



افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن با استفاده از روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و مقایسه آن با نتایج تبدیل موجک

محمد رضا آزاد^{۱*}؛ ابوالقاسم کامکار روحانی^۲؛ محمد آرشی^۳

۱. دانشجوی دکتری اکتشاف معدن؛ دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. دانشیار؛ دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳. دانشیار؛ دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه صنعتی شاهرود

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/JPG.2019.159974.1077

چکیده

در این مقاله از دو روش تبدیل موجک و روش هسته با پهنای باند تطبیقی به عنوان دو رویکرد متفاوت در فرایند افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن استفاده شده است. ژئومکانیک در زمینه نفتی به بررسی پارامترهای مقاومت فشاری تک محوری، مدول یانگ، مدول بالک و مدول برشی برای تعیین کیفیت سنگ مخزن و سنگ پوش و همچنین تأثیر مقاومت سنگ و تنش بر رفتار سازندها در نتیجه فعالیت‌های نفتی می‌پردازد. با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی مانند نگار صوتی و تخلخل، پارامترهای ژئومکانیکی سنگ مخزن محاسبه می‌شوند. شناسایی زون‌های یکنواخت و رده‌بندی کیفیت سنگ، نیازمند بررسی پارامترهای ژئومکانیکی در طول یک چاه است. از افزایش مقیاس برای سهولت این رده‌بندی می‌توان استفاده نمود. در نظریه موجک، پس از تجزیه نگار یا سیگنال مورد نظر تا سطح دلخواه، سیگنال افزایش مقیاس یافته از ترکیب بخش تقریب همان سطح و نمونه‌های باقیمانده از ضرایب جزئیات به دست خواهد آمد. این عملیات منجر به افزایش مقیاس چندمقیاسی خواهد شد. در افزایش مقیاس با استفاده از پهنای باند تابع هسته، حد آستانه یا پهنای باندی تعریف می‌شود که در واقع تابعی از تغییرپذیری پارامتر ژئومکانیکی خواهد بود. روش پهنای باند تطبیقی، می‌تواند الگوی مناسبی جهت افزایش مقیاس سلول‌ها ارائه دهد. در نواحی با تغییرات شدید، با انتخاب پهنای باند بهینه، سلول‌ها به حالت ریز باقی مانده و برعکس در نواحی با تغییرات هموار، تعداد سلول‌های بیشتری با همدیگر ادغام خواهند شد. از مقایسه نتایج دو روش مشاهده می‌شود که در شرایط یکسان، خطای مدل افزایش مقیاس یافته با روش پهنای باند هسته حدود ۱/۴ تبدیل موجک بوده و همچنین این امکان وجود دارد که با توجه به میزان خطای محتمل، بسته به حد آستانه یا پهنای باند مناسب تعریف شده، بتوان تعداد بلوک افزایش مقیاس یافته مدل شبیه‌ساز را با توجه به زمان محاسبات تعیین نمود.

واژگان کلیدی

افزایش مقیاس، پهنای باند هسته، تبدیل موجک، پارامتر ژئومکانیکی، مقاومت فشاری تک محوری

۱. پیش‌گفتار

اندازه‌گیری و تخمین این خصوصیات مکانیکی سنگ‌ها وجود دارند. بررسی مستقیم مغزه و اندازه‌گیری نگارهای چاه دو روش معمول در این راستا هستند. نگارهای تخلخل و صوتی یک رویکرد مناسب برای برآورد پارامترهای ژئومکانیکی سنگ‌های مخزن هستند (Edlman et al., 1998; Azizi and Memarian, 2006; Zhao et al., 2018). مدل‌های ژئومکانیکی اولیه ارائه شده از داده‌های اکتسابی، اصولاً حاوی اطلاعات بسیار زیادی هستند و سلول‌های زیادی را شامل می‌شوند. برای حل این قبیل مدل‌سازی، روش‌های عددی

شناخت و درک پارامترهای ژئومکانیکی، مانند مقاومت فشاری تک محوری (*Compressive Uniaxial Strength/CUS*)، مدول یانگ، نسبت پواسون، مدول برشی، مدول بالک و فشار منفذی، در شبیه‌سازی مخزن و همچنین برای تحلیل پایداری چاه و تولید نفت، امری ضروری است (Papanastasiou and Zervos, 2004; Sarris and Papanastasiou, 2012). کلید موفقیت شناخت مکانیک سنگ در کسب این داده ویژگی‌های ژئومکانیکی است. روش‌های متعددی برای

استفاده می‌شوند که با توجه به شمار زیاد معادلات، نیازمند یک مرحله پیش‌پردازش است که داده‌ها در رده‌های کوچک‌تری طبقه‌بندی شوند. به این فرایند، افزایش مقیاس می‌گویند (Durlofsky, 1997). به همه روش‌هایی که سعی در حفظ اطلاعات ویژگی‌های مخزن در واحد ریزمقیاس هنگام تبدیل به مقیاس بزرگ‌تر را دارند، روش‌های افزایش مقیاس گویند (Miles et al., 2006). اصولاً روش‌های افزایش مقیاس برای جایگزینی نواحی هتروژن شامل سلول‌های ریز به مناطقی با سلول‌های درشت به منظور کاهش هزینه محاسبات استفاده می‌شوند. ویژگی‌های سلول‌های درشت شده از میانگین مقادیر ریزدانه به دست خواهند آمد. به‌عنوان مثال محاسبه تراوایی افزایش مقیاس یافته در شبیه‌سازی مخزن معمولاً بر اساس هم‌ارزسازی جریان‌های میانگین محاسبه می‌شود. هر روش افزایش مقیاس صرف نظر از دقت و نحوه عملکرد آن، بایستی سعی در حفظ ویژگی‌های اصلی داده‌ها داشته باشد (Chen et al., 2015; Farmer, 2002; Dadvar and Sahimi, 2007; Hochstetler and Kitanidis, 2013; Pereira et al., 2014; Ratnakar et al., 2012).

از اولین روش‌هایی که در زمینه افزایش مقیاس به کار گرفته شده‌اند، می‌توان به روش‌های سنتی میانگین‌توانی، نرمال‌سازی مجدد، لوله جریان و حل معادلات فشار اشاره نمود (Cardwell and Parsons, 1945; Warren and Price, 1961; Journal et al., 1986; Durlofsky, 1997; Renard and Marsily, 1992). مشکلی که در زمینه تکنیک‌های میانگین‌گیری افزایش مقیاس وجود دارد این است که اغلب تمایل به همگن‌سازی اطلاعات موجود در داده‌ها داشته و در این صورت اطلاعات محلی مانند گسل‌ها، شکستگی‌ها و مرزهای شیلی دیده نمی‌شوند. از آنجا که به‌طور معمول در نفت و هیدروژئولوژی تشخیص ناپیوستگی‌های منفرد مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها، تغییرات رخساره‌های زمین‌شناسی و رگه‌های دارای تراوایی بالا امری ضروری هستند، لذا چنین روش‌هایی عملاً نمی‌توانند در این حوزه‌ها کارایی لازم را داشته باشند (Qi and Hesketh, 2005).

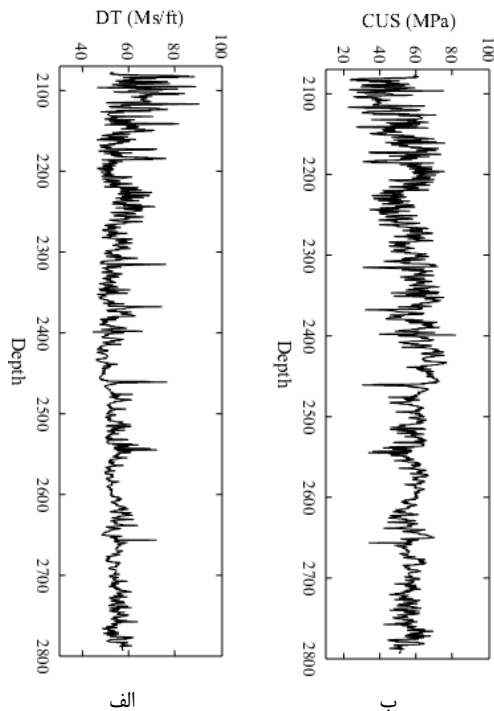
با توجه به ماهیت چند درجه تفکیکی تبدیل موجک، فرایند افزایش مقیاس با این تبدیل به‌صورت هوشمند و غیریکنواخت انجام می‌شود که نقطه مقابل روش‌های سنتی است (Sahimi, 2000; Panda et al., 2000; Marquez, 2006; Young et al., 2013; Moslehi et al., 2016; Panda et al., 2000; Rasaei and Sahimi 2008 & 2009) و (قریشی، ۱۳۹۳؛ رسایی، ۱۳۸۴). افزایش مقیاس با رویکرد موجک به صورت دودویی عمل می‌کند. در واقع دو سلول یا با هم ادغام می‌شوند یا نمی‌شوند. در روش پهنای باند تطبیقی در تابع هسته بر اساس تغییرپذیری پارامتر مورد نظر می‌توان پهنای باند متغیری تعریف نمود و بر اساس آن به یک مدل افزایش مقیاس یافته چند درجه تفکیکی رسید (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷ و عبادی، ۱۳۹۵). در این روش، پهنای باند می‌تواند تابعی از تغییرپذیری سلول باشد. طبیعی است هر چه پهنای باند کمتر در نظر گرفته شود، تعداد سلول‌های درشت شده کمتر خواهند بود و در واقع مدل تمایل به ریزمقیاسی خواهد داشت. در این حالت تعداد سلول‌ها زیاد، و زمان محاسبات در هنگام شبیه‌سازی جریان سیال افزایش می‌یابد ولی خطای افزایش مقیاس کاهش می‌یابد. برعکس هرچه پهنای باند بزرگ‌تر باشد، تغییرپذیری پارامتر هموارتر شده و تعداد سلول‌های درشت‌شده بیشتر خواهد بود. در مقابل مقدار خطای افزایش مقیاس، افزایش یافته و زمان محاسبات کاهش می‌یابد.

در مقاله حاضر ابتدا در قسمت داده‌های تحقیق، نگار صوتی مورد مطالعه که بصورت مصنوعی تولید شده است، بررسی شده و سپس مقاومت فشاری تک‌محوری با استفاده از داده‌های نگار صوتی به صورت غیر مستقیم تخمین زده خواهد شد. سپس در قسمت روش تحقیق، روش شناسی مورد نیاز برای هر دو رهیافت بیان و سپس نتایج افزایش مقیاس صرفاً بر روی داده‌های مصنوعی تولید شده محاسبه شده است. در پایان، نتایج حاصل از دو روش با همدیگر مقایسه خواهند شد.

۲. داده‌های تحقیق

داده‌های استفاده شده در این تحقیق، داده‌های نگار صوتی یک چاه به طول ۷۱۵ متر است که با قدرت تفکیک حدود ۱۵ سانتی‌متر به صورت مصنوعی تولید شده است. داده‌های مصنوعی از یک تابع توزیع نرمال با میانگین ۵۷ و واریانس ۷۵، در طول چاه بگونه‌ای پخش شده‌اند که تغییرپذیری متفاوتی را در عمق چاه ایجاد کنند و از ۴۰ تا ۹۰ میکروثلیه بر فوت متغیر می‌باشند. تعداد نمونه‌های تولیدشده از این چاه ۴۷۷۷ نمونه است. عمده مخازن دنیا ماسه‌سنگی یا کربناته

افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن با استفاده از روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و مقایسه آن با نتایج تبدیل موجک



شکل ۱. الف) نگار صوتی و ب) نگار مقاومت فشاری چاه مورد مطالعه

۳. روش تحقیق

۱.۳ رهیافت تابع هسته با پهنای باند تطبیقی

برآوردگر چگالی هسته (KDE)، یکی از تکنیک‌های مهم آماری با کاربردهای متعدد است که در حالت تک متغیره و چند متغیره موفقیت‌های زیادی داشته است. تاریخچه طولانی این موضوع را می‌توان در مطالعات سیلورمن (۱۹۸۶)، اسکات (۱۹۹۲) و واند و جونز (۱۹۹۵) مشاهده کرد. ایده اصلی در روش هسته، برآورد تابع توزیع در یک نقطه مانند x با استفاده از مشاهدات همسایه آن نقطه است. فرض کنید (X_1, X_2, \dots, X_n) یک نمونه تصادفی به حجم n از جامعه مورد بررسی باشد. چنانچه یافته‌های این نمونه را با (x_1, x_2, \dots, x_n) نشان دهیم؛ برای برآورد تابع توزیع با استفاده از روش هسته می‌توان رابطه (۲) را به کار گرفت (Silverman, 1986):

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (2)$$

هستند، به همین دلیل نگار مصنوعی بر مبنای اینکه سنگ مخزن ماسه‌سنگی است، با توزیع آماری ذکر شده تولید شده است. مخزن ماسه‌سنگی مورد نظر، دارای لایه‌های سنگی با سرعت صوت پایین است که بعضاً وجود شیل‌ها در ابتدای چاه، سرعت صوت را کاهش داده و زمان طی شده توسط موج افزایش می‌یابد. نمودار صوتی، عمق را در مقابل زمان اندازه‌گیری می‌کند و مدت زمانی که یک ضربه صوتی، طول معینی از یک سنگ را طی می‌کند، زمان عبور نامیده شده که بر حسب میکروثانیه بر فوت اندازه‌گیری می‌شود. متوسط زمان عبور صوت از ماسه‌سنگ‌ها حدود ۵۵ میکروثانیه بر فوت است که در صورت حضور سیال در مخزن، این مقدار تا ۲۰۰ میکروثانیه در فوت افزایش خواهد داشت (رضایی، ۱۳۸۰). مقاومت فشاری تک‌محوری، نشان‌دهنده میزان مقاومت سنگ در برابر فشار است. روش‌های مختلفی برای تخمین غیرمستقیم مقاومت فشاری پیشنهاد شده است که می‌توان به آزمایش بارگذاری بر مغزه‌های بازسازی شده از خرده‌های حفاری، آزمایش ثابت امواج پیوسته در خرده ذرات مجزا، تعیین مقاومت فشاری بر اساس خصوصیات سنگ‌شناسی یا همان نگارهای چاه نام برد. در این مقاله نگار مقاومت فشاری تک‌محوری به صورت غیرمستقیم و از روی نگار صوتی تولید شده و بر اساس رابطه تشریح شده در متن مقاله محاسبه شده است. مقاومت فشاری برآورد شده بر اساس رابطه (۱) بین ۲۵ تا ۹۰ مگاپاسکال تغییر می‌کند (Zoback, 2007).

$$CUS = \frac{(7682/\Delta t)^{1.82}}{145} \quad (1)$$

در این رابطه، CUS مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال و Δt مقدار قرائت نگار صوتی بر حسب میکروثانیه بر فوت است. در این تیپ مخازن ماسه‌سنگی، مقاومت فشاری تک‌محوری بین ۳۰ تا ۲۲۰ تغییر کند (موسوی و چشمی، ۱۳۹۲). نمودارهای نگار صوتی و مقاومت فشاری سنگ در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند. به منظور سادگی روند کار، داده‌های نگار مقاومت فشاری تا پایان مقاله به‌عنوان سیگنال معرفی شده است.

پارامتر ژئومکانیکی مخزن، بر اساس پهنای باند تابع هسته، در ادامه بیان شده است:

(۱) ابتدا برای ویژگی مورد نظر، اختلاف دو داده متوالی محاسبه و با مقدار حد آستانه یا همان پهنای باند در هر گام مقایسه می‌شود.

(۲) اگر اختلاف دو مقدار داده سلول اول و دوم کمتر از حد آستانه باشد، پس این دو سلول قابلیت ادغام شدن را داشته و سپس داده دوم و سوم مقایسه می‌شوند و روند ادامه پیدا می‌کند.

(۳) چنانچه دو داده اختلافشان بیشتر از حد آستانه باشد، آن‌گاه افزایش مقیاس انجام شده و تمام سلول‌های قبل این مرحله با همدیگر ادغام می‌شوند و یک مقدار معادل برای این سلول‌ها محاسبه و معادل یک بلوک فرض می‌شود.

(۴) سپس حد آستانه به میزان گام تعریف شده افزایش یافته و مراحل ۱ تا ۳ به ازای حد آستانه جدید محاسبه می‌شود.

(۵) به ازای هر مقدار پهنای باند، این عملیات برای تمام داده‌ها پیاده‌سازی می‌شود.

(۶) به منظور تعیین حد آستانه بهینه از روش‌های مختلف استفاده می‌شود و پهنای باند ایده‌آل برای مسئله معرفی می‌شود.

(۷) توان دوم مقدار اختلاف بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده به‌عنوان خطای هر بلوک و جمع این مقادیر با نام SSE محاسبه می‌شوند.

(۸) به ازای هر پهنای باند، یک مقدار SSE و تعداد بلوک‌های افزایش مقیاس یافته به دست می‌آید.

۲.۳ رهیافت تبدیل موجک

تبدیل موجک یک جایگزین مناسب برای روش‌های سنتی افزایش مقیاس است که به منظور افزایش مقیاس محیط‌های متخلخل استفاده شده است. این روش، مدل اولیه با قدرت تفکیک بالا را، با ایده حفظ اطلاعات مهم توزیع فضایی ویژگی مخزن در تمامی مقیاس‌ها، افزایش مقیاس می‌دهد. بنابراین تعداد بلوک‌های محاسباتی و همچنین تعداد معادلات جریانی و انتقال سیال، بدون از بین رفتن اطلاعات اصلی، به شدت کاهش می‌یابد (Ebrahimi and Sahimi, 2002 & 2004)

که در آن h پهنای باند یا پارامتر هموارسازی ثابت است که مقدار آن میزان همواری در برآورد به روش هسته را تعیین می‌کند. همچنین $K(\cdot)$ ، که به تابع هسته معروف است، تابعی است که باید در شرط (۳) صدق کند:

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(x)dx = 1 \quad (3)$$

با توجه به شرط (۳)، معمولاً تابع هسته خود یک تابع چگالی است که عموماً در تحقیقات متقارن و یک‌مُدی در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است در برآورد تابع چگالی به روش هسته، خود تابع هسته نقش چندانی نداشته و انتخاب مناسب پهنای باند h از اهمیت بسزایی برخوردار است (Hardle, 2004). از آنجایی که باید میزان افزایش مقیاس به تغییرپذیری سلول ارتباط داشته باشد، می‌توان پهنای باند در روش هسته را تابعی از میزان تغییرپذیری ویژگی سیستم در نظر گرفت. در حالت پهنای باند کوچک در نواحی با تغییرپذیری شدید، کمترین میزان افزایش مقیاس را خواهیم داشت و این نواحی به حالت دانه‌ریز باقی خواهند ماند. برعکس در نواحی با تغییرپذیری کم با انتخاب پهنای باند بزرگ، بیشترین تعداد سلول‌ها با همدیگر ادغام شده و درشت‌سازی انجام خواهد شد. پهنای باند متغیر می‌تواند مستقیماً نشان‌دهنده میزان تغییرپذیری سیستم باشد. به منظور تعیین پهنای باند بهینه از روش پویا استفاده می‌شود که در ادامه به آن اشاره خواهد شد. پیش از آن لازم است، به‌طور مختصر، برآورد تابع چگالی به روش هسته با پهنای باند متغیر را بازگو کنیم. فرض کنید مشابه حالت برآورد هسته با پهنای باند ثابت، یافته‌های نمونه تصادفی به صورت (x_1, x_2, \dots, x_n) باشند. برآورد تابع چگالی با استفاده از روش هسته با پهنای باند متغیر به صورت رابطه (۴) است:

$$\hat{g}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{h(x_i)} K\left(\frac{x_i - x}{h(x_i)}\right) \quad (4)$$

که در آن $h(x_i)$ پهنای باند در نقطه x_i است. حد آستانه یا پهنای باند تعریف شده در این مسئله به صورت کنترلی است، به نحوی که میزان تغییر آن و همچنین حداکثر تغییرات آن از روی داده‌ها تعیین می‌شود. مراحل الگوریتم افزایش مقیاس

افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن با استفاده از روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و مقایسه آن با نتایج تبدیل موجک

ϵ_S با ضریب مقیاس هر بلوک مقایسه می شود و اگر ضریب مقیاس بلوک بزرگتر از حد آستانه باشد به این مفهوم است که ویژگی این بلوک بزرگ و مهم است. بنابراین هیچ عملی روی آن انجام نمی شود و بلوک بعدی بررسی می شود. اگر ضریب مقیاس بلوک کوچکتر از ϵ_S باشد، ضرایب جزئیات این بلوک به شرطی که کمتر از ϵ_D باشد، معادل صفر در نظر گرفته می شود و بلوک با بلوک مجاور خود ادغام می شود. بنابراین بسته به وسعت و ساختار توزیع فضایی ویژگی و مقادیر عددی حدود آستانه، تعدادی از بلوکها در مدل اولیه ریز افزایش مقیاس خواهد نداشت (Ebrahimi and Sahimi, 2002; Mostehi et al., 2016). انتخاب حد آستانه یکی از پارامترهای کلیدی در افزایش مقیاس سیگنال است. روشهای زیادی در این زمینه توسعه داده شده اند که از معروفترین آنها می توان به *VisuShrink*، *SURE*، *BayesShrink* و *Feature Adaptive Shrinkage* اشاره کرد. یکی از پرکاربردترین حدود آستانه، حد آستانه تعریف شده توسط دونوهو و جانستون است که تحت عنوان حد آستانه عمومی شناخته می شود و با رابطه $\gamma = \sigma\sqrt{2 \log(n)}$ محاسبه می شود. در این رابطه σ انحراف معیار استاندارد ضرایب جزئیات و n تعداد نمونههای آن است (Xiao and Zhang 2011; Jain and Tiwari 2017; Liu et al. 2017).

۴. نتایج افزایش مقیاس

۱.۴ نتایج افزایش مقیاس بر اساس روش هسته با

پهنای باند تطبیقی

در افزایش مقیاس دادهها بر اساس روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی، همانطور که در قسمت روش تحقیق بیان شد، به ازای هر پهنای باند، مدل اولیه ریز به مدل درشت تبدیل خواهد شد. هر مدل درشت شده، یک تعداد بلوک یا باند افزایش مقیاس یافته خواهد داشت که می توان اختلاف آن را با مدل اولیه ریز از طریق محاسبه مربع میانگین خطا^۱ SSE تعیین کرد. تغییرات پهنای باند از صفر تا حداکثر ۲۵ خواهد بود. گام تغییر پهنای باند نیز ۰/۱ انتخاب شده است. افزایش مقیاس با این ورودیها انجام شده است. پهنای باند بهینه بر

& 2066; Heidarinasab et al., 2004; Rasaei and Sahimi, 2009; Pancaldi et al., 2008). تبدیل موجک یک توزیع فضایی از یک ویژگی مخزن مانند تراوایی یا تخلخل $K(x)$ ، که البته به عنوان ضرایب جزئیات شناخته می شود، می تواند به صورت رابطه (۵) نوشته شود:

$$\begin{aligned} D(a, b) &= \int_{-\infty}^{+\infty} K(x) \psi_{ab}(x) dx \\ &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} K(x) \psi \left[\frac{x-b}{a} \right] dx \end{aligned} \quad (5)$$

در این رابطه ψ به عنوان موجک مادر شناخته می شود. دو پارامتر a و b به ترتیب پارامترهای مقیاس و انتقال موجک مادر هستند. ضرایب $D(a, b)$ ، تفاوت دو تقریب متوالی از $K(x)$ در دو مقیاس متوالی هستند. اما اطلاعات $K(x)$ در یک مقیاس ثابت ضرایب دیگری هستند که تحت نام ضرایب تقریب شناخته می شوند که به صورت رابطه (۶) تعریف می شوند:

$$S(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} K(x) \phi_{ab}(x) dx \quad (6)$$

که در آن ϕ_{ab} به عنوان تابع مقیاس موجک نام گذاری می شود و عیناً خصوصیتی مشابه خصوصیات موجک مادر دارد. در واقع یک تابع چیزی نیست جز مجموع جزئیات آن در تمام مقیاسها و مکانها. ضرایب جزئیات موجک شامل اطلاعات مربوط به تفاوت بین دو تقریب از یک تابع در دو مقیاس متوالی است و در واقع معرف اطلاعات از دست رفته در هر گام تجزیه است. در نظریه موجک، سیگنال به صورت متوالی به بخشهای فرکانس بالا و فرکانس پایین تفکیک می شود که به هر کدام یک زیر باند می گویند و دو گروه ضرایب به دست می آیند. گروه اول که اطلاعات فرکانس پایین هستند، نمایانگر روند اصلی سیگنال و ضرایب تقریب نامیده می شوند و گروه دوم که حاوی اطلاعات فرکانس بالا هستند، ضرایب جزئیات نامیده می شوند. در حوزه علوم زمین عموماً اطلاعات در ضرایب تقریب نهفته است. برای افزایش مقیاس بر مبنای موجک، دو مقدار حد آستانه ϵ_S ، ϵ_D تعریف می شوند. ϵ_S یک مقدار از ویژگی بلوکها است که به ضرایب مقیاس موجک وابسته است. ϵ_D نیز مقدار حد آستانه برای ضرایب جزئیات است. در فرایند افزایش مقیاس،

^۱ Sum Squared Error

در جدول ۱، پارامترهای افزایش مقیاس در حالات مختلف پهنای باند نمایش داده شده‌اند. بدیهی است که هر چه پهنای باند، بزرگ‌تر در نظر گرفته شود، تغییرپذیری‌ها هموارتر شده و تعداد سلول‌های بیشتری با همدیگر ادغام خواهند شد که این امر منجر به افزایش SSE و کاهش n (تعداد بلوک‌های نهایی افزایش مقیاس یافته) خواهد شد. در حالت بهینه افزایش مقیاس، مدل ریز با ۴۷۷۷ سلول اولیه به یک مدل درشت با تعداد ۲۰۲۴ سلول تبدیل شده است. مقدار خطای افزایش مقیاس در این حالت معادل ۴/۵ واحد است.

مشخصاً با افزایش پهنای باند، اطلاعات اصلی مدل ریز از بین خواهند رفت، هر چند راندمان محاسباتی افزایش خواهد داشت. زمان محاسبات نیز وابسته به پهنای باند خواهد بود. هر چه پهنای باند کوچک‌تر باشد، زمان محاسبات بیشتر خواهد بود ولی دقت مدل بیشتر خواهد شد و برعکس. به‌عنوان مثال در حالت پهنای باند ۰/۵، زمان محاسبات بر اساس الگوریتم نوشته شده ۱۰ ثانیه است و در حالت پهنای باند ۳، زمان محاسبات ۲ ثانیه خواهد بود.

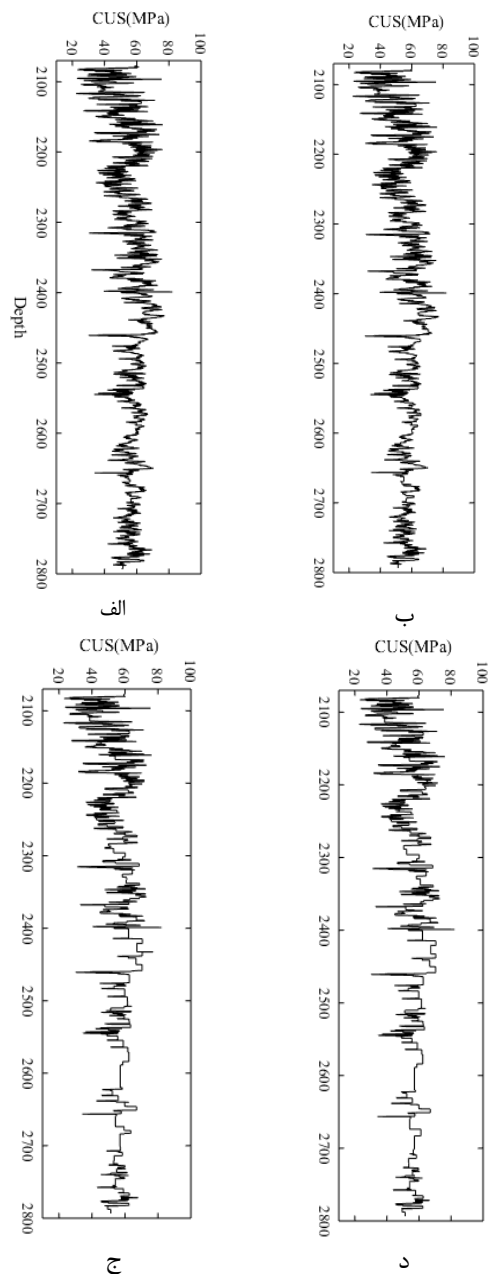
جدول ۱. پارامترهای افزایش مقیاس بر مبنای تابع هسته با

پهنای باند تطبیقی				
حد آستانه	۰/۵	۱/۲	۲/۸۲	۳
مقدار SSE	۰/۲۵	۲/۶۵	۵۱/۷۳	۵۹/۸۸
تعداد سلول	۴۷۷۷	۲۳۲۰	۷۴۳	۶۶۷

۲.۴ نتایج افزایش مقیاس بر اساس تبدیل موجک

برای تحلیل سیگنال از موجک هار استفاده شده است. سیگنال تجزیه شده تا سطح سوم در شکل ۳ نمایش داده شده است. برای افزایش مقیاس بر مبنای موجک، دو سری حد آستانه ϵ_s ، ϵ_r تعریف می‌شود. با توجه به این که مناطقی که در مرحله اول افزایش مقیاس، ریز باقی مانده‌اند؛ در مراحل بعدی نیز ریز باقی می‌مانند و عملاً بیشترین ضرایب مقیاس و جزئیات نیز مربوط به این مناطق می‌باشد. برای این که اثر تغییرات ویژگی مورد نظر در سایر نواحی در مراحل بعدی بهتر دیده شود، می‌توان حدود آستانه را به‌صورت نزولی در مراحل مختلف انتخاب کرد. حدود آستانه در این مسئله برابر و معادل ۰/۷ در نظر گرفته شده است. در این سطح سیگنال اولیه به ضرایب تقریب $a3$ و ضرایب جزئیات $d1$ و $d2$ و $d3$ تجزیه شده است. حدود آستانه به هر کدام از ضرایب تقریب

اساس رویکردهای مختلف همچون، تغییرات SSE در مقابل پهنای باند و تقاطع دو نمودار SSE و تعداد بلوک بر اساس پهنای باند، بررسی شده است. پهنای باند بهینه بر اساس این رویکردها برای پارامتر ژئومکانیکی ۱/۲ به دست آمده است. نتایج افزایش مقیاس به ازای پهنای باند بهینه و سه پهنای باند مختلف در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.

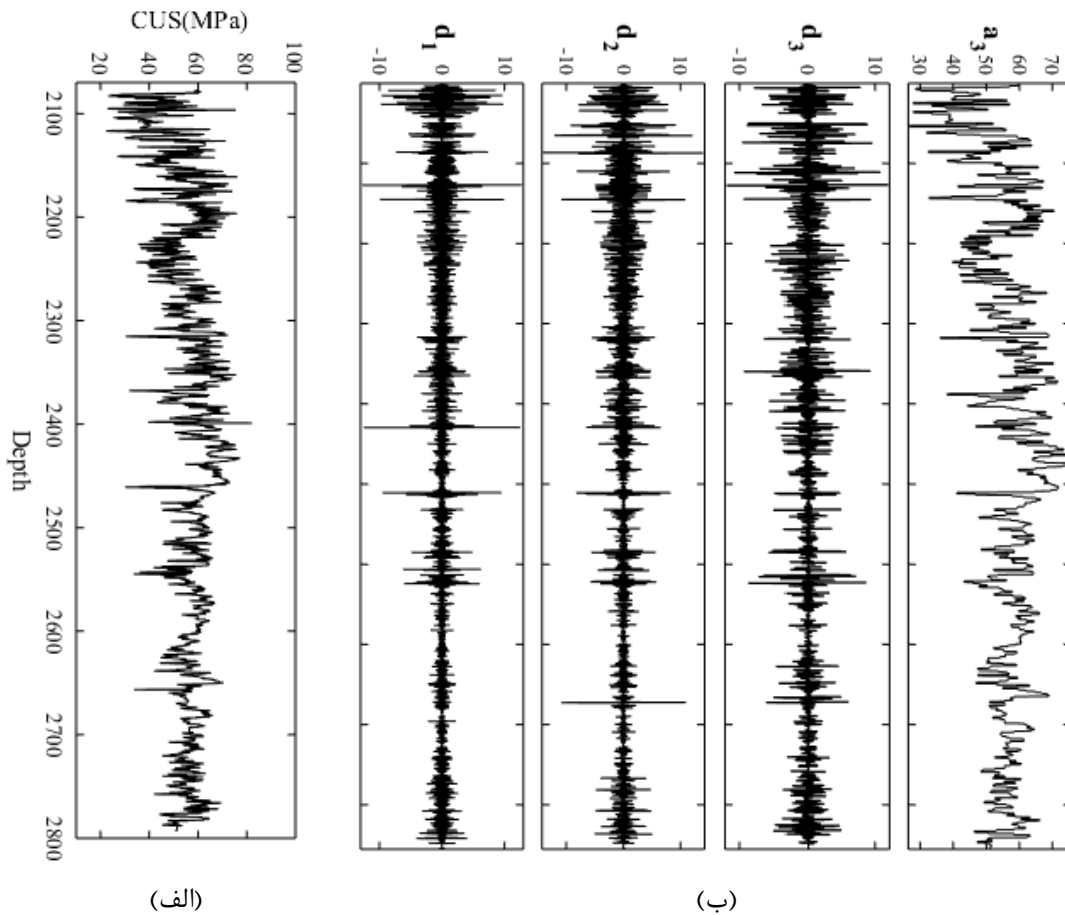


شکل ۲. سیگنال افزایش مقیاس یافته الف) پهنای باند ۰/۵، ب) پهنای باند ۱/۲، ج) پهنای باند ۲/۸۲ و د) پهنای باند ۳

افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن با استفاده از روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و مقایسه آن با نتایج تبدیل موجک

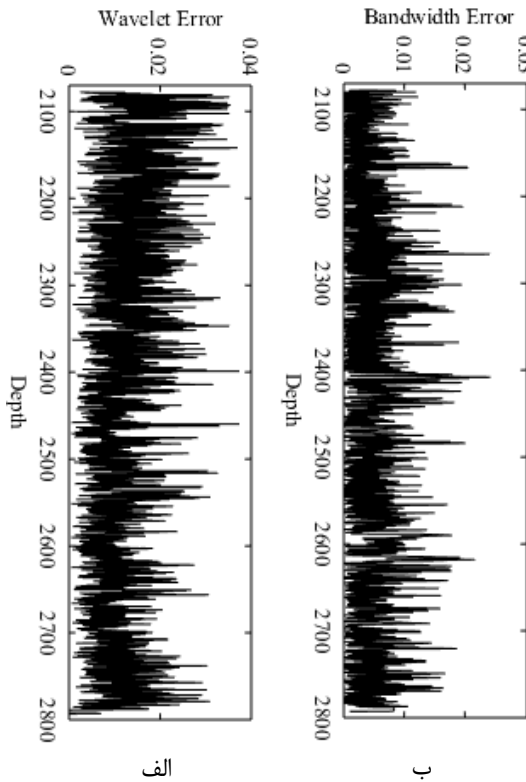
افزایش مقیاس یافته، برابر با ۷۴۶ عدد است. عملاً ۱۵٪ داده‌ها در این سیگنال باقی مانده است.

و جزئیات اعمال و عملیات افزایش مقیاس انجام می‌شود. سیگنال افزایش مقیاس یافته بر اساس تبدیل موجک در شکل ۴ نمایش داده شده است. میزان خطای افزایش مقیاس در این روش برابر ۱۹۷/۵ است. همچنین تعداد بلوک‌های نهایی



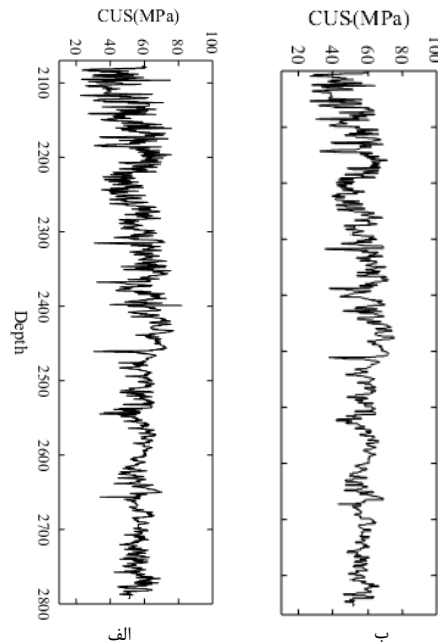
شکل ۳. الف) سیگنال اصلی و ب) تجزیه سیگنال تا سطح سوم با موجک هار

افزایش مقیاس ۵۱ واحد است. شکل ۵، توزیع میزان خطای افزایش مقیاس دو روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و تبدیل موجک را در اعماق چاه نشان می‌دهد.



شکل ۵. الف) خطای افزایش مقیاس تبدیل موجک و ب) خطای افزایش مقیاس پهنای باند

همان‌طور که از روی شکل ۵ مشخص است، در قسمت ابتدایی چاه با توجه به سیگنال اولیه مقاومت فشاری که تغییرات شدیدتر است، نوسان خطای موجک بیشتر از خطای روش هسته است. این رخداد نشان‌دهنده این اصل است که در این نواحی، در روش هسته، با توجه به تعیین پهنای باند مناسب، سلول‌های با مقادیر مهم در حالت ریز باقی مانده‌اند و عمل افزایش مقیاس کمتر اتفاق افتاده است. در عمل تعداد میانگین‌گیری در روش هسته در این نواحی به مراتب کمتر از روش موجک است و این امر منجر به کاهش خطای روش هسته نسبت به موجک است. عکس این موضوع را می‌توان در قسمت انتهایی چاه مشاهده کرد. در این نواحی، بسته به تغییرپذیری یکنواخت و پهنای باند روش هسته، سلول‌های



شکل ۴. الف) سیگنال اصلی و ب) سیگنال افزایش مقیاس یافته بر اساس تبدیل موجک

۵. مقایسه نتایج دو روش

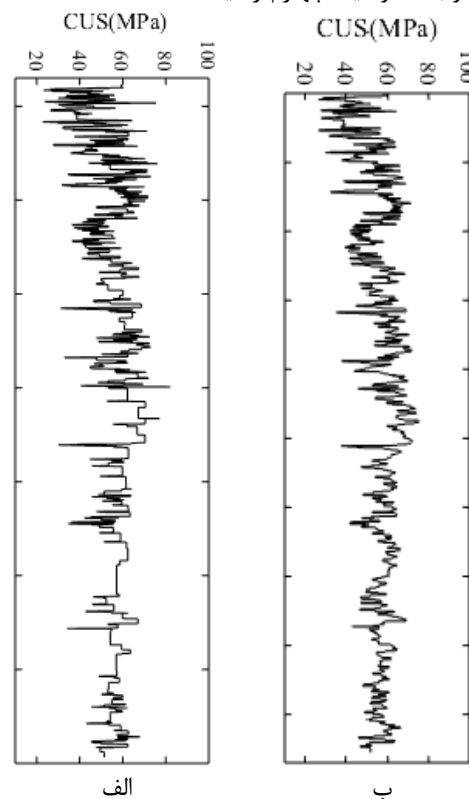
در تبدیل موجک، عملاً افزایش مقیاس به صورت دودویی انجام می‌شود و دو سلول یا با همدیگر ادغام می‌شوند یا ادغام نمی‌شوند. در کل فرایند، هیچ ایده‌ای در مورد تعداد بلوک‌های نهایی افزایش مقیاس یافته وجود ندارد. یعنی در واقع نمی‌توان از ابتدا با هدف تعداد بلوک مشخص، فرایند افزایش مقیاس را انجام داد. در مورد افزایش مقیاس با رویکرد هسته با پهنای باند تطبیقی همان‌طور که اشاره شد، می‌توان با تصور یک تعداد بلوک افزایش مقیاس یافته، مدل شبیه ساز را ارائه داد. با وجود این امکان، می‌توان ایده‌ای در خصوص زمان محاسبات در نظر گرفت. در این بخش به بررسی مقایسه نتایج حاصل از افزایش مقیاس دو روش مطرح شده در قبل پرداخته خواهد شد. برای این منظور، به‌عنوان معیار مقایسه از توان دوم خطای تجمعی (SSE) استفاده شده است. میزان خطای افزایش مقیاس در تبدیل موجک بر اساس نتایج به دست آمده معادل ۱۹۵ واحد است. این میزان خطا در تعداد ۷۴۶ بلوک افزایش مقیاس یافته ایجاد شده است. با همین تعداد بلوک افزایش مقیاس یافته بر اساس روش هسته با پهنای باند متغیر، مقدار خطای

افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن با استفاده از روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و مقایسه آن با نتایج تبدیل موجک

از مقایسه خطای افزایش مقیاس دو روش مشخص است، نتایج روش هسته در فرایند افزایش مقیاس می‌تواند قابل رقابت با تبدیل موجک باشد. بنابراین چون خطای افزایش مقیاس و درشت‌نمایی یا همان SSE مدل افزایش مقیاس در روش هسته به مراتب کمتر از روش تبدیل موجک است، می‌توان نتیجه گرفت که روش هسته روشی قوی در زمینه افزایش مقیاس داده‌های ژئومکانیک مخزن است و خوب عمل می‌کند و این موضوع می‌تواند ملاک اعتبارسنجی نتایج باشد.

از لحاظ پایداری دو روش در برابر نوفه نیز می‌توان به این نکته اشاره نمود که، در تبدیل موجک چون اصولاً با ضرایب تقریب سروکار داریم و ضرایب جزئیات در مراحل مختلف قابل چشم‌پوشی هستند، به‌طور ناخودآگاه نوفه‌ها در فرایند افزایش مقیاس حذف می‌شوند، خصوصاً در سلول‌های درشت شده که عملاً ضرایب جزئیات به‌طور کامل نادیده گرفته می‌شوند. در روش کرنل، چون اساس کار بر مبنای میانگین‌گیری سلول‌های مشابه بوده و این مشابهت بر اساس پهنای باند تعیین می‌شود؛ با فرض اینکه نوفه وارده بر سیگنال اصلی، نوفه سفید باشد؛ به نحوی که مقادیر نوفه بر روی داده‌ها کم و زیاد می‌شوند، در این صورت ممکن است در فرایند افزایش مقیاس مقداری خطا به سیستم اضافه شود. البته با تعیین پهنای باند بهینه می‌توان تأثیر مقدار نوفه را کاهش داد. به‌طور مشخص در خروجی افزایش مقیاس بر اساس روش هسته، ساختارهای با تغییرات شدیدتر، بهتر نمایان شده‌اند و به نوعی هموارسازی کمتری در این نواحی رخ داده است و سلول‌ها تا حد امکان ریز باقی مانده‌اند. در ساختارهای با تغییرات نرم‌تر، تعداد سلول بیشتری ادغام شده‌اند و تغییرات یکنواخت، هموارتر شده است. به لحاظ کیفیت ژئومکانیکی با افزایش عمق چاه، میانگین پارامتر مقاومت فشاری افزایش می‌یابد و تغییر کیفیت از عمق بالا به عمق پایین مشهود است. طول چاه را می‌توان به چهار بخش مختلف از نظر کیفیت ژئومکانیکی تقسیم کرد. قسمت اول چاه تا عمق ۲۱۵۰ متری با میانگین مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال، بخش نامطلوب ژئومکانیکی چاه است که دلیل آن می‌تواند وجود لایه‌های شیلی یا سنگ‌های با شکستگی فراوان باشد. اعماق ۲۱۵۰ تا ۲۲۲۰ مقاومت فشاری به مراتب بیشتری نسبت به بخش اول چاه دارند. بخش سوم چاه به طول حدود ۶۰ متر از عمق ۲۲۲۰ تا ۲۲۸۰، کاهش مقاومت را به همراه داشته و در نهایت

بیشتری با همدیگر ادغام شده‌اند و عملاً میانگین‌گیری بیشتری در این روش صورت گرفته است، و در نتیجه میزان خطا تا حدود خطای تبدیل موجک و بعضاً بیشتر از آن مشاهده می‌شود. روند تغییرات خطا در هسته به نحوی است که با افزایش حد آستانه، SSE افزایش نشان می‌دهد و هم‌زمان تعداد باند (بلوک) کاهش خواهد داشت. همان‌طور که واضح است میزان خطای فرایند افزایش مقیاس با استفاده از روش هسته به مراتب کمتر از افزایش مقیاس بر اساس موجک است و به حدود یک‌چهارم رسیده است.



شکل ۶. سیگنال افزایش مقیاس یافته الف) بر اساس روش هسته با پهنای باند متغیر و ب) بر اساس تبدیل موجک

شکل ۶ نیز نمایش دو سیگنال افزایش مقیاس حاصل از دو روش موجک و هسته را برای یک تعداد برابر بلوک نشان می‌دهد. در هر دو حالت تعداد بلوک افزایش مقیاس یافته برابر با ۷۴۶ در نظر گرفته شده است. تبدیل موجک یک روش شناخته شده در زمینه افزایش مقیاس است و همان‌طور که

سوم داده‌های پارامتر ژئومکانیکی مقاومت فشاری تجزیه شده است و در نهایت مدل افزایش مقیاس با ۷۴۶ سلول نهایی به دست آمده است. در فرایند افزایش مقیاس به روش هسته با پهنای باند متغیر، حد آستانه تعریف شده تابعی از تغییرپذیری سلول‌ها است که این تغییرپذیری می‌تواند تابعی از زمان شبیه‌سازی باشد. در این روش به ازای هر مقدار حد آستانه یا پهنای باند که بر اساس تغییرپذیری داده‌ها به دست می‌آید، می‌توان تعداد بلوک‌های افزایش مقیاس یافته و مقدار خطای ناشی از آن را محاسبه کرد. در این روش امکان انجام افزایش مقیاس با تعیین تعداد سلول‌های مورد نیاز وجود دارد. با مقایسه نتایج دو روش با همدیگر مشاهده می‌شود که خطای ناشی از روش هسته به مراتب کمتر از روش موجک است و این مقدار تا یک چهارم کاهش می‌یابد. از طرفی در نتایج روش هسته می‌توان همواره ایده‌ای از میزان خطا به ازای تعداد بلوک‌های افزایش مقیاس یافته به دست آورد، در حالی که در افزایش مقیاس تبدیل موجک، زمان شبیه‌سازی قابل کنترل نخواهد بود و عملاً در تعداد سلول‌های نهایی نیز دخالتی وجود ندارد.

از عمق ۲۲۸۰ تا عمق نهایی چاه، کیفیت ژئومکانیکی مطلوبی را مشاهده می‌کنیم، به گونه‌ای که میانگین مقاومت فشاری به بالاتر از ۶۰ مگاپاسکال می‌رسد، با این ویژگی که لایه‌های با ضخامت کم و بعضاً با مقادیر مقاومت فشاری پایین‌تر نیز به تناوب در این بخش از چاه دیده می‌شوند. طبیعی است که جهت تصمیم‌گیری و تعیین کیفیت دقیق سنگ‌ها، نیاز به بررسی تمامی پارامترهای ژئومکانیکی سنگ است، ولی در این مقاله با توجه به این که هدف مطالعه افزایش مقیاس پارامتر مورد نظر بوده است، از بررسی پارامترهای ژئومکانیکی دیگر خودداری شده است.

۶. نتیجه‌گیری

در فرایند افزایش مقیاس بر اساس تبدیل موجک، با تعیین حدود آستانه برای ضرایب تقریب و ضرایب جزئیات در هر سطح می‌توان از جمع ضرایب تقریب هر سطح و ضرایب باقیمانده جزئیات با اعمال حدود آستانه، سیگنال افزایش مقیاس را محاسبه نمود. در این مقاله با موجک‌ها و تا سطح

۷. مراجع

- Azizi, V. and Memarian, H. (2006). Estimation of geomechanical parameters of reservoirs rocks, using conventional porosity log. Pp 1-6.
- Cardwell Jr, W. and Parsons, R. (1945). Average permeabilities of heterogeneous oil sands, Transactions of the AIME, Society of Petroleum Engineers. Vol.160, pp. 34-42.
- Chen, T., Clauser, C., Marquart, G., Willbrand, K., Mottaghy, D. (2015). A new upscaling method for fractured porous media, journal of Advances in Water Resource Vol. 80, pp 60-68.
- Dadvar, M., & Sahimi, M. (2007). The effective diffusivities in porous media with and without nonlinear reactions, Chemical engineering science, Vol. 62, pp 1466-1476.
- Durlofsky L.J. (1997). Use of higher moment for the description of upscaled, process independent relative permeabilities, SPE Journal, Vol. 2, pp 1-11.
- Durlofsky. L.J. (1992). Representation of grid block permeability in coarse scale models of randomly heterogeneous porous media, Journal of Water Resources Research, Vol. 28, pp 1791-1800.
- Ebrahimi, F., Sahimi, M. (2002). Multiresolution wavelet coarsening and analysis of transport in heterogeneous media. Physica A, Vol. 316, pp 160-188.
- Ebrahimi, F., Sahimi, M. (2004). Multiresolution wavelet scale up of unstable miscible displacements in flow through heterogeneous porous media. Transport Porous Med, Vol. 57, pp 75-102.

- Ebrahimi, F., Sahimi, M. (2006). Grid coarsening, simulation of transport processes in, and scale-up of heterogeneous media: application of multiresolution wavelet transformations. *Mech. Mater.*, Vol. 38, pp 772–785.
- Edlman K., Somerville J.M., Smart B.G.D., Hamilton S.A., Crawford B.R. (1998). Predicting Rock Mechanical Properties from Wireline Porosities, *SPE*, pp 473444.
- Farmer CL., 2000. Upscaling: a review, *International Journal Numerical Methods Fluids*, Vol. 40, pp 63–78.
- Hardle, W. K. K., Muller, M. and Sperlich. (2004). *Nonparametric and semiparametric models: An Introduction*. Springer Series in Statistics, pp 277.
- Heidarinasab, A., Dabir, B., Sahimi, M. (2004). Multiresolution wavelet-based simulation of transport and photochemical reactions in the atmosphere, *Atmospheric Environment*. Vol. 38, pp 6381–6397.
- Hochstetler, D. L., & Kitanidis, P. K. (2013) the behavior of effective rate constants for bimolecular reactions in an asymptotic transport regime, *Journal of contaminant hydrology*, Vol. 144, pp 88-98.
- Jain, P.K. and Tiwari, A. K. (2017). An adaptive thresholding method for the wavelet based denoising of phonocardiogram signal. *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. 38, pp 388-399.
- Journel, A.G., Deutsch, C. and Desbarats, A.J. (1986) Power averaging for block effective permeability, *Society of Petroleum Engineers*. Vol. 6, pp 1-9.
- Liu, H., Wang, W., Xiang, C., Han, L. and Nie, H. (2017). A de-noising method using the improved wavelet threshold function based on noise variance estimation, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 99, pp 30-46.
- Miles, D., Barzandji, O.H.M., Bruining, J., Geel, C.R. (2006). Upscaling of small-scale heterogeneities to flow units for reservoir modelling, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 23, pp 931-942.
- Moslehi, M., Felipe P.J., de Barros, Ebrahimi, F. and Sahimi, M (2016). Upscaling of solute transport in disordered porous media by wavelet transformations, *Advances in Water Resources*, Vol. 96, pp 180-189.
- Ratnakar, R. R., Bhattacharya, M., & Balakotaiah, V. (2012). Reduced order models for describing dispersion and reaction in monoliths. *Chemical Engineering Science*, Vol. 83, pp 77-92.
- Panda, M.N., Mosher, C.C., Chopra, A. (2000). Application of wavelet transforms to reservoir-data analysis and scaling, *SPE journal*, Vol. 5, pp 92-101.
- Papanastasiou, P., and Zervos, A. (2004). Wellbore stability analysis: From linear elasticity to postbifurcation modeling. *International journal of geomechanics*. Vol. 1, pp 1–12.
- Pancaldi, V. (2008). *Coarse Graining Equations for Flow in Porous Media: a Haar Wavelets and Renormalization Approach*, Imperial College London.
- Pereira, J. M. C., Navalho, J. E. P., Amador, A. C. G., Pereira, J. C. F. (2014). Multi-scale modeling of diffusion and reaction–diffusion phenomena in catalytic porous layers: comparison with the 1D approach, *Chemical Engineering Science*. Vol. 117, pp 364-375.

- Qi, D. and Hesketh, T. (2005). An Analysis of Upscaling Techniques for Reservoir Simulation, *Petroleum Science and Technology*, Vol. 23, pp 827-842.
- Rasaei, M. R. and Sahimi, M. R. (2008). Upscaling and Simulation of Waterflooding in Heterogeneous Reservoirs Using Wavelet Transformations: Application to the SPE-10 Model, *Transport in Porous Media*, Vol. 72, pp 311-338.
- Rasaei, M. R. and Sahimi, M. R. (2009). Upscaling of the permeability by multiscale wavelet transformations and simulation of multiphase flows in heterogeneous porous media, *Computational Geoscience*, Vol. 13, pp 187-214.
- Sahimi, M. (2000). Fractal-Wavelet-Neural Network Approach to Characterization and Upscaling of Fractured Reservoirs, *Computers & Geosciences*, Vol. 26, pp 877-905.
- Sarris, E., and Papanastasiou, P. (2012). Modeling of hydraulic fracturing in a poroelastic cohesive formation. *International journal of geomechanics*, pp 160–167.
- Silverman, B. W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. School of Mathematics University of Bath. Pp 176.
- Scott, D. W., 1992. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*, New York: John Wiley & Sons Inc., pp 384.
- Wand, M.P., Jones, M.C. (1995). *Kernel Smoothing*. Chapman & Hall.
- Warren, J.E. and Price, H.S. (1961). Flow in Heterogeneous Porous Media, *Old SPE Journal*. Vol. 1, pp 153-169.
- Xiao, F. and Zhang Y. (2011). A Comparative Study on Thresholding Methods in Wavelet-based Image Denoising, *Advanced in Control Engineering and Information Science*, Vol. 15, pp 3998-4003.
- Yang, C. Thovet, J. F. and Debenest, G. (2015). Upscaling of mass and thermal transports in porous media with heterogeneous combustion reactions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 84, pp 862- 875.
- Zhao, H., Ru, Z. and Zhu, C. (2017). Determination of the Geomechanical Parameters and Associated Uncertainties in Hydraulic Fracturing by Hybrid Probabilistic Inverse Analysis, *International journal of geomechanics*, Vol. 17, pp 1-11.
- Zoback, M.D. (2007). *Reservoir Geomechanics*, Cambridge University Press.
- قریشی، ف. (۱۳۹۳). بهبود روش افزایش مقیاس نگارهای پتروفیزیکی در نرم‌افزار همپسون_ راسل مبتنی بر موجک، مطالعه موردی: یکی از میداین نفتی جنوب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران. ۱۵۸ صفحه.
- رسایی، م. (۱۳۸۴). افزایش مقیاس مدل‌های زمین‌شناسی به مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از توابع موجک، رساله دکتری، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تهران، ایران. ۱۹۳ صفحه.

افزایش مقیاس پارامترهای ژئومکانیکی مخزن با استفاده از روش تابع هسته با پهنای باند تطبیقی و مقایسه آن با نتایج تبدیل موجک

آزاد، م، کامکار روحانی، ا، تخم‌چی، ب، آرشی، م. (۱۳۹۷). افزایش مقیاس داده‌های زمین‌شناسی مخزن با استفاده از پهنای باند تطبیقی در روش تابع کرنل، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، کرمان.

رضایی، م. (۱۳۸۰). زمین‌شناسی نفت، گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه تهران، تهران، انتشارات علوی، ۴۱۰ صفحه.

موسوی، ا. و چشمی، ا. (۱۳۹۲). تخمین مقاومت فشاری تک‌محوری (*UCS*) ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از آزمایش نفوذ، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

Upscaling of the geomechanics parameters of reservoir using the kernel function bandwidth method and comparing with the results of wavelet transformation

Mohammad_Reza Azad¹; Abolghasem Kamkar_Rouhani²; Mohammad Arashi²

1. PHD Candidate of Mine Exploration; Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology
2. Associate Professor; Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology
3. Associate Professor; Faculty Mathematical Science, Shahrood University of Technology

Keywords

Upscaling
Kernel Bandwidth
Wavelet Transformation
Geomechanics Parameter
Compressive Uniaxial Strength

Final English Extended Abstract

In this paper we are used as two different approaches; wavelet transformation and adaptive bandwidth in the kernel method in upscaling process of geomechanical parameters of the reservoir. Geomechanics in oil field have been investigated compressive strength parameters, Young's Moduli, Bulk Moduli and shear Moduli to determine the quality of reservoir and rock as well as the effect of rock resistance and stress on the behavior of formations as a result of oil activities. The geomechanical parameters of the reservoir rock are calculated using petrophysical logs such as acoustic and porosity log. Identifying uniform zones and classifying rock quality requires looking at geomechanical parameters along a well. Upscaling can be used to ease the use of this classifier. In the wavelet theory, after the analyze or the desired signal to the desired level, the upscaled signal will be obtained from the composition of the approximation section of the same level and the remaining samples of the coefficient of detail. This is the same as multiresolution upscaling. In upscaling using the bandwidth of the kernel function, the threshold or bandwidth is defined which is in fact a function of the geomechanical parameter variability. Adaptive bandwidth method can provide a good model upscaling of cells. In areas of high variability, by choosing optimal bandwidth, the cells remain fine, and vice versa, in areas with smooth changes, the number of cells will be merged more together. Comparison of the results of the two methods is observed. Under identical conditions, the upscaling error of the upscaled-optimized model with the kernel bandwidth method is about 1.4 wavelet transforms, and it is also possible that according to the probable error rate, depending on the threshold and appropriate bandwidth can be used to determine the number of upscaled block of the simulated model according to the computational time.

Summary

In this paper, wavelet transformation and kernel function bandwidth methods are used as two different approaches for upscaling process in geomechanics parameters of reservoirs. To implement the wavelet-based upscaling, we introduce two thresholds, ϵ_s and ϵ_D . In kernel bandwidth-based upscaling, the threshold is defined that actually represents the bandwidth of the kernel function and controls the computational efficiency. The error rate of the upscaling process using the kernel method is far less than that of the upscaling process based on the wavelet method.

Introduction

Primary geological models essentially contain large amounts of information and include many cells. The upscaling method has been used by substituting the heterogeneous region consisting of fine-scale grid cells into a homogenous region comprising of coarse-scale grid cells to decrease the calculation and computation time. Many studies in the field of upscaling have been carried out to improve the upscaling methods that range from simple averaging to the wavelet-based method with uniform and non-uniform coarsening. In this paper we used a new upscaling method that called kernel function method with adaptive bandwidth.

Methodology and Approaches

The variable bandwidth can directly indicate the degree of data variability. The dynamic method is used to determine the optimal bandwidth. The threshold or bandwidth defined in this problem is controllable so that the rates of change as well as its maximum changes are determined by the data. The bandwidth upscaling algorithm in MATLAB software is written by the author of the paper. In wavelet transformation, signal is sequentially segregated into high frequency and low frequency parts that called sub-bands, and two groups of coefficients are obtained as a result. The first group, which contains low frequency information, is referred to as the main signal and is called approximation coefficients and the second group, which contains high frequency information, is called the details coefficients. To implement the upscaling, we introduce two thresholds, ϵ_s and ϵ_D .

Results and Conclusions

For each bandwidth or threshold, we have a SSE value and a finite number of upscaled bands. Figure 2 shows the results of the upscaling for geomechanic property. The optimum threshold value for this feature is 1.2. Upscaling based on wavelet transformation applied up to level 3 is presented in Figure 3. Signal decomposition is applied with Haar wavelet. In wavelet transformation, upscaling is carried out in binary format, and in the whole process, there is no idea about the number of upscaled blocks. In fact, it is impossible to start the process from the beginning with the goal of the number of specified blocks. As mentioned in the kernel-based upscaling approach, we can determine the number of upscaled blocks of the simulator model from the beginning of the upscaling process. In this section, a comparison of the upscaling results of the two methods is made. For this purpose, the cumulative error squared (SSE) as a comparison criterion is used. In wavelet analysis, error value can be determined at each decomposition level. In his method, the error value is calculated based on the second power of the difference between approximation coefficients and the main signal. By comparing the results of the two methods, one finds that the error caused by the kernel method is far less than that of the wavelet method, so that in the same conditions, the error in the kernel method decreases 4 times comparatively. Furthermore, in kernel results, one can always obtain an idea of the error rate for the number of upscaled blocks, and thus, with this approach one can also control the computation time. However, there is no idea of computation time in the wavelet-based upscaling method.
