استفاده از زمین‌آمار چند نقطه‌ای در مدل‌سازی سه بعدی شکستگی‌ها در مخازن کربناته

علی اکبر بیات ■ دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشگاه تهران
امید اصغری ■ عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

چکیده

در این مقاله، زمین‌آمار چندنقطه‌ای به عنوان روشـی جدید برای مدل‌سـازی سه بعدی شکستگی‌ها معرفی می‌شود. این روش نسبت به زمین‌آمار کلاسیک، پیوستگی داخلی شکستگی‌ها را بهتر نشان می‌دهد. الگوریتم‌های زمین‌آمار چندنقطه‌ای، مدل‌هایی را ارائه می‌دهند که توانایی تولید تصاویر واقعی را داشته و پیوستگی بین پدیده‌های زمین‌شناسی را به خوبی نشان می‌دهند. زمین‌آمار چندنقطه‌ای وابسته به تصاویر آموزشی است که این تصاویر آموزشی ضرورتاً به هر داده زیرزمینی که در مکان خاص حضور دارند، مقید نبوده و باید نمایانگر کل محدوده مورد مطالعه باشند. در این مقاله از شبکه شکستگی ناپیوسته به عنوان تصویر آموزشی استفاده می‌شود و با استفاده از داده‌های حاصل از چاه و رخ‌نمون و مطالعات آماری صورت گرفته، تصویر آموزشی مصنوعی ساخته می‌شود. در این تصویر طول، جهت و شـیب شکسـتگی‌ها از اطلاعات آماری حاصل شده است. سپس از این تصاویر آموزشی، الگوهایی با ابعاد ۳×۳ ساخته شده و همه الگوها در پایگاه داده الگوها ذخیره می‌شوند. پس از آماده کردن الگوها، از الگوریتم SIMPAT برای شبیه‌سازی استفاده شده است. در این مقاله از داده‌های سخت (چاه) و نرم (لرزه‌نگاری) برای شبیه‌سازی بهتر و جستجوی دقیق‌تر الگوها استفاده شده است. در ادامه نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی شکستگی با داده‌های تولید منطبق شده و عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی زمین‌آمار چندنقطه‌ای، تصویر آموزشی، شکستگی، کریجینگ، داده‌های سخت و نرم، الگوریتم‌های SIMPAT و SNESIM

مقدمه

از واریوگرام به عنوان ابزاری برای تعریف همبستگی فضایی دو نقطه در فضا که با فاصله h از یکدیگر قرار دارند، اسـتفاده می‌شود. مـدل واریوگرام اغلب به عنوان یک پارامتـر ورودی برای تخمین یـک متغیر در یک دامنه با اسـتفاده از تخمین‌گر کریجینگ به‌کار می‌رود. کریجینگ یک تخمین‌گر خطی است که وزن داده‌ها را به گونه‌ای تعیین می‌کند، تا در مکان u (نقطه‌ای در گرید شبیه‌سازی) بهتریـن تخمین حاصل شـود. کریجینگ به صـورت محلی، دقیق عمل می‌کند، ولی توزیع فضایی نتایج حاصل از تخمین کریجینگ تمایل به هموار شدن دارند و این هموار شدن باعث می‌شود تا برای مقادیـر کم، تخمینی بیشـتر و برای مقادیر زیـاد، تخمینی کمتر از مقدار واقعی حاصل شـود. این خاصیت کریجینگ در شبیه‌سـازی جریان، مشـکل بزرگـی را ایجـاد می‌کند. برای رفع این مشـکل شبیه‌سازی متوالی گوسی معرفی شده است[۲].

الگوریتم‌های شبیه‌سـازی متوالـی در همـه مکان‌هایی که در مدل واریوگرام قرار دارند، صادق هسـتند، این در حالی اسـت که کریجینگ فقط در مکان‌هایی صادق اسـت کـه بهترین تخمین با کمتریـن واریانس خطا حاصل می‌شـود و همچنین در کریجینگ (بر خلاف الگوریتم شبیه‌سـازی متوالی) از برآوردهای انجام شده در مکان‌هـای دیگر، برای تخمین یک پارامتر اسـتفاده نمی‌شـود. اجرای شبیه‌سـازی متوالی، حاصل بازسـازی خواص فضایی مورد نظر به صورت متوالی، با اسـتفاده از توزیع شـرطی است. مهم‌ترین محدودیـت مدل گوسـی، خاصیـت حداکثر بی‌نظمی آن اسـت که باعث پراکندگی مقادیر حداکثر در شبیه‌سـازی می‌شـود. این موضوع بیانگر آن اسـت که مدل گوسی نسـبت به سایر مدل‌های دیگر (که دارای واریوگرام هسـتند) کمتر مورد مطالعه قرار گرفته اسـت. روش شبیه‌سـازی متوالی گوسـی هر چند به صورت کلی دقیق‌تر از کریجینگ اسـت، اما هنـوز قابلیت برطرف کردن نیاز به مدل‌سازی الگوهایی با پیوسـتگی زمین‌شناسی را ندارد. زمین‌آمار دو نقطه‌ای بر اسـاس واریوگرام، قادر به نمایش ساختارها و اشکال زمین‌شناسی پیچیده نیست.

محدودیت‌هایی که در زمین آمار دو نقطه‌ای و مدل وابسـته به واریوگرام مشاهده شده اسـت باعث شد تا از روش جدیدی برای غلبه بر این محدودیت‌ها اسـتفاده شود. این روش جدید، زمین‌آمار چندنقطه‌ای اسـت. زمین‌آمار چندنقطه‌ای به تازگی در مدل‌سازی اسـتاتیک مخزن مطرح گردیده اسـت. این مفهوم در مدل‌سـازی

رخساره‌ها، تخلخل و... مورد استفاده قرار می‌گیرد[۶و۷]. در این روش، انطباق بین چند مکان (سه یا بیش از سه) در یک زمان انجام می‌گیرد. بنابراین در تئوری قادر است تا پیوستگی مکان‌های مختلف و ساختارهای زمین‌شناسی پیچیده و خطی-منحنی[۳] را بازسازی کند. اساس زمین‌آمار چند نقطه‌ای را تصاویر آموزشی تشکیل می‌دهند که الگوهای لازم برای شبیه‌سازی از آن‌ها استخراج می‌شود. این تصویرهای آموزشی نیاز به شرطی‌شدن به محل داده‌های زیرزمین را ندارند و فقط مفهوم زمین‌شناسی موجود را بازتاب می‌دهند. در تئوری، تصویرهای آموزشی از منابع مختلفی مثل عکس از رخ‌نمون، نقشه ترسیم شده توسط زمین‌شناس و... تأمین می‌شوند. در این مقاله از روش زمین‌آمار چندنقطه‌ای برای مدل‌سازی سه بعدی شکستگی استفاده شده است تا پیوستگی داخلی شکستگی‌ها را به خوبی نشان دهد.

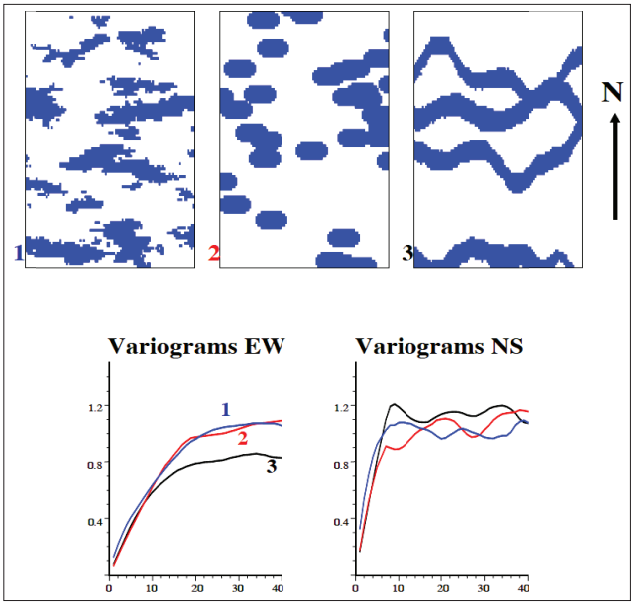
۱- زمین‌آمار چندنقطه‌ای

در این قسمت در ابتدا ضعف زمین‌آمار کلاسیک در مدل‌سازی پدیده‌های زمین‌شناسی غیرخطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، سه ناهمگنی زمین‌شناسی متفاوت در این شکل وجود دارند که واریوگرام آنها در دو جهت شمال-جنوب و شرق-غرب ترسیم شده است . این واریوگرام‌ها مشابه یکدیگر هستند و این موضوع، ضعف واریوگرام را در به تصویر کشیدن ناهمگنی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد[۴].

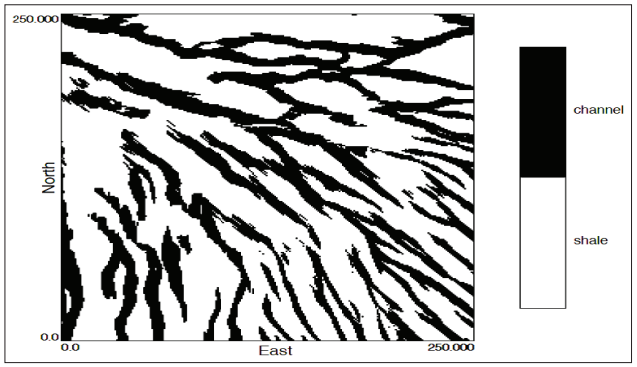
زمین‌آمار چندنقطه‌ای یک روش مدل‌سازی است که از تصاویر آموزشی برای استخراج الگوها و از الگوریتم‌ها برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند. در زمین‌آمار چندنقطه‌ای از داده‌های نرم و سخت که در ادامه تشریح می‌شوند، برای شبیه‌سازی بهتر و دقیق‌تر استفاده می‌شود. این روش، نقاط ضعف واریوگرام را که در به تصویر کشیدن ناهمگنی‌های زمین‌شناسی و ساختارهای پیچیده ناتوان است، جبران می‌کند و از تصاویر آموزشی، ساختارهای پیچیده و ناهمگن را استخراج نموده و در فضای سه‌بعدی به شبیه‌سازی آن‌ها می‌پردازد. این روش دقیق‌تر از روش‌های زمین‌آمار کلاسیک بوده و پیوستگی‌ها را بهتر نشان می‌دهد. عناصر اصلی زمین آمار چندنقطه‌ای، تصاویر آموزشی، الگوریتم و داده‌های نرم و سخت هستند که در ادامه به اختصار تشریح می‌شوند[۲].

۱-۱-تصویر آموزشی

زمین‌آمار چندنقطه‌ای وابسته به تصاویر آموزشی است که این تصاویر در واقع پایگاه داده‌ای از الگوهای زمین‌شناسی هستند. زمانی که الگوهای مورد نیاز از تصویر آموزشی استخراج شدند، لازم است تا بر روی داده‌های زیرزمین (داده‌های نمودار چاه، لرزه‌نگاری و تولید) پیاده شوند. واریوگرام ابزاری آماری برای ذخیره الگوهای خطی به شکل ریاضی است. با این حال پیچیدگی این الگوها به دو دلیل شدیداً محدودکننده است. اولاً این الگوها فقط دو نقطه‌ای هستند و ثانیاً نمایش ریاضی آن‌ها، درک آن را برای غیر متخصصین دشوار می‌سازد. این تصویر آموزشی، واریوگرام را در زمین‌آمار چندنقطه‌ای به عنوان یک واحد ناهمگنی زمین‌شناسی جایگزین می‌کند و شامل اطلاعات چندنقطه‌ای و مهم‌تر از آن قابل درک‌تر است. چون به یکباره (پیش از هرگونه تخمین زمین‌آماری) می‌توان مشاهده کرد که چه الگوهایی در یک مجموعه از مدل‌های مخزنی چندنقطه‌ای تولید می‌شوند. تصاویر آموزشی اجازه بررسی صریح کمی از ناهمگنی زمین‌شناسی (پیش از به کار بردن هرگونه



شکل ۱ | از سه ناهمگنی زمین شناسی متفاوت، سه واریوگرام مشابه حاصل شده است که نشان دهندهٔ ضعف واریوگرام در به تصویر کشیدن ناهمگنی زمین شناسی است.



شکل ۲ | تصویر آموزشی از یک محیط دلتایی.

روش زمین‌آماری) را می‌دهند. با مقایسه تصویر آموزشی با واقعیت زمین‌شناسی و در صورت عدم مطابقت به راحتی می‌توان آن را رد کرد. در حالی که مقایسه فرضیات مدل واریوگرام با واقعیت زمین‌شناسی دشوارتر است[۴]. اندازه تصویر آموزشی یک فاکتور مهم است. از آن مهم‌تر و برای اینکه اندازه تصویر آموزشی نسبت به بزرگ‌ترین مشخصه در مدل مخزنی واقعی، بازتولید شود لازم است تا اندازه تصویر آموزشی با دقت مورد بررسی قرار گیرد. تهیه تصویر آموزشی مهم‌ترین ضعف روش زمین‌آمار چندنقطه‌ای است؛ در حالی که تهیه آن از اهمیت بسیاری برخوردار است. با تهیه تصاویر آموزشی مناسب نه تنها می‌توان بر این ضعف غلبه کرد، بلکه می‌توان به عنوان نقطه قوتی از آن استفاده نمود .در این صورت ساختارها و ناهمگنی‌های پیچیده به خوبی به تصویر کشیده می‌شوند[۲]. مثالی از تصاویر آموزشی محیط دلتایی در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای ساخت الگو از تصاویر آموزشی باید ابتدا قالبی را مشخص کرد و سپس با پیمایش این قالب بر روی تصویر آموزشی، همه الگوها را استخراج نمود. اندازه این قالب به مشخصه‌های مورد مطالعه بستگی دارد. مثلاً همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود برای کانال‌ها، قالبی به بزرگی ۱۵×۱۵ مناسب است.

شکل ۴ مثالی از پایگاه داده الگوهایی با گره‌های ۳×۳ و استفاده از پیمایش قالب بر روی تصویر آموزشی است.

۱-۲-الگوریتم‌ها

الگوریتم‌های متعددی در زمین‌آمار چندنقطه‌ای وجود دارند که هر کدام دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود هستند. در این قسمت دو نمونه از الگوریتم‌هایی که در مدل‌سازی شکستگی قابل استفاده هستند، به اختصار تشریح می‌شوند.

۱-۲-۱- الگوریتم SNESIM

الگوریتم SNESIM با استفاده از محاسبه احتمالات شرطی حاصل از تصاویر آموزشی، از محدودیت‌های واریوگرام اجتناب می‌کند. تصاویر آموزشی، مدل‌های مفهومی هستند که الگوهای فضایی بسیار مهمی را نمایش می‌دهند. سپس تصاویر آموزشی جستجو می‌شوند تا الگوها منطبق بر شرایط داده پیشامد شوند. فقط بر اساس این الگوهاست که می‌توان احتمالات شرطی لازم را از نسبت‌های الگو تخمین زد[۳]. این روش ابتدا توسط Guardiano و Srivastava در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد شد و توسط Strebelle (با استفاده از جستجوی ساختار درختی) به عنوان الگوریتم شبیه‌سازی معادله معمولی واحد[۴] (SNESIM) اجرا شد. الگوریتم SNESIM دارای دو بخش زیر است.

۱) ساخت درخت جستجو برای ذخیره نسبت‌های الگو از تصاویر آموزشی.

۲) انجام شبیه‌سازی متوالی، که مقادیر شبیه‌سازی شده بر اساس این نسبت‌ها رسم می‌شوند.

الگوریتم متناظر با اجرای SNESIM در ساده‌ترین حالت ممکن به صورت زیر است[۵].

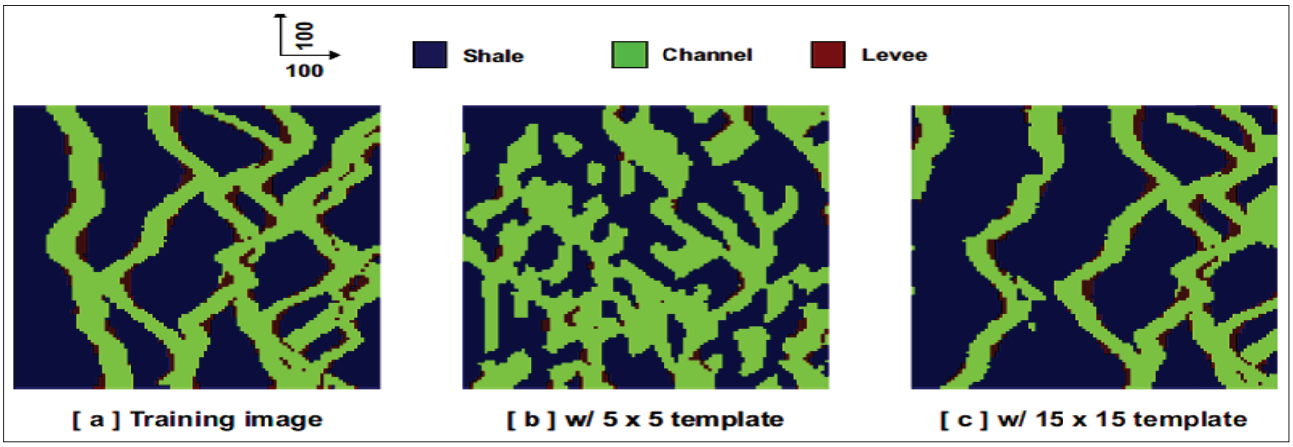
۱) یک قالب چند نقطه‌ای Tj برای پیمایش تصویر آموزشی تعریف می‌شود.

۲) تصویر آموزشی با استفاده از این قالب چند نقطه‌ای Tj پیمایش شده و نسبت‌های الگو، در یک شی جستجوی درختی ذخیره می‌شود.

۳) داده‌های شرطی موجود برای نزدیک‌ترین گره شبیه‌سازی مشخص می‌شوند.

۴) یک مسیر تصادفی تعریف می‌شود که همه مکان‌ها را فقط یک‌بار طی می‌کند.

۵) برای هر موقعیت u عملیات زیر انجام می شود:



شکل ۳ | تصویر آموزشی (a)، عکس حاصل از قالب با گره های ۵×۵ (b) و عکس حاصل از قالب با گره های ۱۵×۱۵ (c)

– داده پیشامد شرطی conj(u) در قالب Tj مشخص می‌شود.

– توزیع احتمالاتی شرطی زیر بر اساس نسبت الگو از جستجوی درختی، محاسبه می‌شود.

conj(u)) Prob(I(u)=K

– به صورت تصادفی از توزیع احتمالاتی شرطی نمونه‌گیری شده و مقدار شبیه‌سازی شده به مکان u اختصاص داده می‌شود. مقدار شبیه‌سازی شده به عنوان داده‌های شرطی تلقی می‌شود.

۶) مرحله پنجم تکرار می‌گردد تا همه گره‌ها در این شبکه، شبیه‌سازی شوند.

۱-۲-۲- الگوریتم SIMPAT

الگوریتم SIMPAT یا شبیه‌سازی با الگو، یک الگوریتم جدید چندنقطه‌ای است که بدون تئوری احتمال، توسعه یافته است. SIMPAT از تصویر آموزشی، به عنوان مجموعه‌ای از الگوها استفاده کرده و الگویی را انتخاب می‌کند که به صورت محلی با داده‌های شرطی مخزن منطبق باشد. در SIMPAT یک قالب سه بعدی تعریف می‌شود و با پیمایش این قالب روی تصویر آموزشی، همه الگوها استخراج شده و در یک پایگاه داده‌های الگو ذخیره می‌شوند.

این روش در زمان شبیه‌سازی، الگویی را که بیشترین شباهت را با داده پیشامد[۵] (که از مدل مخزنی در حال شبیه‌سازی استخراج شده) دارد جستجو کرده و آن را در شبکه شبیه‌سازی قرار می‌دهد.

ti(u) به عنوان مقداری از تصویر آموزشی (ti) تعریف می‌شود که $u \epsilon G_{ti}$ است (G_{ti}شبکه دکارتی منظمی است که تصویر آموزشی را تفکیک می‌کند) $ti_T(u)$. به یک بردار چند نقطه‌ای از مقادیر ti(u) در یک قالب[۶] T (با گره‌های x×x یا $x \times y، x,y \epsilon N$) به مرکز گره u اشاره می‌کند. به عبارت دیگر $ti_T(u)$ برداری است که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$ti_T(u) = \{ti(u+h_1), ti(u+h_2), \ldots, ti(u+h_\alpha), \ldots, ti(u+h_{nT})\}$

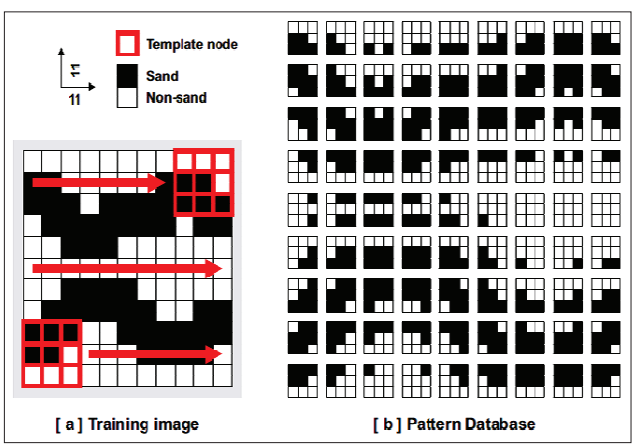
h_α برداری است که هندسه گره‌های (n_T) قالب T را تعریف می‌کند ($\alpha = 1,\ldots, n_T$). بردار $h_1=0$ موقعیت مرکزی u را نشان می‌دهد. شکل ۵ مفهوم قالب دوبعدی با گره‌های ۳×۳ را نمایش می‌دهد ($n_T=9$).

وقتی که تصویر آموزشی با استفاده از قالب T پیمایش شد، بردارهای چند نقطه‌ای متناظر $ti_T(u)$ در یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند. هر بردار $ti_T(u)$ یک الگو pat_T^k از تصویر آموزشی نامیده می‌شود و این پایگاه داده‌ها، پایگاه داده‌های الگو نام دارد که با علامت $patdb_T$ نشان داده می‌شود. این الگوها به pat_T^k ارجاع داده می‌شوند که k نشان‌دهنده kامین موقعیت از مقادیر بردار قبلی $ti_T(u)$ از تصویر آموزشی ti است و هر مقدار را با علامت $pat_T^k(h_\alpha)$ نمایش می‌دهد که $k=1, \ldots, n_{patT}$ و n_{patT} تعداد کل الگوها در پایگاه داده‌های الگو $patdb_T$ است. پس از ساخت پایگاه داده‌های الگو، الگوریتم با شبیه‌سازی این الگوها بر روی یک تحقق به پیش می‌رود. در شبیه‌سازی متوالی، داده پیشامد مجموعه‌ای از داده‌های سخت و مقادیر از قبل شبیه‌سازی شده در قالب T به مرکز موقعیت u می‌باشد که T همان قالب استفاده شده در پیمایش تصویر آموزشی است.

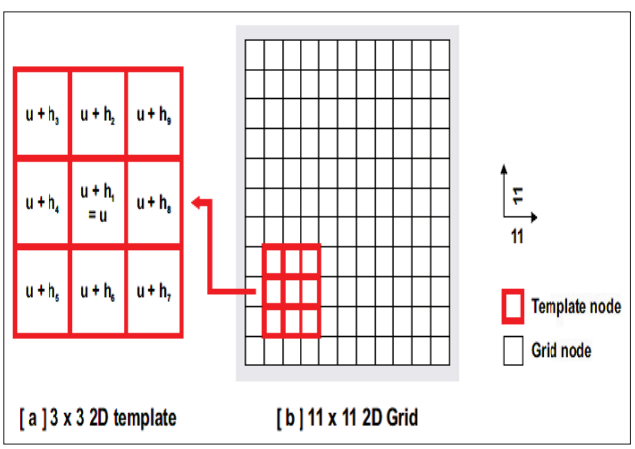
$dev_T(u+h_\alpha) = \{ dev_T(u+h_1), \ldots, dev_T(u+h_\alpha), \ldots, dev_T(u+hn_T)$

که $dev_T(u+h_\alpha) = re(u+h_\alpha)$ و re همان تحقق می‌باشد.

در زمان شبیه‌سازی، گره‌های $u \epsilon G_{ti}$ از این تحقق، به صورت تصادفی بررسی می‌شوند و در هر گره u، داده پیشامد $dev_T(u)$ استخراج می‌شود. این داده پیشامد با استفاده از ضابطه تشابه (s<.,.>)



شکل ۴ | پردازش تصویر آموزشی برای به‌دست آوردن پایگاه داده الگو با استفاده از قالب با گره های ۳×۳



شکل ۵ | این شکل مفاهیم مرتبط با قالب ها را به صورت دو بعدی ۳×۳، نشان می دهد. بردار $h_1=0$ موقعیت مرکزی u را مشخص می کند.

با همـــه الگوهای موجود (pat_T^k) در پایـــگاه داده‌های الگو ($patdb_T$) مقایسه می‌شود. هدف، یافتن الگویی است که بیشترین شباهت را با داده پیشامد داشته باشد. یعنی الگویی که برای $k=1, \ldots, n_{patT}$، مقـــدار $s<dev_T(u),pat_T^k>$ حداکثر شـــود و یا مقدار عدم تشـــابه ($s<dev_T(u),pat_T^k>= -<dev_T(u),pat_T^k>$) حداقل شـــود. پس از یافتن شبیه‌ترین الگو، این الگو جانشین داده پیشامد می‌شود. یعنی مقادیر شـــبیه‌ترین الگو در گره u روی تحقق قرار داده می‌شـــود و این کار برای همه گره‌ها تکرار می‌شـــود. الگوریتم SIMPAT را می‌توان به دو بخش زیر تقسیم کرد[۳].

۱) پیش‌پردازش تصویر آموزشی

۱.۱) با اســـتفاده از قالب T، تصویر آموزشی را پیمایش کرده تا همه الگوهای موجود در تصویر آموزشی تهیه شوند (pat_T^k).

۲.۱) تعداد الگوها با استفاده از فیلترها به n_{pat} می‌رسد تا پایگاه داده‌های الگو را ساخته و از الگوهای تکراری صرف‌نظر شود.

۲) انجام شبیه‌سازی روی شبکه شبیه‌سازی

۱.۲) یک مســـیر تصادفی روی شبکه شبیه‌سازی تعریف کرده تا هر گره (u) را فقط یکبار طی کند.

۲.۲) در هر گره(u) داده پیشـــامد حفظ می‌شود و الگویی که بیشترین شباهت را با داده پیشامد دارد یافت می‌شود.

۳.۲) زمانی که شـــبیه‌ترین الگو یافت شد، برای همه گره‌های موجود در قالب T، مقدار الگو برابر داده پیشامد قرار داده می‌شود. $dev_T(u+h_\alpha)=pat_T \times (h_\alpha)$

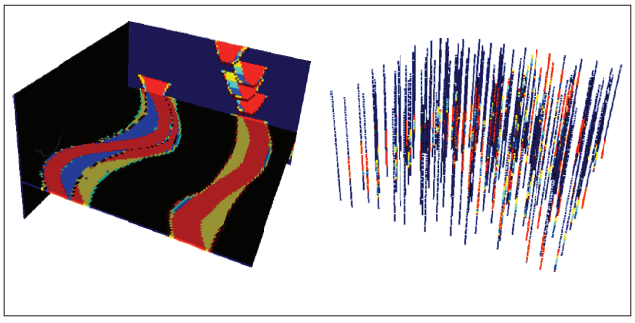
۴.۲) درمسیر تصادفی به گره بعدی رفته و مراحل بالا تکرار می‌شود تا همه گره‌های شبکه در طول این مسیر تصادفی پیمایش شوند.

۱-۳-داده‌ها

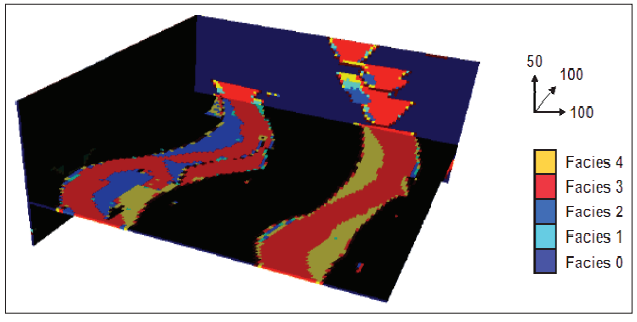
داده‌هایـــی که در زمین‌آمـــار چندنقطه‌ای مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند، به دو دســـته داده‌های نرم و سخت تقسیم می‌شوند. این داده‌هـــا نقش مهمی را در شبیه‌ســـازی ایفا می‌کننـــد. در ادامه این داده‌ها به اختصار تشریح می‌شوند.

۱-۳-۱- داده‌های سخت[۷]

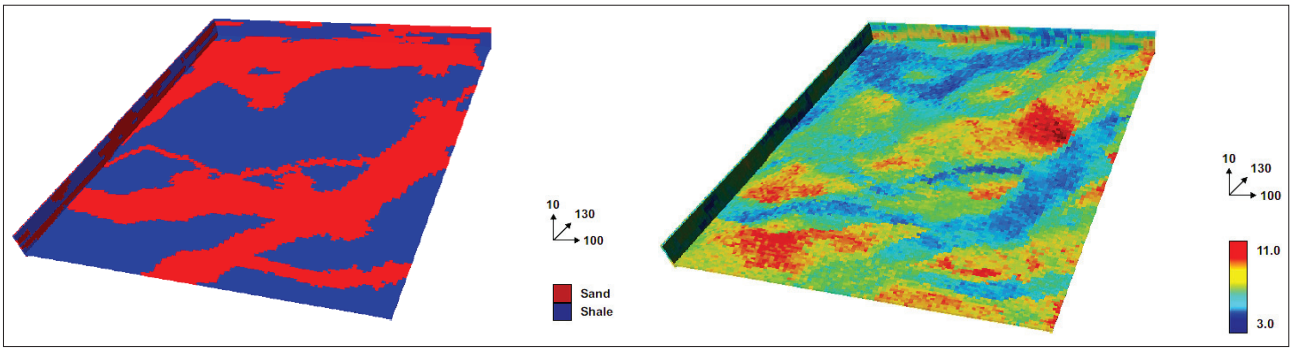
داده‌های ســـخت، داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مستقیم هســـتند. مثالـــی از این نوع داده‌ها شـــامل داده‌های چاه می‌باشـــد. داده‌های ســـخت در ابتدا به صورت داده‌هـــای ثابت و بدون تغییر وارد شـــبکه شبیه‌ســـازی می‌شـــوند و همـــراه با شـــبکه‌های از قبل شبیه‌ســـازی شـــده، نقش داده‌های پیشـــامد را ایفا می‌کنند. وجود داده‌های سخت در شبیه‌سازی بسیار ضروری است. شکل ۶ مثالی از داده ســـخت اســـت که مدل حاصل از تصویر آموزشی کانال و داده‌های سخت (چاه) در آن نشان داده شده است[۲].



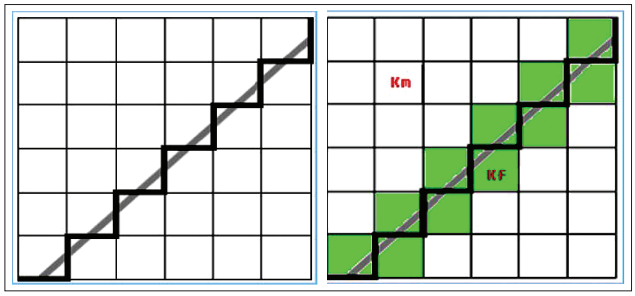
شکل ۶ | تصویر آموزشی کانال (سمت چپ) و داده‌های سخت چاه (سمت راست)



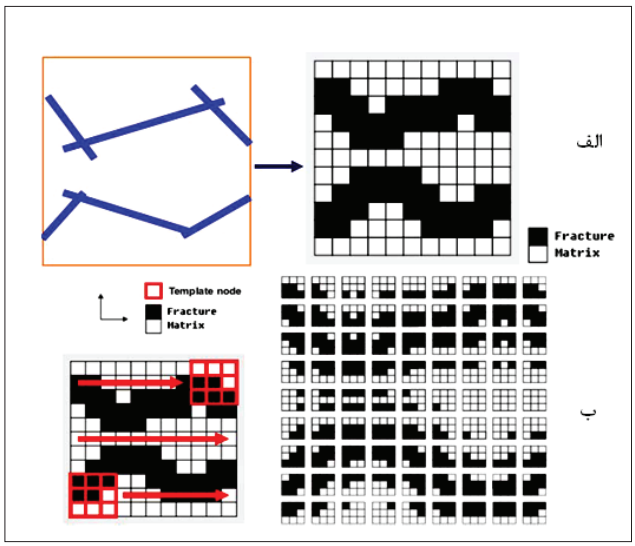
شکل ۷ | این مدل، حاصل از تصویر آموزشی و داده های سخت می باشد.



شکل ۸ | تصویر آموزشی سه بعدی کانال (سمت چپ) و داده نرم (لرزه مصنوعی) متناظر با این تصویر آموزشی (سمت راست).



شکل ۹ | شبکه دوتایی (شکستگی/ماتریکس سنگ) برای توصیف شکستگی



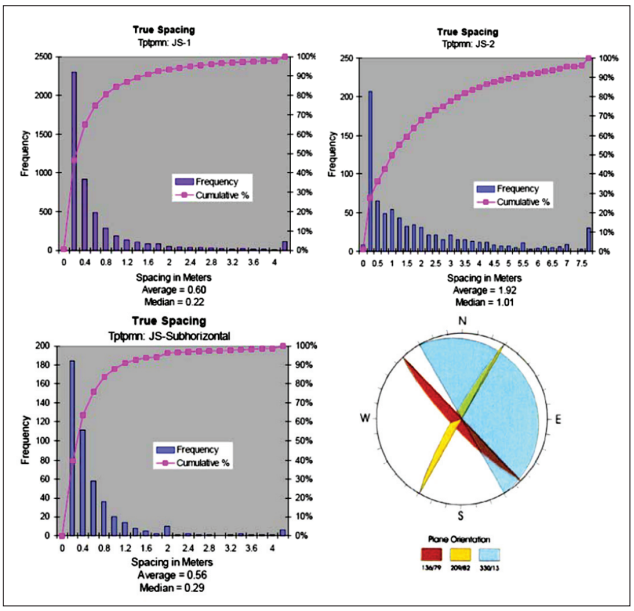
شکل ۱۰ | مقدار دوتایی شبکهٔ شکستگی (الف) و پیمایش روی تصویر آموزشی با قالب گره‌های ۳×۳ برای ساخت پایگاه داده‌های الگو (ب).

۱-۳-۲- داده‌های نرم[۸]

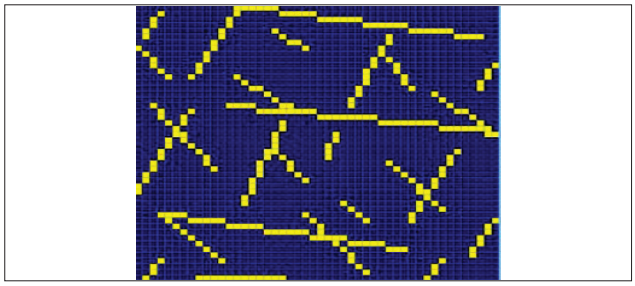
در مدل‌سازی مخزن، داده‌های نرم به داده‌های گسترده به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های غیرمستقیمی مانند روش‌های ژئوفیزیکی (لرزه‌نگاری) اطلاق می‌شود. داده‌های نرم، اغلب یک نگاه فیلترشده از ناهمگنی زیرزمینی را نشان می‌دهند. این فیلتر شدن را می‌توان با استفاده از تابع F، که ناهمگنی واقعی زمین را در یک دید فیلتر شده (داده نرم) و با استفاده از وسایل اندازه‌گیری از دور فراهم شده به تصویر می‌کشد نمایش داد. به طور کلی تابع F (پاسخ فیزیکی دقیق) نامشخص است و با مدل ریاضی پیشرو *F تقریب زده می‌شود. این مدل ریاضی به مدل پیشرو معروف است. داده‌های نرم کمک شایانی به جستجوی شبیه‌ترین الگو به داده‌های پیشامد و انجام شبیه‌سازی دقیق‌تر می‌کنند. باید توجه داشت که در شبیه‌سازی، داده‌های سخت بر داده‌های نرم اولویت دارند[۲].

۲- استفاده از شبکه شکستگی ناپیوسته برای تهیه تصویر آموزشی

شکل ۹ بیانگر آن است که چگونه شبکه دوتایی (شکستگی/



شکل ۱۱ | ثبت مشخصات شکستگی از داده‌های رخنمون و چاه به صورت آماری



شکل ۱۲ | ساخت تصویر آموزشی مصنوعی از داده‌های آماری

ماتریکس سنگ) برای توصیف سنگ شکسته، استفاده می‌شود. در این شبکه، شکستگی‌ها در شبکه‌ای با تراوایی K_f (شبکه حاوی شکستگی) و K_m (شبکه حاوی ماتریکس سنگ) مشخص می‌شوند و نماد شاخص آن به صورت زیر است.

$$ti(u) = \begin{cases} ۱ & \text{اگر در } u،\ ti \text{ شکستگی شامل شود} \\ ۰ & \text{اگر در } u،\ ti \text{ شامل ماتریکس شود} \end{cases}$$

$ti_T(u)$ مقدار تصویر آموزشی در $u \epsilon G_{ti}$ است و به یک بردار چندنقطه‌ای از مقدار $ti(u)$ در یک قالب T به مرکز گره شبکه (u) اشاره می‌کند. شکل ۱۰ مثالی از تصویر آموزشی و پایگاه داده‌های الگو را در زمین‌آمار چند نقطه‌ای نشان می‌دهد. در این شکل مقدار دوتایی شبکه (شکستگی/ماتریکس سنگ)، نشان‌دهنده شبکه شکستگی است (شکل ۱۰-الف) و پیمایش روی تصویر آموزشی با قالب خاص برای ساخت پایگاه داده‌های الگو در شکل ۱۰-ب نشان داده شده است. در این مطالعه عکس آموزشی با قالب $T(۳\times۳)$ پیمایش شده و در بردارهای چند نقطه‌ای متناظر در یک پایگاه داده

ذخیره می‌شـود. هر بردار، یک الگو از تصویر آموزشـی است و این پایگاه داده پایگاه داده‌های الگو نامیده می‌شود.

پـس از آماده‌سـازی تصاویر آموزشـی با اسـتفاده از داده‌های رخ‌نمون و چاه، همه الگوها از تصاویر آموزشـی استخراج می‌شوند. برای اینکه پیوسـتگی به خوبی در مخزن نمایش داده شـود، می‌توان مشـخصات شکسـتگی‌های موجود در رخ‌نمون و چاه را به صورت آمـاری بیـان نمود. سـپس از اطلاعات آمـاری، تصاویر آموزشـی مصنوعی ساخته می‌شود، به طوری که طول، جهت و شیب شکستگی از اطلاعات آماری استخراج می‌شوند (شکل‌های ۱۱و۱۲).

پس از سـاخت پایـگاه داده الگـو، الگوریتم با شبیه‌سـازی این الگوها بر روی یک تحقق پیش می‌رود. روش‌های شبیه‌سازی متوالی به صورت زیر هستند.

۱) یک مسـیر تصادفی که از همه گره‌هـا عبور می‌کند، تعریف می‌شود.

۲) برای هر گره مقدار شبیه‌سـازی شـده که از تابع توزیع شرطی نمونه‌گیری شده، رسم می‌شود.

۳) ایـن کار تکـرار شـده تـا همه گره‌هـای موجود در شـبکه شبیه‌سازی، شبیه‌سازی شوند.

نتیجه‌گیری

بـا توجه بـه اینکـه نرم‌افزارهای شبیه‌سـاز شکسـتگی از جمله نرم‌افزار Petrel در شبیه‌سـازی توزیع تصادفی هندسـه شکستگی‌ها (شـیب، آزیموت و طول) دچار ضعف هستند و به خوبی ارتباط بین شکسـتگی‌ها را بیان نمی‌کنند، لذا نیاز به روشی که اساس آن، توزیع هندسـه شکسـتگی‌ها به صورت تصادفی نبوده و ارتباط و پیوستگی بین شکسـتگی‌ها را به خوبی به تصویر می‌کشـد، احساس می‌گردد. بـه این منظور روش جدید زمین‌آماری به نـام زمین‌آمار چندنقطه‌ای معرفی شـد تا ارتباط و پیوستگی بین شکسـتگی‌ها را به خوبی نشان داده و مدل دقیق‌تری از شکستگی‌های محیط مورد مطالعه را به‌دست دهد. همان‌طور که ذکر شـد اسـاس این روش تهیه تصویر آموزشی است که بیانگر محیط مورد مطالعه است. تصویر آموزشی مهم‌ترین و حسـاس‌ترین بخش شبیه‌سازی شکستگی است، لذا برای تهیه تصویر آموزشـی مناسب و شبیه‌سازی بهتر و دقیق‌تر، لازم است تا موارد زیر مورد توجه قرار گیرند.

۱- همان‌طور که قبلاً ذکر شـد مهم‌ترین ضعف روش زمین‌آمار چندنقطه‌ای تهیه تصویر آموزشـی اسـت. لذا توصیه می‌گردد که از همه داده‌های زمین‌شناسی (مغزه، تصویر چاه، هرزروی گل، رخ‌نمون و...) برای تهیه تصویر آموزشی کمک گرفته شود تا تصویر آموزشی مناسبی که نمایانگر محیط مورد مطالعه است، تهیه شود.

۲- داده‌های لرزه‌ای قدرت تفکیک پایینی دارند و نمی‌توان همه شکستگی‌ها را با استفاده از این داده‌ها تشخیص داد. بنابراین می‌توان از آنها به عنوان داده نرم در شبیه‌سازی شکستگی‌ها استفاده نمود.

۳- بـا توجه به اینکـه برخی مخـازن کربناتـه از جمله مخازن کربناته ایران، از نظر تکتونیکی پیچیده هسـتند، توصیه می‌شـود تا برای هر یک از مکان‌هایی که از نظر تکتونیکی در شـرایط یکسان قـرار دارنـد، تصویر آموزشـی جداگانه‌ای تهیه شـود. مثـلاً برای شکسـتگی‌های نزدیک به گسل‌ها تصویر آموزشـی جداگانه تهیه گردد.

پانویس‌ها

1. aliakbar.bayat@ut.ac.ir
2. o.asghari@ut.ac.ir
3. Curvi-linear
4. Single normal equation simulation
5. Data event
6. Template
7. Hard data
8. Soft data

منـــابع

[1] Xiaoyan Liu, Chengyuan Zhang, Quansheng Liu, Jens Birkholzer (2006) Multiple-point statistical prediction on fracture networks at Yucca Mountain

[2] Guven Burc Arpat (2005) Sequential simulation with patterns. PhD Thesis, Stanford University, Stanford, CA, USA

[3] Guven Burc Arpat and Jef Caers (2005) A multiple-scale, pattern-based approach to sequential simulation. Stanford University, Stanford, CA, USA

[4] Jef Caers and Tuanfeng Zhang (2002) Multiple-point geostatistics a quantitative vehicle for integrating geologic analogs into multiple reservoir models

[5] Darin Dudley Madriz, B.E.; B.S.(2009) Stochastic characterization of carbonate buildup architectures, using tow- and multiple-point statistics, and statistical evaluation of these methods. Master of Science Thesis, University of Texas at Austin, Texas, USA

[6] Mathieu Le Coz, Pierre Genthon and Pierre M. Adler (2011) Multiple-Point Statistics for modeling facies heterogeneities in a porous medium

[7] Yi Du, Ting Zhang (2009) 3D porosity simulation of porous media using continuous multiple-point geostatistics

Using Multiple Point Geostatistics in the Simulation of Fractures in Carbonate Reservoirs