

تحلیل فوریه نواقص روش‌های پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی

بهزاد تخم‌چی^۱، هاله عزیزی^۲ و حسین معماریان^۳

^۱دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران
^۲دکتر، پژوهشگر گروه پاسارگاد، تهران، ایران.

^۳استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۳۰

چکیده

کاربرد اصلی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، تخمین نوع سنگ، تخلخل و اشباع است. روابط بسیاری برای این نوع تخمین‌ها ارائه شده‌اند و البته نواقص روابط یادشده نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این مقاله نواقص کلی روابط موجود از دید ویژگی‌های تخمین مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور معمول مقادیر حاصل از تخمین نسبت به مقادیر ورودی تخمین تغییرپذیری کمتری دارند. دلیل این موضوع الگوریتم‌های مبتنی بر هموارسازی تخمین است. از آنجا که چاه‌نمودارهای نوع سنگ، تخلخل و اشباع از تخمین ترکیبی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی به‌دست می‌آیند، انتظار می‌رود که این چاه‌نمودارها نیز نسبت به چاه‌نمودارهای اولیه تغییرپذیری کمتری داشته باشند. بنابراین اگر تبدیل فوریه چاه‌نمودارهای اولیه و تخمین زده شده گرفته شود، باید انرژی (اطلاعات) چاه‌نمودارهای ثانویه نسبت به اولیه، بیشتر در باندهای بسامد پایین نهفته باشد. در این نوشتار ضمن مطالعه چاه‌نمودارهای اولیه و تخمین زده شده بیش از ۱۰۰ چاه از میادین نفتی جنوب و جنوب باختر کشور، ثابت شد که اتفاقاً واقعیت برخلاف انتظار است که می‌تواند نشان‌دهنده وجود نقص در روش‌های پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی باشد.

کلیدواژه‌ها: چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، تبدیل فوریه، انرژی چاه‌نمودار، تخمین، باند بسامدی.

*نویسنده مسئول: بهزاد تخم‌چی

E-mail: tokhmechi@ut.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

چه بسا بتوان ادعا کرد که چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، فراگیرترین داده‌ها در اکتشاف منابع هیدروکربوری هستند که از بهترین قابلیت تفکیک نیز برخوردارند. چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی‌ای که به‌طور معمول در چاه‌های نفتی رانده می‌شوند عبارت از صوتی (DT)، خانواده مقاومت ویژه (RT)، قطرسنج (Caliper)، خانواده تشعشع گاما طبیعی (GR)، نوترون (NPHI)، چگالی (RHOB) و شاخص فتوالکتریک (PEF) هستند (Serra, 1989). این چاه‌نمودارها به تنهایی کاربرد ندارند، بلکه از پردازش آنها ۳ ویژگی اصلی نوع سنگ، تخلخل و اشباع تخمین زده می‌شوند. تخمین این ویژگی‌ها در ارزیابی فنی مخزن و مدل‌سازی‌های ایستا و پویای آن اهمیت بسزایی دارد. بنابراین تردیدی نیست که همواره درستی تخمین ویژگی‌های یادشده مورد تأکید و مطالعه پژوهشگران پتروفیزیک، زمین‌شناسی و مخزن بوده است. نظر به اهمیت موضوع، روش‌های تجربی، آماری و هوشمند گوناگونی برای تخمین ویژگی‌های نوع سنگ، تخلخل و اشباع ارائه شده است.

(Schlumberger (2005) به تفصیل روش‌های استفاده از نمودارهای متقاطع نوترون - چگالی، صوتی - چگالی، صوتی - نوترون، چگالی - شاخص فتوالکتریک و برخی دیگر نمودارها را برای شناسایی انواع سنگ شرح داده است. همچنین در بررسی‌های مختلف، چگونگی استفاده از روش‌های عددی برای تعیین نوع سنگ را توضیح داده‌اند (Schlumberger Houston, 1989; Schlumberger, 1989; Archie, 1950; Archie, 1952; Ellis & Singer, 2008).

بسیاری از پژوهشگران، روش‌هایی را برای استفاده از چاه‌نمودارهای صوتی، مقاومتی، چگالی و نوترون برای تخمین تخلخل و اشباع ارائه کرده‌اند که شاید پیشروترین ایشان (Archie (1942 & 1947) باشد.

(Katz & Thompson (1986) نیز روابط قابل‌تعمیمی را ارائه کرده‌اند که رابطه میان مقاومت ویژه، تخلخل و اشباع آب را بیان می‌کند. البته شماری از پژوهشگران نیز روابط محاسبه اشباع را برای سازندهای ویژه ارائه کرده‌اند. برای نمونه Winsaure et al. (1952) رابطه‌ای میان مقاومت ویژه و اشباع آب در سازندهای ماسه‌ای و Waxman & Smits (1968) رابطه همانندی را برای ماسه‌های شیلی ارائه کرده‌اند.

به تدریج و با گسترش استفاده از مدل‌سازهای غیرخطی در فضای چندبعدی، روابط پیچیده‌تر و البته دقیق‌تری برای پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی ارائه شده‌اند که به‌طور طبیعی قابلیت تعمیم کم‌تری دارند. برای نمونه از روش‌های بازشناخت الگو و تخمین گره‌های هوشمند در این عرصه استفاده زیادی شده است (El Lim, 2005; Olson, 1998; Helle & Bhatt, 2002; Al-Bulushi et al., 2009; Ouahed et al., 2005).

نتایج شماری از روش‌های ارائه شده برای تخمین متغیرهای پتروفیزیکی به صورت الگوریتم‌های رایجی در نرم‌افزارهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین نتایج تفسیر چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی به فراوانی در اختیار هستند. بسیاری از این نتایج با مطالعات روی مغزه مقایسه شده و درستی و دقت تقریبی آنها مورد تأیید قرار گرفته است. اما به‌طور طبیعی تخمین گره‌های مختلف، به دلیل ارتقای قابلیت تعمیم تخمین، بخشی از تغییرپذیری‌های متغیرهای مورد مطالعه را نادیده گرفته و تخمین هموارتری ارائه می‌دهند (Stoffer et al., 2010; Rasouli & Tokhmechi, 2010). در غیر این صورت حاصل تخمین از واریانس تغییرپذیری بالاتری برخوردار خواهد بود که این تغییرپذیری‌ها حاصل عملکرد تخمین‌گر هستند و واقعیات محیطی در تشکیل آنها مؤثر نبوده است؛ بنابراین چون منشأ محیطی ندارند، خطا به‌شمار می‌روند و در واقع نشانگر خطای تخمین‌گر هستند. در این نوشتار رفتار بسامدی چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی و تخمین مورد بررسی و نواقص موجود مورد اشاره و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۲- الگوریتم‌های محاسباتی

برای انجام این پژوهش تبدیل فوریه چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی گرفته و انرژی آنها در باندهای مختلف بسامدی محاسبه شده است. در ادامه به اختصار در مورد تبدیل فوریه و چگونگی محاسبه انرژی نسبی یک سیگنال در باند بسامدی مورد نظر توضیح داده می‌شود.

۲-۱. تبدیل فوریه

فوریه در تبدیل مشهورش اثبات کرد که هر تابع متناوب را می‌توان به یک مجموعه

قابل مشاهده خواهد بود. برای نمونه در شکل ۲-الف، چاه‌نمودار صوتی (DT) در یکی از چاه‌های مورد مطالعه و در شکل‌های ۲-ب و ج، تبدیل فوریه آن به ترتیب در کل بازه بسامدی و بخش‌های بسامد پایین نمایش داده شده است.

انرژی کلی یک چاه‌نمودار، برابر با مجموع مجذور فراوانی رخداد هر بسامد حاصل از تبدیل چاه‌نمودار است. برای نمونه در شکل ۲-ب، تبدیل فوریه چاه‌نمودار صوتی آورده شده است. در این شکل، محور افقی معرف بسامد و محور عمودی معرف فراوانی رخداد بسامد است. بنابراین کافی است برای محاسبه انرژی این چاه‌نمودار، مجذور مقادیر محور عمودی را محاسبه و با هم جمع کرد (رابطه ۴).

در آن E_{PL} انرژی چاه‌نمودار، PL_i فراوانی رخداد بسامد چاه‌نمودار در هر بسامد i و n تعداد بسامدهای چاه‌نمودار است. با نگاه دوباره به شکل ۲-ب، دیده می‌شود که فراوانی رخداد بسامدها، در بخش‌های بسامد پایین به مراتب بیش از بسامدهای بالا است که این موضوع می‌تواند بیانگر تمرکز اطلاعات چاه‌نمودار صوتی مورد بررسی در بخش‌های بسامد پایین باشد. بنابراین به نظر می‌رسد اگر یک شاخص نسبی برابر با نسبت انرژی چاه‌نمودار در یک محدوده مشخص بسامدی به انرژی چاه‌نمودار در کل محدوده بسامدی تعریف بشود (رابطه ۵)، بزرگای آن می‌تواند معرف نسبت اطلاعات نهفته در محدوده‌های مختلف بسامدی چاه‌نمودار باشد. به بیان ساده‌تر اطلاعات چاه‌نمودار بیشتر در محدوده بسامدهایی نهفته است که شاخص رابطه ۵ آنها بزرگ‌تر باشد (Elena et al., 2006).

$$RE_{PL} = \frac{\sum_{i=a}^b PL_i^2}{\sum_{i=1}^n PL_i^2} \quad (5)$$

که در آن RE_{PL} انرژی نسبی چاه‌نمودار در محدوده بسامدی از a تا b است.

۳- روش‌شناسی پژوهش

چنانکه کارشناسان پتروفیزیک می‌دانند و در مقدمه نیز بیان شد، کاربرد عمده چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی در چاه‌های نفتی، تخمین تخلخل سنگ، شناسایی و تخمین نوع سنگ (برای نمونه درصد آهک، دولومیت، ماسه و ...) و تخمین درصد اشباع آب یا نفت است.

متخصصان فعال در زمینه تخمین می‌دانند که یکی از ویژگی‌های عمومی تخمین گرها، کمینه کردن تغییرپذیری‌ها و یا به تعبیر معمول، هموار کردن (Smooth) آن‌ها است. برای نمونه در شکل ۳ اطلاعات سه نقطه داده شده و تغییرپذیری بین سه نقطه به صورت خط توپر رسم شده است (مقدار متغیر در نقطه میانی ۱۰ درصد است). در همین شکل اگر مقدار متغیر در نقطه میانی نادیده گرفته و توسط مقادیر متغیر در نقاط کناری به روش خطی تخمین زده شود، مقدار تخمینی برابر ۲۰ درصد خواهد بود (نمودار خط چین). ویژگی این تخمین این است که تغییرپذیری را حذف کرده و اصطلاحاً نمودار تخمینی را هموار کرده است.

اگر تبدیل فوریه دو نمودار خط پر و خط چین شکل ۳ رسم شود، دیده خواهد شد که همه اطلاعات نمودار خط چین در بسامدهای نزدیک به صفر (Dc Value) نهفته است، در حالی که تبدیل فوریه نمودار خط پر، در بسامدهای بالاتر نیز پیک خواهد داد. بنابراین انرژی نمودار تخمینی بیشتر از انرژی نمودار اولیه که نماینده واقعیت سیستم است در بخش‌های بسامد پایین متمرکز خواهد شد. بنابراین این فرض بنیادین که مقادیر تخمینی هموارترند در این شکل به وضوح قابل مشاهده است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که انرژی مقادیر تخمینی بیشتر از انرژی مقادیر اندازه‌گیری شده در بخش‌های بسامد پایین متمرکز باشد.

بنابراین ایده بنیادین نوشتار حاضر این است که بخش بیشتری از انرژی چاه‌نمودارهای تخمین‌زده شده (یعنی تخلخل، اشباع و نوع سنگ) نسبت

محدود از ترکیبات یک تابع نمایی تبدیل کرد. بنابراین تبدیل فوریه یک سیگنال را به تعدادی تابع نمایی با بسامدهای متفاوت تجزیه می‌کند (Mallat, 1999):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \times e^{-2j\pi ft} dt \quad (1)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \times e^{2j\pi ft} df \quad (2)$$

که در آن t معرف زمان (مکان)، f معرف بسامد (تغییرپذیری) (توجه شود که در این نوشتار، برای سازگاری با واقعیات، به جای زمان از عبارت مکان استفاده خواهد شد. اما برای قرابت ذهنی، به جای تغییرپذیری، از عبارت بسامد استفاده خواهد شد). معرف عبارت موهومی و X معرف سیگنال (تابع تغییرات) به ترتیب در حوزه مکان و بسامد هستند. بر پایه رابطه ۱ که تبدیل فوریه نامیده می‌شود، اطلاعات از حوزه مکان به حوزه بسامد تبدیل می‌شوند. در رابطه ۲، اطلاعات از حوزه بسامد به حوزه مکان تبدیل می‌شوند. این روابط نشان می‌دهند که تبدیل فوریه معکوس‌پذیر است. در رابطه ۱ سیگنال $x(t)$ ، در کل بازه سیگنال در تابع نمایی $e^{-2j\pi ft}$ (رابطه ۳) با بسامد مشخص f ضرب شده است.

$$e^{-2j\pi ft} = \cos(2\pi ft) + j\sin(2\pi ft) \quad (3)$$

از آنجا که توابع سینوسی و کسینوسی متعامد هستند، در صورتی که در سیگنال، تابع متعامدی از جنس سینوس یا کسینوس با بسامد f وجود داشته باشد، حاصل ضرب سیگنال در تابع متعامد، یک پالس مثبت خواهد بود. در غیر این صورت یا پالسی وجود نداشته و به عبارت دیگر پاسخ صفر خواهد بود؛ و یا اینکه پالس پاسخ بسیار ضعیف خواهد بود. چون فرایند ضرب در کل محدوده مکانی صورت می‌گیرد $(-\infty, +\infty)$ ، اگر به ازای یک بسامد خاص، پاسخ مثبتی دریافت شود، نشان‌دهنده وجود موجی مشابه موج‌های سینوسی یا کسینوسی با آن بسامد خاص در سیگنال اولیه است. هر چه تعداد دفعات دریافت پالس به ازای یک بسامد خاص بیشتر باشد، معرف رخداد بیشتر آن بسامد خاص در سیگنال است.

از سوی دیگر از آنجا که کسینوس، یک تابع متعامد زوج و سینوس، یک تابع متعامد فرد است، از حاصل ضرب تابع نمایی که از توابع زوج و فرد حاصل شده، در سیگنال $x(t)$ بسامد همه موج‌های زوج و فرد متناوب سینوسی و کسینوسی سیگنال آشکار می‌شود. بنابراین قدرت تفکیک بسامدی تبدیل فوریه برای امواج مشابه تابع متعامدش بسیار مناسب است.

ولی با توجه به اینکه انتگرال‌گیری رابطه ۱ در کل بازه مکانی صورت می‌گیرد، بنابراین تبدیل فوریه قابلیت تفکیک مکانی ندارد. این موضوع در تجزیه سیگنال‌های پایا (در سیگنال پایا تابع توزیع فراوانی تبدیل فوریه سیگنال مستقل از ابعاد و محل پنجره‌ای از سیگنال است که از آن تبدیل فوریه گرفته می‌شود. به عبارت واضح‌تر در سیگنال پایا، همه بسامدها در تمامی بازه‌های زمانی وجود دارند) (شکل ۱-الف). مشکلی ایجاد نمی‌کند، ولی در تجزیه سیگنال‌های ناپایا (در سیگنال ناپایا برخلاف سیگنال پایا، امواج با بسامدهای مختلف در بازه‌های زمانی محدوده رخ دهند) (شکل ۱-ب). به عنوان یک نقطه ضعف اساسی شناخته می‌شود. در شکل‌های ۱-الف و ب، به ترتیب دو سیگنال پایا و ناپایا با بسامدهای ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ هرتز نمایش داده شده‌اند. در شکل‌های ۱-ج و د، به ترتیب تبدیل فوریه سیگنال‌های شکل‌های ۱-الف و ب نمایش داده شده است. چنانکه در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، تبدیل فوریه به خوبی نسبت به شناسایی بسامدها اقدام کرده، اما قابلیت شناسایی مکان (در این مثال زمان) رخداد بسامدهای مختلف را نداشته است. به عبارت دیگر تبدیل فوریه قابلیت تفکیک مکانی نداشته است. برای حل این نقطه ضعف، در دهه ۱۹۴۰ الگوریتم تبدیل فوریه زمان کوتاه (short time Fourier transform) ارائه شده که البته موضوع بحث این مقاله نیست.

۲-۲. انرژی چاه‌نمودار

اگر هر چاه‌نمودار پتروفیزیکی به دیده یک سیگنال نگریسته شود، قاعدتاً دریافت تبدیل فوریه آن مشکل نخواهد بود. در این صورت رفتار چاه‌نمودار در حوزه بسامد

مرا تلب از چاه‌نمودار تخمین آهک، که اتفاقاً برای تخمین آن از چاه‌نمودار صوتی نیز استفاده می‌شود، هموارتر است.

میانگین درصد انرژی چاه‌نمودارهای تخمین و اولیه جدول ۱ در پنج درصد پایینی محدوده بسامدی آنها به ترتیب ۴۷/۵ و ۶۱/۰ درصد است. بنابراین این سؤال کلیدی مطرح خواهد بود که در فرایند تخمین چه تغییرپذیری‌هایی به تغییرپذیری‌های ذاتی چاه‌نمودارهای اولیه افزوده شده‌اند تا چاه‌نمودارهای تخمین محاسبه شوند؟ بدیهی است که افزودن هر تغییرپذیری مازاد، اعتبار علمی ندارد و در واقع تخمین را با خطا روبه‌رو می‌کند. از آنجا که نتایج دیده شده در حدود ۱۰۰ چاه دیگر در میادین مختلف ایران با نتایج جدول ۱ همانند بوده‌اند، به وضوح می‌توان وجود کمبودی در روش‌های پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی را گزارش کرد.

چگونگی حل مشکل پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی موضوع این مقاله نیست، بنابراین در این زمینه در این مقاله بحث نمی‌شود. ولی لازم است توجه متخصصان پتروفیزیک نسبت به وجود مشکل جلب شده و ایشان راهکارهای بهتری برای پردازش ارائه نمایند.

۶- نتیجه‌گیری

روش‌های گوناگونی برای پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی گسترش داده شده‌اند. این روش‌ها در کتاب‌های مختلف پتروفیزیک شرح داده شده و به صورت نرم‌افزارهایی همچون Petrel، Geolog و IP نیز ارائه شده‌اند. در این مقاله نتایج پژوهشی در زمینه اعتبار روش‌های پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی ارائه شده است. در این نوشتار تبدیل فوری چاه‌نمودارهای اولیه و تخمین گرفته شده و انرژی چاه‌نمودارها در محدوده‌های بسامد پایین محاسبه شده است. از آنجا که انرژی چاه‌نمودار نشان‌دهنده اطلاعات نهفته در چاه‌نمودارها در محدوده‌های مختلف بسامدی است و انتظار می‌رفت که چاه‌نمودارهای تخمین رفتار هموارتری داشته باشند، بنابراین تصور می‌شد درصد بیشتری از انرژی چاه‌نمودارهای تخمین در محدوده‌های بسامد پایین دیده شود. اما واقعیت برعکس بود. برای نمونه بر اساس مطالعات صورت گرفته روی شش چاه‌نمودار تخمین و ۱۱ چاه‌نمودار اولیه هشت چاه از یکی از میادین نفتی جنوب باختر کشور دیده شده که میانگین درصد انرژی چاه‌نمودارهای تخمین و اولیه در پنج درصد پایینی محدوده بسامدی آنها، به ترتیب ۴۷/۵ و ۶۱/۰ درصد است. به این ترتیب اثبات شد که روش‌های پردازش چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی از نقص بنیادینی رنج می‌برند که تغییرپذیری‌های بسامد بالایی را در چاه‌نمودارهای تخمین اعمال می‌کنند. البته یافتن راه‌حلی برای مشکل گزارش شده موضوع مورد بحث این مقاله نبوده و به فعالان پتروفیزیک واگذار می‌شود.

به چاه‌نمودارهای اولیه (همچون چاه‌نمودارهای صوتی، چگالی، نوترون، اشعه گاما و...) باید در محدوده‌های بسامد پایین نهفته باشد، چرا که هموارترند.

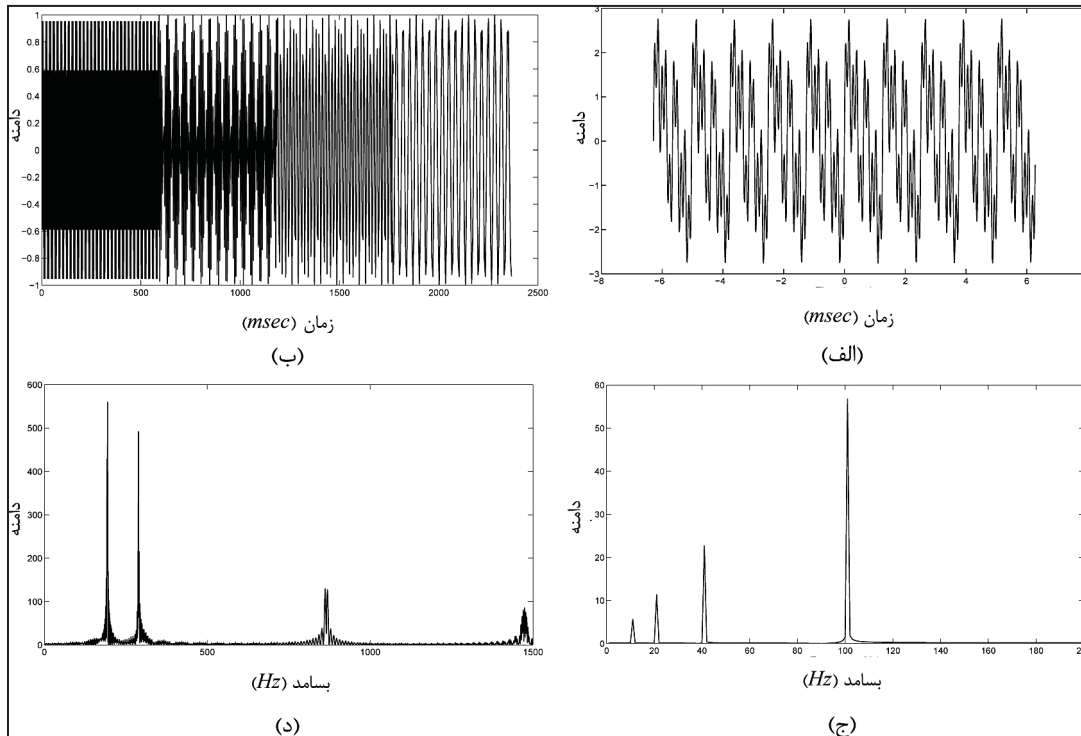
۴- داده‌ها

برای انجام این پژوهش چاه‌نمودارهای اولیه و پردازش شده بیش از ۱۰۰ چاه از ۵ میدان نفتی جنوب و جنوب باختر ایران مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در چاه‌های مورد بررسی همه چاه‌نمودارهای اولیه و پردازش شده موجود بوده‌اند. گفتنی است که تبدیل فوری بر روی همه چاه‌نمودارها در همه چاه‌های مورد بررسی اعمال شده و انرژی نسبی آنها در محدوده‌های بسامد پایین و بالا محاسبه شده است. نتایج ارائه شده در این مقاله، نمونه‌هایی از مطالعات گسترده‌ای بوده که صورت گرفته است. بنابراین می‌توان ادعا کرد که نتایج این پژوهش قابلیت تعمیم بالایی دارند.

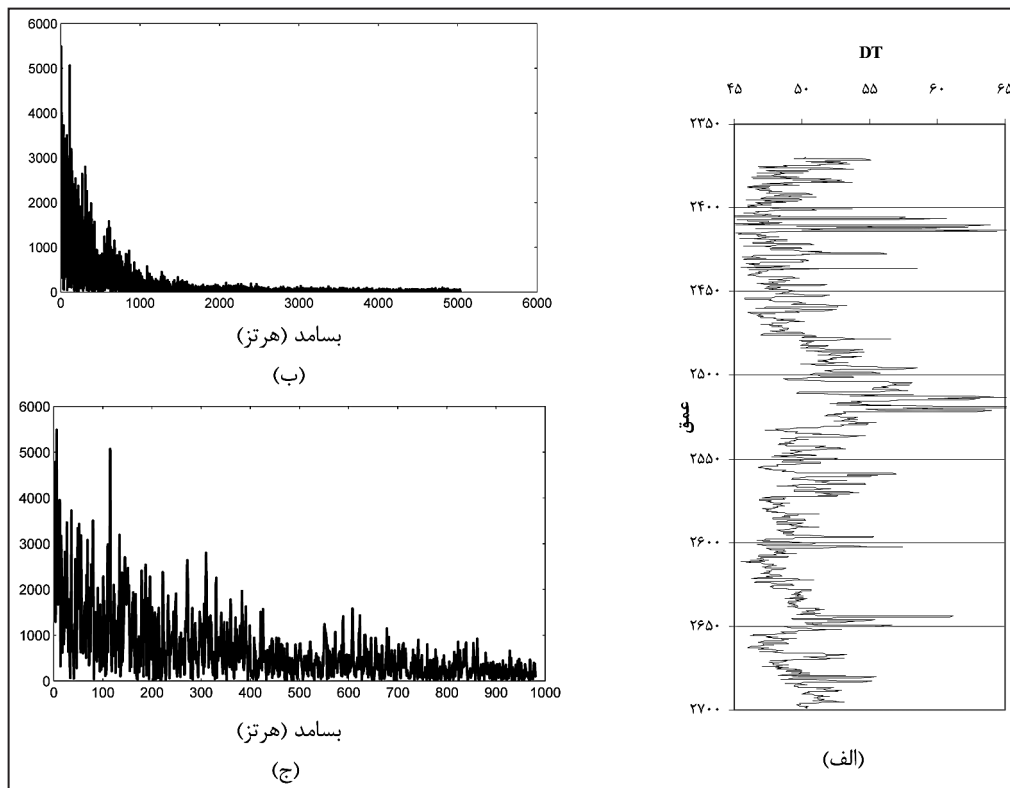
۵- نتایج و بحث

در شکل ۴ تبدیل فوری چاه‌نمودارهای اولیه پتروفیزیکی سرعت صوت (DT) و چگالی (RHOB) و چاه‌نمودارهای پردازش شده پتروفیزیکی تخلخل (PHI) و اشباع آب (SW) نمایش داده شده است. پیش از تفسیر نمودارهای شکل ۴، متذکر می‌شود که بنا به طبیعت تخمین (که مورد اشاره قرار گرفت)، انتظار می‌رود که در چاه‌نمودارهای پردازش شده که در واقع تخمین از چاه‌نمودارهای اولیه هستند، نسبت به چاه‌نمودارهای اولیه، بخش بیشتری از انرژی چاه‌نمودارها در محدوده‌های بسامد پایین نهفته باشد. اما آنچه در شکل ۴ دیده می‌شود دقیقاً برخلاف آن چیزی است که بنا به حقایق علمی انتظار آن می‌رفت. چاه‌نمودارهای پردازش شده در محدوده‌های بسامد بالا، دامنه بزرگ‌تری دارند.

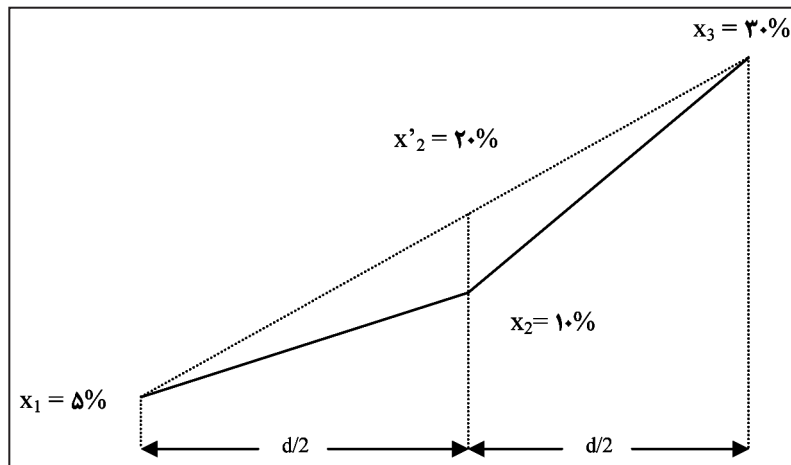
در جدول ۱، درصدی از انرژی چاه‌نمودارهای تخمین و اولیه ۸ چاه یکی از میادین جنوب باختر ایران آورده شده است. البته در برخی چاه‌ها، اطلاعات تعدادی از چاه‌نمودارها موجود نبوده که در جدول نیز به صورت نبود نتیجه قابل مشاهده است. در جدول ۱، ابتدا اطلاعات شش چاه‌نمودار تخمین آهک، دولومیت، شیل، انهدریت، اشباع آب، تخلخل و سپس اطلاعات چاه‌نمودارهای اولیه قطر سنج، انواع اشعه گاما، مقاومت ویژه، صوتی، چگالی، فاکتور فتوالکتریک و نوترون گزارش شده‌اند. توجه شود که هر چه انرژی چاه‌نمودار در پنج درصد پایینی بسامد آن بیشتر باشد، به این معنی است که اطلاعات آن چاه‌نمودار در محدوده‌های پایینی بسامد نهفته است و به عبارت روشن‌تر آن چاه‌نمودار رفتار هموارتری دارد. در جدول ۱ دیده می‌شود که برای نمونه و به طور میانگین حدود ۴۵ درصد انرژی چاه‌نمودار آهک در پنج درصد پایینی بسامد آن نهفته است، در حالی که این مقدار برای چاه‌نمودار صوتی در حدود ۶۵ درصد است. بنابراین چاه‌نمودار اولیه صوتی به



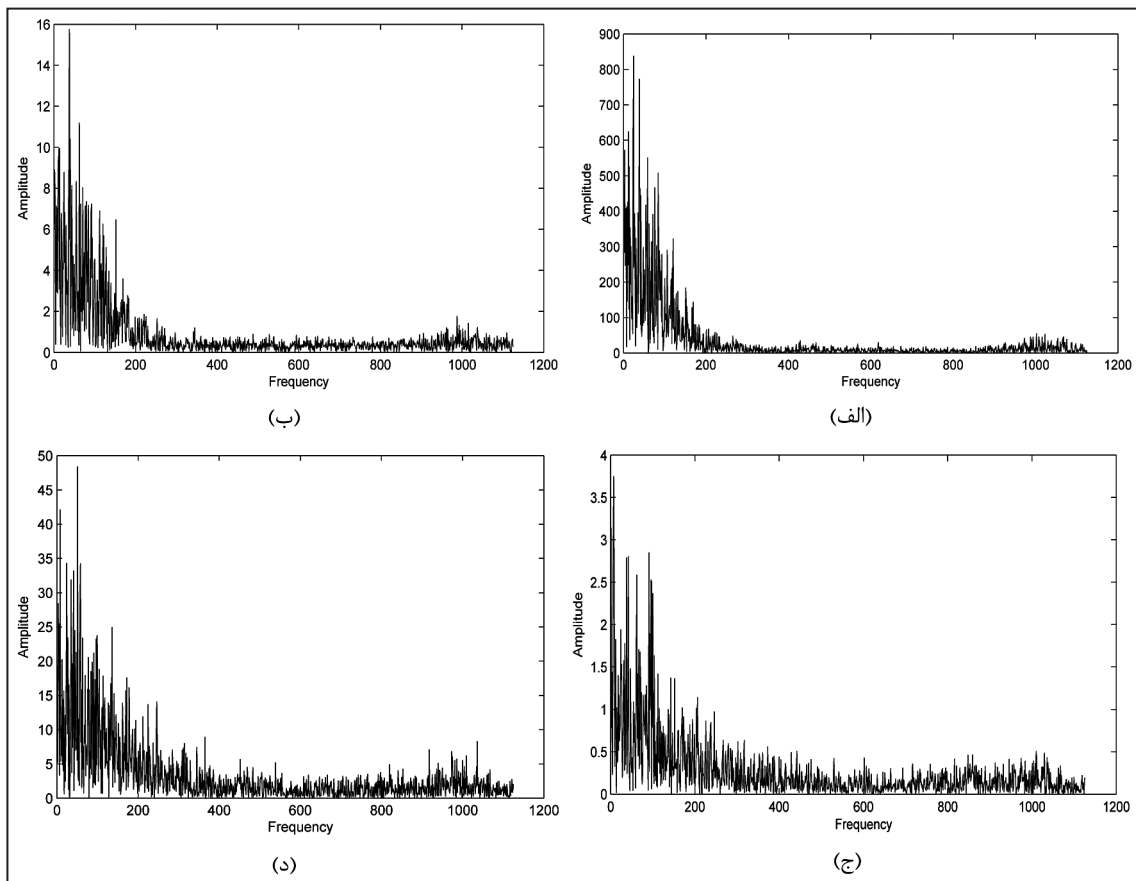
شکل ۱- سیگنال‌های ترکیبی سینوسی: الف) پایا؛ ب) ناپایا و تبدیل فوریه آنها؛ ج) تبدیل فوریه سیگنال شکل الف؛ د) تبدیل فوریه سیگنال شکل ب.



شکل ۲- الف) چاه‌نمودار صوتی در یکی از چاه‌های مورد مطالعه؛ ب) تبدیل فوریه چاه‌نمودار صوتی شکل الف به منظور یافتن محدوده بسامدی دارای انرژی سیگنال بالا برای اجرای الگوریتم تطابق انرژی در کل محدوده بسامدی حاصل از تبدیل فوریه؛ ج) بخشی از محدوده بسامدی حاصل از تبدیل فوریه.



شکل ۳- نمونه‌ای از عملکرد بر پایه هموارسازی یک تخمین گر خطی.



شکل ۴- تبدیل فوریه چاه‌نمودارهای اولیه: الف) صوتی (DT)؛ ب) چگالی (RHOB) و همچنین تبدیل فوریه چاه‌نمودارهای پردازش شده؛ ج) تخلخل (PHI)؛ د) اشباع آب (SW) در یکی از چاه‌های مورد مطالعه.

جدول ۱- درصدی از انرژی چاه‌نمودارها که در محدوده پنج درصد پایینی بسامد آنها نهفته است.

میانگین	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	چاه	
									چاه‌نمودار	
۴۴/۸	۵۶/۵۷	۴۶/۹۰	۵۰/۹۶	۴۴/۴۹				۲۴/۹۵	آهک	چاه‌نمودارهای تخمینی نوع سنگ
۴۴/۷	۵۵/۶۴	۴۴/۱۷		۴۰/۸۱	۵۷/۹۷			۲۵/۰۱	دولومیت	
۴۹/۶	۶۷/۵۶	۶۲/۰۶		۴۳/۹۷				۲۴/۹۷	شیل	
۳۸/۶	۳۴/۶۷	۳۳/۸۲			۶۰/۸۲			۲۴/۹۰	انهیدرایت	چاه‌نمودار تخمینی اشباع آب
۵۲/۱	۵۸/۱۹	۴۶/۴۲	۷۳/۸۳		۵۷/۰۲			۲۴/۹۸	SW	
۵۵/۵	۵۶/۲۰	۳۹/۸۲	۵۵/۶۹	۶۰/۴۳		۶۵/۳۱	۵۹/۵۰	۵۱/۴۴	PHIE	چاه‌نمودار تخمینی تخلخل
۵۷/۷	۷۰/۸۰	۵۸/۵۰	۶۸/۲۴	۵۳/۵۴	۵۰/۶۹	۳۴/۷۱	۶۰/۹۳	۶۳/۸۷	CALI	چاه‌نمودار اولیه قطر سنج
۵۲/۷	۷۴/۹۷			۳۰/۳۰		۴۹/۶۴	۵۷/۷۳	۵۰/۸۷	پتاسیم	چاه‌نمودارهای اولیه اشعه گاما
۵۲/۰	۵۹/۱۵			۴۴/۶۸		۶۱/۹۵	۵۲/۳۵	۴۱/۹۵	توریم	
۶۹/۵	۶۷/۲۵			۵۵/۵۸		۸۴/۵۰	۷۱/۶۰	۶۸/۷۱	اورانیم	
۶۴/۵	۷۳/۵۶	۶۷/۶۳	۷۴/۷۱	۴۹/۲۶	۶۷/۵۷	۶۲/۳۶	۶۹/۴۶	۵۱/۵۰	CGR	
۶۱/۳	۶۹/۷۳	۵۵/۴۰	۵۵/۴۰	۵۴/۷۲		۷۲/۶۰	۶۲/۸۱	۵۸/۷۴	SGR	چاه‌نمودار اولیه مقاومت ویژه
۶۱/۵		۷۱/۴۰	۷۱/۱۷	۶۱/۹۴	۴۱/۸۲			۶۱/۳۶	RT	
۶۴/۵	۷۲/۹۶	۶۴/۳۸	۶۲/۸۵	۶۷/۹۷	۶۸/۹۱	۵۸/۸۳	۷۲/۲۲	۴۷/۸۸	DT	چاه‌نمودار اولیه صوتی
۶۱/۰	۷۰/۶۴	۵۴/۵۶	۶۷/۴۱	۴۹/۸۰	۵۸/۹۵	۸۲/۸۱	۶۵/۰۲	۳۸/۸۵	RHOB	چاه‌نمودار اولیه چگالی
۶۳/۵	۶۱/۳۰	۵۹/۶۵	۷۵/۳۵	۳۳/۷۵	۷۴/۰۳	۸۲/۵۵	۶۵/۸۶	۵۵/۵۲	PEF	چاه‌نمودار اولیه فاکتور فتوالکتریک
۶۳/۰	۶۶/۳۵	۵۱/۴۰	۶۷/۵۸	۶۶/۴۸		۷۴/۳۷	۷۲/۶۸	۴۲/۴۵	NPHI	چاه‌نمودار اولیه نوترون

References

- Al-Bulushi, N., King, P. R., Blunt, M. J. & Kraaijeveld, M., 2009- Development of artificial neural network models for prediction water saturation and fluid distribution, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 68, Issue 3-4, pp. 197-208.
- Archie, G. E., 1942- The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Petroleum Transactions of AIME* Vol. 146 pp. 54-62.
- Archie, G. E., 1947- Electrical resistivity an aid in core-analysis interpretation, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 31 (2), pp. 350-366.
- Archie, G. E., 1950- Introduction to petrophysics of reservoir rocks, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 34 (5), pp. 943-961.
- Archie, G. E., 1952- Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical considerations, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 36 (2), pp. 278-298.
- El Ouahed, A. K., Tiab, D. & Mazouzi, A., 2005- Application of artificial intelligence to characterize naturally fractured zones in Hassi Messaoud Oil Field, Algeria, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 49 (3-4), pp. 122-141.
- Elena, M. M., Quero, J. M. & Borrego, I., 2006- An optimal technique for ECG noise reduction in real time applications, *Computers in Cardiology*, Vol. 33, pp. 225-228.
- Ellis, D. V. & Singer, J. M., 2008- *Well Logging for Earth Scientists* (Second ed.), Springer. pp. 692. ISBN 1402037384.
- Helle, H. B. & Bhatt, A., 2002- Fluid saturation from well logs using committee neural networks, *Petroleum Geosciences*, Vol. 8(2), pp. 109-118.
- Katz, A. J. & Thompson, A. H., 1986- Quantitative prediction of permeability in porous rock, *Physical Review B*, Vol. 34, pp. 8179-8181.
- Lim, J. S., 2005- Reservoir properties determination using fuzzy logic and neural networks from well data in offshore Korea, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 49(3-4), pp. 182-192.
- Mallat, S., 1999- *A wavelet tour of signal processing*, Academic press, 663 pages.
- Olson, T. M., 1998- Porosity and permeability prediction in low-permeability gas reservoir from well logs using neural networks, SPE 39964, SPE Rocky Mountain Regional Symposium and Exhibition, Colorado, 10 pages.
- Rasouli, V. & Tokhmechi, B., 2010- Difficulties in using geostatistical models in reservoir simulation, SPE 126191, North Africa Technical Conference and Exhibition, Energy Management in a Challenging Economy, Egypt, pp. 103-114.
- Schlumberger Houston, T. X., 1989- *Log Interpretation, principles/applications*.
- Schlumberger Houston, T. X., 2005- *Log interpretation charts*.
- Schlumberger, 1989- *Log interpretation/Application*, 2nd Edition, Schlumberger Well Services.
- Serra, O., 1989- *Formation MicroScanner Image Interpretation*, Schlumberger Education Services.
- Stoffer, D. S., Han, S., Qin, L. & Guo, W., 2010- Smoothing spline ANOPOW, *Journal of Statistical Planning and Inference*, Vol. 140(12), pp. 3789-3796.
- Waxman, M. H. & Smits, L. J. M., 1968- Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands, *SPE Journal*, Vol. 8 (2), pp. 107-122.
- Winsauer, W. O., Shearing, H. M. Jr., Masson, P. H. & Williams, M., 1952- Resistivity of brine saturated sands in relation to pore geometry, *AAPG Bulletin*, Vol. 36 (2), pp. 253-277.

Fourier Based Investigation of Deficiency of Well Logs Processing Methods

B. Tokhmechi ^{1*}, H. Azizi ² & H. Memarian ³

¹ Associate Professor, School of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering, University of Shahrood, Shahrood, Iran

² Ph.D. Researcher of Pasargad Group, Tehran, Iran

³ Professor, School of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

.Received: 2012 May 12

Accepted: 2012 October 21

Abstract

Estimation of rock type, porosity and saturation are the main applications of petrophysical logs. Several equations are presented for mentioned estimations, and deficiencies of these equations are widely investigated. In this paper, general deficiency of well logs processing methods is discussed. In general, because of smoothing trait of estimators, variability of estimated data is less than raw data. Since rock type, porosity and saturation are estimated from various well logs, it is anticipated that they have less variability in comparison with raw well logs. Therefore, it seems that energy (equal to information) of Fourier transform of estimated well logs in low frequency bands have to be more than similar energy of raw well logs. This study has been done on raw and estimated well logs of more than 100 wells of Iranian south and southwest oil fields. The results showed that estimated well logs have more variability, which confirms a fundamental deficiency in current well log processing methods.

Keywords: Petrophysical Well Logs, Fourier Transform, Well Log Energy, Estimation, Frequency Band, Iran.

For Persian Version see pages 253 to 258

*Corresponding author: B. Tokhmechi; E-mail: tokhmechi@ut.ac.ir