

افزایش اندازه‌ی سلول‌های مدل زمین‌شناسی نفوذپذیری مطلق با استفاده از روش تجزیه‌ی چهاردرختی

سجاد قلی‌نژاد (دانشجوی کارشناسی ارشد)

سعید جمشیدی* (استادیار)

دانشکده‌ی هندی‌شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

علیرضا حاجی‌زاده (دکتری)

دانشگاه پتروشیمی، مازنی

مهندسی مکانیک شریف، (پیاور ۱۳۹۴)
دوری ۳ - ۳۱، شماره ۱، ص. ۳۵-۴۰

در این نوشتار، روشی جدید برای افزایش مقیاس^۱ مدل‌های زمین‌شناسی نفوذپذیری ارائه می‌شود. این روش بر مبنای تجزیه‌ی چهاردرختی^۲، یک مدل افزایش مقیاس داده شده با سلول‌های^۳ غیرساخت‌یافته^۴ تولید می‌کند که در ناحیه‌هایی از مدل زمین‌شناسی که تغییرات نفوذپذیری شدید است، سلول‌ها کوچک باقی می‌مانند اما در سایر نقاط مخزن سلول‌ها بزرگ می‌شوند. این عمل موجب می‌شود که تعداد سلول‌های مدل مورد نظر به تعداد قابل توجهی کم شود و لذا زمان و حافظه‌ی لازم برای انجام شبیه‌سازی جریان در مخزن شدیداً کاهش یابد. در این روش سلول‌هایی تولید می‌شود که در هر سمت ممکن است با چندین سلول با چیدمان‌های مختلف همسایه باشند، و همین موجب دشواری حل معادلات شبیه‌سازی جریان می‌شود. برای رفع این مشکل روش جدیدی پیشنهاد می‌شود که در هر سمت، تعداد همسایه‌های یک سلول را به حداکثر ۲ سلول کاهش می‌دهد و موجب تسهیل فرایند گسسته‌سازی^۵ معادلات جریان می‌شود.

واژگان کلیدی: افزایش مقیاس، سلول‌های غیرساخت‌یافته، تجزیه‌ی چهاردرختی، شبیه‌سازی جریان.

۱. مقدمه

چنین مدل‌هایی تسهیل شود. این عمل را اصطلاحاً «افزایش مقیاس» می‌نامند. به عبارت دیگر به جای استفاده‌ی مستقیم از مدل زمین‌شناسی در شبیه‌سازی جریان می‌توانیم از مدل افزایش مقیاس داده شده استفاده کنیم، چرا که مدل افزایش مقیاس داده شده محصول تغییراتی است که در مدل زمین‌شناسی اعمال می‌شود. نکته‌ی کلیدی در افزایش مقیاس یک مدل زمین‌شناسی این است که افزایش مقیاس باید به‌گونه‌ی صورت‌گیری که موجب حفظ ناهمگونی^۷‌های موجود در مدل زمین‌شناسی شود بدون آن که عملکرد دینامیک مدل زمین‌شناسی اولیه دستخوش تغییرات شود.^[۳]

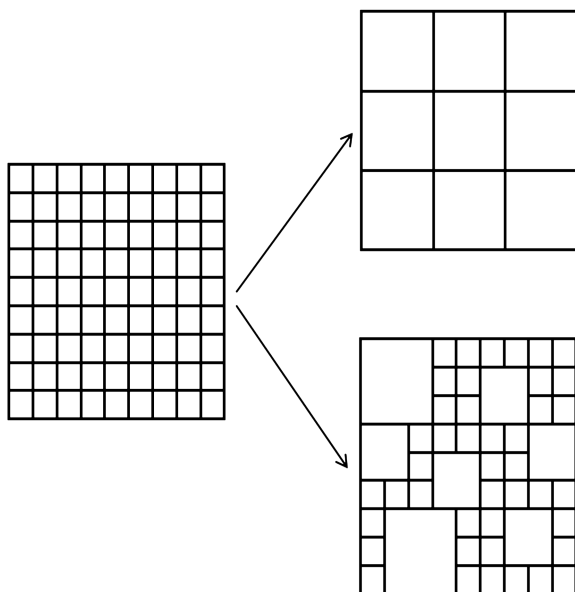
لازم به ذکر است که در میان سه پارامتر نفوذپذیری، تخلخل و اشباع آب، دو پارامتر «تخلخل» و «اشباع آب» کمیت‌های جمع‌پذیرند و به‌سادگی می‌توان با استفاده از میانگین‌گیری، آنها را افزایش مقیاس داد. به‌عنوان مثال، تخلخل را می‌توان با استفاده از میانگین حسابی وزن‌دار بر مبنای حجم^۸ سلول‌ها، افزایش مقیاس داد. اما کمیت «نفوذپذیری» به دلیل ماهیت تنسوری جمع‌پذیر نیست و وابسته به جهت است. بنابراین نمی‌توان آن را با استفاده از میانگین معمولی افزایش مقیاس داد و باید از روش‌های خاصی استفاده کرد.^[۴] بنابراین در این مطالعه، فقط افزایش مقیاس نفوذپذیری مطلق بررسی خواهد شد.

در مورد فرایند افزایش مقیاس، روش‌های مختلفی در نوشته‌جات ارائه شده است.

در دهه‌ی گذشته توان محاسباتی و در نتیجه سرعت محاسباتی رایانه‌ها رشد چشمگیری داشته است. این افزایش سرعت و توان محاسباتی موجب شده است که هم مدل‌های زمین‌شناسی و هم مدل‌های شبیه‌سازی مخزن روز به روز دقیق‌تر و بزرگ‌تر شوند. با این حال محاسبات لازم برای تهیه‌ی مدل‌های زمین‌شناسی به‌مراتب کم‌تر از محاسبات لازم برای تهیه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی مخزن است. به عبارت دیگر، ساختن یک مدل زمین‌شناسی با چند میلیون سلول به‌مراتب آسان‌تر و کم‌هزینه‌تر از شبیه‌سازی جریان سیال در این مدل زمین‌شناسی است.^[۴-۱] این پیشرفت‌ها موجب توصیف خواص مخزن - مانند نفوذپذیری، تخلخل و اشباع آب - به‌وسیله‌ی مدل‌های خیلی دقیق و با جزئیات بالا شده است، اگرچه نمی‌توان از این مدل‌ها مستقیماً در شبیه‌سازی جریان سیالات در مخزن بهره برد. علت آن است که شبیه‌سازی جریان سیالات در چنین مدل‌هایی علاوه بر زمان‌بر بودن نیازمند حافظه‌ی خیلی بالاست.^[۵] این موضوع به‌ویژه در مواردی مانند تطبیق تاریخچه^۶، که فرایند شبیه‌سازی جریان باید چندین و چند بار انجام شود، بسیار حائز اهمیت است. لذا باید با افزایش اندازه‌ی سلول‌های این مدل‌های زمین‌شناسی، و به عبارتی کاهش تعداد سلول‌ها، این مدل‌ها را کوچک‌تر کرد تا شبیه‌سازی جریان با استفاده از

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۷/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۲/۳/۳۴، پذیرش ۱۳۹۲/۳/۱۸.



شکل ۱. مقایسه‌ی مدل‌های مختلف حاصل از افزایش مقیاس (سمت چپ: مدل زمین‌شناسی اولیه، سمت راست بالا: مدل افزایش مقیاس داده شده به صورت ساخت یافته، سمت راست پایین: مدل افزایش مقیاس داده شده به صورت غیرساخت یافته).

به دست آمده نیز با هم هم‌اندازه‌اند؛ این نوع سلول‌ها را اصطلاحاً «ساخت یافته»^{۱۵} می‌نامند. ۲. فرایند افزایش اندازه‌ی سلول‌ها غیریکساخت است. به عبارت دیگر در نواحی مختلف مدل زمین‌شناسی، بسته به تغییرات نفوذپذیری در آن ناحیه، تعداد متفاوتی از سلول‌ها با هم ترکیب شده و تشکیل سلول‌های بزرگ‌تر را می‌دهند. بنابراین سلول‌های بزرگ به دست آمده در این روش، اندازه‌های مختلفی دارند. این نوع سلول‌ها را اصطلاحاً «غیرساخت یافته» می‌نامند. واضح است که روش دوم به دلیل در نظر گرفتن تغییرات نفوذپذیری در نواحی مختلف، روش کارآمدتری است و بهتر می‌تواند تعداد سلول‌ها را کاهش دهد. این دو روش در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

لازم به ذکر است که در این مطالعه فقط سلول‌های مربعی شکل مورد نظرند؛ این نوع سلول‌ها اصطلاحاً منظم^{۱۶} نامیده می‌شوند. واضح است که سلول‌های یک مدل ممکن است به اشکال دیگری مانند مثلث نیز باشند که این نوع سلول‌ها را اصطلاحاً «نامنظم»^{۱۷} می‌نامند. در این مطالعه از بررسی مدل‌های دارای سلول‌های نامنظم صرف نظر شده است.

روش مورد استفاده در این مطالعه برای افزایش اندازه‌ی سلول‌های مدل زمین‌شناسی نفوذپذیری، روش تجزیه‌ی چهاردرختی است. در ادامه نشان خواهیم داد که با استفاده از این روش، یک مدل نفوذپذیری با سلول‌های دارای اندازه‌های مختلف (غیرساخت یافته) حاصل می‌شود که تعداد سلول‌های آن به مراتب کم‌تر از مدل زمین‌شناسی نفوذپذیری است.

۲. تجزیه‌ی چهاردرختی

برای کاهش تعداد سلول‌های یک تصویر، روش‌های مختلفی وجود دارد. نکته‌ی کلیدی صادق در مورد همه‌ی این روش‌ها این است که در این روش‌ها، سلول‌های همسایه با هم ادغام می‌شوند و این کار را تا جایی ادامه می‌دهند که سلول‌های

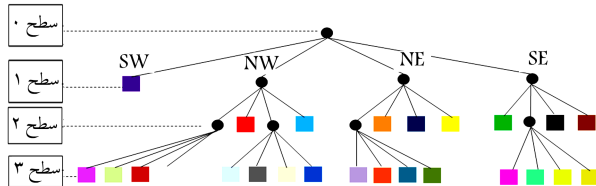
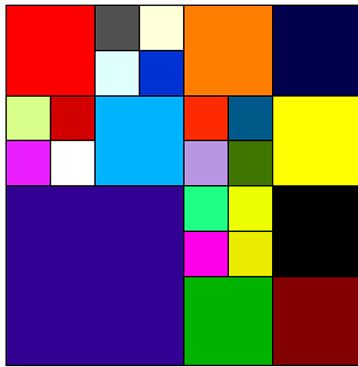
این روش‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی کلی «روش‌های هندسی»^۹ و «روش‌های مبتنی بر جریان سیال»^{۱۰} تقسیم کرد.^[۸،۹،۱۰] روش‌های مبتنی بر هندسه نسبتاً ساده‌اند و فقط با توجه به تغییرات نفوذپذیری در مدل زمین‌شناسی موجود، عمل افزایش مقیاس را انجام می‌دهند و موقعیت چاه‌ها را در نظر نمی‌گیرند. در مکتوبات موجود روش‌های هندسی مختلفی ارائه شده است، مثلاً از ابزار تبدیل موجک^{۱۱} برای افزایش مقیاس یک مدل زمین‌شناسی استفاده شده است.^[۱۰،۹]

در روش‌های مبتنی بر جریان سیال، هندسه‌ی مخزن نادیده گرفته شده و فقط با توجه به پارامترهای جریان سیال، عمل افزایش مقیاس انجام می‌شود. به عنوان مثال، در برخی از این روش‌ها، ابتدا تعداد مشخصی سلول زمین‌شناسی با هم ترکیب می‌شود تا تعدادی سلول بزرگ هم‌اندازه به دست آید. سپس با اعمال مجموعه‌ی از شرایط مرزی ساده بر هرکدام از سلول‌های بزرگ به دست آمده و سلول‌های زمین‌شناسی مربوطه و نیز با استفاده از الگوریتم‌هایی، مقادیر نفوذپذیری در سلول‌های بزرگ به گونه‌ی به دست می‌آید که خواص جریانی در سلول‌های بزرگ و کوچک با هم مطابقت کند. ایراد اصلی این روش‌ها این است که اگر مخزن مورد نظر در مرحله‌ی توسعه باشد، با حفر چاه‌های جدید عمل افزایش مقیاس باید دوباره انجام شود.^[۱۲]

مطالعات انجام شده در مورد روش‌های مبتنی بر جریان خیلی بیشتر از روش‌های هندسی است. «مش دوگانه»^{۱۲} و «روش گردابی»^{۱۳} [۱۱، ۱۲] از جمله روش‌های مبتنی بر جریان است. برای آشنایی بیشتر با این روش‌ها می‌توان به مطالعات انجام شده توسط محققین مراجعه کرد.^[۱۳-۱۵]

به طور کلی فرایند افزایش مقیاس شامل دو مرحله‌ی مجزا است. در مرحله‌ی اول سلول‌هایی که مقدار نفوذپذیری‌شان به هم نزدیک است با هم ترکیب می‌شوند تا سلول‌های بزرگ‌تری به دست آید. این مرحله را اصطلاحاً «افزایش اندازه‌ی سلول»^{۱۴} نامیده‌اند. در ادامه نشان داده می‌شود که بعد از این مرحله یک نقشه‌ی نفوذپذیری با سلول‌های دارای اندازه‌های مختلف (غیرساخت یافته) به دست می‌آید که تعداد سلول‌های آن به مراتب کم‌تر از مدل زمین‌شناسی نفوذپذیری است. در مرحله‌ی دوم باید مقدار نفوذپذیری در سلول‌های بزرگ حاصله مشخص شود تا بتوان از نقشه‌ی نفوذپذیری به دست آمده در فرایند شبیه‌سازی مخزن مورد نظر بهره جست. برای این کار روش‌های مختلفی مانند میانگین حسابی، میانگین هارمونیک، میانگین هندسی و... وجود دارد؛ اگر مرحله‌ی اول به درستی انجام شود، نتایج حاصل از آنها با یکدیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ی ندارد و می‌توان از هر یک از آنها استفاده کرد. دلیل این موضوع آن است که اگر مرحله‌ی افزایش اندازه‌ی سلول‌ها به طور مناسب انجام شود، هرکدام از سلول‌های بزرگ به دست آمده ترکیبی از چندین سلول کوچک خواهند بود که مقادیر نفوذپذیری آنها خیلی به هم نزدیک است. می‌توان نشان داد که چنانچه مقادیر چند عدد خیلی به هم نزدیک باشد، میانگین حسابی، میانگین هارمونیک و میانگین هندسی آنها خیلی با هم اختلاف نخواهد داشت و اختلاف بین این سه میانگین موقعی بزرگ خواهد بود که مقادیر آنها از هم دور باشد. به عبارت دیگر مهم‌ترین مرحله‌ی فرایند افزایش مقیاس همان مرحله‌ی اول است؛ بنابراین در این مطالعه فقط بر این مرحله – افزایش اندازه‌ی سلول – تمرکز می‌شود.

در مطالعات انجام شده، روش‌های مختلفی برای افزایش اندازه‌ی سلول ارائه شده است. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی کلی تقسیم کرد: ۱. در این دسته فرایند افزایش اندازه‌ی سلول‌ها به طور یکساخت صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر، از ترکیب تعداد مشخصی سلول زمین‌شناسی یک سلول بزرگ‌تر تشکیل می‌شود و این کار روی کل مدل زمین‌شناسی انجام می‌شود. بنابراین در این روش، سلول‌های بزرگ



شکل ۲. یک تصویر تقسیم شده با روش چهاردرختی (بالا) و نمایش چهاردرختی آن (پایین).

از بحث مطرح شده درمی یابیم که یکی از معایب روش چهاردرختی این است که تصویر اولیه باید مربعی بوده و تعداد سلول‌های آن در هر جهت، توانی از ۲ باشد. به عنوان مثال تعداد سلول‌ها در هر جهت می‌تواند ۲، ۴، ۸، ۱۶ و... باشد. این موضوع به آنجا برمی‌گردد که در روش چهاردرختی، یک سلول به چهار سلول هم‌اندازه تقسیم می‌شود و لذا اگر تعداد سلول‌ها در هر جهت مضربی از ۲ نباشد، تعداد سلول‌های به دست آمده عددی غیر صحیح خواهد بود و این از نظر ریاضی درست نیست.

۳. نتایج محاسبات

در این بخش می‌خواهیم فرایند افزایش مقیاس پیشنهاد شده در این مطالعه را ارزیابی کنیم. به دلیل در دسترس نبودن مدل زمین‌شناسی نفوذپذیری واقعی، از یک مدل ساختگی نفوذپذیری استفاده می‌کنیم. همچنین برای این که زمان انجام محاسبات زیاد نباشد این مدل را تا حد امکان کوچک می‌گیریم. این مدل زمین‌شناسی در شکل ۳ نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود این مدل یک ساختار کانالی را نشان می‌دهد که از 32×32 سلول هم‌اندازه تشکیل شده است. در این شکل، نواحی بنفش رنگ نشان‌دهنده کانال است. علت استفاده از ساختار کانالی این است که در این نوع ساختار، تغییرات نفوذپذیری شدیدتر بوده و لذا فرایند افزایش مقیاس را بهتر می‌توان نشان داد. با توجه به این شکل، واضح است که در مرز بین کانال‌ها و نواحی غیرکانالی مخزن، تغییرات نفوذپذیری شدید است اما در داخل خود کانال‌ها و نیز در داخل نواحی غیرکانالی، نفوذپذیری یکنواخت است و تغییرات شدیدی ندارد. لذا انتظار می‌رود که بعد از افزایش مقیاس سلول‌های موجود در مرزها ریز، اما سلول‌های داخل کانال‌ها و نیز سلول‌های موجود در بخش‌های غیرکانالی تا حد امکان درشت باشند.

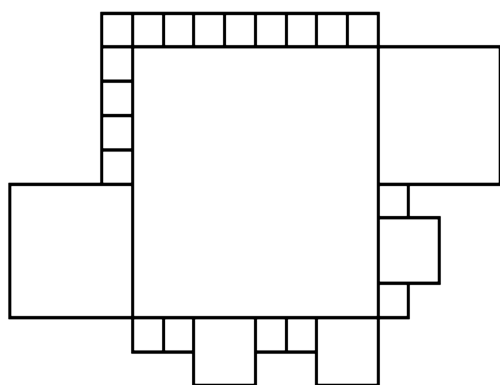
روش چهاردرختی ذکر شده در این مطالعه در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده و سپس فرایند افزایش اندازه‌ی سلول بر روی مدل نشان داده شده در شکل ۳ انجام شده است. مدل افزایش مقیاس داده شده در شکل ۴ نشان داده شده است.

بزرگ به دست آمده همگن باشند. یکی از رایج‌ترین روش‌های مبتنی بر تجزیه‌ی بازگشتی، روش چهاردرختی است که نخستین بار توسط فینکل^{۱۹} و بتلی^{۲۰} در سال ۱۹۷۴ معرفی شد. از زمان معرفی، این روش در زمینه‌های مختلف علوم رایانه، جغرافیا و... برای ارزیابی تصاویر، تولید مش و... به کار رفته است.^[۱۷،۱۶] بسته به نوع داده‌یی که در یک چهاردرختی نشان داده می‌شود، چهار نوع مختلف چهاردرختی وجود دارد:^[۱۸]

۱. چهاردرختی ناحیه‌یی^{۲۱}: این نوع چهاردرختی برای نشان دادن یک فضای دوبعدی بر مبنای تقسیم آن فضا به چهار ربع مساوی، تقسیم هر کدام از این ربع‌ها به چهار زیر ربع مساوی و تکرار این عمل به صورت بازگشتی به کار می‌رود.
۲. چهاردرختی نقطه‌یی^{۲۲}: این نوع درخت چنان که از نامش پیداست، برای نشان دادن داده‌های نقطه‌یی دوبعدی به کار می‌رود.
۳. چهاردرختی حاشیه‌یی^{۲۳}: این نوع درخت برای ذخیره‌ی خطوط به کار می‌رود. کاربرد عمده‌ی این نوع درخت در ذخیره‌ی منحنی‌ها با تقسیم‌شان به خطوط است.
۴. چهاردرختی چندضلعی^{۲۴}: این نوع درخت برای ذخیره‌کردن مجموعه‌یی از چندضلعی‌ها به کار می‌رود.

در این مطالعه چون با سه نوع اولی کاری نداریم برای سهولت، از این به بعد چهاردرختی ناحیه‌یی را به طور خلاصه چهاردرختی می‌نامیم. عمده‌ترین مزیت روش چهاردرختی، سادگی و انعطاف‌پذیری زیاد آن است. در روش چهاردرختی کل تصویر اولیه که از هزاران سلول کوچک هم‌اندازه تشکیل شده است، به صورت یک سلول بزرگ در نظر گرفته می‌شود. این سلول به عنوان سلول والد^{۲۵} به چهار سلول هم‌اندازه‌ی فرزند^{۲۶} تقسیم می‌شود. سپس بر مبنای یک معیار همگنی، به بررسی هر چهار سلول کوچک می‌پردازیم تا ببینیم آیا می‌توان آنها را با هم ترکیب کرد و یک سلول در نظر گرفت یا نه؟ واریانس پارامتر مورد نظر در چهار سلول مورد بررسی را می‌توان مثالی از معیار همگنی دانست. اگر چهار سلول مورد نظر از نظر معیار همگنی یکی نباشند، دوباره هر سلول به چهار سلول کوچک هم‌اندازه تقسیم می‌شود و برای هر سلول معیار همگنی بررسی می‌شود. اما اگر هر چهار سلول از نظر معیار همگنی یکسان باشند، با هم ترکیب می‌شوند. این کار تا آنجا ادامه می‌یابد که همه‌ی سلول‌ها در معیار همگنی صدق کنند. هر بار تقسیم یک سلول بزرگ به چهار سلول کوچک، عمق یا سطح تجزیه^{۲۷} نامیده می‌شود. وقتی چهار سلول کوچک همگن باشند، سلول بزرگ تشکیل‌دهنده‌ی آنها یک برگ^{۲۸} نامیده می‌شود. به عبارت دیگر برگ سلولی است که قابلیت تقسیم شدن ندارد.

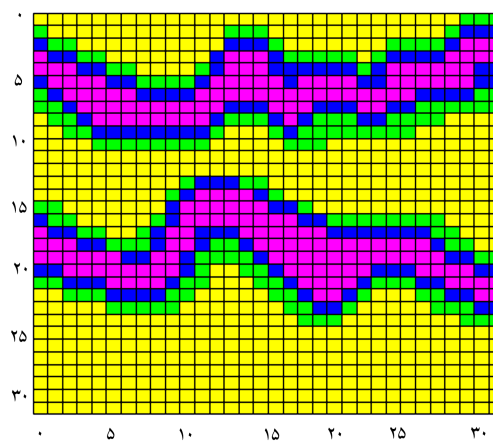
بعد از انجام فرایند چهاردرختی بر تصویر مورد نظر، تصویر به دست آمده دارای سلول‌هایی با اندازه‌های مختلف خواهد بود.^[۱۶-۲۲] مثلاً در شکل ۲، تصویری با 8×8 سلول اولیه و نیز نمایش تجزیه‌ی چهاردرختی این تصویر نشان داده شده است. در این شکل عمل تجزیه در چهار سطح (چهار بار) انجام شده است. لازم به ذکر است که در این تصویر سلول‌های والد به وسیله‌ی دایره‌های توپر و سلول‌های برگ به وسیله‌ی مستطیل‌های رنگی نشان‌دهنده شده است؛ رنگ هر مستطیل همان رنگ برگ مربوطه در مدل افزایش مقیاس داده شده است. برای این که نشان دهیم هر سلول فرزند متعلق به کدام ربع سلول والد است، آنها را با NW، NE، SW و SE نشان می‌دهیم که به ترتیب نشان‌دهنده‌ی سلول‌های موجود در شمال شرقی، شمال غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی سلول والدند.



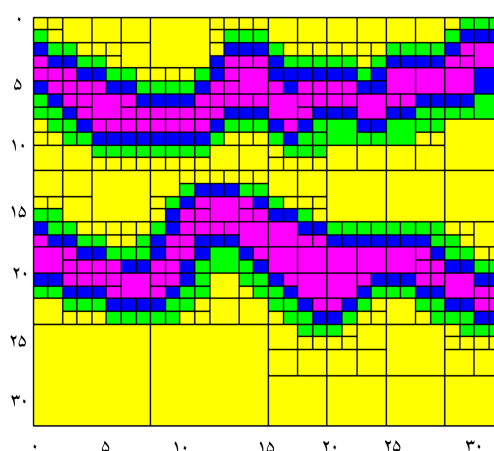
شکل ۵. مثالی از نمایش یک سلول و سلول‌های همسایه‌اش.

برای حل این مشکل، محدودیتی روی روش مورد استفاده در این مطالعه به منظور افزایش مقیاس، اعمال می‌کنیم بدین صورت که بعد از انجام افزایش مقیاس، کل سلول‌های جدید موجود در مدل افزایش مقیاس را از نظر تعداد همسایه‌ها در هر طرف آن بررسی می‌کنیم. اگر تعداد همسایه‌ها در حداقل یک طرف هر سلول بیش از ۲ باشد، سلول مورد نظر را به ۴ سلول کوچک‌تر تقسیم می‌کنیم و این عمل را در مورد زیرسلول‌های به دست آمده نیز تکرار می‌کنیم. این فرایند را تا آنجا ادامه می‌دهیم که هیچ سلولی در هر طرف خود با بیش از ۲ سلول همسایه نباشد. ما این فرایند را اصطلاحاً روش دو به یک^{۲۹} می‌نامیم. برای روشن شدن موضوع شکل ۶الف را در نظر بگیرید که بخشی از مدل افزایش مقیاس با روش چهاردرختی (بخشی از شکل ۴) را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، سلول مشخص شده با علامت * در طرف بالای خود، دارای ۶ سلول همسایه است. اگر بخواهیم کاری کنیم که هیچ سلولی در طرفین خود با بیش از دو سلول همسایه نباشد، کافی است سلول مشخص شده با علامت * را به چهار سلول کوچک‌تر تقسیم کنیم. مدل حاصل در شکل ۶ب نشان داده شده است. چهار سلول حاصل با NE، NW، SE و SW مشخص شده‌اند. با توجه به این شکل، سه سلول NE، SE و SW در هیچ یک از طرفین خود با بیش از دو سلول همسایه نیستند، اما سلول NW در بالای خود با ۴ سلول همسایه است، لذا این سلول دوباره باید به چهار سلول کوچک‌تر شکسته شود. مدل حاصل در شکل ۶ج نشان داده شده است. واضح است که در این شکل هدف مورد نظر محقق شده است و هیچ سلولی در هیچ یک از طرفین خود با بیش از دو سلول همسایه نیست. لازم به ذکر است که در این فرایند، موقعی که یک سلول را به چهار سلول کوچک تقسیم می‌کنیم، مقدار نفوذپذیری در هر چهار سلول را معادل مقدار نفوذپذیری در سلول والد در نظر می‌گیریم.

روش دو به یک روی مدل افزایش مقیاس داده شده پیاده‌سازی شده و مدل جدید به دست آمده در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، واضح است که در مدل جدید افزایش مقیاس داده شده، هیچ سلولی در هر طرف خود با بیش از دو سلول دیگر همسایه نیست. این عامل موجب می‌شود که موقع حل معادلات جریان روی مدل جدید افزایش مقیاس داده شده حاصل از روش دو به یک، فرایند گسسته‌سازی معادلات تا حد زیادی ساده‌تر شود و مشکل متنوع بودن همسایه‌ها کمینه شود. از طرفی تعداد سلول‌های مدل جدید افزایش مقیاس داده شده حاصل از روش دو به یک، برابر ۵۸۶ است که فقط ۳۶ سلول بیشتر از مدل افزایش مقیاس داده شده اصلی است. با این حال، هنوز تعداد سلول‌های مدل جدید افزایش مقیاس داده شده حاصل از روش دو به یک، خیلی کم‌تر



شکل ۳. مدل زمین‌شناسی اولیه.



شکل ۴. مدل افزایش مقیاس داده شده با روش چهاردرختی.

با توجه به شکل ۴، تعداد سلول‌های مدل افزایش مقیاس داده شده ۵۵۰ است که تقریباً نصف تعداد سلول‌های مدل زمین‌شناسی اولیه (۱۰۲۴ سلول) است. همچنین با توجه به شکل افزایش مقیاس داده شده واضح است که در مرز بین کانال‌ها و نواحی غیرکانالی، به دلیل تغییرات شدید نفوذپذیری، سلول‌ها کوچک‌اند اما در داخل دو کانال و نیز نواحی غیرکانالی سلول‌ها درشت‌اند. این تغییرات اندازه‌ی سلول‌ها باعث شده است که تعداد سلول‌ها تقریباً به نصف برسد در حالی که وضوح، جزئیات و ناهمگونی‌های مدل زمین‌شناسی اولیه دقیقاً در مدل افزایش مقیاس داده شده حفظ شده است.

با توجه به مدل افزایش مقیاس داده شده واضح است که در این مدل یک سلول بزرگ در هر طرف خود می‌تواند با ۲، ۳، ۴، ۵ و... تا از سلول‌های کوچک‌تر همسایه باشد و لذا در هر طرف سلول بزرگ، تعداد کل حالتی که سلول‌های کوچک‌تر همسایه‌اش می‌توانند داشته باشند، بسیار زیاد است. این عامل موجب پیچیدگی حل معادلات شبیه‌سازی جریان سیال می‌شود. زیرا موقع حل این معادلات، همسایه‌های هر سلول باید دقیقاً مشخص باشند و به عبارتی همسایه‌های هر سلول در روند حل معادلات مربوط به آن سلول، نقش اساسی دارند. به عنوان مثال یک سلول با همسایگان خود در شکل ۵ نشان داده شده است. چنان که مشاهده می‌شود، همسایگی این سلول با ۲۳ سلول مختلف موجب می‌شود که گسسته‌سازی معادلات جریان به دلیل متنوع بودن همسایه‌های سلول مورد نظر بسیار دشوار باشد.

از مدل زمین‌شناسی اصلی (با ۱۰۲۴ سلول) است. به عبارت دیگر مدل حاصل از روش دو به یک از نظر تعداد سلول با مدل حاصل از روش افزایش مقیاس اصلی چندان تفاوتی ندارد اما شبیه‌سازی جریان سیال در آن به مراتب آسان‌تر است.

۴. نتیجه‌گیری

در این مطالعه روشی جدید برای افزایش مقیاس مدل زمین‌شناسی مخازن ناهمگن ارائه شده است که مبنای اصلی آن، استفاده از مفهوم چهاردرختی برای افزایش اندازه‌ی سلول‌های مدل زمین‌شناسی است.

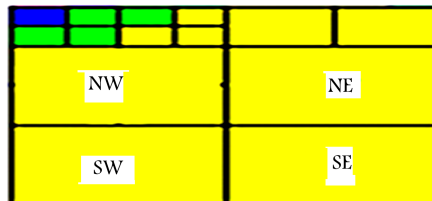
مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در مورد مدل‌های واقعی زمین‌شناسی، می‌توان با استفاده از این روش سلول‌ها را به تعداد قابل توجهی کاهش داد، بدون آن که جزئیات اصلی مدل زمین‌شناسی از دست برود. با این حال مدل افزایش مقیاس داده شده با این روش، سلول‌هایی دارد که در هر طرف خود می‌توانند تعداد زیادی سلول همسایه داشته باشند؛ این امر هنگام شبیه‌سازی جریان سیالات روی مدل، مشکلاتی ایجاد می‌کند که برای رفع آن روشی به نام دو به یک پیشنهاد شد. این روش، مدل افزایش مقیاس داده شده را به گونه‌ی تغییر می‌دهد که در هیچ یک از طرفین هر سلول، بیش از دو سلول همسایه وجود نداشته باشد. این تغییر موجب می‌شود که تعداد سلول‌ها فقط کمی افزایش یابد اما شبیه‌سازی جریان سیالات روی مدل جدید خیلی تسهیل شود.

۵. پیشنهادها

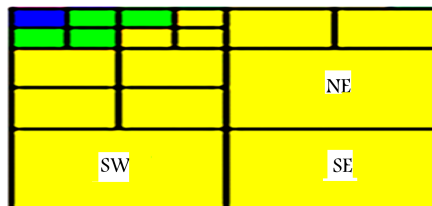
هدف از فرایند افزایش مقیاس، کاهش تعداد سلول‌های مدل زمین‌شناسی بدون از دست دادن ناهمگونی‌های موجود در این مدل به منظور کاهش زمان و حافظه‌ی لازم برای انجام محاسبات مربوط به شبیه‌سازی جریان در مخزن است به طوری که خواص جریانی این مدل دستخوش تغییرات نشود. در این مطالعه نشان داده شد که روش ارائه شده، جزئیات مدل زمین‌شناسی را از نظر تغییرات نفوذپذیری در نواحی مختلف، به خوبی در مدل افزایش مقیاس داده شده حفظ می‌کند. در آینده باید نشان داد که این روش، خواص جریانی مدل زمین‌شناسی را نیز حفظ می‌کند و رفتار مدل زمین‌شناسی اولیه و مدل افزایش مقیاس داده شده در مقابل جریان سیالات، با یکدیگر تطابق خوبی دارد. این عمل مستلزم شبیه‌سازی جریان سیالات در مدل زمین‌شناسی اولیه و مدل افزایش مقیاس داده شده، و مقایسه‌ی خواص جریان در دو مدل با یکدیگر است. گام بعدی می‌تواند توسعه‌ی این روش به حالت سه‌بعدی باشد.



(الف)

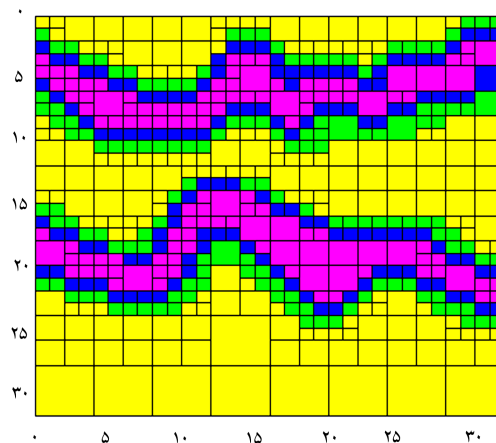


(ب)



(ج)

شکل ۶. مراحل اعمال روش دو به یک بر روی مدل افزایش مقیاس داده شده با روش چهاردرختی.



شکل ۷. مدل افزایش مقیاس داده شده با روش چهاردرختی با اعمال روش دو به یک.

پانویس‌ها

1. upscaling
2. quadtree decomposition
3. grid
4. unstructured

5. discretization
6. history matching
7. heterogeneity
8. volume-weighted arithmetic average
9. geometrical
10. flow-based
11. wavelet transformation

12. dual Mesh
13. vorticity
14. upgridding
15. structured
16. regular
17. irregular
18. recursive
19. Finkel
20. Bentley
21. region quadtree
22. point quadtree
23. edge quadtree
24. polygonal map quadtree
25. parent cell
26. children cell
27. decomposition level
28. leaf
29. two-one

منابع (References)

1. Ligeró, E.L., Sanjombi, B.A. and Schiozer, D.J. "Absolute permeability upscaling near wells in fine grids representing petroleum reservoirs", 17th International Congress of Mechanical Engineering, Sao Paulo, SP (2003).
2. Talbert, M., Ma, X. and Datta-Gupta, A. "Upgridding 3-D geologic models in a channel-type environment", SPE 113245, Indian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, Mumbai, India (2008).
3. Kelkar, M. and Sharifi, M. "Upgridding under multiphase flow conditions", SPE 151043, Eighteenth SPE Improved Oil Recovery Symposium, Oklahoma, USA (2012).
4. Kurelenkov, S.K. and Ryazanov, A.V. "Efficiency evaluation of non-uniform upgridding method based on streamlines approach: Western siberia field example", SPE 104347, SPE Russian Oil and Gas Technical Conference and Exhibition, Moscow, Russia (2006).
5. Chen, Y., Gerritsen, M.G., Durlofsky, L.J. and Lambers, J.V. "Adaptive local-global VCMP methods for coarse-scale reservoir modeling", SPE 118994, SPE Reservoir Simulation Symposium, Woodlands, Texas (2009).
6. Sablok, R. "Upscaling errors in reservoir simulation", M.Sc. thesis, Department of Petroleum Engineering, Stanford University (2004).
7. Salazar, M.O. and Villa, J.R. "Permeability upscaling techniques for reservoir simulation", SPE 106679, SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Buenos Aires, Argentina (2007).
8. Khajeh, M.M.; Chalaturnyk, R.J. and Boisvert, J.B. "A numerical local upscaling approach for elastic rock mechanical properties: Dealing with heterogeneity", American Rock Mechanics Association, 46th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium, Chicago, IL, USA, pp. 12-654 (2012).
9. Rasaei, M.R. and Sahimi, M. "Upscaling of the permeability by multiscale wavelet transformations and simulation of multiphase flows in heterogeneous porous media", *Computational Geosciences*, **13**, pp. 187-214 (2009).
10. Rasaei, M.R. and Sahimi, M. "Upscaling and simulation of waterflooding in heterogeneous reservoirs using wavelet transformations: Application to the SPE-10 model", *Transport in Porous Media*, **72**, pp. 311-338 (2008).
11. Audigane, P. and Blunt, M.J. "Dual mesh method in upscaling", SPE 79681, SPE Reservoir Simulation Symposium, Houston, Texas (2003).
12. Mahani, H. and Muggeridge, A.H. "Improved coarse grid generation using vorticity", SPE 94319, SPE Eurpec/EAGE Annual Conference, Madrid, Spain (2005).
13. Chen, Y., Durlofsky, L.J., Gerritsen, M.G. and Wen, X.H. "A coupled local-global upscaling approach for simulating flow in highly heterogeneous formations", *Advances in Water Resources*, **26**, pp. 1041-1060 (2003).
14. Babaei, M. and King, P.R. "A modified nested-gridding for upscaling-downscaling in reservoir simulation", *Transport in Porous Media*, **93**, pp. 753-775 (2012).
15. Lambers, J.V. and Gerritsen, M.G. "An integration of multilevel local-global upscaling with grid adaptivity", SPE 97250, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, USA (2005).
16. Samet, H., *Applications of Spatial Data Structures: Computer Graphics, Image Processing, and GIS*, 1th edition, Addison-Wesley Publishing Company (1989).
17. Berg, M.D., Kreveld, M.V., Overmars, M. and Schwarzkopf, O.C.N., *Computational Geometry: Algorithms and Application*, 2nd edition, Springer (1998).
18. Shih, F.Y., *Image Processing and Pattern Recognition*, 1th edition, John Wiley & Sons (2010).
19. Popinet, S., Gorman, R.M., Hendrik, J.R. and Tolman, L. "A quadtree-adaptive spectral wave model", *Ocean Modelling*, **34**, pp. 36-49 (2010).
20. Zhang, M. and Wu, W.M. "A two dimensional hydrodynamic and sediment transport model for dam break based on finite volume method with quadtree grid", *Applied Ocean Research*, **33**, pp. 297-308 (2011).
21. Smith, J.R. and Chang, S.F. "Quad-tree segmentation for texture-based image query", ACM 2nd International Conference on Multimedia, San Francisco, CA (1994).
22. Hajizadeh, A. "Multiscale characterization of spatial heterogeneity in complex porous media", PhD thesis, Sharif University of Technology, Iran (2011).