

تخمین پارامترهای پتروفیزیکی با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای به وسیله شبکه عصبی در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران

علی اصغر حسنی پاک

استاد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

میترا عزیزیان

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد اکتشاف نفت - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۱۲/۱۶، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده، تاریخ تصویب ۸۴/۴/۱۱)

چکیده

در این روش با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای، مشخصات پتروفیزیکی در طول یک خط لرزه‌نگاری به دست آمده است. ابتدا با استفاده از نگاشت عبوری از محل چاه، نشانگرهای مربوط به نگاشت لرزه ای محاسبه شده و به عنوان ورودیهای شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند، خروجیهای شبکه نیز پارامترهای پتروفیزیکی به دست آمده از چاه می باشند. شبکه مورد نظر با ورودی و خروجی ذکر شده، آموزش دیده و پس از آموزش شبکه نشانگرهای لرزه ای از نگاشتهای واقع بر روی خط لرزه نگاری استخراج شده و با اعمال به شبکه، خروجی متناظر با آن که همان پارامترهای پتروفیزیکی می باشند در طول مقطع لرزه ای محاسبه گردید.

واژه های کلیدی: پارامترهای پتروفیزیکی، نشانگرهای لرزه ای، شبکه عصبی، منظم سازی داده ها (کامپوزیت سازی)، تخمین پارامترهای پتروفیزیکی

مقدمه

می باشد. پس از آموزش شبکه با داده های ورودی و خروجی و نیز انجام اعتبارسنجی^۱ بر روی شبکه آموزش دیده، می توان داده های لرزه ای را به شبکه اعمال نموده و پارامترهای پتروفیزیکی مورد نظر را بدست آورد. استفاده از شبکه های عصبی به منظور تخمین خواص مخزنی، در چندین مقاله از (Taner 1998, 2001) ارائه شده است.

محاسبه نشانگرهای لرزه ای

نشانگرهای لرزه ای به کلیه پارامترهایی گفته می شود که از مقطع لرزه ای بدست می آیند. در نتیجه همه پارامترها از جمله دامنه، سرعت، AVO و سایر مقادیر حاصله از مقطع لرزه ای، جزء نشانگرهای لرزه ای محسوب می شوند. [۱]

نشانگرهای لرزه ای دارای تعداد بسیار زیادی بوده و به طرق مختلف می توان نشانگرهای متفاوتی را از مقطع لرزه ای محاسبه نمود. نشانگرهای لرزه ای به دو گروه عمده نشانگرهای فیزیکی و نشانگرهای هندسی تقسیم

با توجه به هزینه های سنگین حفاری و نیز نیاز روز افزون به منابع انرژی از جمله نفت و گاز، حفر چاههای جدید تنها به منظور انجام عملیات اکتشافی (که قاعدتاً باید در محدوده ای کوچکتر و با حفر تعداد بیشتری چاه صورت گیرد) خیلی مقرون به صرفه به نظر نمی رسد. لذا در سالهای اخیر سعی بر آن بوده که با استفاده از روشهای غیر مستقیم بتوان به خصوصیات مخزنی در میادین نفتی پی برد. روشهای متعددی برای این منظور به کار گرفته شده که مهمترین آنها منطق فازی و شبکه های عصبی می باشند.

آنچه که در اینجا قصد انجام آن وجود دارد، تخمین و یا به عبارتی پیش بینی پارامترهای پتروفیزیکی مخزن در طول یک خط لرزه نگاری و در فاصله بین چاههای موجود در طول آن خط، با استفاده از تکنیک شبکه های عصبی است. آنچه به عنوان ورودی شبکه مورد استفاده قرار می گیرد، نشانگرهای لرزه ای هستند که باید از مقطع لرزه نگاری استخراج شوند. خروجی و یا هدف مورد نظر، پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از جمله تخلخل، میزان اشعه گامای سازند و سرعت عبور صوت از درون سازند

اولیه و زوج هیلبرت آن تشکیل یافته است و رابطه آن به صورت زیر تعریف می گردد [۲]:

$$z(t) = f(t) + i g(t) \quad (1)$$

که در آن $f(t)$ ، نگاشت لرزه‌ای اولیه ثبت شده توسط دستگاه گیرنده لرزه‌ای است و $g(t)$ زوج هیلبرت آن می باشد. زوج هیلبرت نگاشت لرزه‌ای از روی نگاشت لرزه‌ای بدست آمده و دارای $\frac{\pi}{2}$ اختلاف فاز با نگاشت اولیه می باشد

با بدست آوردن نگاشت مختلط، حال می توان پوش دامنه و سایر نشانگرهای مورد نظر را محاسبه نمود: [۱]

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

برای محاسبه زوج هیلبرت نگاشت لرزه‌ای و نیز نشانگر پوش دامنه از زبان برنامه نویسی MATLAB استفاده شده است.

فاز

نشانگر فاز بیانگر فاز موج لرزه‌ای در هر لحظه و یا هر مکان عمقی است. برای محاسبه این نشانگر نیز از نگاشت لرزه‌ای مختلط استفاده می شود. رابطه آن به صورت زیر می باشد [۲]:

$$\varphi(t) = \text{Arctg} \frac{g(t)}{f(t)} \quad (3)$$

برای محاسبه این نشانگر نیز از زبان برنامه نویسی MATLAB استفاده شده و نشانگر فاز در طول نگاشت لرزه‌ای محاسبه گردیده است.

فرکانس

این نشانگر، فرکانس موج لرزه‌ای را در هر لحظه بدست می دهد و رابطه آن به صورت زیر است [۲]:

$$v(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (4)$$

برای محاسبه این نشانگر می توان از زبان برنامه نویسی MATLAB استفاده نموده و نشانگر فرکانس را در طول نگاشت لرزه‌ای بدست آورد.

می شوند. نشانگرهای فیزیکی بیشتر بیانگر خصوصیات فیزیکی و بازتابی لایه‌ها می باشند. نشانگرهای هندسی بیانگر خصوصیات هندسی از جمله پیوستگی جانبی لایه‌ها می باشد [۱]. از آنجا که آنچه در این پروژه مد نظر می باشد نمایانگر خصوصیات فیزیکی لایه‌ها می باشد، از نشانگرهای فیزیکی برای انجام این کار استفاده شده است. نشانگرهایی که مورد استفاده قرار گرفته اند عبارتند از: دامنه، پوش دامنه، فاز و فرکانس. این نشانگرها جزء نشانگرهای اصلی و اولیه لرزه‌ای هستند و خصوصیات فیزیکی و بازتابی لایه‌ها را بخوبی منعکس می سازند. نشانگرهایی که در اینجا بکار گرفته شده‌اند، به ترتیب زیر محاسبه شده اند:

دامنه

دامنه، همان شدت نگاشت لرزه‌ای در هر لحظه است که توسط دستگاه گیرنده لرزه‌ای به ثبت رسیده است. به دلیل حجم بسیار زیاد داده‌های لرزه‌ای برای اینکه بتوان این داده‌ها را در کامپیوترهای موجود در سر زمین و نیز مراحل بعدی کارهای لرزه‌ای از جمله پردازش و تفسیر مورد استفاده قرار داد، فرمت خاصی توسط انجمن ژئوفیزیستهای اکتشافی^۲ برای این داده‌ها تعریف شده است که به SEG Y معروف است. این فرمت عددی نبوده و تنها توسط نرم افزارهای ژئوفیزیکی قابل شناسایی می باشد. برای اینکه بتوان این داده‌ها را مورد استفاده قرار داد، ابتدا باید فرمت آنها را به فرمت عددی تبدیل نمود. به این منظور توسط نرم افزار ویژه ای کلیه نگاشتهای لرزه‌ای مقطع مورد مطالعه از فرمت SEG Y به فرمت ASCII که عدد بوده و قابل شناسایی توسط زبانهای برنامه نویسی می باشد، تبدیل می گردند. با ASCII شدن نگاشت لرزه‌ای، دامنه نگاشت لرزه‌ای ثبت شده توسط دستگاه گیرنده لرزه‌ای به صورت عدد بدست می آید. این نشانگر یکی از اصلی ترین نشانگرهای لرزه‌ای است و دربرگیرنده اطلاعات بسیاری از خصوصیات لایه‌های زمین می باشد.

پوش دامنه

پوش دامنه بیانگر بیشینه مقدار دامنه موج در هر لحظه است. برای محاسبه این نشانگر باید نگاشت لرزه‌ای مختلط را محاسبه نمود. این نگاشت از نگاشت لرزه‌ای

استفاده از تکنیک شبکه های عصبی

شبکه های عصبی با الهام از سیستم عصبی مغز انسان در حالت بسیار ساده شده ای قابلیت حل مسائل غیر خطی را دارا می باشند [۶]. منطق شبکه عصبی به این صورت است که در ابتدا تعدادی داده به عنوان داده های آموزشی به شبکه وارد می شود، خروجی متناظر با این داده ها نیز در دسترس می باشد. با استفاده از الگوریتم آموزشی اعمال شده به شبکه از روی داده های موجود، خروجی شبکه محاسبه می شود. خروجی حاصل از شبکه با خروجی مطلوب شبکه مقایسه شده و سپس خطای موجود بین خروجی مطلوب و خروجی شبکه محاسبه شده و به کمک عملیات توزیع خطا، خطای حاصله بر روی پارامترهای شبکه که همان مقادیر وزن و بایاس می باشند توزیع می گردد. با توزیع خطا در هر مرحله بر روی این پارامترها، اینها به روز شده و به مقادیر نهایی وزن و بایاس که کمترین خطای ممکن و بهترین تخمین را بدست می دهد، نزدیکتر می شوند [۴].

شبکه عصبی که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است، شبکه پرسپترون سه لایه با الگوریتم پس انتشار خطا می باشد [۶]. ورودیهای شبکه یا نرونهای ورودی را نشانگرهای لرزه ای، نرونهای لایه میانی ۳۰ عدد و نرونهای خروجی را پارامترهای پتروفیزیکی تشکیل می دهند.

به منظور انجام صحیح آموزش بر روی شبکه، علاوه بر سری داده های آموزشی که مورد استفاده قرار می گیرد، یک سری داده نیز به عنوان انجام اعتبارسنجی به شبکه وارد می شود. این داده ها در آموزش شبکه وارد نمی شوند ولی پس از اینکه شبکه توسط داده های آموزشی آموزش یافت با این داده ها به نوعی کنترل بر روی شبکه انجام می گیرد. به این صورت که با استفاده از ورودیهای سری داده اعتبارسنجی و شبکه آموزش دیده خروجی آنها محاسبه می شود. اگر خطای داده های آموزشی شبکه کاهش یابد ولی خطای حاصله در سری داده های اعتبارسنجی افزایش یابد فرآیند آموزش شبکه متوقف می شود. در این صورت است که شبکه به طور صحیح آموزش می بیند و داده ها را از بر نمی کند. اگر چنین حالتی در شبکه عصبی پیش آید، شبکه، فقط توانایی تخمین با داده های سری آموزشی را خواهد داشت و در صورت اعمال داده های دیگری به شبکه قادر به

کلیه این نشانگرها در طول نگاشت لرزه ای و همچنین در طول مقطع لرزه ای محاسبه شده و به عنوان ورودیهای شبکه عصبی، جهت آموزش آن مورد استفاده قرار گرفتند.

پارامترهای پتروفیزیکی

پارامترهای پتروفیزیکی که در اینجا به عنوان خروجیهای شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفته اند، عبارتند از تخلخل (Phi) میزان اشعه گامای سازند (GR) و زمان عبور موج از درون سازند (ΔT).

تخلخل بیانگر خلل و فرج موجود در سازند است و با در دست داشتن میزان تخلخل سازند، می توان از حجم هیدروکربور موجود در سازند آگاهی پیدا کرد. میزان اشعه گامای سازند به منظور تعیین حجم شیل و یا رس موجود در سازند اندازه گیری می شود. تعیین مناطق شیلی یکی از موارد بسیار مهم در ارزیابی های پتروفیزیکی است، زیرا غیر از اینکه شیل لیتولوژی نامناسبی در مخزن می باشد ممکن است موجب تفسیرهای نادرستی از مقادیر لاگهای پتروفیزیکی گردد. زمان عبور موج در تعیین لیتولوژی سازند بسیار مفید است، زیرا با در دست داشتن زمان عبور موج از درون سازند در فواصل عمقی مختلف و با استفاده از جداول مربوطه که برای لیتولوژیهای مختلف زمان عبور موج را نشان می دهند، می توان لیتولوژی سازند را در فواصلی که زمان عبور موج در دسترس باشد مشخص نمود. همچنین با استفاده از این پارامتر پتروفیزیکی می توان تخلخل سازند را نیز تا حدودی مشخص نمود. هر چه سازند متراکم تر باشد زمان عبور موج کمتر است و هر چه تخلخل سازند بیشتر باشد زمان عبور موج از درون سازند بیشتر خواهد بود [۷].

لازم به ذکر است که لاگهای موجود از دقت بالایی برخوردار بوده و کلیه تصحیحات پتروفیزیکی لازم از جمله اثر فرادیواره و فرو دیواره (لایه های بالایی و پایینی محدوده مورد بررسی)، اثر رس، اثر گل حفاری، اثر قطر چاه و سایر عوامل تأثیر گذار بر مقادیر ثبت شده توسط لاگ، بر روی آنها انجام شده و لاگها تا حد ممکن بازتاب خصوصیات محیط تحت بررسی می باشند.

برای آموزش بهینه شبکه، حالت‌های مختلفی از داده‌های ورودی در نظر گرفته شد. هر یک از این حالتها و دلایل انتخاب آنها به ترتیب در زیر توضیح داده می‌شود:

الف- آموزش با داده‌های اولیه

در این حالت داده‌های ورودی همان نشانگرهای لرزه‌ای هستند که در فواصل دو متری در نگاشت لرزه‌ای ثبت شده‌اند و بدون اعمال هیچ تغییری از داده‌های اولیه برای آموزش شبکه استفاده گردید تا پس از مشاهده نتایج در مورد چگونگی ادامه کار تصمیم‌گیری گردد. تعداد داده‌های ورودی جهت آموزش شبکه ۲۰۰ داده در هر یک از نشانگرهای لرزه‌ای است و ۵۰ داده نیز جهت اعتبارسنجی در نظر گرفته شد.

آموزش شبکه با این سری داده‌ها انجام شد و نتایج آن در شکل‌های (۲) تا (۴) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصله در این مرحله از دقت چندانی برخوردار نبوده و ضریب همبستگی بین خروجی مطلوب و خروجی حاصل از شبکه $R^2 = 0.6 - 0.7$ می‌باشد.

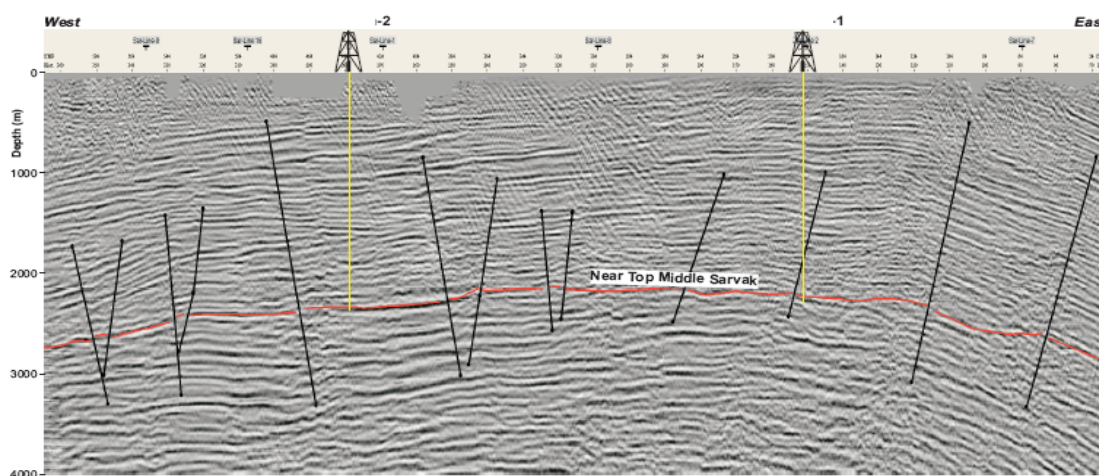
پس از مشاهده این نتایج تصمیم گرفته شد تا حالت‌های دیگری از داده‌های ورودی جهت آموزش بهینه شبکه مورد استفاده قرار گیرد. به همین جهت از انجام منظم سازی بر روی داده‌ها استفاده گردید.

انجام تخمین بر روی آنها نمی‌باشد. از اینرو لزوم انجام اعتبارسنجی در شبکه عصبی مشخص می‌گردد [۵].

آنچه که در این پروژه جهت انجام آموزش شبکه و سپس تخمین داده‌ها در دسترس است، داده‌های پتروفیزیکی دو حلقه چاه و یک خط لرزه‌نگاری می‌باشد که هر یک از چاهها در یک سمت خط لرزه‌نگاری قرار دارد (شکل ۱). در هر یک از چاهها نیز سه پارامتر پتروفیزیکی GR، Phi و ΔT اندازه‌گیری شده است. خط لرزه‌نگاری نیز به فرمت SEG Y بوده که توسط نرم افزار ویژه ژئوفیزیکی به فرمت عددی ASCII تبدیل شده است. در نگاشت لرزه‌ای در فواصل دو متری دامنه موج ثبت شده است که پس از تبدیل به ASCII نیز همان اندازه‌گیری دو متری در دسترس بود.

برای آموزش شبکه، نگاشت لرزه‌ای عبوری از نزدیک یکی از چاهها انتخاب شده و نشانگرهای لرزه‌ای مورد نیاز آن استخراج شده و به عنوان ورودی شبکه مورد استفاده قرار گرفتند. پارامترهای پتروفیزیکی چاه نیز به عنوان خروجی مطلوب شبکه مورد استفاده قرار گرفتند.

محدوده اطراف فاصله مخزنی، یعنی از عمق ۲۱۳۴ تا ۲۶۳۴ متری که پارامترهای پتروفیزیکی در این فاصله اندازه‌گیری شده اند جهت آموزش شبکه بکار گرفته شد. تا عمق ۲۵۳۴ متری برای داده‌های آموزشی و از عمق ۲۵۳۴ تا ۲۶۳۴ متری برای داده‌های اعتبارسنجی در نظر گرفته شد.



شکل ۱: مقطع لرزه‌ای مورد مطالعه و چاههای حفر شده بر روی آن (چاههای ۱ و ۲).

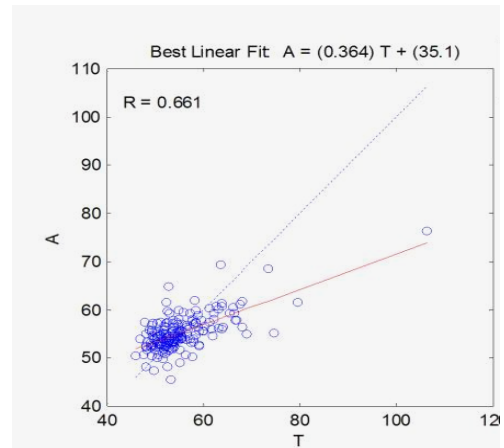
منظم سازی

خصوصیات یک متغیر ناحیه‌ای تحت تأثیر بزرگی بخشی است که به طور فیزیکی تحت عنوان نمونه همگن شده و مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. در تخمینی که از داده‌های نقطه‌ای موجود در یک حجم استفاده می‌شود، داده‌ها متعلق به نمونه‌ای به حجم V_0 می‌باشد که در مرکز آن قرار داده می‌شود. فرآیند همگن سازی هر نمونه و به دنبال آن اندازه‌گیری کمیت مورد نظر روی آن متغیر ناحیه‌ای را اصطلاحاً منظم سازی می‌گویند. در واقع همگن سازی موجب از بین رفتن تغییرپذیری در مقیاس کوچک می‌شود و این همان چیزی است که موجب نوعی منظم سازی می‌شود [۵].

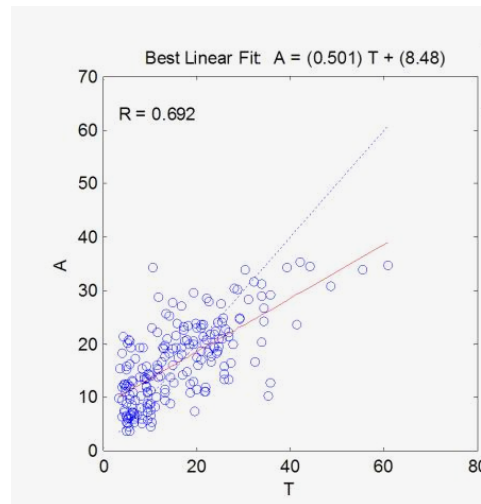
هر چه حجم نمونه‌ها کمتر باشد، واریانس بین آنها بیشتر است و برعکس با افزایش حجم نمونه‌ها واریانس بین آنها کاهش می‌یابد. در عمل بندرت می‌توان داده‌های نقطه‌ای مانند $Z(x)$ در دست داشت. اغلب داده‌های در دسترس $Z_v(x)$ ، روی پایه مشخصی مانند $V(x)$ تعریف می‌شوند. یکی از پایه‌های متداول، فواصل اندازه‌گیری پارامترهای پتروفیزیکی است که در این حالت مقدار هر پارامتر در واقع میانگین آن در طول مشخصی از فاصله اندازه‌گیری است. با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت واریانس نمونه‌هایی که مربوط به بلندی هستند کمتر از واریانس نمونه‌هایی است که مربوط به طول کوتاهتری می‌باشند و این داده‌ها دارای حالت همگن تری هستند [۵].

منظم سازی ۴ متری

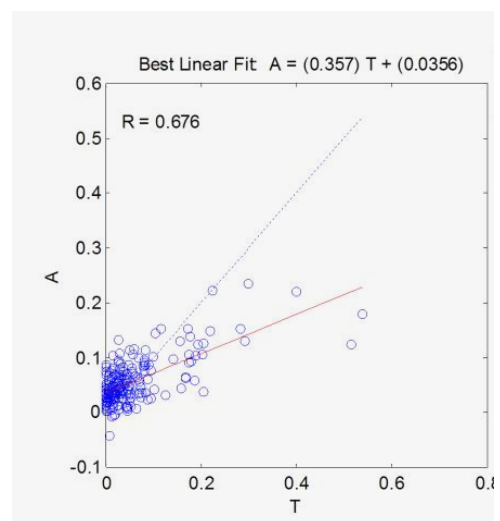
همانطور که گفته شد جهت انجام بهینه آموزش شبکه نسبت به انجام منظم سازی (نرمال سازی) داده‌ها تصمیم گرفته شد. به کمک این روش پراکندگی داده‌ها از بین رفته و داده‌ها حالت همگن تری پیدا خواهند کرد. اولین سری داده منظمی که بر روی داده‌ها تهیه شد، در فواصل چهار متری یعنی دو به دو بر روی نمونه‌ها بود. به این صورت که مقدار دامنه نداشت لرزه‌ای و یا پارامترهای پتروفیزیکی، در هر دو نمونه متوالی با یکدیگر جمع شده و عدد حاصل بر دو تقسیم گردید. به این ترتیب داده‌های منظم چهار متری نشانگرهای لرزه‌ای (ورودیهای شبکه) و پارامترهای پتروفیزیکی (خروجیهای شبکه) آماده شد. در این حالت تعداد داده



شکل ۲: نمودار آموزش شبکه با داده‌های اولیه لرزه‌ای، خروجی شبکه پارامتر ΔT ، خروجی مطلوب و A خروجی شبکه.

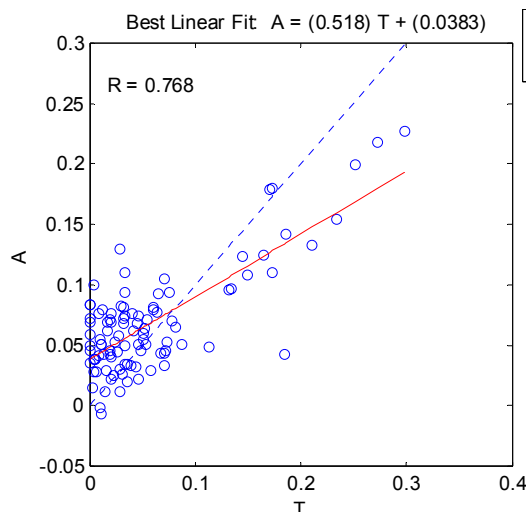


شکل ۳: نمودار آموزش شبکه با داده‌های اولیه لرزه‌ای، خروجی شبکه پارامتر GR.



شکل ۴: نمودار آموزش شبکه با داده‌های اولیه لرزه‌ای اولیه، خروجی شبکه پارامتر Phi.

شد که فواصل دیگری از داده‌های نرمال شده نیز مورد بررسی قرار گیرد، زیرا همانطور که قبلاً نیز گفته شد با افزایش طول نمونه، واریانس بین نمونه‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه داده نرمال شده بعدی که به کار گرفته شد فواصل شش متری بود که با سه نمونه دو متری آماده گردید. در این حالت مقدار سه دامنه نداشت لرزه‌ای و یا پارامتر پتروفیزیکی با یکدیگر جمع شده و میانگین این مقادیر محاسبه شده و مقدار حاصل در وسط فاصله میانگین گیری قرار داده شد. به این ترتیب داده‌های نرمال شده شش متری نیز آماده گردید. در این حالت تعداد داده‌های آموزشی شبکه ۶۶ و داده‌های اعتبارسنجی آن به ۱۷ عدد رسید.



شکل ۷: نمودار آموزش شبکه با داده‌های منظم شده چهار متری، خروجی شبکه پارامتر Φ .

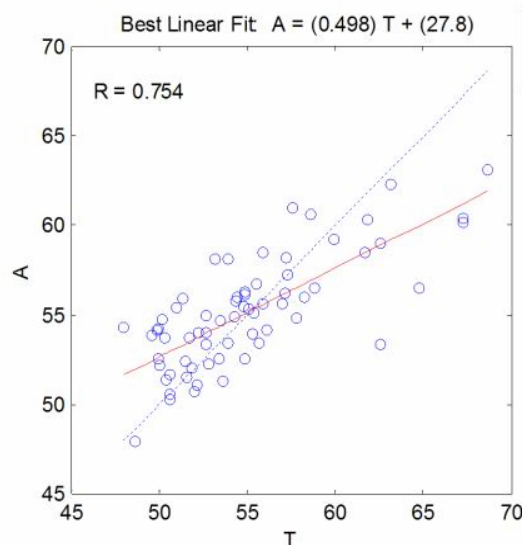
نتایج حاصل از این مرحله در شکل‌های (۸) تا (۱۰) آورده شده است.

نتایج آموزش شبکه با داده‌های نرمال شده شش متری بسیار نسبت به داده نرمال شده چهار متری مناسبتر بود و همانطور که مشاهده می‌شود در این حالت ضرایب رگرسیون بین خروجیهای شبکه و خروجی مطلوب به ۰/۸ تا ۰/۹۳ رسید.

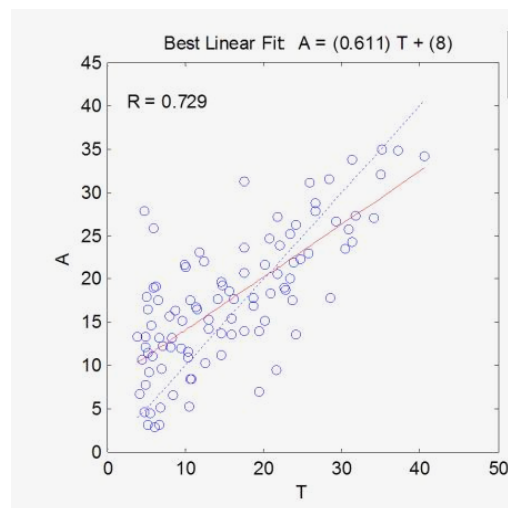
نرمال سازی ۸ متری

از آنجا که از بین دو حالت نمی‌توان نتیجه گیری کرد که کدامیک مطلوب تر است، تصمیم گرفته شد تا داده نرمال شده دیگری نیز بر روی داده‌ها تهیه گردد. در این مرحله با استفاده از چهار نمونه متوالی، داده نرمال

های آموزشی به ۱۰۰ داده و داده‌های اعتبارسنجی به ۲۶ داده کاهش پیدا کرد. آموزش شبکه نسبت به حالت اولیه که از داده‌ها در فواصل دو متری استفاده می‌شد، بهتر انجام شد و ضرایب رگرسیون بین خروجیهای شبکه و خروجیهای مطلوب به ۰/۷ تا ۰/۸ رسید. نتایج حاصل از آموزش شبکه در این حالت در شکل‌های (۵) تا (۷) آورده شده است. آموزش بهتر شبکه در این نمودارها نیز مشهود است.



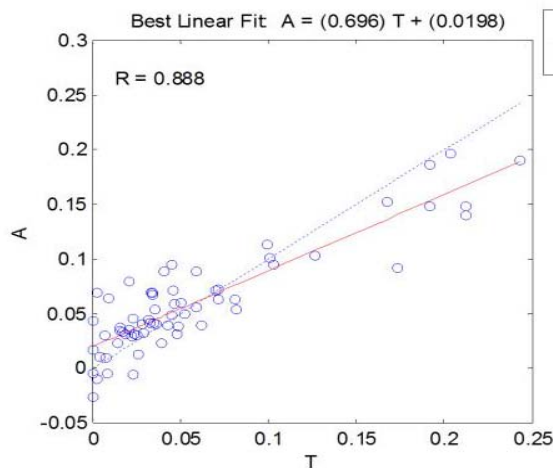
شکل ۵: نمودار آموزش شبکه با داده‌های منظم شده چهار متری، خروجی شبکه پارامتر ΔT .



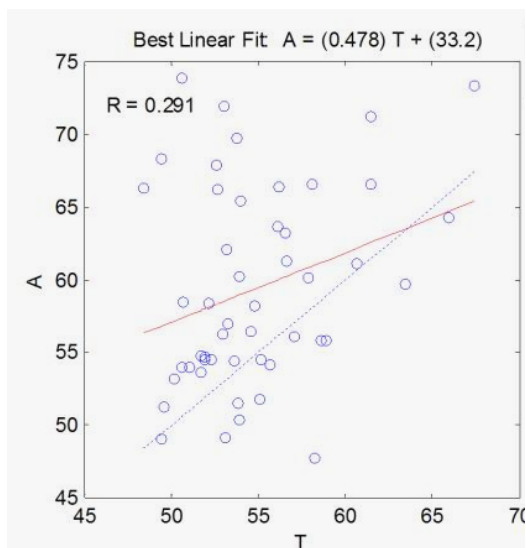
شکل ۶: نمودار آموزش شبکه با داده‌های منظم شده چهار متری، خروجی شبکه پارامتر GR.

نرمال سازی ۶ متری

با مشاهده نتایج داده‌های نرمال شده چهار متری و بهبود نتایج آن نسبت به فواصل دو متری، تصمیم گرفته



شکل ۱۰: نمودار آموزش شبکه با داده های منظم شده شش متری، خروجی شبکه پارامتر Phi.

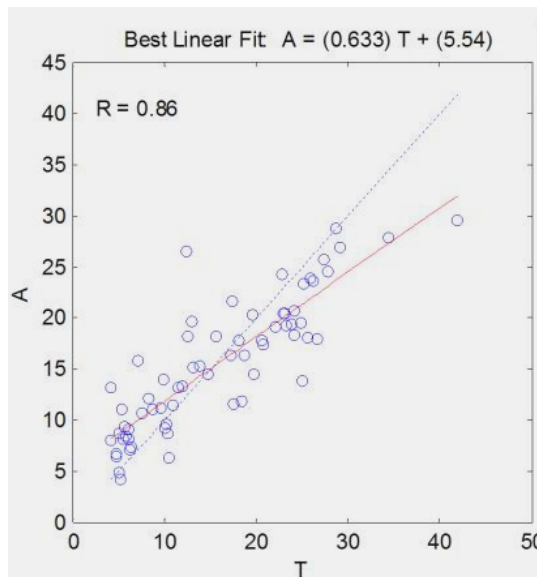


شکل ۱۱: نمودار آموزش شبکه با داده های منظم شده هشت متری، خروجی شبکه پارامتر Delta T.

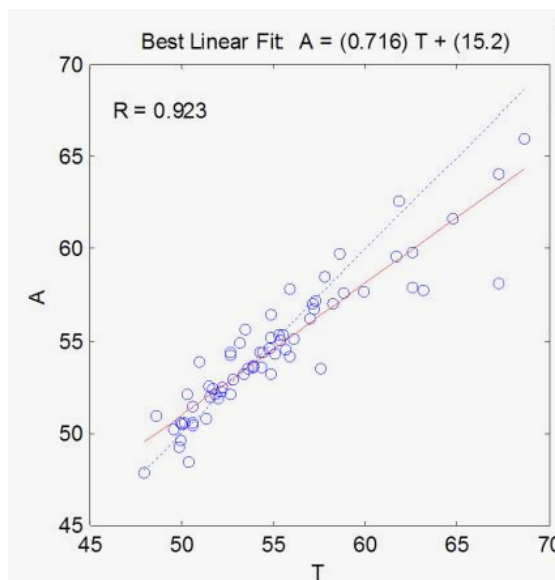
همانطور که مشاهده می شود نتایج این مرحله نسبت به داده نرمال شده شش متری از ضرایب رگرسیون بسیار پایین تری برخوردار بوده و به 0.2 تا 0.4 تقلیل می یابد.

با ایجاد سه داده نرمال شده و مقایسه نتایج آموزش شبکه با این داده های نرمال شده و داده های اولیه لرزه ای مشخص شد که تعداد زیاد داده های آموزشی (داده های اولیه) و نیز تعداد کم این داده ها (داده نرمال شده هشت متری) برای آموزش شبکه چندان مناسب نمی باشند و حالت بهینه آموزش شبکه با داده نرمال شده شش متری است.

شده هشت متری تهیه شد. مقدار چهار نمونه متوالی با یکدیگر جمع شده و سپس از مقدار حاصله میانگین محاسبه گردید. مقدار میانگین در وسط فاصله میانگین گیری قرار داده شد. در این مرحله تعداد داده های آموزشی ۵۰ عدد و داده های اعتبارسنجی شبکه ۱۲ عدد بود.



شکل ۸: نمودار آموزش شبکه با داده های منظم شده شش متری، خروجی شبکه پارامتر GR.



شکل ۹: نمودار آموزش شبکه با داده های منظم شده شش متری، خروجی شبکه پارامتر Delta T.

نتایج حاصل از این قسمت در شکل های (۱۱) تا (۱۳) آورده شده است.

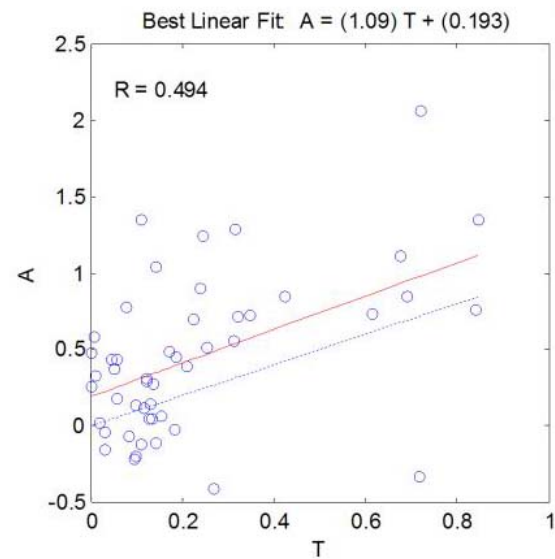
خروجی آموزش شبکه به آن داده شده، محاسبه گردید. لازم به ذکر است که به دلیل اینکه مقادیر وزن و بایاس^۳ شبکه به صورت تصادفی^۴ توسط شبکه انتخاب می‌شوند برای بدست آوردن بهترین جواب، آموزش شبکه برای هر یک از ورودیها باید چند مرتبه تکرار گردد تا بتوان بهترین جواب که بالاترین ضریب رگرسیون را دارا می‌باشد انتخاب نمود.

همانطور که قبلاً نیز گفته شده بود در میدان مورد مطالعه یک خط لرزه‌نگاری و دو چاه در هر سمت آن قرار دارد. برای کنترل دقیق تر شبکه و نیز آگاهی کامل از چگونگی عملکرد آن چاهی که در سمت دیگر خط لرزه نگاری قرار دارد نیز برای تخمین پارامترهای پتروفیزیکی آن به شبکه وارد شده و پارامترهای محاسبه شده به پارامترهای ثبت شده در چاه مقایسه گردید و مشاهده شد که تخمین خوبی بر روی داده‌های لرزه‌ای این چاه نیز صورت گرفته است و ضریب رگرسیون بین پارامترهای تخمین زده شده توسط شبکه و پارامترهای پتروفیزیکی ثبت شده در چاه به $0/8$ تا $0/9$ رسید. نتایج این محاسبات در جدول (۱) آورده شده است.

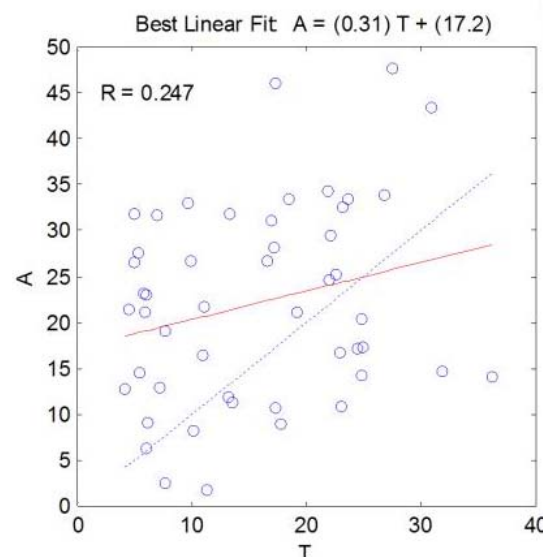
حال با امتحان مجدد نتایج شبکه آموزش دیده، می‌توان این شبکه بر روی مقطع لرزه‌ای مورد نظر پیاده نمود. پس از اینکه آموزش شبکه بر روی هر یک از نگاشته‌های لرزه‌ای انجام گردید و پارامترهای پتروفیزیکی متناظر با نگاشته‌های لرزه‌ای تهیه شد، مقطع پتروفیزیکی متناظر با مقطع لرزه‌ای اولیه نیز رسم گردید. پارامترهای پتروفیزیکی که جهت تخمین در دسترس قرار داشتند تخلخل، میزان اشعه گامای سازند و زمان عبور موج بودند در نتیجه مقاطع پتروفیزیکی که تهیه گردید نیز مقاطع همین پارامترها در طول مقطع لرزه‌ای اولیه می‌باشند. نقشه‌های حاصل در شکل‌های (۱۴) تا (۱۶) آورده شده است.

از روی این نقشه دیده می‌شود که حدود تغییرات ΔT در این محدوده بین ۵۰ تا ۶۰ متغیر است و تقریباً از روند یکنواختی برخوردار می‌باشد. این مقادیر ΔT بیانگر سازندی آهکی است، زیرا این مقادیر در مورد آهک ۵۳-۴۷ می‌باشد که در اثر وجود رس و شیل در سازند مقدار آن افزایش می‌یابد.

محدوده تغییرات میزان اشعه گامای سازند در منطقه مورد مطالعه بین ۵ تا ۳۵ API متغیر است. این



شکل ۱۲: نمودار آموزش شبکه با داده منظم شده هشت متری، خروجی شبکه پارامتر GR.



شکل ۱۳: نمودار آموزش شبکه با داده های منظم شده هشت متری، خروجی شبکه پارامتر Phi.

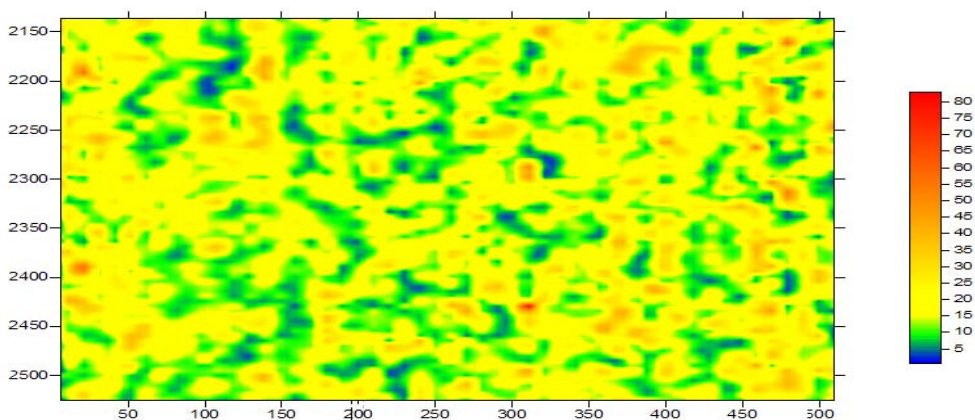
پس از مشخص شدن بهترین حالت برای آموزش شبکه و تخمین داده‌های لرزه‌ای، بر روی کلیه نگاشته‌های لرزه‌ای که پیشتر با استفاده از نرم افزاری ژئوفیزیکی به فرمت ASCII تبدیل شده بودند، داده نرمال شده شش متری آماده گردید. به این ترتیب کلیه نگاشته‌ها جهت آموزش شبکه آماده سازی شدند. هر یک از نگاشته‌های لرزه‌ای به همراه نشانگرهای مربوط به آن به عنوان ورودی به شبکه عصبی وارد شده و خروجی مورد نظر در هر مرحله با استفاده از پارامتر پتروفیزیکی که به عنوان

جدول ۱: نتایج تخمین پارامترهای پتروفیزیکی چاه ۱ با استفاده از داده‌های چاه ۲ برای آموزش شبکه.

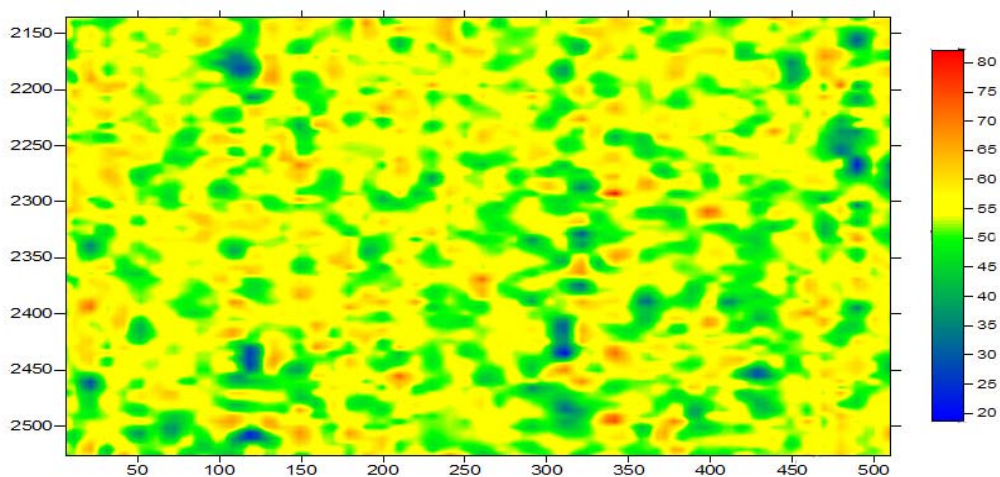
داده های تخمینی (DT)	داده‌های واقعی (DT)	داده های تخمینی (Phi)	داده های واقعی (Phi)	داده های تخمینی (GR)	داده های واقعی (GR)
72.372	71.964	0.1609	0.1681	21.664	29.208
79.219	78.067	0.2007	0.2527	30.060	31.293
57.588	60.894	0.1635	0.1747	27.849	30.693
43.233	51.464	0.0877	0.0103	19.477	18.888
55.758	55.567	0.0724	0.0297	14.272	17.279
53.455	56.408	0.0298	0.0308	16.568	15.950
59.024	52.680	0.0686	0.0163	14.650	14.083
55.003	53.836	0.0185	0.0171	20.295	18.560
57.712	56.085	0.0501	0.0232	16.437	20.275
49.895	51.174	0.0298	0.0111	16.682	13.254
50.040	53.274	0.0424	0.0139	20.533	18.134
57.119	52.686	0.0101	0.0219	20.718	18.601
58.457	53.945	0.0350	0.0286	26.287	24.654
56.047	55.390	0.0463	0.0365	26.017	29.013
54.408	54.585	0.0401	0.0372	30.666	27.261
47.481	52.414	0.0453	0.0398	13.957	11.848
45.760	49.261	0.0122	0.0149	9.266	8.165
50.861	49.900	0.0030	0.0072	10.941	6.944
48.650	48.686	0.0099	0.0080	9.762	8.196
56.431	54.215	0.0223	0.0133	20.197	22.655
53.956	52.795	0.0330	0.0210	20.840	23.287
50.060	49.934	0.0116	0.0205	10.010	10.284
44.998	48.702	0.0095	0.0063	10.187	9.151
53.458	48.094	0.0065	0.0008	17.659	10.766
50.908	48.912	0.0024	0.0039	6.784	9.295
53.077	54.214	0.0137	0.0160	9.630	4.619
58.533	57.994	0.0625	0.0438	1.375	4.000
54.843	54.460	0.0561	0.0315	9.680	4.233
55.771	52.688	0.0290	0.0288	9.668	4.743
52.640	50.496	0.0167	0.0127	6.567	6.460
47.828	48.240	0.0095	0.0052	13.517	15.400
42.462	48.665	0.0071	0.0057	21.156	15.061
48.832	48.243	0.0087	0.0071	12.696	11.825
45.788	47.959	0.0088	0.0055	10.079	11.348
49.023	48.365	0.0073	0.0070	15.670	10.225
47.288	47.607	0.0125	0.0139	14.329	11.444
44.472	48.192	0.0065	0.0047	10.274	12.179
52.442	47.994	0.0028	0.0038	8.521	8.091
47.136	48.395	0.0059	0.0014	5.243	8.548
55.739	54.968	0.0223	0.0211	22.993	32.077
50.192	54.972	0.0542	0.0411	30.085	30.866
55.186	55.539	0.0303	0.0315	27.012	25.834
44.494	48.416	0.0092	0.0068	5.090	7.970
49.930	48.082	0.0081	0.0049	10.722	6.515
51.110	48.806	0.0054	0.0071	10.115	5.368
48.996	51.594	0.0208	0.0176	9.819	5.928
67.250	65.149	0.0273	0.0167	7.513	6.819
74.813	73.986	0.0527	0.0374	10.277	10.401

ادامه جدول ۱ :

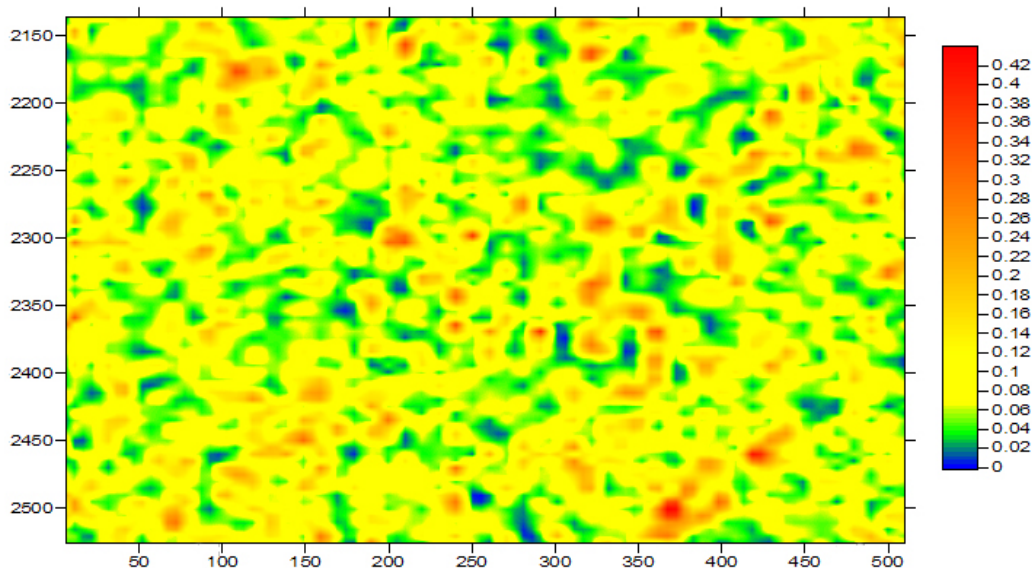
داده های تخمینی (DT)	داده های واقعی (DT)	داده های تخمینی (phi)	داده های واقعی (Phi)	داده های تخمینی (GR)	داده های واقعی (GR)
67.968	64.785	0.0211	0.0330	17.140	17.377
50.698	53.988	0.0368	0.0269	35.833	33.041
49.994	51.690	0.0560	0.0233	38.061	37.229
43.820	52.343	0.0300	0.0278	37.483	39.287
52.878	54.711	0.0209	0.0339	37.961	34.137
58.335	55.593	0.0417	0.0390	31.478	39.864
52.112	53.892	0.0281	0.0231	40.915	39.131
54.748	51.463	0.0153	0.0144	24.581	26.230
47.085	50.761	0.0182	0.0130	18.717	16.547
53.361	52.758	0.0112	0.0157	12.867	16.914
$R^2 = 0.82$		$R^2 = 0.8291$		$R^2 = 0.8998$	



شکل ۱۴ : مقطع پارامتر پتروفیزیکی ΔT محاسبه شده از روی نتایج شبکه عصبی.



شکل ۱۵ : مقطع پارامتر پتروفیزیکی GR محاسبه شده از روی نتایج شبکه عصبی.



شکل ۱۶: مقطع پارامتر پتروفیزیکی Phi محاسبه شده از روی نتایج شبکه عصبی.

تلفیق آن با داده‌های لرزه‌ای و تفسیرهای انجام شده بر روی آنها می‌توان در مورد نقاط بهینه جهت حفاریهای آینده تصمیم‌گیری نمود. پارامترهایی که در اینجا محاسبه شده‌اند؛ تخلخل، میزان اشعه گامای سازند و زمان عبور موج از درون سازند، بیانگر محیطی نسبتاً یکنواخت و بدون تغییرات شدید لیتولوژیکی می‌باشد. بدین ترتیب محدوده بین این دو چاه برای حفاریهای آینده مناسب به نظر می‌رسد. البته باید شعاع تأثیر جریان سیال بدرون چاه را بر یکدیگر نیز مد نظر داشت و با در نظر گرفتن محاسبات مخزنی بهترین مکان را برای حفاری انتخاب نمود.

پیشنهاد

تعیین خواص مخزنی به کمک داده‌های پتروفیزیکی، نشانگرهای لرزه‌ای و شبکه‌های عصبی یک روش قدرتمند است. با اینحال پیشنهادهایی جهت کارهای آینده می‌توان ارائه نمود:

- می‌توان از سایر نشانگرهای لرزه‌ای نیز از جمله میزان جذب انرژی، مقاومت صوتی، مقاومت الاستیکی و AVO برای آموزش شبکه استفاده نمود.
- با در دست داشتن داده‌های مغزه، می‌توان شبکه عصبی دیگری بین داده‌های حاصل از مغزه و پارامترهای پتروفیزیکی جهت تعیین لیتولوژی، آموزش

میزان اشعه گاما بیانگر میزان شیل و رس در حد معمول در این منطقه می‌باشد و می‌توان این منطقه را سازندی آهکی همراه با درصدی از رس دانست. محدوده تغییرات پارامتر Phi از روی نقشه تهیه شده بین ۰.۰۶٪ تا ۰.۱۵٪ می‌باشد و تغییرات ناگهانی تخلخل (کاهش و یا افزایش شدید تخلخل) مشاهده نمی‌شود و این مطلب با روند تقریباً یکسان سایر پارامترهای پتروفیزیکی محاسبه شده نیز دارای هماهنگی می‌باشد.

نتیجه گیری

امروزه با توجه به هزینه‌های سنگین حفاری و نیاز روز افزون به منابع انرژی، باید تا حد امکان سعی نمود تا از میزان ریسک در عملیات حفاری کاسته شود. به همین منظور باید مراحل اکتشافی بسیار دقیق و با بدست آوردن بیشترین اطلاعات انجام شود.

استفاده از تکنیک شبکه‌های عصبی یکی از راههایی است که می‌تواند در انجام این مهم بسیار مفید واقع شود، زیرا که شبکه‌های عصبی قابلیت‌های مختلفی از جمله تشخیص و شناسایی الگو و نیز تخمین پارامترهای مختلف را در سیستمهای غیر خطی دارا می‌باشند.

آنچه که در اینجا انجام شده است تخمین پارامترهای پتروفیزیکی از روی نشانگرهای لرزه‌ای بدست آمده از یک مقطع لرزه‌ای به کمک شبکه عصبی است. با انجام این کار تصویر دقیقی از لایه‌های زیر سطح بدست می‌آید که با

- استفاده از سایر شبکه های عصبی با الگوریتمهای آموزشی مختلف و بخصوص الگوریتم ژنتیکی که روش جدیدی بوده و در تلفیق با شبکه عصبی می تواند نتایج مطلوبی بدست دهد، را نیز می توان در انجام این کار آزمایش نموده و نتایج را با آنچه از شبکه پرسپترون بدست آمده، مقایسه نمود.
- داده و سپس با استفاده از این شبکه به لیتولوژی سازند در طول مقطع لرزه ای دست پیدا نمود.
- با اعمال شبکه عصبی بر روی کلیه خطوط لرزه نگاری موجود در یک میدان نفتی و تهیه مقطع سه بعدی از داده های حاصله می توان دید بسیار وسیع تری از خواص مخزنی در کل یک میدان بدست آورد که این امر به انجام حفاریهای بهینه در آینده کمک شایانی خواهد نمود.

مراجع

- 1 - Coppens, F., Glangeaud, F. and Mari, J. L. (1994). *Signal Processing for Geologists and Geophysicists*, Editions Technip, Paris.
- 2 - Turhan, T. M. (1992). *Attributes Revisited, Rock Solid Images*, Houston, Texas (Revisited 2000)
- 3 - Baba, N. and Sato, K. (1998). "A consideration on the learning algorithm of neural network." *Proc of IEEE*.
- 4 - Haykin, S. (1994). *Neural Networks a Comprehensive Foundation*, Mc Master University,
- ۵- حسنی پاک، ع. ا. "زمین آمار (ژئواستاتیسیتیک)". انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۷).
- ۶- منهای، م. ب. "مبنی شبکه های عصبی (هوش محاسباتی)". انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (۱۳۸۱).
- ۷- نوروزی، غ. ح. "چاه نگاری". انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۸).

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Validation
- 2 - Society of Exploration Geophysicists
- 3 - Bias
- 4 - Random