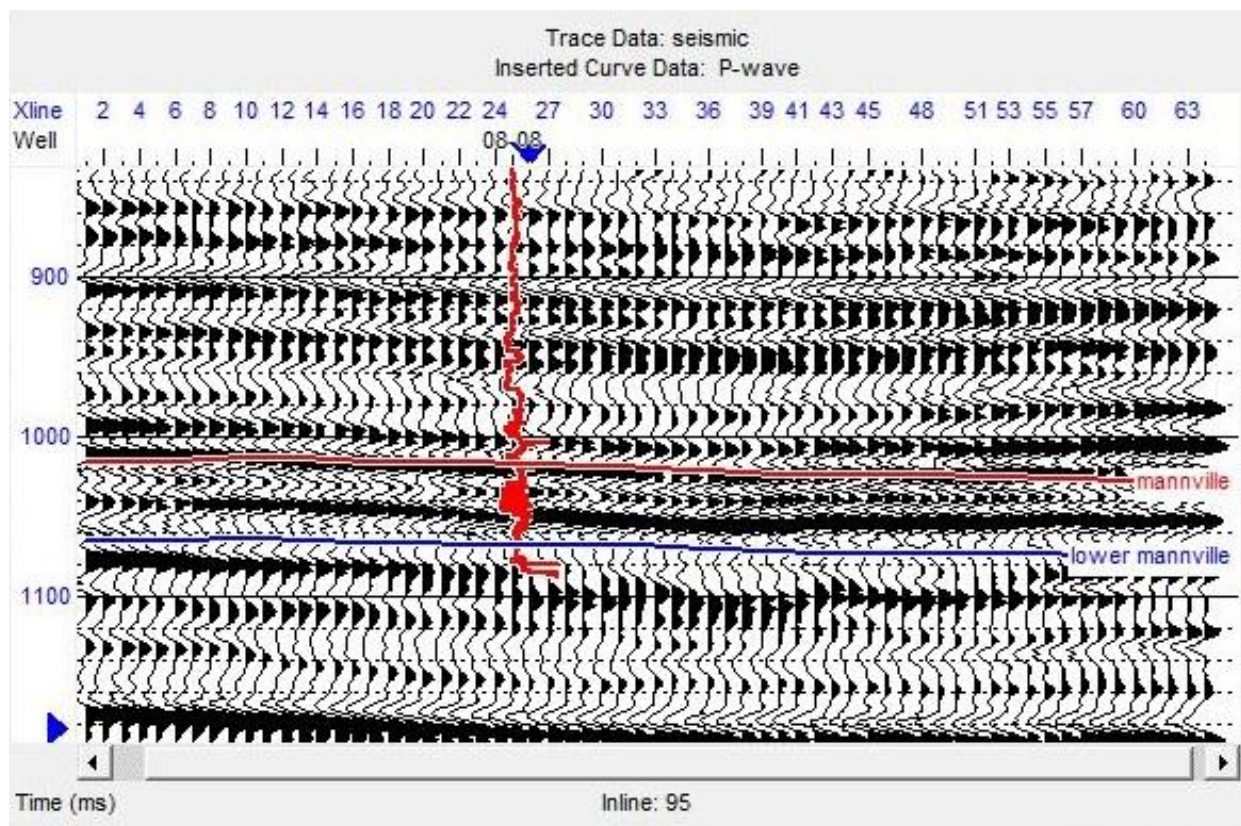


شکل ۴-۲. روش کلی مراحل وارون سازی برنامه استراتا (راهنمای نرم افزار همپسون و راسل، ۲۰۰۷).

۴-۲ فراخوانی داده های لرزه ای و ترسیم افق ها

بعد از فراخوانی داده های لرزه ای موردنظر، به ترسیم افق های لرزه ای می پردازیم. با استفاده از نگارهای چگالی و صوتی، نگار مقاومت ظاهری لرزه ای در حوزه عمق محاسبه می شود. در حالیکه داده های لرزه ای در حوزه زمان هستند. با توجه اینکه در مراحل بعد، از نگار مقاومت ظاهری لرزه ای، ردلرزه مصنوعی ساخته می شود و با داده های لرزه ای واقعی تطبیق داده می شود، لازم است که نگارهای فوق از حوزه عمق به حوزه زمان انتقال یابند. با دانستن ارتباط زمان - عمق در چاه، این کار به آسانی صورت می پذیرد. به این منظور از داده های چکشات

استفاده می‌شود. چکشات عبارتست از یک سری محاسبات مستقیم زمان رسیدن امواج از چشمه سطحی به گیرنده‌های درون چاه. با داشتن رابطه زمان - عمق می‌توان نگار مقاومت ظاهری لرزه‌ای را از حوزه زمان به حوزه عمق منتقل نمود. این تبدیل زمان به عمق به ما کمک می‌کند که براحتی سرسازندهای تشخیص داده شده بر روی مغزه را بر روی داده‌های لرزه‌ای منتقل نمود. در داده‌های مورد استفاده مخزن بین دو افق مانویل^۱ و مانویل پایین^۲ قرار دارد. شکل ۳-۴ دو افق لرزه‌ای مذکور رسم شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴. مقطع داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش در محدوده چاه ۰۸-۰۸ به همراه افق‌های لرزه‌ای ترسیم شده.

^۱ . Mannville

^۲ . Lower Mannville

۲-۴ همبسته کردن نگارهای چاه با داده‌های لرزه‌ای

در این بخش به همبسته کردن و انطباق هرچه بیشتر ردلرزه با ردلرزه مصنوعی حاصل از نگارهای چاه می‌پردازیم. هرچه تعداد چاه‌های بیشتری دارای چکشات باشند، همبستگی بالاتری میان ردلرزه واقعی و ردلرزه مصنوعی به دست می‌آید. بنابراین بعد از اعمال چکشات بر نگار سرعت چاه‌های موجود، انطباق بصورت زیر انجام می‌شود:

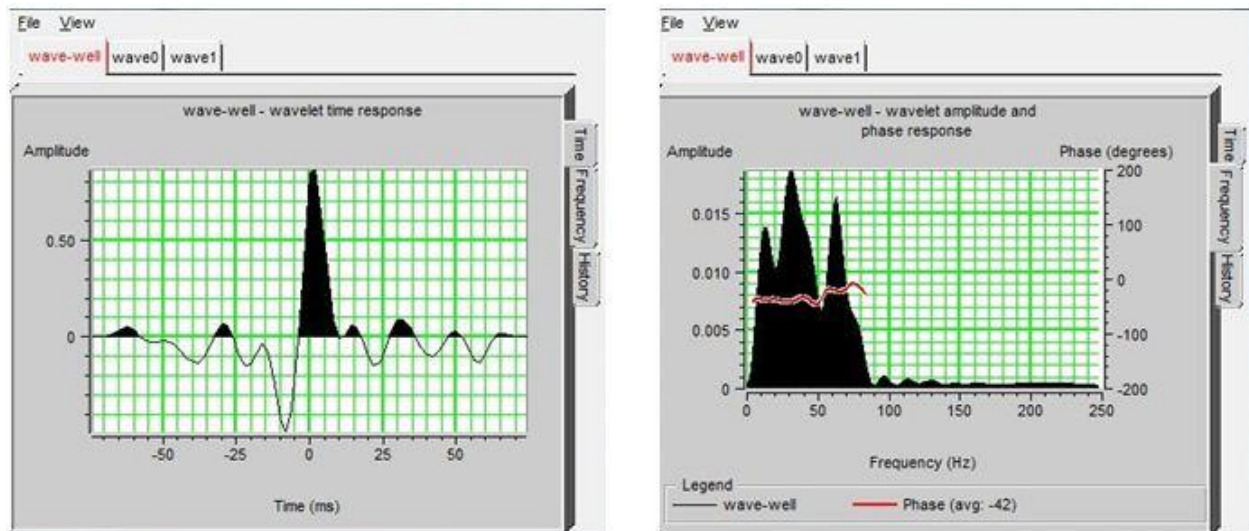
- ۱- مشخص کردن فاز موجک، که برای شروع فاز آن را صفر در نظر می‌گیریم.
- ۲- موجک چشمه لرزه‌ای را بصورت آماری از داده‌های لرزه‌ای به دست می‌آوریم.
- ۳- با استفاده از موجک به دست آمده ردلرزه مصنوعی از هم‌امیخت موجک مذکور با سری بازتاب به دست آمده از چاه، ساخته می‌شود و سپس به همبسته کردن ردلرزه مصنوعی و واقعی در کل چاه‌ها می‌پردازیم. باید دقت داشت که عملیات کشش^۱ و فشردگی^۲ دامنه‌های ردلرزه مصنوعی برای انطباق قله‌ها و دره‌های دو ردلرزه واقعی و مصنوعی باید بصورت مجزا در هر سازند صورت گیرد و نباید افق‌های لرزه‌ای را جابجا کرد.
- ۴- پس از همبسته کردن اولیه به استخراج موجک با استفاده از کلیه چاه‌ها می‌پردازیم.
- ۵- همبسته کردن را تکرار و استخراج موجک بین ردلرزه مصنوعی و واقعی را دوباره انجام می‌دهیم.
- ۶- این کار را آنقدر ادامه می‌دهیم تا یک همبستگی خوب بین ردلرزه واقعی و مصنوعی در محل چاه‌ها ایجاد شود.

موجک نهایی استخراج شده بعد از طی این مراحل در شکل ۴-۴ نشان داده شده است که برای تهیه یک مدل مصنوعی بکار برده می‌شود. در این مرحله همبستگی ایجاد شده بین ردلرزه واقعی با ردلرزه مصنوعی در اطراف

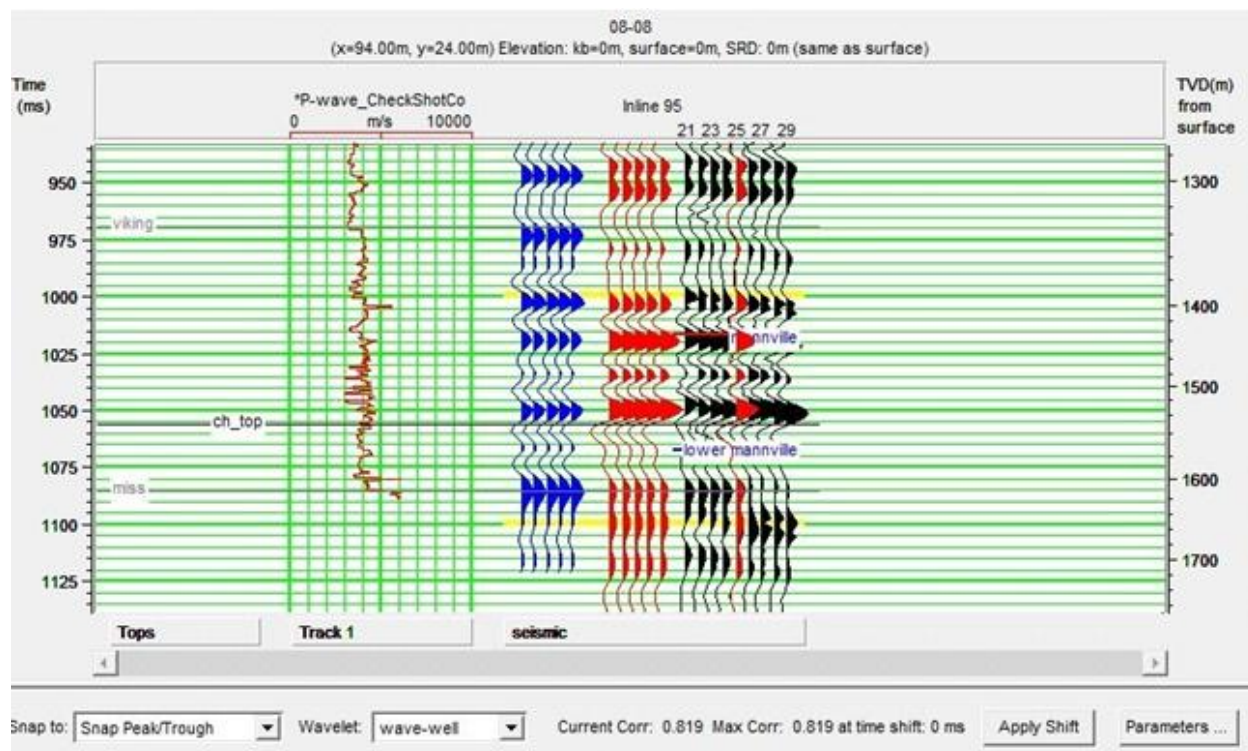
^۱ . Stretch

^۲ . Squeeze

چاه، بیشتر از قسمت‌های دیگر خواهد بود. با استفاده از این موجک و تصحیح سرعت در عمق‌های مختلف و انجام همبستگی، ضریب همبستگی حاصل بین دو ردلرزه واقعی و مصنوعی در اطراف چاه ۰۸-۰۸ به حدود ۸۰ درصد رسید. ردلرزه مصنوعی حاصل، مربوط به چاه شماره ۰۸-۰۸ نیز در شکل ۴-۵ آورده شده است.



شکل ۴-۴. موجک استخراجی برای ایجاد ردلرزه مصنوعی با استفاده از نگارهای چاه و داده‌های لرزه‌ای. طیف دامنه موجک (سمت راست). موجک لرزه‌ای در حوزه زمان (سمت چپ).

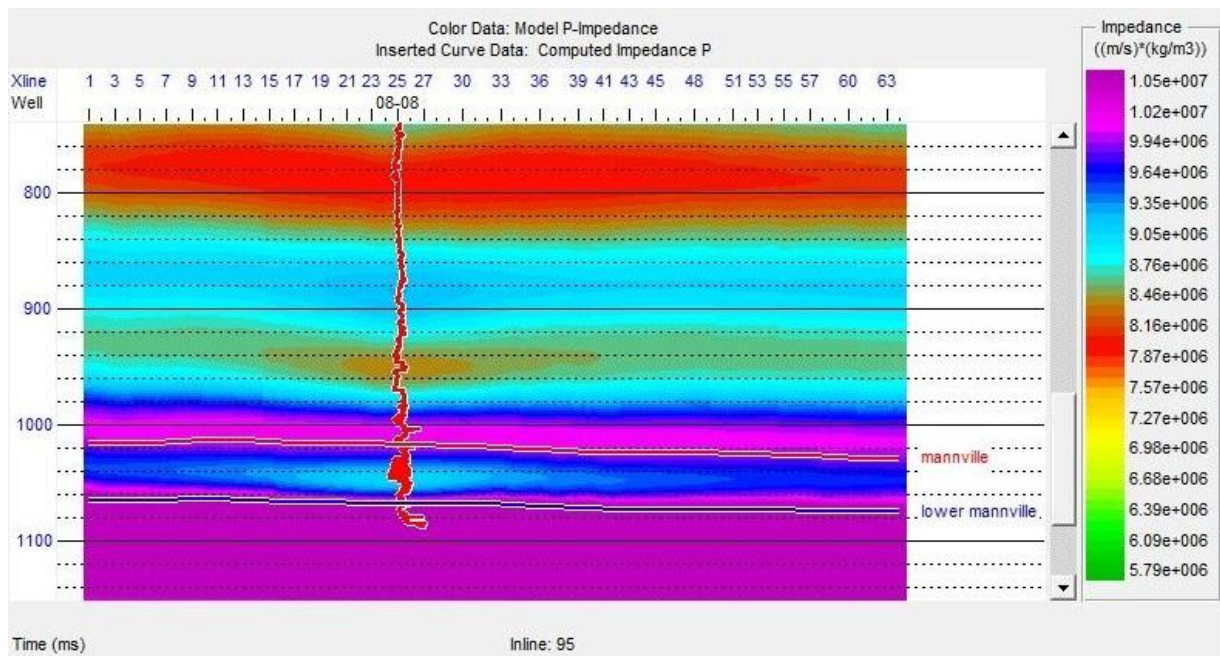


شکل ۴-۴. همبستگی ایجاد شده بین ردلرزه مصنوعی و ردلرزه واقعی که مربوط به چاه ۰۸-۰۸ است.

۴-۳ تهیه مدل اولیه مقاومت ظاهری لرزه‌ای

هدف از وارون‌سازی در مرحله اول تخمین مقاومت ظاهری لرزه‌ای جهت بررسی بهتر مخزن از نظر سنگ‌شناسی، تخلخل و ماهیت سیال مخزنی و در مرحله دوم پیش‌بینی نقاط بهتر برای حفاری‌های بعدی است. پس از اطمینان از همبستگی خوب ردلرزه مصنوعی و ردلرزه واقعی در محل چاه‌ها، اکنون باید یک مدل فرضی اولیه مقاومت ظاهری لرزه‌ای از اطلاعات لرزه‌ای و نگارها بسازیم. این مدل عموماً یک مدل زمین‌شناسی است. کاربرد مدل زمین‌شناسی در وارون‌سازی این است که چون جواب‌های حاصل از وارون‌سازی یکی نیست، این مدل جواب‌ها را محدود می‌کند و همچنین اطلاعاتی را در محدوده فرکانس پایین به دست می‌دهد.

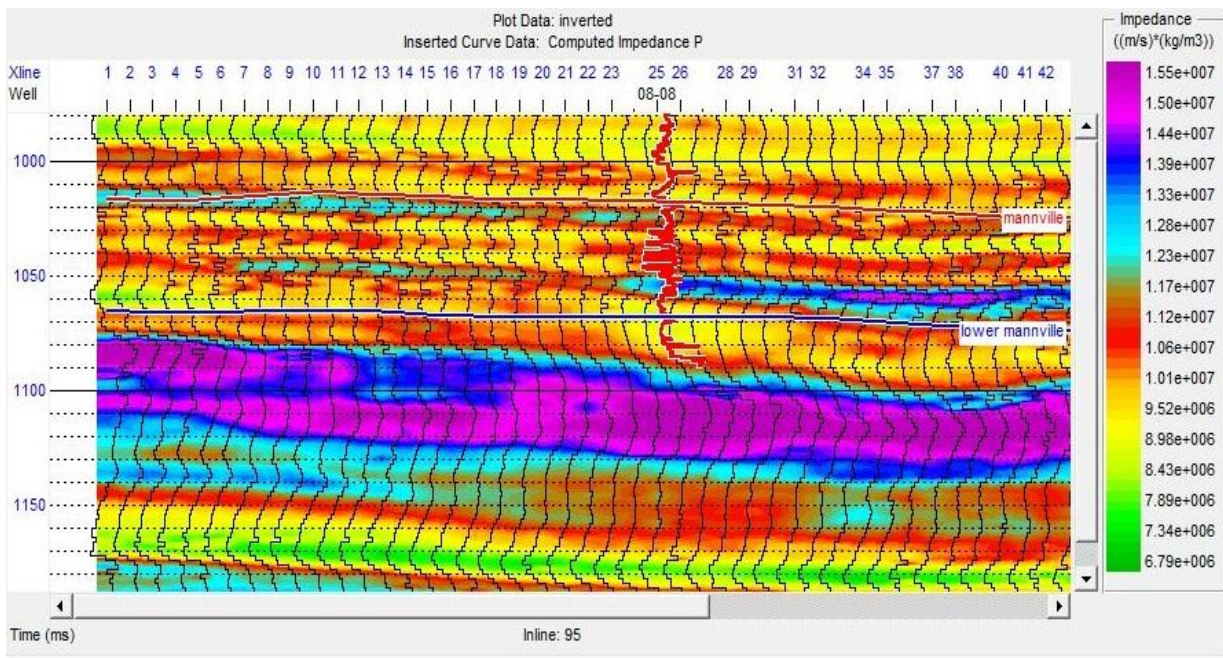
برای محاسبه این مدل ابتدا رابطه بین نگار مقاومت ظاهری لرزه‌ای و ردلرزه در محل چاه‌ها به دست می‌آید. سپس به کمک درونیابی این رابطه بر روی تمام ردلرزه‌ها در محدوده برداشت داده‌های لرزه‌ای اعمال می‌شود. به این ترتیب یک مدل مقاومت لرزه‌ای ظاهری اولیه به دست می‌آید. این مدل جهت احیای فرکانس‌های پایین برای مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای نهایی که فاقد فرکانس‌های پایین است استفاده می‌شود. شکل ۴-۶ مدل اولیه استخراج شده با فرکانس کمتر از ۱۵ هرتز را نشان می‌دهد. با تلفیق مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای که تنها فرکانس‌های پایین را شامل می‌شود و حاصل استخراج مقاومت ظاهری لرزه‌ای از چاه‌ها و افق‌های لرزه‌ای است با مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای محدود باند حاصل از وارون‌سازی ردلرزه، این کاستی را از مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای محدود باند برطرف می‌کنیم و در نهایت یک مدل پهن باند مقاومت ظاهری لرزه‌ای خواهیم داشت.



شکل ۴-۵. مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای با استفاده از نگارهای چاه و افق‌های لرزه‌ای در محدوده چاه ۰۸-۰۸.

۴-۴ ایجاد مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای پهن باند

در این قسمت به تلفیق مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای با فرکانس پایین و مدل محدود باند مقاومت ظاهری لرزه‌ای حاصل از وارون‌سازی ردلرزه می‌پردازیم. با فرض اینکه موجک مشخص است، یک ردلرزه مصنوعی با استفاده از این موجک و مدل اولیه ساخته می‌شود. سپس این مدل به تدریج تغییر داده می‌شود تا ردلرزه مصنوعی به دست آمده از این مدل به همخوانی مناسبی با ردلرزه‌های اصلی برسند. الگوریتم‌های مختلفی برای تلفیق این داده‌ها وجود دارند. با توجه به کارایی الگوریتم بر پایه مدل در نرم‌افزار همپسون و راسل نسبت به دیگر روش‌ها، این الگوریتم را که خروجی آن بصورت پهن باند است انتخاب می‌کنیم. به این ترتیب مقاومت لرزه‌ای ظاهری پهن باند به دست می‌آید که شکل ۴-۷ این مدل را در محدود چاه ۰۸-۰۸ نشان می‌دهد. هدف این وارون‌سازی اصلاح مدل است تا زمانیکه بین ردلرزه مصنوعی و ردلرزه واقعی در محدوده قابل قبول، تطابق برقرار شود.



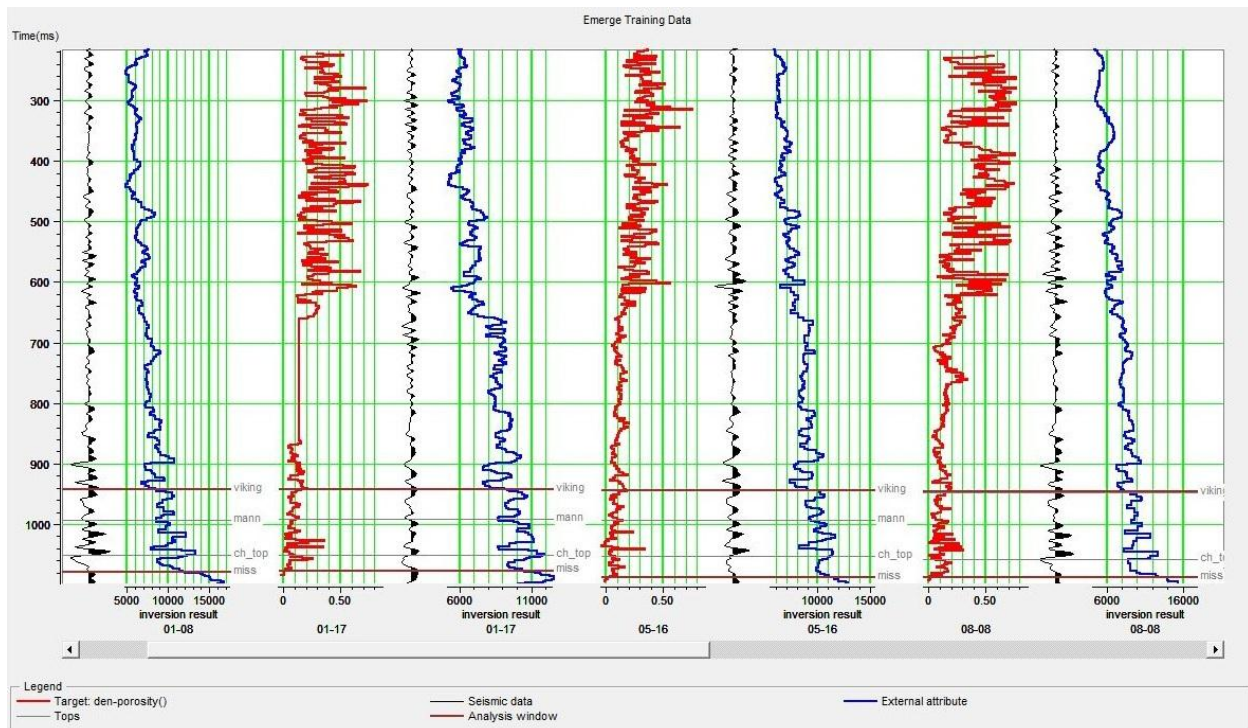
شکل ۴-۶. نتیجه نهایی وارون‌سازی مقاومت لرزه‌ای ظاهری پهن باند.

۴-۵ تخمین تخلخل به کمک نشانگرهای لرزه‌ای

در این قسمت با استفاده از برنامه ایمرج^۱ نرم‌افزار همپسون و راسل، مدل تخلخل را با تلفیق داده‌های چاه‌نگاری و نشانگرهای لرزه‌ای تهیه می‌کنیم. در آغاز باید بهترین نشانگرهای لرزه‌ای را برای تخمین تخلخل مشخص کرد. با استفاده از اعتبارسنجی متقابل، تعداد بهینه این نشانگرها برای تخمین تخلخل مشخص می‌شوند. برای بررسی وضعیت مخزن از دید نشانگرهای لرزه‌ای می‌بایست نتیجه وارون‌سازی به‌عنوان یک نشانگر منفرد در برنامه ایمرج مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور نتیجه وارون‌سازی به‌عنوان یک نشانگر لرزه‌ای خارجی به همراه داده‌های سه بعدی لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه بطور جداگانه در نرم‌افزار فراخوانی می‌شوند (شکل ۴-۸). برای

^۱. Emerge

انجام تخمین با بررسی یک یا چند نشانگر لرزه‌ای استخراج شده از داده‌ها، نشانگرهایی که با استفاده از آنها تطابق بهتری در محل چاه‌ها با پارامتر مورد ارزیابی حاصل می‌شود را مشخص می‌کنیم.



شکل ۴-۷. نمایش داده‌های تخلخل، مقاومت ظاهری لرزه‌ای و ردلرزه در محل چاه‌ها.

۴-۵-۱ تخمین تخلخل با روش رگرسیون معمولی و چند متغیره

۴-۵-۱-۱ تحلیل به کمک یک نشانگر (رگرسیون معمولی)

در این روش، تمامی نشانگرهای داخلی و نشانگر خارجی مقاومت لرزه‌ای ظاهری، مورد ارزیابی قرار گرفته و نشانگری که بیشترین همبستگی را در مکان چاه‌ها با تخلخل داشته باشد، انتخاب می‌گردد. جدول ۴-۱ نتیجه تحلیل و داده‌های تخلخل به دست آمده به کمک یک نشانگر را نشان می‌دهد. از بین پنج نشانگر نشان داده شده

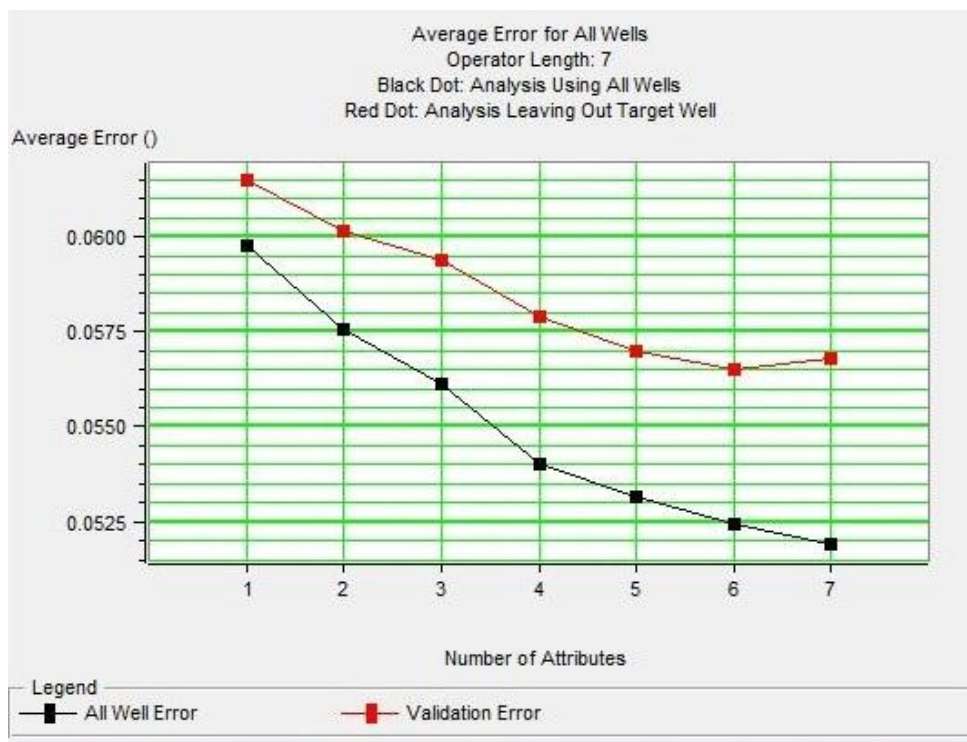
در جدول، بیشترین همبستگی بین نگار تخلخل و نشانگر خارجی مرتبط با مقاومت ظاهری لوزه‌ای اتفاق افتاده است که مقدار آن ۴۳ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۱. نتایج تحلیل و مقایسه خطا و همبستگی داده‌های تخلخل واقعی و داده‌های تخلخل به‌دست آمده به کمک یک نشانگر.

Target	Attribute	Error	Correlation
porosity	1/Acoustic Impedance	0.060357	0.435455
porosity	Acoustic Impedance	0.061049	-0.413454
porosity	Instantaneous Phase	0.065669	-0.201794
porosity	Quadrature trace	0.065669	-0.201748
porosity	Amplitude Weighted Phase	0.065384	-0.221383

۴-۵-۱-۲ تحلیل به کمک چند نشانگر (رگرسیون چند متغیره)

در تحلیل به کمک چند نشانگر باید به تعداد نشانگرهایی که مورد استفاده قرار می‌گیرند، توجه داشت. برای مشخص کردن تعداد مناسب، نرم‌افزار از روش اعتبارسنجی متقابل و رگرسیون مرحله‌ای استفاده می‌کند. برای به‌دست آوردن تعداد مناسبی از نشانگرها، تعداد دلخواهی از نشانگرها به نرم‌افزار داده می‌شود و برای بهینه کردن زمان محاسبات به نرم‌افزار اجازه داده می‌شود، روش اعتبارسنجی متقابل را برای حداکثر هفت نشانگر انجام دهد. نتایج اعتبارسنجی متقابل در شکل ۴-۹ نشان داده شده است. همچنان که از شکل پیداست ترکیب شش نشانگر بهترین تعداد نشانگرها برای ارزیابی تخلخل خواهد بود. لیست نشانگرهای مورد استفاده و نتایج آنالیز آن‌ها در جدول ۴-۲ آورده شده است.

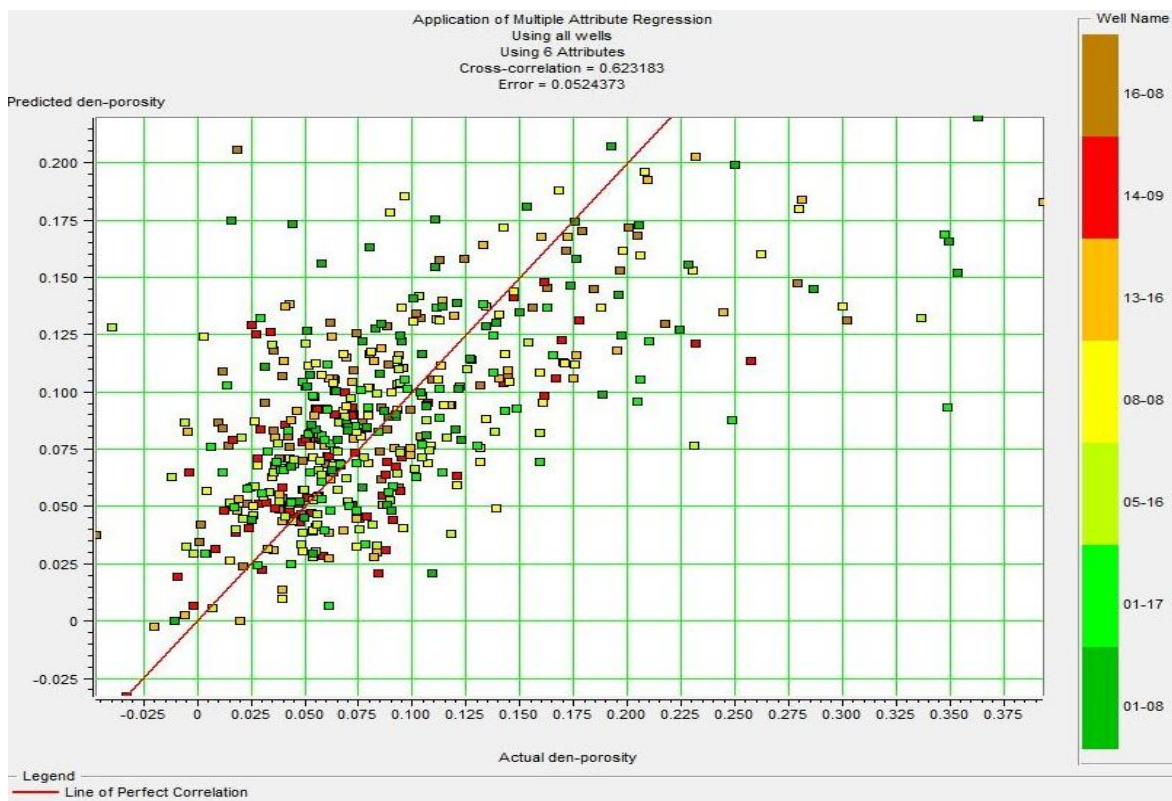


شکل ۴-۸. نتایج اعتبارسنجی متقابل. طبق منحنی بالایی که اعتبارسنجی متقابل را نشان می‌دهد، تعداد بهینه شش نشانگر از میان هفت نشانگر انتخاب می‌شود.

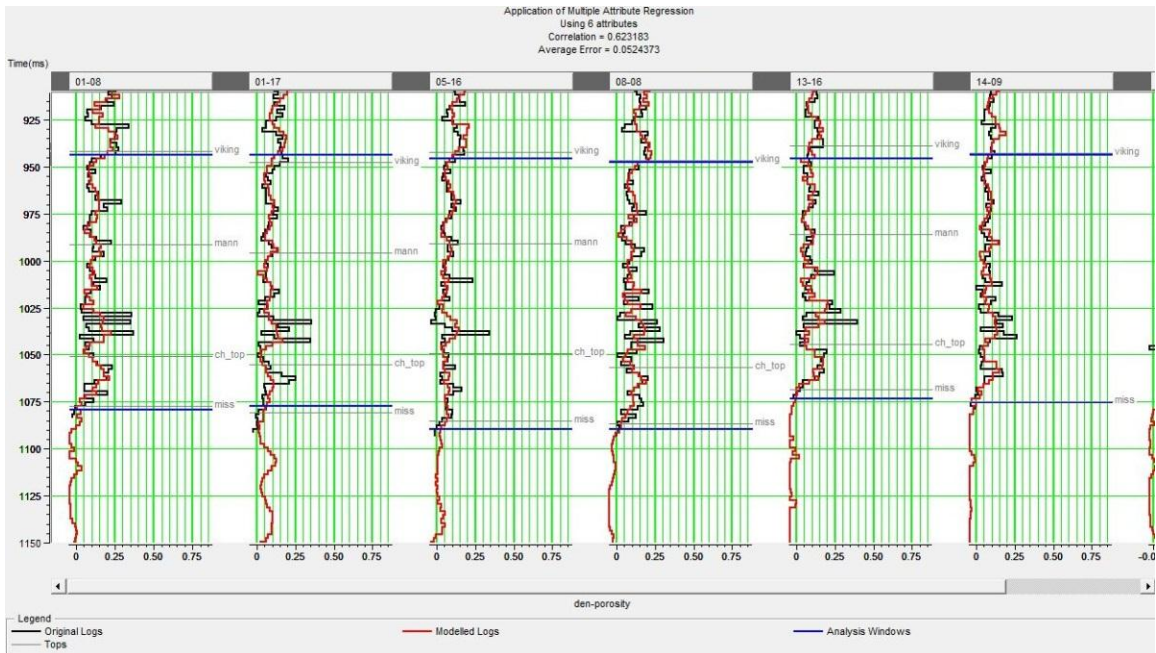
جدول ۴-۲. نتایج تحلیل به کمک چند نشانگر.

	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	porosity	1/(inversion result)	0.059749	0.061488
2	porosity	Amplitude Weighted frequency	0.057566	0.060147
3	porosity	Cosine instantaneous phase	0.056103	0.059397
4	porosity	Integrate	0.054038	0.057885
5	porosity	Y-Coordinate	0.053162	0.056985
6	porosity	Integrated Absolute Amplitude	0.052437	0.056512
7	porosity	Second Derivative	0.051910	0.056814

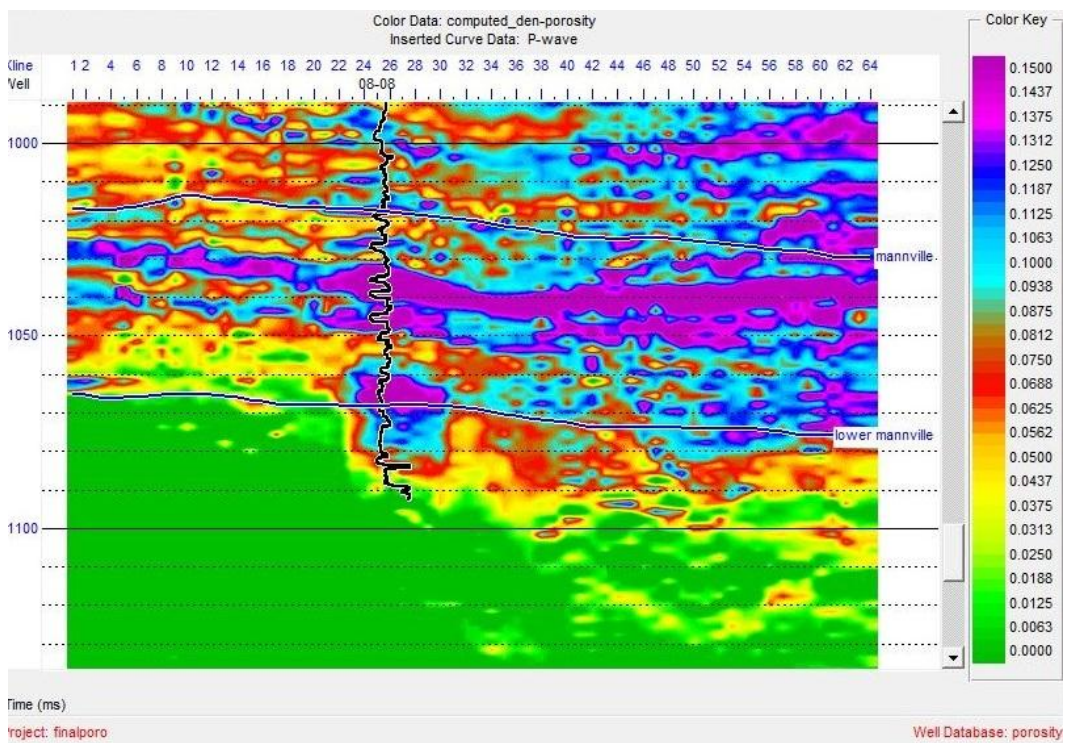
در شکل ۴-۱۰ نمودار متقاطع تخلخل واقعی و تخلخل محاسبه شده در محل چاه را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۴-۱۱ نگار تخلخل واقعی و محاسبه شده در محل چاه در کنار یکدیگر رسم شده‌اند. شکل‌های ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نشان می‌دهند که مقدار تطابق به‌دست آمده به کمک این روش ۶۲ درصد و خطایی معادل ۵ درصد دارد. نتیجه اعمال رابطه به‌دست آمده از طریق رگرسیون چند متغیره بر روی داده‌های لرزه‌ای و نشانگرهای آن در شکل ۴-۱۲ برای خط گیرنده ۹۵ رسم شده است.



شکل ۴-۹. نمودار متقاطع داده‌های تخلخل واقعی و تخلخل به‌دست آمده از روش تحلیل چندنشانگری در محل چاه‌ها.



شکل ۴-۱۰. مقایسه نگارهای تخلخل واقعی و تخمین زده شده توسط روش رگرسیون چندمتغیره در چاه‌ها.



شکل ۴-۱۱. مقطعی از تخلخل به‌دست آمده در محدوده چاه ۰۸-۰۸.

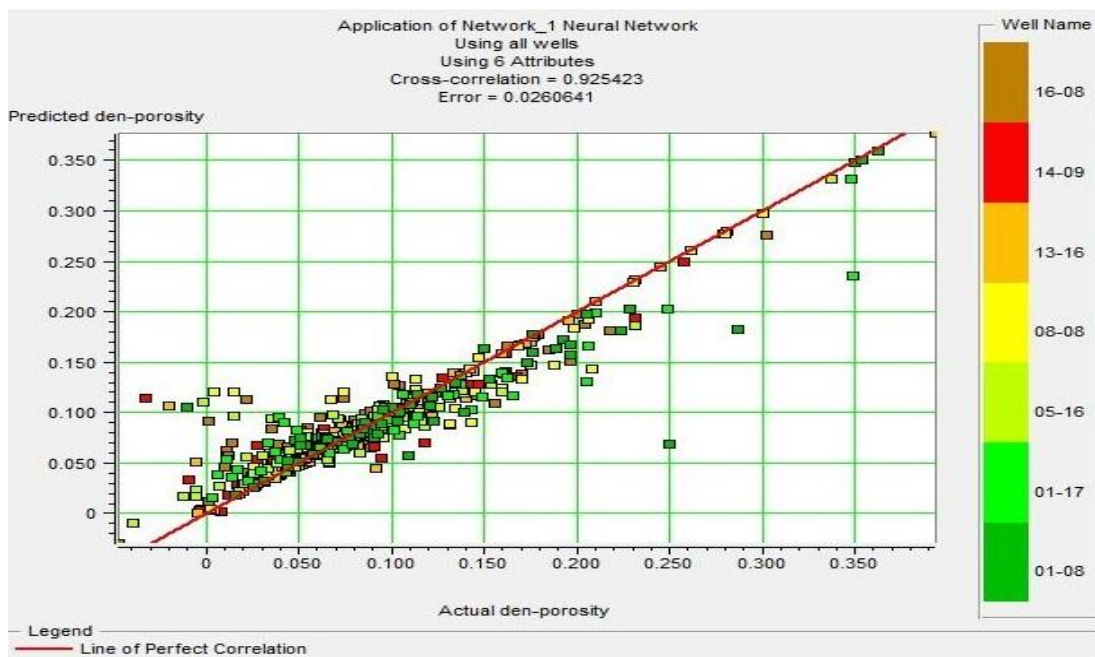
۴-۵-۲ تحلیل به کمک شبکه‌های عصبی

همانطور که بیان شد، شبکه عصبی یک الگوریتم ریاضی است که با وزن‌دهی به داده‌های ورودی، رابطه آن‌ها را با خروجی مشخص می‌کند. البته این رابطه می‌تواند غیرخطی بوده و وزن‌های اختصاص یافته به ورودی‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد. پرداختن به بحث ریاضی استفاده از شبکه عصبی و اثبات روابط ریاضی موجود در این روش، موضوع این مطالعه نیست.

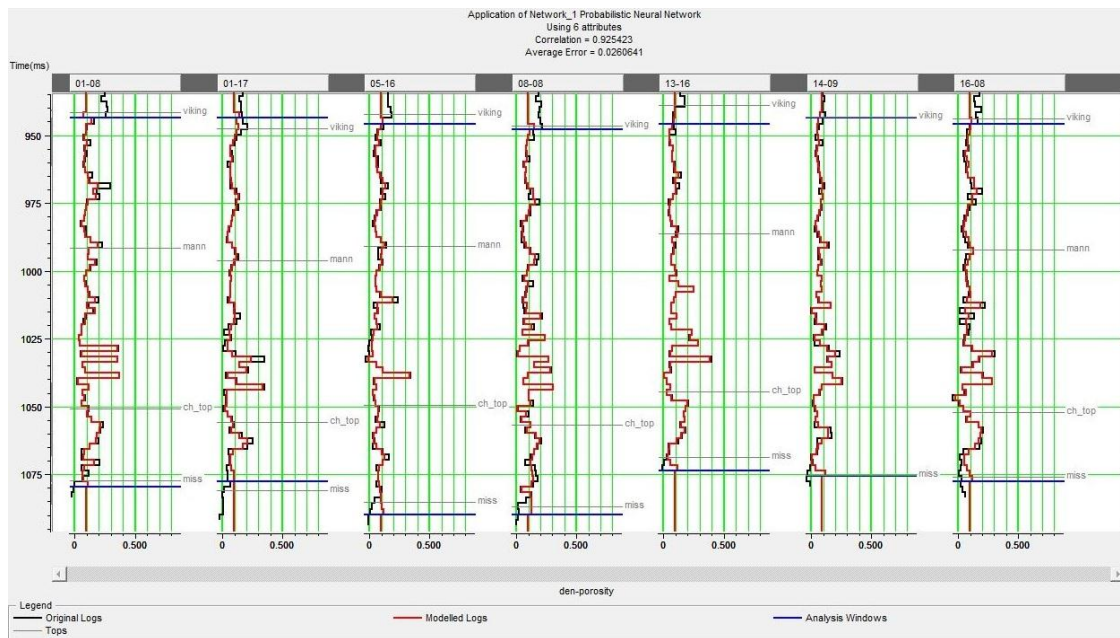
استفاده از شبکه عصبی طی دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول تعداد کمی از داده‌های ورودی و خروجی جهت یافتن و تشخیص رابطه بین این دو دسته داده، به‌عنوان نمونه‌های آموزشی به شبکه عصبی معرفی می‌شود. پس از آموزش (تشخیص) رابطه فوق از سوی شبکه عصبی، این رابطه به تمام ورودی‌ها اعمال شده و از شبکه عصبی خروجی گرفته می‌شود. بدیهی است که برای اینکار، دست کم داشتن نمونه‌هایی از خروجی برای آموزش شبکه ضروری است. این نمونه‌ها در محل چاه‌ها موجود هستند. بنابراین برای انجام تبدیل در این مطالعه، ابتدا مقادیر نشانگرها و تخلخل در محل چاه‌ها، به‌عنوان نمونه‌های آموزشی به شبکه معرفی و پس از آموزش شبکه، رابطه استخراج شده به تمام خطوط لرزه‌ای اعمال می‌گردد. در تحلیل به کمک شبکه‌های عصبی از نشانگرهای مشخص شده توسط رگرسیون چندمتغیره بخش قبلی استفاده خواهیم نمود. در این مطالعه از شبکه عصبی احتمالاتی که در اغلب تحقیقات نتایج بهتری از سایر شبکه‌های عصبی موجود نشان داده است، استفاده شده است.

نتایج تحلیل و تخمین تخلخل با شبکه عصبی احتمالاتی در شکل‌های ۴-۱۳، ۴-۱۴ و ۴-۱۵ نشان داده شده است. در شکل ۴-۱۳ نمودار متقاطع تخلخل واقعی و تخلخل محاسبه شده توسط شبکه عصبی احتمالاتی در محل چاه را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۴-۱۴ نگار تخلخل واقعی و محاسبه شده در محل چاه در کنار یکدیگر رسم شده‌اند. شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ نشان می‌دهند که مقدار تطابق به‌دست آمده به کمک این روش

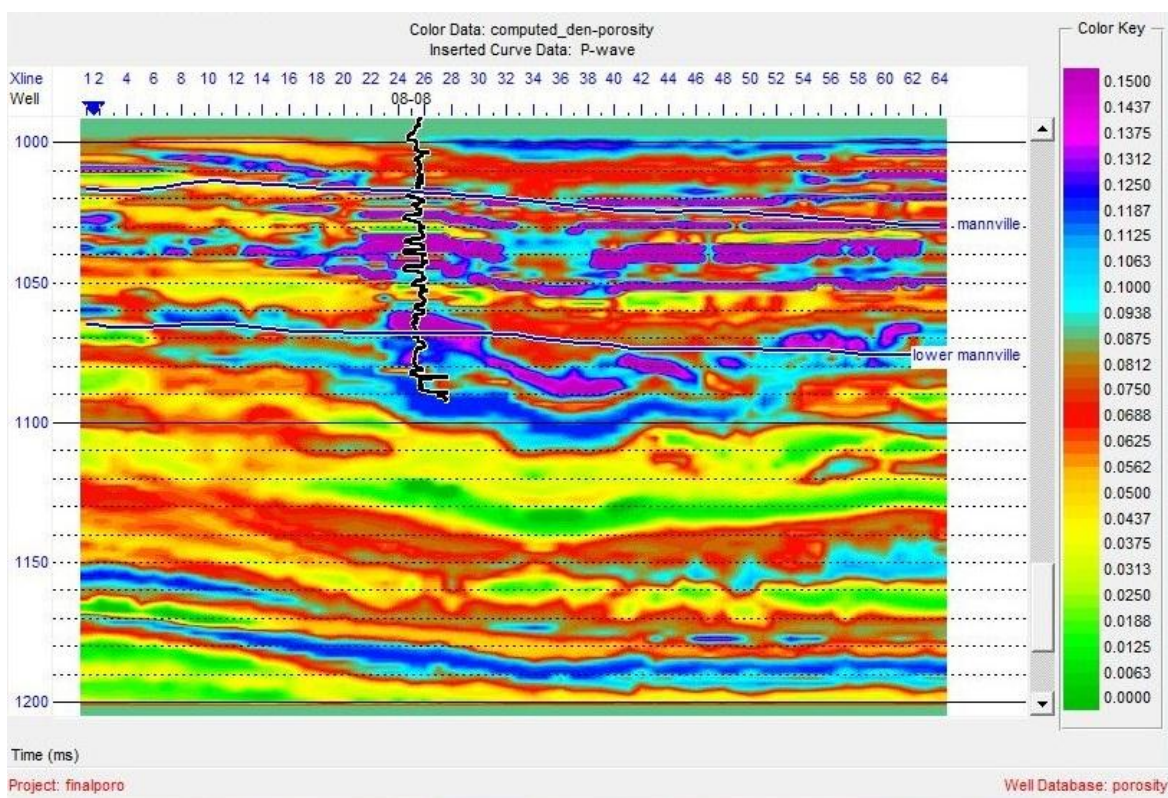
۹۲ درصد است و خطایی معادل ۲ درصد دارد. واضح است که نتایج گرفته شده توسط روش شبکه عصبی احتمالاتی دقیق‌تر از نتایج حاصل از روش رگرسیون چند متغیره است.



شکل ۴-۱۲. نمودار متقاطع داده‌های تخلخل واقعی و تخلخل به دست آمده بوسیله شبکه عصبی احتمالاتی در محل چاه‌ها.



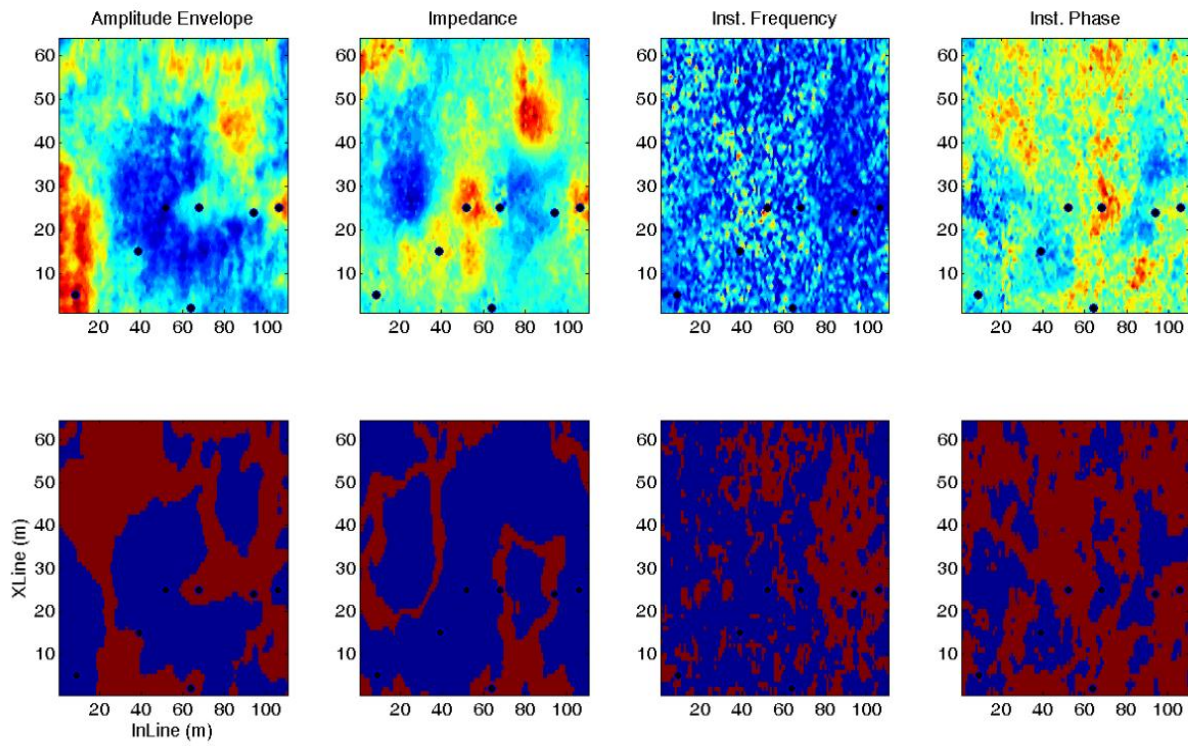
شکل ۴-۱۳. نمایش تطابق نگار تخلخل واقعی و محاسبه شده توسط شبکه عصبی احتمالاتی در محل چاه‌ها.



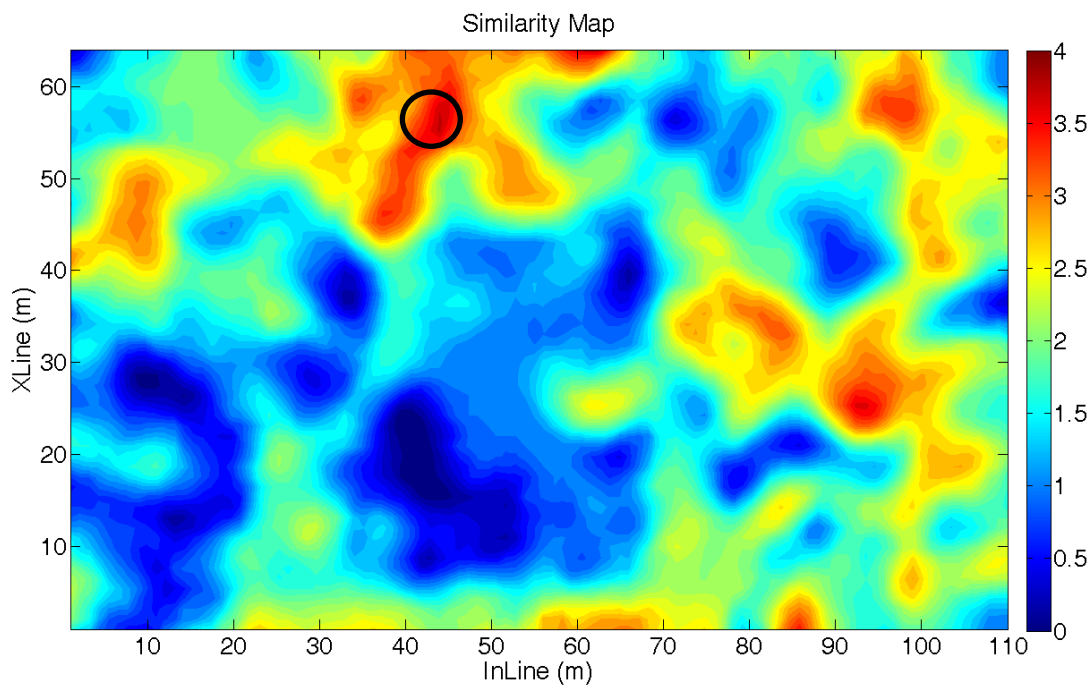
شکل ۴-۱۴. نتایج تخمین تخلخل در محدوده مورد مطالعه با اعمال شبکه عصبی PNN.

۳-۵-۴ تهیه نقشه شباهت

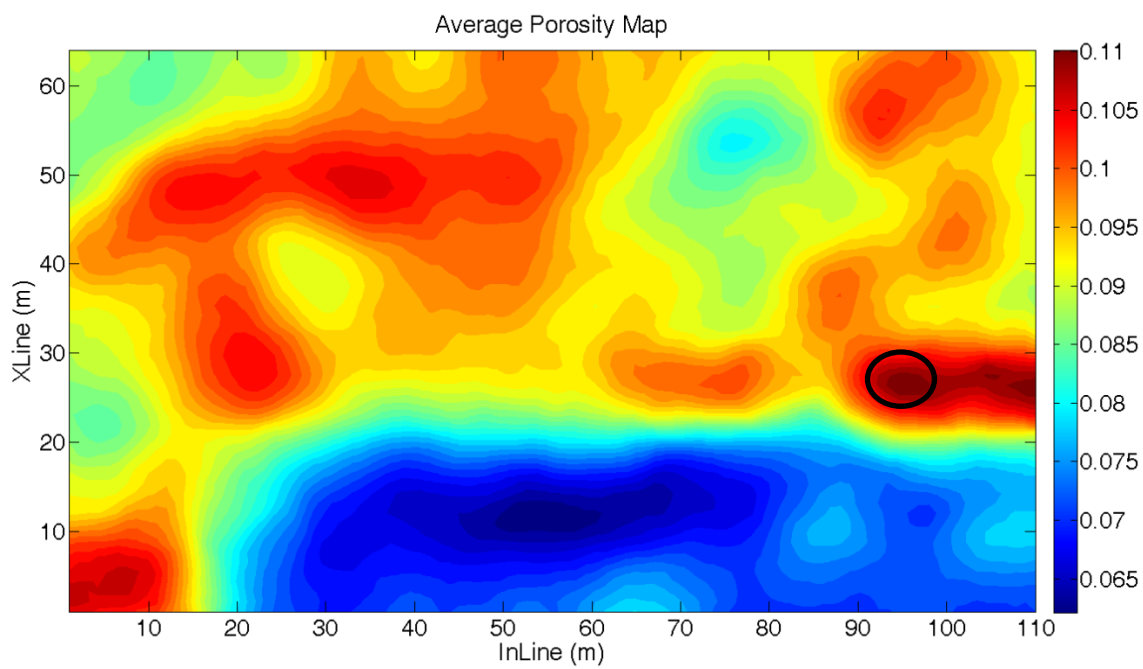
بعد از بررسی محدوده مورد مطالعه و به دست آوردن توزیع تخلخل، حال وقت آن است تا با استفاده از نقشه شباهت از نتایج کار خود مطمئن شویم. در این مطالعه چاه ۰۸ - ۰۸ را به عنوان چاهی که در نتیجه توزیع تخلخل، تخلخل بالایی را نشان می‌دهد، به عنوان چاه مبنا در نظر می‌گیریم و نقشه شباهت بین دو افق مانویل و مانویل پایین که احتمال حضور مخزن بیشتر است، محاسبه می‌کنیم. در این مطالعه از چهار نشانگر دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، فرکانس لحظه‌ای و مقاومت ظاهری لرزه‌ای استفاده می‌شود که در شکل ۴-۱۶ چهار نشانگر میانگین در بازه میان دو افق مذکور به همراه نقشه صفر-یک هر کدام نشان داده شده است. بمنظور ساخت نشانگرهای لرزه‌ای از نرم افزار همپسون و راسل استفاده شد. در شکل ۴-۱۷ نیز نقشه شباهت به دست آمده از مجموع چهار نقشه صفر-یک مربوط به چهار نشانگر دیده می‌شود که برای نمایش بهتر، داده‌ها نرم شدند. در شکل ۴-۱۸ نیز نقشه توزیع تخلخل (با استفاده از شبکه عصبی احتمالاتی) محاسبه شده مربوط به همان بازه زمانی نشان داده شده است. استفاده از این دو نقشه می‌تواند به مفسر کمک کند تا تفسیر دقیق‌تر و مطمئن‌تری ارائه دهد.



شکل ۴-۱۵. چهار نشانگر مورد استفاده به همراه نقشه‌های صفر-یک هر کدام از آن‌ها.



شکل ۴-۱۶. نقشه شباهت مربوط به نقطه مبنای چاه ۰۸-۰۸.



شکل ۴-۱۷. توزیع تخلخل در محدوده میان دو افق مانویل و مانویل پایین.

این دو نقشه یعنی نقشه توزیع تخلخل و نقشه شباهت از دو روش کاملاً متفاوت حاصل گردیده‌اند. با این حال هماهنگی رضایت بخش و قابل قبولی را می‌توان بین این دو نقشه مشاهده کرد. با دقت در نقشه شباهت به خوبی می‌بینیم که این نقشه از روندها پیروی می‌کند و نقاط شبیه به محل چاه ۰۸-۰۸ را نشان می‌دهد و ما را از درستی و صحت کار انجام شده در مراحل قبلی هم مطمئن می‌کند. به این ترتیب می‌توان نقاط مناسب و امیدوار کننده برای حفاری‌های آینده را نیز تعیین کرد. توجه به این مساله نیز بسیار مهم است که هر چه تغییرات نشانگرهای لرزه‌ای دور چاه بیشتر باشد، از اعتبار این نقشه کاسته می‌شود.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

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 هیدروکربنی نقش موثری ایفا کند و میزان ریسک را بطور قابل توجهی در ارزیابی ها کاهش دهد و بدین طریق باعث افزایش تولید و رشد اقتصادی شوند. تلفیق اطلاعات منابع مختلف از جمله لرزه نگاری، چاه نگاری، مغزه گیری و اطلاعات زمین شناسی با استفاده از تکنولوژی های جدید یکی از مسائل مهم در صنایع نفت و گاز است. اما مساله این است که با صرف این هزینه ها باز هم نمی توان تنها با تکیه بر یک روش در مورد محل حفاری های بهینه با اطمینان نظر داد. از این رو در این تحقیق در کنار تخمین توزیع تخلخل با کمک روش های متداولی چون رگرسیون و شبکه عصبی یک روش عملی برای ساده کردن آنالیز نقشه های نشانگرهای لرزه ای در مناطق اکتشافی ارائه دادیم. نتیجه این فرایند چیزی بود که ما آن را نقشه شباهت نامیدیم تا میزان شباهت محدوده مورد مطالعه را نسبت به یک نقطه مبنا به نقشه در بیاوریم. با توجه به هدف اصلی این تحقیق که پیدا کردن نقاط اکتشافی امیدوارکننده بود، ما نقطه مبنا را یک چاه تولیدکننده در نظر گرفتیم. که این نقطه با توجه به اهداف تحقیقاتی مختلف می تواند تغییر کند. مثلا می تواند چاهی خشک باشد تا نقطه ای را برای ما معلوم کند که باید از برنامه اکتشافی حذف شوند. با کنار هم قرار دادن نتایج این دو نقشه دید کاملتری نسبت به محدوده مورد مطالعه به دست آوردیم و نقطه بهینه برای حفاری بعدی را پیشنهاد دادیم. ما بر این باوریم که:

- نقشه شباهت یک ابزار قوی برای حمایت و بهبود طرح های اکتشافی و ساده کردن مباحث مفسران، هنگام ارزیابی و ارائه چشم اندازها است.
- نقشه شباهت آنالیزی ساده و بدون پیچیدگی های خاص است و بدون نیاز به نگارهای چاه پیمایی به آنالیز نشانگرها می پردازد.
- آنالیز شباهت با خلاصه کردن اطلاعات موجود در تعداد زیادی از نشانگرها، استفاده از آن ها را بهینه می کند.
- آنالیز انجام شده برای تهیه نقشه توزیع تخلخل، تنها همین کاربرد را دارد اما نقشه شباهت کاملا بدون قید است و برای هر نوع داده ای بکار می رود.

برای درک بیشتر استفاده از این روش، نیازمند انجام کارهای بیشتر در مناطقی با اطلاعات پتروفیزیکی و تولید بیشتر هستیم.

برای تحقیقات آینده می توان پیشنهادات زیر را در نظر گرفت:

- پیش‌بینی می‌شود که در آینده تجسم سه بعدی نقشه شباهت، درک مخزن را تا حد زیادی بالا خواهد برد.
- می‌توان با استفاده از نشانگرهای بیشتر تفکیک‌پذیری نقشه را بالا برد. در ضمن می‌توان از تخلخل به‌دست آمده در مراحل قبل هم به‌عنوان یک نشانگر در آنالیز شباهت استفاده نمود.
- در این مطالعه چاه مبنا یک چاه با تخلخل بالا بود. می‌توان با تغییر اهداف تحقیق نقطه مبنا را نیز متناسب با آن تغییر داد. می‌توان چاه مبنا را چاهی با تخلخل پایین در نظر گرفت تا بتوان نقاطی که باید از برنامه اکتشافی حذف شوند با اطمینان بیشتری تعیین کرد.

منابع فارسی

۱. روشندل کاهو، ا.، سیاهکوهی، ح. ر.، (۱۳۸۷)، تخمین موجک چشمه لرزه‌ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
۲. جهانبخشی، ر.، امامزاده، ا.، علیاری شوره‌دلی، م.، هاشمی، ع.، میری، ر.، (۱۳۹۰)، پیش‌بینی گیر اختلاف فشاری لوله‌های حفاری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی احتمالی در حفاری فراساحلی میداین خلیج فارس، فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش نفت، شماره ۶۵، ۴۷-۵۷.
۳. ساطعی، و.، مختاری، م.، (۱۳۸۸)، انجام برگردان داده‌های لرزه‌ای بازتابی و تاثیر آن در تخمین تخلخل در سازند بورگان در یکی از میداین نفتی جنوب غرب ایران، فصلنامه زمین، شماره ۴، دوره ۳.
۴. هزیننه، م.، نوروزی، غ.، مختاری، م.، (۱۳۸۵)، شیوه‌های مختلف استخراج موجک لرزه‌ای، اولین کنگره مهندسی نفت ایران.

منابع انگلیسی

5. Al-mogbel, A. M. S., (2002), Reservoir characterization using seismic reflectivity and attributes, M.Sc. thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.
6. Aleman, P.B., (2004), M.S thesis, Acoustic Impedance inversion of lower Permian carbonate buildup in the Permian basin, Texas A&M University.
7. Badley, M. E., (1985), *Practical seismic interpretation*, Prentice- Hall, London, pp 266.

8. Barnes, A.E., (2007), A tutorial on complex seismic trace analysis, *Geophysics*, **72**, **6**, pp **W33–W43**.
9. Bradley, H., (1987), *Petroleum Engineering Handbook*, SPE.
10. Brown, A., (2001), Understanding seismic attributes, *Geophysics*, **66**, **1**, pp **47-48**.
11. Chopra, S., and Marfurt, K., (2005), Seismic attributes- A historical perspective: *Geophysical*, **70**, 3SO-28So.
12. De Figueiredo, R. J. P., (1982), Pattern recognition approach to exploration in R. P. de Figueiredo, ed., *Concepts and techniques in oil and gas exploration: SEG*, pp **267-286**.
13. Dorrington, K. p., and linkz, C. A., (2004), genetic-algorithm/neural-network approach to seismic attribute selection for Well-log prediction: *Geophysics*, **69**, pp **212-221**.
14. Draper, N.R., and Smith,H., (1966), *Applied regression analysis: john Wiley & Sons, Inc.*
15. Emre, A.F, (2005), M.S thesis, Reservoir characterization using intelligent seismic inversion, College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University.
16. Graebner, R., and Wason, H.M, (1981), Three dimensional methods in seismic exploration: science, **211**, pp **535-540**.
17. Hampson, D.P., Schuelke, J.S., and Quirein, J.A., (2001) Use of multi attribute transforms to predict log properties from seismic data, *Geophysics*, **66**, 1, pp **220–236**.
18. Hampson Russell software Manual, (2007).
19. Hampson Russell Software Manual, (1999).
20. Hardage, B. A., (1987), *Seismic stratigraphy*, Elsevier, Amsterdam, pp. **432**.
21. Kalkomey, C. T., (1997), Potential risks when using seismic attributes as predictors of reservoir properties: *The Leading Edge*, **16**, pp **247-251**.
22. Krose, B., and Van der Smagt, P., (1996), *An introduction to Neural Networks: University of Amsterdam*.
23. Latimer, R.B., and Davison, R., (2000), An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derive acoustic impedance data, *The Leading Edge*, pp **242-256**.
24. Leiphart, D.J., and 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*, **66**, **5**, pp **1349–1358**.
25. Lindseth, R.O., (1979), Synthetic sonic logs, A process for stratigraphic interpretation, *Geophysics*, **44**, pp **3–26**.

26. Masters, T., (1995), *Advanced algorithms for neural networks*, John Wiley & Sons, Inc.
27. Michelena, R. J., Gonzalez, S. M., and Capello, M., (1998), Similarity analysis: a new tool to summarize seismic attributes information: *The Leading Edge*, **17**, pp **545-548**.
28. Oldenburg, D. W., Scheuer, T., and Levy, S., (1983), Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms, *Geophysics*, **48**, pp **1318-1337**.
29. Parker, D.B., (1985), *Learning-logic: Technical Report Tr-47*, Cambridge, MA. Massachusetts Institute of technology, Center for Computational Research in Economics and management science.
30. Russell, B.H., (1991), *Introduction to seismic inversion methods: SEG Continuing Education Short Course*.
31. Sheriff, R. and L. Geldart., (1994), *Exploration Seismology*, Cambridge University press, **2**, pp. **3**
32. Specht, D., 1990, Probabilistic neural networks, *Neural Networks* **3**, **1**, pp **109-118**.
33. Specht, D., (1991), A general regression neural network: *IEEE Trans. Neural networks*, **2**, **568-576**.
34. Schultz, P. S., Ronen, S., Hattori, M., and Corbett, C., (1994), Seismic guided estimation of log properties: parts a, and b. *The Leading Edge*, **13**, pp **305-310**, pp **674-678**.
35. Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., (1979), Complex seismic trace analysis: *Geophysics*, **44**, pp **1041-1063**.
36. Taner, M.T., (2001), Seismic Attributes, *CSEG*, pp **48-56**.
37. Verwest., Masters. R., and Sena, A., (2001), *Elastic Impedance Inversion.*, Arco Exploration.
38. Yilmaz., (2001), *Seismic Data Analysis*, vol. 1, Society of Exploration Geophysicists, **2**, pp **257**.

Abstract

Determination of porosity distribution is important to hydrocarbon supply computing, facies analysis, optimized planning for field expansion and decrease in drilling risk and cost. Regression and neural networks are of prevalent methods used to analysis multi attributes. High drilling costs prevents the interpreter from making absolute decision about determining promising exploratory areas by the application of merely one single method. That's why in this study we introduce a new analysis method named similarity map, in addition to porosity distribution prediction using previously mentioned methods. This statistical method ease the interpreter's task of analyzing tens of seismic attributes by summarizing whole information in one single map. This map, shows the resemblance of the seismic response of each region of the whole studding area with respect to a selected location in the field. In this paper seismic inversion has been conducted in order to estimate the porosity distribution based on acoustic impedance within the studied area. Ultimately, we obtain a porosity map of given area. The inputs of the similarity analysis include a set of uncorrelated seismic attribute maps. Four different attribute volumes were generated then used in the study: instantaneous amplitude, instantaneous phase, instantaneous frequency, and acoustic impedance and the well "08-08" (high producing well) were chosen as the reference well and the similarity between the area and the reference point was mapped. The comparison between the results obtained from "similarity map" and "porosity map" in reservoir zone presents a convincing correlation between the two maps found through different methods each having specific information for the interpreters. Similarity map being a confirmation on validity of porosity map, leaded us to propose a new point for the following optimum point of drilling at about 45th inline and 55th xline.

Key words: Similarity map, Porosity distribution, Seismic attribute, Optimal drilling point, Reservoir characterization



Shahrood University of Technology
Faculty of mine engineering, oil and geophysics

Master of Science Thesis

**Intrinsic prospective unit identification at hydrocarbon reservoir by similarity
map and regression analysis of seismic data and well logs.**

Zohreh Zakeri Nejad

Supervisor:

Dr. Ali Nejati Kalate

Advisor:

Dr. Amin roshandel Kahoo

january – 2012