

# ارائه رویکردی بهبود یافته جهت شناسایی موجک مبنای بهینه برای تحلیل داده‌ها در حوزه علوم زمین

فرناز قریشی<sup>(۱)\*</sup>، بهزاد تخم‌چی<sup>۲</sup>، امین روشندل کاهو<sup>۳</sup> و حسین احمدی نوبری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه

شاهرود

۲. دانشیار گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود

۳. استادیار گروه اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود

۴. استاد گروه کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۳

## چکیده

ابزارهای تحلیل سیگنال همچون تبدیل‌های گوناگون، در شناسایی و استخراج هر چه بیشتر اطلاعات از سیگنال‌ها به کمک محققین آمده‌اند. در میان این ابزارها، تبدیل موجک به علت ویژگی‌های مطلوبش مورد اقبال روزافزون قرار گرفته است. مسئله این است که در این تبدیل، توابع موجک مادر گوناگونی را می‌توان به کار گرفت که انتخاب هر یک از آن‌ها تأثیر مستقیم بر روی تحلیل و نتیجه به دست آمده خواهد داشت. در کنار روش‌های گوناگونی که برای ساختن موجک مبنای بهینه منطبق بر سیگنال مورد بررسی ارائه شده، روش‌هایی نیز برای انتخاب موجک مبنای بهینه از میان توابع موجود معرفی شده‌اند. با انتخاب روش تطابق انرژی معمول و اعمال آن بر روی داده‌ها، ضعف عملکرد این روش در گزینش موجک مبنای بهینه در دو بخش مشاهده شد. تبدیل تفریق میانگین به عنوان راهکاری قابل تعمیم جهت آماده‌سازی داده‌ها قبل از استفاده از روش تطابق انرژی پیشنهاد گردید. استفاده از این تبدیل ساده به انتخاب موجک مبنای بهینه و رسیدن به پاسخ‌های یکتا در دو بخش مورد سوال انجامید.

**واژه‌های کلیدی:** تبدیل فوریه، تبدیل موجک، موجک مبنای بهینه، روش تطابق انرژی، روش تطابق انرژی بهبودیافته، تبدیل تفریق میانگین.

## مقدمه

امروزه با توجه به ویژگی تبدیل موجک در دستیابی توأم به قدرت تفکیک فرکانسی و مکانی و با ممکن ساختن تحلیل چند درجه تفکیکی، این تبدیل، کاربرد فراوانی در میان اکثر علوم یافته است. جستجو در میان مجموعه مقالات سایت‌های علمی، حاکی از رشد روزافزون کاربرد تبدیل موجک در حوزه علوم زمین است. در بسیاری از این مطالعات، به طور معمول دلیلی برای گزینش موجک مبنای مورد استفاده ذکر نشده است. این در حالی است که نوع موجک مبنای استفاده شده در حل مسئله مؤثر بوده و یافتن موجک مطلوب، چالش پیش رو می‌باشد.

برخی از محققان به بررسی تأثیر انتخاب موجک مبنای مناسب پرداخته (Mojsilovic et al., 2000; Farina et al., 2007; Ji- (ang et al., 2011; Imtiaz et al., 2013) موجک مبنای را ذکر کرده (Ahuja et al., 2005; Singh and Ti- (wari, 2006; Brechet et al., 2007) مبنای مناسب یک کاربرد را معرفی کرده‌اند (Rafiee et al., 2010; (Hsu, 2007; Li et al., 2009) از سوی دیگر در حالی که در بعضی مراجع، طراحی موجک مبنای در رأس کار قرار گرفته (Karel et al., 2005) برخی نیز به ابداع روش‌هایی برای یافتن موجک مبنای بهینه از میان موجک‌های موجود اقدام کرده‌اند (Castro et

مختلط می‌باشد. تبدیل فوریه، اطلاعاتی در مورد سهم حضور فرکانس‌های مختلف در سیگنال در اختیار ما می‌گذارد (Stark, 2005). ضعف این تبدیل آن است که از تابع تحلیل ثابتی استفاده می‌کند و قدرت تفکیک زمانی نیز ندارد. علاوه بر آن این تبدیل برای سیگنال‌های پایا مناسب است.

به‌منظور ارتقای تبدیل فوریه و دستیابی به قدرت تفکیک زمانی، در تبدیل مذکور پنجره‌ای در نظر گرفته شده است. به این ترتیب سیگنال در بازه‌های زمانی محدود، به اندازه طول پنجره تعریف شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این تبدیل که سیگنال را از حوزه زمان به حوزه فرکانس می‌برد، تبدیل فوریه زمان کوتاه یا تبدیل فوریه پنجره دار می‌گویند (Stark, 2005):

$$\hat{f}_w(\omega, t^*) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} w(t-t^*) dt \quad (2)$$

که در آن  $w(t-t^*)$  تابع پنجره بوده و مرکز آن بر زمان  $t^*$  تنظیم شده است. به کمک این تبدیل، سهم حضور مولفه فرکانسی خاص در بازه زمانی خاص محاسبه می‌شود. به این معنی که می‌توان به‌طور محلی، زمان حضور مولفه مذکور را نیز محاسبه کرد (Stark, 2005). به این صورت این تبدیل برای بررسی سیگنال‌های ناپایا مناسب گردیده و مشکل قدرت تفکیک زمانی موجود در تبدیل فوریه نیز بر طرف شده است. در مقابل این افزایش قدرت تفکیک زمانی، طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، قدرت تفکیک فرکانسی حاصله کاهش یافته و کمتر از قدرت تفکیک فرکانسی تبدیل فوریه شده است.

### تئوری موجک

تئوری موجک برای غلبه بر مشکلات تبدیل فوریه و فوریه زمان کوتاه ارائه گردیده است. در تبدیل موجک، تابع تحلیل و تابع پنجره در هم ادغام شده و به‌عنوان تابع موجک مادر معرفی شده است؛ در این صورت می‌توان با افزایش فرکانس تابع تحلیل به‌طور هم‌زمان عرض تابع پنجره را کم کرد (Stark, 2005).

$$L_{\Psi} f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) |a|^{-\frac{1}{2}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

در این رابطه  $\Psi(t)$  موجک مادر یکتا،  $a$  پارامتر تغییر مقیاس ( $a \neq 0$ )،  $b$  پارامتر انتقال (هر دو عضو مجموعه اعداد حقیقی) و  $L_{\Psi} f(a, b)$  تبدیل موجک پیوسته است. ضریب  $|a|^{-\frac{1}{2}}$  فاکتور نرمال‌سازی بوده و برای از بین بردن اثر مقیاس از موجک‌های دارای مقیاس‌های مختلف استفاده می‌شود. با افزایش  $a$ ، موجک باریک‌تر شده و با تغییر  $a$  و  $b$ ، حالت‌های تغییر مقیاس یافته و جابجا شده موجک مادر انتخابی  $\Psi(t)$  به‌دست می‌آید. این تبدیل به‌دنبال یافتن سهم حضور یک مؤلفه فرکانسی خاص در سیگنال

برای یافتن موجک مینا، روش‌های متعددی پیشنهاد شده که می‌توان به تطابق طیف موجک با طیف سیگنال در دست بررسی (Chapa and Rao, 1995)، معیار آنتروپی (Wechsler and Huang, 1999; Li et al., 2009; Hong and Kim, 2004) تطابق موجک با سیگنال مورد بررسی (Chapa and Rao, 2000; Nielsen et al., 2008)، پارامتری کردن موجک مادر (Lucas et al., 2008) و الگوریتم تطابق انرژی (Tokhmechi et al., 2009) اشاره نمود.

در برخی از مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته است برای گزینش موجک مینای بهینه در تجزیه سیگنال، از روش تطابق انرژی به‌خوبی استفاده شده است. برای مثال Tokhmechi et al. (2009) در برای تعیین مناطق شکستگی و عزیزی و همکاران (۱۳۹۰) در هفت چاه یکی از میدین نفتی جنوب ایران، موجک مینای بهینه را به روش تطابق انرژی شناسایی نموده‌اند.

در این مقاله، در مسیر یافتن تابع موجک بهینه به روش الگوریتم تطابق انرژی، نتیجه‌ای برای انتخاب موجک مینای بهینه برای برخی از محدوده‌های چاه به‌دست نیامده و در برخی محدوده‌ها نیز چندین پاسخ به‌دست آمده است. یک کلاس‌بندی برای تشخیص محدوده‌هایی که الگوریتم تطابق انرژی برای آن‌ها مناسب است، صورت گرفت و هم‌زمان ویژگی محدوده‌هایی که این روش برای آن‌ها به‌جواب نمی‌رسد، شناسایی شد. در نهایت برای یافتن موجک مینای مناسب نگارهای دسته دوم، از یک تبدیل ساده و نیز قابل تعمیم به نگارهای دسته اول به نام تبدیل تفریق میانگین<sup>۱</sup> استفاده گردید و موجک مینای سایر محدوده‌های چاه نیز تعیین شد.

### مبانی روش‌ها

#### تبدیل فوریه و فوریه زمان کوتاه

ابزارهای ریاضی مختلفی چون تبدیل فوریه، تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک برای تحلیل سیگنال‌ها و به‌منظور استخراج اطلاعات مفیدتر از آن‌ها ارائه شده است. مفید بودن اطلاعات استخراجی به هدف کاربر بستگی دارد. تبدیل فوریه روشی قوی در رسیدن به این هدف می‌باشد. این تبدیل، با ضرب داخلی تابع تحلیل در سیگنال، سگینال را از حوزه زمان به حوزه فرکانس برده و ویژگی‌های سیگنال را آشکار می‌سازد (Goswa-mi and Chan, 2011):

$$\hat{f}(\omega) = f(t), e^{j\omega t} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt \quad (1)$$

که در آن  $e^{j\omega t}$  تابع تحلیل،  $f(t)$  سیگنال مورد بررسی و  $\hat{f}(\omega)$  تبدیل فوریه آن است. ویژگی مورد بررسی در تبدیل فوریه، فرکانس زاویه‌ای بوده و تابع تحلیل در این تبدیل، یک تابع

1. Zero mean Transform
2. Fourier Transform
3. Short Time Fourier Transform (STFT)
4. Wavelet Transform
5. Windowed Fourier Transform

با موجک‌های مادر مختلف، با انرژی حاصله از تبدیل فوریه مقایسه می‌شود. موجک مادری که انرژی حاصل از تجزیه‌اش تطابق بهتری با انرژی حاصل از تبدیل فوریه دارد، موجک مبنای انتخابی می‌باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰).

### داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، داده‌های آموزشی موجود در نرم‌افزار همپسون-راسل بوده که مربوط به میدان Black-foot در آلبرتای مرکزی است (Russell et al., 2001). پایگاه داده تخلخل در این نرم‌افزار، تنها شامل ۷ چاه از مجموعه چاه‌های حفر شده در میدان مذکور است (شکل ۱). از میان نگارهای برداشت شده در این چاه‌ها، داده‌های مربوط به دو نگار «تخلخل به دست آمده از چگالی (جدول ۱)» و «چگالی (جدول ۲)»، از نرم‌افزار استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، با در نظر گرفتن تغییرات مقادیر نگارها و خصوصیات آماری آن‌ها (شکل ۲)، هر چاه به سه زون تقسیم شد. همان‌طور که در شکل ۲-الف مشاهده می‌شود، معیار میانگین در نگار تخلخل به دست آمده از چگالی برای جدایش بخش ابتدایی، خوب و برای جدایش دو بخش دیگر نسبتاً خوب عمل نموده است. در شکل ۲-ب نیز عملکرد خوب این معیار در جدایش بخش ابتدایی نگار چگالی دیده می‌شود. با توجه به شکل ۲-ب و ۲-ت، معیار انحراف معیار به جدایش بخش‌های میانی و انتهایی هر دو نگار کمک نموده است. به این ترتیب روش مورد نظر بر روی ۴۲ محدوده چاه مورد استفاده قرار گرفت:

$$42 \text{ محدوده} = (3 \text{ بخش} \times 2 \text{ نگار} \times 7 \text{ چاه})$$

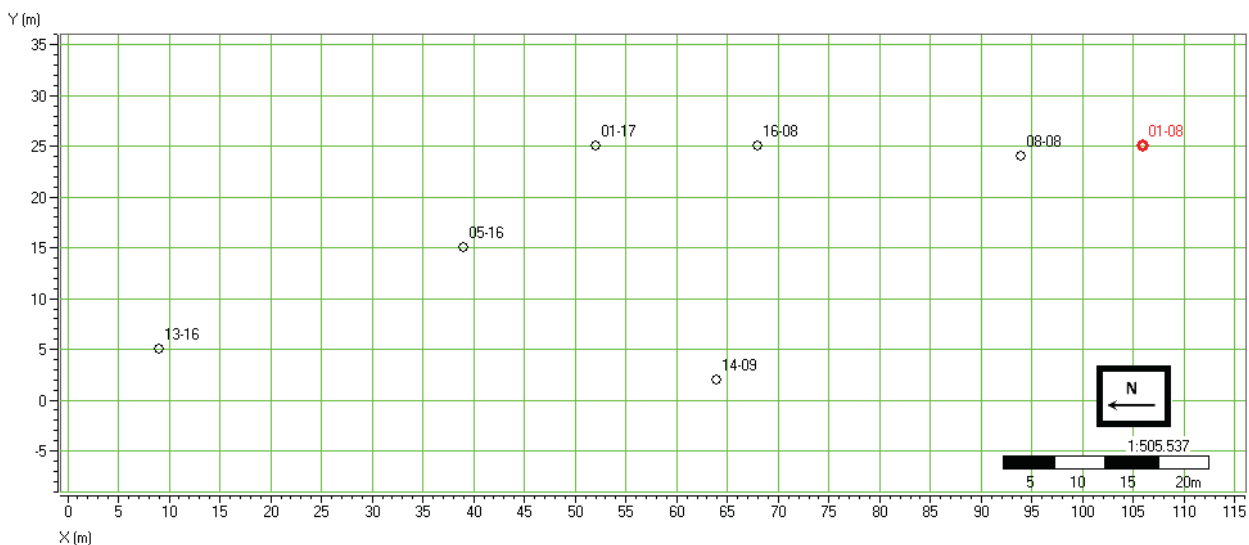
### نتایج

به کمک روش تطابق انرژی ذکر شده، انتخاب موجک مبنای برای نگار تخلخل به دست آمده از چگالی به خوبی ممکن گردید (جدول ۳). این انتخاب براساس کمترین اختلاف بین انرژی

نیست؛ بلکه به دنبال یافتن جزئیات سیگنال به اندازه (یا عرض زمانی)  $a$  در زمان  $t$  و سهم حضور این جزئیات می‌باشد (Stark, 2005).

### تطابق انرژی

یکی از الگوریتم‌های کارآمد برای گزینش موجک مبنای بهینه به منظور تجزیه داده‌ها، الگوریتم تطابق انرژی است. در این الگوریتم با فرض در نظر گرفتن داده‌های نگار ورودی به عنوان یک سیگنال، ابتدا تبدیل فوریه سیگنال گرفته می‌شود. با الگوبرداری از درخت تبدیل موجک، ضرایب تبدیل فوریه سیگنال در بخش تقریب در هر مرحله از تجزیه به دو قسمت تقسیم می‌گردد. بعد از چند مرحله تجزیه، انرژی سیگنال در همه قسمت‌های حاصله محاسبه می‌شود. در گام بعد با توجه به هدف و با در نظر گرفتن ماهیت اطلاعات مورد بررسی، یکی از دو بخش جزئیات و تقریب به دست آمده انتخاب شده و تنها در آن بخش، محدوده‌های فرکانسی‌ای که در آن‌ها انرژی سیگنال غالب است، شناسایی می‌شوند. در این مقاله جهت کنار گذاشتن مقادیر زمینه، بخش تقریب انتخاب نشده و از میان بخش جزئیات هر تقریب، محدوده فرکانسی دارای انرژی سیگنال غالب انتخاب شده است. از آنجا که تبدیل فوریه دارای بیشترین قابلیت تفکیک فرکانسی در میان سایر تبدیل‌ها است، این محدوده‌های فرکانسی دارای انرژی غالب، هدف و یا به عبارتی معیار انتخاب موجک مبنای می‌باشند. در این مقاله به انرژی به دست آمده از تبدیل فوریه، «انرژی معیار» گفته می‌شود. به عبارت دیگر، تطابق عملکرد تجزیه هر موجک مادر با تجزیه فوریه به معنی قابلیت تفکیک فرکانسی مطلوب آن موجک مادر خواهد بود (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۰). در ادامه، سیگنال توسط موجک‌های مادر مختلف تجزیه شده و انرژی سیگنال در محدوده‌های فرکانسی که انرژی سیگنال حاصل از تبدیل فوریه آن‌ها غالب بود، محاسبه می‌شود. در محدوده فرکانسی مذکور انرژی‌های به دست آمده از تجزیه سیگنال



شکل ۱. موقعیت چاه‌های موجود در پایگاه داده نرم‌افزار همپسون-راسل در میدان Blackfoot آلبرتا (Russell et al., 2001).

جدول ۱. اطلاعات مربوط به نگار تخلخل به دست آمده از چگالی چاه‌های مختلف. اقتباس از نرم‌افزار همپسون-راسل. در این جدول اسامی چاه‌ها، نوع نگار رانده شده در آن‌ها، نقطه شروع و پایان نگارگیری و تعداد نمونه‌های برداشت شده ذکر شده است.

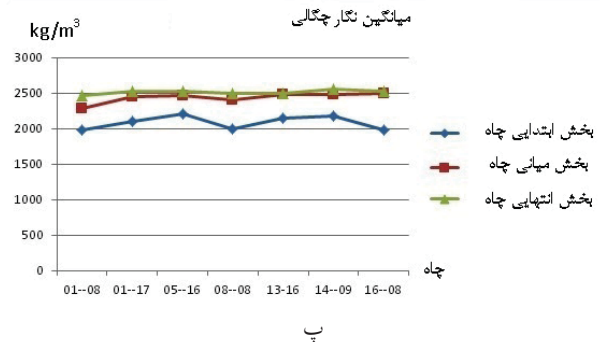
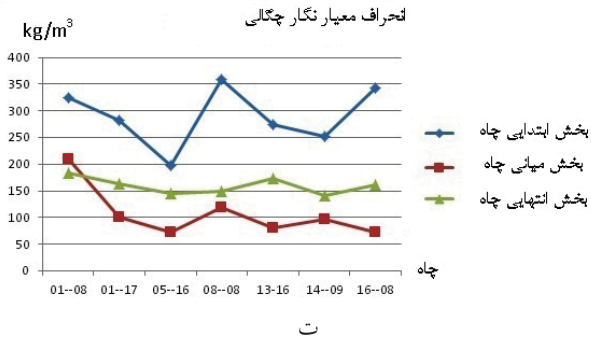
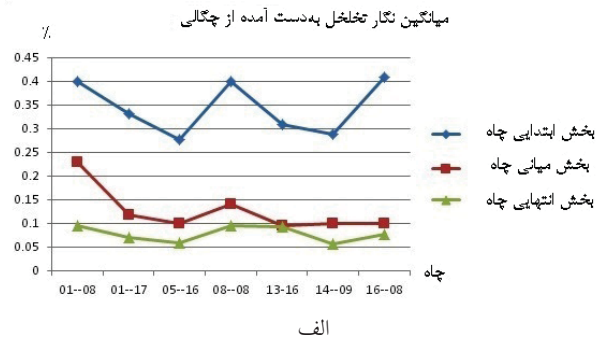
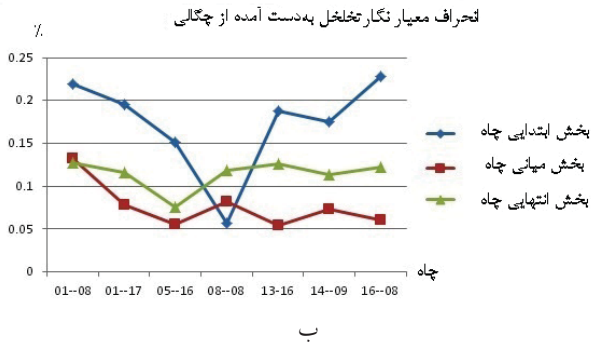
ردیف	شماره چاه	اسم نگار	نوع نگار	شروع عمق نمونه‌برداری (m)	پایان عمق نمونه‌برداری (m)	تعداد نقاط
۱	۰۸-۰۱	Den-porosity	Den-porosity	۱۶۲/۰	۱۶۱۷/۸	۷۲۸۰
۲	۱۷-۰۱	Den-porosity	Den-porosity	۱۶۵/۲	۱۶۳۱/۲	۷۳۳۱
۳	۱۶-۰۵	Den-porosity	Den-porosity	۱۴۹/۲	۱۶۶۱/۰	۷۵۶۰
۴	۰۸-۰۸	Den-porosity	Den-porosity	۱۶۳/۲	۱۶۳۰/۸	۷۳۳۹
۵	۱۶-۱۳	Den-porosity	Den-porosity	۱۹۵/۲	۱۶۴۷/۶	۷۲۶۳
۶	۰۹-۱۴	Den-porosity	Den-porosity	۲۱۸/۲	۱۶۱۵/۲	۶۹۸۶
۷	۰۸-۱۶	Den-porosity	Den-porosity	۱۶۴/۴	۱۶۲۱/۲	۷۲۸۵

جدول ۲. اطلاعات مربوط به نگار چگالی چاه‌های مختلف، اقتباس از نرم‌افزار همپسون-راسل. در این جدول اسامی چاه‌ها، نوع نگار رانده شده در آن‌ها، نقطه شروع و پایان نگارگیری و تعداد نمونه‌های برداشت شده ذکر شده است.

ردیف	شماره چاه	اسم نگار	نوع نگار	شروع عمق نمونه‌برداری (m)	پایان عمق نمونه‌برداری (m)	تعداد نقاط
۱	۰۸-۰۱	Density	Density	۱۶۲/۰	۱۶۱۵/۰	۷۲۶۶
۲	۱۷-۰۱	Density	Density	۱۵۶/۴	۱۷۰۱/۰	۷۷۲۴
۳	۱۶-۰۵	Density	Density	۱۴۹/۰	۱۷۲۲/۰	۷۸۶۶
۴	۰۸-۰۸	Density	Density	۱۵۱/۲	۱۷۲۰/۰	۷۸۴۵
۵	۱۶-۱۳	Density	Density	۱۹۵/۲	۱۶۴۷/۰	۷۲۵۵
۶	۰۹-۱۴	Density	Density	۲۱۸/۲	۱۶۱۲/۰	۶۹۷۰
۷	۰۸-۱۶	Density	Density	۱۶۴/۴	۱۶۱۹/۰	۷۲۷۴

جدول ۳. موجک مبنای انتخاب شده برای نگار تخلخل به دست آمده از چگالی در هر بخش از چاه‌ها بر اساس روش تطابق انرژی معمول.

بخش	چاه نگار	۰۸ - ۰۱	۱۷ - ۰۱	۱۶ - ۰۵	۰۸ - ۰۸	۱۶ - ۱۳	۰۹ - ۱۴	۰۸ - ۱۶
بخش ۱	Den-porosity	bior 5.5	bior 5.5	bior 5.5	bior 6.8	bior 5.5	db 7	bior 5.5
بخش ۲	Den-porosity	bior 5.5	rbio 3.9	bior 5.5	rbio 1.3	rbio 3.7	bior 3.7	db 5 rbio 2.6
بخش ۳	Den-porosity	db 2 sym 2	coif 5	rbio 3.1	sym 7	rbio 3.3	rbio 3.3	coif 1

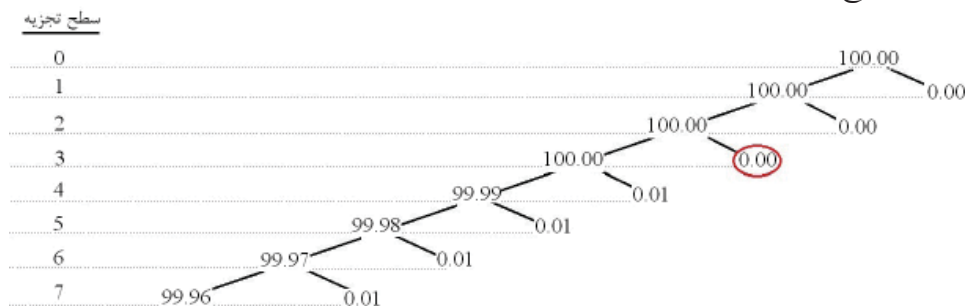


شکل ۲. خصوصیات آماری نگارها در چاه‌های مختلف میدان. الف) میانگین، معیار خوبی برای جداسازی نگر تخلخل به دست آمده از چگالی در بخش ابتدایی، میانی و انتهایی چاه است، ب) انحراف معیار، نگر تخلخل به دست آمده از چگالی را در بخش‌های میانی و انتهایی چاه جدا می‌سازد، پ) میانگین، نگر چگالی را تنها در بخش ابتدایی چاه جدا می‌سازد، ت) با کمک انحراف معیار سه بخش نگر چگالی در چاه‌ها از هم تفکیک می‌شوند.

حاصل نشده است. نتایج کلی انتخاب موجک مبنای بهینه، به‌طور خلاصه، برای داده‌های نگر چگالی در همه چاه‌ها در جدول ۵ دیده می‌شود.

در نگر چگالی، مطالعه بر روی ۷ محدوده مربوط به بخش میانی چاه‌ها، این نکته را آشکار نمود که در تجزیه سیگنال با موجک مادر، تا چند سطح تجزیه، انرژی سیگنال در بخش جزئیات صفر شده و همه انرژی سیگنال در بخش تقریب قرار گرفته است (شکل ۳). در همین شکل دیده می‌شود که، حتی بعد از غیر صفر شدن انرژی در بخش‌های جزئیات هر تقریب، در مقایسه با انرژی بخش تقریب، عدد ناچیزی به‌عنوان انرژی به دست آمده است؛ که خود باز نمی‌تواند معیاری قوی در انتخاب موجک مادر مبنای باشد.

سیگنال به دست آمده از موجک مادر با انرژی معیار صورت گرفته است. روش مذکور بر روی داده‌های نگر چگالی در همه چاه‌ها نیز اعمال شد. همان‌طور که در جدول ۴ برای چاه ۱۴-۰۹ قابل مشاهده است، انتخاب موجک مبنای تنها در بخش ابتدایی به‌خوبی صورت گرفته است. در این بخش دو موجک  $coif_4$  و  $rbio_5$  با نزدیکترین عدد انرژی (۰/۱۵) به انرژی معیار در این بخش (۰/۱۱۱۸)، به‌عنوان موجک مبنای انتخاب شده‌اند. در بخش میانی، با به دست آمدن انرژی معیار نزدیک به صفر (۰/۰۳۲) و ناچیز بودن اختلاف میان انرژی موجک‌های مادر با آن، نتیجه گرفته می‌شود که روش تطابق انرژی مذکور در این بخش قادر به تعیین موجک مبنای نمی‌باشد. در بخش انتهایی چاه نیز با به دست آمدن مقدار انرژی مشابه (۰/۰۵) در خانواده‌های  $db$  و  $bio$  و دو عضو از خانواده  $coif$ ، پاسخ یکتایی برای موجک مبنای بهینه



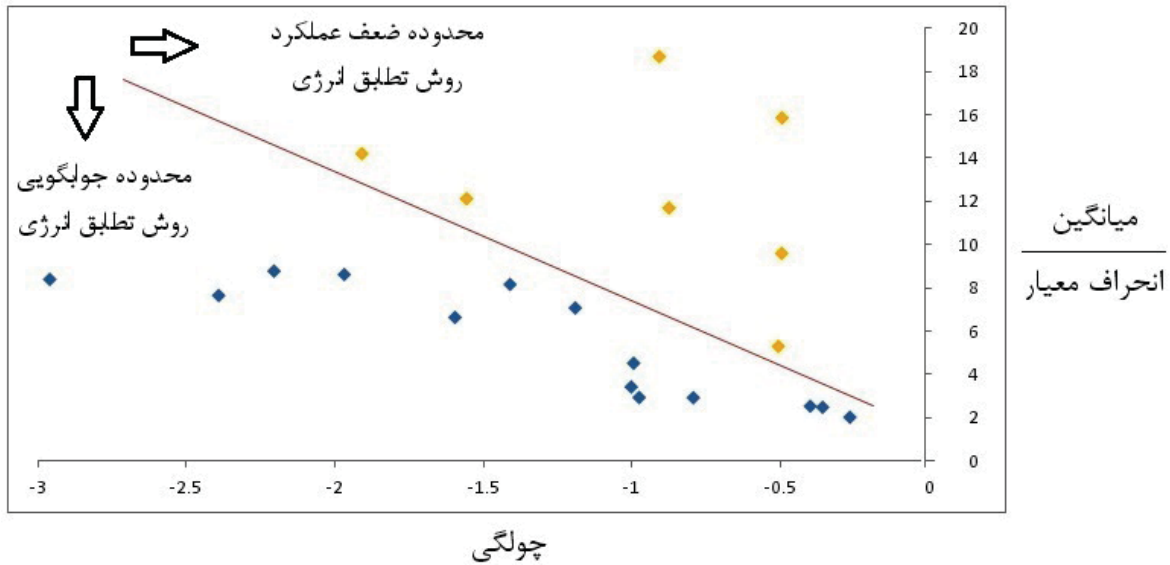
شکل ۳. تجزیه نگر چگالی چاه ۱۴-۰۹ با موجک  $coif_4$  تا سطح ۷. اعداد نشان داده شده در درخت تجزیه، معرف انرژی سیگنال در هر بخش هستند. صفر شدن انرژی سیگنال در بخش جزئیات تا سطح ۳ و ناچیز بودن انرژی در بخش‌های جزئیات در سطوح بعدی مشاهده می‌شود.

جدول ۴. نتایج به دست آمده از اعمال روش تطابق انرژی معمول بر روی نگار چگالی چاه ۱۴-۰۹. در بخش ابتدایی چاه، دو موجک مشخص شده با نوع قلم برجسته، به عنوان موجک مبنای بهینه انتخاب شده‌اند. در بخش میانی با توجه به انرژی صفر به دست آمده از همه موجک‌ها، انتخاب موجک مبنای بهینه ممکن نیست. در بخش انتهایی چاه نیز پاسخ یکتایی در انتخاب موجک مبنای بهینه به دست نیامده است. خانه‌های رنگی، انرژی هر موجک مادر را در بازه متناظر تبدیل فوریه نشان می‌دهد.

Fourier	dmey	rbio	bior	coif	sym	db	haar	موجک نگار	
۰/۱۱۱۸	۰/۱۷	rbio 1.5	bior 5.5	coif 4	sym 7	db 7	۰/۲۲	بخش ۱	
						db 8			
۰/۰۰۳۲	۰/۰۱	rbio 1.5	bior 2.2	coif 1	sym 3	db 3	۰/۰۱	بخش ۲	
		rbio 2.4	bior 4.4	coif 2	sym 4	db 6			
		rbio 2.6	bior 5.5	coif 5	sym 5	db 8			
			bior 6.8		sym 6	db 9			
					sym 7				
		sym 8							
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰				
۰/۰۰۱۳	۰/۰۶	rbio 1.3	bior 5.5	coif 2	sym 2	db 4	۰/۰۷	بخش ۳	
		rbio 2.8		coif 5	sym 5				
		rbio 3.3		۰/۰۵	۰/۰۴				
		rbio 6.8	bior 6.8	coif 3	sym 8				
		۰/۰۴		coif 4					
		rbio 2.6							
		۰/۰۶		۰/۰۵					۰/۰۳

جدول ۵. موجک‌های مبنای انتخاب شده برای نگار چگالی در بخش ابتدایی چاه‌ها بر اساس روش تطابق انرژی معمول. علامت «-» به نشانه عدم توانایی روش استفاده شده و علامت «؟» به نشانه عدم رسیدن به پاسخ یکتا استفاده شده است.

بخش	چاه نگار	۰۸ - ۰۱	۱۷ - ۰۱	۱۶ - ۰۵	۰۸ - ۰۸	۱۶ - ۱۳	۰۹ - ۱۴	۰۸ - ۱۶
بخش ۱	Density	rbio 2.6	bior 5.5	bior 5.5	bior 5.5	bior 5.5	coif 4 rbio 1.5	bior 5.5
بخش ۲	Density	-	-	-	-	-	-	-
بخش ۳	Density	؟	؟	؟	؟	؟	؟	؟



شکل ۴. ترسم نمودار مقاطع میانگین نرمال شده بر انحراف معیار برحسب چولگی در ۲۱ قطعه چاه، نگار چگالی. نقاط زرد رنگ نشانگر ۷ قطعه چاه که روش تطابق انرژی بر روی آن‌ها نتیجه نمی‌گیرد بوده و نقاط آبی نشانگر ۲۱ قطعه چاهی هستند که روش تطابق انرژی در انتخاب موجک مبنا نتیجه می‌دهد.

بعد این میانگین از تمامی نمونه‌های سیگنال کسر می‌شود. در این صورت اثر بالا بودن میانگین داده‌ها از روی داده‌ها برداشته شده و در واقع از تمرکز همه انرژی سیگنال در بخش‌های تقریب تجزیه موجک جلوگیری می‌شود. در ادامه سایر مراحل انتخاب موجک مبنا بهینه، همچون روش تطابق انرژی معمول است.

### نتایج روش تطابق انرژی بهبودیافته

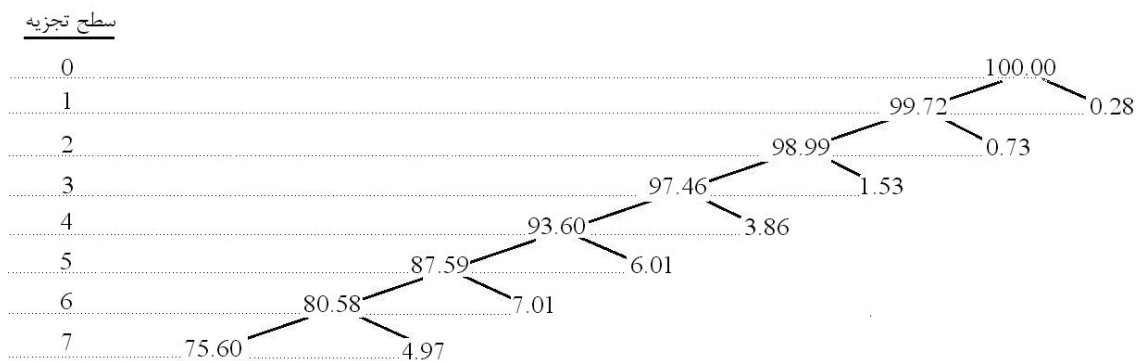
در شکل ۵ برطرف شدن مشکل تمرکز انرژی در بخش‌های تقریب نمودار تجزیه به وضوح مشاهده می‌شود. به این ترتیب با بدست آمدن اعداد دارای تفاوت واضح نسبت به هم در بخش‌های جزئیات هر تقریب، در قطعات مبنا نیز موجک مبنا انتخاب شد. با کمک روش پیشنهاد شده این مقاله، پاسخ‌های یکتا برای قطعات انتهایی چاه‌ها نیز به دست آمده و در نهایت جدول ۵ به صورت جدول ۶ تکمیل می‌شود.

با بررسی آماری، محدوده‌هایی از چاه‌ها که روش تطابق انرژی معمول در آن‌ها منجر به انتخاب موجک مبنا بهینه نمی‌شود، از سایر محدوده‌ها تفکیک شد (شکل ۴). طراحی ریاضی خط جداکننده (طبقه‌بندی کننده خطی)، به سادگی امکان‌پذیر است. از آنجا که جدایش صرفاً در فضای دو بعدی («چولگی» و «میانگین بر انحراف معیار») نگار چگالی است، لذا برای اجتناب از پیچیدگی، رسم این خط به صورت دستی انجام گرفته است.

### روش تطابق انرژی بهبودیافته

#### مبانی روش

به منظور توسعه و بهبود روش تطابق انرژی معمول، تبدیل تفریق میانگین برای داده‌های ۱۴ قطعه چاه مورد استفاده قرار گرفت تا بتوان با روش تطابق انرژی بهبودیافته، موجک مبنا را در این قطعات مشخص کرد و یا پاسخ یکتا به دست آورد. برای اعمال این تبدیل، ابتدا میانگین سیگنال به دست آمده و در گام



شکل ۵. تجزیه نگار چگالی چاه ۱۴-۰۹ با موجک هار تا سطح ۷. اعداد نشان داده شده در درخت تجزیه، معرف انرژی سیگنال در هر بخش هستند. تمرکز انرژی سیگنال در بخش تقریب مشاهده نمی‌شود.

جدول ۶. موجک‌های مبنای انتخاب شده برای نگار چگالی در بخش میانی و انتهایی چاه‌ها براساس روش تطابق انرژی بهبودیافته.

بخش	چاه نگار	۰۸ - ۰۱	۱۷ - ۰۱	۱۶ - ۰۵	۰۸ - ۰۸	۱۶ - ۱۳	۰۹ - ۱۴	۰۸ - ۱۶
بخش ۲	Density	bior 1.3	coif 5	db 10	db 9	db 1	db 1	db 1
بخش ۳	Density	demy	bior 3.3	bior 1.1 rbio 1.1	db 3 sym 3	bior 1.3	coif 1	rbio 5.5

### نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی ارائه شد که می‌تواند بسطی بر روش پیشنهاد شده الگوریتم تطابق انرژی در یافتن تابع موجک مادر بهینه در نظر گرفته شود. در این روش بهبودیافته، از تبدیل ساده تفریق میانگین بر روی داده‌ها، پیش از به‌کارگیری الگوریتم تطابق انرژی استفاده شد. تبدیل تفریق میانگین با حذف اثر میانگین داده‌ها از آن‌ها، از انباشته شدن انرژی در بخش‌های خاص تجزیه موجک مادر جلوگیری می‌کند. با استفاده از این روش بهبودیافته، انتخاب موجک مبنای بهینه و رسیدن به پاسخ یکتا در همه قطعات نگارهای چاه ممکن گردید.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از جناب آقای دکتر محمد کنشلو به دلیل راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان تقدیر می‌گردد.

### منابع

- عزیزی، ه.، تنخچی، ب.، احمدی نوبری، ح.، جبه‌دار مارالانی، پ. و معاریان، ح.، ۱۳۹۰. اهمیت گزینش موجک مادر بهینه در تحلیل داده‌ها در حوزه علوم زمین. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۶۳، ۱۸-۷۶.

- Ahuja, N., Lertrattanapanich, S. and Bose, N.K., 2005. Properties determining choice of mother wavelet. Vision, Image and Signal Processing, IEE Proceedings, 152, 5, 659-664.

- Brechet, L., Lucas, M.F., Doncarli, C. and Farina, D., 2007. Compression of Biomedical Signals With Mother Wavelet Optimization and Best-Basis Wavelet Packet Selection. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, 54, 12, 2186-2192.

- Castro, B., Kogan, D. and Geva A.B., 2000. ECG feature extraction using optimal mother wavelet. Electrical and Electronic Engineers in Israel. The 21st IEEE Convention.

- Chapa, J.O. and Rao, R.M., 1995. Optimal matched wavelet construction and its application to image pattern

recognition. SPIE's 1995 Symposium on OE/Aerospace Sensing and Dual Use Photonics. International Society for Optics and Photonics, 2491, 518-529.

- Chapa, J.O. and Rao, R.M., 2000. Algorithms for designing wavelets to match a specified signal. Signal Processing, IEEE Transactions on, 48, 12, 3395-3406.

- Farina, D., Nascimento, O.F.D., Lucas, M.F. and Doncarli, C., 2007. Optimization of wavelets for classification of movement-related cortical potentials generated by variation of force-related parameters. Journal of Neuroscience Methods, 162, 1-2, 357-363.

- Goswami, J.C. and Chan, A.K., 2011. Fundamentals of Wavelets: Theory, Algorithms and Applications. Wiley Series in Microwave and Optical Engineering, Second Edition, 380.

- Hong, J.C. and Kim Y., 2004. Determination of the optimal Gabor wavelet shape for the best time-frequency localization using the entropy concept. Experimental Mechanics, 44, 4, 387-395.

- Hsu, P.H., 2007. Feature extraction of hyperspectral images using wavelet and matching pursuit. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62, 2, 78-92.

- Imtiaz, H. and Fattah, S.A., 2013. A wavelet-based dominant feature extraction algorithm for palm-print recognition. Digital Signal Processing, 23, 1, 244-258.

- Jiang, Y., Tang, B., Qin, Y. and Liu, W., 2011. Feature extraction method of wind turbine based on adaptive Morlet wavelet and SVD. Renewable Energy, 36, 8, 2153-2146.

- Karel, J.M.H., Peeters, R.L.M., Westra, R.L., Moermans, K.M.S., Haddad, S.A.P. and Serdijn, W.A., 2005. Optimal discrete wavelet design for cardiac signal processing. Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference of the.

- Li, F., Meng, G., Kazuro, K., Su, Z. and Ye, L., 2009.



Optimal Mother Wavelet Selection for Lamb Wave Analyses. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 20, 10, 1147-1161.

- Lucas, M.F, Gaufriau, A., Pascual, S., Doncarli C. and Farina, D., 2008. Multi-channel surface EMG classification using support vector machines and signal-based wavelet optimization. *Biomedical Signal Processing and Control*, 3, 2, 169-174.

- Mojsilovic, A., Popovic, M.V. and Rackov, D.M., 2000. On the selection of an optimal wavelet basis for texture characterization. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 9, 12, 2043-2050.

- Nielsen, M., Kamavuako, E., Andersen, M., Lucas, M.F. and Farina, D., 2006. Optimal wavelets for biomedical signal compression. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44, 7, 561-568.

- Rafiee, J., Rafiee, M.A. and Tse, P.W., 2010. Application of mother wavelet functions for automatic gear and bearing fault diagnosis. *Expert Systems with Applica-*

*tions*, 37, 6, 4568-4579.

- Russell, B., Hampson, D., Lines, L. and Todorov, T., 2001. Combining geostatistics and multiattribute transforms—A channel sand case study. 71st Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts.

- Singh, B.N. and Tiwari, A.K., 2006. Optimal selection of wavelet basis function applied to ECG signal denoising. *Digital Signal Processing*, 16, 3, 275-287.

- Stark, H.G., 2005. *Wavelets and Signal Processing, An Application-Based Introduction*. Springer, 158.

- Tokhmechi, B., Memarian, H., Rasouli, V., Noubari, H.A. and Moshiri, B., 2009. Fracture detection from water saturation log data using a Fourier-wavelet approach. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 69, 1-2, 129-138.

- Wechsler, H. and Huang, J., 1999. Eye detection using optimal wavelet packets and radialbasisfunctions (RBFs). *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 13, 07, 1009-1025.