

رسالة محمد

١



دانشکده معدن، ژئوفیزیک و نفت  
گروه اکتشاف معدن

بررسی امکان کاربرد روش زمین آماری چندنقطه ای در شبیه سازی رخساره ای مخازن نفتی  
(مطالعه موردی میدان نفتی سروش)

دانشجو :

احمد دیبایی

اساتید راهنما :

دکتر علی مرادزاده

دکتر محمد کنشلو

اساتید مشاور

دکتر داود شاهسونی

مهندس سجاد کاظم شیروودی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۰

این پایان نامه تحت حمایت علمی و مالی پژوهش و فناوری شرکت نفت فلات قاره قرار دارد.

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احمد دیبایی

تحت عنوان: بررسی امکان کاربرد روش زمین آماری چندنقطه ای در شبیه سازی رخساره ای  
مخازن نفتی

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

| امضاء | اساتید مشاور                      | امضاء | اساتید راهنما                     |
|-------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|
|       | نام و نام خانوادگی : داود شاهسونی |       | نام و نام خانوادگی : علی مرادزاده |
|       | نام و نام خانوادگی :              |       | نام و نام خانوادگی : محمد کنشلو   |

| امضاء | نمایندة تحصیلات تکمیلی               | امضاء | اساتید داور                        |
|-------|--------------------------------------|-------|------------------------------------|
|       | نام و نام خانوادگی: ابوالقاسم کامکار |       | نام و نام خانوادگی : بهزاد تخم چی  |
|       | روحانی                               |       | نام و نام خانوادگی :رضا خالوکاکایی |

"نوابغ با توجه و عشق اطرافیان شان به وجود می آیند: توجه و عشق مادران، پدران، خانواده، دوستان و تمام افرادی که زندگی، معرفت و عشقشان را با آینده سازان هستی قسمت کرده اند."  
آندره جی. الینکف

تقدیم به مادر فداکار و پدر بزرگوارم  
و همه کسانی که فرزندانیشان را از دامن خویشتن به هستی  
میدهند.

باستایش و سپاس فراوان از نعمتهای بی‌کران خداوند؛

با قدردانی از اساتید بزرگوارم آقایان دکتر محمد کوشلو و علی مرادزاده که همواره مراد مسیر پرپیچ و خم کسب ادب تنها نگذاشته اند و هر کدام به نوعی در این راه دشوار، زحمات استادی را تقبل نموده اند. از زحمات مدیران و کارکنان شرکت نفت فلات قاره که در این راه حمایت نمودند؛ جناب آقای مهندس سید جلال موسوی، ریاست محترم پژوهش و فناوری شرکت فلات قاره، جناب آقای مهندس رحلی و سرکار خانم مشایحی کمال اتنان دارم و قدردانی می‌نمایم. از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای سجاد کاظم شیروودی که در طول پروژه همواره یاریم نموده اند صمیمانه سپاسگزارم. دوستان فریخته‌ای مراد این مهم‌یش از دیگران، همراهی و همدلی نموده‌اند که به یاری‌اندگی از تمامی آنان از آقایان مهندس حسن رضایی و محمود سیف‌الهی یاد می‌کنم و کمال تشکر و تقدیر دارم. با آرزوی موفقیت برای ایشان و تک‌تک اعضای خانواده ام که هر نعمتی در اختیارم است با عنایت پروردگار و لطف ایشان است، به ویژه پدر و مادرم که هر چه دارم از آنهاست و به امید آنکه کم و کاستی بایم را با این حمایت‌های بی‌دریغ به حداقل رسانم.



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده معدن، ژئوفیزیک و نفت

بررسی امکان کاربرد روش زمین آماری شبیه سازی چندنقطه ای در شبیه سازی داده های

رسته ای

احمد دیبایی

اساتید راهنما :

دکتر علی مرادزاده

دکتر محمد کنشلو

دی ۱۳۹۰

## چکیده

در کاربردهای مرتبط با نفت و آبهای زیرزمینی، مدل‌سازی رخساره‌ای صحیح، نقشی حیاتی، در شناسایی منابع جدید و اتخاذ تصمیم‌های مناسب مدیریتی مخزن ایفا می‌کند. بسیاری از کاربردهای فعلی مدل‌سازی رخساره‌ای، براساس تکنیک‌های شبیه‌سازی بر پایه واریوگرام استوار است. این نوع روش‌ها امکان بسیار محدودی در کنترل پیوستگی و بازتولید هندسه رخساره‌های شبیه‌سازی، به مدل‌ساز داده و ناهمگنی تصادفی بیشتر از حد انتظار را نمایش می‌دهند. بازتولید اشکال منحنی‌شکل و الگوهای پیچیده، اثر حیاتی بر مدل‌سازی جریان سیال مخزن دارد. هرچند مدل‌سازی هندسه چنین ناهمگنی‌هایی، با روش‌های برپایه شیء بسختی ممکن است، این روش‌ها نیز با محدودیت‌های مختص خود، همچون شرطی‌سازی مدل به داده‌ها، و نیاز به امکانات رایانه‌ای بالا و زمان زیاد مدل‌سازی روبرو هستند.

در این پایان‌نامه، با مطالعه موردی بر روی میدان نفتی سروش واقع در شمال غرب خلیج فارس، به شبیه‌سازی رخساره‌ای این میدان پرداخته‌ایم. تحلیل داده‌های مغزه و گرده‌شناسی، محیطی دلتایی، آبرفتی و جلگه‌ای را برای نهشته‌های این میدان بیان می‌کند. در این محیط، بر اساس تحلیل‌های زیست محیطی، وجود رسوبات کانالی و جزر و مدی محرز است. در این مطالعه، شبیه‌سازی چندنقطه‌ای افق بورگان B میدان سروش با بکارگیری الگوریتم *SNESIM* و در نرم افزار *SGEMS* انجام می‌گیرد. این الگوریتم از طریق بکارگیری تصویری مفهومی به شمارش آماره‌های چندنقطه‌ای و بازتولید الگوهای غیرخطی می‌پردازد. تصویر آموزشی، شامل الگوها و ساختارهای کلی میدان است که از طریق شرکت ملی نفت ایران در اختیار قرار گرفته است. این تحقق، با استفاده از اطلاعات داده‌های رخساره‌ای چاه و مغزه و تفاسیر زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی بدست آمده است.

نتایج مدل شبیه‌سازی چندنقطه‌ای نشان می‌دهد که الگوها و روند ساختارهای موجود در تصویر آموزشی، بازتولید شده است. این امر در نقشه‌های محتوای اطلاعات و میانگین تحقق‌ها (*Etype Map*) نیز دیده می‌شود. هر چند هندسه کانال‌های موج این میدان بازتولید شده است، تعداد پیشامدهای همانند تصویر آموزشی و تحقق‌های شبیه‌سازی با ضریب تعیین ۰/۴۷، فاصله محسوسی از همدیگر دارند. ضریب تعیین ۰/۹۹ بین نسبت‌های رخساره‌ای هدف (*Net to grass ratio*) با نسبت‌های رخساره‌ای مدل چندنقطه‌ای برقرار است. در حالی که این نسبت در شبیه‌سازی برپایه شیء برابر با ۰/۲ است. در شبکه اعتبارسنجی،

بازتولید نمونه‌های چاه در شبیه‌سازی چندنقطه‌ای با میانگین ۷۳٪ و بازتولید نقطه‌به‌نقطه تصویر آموزشی در بازه ۷۰٪ تا ۸۰٪ در لایه‌های میانی و میانگین ۵۷٪ در سایر لایه‌ها به دست آمده است که ارقام قابل قبولی هستند. سیال در جای مخزن در تحقق‌های مختلف در بازه کوچکی از تغییرات (۵۲۷ - ۵۱۱ میلیون بشکه) قرار دارد. با مقایسه نتایج شبیه‌سازی شاخص پی‌درپی و چندنقطه‌ای، مشاهده می‌شود میزان عدم اطمینان ۵.۵ برابر کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، تصویر آموزشی، الگوهای غیرخطی، آماره‌های چندنقطه‌ای، مدل‌سازی رخساره‌ای، کانال‌های آبراهه‌ای



## مقالات استخراج شده:

1- Rezaee H., Dibaei A.,Koneshloo M.,2011, Application of Multiple Point Geostatistics in Reservoir Modeling an Simulation, The First Iranian Vitual Conference on There Ground Storage of Hydro Carbon

۲- دیبایی احمد، رضایی حسن، مرادزاده علی، کنشلو محمد، کاظم شیروودی سجاد، ۱۳۹۰ شبیه

سازی دوبعدی یکی از میادین نفتی ایران باروش زمین آماری شبیه سازی چندنقطه ای و مقایسه

نتایج حاصل از آن با روش برپایه شی، سومین کنگره ملی مهندسی نفت ایران

۳- دیبایی احمد، رضایی حسن، مرادزاده علی، کنشلو محمد، کاظم شیروودی سجاد، ۱۳۹۰،

بکارگیری ابزار شبیه سازی زمین آماری چندنقطه ای در شبیه سازی مابین نمونه ها و مقایسه با

روش SIS، اولین کنفرانس فناوری های معدنکاری ایران

## فهرست مطالب

|   |         |
|---|---------|
| مقالات استخراج شده .....  | ذ.....  |
| فهرست مطالب .....   | ر.....  |
| فهرست اشکال .....   | ص.....  |
| فهرست جداول و الگوریتم ها .....                                     | ط.....  |
| فصل اول .....   | ۱.....  |
| مقدمه و کلیات .....   | ۱.....  |
| ۱-۱ مقدمه .....   | ۲.....  |
| ۲-۱ مدل های مخزنی .....   | ۳.....  |
| ۳-۱ مروری بر تاریخچه روش های زمین آماری و کارهای قبلی .....         | ۵.....  |
| ۴-۱ جایگاه مسئله و ضرورت تحقیق .....                                | ۹.....  |
| ۵-۱ هدف تحقیق و سوالات موجود .....                                  | ۹.....  |
| ۶-۱ ساختار پایان نامه .....   | ۱۰..... |
| فصل دوم .....   | ۱۱..... |
| مفهوم متغیر شاخص و شبیه سازی های بر پایه آن .....                   | ۱۱..... |
| ۱-۲ مقدمه .....   | ۱۲..... |
| ۲-۲ مدل سازی توزیع رخساره ها .....                                  | ۱۲..... |
| ۳-۲ متغیر تصادفی شاخص .....   | ۱۳..... |
| ۴-۲ کریجینگ شاخص (Indicator Kriging) .....                          | ۱۴..... |
| ۵-۲ شبیه سازی شاخص پی در پی (Sequential Indicator Simulation) ..... | ۱۴..... |
| ۶-۲ تفاوت تخمین و شبیه سازی زمین آماری .....                        | ۱۶..... |
| ۷-۲ شبیه سازی بر پایه ی شیء .....                                   | ۱۶..... |
| ۸-۲ مقایسه روش های موجود شبیه سازی .....                            | ۱۷..... |
| فصل سوم .....   | ۱۸..... |
| زمین آمار چند نقطه ای .....   | ۱۸..... |
| ۱-۳ مقدمه .....   | ۱۹..... |
| ۲-۳ از واریوگرام تا تصویر آموزشی .....                              | ۲۱..... |
| ۳-۳ تصویر آموزشی و نحوه تولید آن .....                              | ۲۱..... |
| ۱-۳-۳ تصویر آموزشی .....  | ۲۲..... |
| ۲-۳-۳ اندازه تصویر آموزشی .....                                     | ۲۳..... |

|    |  |
|----|--|
| ۲۴ | ۳-۳-۳ ناهمسانگردی  |
| ۲۴ | ۴-۳-۳ معرف بودن  |
| ۲۵ | ۵-۳-۳ تولید تصویر آموزشی                                   |
| ۲۶ | ۴-۳-۳ الگوریتم (SNESIM) و ارتباط آن با زمین آمار مرسوم     |
| ۲۹ | ۱-۴-۳ روش ساختار درختی                                     |
| ۳۲ | ۲-۴-۳ محاسبه ای از تعداد پیشامدهای ذخیره شده در درخت جستجو |
| ۳۳ | ۳-۴-۳ شبیه سازی با شبکه های چندگانه                        |
| ۳۶ | فصل چهارم  |
| ۳۶ | بررسی پارامترهای ورودی SNESIM                              |
| ۳۷ | ۱-۴ مقدمه  |
| ۳۸ | ۲-۴ نسبت هدف و تصحیح محافظ سیستم                           |
| ۳۹ | ۱-۲-۴ تصحیح محافظ سیستم                                    |
| ۴۰ | ۲-۲-۴ اثر متقابل بین نسبت هدف و تصحیح خود تنظیم سیستم      |
| ۴۴ | ۳-۴ تعداد شبکه های چندگانه                                 |
| ۴۴ | ۴-۴ بیشترین تعداد داده های شرطی                            |
| ۴۶ | ۵-۴ کمترین تعداد تکرار                                     |
| ۴۸ | ۶-۴ همسایگی جستجو  |
| ۴۸ | ۱-۶-۴ شعاع جستجو   |
| ۴۹ | ۲-۶-۴ زاویه جستجو (Sang)                                   |
| ۵۱ | ۷-۴ نسبت چرخش و مقیاس                                      |
| ۵۴ | فصل پنجم   |
| ۵۴ | شبیه سازی شاخص برای استخراج آمار چندنقطه ای                |
| ۵۵ | ۱-۵ مقدمه  |
| ۵۶ | ۲-۵ شبیه سازی شاخص پی در پی و چند نقطه ای                  |
| ۶۰ | ۳-۵ مقایسه نتایج   |
| ۶۱ | ۴-۵ نتیجه گیری   |
| ۶۲ | فصل ششم  |
| ۶۲ | مدل سازی رخساره ای مخزن بروش زمین آمار چندنقطه ای          |
| ۶۳ | ۱-۶ مقدمه  |
| ۶۳ | ۲-۶ موقعیت جغرافیایی و مشخصات میدان سروش                   |

- ۶۶-۱-۲-۶ مجموعه های چینه شناسی، سنگ شناسی و ساختاری ..... ۶۶
- ۶۸-۲-۲-۶ تعیین جنس سنگ ..... ۶۸
- ۶۹-۳-۲-۶ تحلیل های زیست محیطی سنگی ..... ۶۹
- ۶۹-۳-۶ تحلیل داده ها قبل از مدل سازی ..... ۶۹
- ۷۰-۱-۳-۶ تعریف شبکه ای منظم جهت شبیه سازی ..... ۷۰
- ۷۰-الف- ابعاد شبکه ..... ۷۰
- ۷۰-ب- مرتب سازی سلولها ..... ۷۰
- ۷۰-ج- ابعاد سلول ها ..... ۷۰
- ۷۱-۲-۳-۶ کدبندی رخساره ها به صورت دو(رخساره ته نشست)تایی ..... ۷۱
- ۷۲-۳-۳-۶ پارامترهای مورد نیاز شبیه سازی ..... ۷۲
- ۷۲-۱-۳-۳-۶ نسبت های هدف (Net to gross ratio) ..... ۷۲
- ۷۳-۲-۳-۳-۶ سایر پارامترها ..... ۷۳
- ۷۴-۴-۳-۶ تصویر آموزشی ..... ۷۴
- ۷۹-۴-۶ مدل سازی دو بعدی رخساره ای ..... ۷۹
- ۷۹-۱-۴-۶ انتخاب ابعاد شبکه ی مناسب تخمین ..... ۷۹
- ۷۹-۲-۴-۶ مدل حاصل از شبیه سازی دو بعدی میدان ..... ۷۹
- ۸۲-۵-۶ بررسی نتایج مدل ..... ۸۲
- ۸۲-۱-۵-۶ مفهوم محتوای اطلاعات و پیشنهاد نقشه نقاط حفاری ..... ۸۲
- ۸۶-۲-۵-۶ تولید نسبت هدف  $P^*(A)$  یا تولید ساختارهای پدیده فضایی ..... ۸۶
- ۸۹-۳-۵-۶ ایجاد مدل اعتبار سنجی برای بررسی میزان بازتولید داده ها ..... ۸۹
- ۸۹-۱-۳-۵-۶ نسبت بازتولید هر یک از تحقق ها ..... ۸۹
- ۹۰-۲-۳-۵-۶ انتخاب مناسب ترین عدد حد برش Etype جهت دوتایی کردن آن ..... ۹۰
- ۹۱-۳-۳-۵-۶ بازتولید نقطه به نقطه تصویر آموزشی ..... ۹۱
- ۹۱-۴-۳-۵-۶ مقایسه با روش شبیه سازی برپایه شیء در شرطی سازی داده های سخت و تولید  
نسبتهای هدف Net to gross ratio ..... ۹۳
- ۹۷-۴-۵-۶ مقایسه الگوهای تصویر آموزشی و تحقق ها ..... ۹۷
- ۹۹-۵-۵-۶ مقایسه با روش شبیه سازی شاخص پی در پی ..... ۹۹
- ۱۰۲-۶-۵-۶ رسم واریوگرام جهتی تصویر آموزشی و تحقق ها و مقایسه آنها ..... ۱۰۲
- ۱۰۳-۷-۵-۶ محاسبه عدم اطمینان از طریق میزان نفت درجا ..... ۱۰۳
- ۱۰۶-۸-۵-۶ ترسیم مدل چند نقطه ای و مقایسه با مدل فرض شده از واقعیت ..... ۱۰۶

|  |     |
|--|-----|
| فصل هفتم.....  | ۱۰۵ |
| نتایج و پیشنهادات .....  | ۱۰۵ |
| ۱-۷ مقدمه .....  | ۱۰۶ |
| ۲-۷ نتایج .....  | ۱۰۶ |
| الف) بازتابی از واقعیت و بازتولید آن در نقشه های نهایی شبیه سازی .....   | ۱۰۶ |
| ب) انعطاف پذیری مدل در تلفیق داده ها و افزودن لایه های اطلاعاتی .....    | ۱۰۷ |
| ۳-۷ پیشنهادات .....  | ۱۰۹ |
| پیوست الف- محدودیت های اجرایی و روش های حل آنها.....                     | ۱   |
| الف-۱ پایایی .....   | ۲   |
| الف-۱-۱ روش های حل ناپایایی در آمار چندنقطه ای .....                     | ۳   |
| الف-۱-۲ پایایی تصویر آموزشی و ناهمگنی مخزن تحت مطالعه.....               | ۵   |
| الف-۲ ارگودیسیتته: پایایی واریانس .....                                  | ۶   |
| پیوست ب- شرطی نمودن به انواع داده ها .....                               | ۷   |
| ب-۲ شرطی نمودن مدل به داده های سخت .....                                 | ۷   |
| ب-۲ مفهوم محتوای اطلاعات .....   | ۸   |
| ب-۳ شرطی نمودن به داده های نرم.....                                      | ۱۳  |
| پیوست ج- مجموعه تصاویر آموزشی شبیه سازی نهایی و اعتبارسنجی .....         | ۱۶  |
| پیوست د- تحقق با بیشترین درصد بازتولید مرحله اعتبار سنجی در هر لایه..... | ۲۱  |
| پیوست ه- نقشه احتمال دوتایی شده بر اساس نسبت حدی میانگین هر تحقق .....   | ۲۷  |
| پیوست و- مجموعه نقشه های احتمال حاصل از شبیه سازی نهایی .....            | ۳۳  |
| منابع .....  | ۳۹  |
| منابع فارسی .....  | ۳۹  |
| منابع انگلیسی .....  | ۳۹  |

## فهرست اشکال

- شکل ۱-۳ واریوگرام به عنوان ابزاری ضعیف در تشخیص ناهمگنی زمین (Caers and Zhang, 2002). ۲۰
- شکل ۲-۳ نمایی از هندسه یک پیشامد با سه داده معلوم (Zhang, 2008) ..... ۳۰
- شکل ۳-۳ نمایی از طریقه محاسبه احتمال شرطی در موقعیت  $u$  (Zhang, 2008) ..... ۳۲
- شکل ۴-۳ تعداد وضعیت های محتمل با ۴ گره مجاور گره مرکزی (Ortiz, 2004) ..... ۳۳
- شکل ۵-۳ نمایی از فرآیند شبکه بندی چندگانه و قالب های استفاده شده در آن (Liu, 2006) ..... ۳۵
- شکل ۱-۴ نمونه ای از تصویر آموزشی ..... ۳۹
- شکل ۲-۴ اثر نسبت هدف و خود تنظیم سیستم  $(\lambda = 0, 0/5, 0/99)$  و  $0/99$  و  $0/51$ ،  $0/01$  و  $P^*(A) = 0/01$  ..... ۴۲
- شکل ۳-۴ اثر نسبت هدف و خود تنظیم سیستم  $(\lambda = 0, 0/5, 0/99)$  و  $0/70$  و  $0/33$  و  $P^*(A) = 0/33$  ..... ۴۲
- شکل ۴-۴ نمایی از تحقق ها با شبکه های چندگانه متفاوت ..... ۴۶
- شکل ۵-۴ تحقق های گوناگون با بیشترین داده های شرطی (۶۴، ۲۵، ۹) و تکرارهای متفاوت (۱، ۸، ۱۹) ..... ۴۸
- شکل ۶-۴ اثرات شعاع جستجو بر نتایج شبیه سازی ..... ۴۹
- شکل ۷-۴ اثرات انیزوتروپی جستجو بر قالب جستجو (Liu, 2006) ..... ۵۱
- شکل ۸-۴ اثرات افزودن دو زاویه جستجو به زاویه اول در صفحه جستجوی دوبعدی (Liu, 2005) ..... ۵۱
- شکل ۹-۴ اثرات نسبت مقیاس سنگ در جهات  $x, y$  و زاویه چرخش بر نتایج مدل ..... ۵۳
- شکل ۱-۵ تصویر دارای الگوهای غیرخطی (تصویر کوچک سمت چپ-پایین) و تصویر آموزشی ..... ۵۷
- شکل ۲-۵ موقعیت ۱۴ چاه افقی فرضی در سمت راست و مدلی با ۲۷ داده شرطی در سمت چپ ..... ۵۷
- شکل ۳-۵ واریوگرام حاصل از ۱۴ چاه در سمت راست و ۲۷ چاه در سمت چپ ..... ۵۸
- شکل ۴-۵ نقشه دو رخساره ای حاصل از Etype map در چپ SNESIM و در راست SIS ..... ۵۹
- شکل ۵-۵ نمونه ای از تحقق حاصل از شبیه سازی SNESIM در چپ و SIS در راست، با ۲۷ داده ..... ۵۹
- شکل ۶-۵ نقشه Etype برای شبیه سازی چند نقطه ای در چپ و شاخص پی در پی در سمت راست ..... ۶۰
- شکل ۷-۵ اندازه میانگین کانال ها در راستای امتداد حاصل از دو روش شبیه سازی جهت مقایسه ..... ۶۱
- شکل ۱-۶ موقعیت جغرافیایی میدان سروش (Shell, 2003) ..... ۶۴
- شکل ۲-۶ نمایی از مقاطع  $xy$  (تصویر بالایی)،  $xz$  (تصویر میانی) و  $yz$  (تصویر پایینی) افق بورگان B ..... ۶۶
- شکل ۳-۶ نقشه ستونهای سنگی و سازندهای گوناگون میدان سروش (Shell, 2003) ..... ۶۸
- شکل ۴-۶ موقعیت چاه های میدان سروش و شبکه انتخابی شبیه سازی ..... ۷۳
- شکل ۵-۶ تصویر آموزشی تولید شده از نقشه مقطع لرزه ای ..... ۷۶
- شکل ۶-۶ مدل ساخته شده توسط رویکرد برپایه شیء- ..... ۷۷
- شکل ۷-۶ مدل جانبی کل میدان پس از تبدیل محورهای مختصات ..... ۷۸

- شکل ۶-۸ تصویر آموزشی استخراجی از لایه بیستم به ابعاد ۱۶۳\*۱۳۳..... ۷۹
- شکل ۶-۹ نمایشی از دو تحقق نتایج مدل. سفید؛ رخساره مناسب و مشکی؛ نامناسب ..... ۸۰
- شکل ۶-۱۰ Etype map لایه بیستم (بالا- راست) و Etype map لایه بیست و نهم ..... ۸۱
- شکل ۶-۱۱ نمایش نقشه محتوای اطلاعات مربوط به لایه های دهم (بالایی) و بیستم (پایینی) ..... ۸۴
- شکل ۶-۱۲ نقشه تطبیقی (Etype map) و ω، و مختصات چاههای لایه یازدهم ..... ۸۵
- شکل ۶-۱۳ بررسی ناهمواری نسبتهای احتمالی تولید شده در لایه های بیست و پنجم و بیست و نهم ..... ۸۸
- شکل ۶-۱۴ درصد بازتولید رخساره های صحیح چاه های مرحله اعتبارسنجی در هر تحقق ..... ۹۰
- شکل ۶-۱۵ درصد بازتولید رخساره های صحیح چاه های مرحله اعتبارسنجی با تغییر نسبت حدی .. ۹۱
- شکل ۶-۱۶ درصد بازتولید تصویر آموزشی در شبکه اعتبارسنجی ..... ۹۲
- شکل ۶-۱۷ درصد بازتولید تصویر آموزشی در هر یک از ۱۰۰ تحقق در مقایسه با نسبتهای هر تحقق. ۹۳
- شکل ۶-۱۸ مقایسه نسبت های رخساره ای داده های چاه و مدل بر پایه شیء..... ۹۴
- شکل ۶-۱۹ مقایسه نسبت های رخساره ای مدل چندنقطه ای با نسبت هدف در شبکه بزرگ اولیه .... ۹۶
- شکل ۶-۲۰ مقایسه نسبت های رخساره ای داده های چاه و مدل بر پایه شیء در شبکه اعتبارسنجی. ۹۶
- شکل ۶-۲۱ مقایسه نسبت های رخساره ای و هدف میانگین تحقق های شبیه سازی نهایی ..... ۹۷
- شکل ۶-۲۲ مقایسه الگوهای وضعیتهای هندسی گوناگون قالب ۳\*۳ در تصویر آموزشی و تحقق ها ... ۹۸
- شکل ۶-۲۳ مدل برازش شده به واریوگرام تمام جهتی ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۲۴ واریوگرام بهینه مدل شده ..... ۱۰۱
- شکل ۶-۲۵ یکی از تحقق های حاصل از شبیه سازی SIS و Etype ..... ۱۰۱
- شکل ۶-۲۶ نمودار واریوگرام تصویر آموزشی و تحقق های لایه هیجدهم در راستای X ..... ۱۰۳
- شکل ۶-۲۷ نمودار توزیع تجمعی میزان نفت درجا بر حسب میلیون بشکه ..... ۱۰۵
- شکل ۶-۲۸ نمودار هیستوگرام میزان نفت در جای دو شبیه سازی شاخص پی در پی و چندنقطه ای ..... ۱۰۶
- شکل ۶-۲۹ نمایی از شبکه مدل شده از میدان سروش (قرمز، مناسب مخزن و سفید نامناسب) ..... ۱۰۷
- شکل الف-۱ شکل مربوط به مفهوم تقسیم به نواحی بومی (Zhang, 2008) ..... ۴
- شکل ب-۱ شبیه سازی شرطی داده های چاه و نتایج حاصل از آن ..... ۹
- شکل ب-۲ پیشامد یکسان می تواند از گره مرکزی خبر دهد یا برعکس..... ۱۰
- شکل ب-۳ الگوریتم اولیه SNESIM در چپ و الگوریتم اصلاح شده در راست (Liu, 2004) ..... ۱۱
- شکل ب-۴ اطلاعی که B از پیشامد A میدهد را اندازه گیری می کند (Liu and Journel, 2004). ..... ۱۲
- شکل ب-۵ مقایسه نتایج شبیه سازی غیر شرطی (راست) و شرطی شده (چپ) به داده های نرم ..... ۱۵

## فهرست جداول و الگوریتم‌ها

|          |   |
|----------|---|
| ۲۸.....  | الگوریتم ۳-۱ الگوریتم SNESIM ساده (Remy, 2004)                          |
| ۳۴.....  | الگوریتم ۳-۲ شبکه های چندگانه الگوریتم SNESIM (Remy, 2004)              |
| ۶۸.....  | جدول ۶-۱ دسته بندی سنگ ها از حیث خصوصیت مخزنی (Shell, 2003)             |
| ۶۹.....  | جدول ۶-۲ محیط زیست های سنگی (shell, 2003)                               |
| ۷۳.....  | جدول ۶-۳ مختصات چاه های میدان سروش                                      |
| ۷۴.....  | جدول ۶-۴ نسبت های هدف استخراج شده از هرلایه (Net to grass ratio)        |
| ۷۵.....  | جدول ۶-۵ پارامترهای مورد استفاده برای شبیه سازی                         |
| ۹۹.....  | جدول ۶-۶ پارامترهای واریوگرام تمام جهتی                                 |
| ۱۰۰..... | جدول ۶-۷ پارامترهای واریوگرام های بهینه در جهات آزیموت ۵۰ و ۱۴۰         |
| ۱۰۳..... | جدول ۶-۸ پارامترهای سازندی مربوط به مخزن سروش (شرکت نفت فلات قاره)      |
| ۱۰۴..... | جدول ۶-۹ احتمال های مختلف سال در جای مخزن در شبکه های گوناگون شبیه سازی |



# فصل اول

## مقدمه و کلیات

## ۱-۱ مقدمه

پیشرفت‌های زمین‌آمار بسیار چشم‌گیر بوده است. تا آن جا که کاربرد آن به تمامی حوزه‌های علوم زمین گسترش یافته است. بسیاری سازمان‌ها و شرکت‌ها در سراسر دنیا نیز استفاده از زمین‌آمار و بکارگرفتن متخصصان این حوزه را در دستور کار خود قرار داده‌اند و اهمیتی همپای ژئوفیزیکدان‌ها، مهندسان مخزن و زمین‌شناسان، برای آن‌ها قائل هستند. از این‌رو، استفاده از نرم‌افزارهای زمین‌آماري نیز در ویتترین بسیاری از ارائه‌کنندگان نرم‌افزارهای مرتبط، به چشم می‌خورد. اما هنوز بسیاری از متخصصان حوزه‌ی علوم زمین به این رشته، به صورت جعبه سیاهی که کمی متفاوت از پرتاب سکه برای تصمیم‌گیری این که چه رخساره‌ای در محلی خاص حاضر است، می‌نگرند (Dubrule and Damsleth, 2001).

کمبود اطلاعات و داده‌های مختلف زمین‌شناسی، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مدل‌سازی‌های کنونی است که به عنوان منبع مهمی از عدم اطمینان، در بازتولید مناسب مسیرهای جریان سیال، مطرح است (Barrera, 2006). اهمیت زمین‌آمار و مدل‌سازی‌های حاصل از آن، هنگامی بیشتر روشن می‌گردد که حجم داده‌های در اختیار را نسبت به داده‌های موجود در طبیعت مقایسه نمائیم. در میان حوزه‌هایی که زمین-آمار در آن‌ها به کار می‌رود، حوزه‌های نفت و گاز، بیشتر به چشم می‌خورد. در این حیطه‌ها، اطلاعات موجود، نسبت به حجم واقعیت، سهمی بسیار ناچیز را داراست. مدل‌های زمین‌آماري با گرفتن حجم محدود داده و بررسی و تلفیق آن‌ها، توزیع فضایی خصوصیات را، در ناحیه مورد نظر بررسی می‌کنند. در این حالت، پارامترهایی تولید می‌گردد که در شرایط واقعی می‌تواند در طبیعت روی داده باشد. از این‌رو، شناخت ساختارهای حاکم در منطقه، با توجه به بررسی آماری خصوصیت مورد نظر، انجام می‌گیرد و ویژگی‌های آن بررسی می‌گردد، تا با تلفیق مدل زمین‌شناسی، به جای یک تخمین نزدیک به واقعیت، مجموعه‌ای از نقشه‌های توزیع یک پارامتر پتروفیزیکی با خصوصیات آماری مورد نظر تولید گردد. هر کدام

از این نقشه‌ها یک تحقق<sup>۱</sup> نام دارد و از طریق آن، امکان توجه به عدم اطمینان و ارزیابی آن، فراهم می‌گردد. این ارزیابی عدم اطمینان<sup>۲</sup>، یکی از مهم‌ترین امتیازات روش‌های زمین‌آماری محسوب می‌شود (Dubrule and Damsleth, 2001; Barrera, 2006).

## ۱-۲ مدل‌های مخزنی

مدل‌های مخزن با استفاده از بررسی داده‌های زیرسطحی (که توسط منابع مختلف فراهم شده است) و مدلی زمین‌شناسی ایجاد می‌شود. این مدل‌ها، معمولاً در دو مرحله ساخته می‌شوند. ابتدا، یک مدل زمین‌شناسی، از تلفیق داده‌های استاتیک زمین‌شناسی، به دست می‌آید که از منابعی همچون لرزه، چاه‌پیمایی، آنالیز مغزه و توالی چین‌شناسی و... اقتباس شده است. سپس در حین انطباق مدل با داده‌های دینامیک، مدل اصلاح می‌شود. این اصلاح، بر اساس مجموعه اطلاعات آرشیو شده تولید<sup>۳</sup>، مطابق با پاسخ‌های جریان سیال<sup>۴</sup>، ایجاد می‌گردد. اگرچه در بسیاری از مدل‌سازی‌های استاتیک، روش‌هایی برای بازتولید ساختارهای زمین‌شناسی در مدل‌سازی مخزن، ادامه می‌یابد تا مطابق با داده‌های دینامیک گردد. ولی در بعضی از موارد، این انطباق با آخرین اطلاعات دینامیکی تا جایی ادامه می‌یابد که مدل، نیازمند اصلاحی اساسی است و در بدترین حالت به بازسازی یک مدل جدید منجر می‌گردد. از نقاط ضعف این روش‌های مدل‌سازی می‌توان به حجم گسترده محاسبات موجود در فرآیند و رسیدن به مدل‌های زمین‌شناسی با انطباق پائین (که گهگاه اتفاق می‌افتد) اشاره نمود (Barrera, 2006). بنابراین نیاز به الگوی مدل‌سازی که علاوه بر استفاده از مجموعه داده‌های موجود و تلفیق مناسب آن‌ها، بتواند کارایی مناسب داشته و محاسبات را در زمان کمتری انجام دهد، به عنوان نیاز مهمی در این شاخه محسوب می‌گردد.

---

<sup>1</sup> - Realization

<sup>2</sup> - Uncertainty evaluation

<sup>3</sup> - Production history

<sup>4</sup> - Flow response

در روش‌های مدل‌سازی زمین‌آماری، ابزار معمول مطالعه ناهمگنی موجود زمین‌شناسی، به شکل مدل واریوگرام است. واریوگرام از داده‌های زیرسطحی به دست می‌آید. دو منبع اطلاعاتی ساخت مدل مخزن (داده‌های زیرسطحی و مدل زمین‌شناسی) در قالب یک شبیه‌سازی یا درونیابی با هم ترکیب شده و مدل‌های زمین‌شناسی مشروط به داده‌های استاتیک را تولید می‌کنند. در روش‌های تخمین، از آنجا که هدف بازتولید میانگین متغیر مورد نظر است، در مدل نهایی، هموارشدگی دیده می‌شود. شبیه‌سازی، اثر هموارسازی و دیگر اثرات مصنوعی موجود در تخمین‌های اولیه زمین‌آمار را بهبود می‌بخشد. بعلاوه، در کاربردهای مختلف یافتن تخمین برای هر یک از نقاط به‌تنهایی، چندان رضایت بخش نیست. ترجیح بر آنست ارتباط فضایی بین نقاط در شبکه، در مدل توزیع تخمین و عدم اطمینان مد نظر قرار گیرد. بعنوان مثال، در مشخص نمودن خصوصیات مخزن، علاقه کمتری برای تخمین نفوذپذیری وجود دارد، در عوض، نفوذپذیری باید از منظر جریان سیال، بررسی گردد. این موضوع، به این معنی است که کمی نمودن صحیحی از ارتباط پارامتر نفوذپذیری و الگوهای فضایی آن، مهمتر از تخمینی محلی همراه با صحت، اما هموار شده است. متأسفانه، زمین‌آمار از معدنکاری که برپایه کمی‌سازی الگوهای فضایی، با استفاده از واریوگرام استوار است، قرض گرفته شده است (Caers, 2001; Barrera, 2006). امروزه، مدل‌سازان و زمین‌شناسان، واریوگرام را برای توصیف ناهمگنی زمین‌شناسی موجود در رخساره‌های ساده مناسب یافته‌اند، اما برای توصیف و بازتولید خصوصیات زمین‌شناسی بیشتر سازمان‌یافته<sup>۱</sup> ای چون توزیع‌های رخساره‌ای هم‌انگشتی و اشکال منحنی‌شکل یا سینوسی، همچون کانال‌ها و شکستگی‌ها<sup>۲</sup>، خوب عمل نمی‌کنند. بنابراین برای شناسایی رخساره‌های پیچیده و ناهموارتر که آنتروپی پائین<sup>۳</sup> دارد و ناهمگنی‌های

---

<sup>۱</sup> - More organized

<sup>۲</sup> -Fractures

<sup>۳</sup> -Low entropy

موجود آن، غیرخطی است، نمی‌توان از زمین‌آمار سنتی یا دونقطه‌ای بر پایه واریوگرام استفاده نمود که تنها قادر به شناسایی ساختارها و پیوستگی‌های خطی و در محدوده کوچکی است (Barrera, 2006).

چیدمان‌های زمین‌شناسی، معمولاً به خصوصیات (همچون پارامترهای هندسی اشکال پیچیده) وابسته هستند که بیشترین تأثیر را بر روی واکنش‌های جریان سیال دارند. در زمین‌آمار سنتی، تولید تحقق‌های بی‌شکل با بیشترین آنتروپی، جایگزین الگوها و ساختارهای سازمان‌یافته و با قاعده‌ای می‌گردد که در دانش موجود زمین‌شناسی از ناحیه، موجود است. روش‌های مرسوم زمین‌آمار، در حفظ مناسب داده‌های مشروط و بازسازی این خصوصیات پیچیده با مشکل مواجه هستند. این ساختارهای زمین‌شناسی سازمان یافته، احساس نیاز به رویکردی دیگر را به وجود آورد که به جای آمار دونقطه‌ای، از آمار چندنقطه‌ای<sup>۱</sup> استفاده کند. با بکارگیری اطلاعات شرطی مورد نیاز، میادینی که بی‌نظمی پائین‌تری را نمایش می‌دهد و سازماندهی پیچیده‌تری در ساختارهایش وجود دارد، امکان بازتولید می‌یابند و ناهمگنی‌های مخزن را در مدل نهایی جای می‌دهند. این نیازها، رویکرد زمین‌آمار چندنقطه‌ای را بوجود آورد.

### ۱-۳ مروری بر تاریخچه روش‌های زمین‌آمار و کارهای قبلی

از دهه‌ی ۱۹۶۰، زمین‌آمار در زمینه‌های مختلف مدل‌سازی فضایی مورد استفاده قرار گرفته است. زمین‌آمار ابتدا با کارهای دانیل کریگ<sup>۲</sup> در سال ۱۹۵۱ آغاز شد (Barrera, 2006; Zhang, 2008; Wu et al, 2008). بعدها تئوری زمین‌آمار و دو پایه‌ی اساسی آن: ۱- مدل واریوگرام و ۲- روش درون‌یابی کریجینگ؛ به وسیله‌ی ماترون (Georges Matheron) در خلال سال‌های ۱۹۶۲ تا ۱۹۶۵ با هدف رسیدن به تخمین محلی صحیحی از عیار بلوک‌های معدنی و خصوصیات فضایی، ساخته شد (Wu et al, 2008; Zhang, 2008) و کاربرد آن از صنعت معدنکاری به بسیاری دیگر از حوزه‌های مرتبط، همچون صنعت نفت نیز

---

1- Multiple point statistic

2- Daniel Krige

گسترش یافت (Barrera, 2006). برای بازتولید تغییرپذیری فضایی، شبیه‌سازی تصادفی در اوایل دهه ۱۹۷۰ توسط (Matheron (1973 و (Journel (1974 معرفی شد. این رویکرد، نقشه‌هایی به وجود می‌آورد که واریانس فضایی به دست آمده از مدل واریوگرام را نمایش می‌دهد (Zhang, 2008; Journel, 1974, 1977). سپس الگوریتم‌های دیگری شامل شبیه‌سازی پی‌درپی<sup>۱</sup>، گسترش یافت. (Journel, 1983, Isaaks, 1990; Srivastava, 1992; Goovaerts, 1997; Chiles and Delfiner, 1999; Barrera, 2006)

شبیه‌سازی تصادفی، از هسته واریوگرام به سمت الگوریتم‌های بر پایه‌ی شیء<sup>۲</sup> گام برداشت که اولین بار توسط هلدرسن و لیک (Haldorsen and Lake, 1984) و همچنین استویان و همکارانش (Stoyan et al, 1987) برای بازتولید مشخصات زمین‌شناسی همچون کانال‌ها و شکستگی‌ها معرفی شد (Honarkhah, 2011; Barrera, 2006). برای بازتولید اشکال موجدار و پیچیدگی‌های رخساره‌ها که در عین حال انعطاف‌پذیری شرطی نمودن مدل نیز حفظ گردد، رویکرد زمین‌آمار چندنقطه‌ای معرفی شد که با استفاده از تصویری آموزشی<sup>۳</sup> به این آماره‌های فضایی<sup>۴</sup> دست می‌یابد. (Guardiano and Srivastava, 1993; Strebelle and Journel, 2000; Strebelle et al, 2002; Liu et al, 2004, 2005, 2006; Zhang, 2008; Journel, 1992). الگوریتم شبیه‌سازی چندنقطه‌ای توسط (Journel (1992 و سپس (Strebelle و Caers (1998) (2000) پیشنهاد شد و برای نخستین بار توسط (Guardiano and Srivastava (1992) به کار گرفته شد (Wu et al, 2008; Zhang, 2008). دستیابی به آماره‌ها از طریق آنالیز تصاویر، اساس شبیه‌سازی چندنقطه‌ای است، اما برای ساختن هر نسبت احتمال در موقعیت‌های گوناگون، اسکن کامل تصویر آموزشی، (از لحاظ هزینه‌های حافظه‌ای) امکان‌پذیر و کارا نیست. اطلاعات ارتباطی بین چند نقطه

---

<sup>1</sup> - Sequential simulation

<sup>2</sup> - Object-base

<sup>3</sup> - A Training image

<sup>4</sup> - Spatial statistics

در هر مرحله، با توجه به موقعیت هندسی<sup>۱</sup> و انتخاب معادله متناسب با هر وضعیت، بدست می‌آید. این معادلات، معادلات نرمال گسترده<sup>۲</sup> نام دارند. معادله نرمال گسترده با استفاده از ساختاری به نام درخت جستجو برای اسکن و ذخیره تعداد الگوهای قابل یافت در تصویر آموزشی به معادله نرمال منفرد<sup>۳</sup> (SNESIM) تبدیل شد (Strebelle and Journel, 2000). درخت جستجو تکنیکی برای اسکن تصاویر آموزشی است که تنها یکبار در طول شبیه‌سازی به پردازش تصویر می‌پردازد. SNESIM برای مدل‌سازی داده‌های گسسته، طراحی شد و برای متغیرهای پیوسته کار نمی‌کند. برای حل این مسئله و توجه به هر دو نوع متغیرها (گسسته و پیوسته)، الگوریتم سیمپات (SIMPAT) توسط آرپات به‌وجود آمد (Arpat, 2004; Arpat and Caers, 2007, Wu et al, 2008). سیمپات (SIMPAT) از قالبی مستطیلی برای جستجوی همه الگوهای تصویر آموزشی استفاده می‌کند و دیتابیس الگوهایی را می‌سازد که دسته‌بندی نمی‌شوند (Bonet, 1997; Wei, 2001; Wu et al, 2008). الگوریتم شبیه‌سازی دیگری که توانایی کاربرد برای داده‌های گسسته و پیوسته را دارد، با نام FILTERSIM توسط ژانگ (Zhang, 2006) پیشنهاد شد که FILTERSIM نام دارد و به حافظه‌ی بسیار کمتری نیازمند می‌باشد (Wu et al, 2008). این الگوریتم، با استفاده از فیلترهایی الگوها را تقریب می‌زند.

تلفیق آمار چندنقطه‌ای در چارچوبی از شبیه‌سازی آنیلینگ توسط دوتچ در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد شد (Deutsch, 1992; Ortiz and Emery, 2004). روش‌های طبقه‌بندی توسط (Arpat, 2003; Breiman et al, 1984) پیشنهاد شده است. استفاده از شبکه‌ی عصبی، برای استنباط توزیع‌های شرطی در یک مدل غیرخطی با توجه به آمار چندنقطه‌ای توسط (Caers and Journel, 1998) پیشنهاد شد. هر دو نفر به استفاده

---

<sup>1</sup> -Configuration

<sup>2</sup> -Extended normal equations

<sup>3</sup> -Single normal equation

از تصویر آموزشی متکی بودند و در زمینه‌ی متغیرهای رسته‌ای فعالیت می‌کردند (Ortiz and Emery, 2004). مدل‌های برپایه شبکه‌ی عصبی، بازتولید پیشامدهای مشابه را توسط درون‌یابی پیشامدهای یافت شده، ممکن می‌سازند (Wu et al, 2008). اورتیز و دوتچ (Ortiz and Deutsch, 2004) بکارگیری آمار چندنقطه‌ای را با استفاده از آمار استخراج شده در داده‌های تولید پیشنهاد داده‌اند. احتمال آن که یک پیکسل به هر کلاس متعلق باشد، از دو نسبت حدی به دست می‌آید که توسط کریجینگ شاخص و دسته داده‌های آموزشی تقریب زده شده‌اند. جورنل (Journel, 2002) الگوریتمی برپایه‌ی «دوام ضرایب»<sup>1</sup> برای فرایند تلفیق داده‌ها پیشنهاد داد. این الگوریتم برابر با بیزین ارتقاء یافته و تحت فرضیه‌ی استقلال شرطی است. سپس وی استفاده از پارامتری اضافه، برای تنظیم کاهش یا افزایش اثرات داده‌های سخت چاه نسبت به داده‌های لرزه را پیشنهاد نمود (Ortiz and Emery, 2004; Liu et al, 2004). روش‌هایی همچون شبیه‌سازی مستقیم همه‌ی الگوها توسط (Arpat and Caers, 2007; Eskandari and Srinivasan, 2007) و استفاده از الگوریتم نمونه‌برداری گیبس، برای شمارش مستقیم الگوها توسط (Biosavar et al, 2007; Lyster and Deutsch, 2008) پیشنهاد شده است. رویکرد مبتنی بر تکرار و روش مرحله‌ای با استفاده از الگوی جستجوی ثابت و مسیر جانبی یگانه نیز نتایج خوبی گرفته است (Daly, 2005; Daly and Knudby, 2007; Parra and Ortiz, 2009; Peredo and Ortiz, 2010).

مدل‌های مخزن، به وسیله‌ی انبوهی از پارامترها مشخص می‌شوند. رویکردهای متفاوتی برای تلفیق داده‌های دینامیک با مدل‌های مخزن بررسی شده است. روش‌های زمین‌آماري پیشنهاد می‌دهند که میادین نفوذپذیری می‌تواند هم به داده‌های چاه و هم به داده‌های دینامیک مقید گردند و با استفاده از فرمول بیزین، روشی احتمالی را به کار می‌گیرند. محققین دیگری رویه‌ای براساس شبکه‌ی عصبی برای

---

<sup>1</sup> -Permanence of ratio



مدل‌سازی میانگین چندنقطه‌ای نفوذپذیری در همسایگی چاه را پیشنهاد نمودند که توسط فیلتر کردن اطلاعات مرتبط با میدان نفوذپذیری در داده‌های پاسخ جریان انجام می‌گیرد (Barrera, 2006).

#### ۴-۱ جایگاه مسئله و ضرورت تحقیق

زمین‌آمار چندنقطه‌ای علاوه بر داشتن امتیازهای روش‌های شبیه‌سازی زمین‌آمار سنتی (همچون در نظر گرفتن توزیع فضایی و بررسی ارتباط فضایی داده‌ها، برآورد خطای تخمین و نمایش توزیع فضایی عدم اطمینان، عدم هموارشدگی و توزیع مناسب متغیر در لبه و دیواره‌های جامعه مورد مطالعه) برای مشخص نمودن معماری فضایی تجمع و الگوهای رخساره‌ای، ساختارهای رخساره‌ای را از تصویر آموزشی گردآوری می‌کند. چنین مزایایی، این ابزار را به یکی از ابزارهای متداول مدل‌سازی مخزن، بویژه در نواحی با ساختارهای پیچیده از جمله نواحی آبراه‌ای، بدل کرده است. به همین جهت با توجه به مسایل متعدد و حل نشده در مورد تغییرات رخساره‌ای و نحوه توزیع حفرات و کانال‌های مویین مجاری سیالات هیدروکربوری بکارگیری این گونه روش‌های جدید برای شناخت و توصیف هر چه بهتر مخازن هیدروکربوری ضرورت زیادی دارد.

#### ۵-۱ هدف تحقیق و سوالات موجود

در این تحقیق، مدل‌سازی رخساره‌های<sup>۱</sup> رسوبی، مورد بررسی قرار گرفته است، که جزء روش‌های مدل‌سازی استاتیک مخزن می‌باشد. با توجه به وجود اشکال پیچیده منحنی‌شکل در سنگ‌های مادر مخزن در نواحی آبراه‌ای، شکستگی‌ها، مئاندرها<sup>۲</sup>، کانال‌های رودخانه‌ای<sup>۳</sup> و خاکریز<sup>۴</sup> رودها، استفاده از

---

<sup>۱</sup> - Facies

<sup>۲</sup> -Meanders

<sup>۳</sup> -Fluvial channels

<sup>۴</sup> -Levee

ابزاری که اخیراً مورد توجه مدل‌سازان قرار گرفته است، بررسی می‌گردد. این ابزار نوین، زمین‌آمار چندنقطه‌ای نام دارد. در این تحقیق، سعی می‌شود با کنکاشی در تئوری و الگوریتم‌های رویکرد چندنقطه‌ای، به بررسی کاربردهای عملی آن برای مدل‌سازی رخساره‌ای یکی از میداین نفتی خلیج فارس با الگوریتم SNESIM پردازیم. همچنین، روش‌های استخراج الگوی همبستگی فضایی رخساره‌های با پیوستگی غیرخطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سوالاتی از بکارگیری روش متصور است. سوالاتی از قبیل اینکه: آیا شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، با شناسایی توالی‌های غیر یکنواخت چینه‌ای و تغییرات پیچیده رخساره‌ها، قادر است ناهمگنی‌های غیرخطی موجود در آن‌ها را بازسازی کند؟ پاسخ به این سوالات و سوالاتی مشابه، با توجه به میزان در اختیار گرفتن داده‌های واقعی، قابل پاسخگویی خواهد بود. ضمناً از امتیازات این روش همچون سایر روش‌های شرطی، مقید کردن تحقق‌ها به داده‌های ورودی است. شرطی نمودن مدل با هدف پاسخگویی به این پرسش خواهد بود که: آیا شرطی‌سازی در زمین‌آمار چندنقطه‌ای، به نحو مطلوبی انجام می‌گیرد و سرعت، هزینه و حافظه مورد نیاز، در حد مطلوبی است؟ در این رویکرد استفاده از تصویر آموزشی، به عنوان مدلی اولیه جایگزین استفاده از مدل واریوگرام موجود در زمین‌آمار سنتی شده است. نحوه تولید و استفاده از تصویر آموزشی و خصوصیات مورد نظر از چالش‌های بزرگ شبیه‌سازی زمین‌آمار چندنقطه‌ای است که تا حد امکان بدان پرداخته خواهد شد.

## ۱-۶ ساختار پایان نامه

این پایان نامه شامل ۷ فصل می‌باشد. در فصل اول با نیاز مدل‌سازی مخزن، به زمین‌آمار چندنقطه‌ای آشنا می‌شویم. در فصل دوم، روش‌های شبیه‌سازی شاخص بر پایه متغیر شاخص توصیف می‌شود. در فصل سوم با اصول و الگوریتم‌های زمین‌آمار چندنقطه‌ای و چالش‌های پیرامون آنها آشنا می‌شویم. در فصل چهارم، به بررسی پارامترهای ورودی الگوریتم SNESIM و تاثیر آنها در مدل نهایی می‌پردازیم. در فصل پنجم با

بکارگیری زمین‌آمار سنتی (SIS) و چندنقطه‌ای به‌طور خلاصه، به مقایسه آنها می‌پردازیم. در فصل ششم، به مدل‌سازی دو بعدی یکی از میداین نفتی خلیج فارس در ایران پرداخته‌ایم و در نهایت در فصل هفتم به نتایج حاصل از بکارگیری زمین‌آمار چندنقطه‌ای و ارائه پیشنهاداتی در این خصوص می‌پردازیم.

## فصل دوّم

مفهوم متغیر شاخص و شبیه سازی

های بر پایه آن

## ۱-۲ مقدمه

استفاده از مدل‌سازی در صنایع نفت و گاز، بدلیل گوناگون حائز اهمیت است؛ با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد حفاری، برداشت‌های لرزه‌ای و هزینه‌های دستیابی به دیگر داده‌ها، اطلاعات اولیه موجود، جهت ایجاد مدل بسیار محدود است و فاصله بین نقاط نمونه‌برداری زیاد است. این مسائل بر دشواری ایجاد مدل صحیحی از مخزن که گویای ناهمگنی موجود باشد، می‌افزاید و از آن جا که مدل‌سازی خصوصیات پتروفیزیکی، زیربنای سایر مدل‌سازی‌های رفتار مخزن است، از این رو حائز بیشترین اهمیت است.

## ۲-۲ مدل‌سازی توزیع رخساره‌ها

خصوصیات سنگی و توالی‌های رسوبی مخزن، فاکتور تعیین‌کننده‌ای در تعیین رفتارهای تولید آن است. یک مخزن معمولی، شامل چندین واحد سنگی مجزا است (که معمولاً رخساره نامیده می‌شود) و هر کدام از آنها خصوصیات نسبتاً یکنواختی، همچون تخلخل و نفوذپذیری را دارا هستند. بعلاوه خصوصیات عمدتاً متفاوت مابین رخساره‌ها، جریان سیال شدیداً با توزیع رخساره‌ها پیوند خورده است (Chang et al, 2010). مدل‌سازی‌های خصوصیات مخزن، بر روی پارامترهای متعدد پتروفیزیکی یا جریان سیال، بنا شده است. یکی از پارامترهای حیاتی مخزن که درک مناسبی از وضعیت توزیع پارامترهای پتروفیزیکی را ارائه می‌کند، مدل توزیع رخساره‌های سنگی یا رسوبی است. هنگامی که خصوصیات هر رخساره مشخص می‌گردد، تخمین خوبی از مرز رخساره‌ها برای پیش‌بینی یا بهینه‌سازی تولید آینده مخزن، دارای اهمیت بسیار زیادی است. بنابراین تفکیک و مدل‌سازی مناسبی از رخساره‌ها می‌تواند در رسیدن به مدل نهایی مخزن، نقش بسزایی داشته باشد (Chang et al, 2010). این نقشه‌ی رخساره‌های سنگی، که می‌تواند معرف حجم مخزن باشد، توسط زمین‌شناس و با استفاده از منابع داده‌ای گوناگون ایجاد می‌شود. از تجمع

رخساره‌های گوناگون، در کنار یا در میان یکدیگر، توالی‌های چینه‌ای<sup>۱</sup> شکل می‌گیرد. لیتولوژی‌های با جنس و خصوصیات متفاوت که به صورت چینه‌ای و رسوبی لابلای همدیگر، الگوهای متفاوتی را به وجود آورده‌اند. با بدست آوردن منظره مناسبی از آن، می‌توان چهره‌ای از وضعیت کلی مخزن را بدست آورد. این تصویر کلی ایجاد شده، با عدم قطعیت‌هایی همراه است. انجام شبیه‌سازی این امکان را به ما می‌دهد، تا بتوان تقریبی از ناهمگنی و تغییرات را، بویژه در فواصل دور از چاه، در اختیار داشت. تأثیر عدم قطعیت‌ها و عدم اطمینان را بر اساس تحقق‌های مختلف شبیه‌سازی، می‌توان بررسی کرد. تصویر رخساره‌های سنگی، از تلفیق مجموعه اطلاعات بدست آمده از مغزه‌ها، نگاره‌های چاه و یا ترکیب آن‌ها با دیگر داده‌ها همچون داده‌های لرزه به دست می‌آید. مجموعه این اطلاعات بیانگر خصوصیات سازند مورد مطالعه می‌باشند. تغییرات مختلف پارامترهای سنگی رخساره‌ها، متغیری کیفی محسوب می‌شود. برای کمی نمودن این ویژگی، متغیری، بنام متغیر شاخص تعریف شده است.

## ۳-۲ متغیر تصادفی شاخص

برای اندازه‌گیری یک توزیع دو متغیره، از مفهومی به نام متغیر تصادفی شاخص استفاده می‌شود.

$$I(u, z) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(u) = z \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad 1-2$$

فرمول ۱-۲ با تعریف نسبت حدی، به اختصاص کد عددی به متغیر می‌پردازد. به این مفهوم است که اگر متغیر دارای مقداری برابر نسبت مورد نظر یا خصوصیتی برابر آنچه تعریف شده است داشته باشد، کد یک و در غیر این صورت کد صفر خواهد گرفت. با تعریف گروهی از نسبت‌های حدی می‌توان چندین متغیر شاخص تعریف نمود که نسبت‌های حد آستانه‌ای، نامیده می‌شوند (Caers, 2001).

<sup>1</sup> -Stratigraphic sequences

## ۴-۲ کریجینگ شاخص (Indicator Kriging)

برای بدست آوردن اوزان از راه کریجینگ شاخص، می‌توانیم مراحل زیر را پیگیری کنیم:

۱. مقادیر داده اصلی را به مقادیر شاخص (۰ و ۱) تبدیل کنیم که با استفاده از نسبت‌های حدی

انتخاب شده به دست می‌آید.

۲. محاسبه واریوگرام شاخص تخمینی

۳. استفاده از مقادیر شاخص و واریوگرام شاخص در یک سیستم کریجینگ برای یافتن اوزان

شاخص در هر موقعیت سراسر منطقه مطالعاتی

۴. تکرار سه مرحله اول برای چندین مقدار نسبت حد متفاوت و سپس مهیا کردن تخمین‌های مجزا

شده‌ای در سراسر منطقه

۵. تعدادی هموار سازی یا تعدیل، برای حفظ پیوستگی مورد نیاز توابع

لازم به یادآوری است دستگاه معادلات کریجینگ شاخص، مانند دستگاه معادلات کریجینگ معمولی

است، با این تفاوت که واریوگرام شاخص، جایگزین واریوگرام معمولی می‌شود (حسینی پاک و شرف‌الدین،

۱۳۸۰).

## ۵-۲ شبیه سازی شاخص پی در پی (Sequential Indicator Simulation)

به ترتیب زیر کریجینگ شاخص، به سمت شبیه‌سازی شاخص پی‌درپی گسترش پیدا می‌کند که به هیچ

فرضیه توزیعی نیازی ندارد (Caers, 2001).

۱. چیدن داده‌ها ( $n$ ) در شبکه

۲. تعریف مسیر تصادفی که همه گره‌ها  $u$  را ملاقات کند.

۳. چرخش در سراسر همه گره‌ها  $u_i$

الف - ساختن توزیع شرطی  $F(u_i, z)(n+i-1)$  با تخمین  $p_r(z(u) \leq z_k | n+i-1)$  برای نسبت‌های حد

متفاوت با استفاده از کریجینگ شاخص

ب - طراحی مقدار شبیه سازی  $z(u_i)$  بر اساس توزیع شرطی  $F(u_i, z)(n+i-1)$

پ - افزودن مقدار شبیه سازی شده به داده‌ها  $(n+i-1)$

۴. پایان شبیه سازی

با تبدیل یک متغیر پیوسته (همچون نفوذپذیری) به کلاس‌هایی، می‌توان از این روش برای شبیه‌سازی کلاس‌ها استفاده کرد. برای به دست آوردن واریوگرام تجربی در هر نسبت حدی، داده‌های کدبندی شده شاخص استفاده می‌شود و اجازه بکارگیری مدل‌های ناهمگنی متفاوتی را (واریوگرام) برای نسبت‌های حدی متفاوت می‌دهد (Barrera, 2006).

به طور خلاصه، بکارگیری SIS در مراحل زیر خلاصه شده است:

۱. انتخاب نسبت‌های حدی سازگار با پدیده فضایی

۲. کدبندی شاخص داده‌ها، مطابق با نسبت‌های حدی

۳. ارجاع واریوگرام‌ها و مدل‌های شاخص برای نسبت‌های حدی مختلف

۴. تعریف مسیری تصادفی برای ملاقات همه نقاط نامعلوم، با استفاده از زیر فرایندهای

الف) محاسبه امید ریاضی شرطی تابع تصادفی شاخص، برای همه نسبت‌های حدی با استفاده از

کریجینگ شاخص و در اختیار داشتن داده‌های کدبندی شده

ب) تصحیح درجه ارتباط<sup>۱</sup> و احتمالات ارزیابی شده

۵. نمونه برداری تصادفی یک مقدار از توزیع محلی شرطی

۶. تحقق منحصر بفردی از مخزن، بعد از شبیه سازی همه نقاط به دست می‌آید (Barrera, 2006).

---

<sup>۱</sup> - Order relations



## ۶-۲ تفاوت تخمین و شبیه سازی زمین آماری

در اکثر تخمین‌ها، هدف این است که با استفاده از داده‌های موجود، میانگین محلی تخمین زده شود. در حالی که شبیه‌سازی، هم میانگین محلی و هم ارتباط همزمان چندین موقعیت در متغیر را فراهم می‌کند. در شبیه‌سازی زمین آماری، تحقق‌های گوناگونی ایجاد می‌شود که همان پارامترهای آماری را دارا هستند. در تخمین بدون توجه به آماره‌های فضایی تخمین‌گرها با یکدیگر، صحت (مطابقت با واقعیت) مهم است، بنابراین ساختن میانگین در هر محل، موجب هموار شدن تغییرات در مدل می‌گردد، از طرف دیگر؛ شبیه سازی نماینده کلی متغیر است و بجای صحت محلی بر بازتولید الگوهای پیوستگی فضایی، همچون واریوگرام متمرکز است. در شبیه‌سازی، هدف رسیدن به مدلی است که از لحاظ تغییرات، مشابه با واقعیت باشد. بنابراین در هر بار شبیه‌سازی، مجموعه‌های عددی بدست می‌آید که هر یک از تحقق‌ها، یکی از حالات ممکنه است که می‌تواند اتفاق بیفتد (Deutsch and Journel, 1997; Honarkhah, 2011).

## ۷-۲ شبیه سازی بر پایه‌ی شیء

یکی از روش‌های مدل‌سازی مخزن که خانواده‌ای از مدل‌های مخزنی تصادفی هم‌احتمال را بوجود می‌آورد، شبیه‌سازی برپایه‌ی شیء یا بولین است. بخش مهمی از هر برنامه‌ی مدل‌سازی بر پایه‌ی شیء، جهت تعریف فرم هندسی و پارامترهایی است که برای معرفی هر بخش رخساره استفاده می‌شود (Deutsch and Wang, 1996, Deutsch and Tran, 2002). هر شیء در این مدل‌سازی، قالبی از سلول‌ها است که بر حسب دسته‌ای که در آن قرار دارد کدبندی می‌شود (مثلا کانال‌ها کد یک، ماسه‌های شکاف‌های عمیق یخی<sup>۱</sup> کد دو و ماسه‌های خاکریزی کد سه). ارتباط تحقق‌های شبیه‌سازی شده به انتخاب اندازه‌ی شبکه حساس است (Deutsch and Tran, 2002) اندازه‌ی شبکه باید طوری انتخاب گردد، که به اندازه‌ی کافی کوچک باشد

---

<sup>۱</sup> - Crevasse splay sand

تا بتواند اشکال زمین‌شناسی را که در قالبی معرفی می‌شوند، حفظ کند. تعدادی پارامتر در تعریف فرم هندسی استفاده می‌شوند؛ همچون پارامترهای فاصله‌ای که می‌توانند ثابت در نظر گرفته شوند، ولی اندازه‌ی آنها برای هر کدام از اشکال تغییر کند (Deutsch and Tran, 2002).

داده‌های سخت و نرم می‌توانند برای شرطی‌سازی در روش برپایه‌ی شیء مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال داده‌های چاه می‌تواند با استفاده از تبدیل شاخص در فرایند *FLUVSIM* به‌کار گرفته شود (Deutsch and Tran, 2002).

## ۲-۸ مقایسه روش‌های موجود شبیه‌سازی

امتیاز روش‌های بر پایه‌ی واریوگرام، این است که در هر مرحله به مدل کردن در یک پیکسل می‌پردازند. از این‌رو، انعطاف‌پذیری بالاتری، برای شرطی‌کردن مدل به انواع مختلفی از داده‌ها وجود دارد. هر چند، این روش‌ها به‌سختی می‌توانند معرف همه پیچیدگی‌های هندسی پیکره‌های زمین باشند (Ortiz and Emery, 2004). روش‌های برپایه‌ی شیء که با تعریف پارامترهای اشکال موجدار هندسی کار می‌کنند، دارای نقاط ضعف ذیل هستند:

- ۱- شرطی نمودن مجموعه متراکمی از داده‌ها حقیقتاً غیر ممکن است.
- ۲- شرطی نمودن به داده‌های لرزه، معمولاً محدود به مقیدسازی به منحنی نسبت‌های عمودی و نقشه‌های سطحی است. تلفیق واقعی فیزیک مخزن برای مدل‌های وسیع به دلایل محدودیت‌های امکانات کامپیوتری، امکان‌پذیر نیست.
- ۳- زمان اجرای برنامه برای مدل‌های بزرگ و داده‌های متراکم بسیار بالاست.

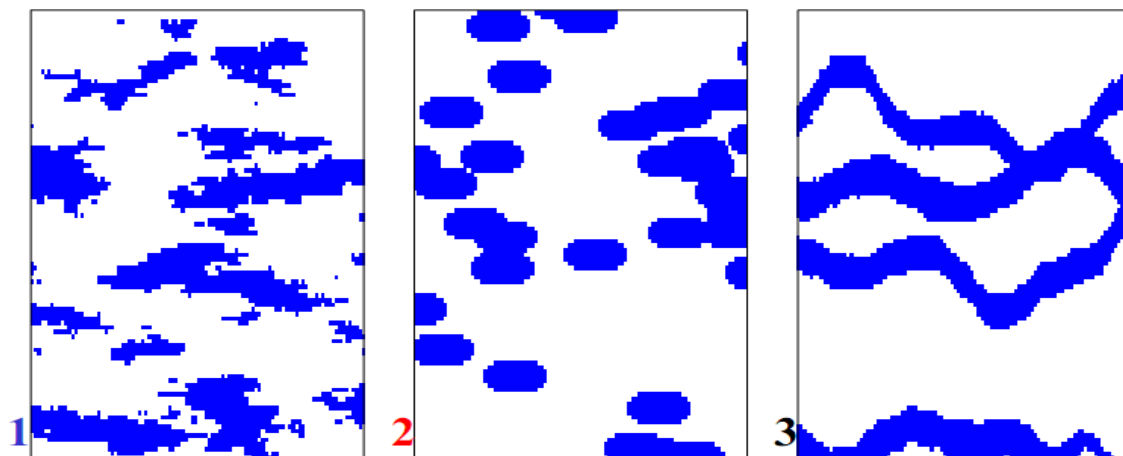
۴- نیاز است که مدل‌های زمین‌شناسی به فرم شیء‌ی و پارامتری تبدیل شوند که برای کربناته‌هایی که عناصر سازنده معماری رخساره، براحتی پارامتری نمی‌شوند، بسیار سخت می‌باشد. (Caers et al. 2001; Caers and Zhang, 2002; Boucher, 2009; Liu, 2006)

## فصل سوم

### زمین آمار چندنقطه ای

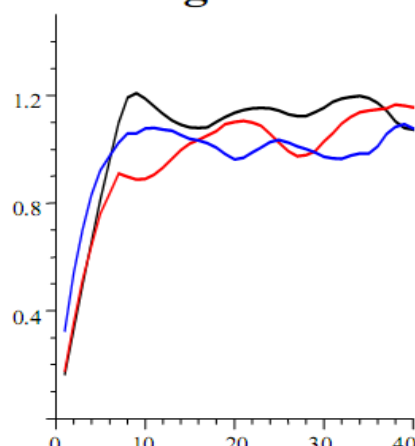
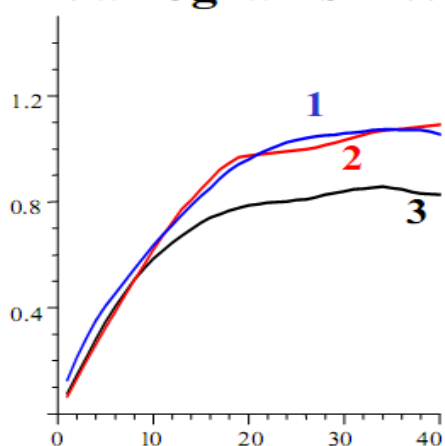
### ۳-۱ مقدمه

واریوگرام، چون تنها ارتباط مابین دو نقطه را در فضا اندازه‌گیری می‌کند، ابزار بسیار محدودی برای الگوهای فضایی است. بنابراین؛ این روش‌های مرسوم نمی‌توانند اطلاعات مفهومی زمین‌شناسی در مورد الگوها و توزیع‌های پیچیده رخساره‌ها را انعکاس دهند. علت این ضعف، به مدل واریوگرام مربوط می‌شود که تنها قادر است رفتار توأم مربوط به یک زوج نقطه را کنترل کند و کنترل مشخصی بر روی رفتار مشترک چند نقطه ندارد و محدود به آمار دونقطه‌ای است (Ortiz and Emery, 2004). ارتباطات بسیار قوی، یا پدیده‌های غیرخطی؛ همچون کانال‌ها، چینه‌های متقاطع و اشکال پیچیده (شکل ۳-۱)، به الگوهایی که شامل موقعیت‌های فضایی چندگانه است، نیازمند است. چنین ناهمواری‌هایی معمولاً تأثیر حیاتی بر پاسخ‌های جریان‌ی مخزن دارند (Caers and Zhang, 2002). با توجه به این‌که، مدت زیادی است که روش‌های پردازش تصویر به وجود آمده است که بر اساس شمارش الگوها در تصویر در قالب‌ها و پنجره‌های چندگانه کار می‌کند و تشخیص محدودیت‌های واریوگرام برای شمارش پیوستگی‌های زمین‌شناسی، زمینه جدیدی از زمین‌آمار را بنام زمین‌آمار چندنقطه‌ای سبب شده است (Caers, 2001). زمین‌آمار چندنقطه‌ای، با گسترش الگوی شبیه‌سازی زمین‌آماری، تصویرسازی تصادفی را به وجود آورد که شامل دو بخش است: تشخیص و شمارش الگوهای ذاتی در داده‌ها، سپس بازتولید آن‌ها، در مجموعه تحقیق‌های مشروط به داده‌های سخت و نرم. در زمین‌آمار سنتی، تشخیص الگو در مدل واریوگرام انجام می‌شود و بازتولید الگوها از طریق شبیه‌سازی شرطی مرحله‌ای، بدست می‌آید. زمین‌آمار چندنقطه‌ای، این الگوها را، با استفاده از تصویری آموزشی یا مقطعی از مخزن، به عنوان میانگین الگوهای فضایی عددی، گسترش می‌دهد. تصویر آموزشی، به زمین‌شناس در طراحی مفهومی الگوهایی که برای میدان تحت مطالعه مهم محسوب می‌شود، کمک می‌کند. سپس به کمک ایده زمین‌آمار چندنقطه‌ای، تبدیل الگوهای



**Variograms EW**

**Variograms NS**



شکل ۱-۳ واریوگرام به عنوان ابزاری ضعیف در تشخیص ناهمگنی زمین؛ سه ساختار متفاوت از ناهمگنی با داشتن یک مدل واریوگرام بدست آمده است. (Caers and Zhang, 2002)

اساسی موجود تصویر آموزشی و بازتولید آن‌ها (مقید به نمونه‌ها) در مجموعه‌ای از تحقق‌ها امکان‌پذیر است. حیطه آنالیز تصویر، تنها به تشخیص الگو می‌پردازد، اما زمین‌آمار چندنقطه‌ای، با هدف تشخیص و بازتولید شرطی آن‌ها است (Caers, 2001).

شبیه‌سازی زمین‌آماري چندنقطه‌ای (Guardiano and Srivastava, 1993; Strebelle and Journel, 2000, Strebelle et al, 2002; Liu et al, 2004, 2005, 2006) , نقاط قدرت روش‌های بر پایه پیکسل را با روش‌های بر پایه شیء می‌آمیزد. از طریق بکارگیری تصویری آموزشی که نماینده دانش موجود زمین

شناسی است، زمین‌آمار چندنقطه‌ای قادر به بازتولید اشکال رخساره‌ای است. در حالی که انعطاف‌پذیری فن بر پایه پیکسل نیز حفظ می‌گردد. این مهم، از طریق مدل‌کردن یک پیکسل، در هر لحظه اتفاق می‌افتد، که شرطی‌سازی داده‌ها نیز اعمال می‌شود (Liu, 2006).

### ۲-۳ از واریوگرام تا تصویر آموزشی

استخراج مدل واریوگرام مناسب بین چاه‌ها، بسیار سخت است. تعیین و تشخیص آمار درجات بالاتر از آن نیز، به صورت مشخص ممکن نیست. تصویر آموزشی، مجموعه داده‌های مترامی را مهیا می‌کند که آمار دو نقطه‌ای را نیز شامل می‌شود (Caers, 2001; Caers and Zhang, 2002). هرچند این نگرانی وجود دارد که ساختن تصاویر آموزشی، فرآیندی بسیار پیچیده و گاه سلیقه‌ای است که معمولاً وابسته به شرایط محلی است و ممکن است معرف مناسبی برای حجم مخزن نباشد. در زمین‌آمار سنتی، اطلاعات چندنقطه‌ای، امکان محاسبه ندارد و به صورت گنگ و غیر واضح در مدل مخزنی که طبق الگوریتمی مخصوص به دست آمده است، تحویل می‌شود. علت این موضوع، واضح و شفاف نبودن ممنوم‌های درجات بالاتر نیست، بلکه نیاز به الگوریتمی کارا تر می‌باشد. در حقیقت تصویر آموزشی اجازه می‌دهد، شمارش کاملی از همه ممنوم‌های درجات بالاتر یا الگوها را به دست آوریم. از این رو تفسیر زمین‌شناسی، در تصاویر، بهتر از روش‌های قدیمی منعکس می‌شود (Caers, 2001).

### ۳-۳ تصویر آموزشی و نحوه تولید آن

تصویر آموزشی معرف دانش موجود زمین‌شناسی است که اعتقاد است در مخزن واقعی تحت مدل‌سازی برقرار است. این ساختارها و الگوهای کلی به صورت مدل عددی از ارتباطات بین نقاط مخزن واقعی است که در منطقه تکرار شده است. نقطه قوت شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، برپایه توانایی تلفیق داده‌های متعدد و

شرطی نمودن شبیه‌سازی است که از طریق تصویر آموزشی انجام می‌گردد و الگوهای تصویر آموزشی با داده‌های محلی تطبیق داده می‌شود (Zhang, 2008; Journal, Zhang, 2006).

### ۳-۳-۱ تصویر آموزشی

مدلهایی مفهومی که نماینده عددی برای توصیف قوانین فضایی هستند و بصورت واضح و غیرشرطی، الگوهایی که باید بازتولید گردد را نمایش می‌دهند، را تصاویر آموزشی گویند (Zhang, 2008). تصویر آموزشی شامل پایگاهی از داده‌ها و الگوهای زمین‌شناسی است که از برداشت آمار چندنقطه‌ای، از جمله واریوگرام (دونقطه‌ای) ایجاد می‌شود. به عبارتی، تصویر آموزشی مطابق با مفهوم واریوگرام در زمین آمار مرسوم است و به صورت مقیاسی، برای ناهمگنی پدیده‌ی زمین‌شناسی و مطابق با دانش موجود زمین‌شناسی است. نسبت به شبیه‌سازی‌های پیشین، این مفهوم، بیشتر بصری است و نشان می‌دهد که چه الگوهایی در دسته‌ای از مدل‌های چندگانه‌ی مخزنی بازتولید می‌شود (Caers and Zhang, 2002). تصویر آموزشی، اطلاعات چینه‌ای موجود در مخزن را نمایش می‌دهد (Liu et al, 2004). تصویر آموزشی، نشانگر الگوها و جنبه‌های کلی ساختار و بافت فضایی ناحیه مورد مطالعه است که انعکاسی از ساختار رخساره مورد نظر، در میدان واقعی تحت بررسی می‌باشد. لذا تصاویر آموزشی، اجتماع (بطور کلی) مفهومی از الگوهایی هستند که نیاز نیست دارای صحت محلی یا مقید به داده‌های شرطی - از هر نوعی - باشند. همچون یک واریوگرام پایا که داریم:

$$\gamma(u, u + h) = \gamma(h)$$

۱-۳

و تغییرات مابین هر دو نقطه را با فاصله  $h$  از یکدیگر، مستقل از مختصات نقاط، بازتاب می‌کند. (Zhang, 2008; Zhang, Journal and Switzer, 2005; Strebelle and Zhang, 2004; Caers and Zhang, 2002; Zhang, 2002).



هر چند به نظر می‌رسد که تعریف یک مدل واریوگرام، از تولید یک مدل آموزشی، که ناهمگنی‌های بحرانی مخزن را نمایش می‌دهد ساده‌تر است، اما مشخص است که اولاً مدل‌های واریوگرام، کمتر وابسته به تفاسیر شخصی نیست و به‌علاوه مدل واریوگرام، دارای محدودیت‌های بیشتری است. ولی مدل توصیف‌کننده ناهمگنی مخزن بر پایه‌ی تصاویر آموزشی، مدلی بیشتر بصری و مستقیم است. الگوها می‌توانند به طور مستقیم در تصویر آموزشی مجسم شوند. در حالی که آماره‌های درجه بالا در مدل‌های مرسوم از قلم افتاده یا مخفی هستند (Caers and Zhang, 2002; Barrera, 2006). تصاویر آموزشی شمارش واضحی از ناهمگنی موجود را برای روش شبیه‌سازی ممکن می‌سازد، به‌علاوه رد کردن یا پذیرفتن تفاسیر و برداشتها از واقعیت زمین‌شناسی در این مدل بسیار ساده‌تر از مدل‌های واریوگرام مبتنی بر فرض مولتی‌گوسین است (Caers and Zhang, 2002).

### ۳-۲-۳ اندازه تصویر آموزشی

اندازه‌ی تصویر آموزشی، فاکتور مهمی محسوب می‌شود. اندازه‌ی مورد نیاز تصویر آموزشی با توجه به نسبت ویژگی یا الگویی که در حال بازتولید است محاسبه می‌شود. بدین طریق که قبل از آن که فرایند شبیه‌سازی انجام گردد، نیاز است اندازه‌ی الگو و ویژگی در واقعیت مخزن به دست آید. رسیدن به این اندازه، با دقت بر اصل ارگودیسیت<sup>۱</sup> (پایایی واریانس)، قابل حصول است. بازتولید الگوهای بزرگ مقیاس (همبستگی‌های بالا) همچون کانال‌ها، نیازمند تصویر آموزشی بزرگی با اندازه‌ی حداقل دو برابر اندازه‌ی جهت پیوستگی کانال‌ها است. یک تصویر آموزشی کوچک، منجر به نوسانات زیادی از این پدیده‌ها خواهد شد. از این رو کانال‌ها خرد می‌شود و این مشکل، هنگامی اتفاق می‌افتد که اندازه‌ی تصویر آموزشی مساوی یا کوچک‌تر از اندازه‌ی محاسبه شده در واقعیت مخزن است. اگر خصوصیات کوچک‌تری، در حال تولید

---

1-Ergodicity

باشد، طبیعتاً تصویر آموزشی کوچک‌تری مورد نیاز است. در این موارد، تصویر آموزشی حتی می‌تواند از واقعیت مخزن کوچک‌تر باشد (Caers and Zhang, 2002).

### ۳-۳-۳ ناهمسانگردی

اندازه‌ی خصوصیات کانال یا نسبت هدف در مخازن، می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در جهت عمودی همچون جهت افقی تغییر کند. بنابراین در این‌گونه مخازن دقت به پایایی و ارگودیسیتته اهمیت بیشتری می‌یابد. بنابراین تصاویر یا نمایش‌های موجود در سیستم‌های ته‌نشست مخزن، نمی‌تواند بدون توجه به این اصول به‌تنهایی مورد استفاده قرار گیرد (Caers and Zhang, 2002).

### ۴-۳-۳ معرف بودن

ساختارهای حاکم بر ناحیه و منطقه تحت مطالعه، از طریق استخراج از مدل مشاهده شده در تصویر آموزشی، امکان انتقال به مدل و بازتولید را خواهند داشت. از این‌رو بطور خلاصه می‌توان خواص زیر را برای تصویر آموزشی معرف بیان نمود.

۱- شامل مهم‌ترین ساختارها و الگوهای کلی موجود در منطقه تحت مطالعه باشد هر چند مشخص نمودن الگوهای مهم و حیاتی، نسبت به سایر الگوهایی که ممکن است در حال تغییر باشد و چگونگی شناسایی و تفکیک این الگوها از یکدیگر، در مراحل رشد ابتدایی خود، قرار دارند. کماکان شانس کمی برای تایید چک کردن این خصوصیات، وجود دارد و تصمیم در مورد استفاده یا عدم استفاده از تصویر آموزشی، به قضاوت کارشناس منوط می‌شود. بنابراین؛ مجموعه ساختارهای موجود در تصویر آموزشی، باید شامل حداقل ارتباطات محلی بین متغیر در ناحیه تحت مدل‌سازی باشد (Ortiz, 2004).

۲- آمار و تعداد الگوهای شمارش شده، برای برداشتی مناسب و ساختن تابع توزیعی مناسب، مهم‌ترین مرحله در محاسبه احتمال شرطی در گره‌های مدل می‌باشد. لذا فراوانی کافی از این الگوها جهت استنباط نزدیکتر به واقعیت و تخمین صحیح‌تر مورد نیاز است.

۳- تصویر شامل ساختارهای بزرگ مقیاس تا کوچک مقیاس باشد. بنابراین تصویر مورد استفاده باید نماینده کاملی از ساختارهای اصلی که در گذشته تا به حال در منطقه فعال بوده و موجب ایجاد تغییرات در مقیاس‌های گوناگون هستند، باشد.

گویی تصویر آموزشی انعکاسی از روندها و فرآیندهای کلی حاکم بر منطقه، در زمان‌های مختلف تشکیل سنگ‌ها، چینه‌ها و تغییرات عمده رخساره‌ای در آنها است.

### ۳-۳-۵ تولید تصویر آموزشی

زمین‌شناسان بهتر می‌توانند به تولید الگوهای رسوب‌گذاری متفاوت، مطابق با دانش موجود و تخصص‌شان اقدام نمایند. این الگوهای دسته‌بندی شده راهنمای مدل‌سازی نهشته‌های رودخانه‌ای خواهند بود که مطابق با هندسه‌ی تهنشست‌ها و خصوصیات آنها تجمع یافته‌اند. در زیر، لیست محدودی از ابزارهای مورد استفاده برای ساخت تصاویر آموزشی، به عنوان نمونه، آورده شده است (Caers and Zhang, 2002; Zhang, 2008)

۱- قیاس‌های زمین‌شناسی در قالب رخنمون‌ها، محیط‌های تهنشست و تصاویری که الگوهای مخزن را به تصویر می‌کشد.

۲- مطالعات چینه‌شناسی طبقات، که نشانی از سیستم‌های تهنشست است.

۳- الگوریتم‌های برپایه‌ی شیء که با توان تولید اشکال واقعی پیکره‌های زمین‌شناسی و توزیع‌های فضایی آنها هستند، هر چند به‌سختی شرطی می‌شوند و معمولاً غیرشرطی تولید می‌گردند.

۴- مدل‌های برپایه‌ی فرایند که از طریق مدل‌سازی مستقیم پدیده‌های زمین‌شناسی و طبق قوانین فیزیک حمل و نقل مواد، تجمع و فشرده شدن رسوبات، فرسایش و فرایندهای مشابه ساخته می‌شوند. این مدل‌ها نیز غیرشرطی تولید می‌گردند.

برای مطالعه بیشتر محدودیت‌های اجرایی در تولید تصویر آموزشی به پیوست الف مراجعه نمایید.

### ۳-۴ الگوریتم (SNESIM) و ارتباط آن با زمین آمار مرسوم

فرض کنیم تصویر آموزشی وجود دارد. سوال مورد بررسی در این بخش، این است که چگونه می‌توانیم الگوریتم زمین‌آماري طراحی کنیم که الگوهای این تصویر آموزشی را تولید نماید و در عین حال، داده‌های مورد استفاده چاه یا لرزه را تایید نماید (Caers and Zhang, 2002).

روش‌های شبیه‌سازی تصادفی، می‌تواند به مدل‌های تصادفی شبیه‌سازی شده‌ای که بازتاب ساختار زمین‌شناسی را در تصویر جا می‌دهد، گسترش یابد. شبیه‌سازی پی‌درپی در هر گره از شبکه، احتمال شرطی با عنوان  $P(A|B)$  را شبیه‌سازی می‌کند (Caers, 2001).

$A$  یا  $Z(\mathbf{u})$  - خصوصیات پتروفیزیکی یا رخساره‌ای است که در دسته  $Z_k$  تا  $Z_{k+1}$  روی می‌دهد.

$B$  یا  $D_j(\mathbf{u})$  - داده‌های نمونه و شبیه‌سازی شده قبلی هستند.

روشی وجود دارد که اجازه می‌دهد الگوهای موجود در تصویر آموزشی استخراج گردد، و در منطقه مخزن تحت مدل‌سازی به داده‌های چاه مشروط گردد. این روش، شبیه‌سازی معادله نرمال منفرد یا  $SNESIM^1$  نامیده می‌شود (Strebel, 2000). بدنه اصلی این ایده، ساختن مدلی بر اساس تصویر آموزشی است که توزیع‌های شرطی  $P(A|B)$  برای هر کدام از حالات  $A$  و  $B$  پیش‌بینی می‌گردد. برنامه  $SNESIM$ ، این امکان را فراهم می‌کند که قبل از آن که شبیه‌سازی تصادفی شروع شود، همه مقادیر محتمل  $P(A|B)$  که امکان

---

<sup>1</sup>-Single normal equation simulation

وقوع دارند، جستجو گردد. سپس شبیه‌سازی پی‌درپی با استفاده از این توزیع‌های شرطی، به محاسبه پی‌درپی مقدار کمیت در هر نقطه می‌پردازد (Caers, 2001).

الگوریتم *SNESIM* با استفاده از آمار چندنقطه‌ای، تنها به شبیه‌سازی متغیر گسسته می‌پردازد. پایه این شبیه‌سازی، ایده شبیه‌سازی هر سلول از شبکه، در طول مسیری تصادفی است که سلول شبیه‌سازی شده به مجموعه داده‌ها می‌پیوندد و در مشروط نمودن شبیه‌سازی سلول‌های بعدی به همراه داده‌های چاه و لرزه، شرکت می‌کند (Remy, 2004; Caers and Zhang, 2002). الگوریتم ۱-۳ ابتدایی‌ترین نسخه الگوریتم *SNESIM* را توصیف می‌کند.

در شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، یک قالب که شامل چندین گره و به شکل تعریف شده‌ی کاربر است، برای پردازش تصویر آموزشی استفاده می‌شود (شکل ۳-۳). نقاط نمونه‌برداری و شبیه‌سازی شده قبلی اطراف گره مرکزی، وضعیت هندسی خاصی را در این قالب بوجود می‌آورد و این پیشامد داده‌ای در تصویر آموزشی جستجو می‌شود. در حین پردازش، فراوانی گره‌ی مرکزی که متعلق به رخساره‌ی مخصوص است، محاسبه می‌شود. این فراوانی با توجه به احتمال شرطی، مطابق با پیشامد داده‌ای چندنقطه‌ای است. سپس یک شبیه‌سازی پی‌درپی برپایه‌ی پیکسل، از طریق ترسیم مقادیر، برای این احتمالات به کار گرفته می‌شود (Liu et al, 2004).

مرحله ۲(ب) از الگوریتم ۱-۳ که در زیر آمده است مرحله‌ای بحرانی‌ست؛ این مرحله، نیازمند جستجوی همه موقعیت‌های  $u$  تصویر آموزشی است که  $D_j(u\alpha) = D_j(u)$ ,  $1 \leq j \leq J$ . انجام جستجوی جامع برای هر سلول که در حال شبیه‌سازی است، عملی نیست. بنابراین *SNESIM* برای انجام کاراتر آن، از ساختاری درختی از داده‌ها بنام درخت جستجو استفاده می‌کند. درخت جستجو، همه پیشامدهای متفاوت داده‌ها را  $D_j(u\alpha)$ ,  $j = 1; \dots; J$  که در موقعیت  $u\alpha$  تصویر آموزشی یافته شده است، ذخیره می‌کند، و بازسازی توزیع احتمال شرطی مرحله ۲(ج) را امکان‌پذیر می‌کند (Remy, 2004).

توجه شود که متغیر گسسته  $Z(u)$  دارای مقادیری در بازه مجموعه  $\{1; \dots; K\}$  می باشد.

۱. تعریف یک قالب یا پنجره هندسی  $T_J = \{h_1; \dots; h_J\}$  که برداری در فضای  $R^3$  است. و یک مسیر

تصادفی که همه موقعیت ها و گره های در حال شبیه سازی را ملاقات کند.

۲. برای هر موقعیت  $u$  در طول مسیر:

الف) بازسازی پیشامد شرطی داده ها  $D_J(u)$  که توسط قالب  $T_J$  تعریف میشود.

$$D_J(u) = \{z(u + h_1); \dots; z(u + h_J)\}$$

ب) پیدا کردن همه موقعیت های تصویر آموزشی که  $u_\alpha, \alpha = 1; \dots; n$

$$D_J(u_\alpha) = D_J(u)$$

برای مثال چنین برداری:

$$z(u + h_j) = z(u_\alpha + h_j), \forall j \in \{1; \dots; J\}$$

اگر تعداد ( $n$ ) چنین موقعیت هایی کمتر از نسبت حدی  $n_{min}$  کمینه تعریف شده بود: بازسازی پیشامد کوچکتر  $D_{j-1}$  که

توسط  $T_{j-1}$  بردار تعریف شده است و تکرار جستجو. این مرحله، تا آنجا تکرار میگردد که  $n \geq n_{min}$ .  $J'$  بزرگترین اندازه

قالب که در  $n \geq n_{min}$  صدق کند، میباشد.

ج) توزیع احتمال شرطی که توسط امید ریاضی شرطی تجربی  $E^*(I(u,k) | DJ'(u))$  بدست می آید.

$$P(Z(u) = k | D_J(u)) = E(I(u,k) | D_J(u)), k = 1; \dots; K$$

$$P(Z(u) = k | D_J(u)) \cong P(Z(u) = k | D_{J'}(u)) \cong E^*(I(u,k) | D_{J'}(u)) = \frac{1}{n} \sum_{\alpha=1}^n i(Z(u_\alpha), k)$$

که  $i(z(u_\alpha), k)$  تابع تبدیل شاخص می باشد.

$$i(Z(u_\alpha), k) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z(u_\alpha) = k \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

و بیرون کشیدن یک مقدار از توزیع شرطی برای افزودن این سلول به مجموعه داده ها

۳. تکرار مرحله ۲ تا همه موقعیتهای مسیر ملاقات گردد.

اگر  $N_{TI}$  تعداد مجموع موقعیت‌های موجود در تصویر آموزشی باشد، برای هر پیشامد با اندازه  $L$  بیش از این تعداد پیشامد متفاوت وجود نخواهد داشت، و کران بالای حافظه مورد نیاز ( $RAM$ ) برابر است با (Remy, 2004):

$$RAM \leq \sum_{j=1}^L \min(K^j, N_{TI}) \quad 2-3$$

روش‌های سنتی زمین‌آمار از کریجینگ برای تعیین پارامترهای مورد نیاز مرحله ۲ استفاده می‌کنند. نوع کریجینگ، نوع خاص شبیه‌سازی مرحله‌ای را (همچون گوسین، شاخص،...) تعیین می‌کند. کریجینگ، برپایه مدل واریوگرام برداشت‌شده از داده‌ها استوار است. در فرآیند  $SNESIM$ ، این مرحله با تعیین مستقیم مدل احتمالی از تصویر آموزشی، کوتاه‌تر می‌شود و به مدل واریوگرام و کریجینگ نیازی نیست (Caers and Zhang, 2002).

### ۳-۴-۱ روش ساختار درختی

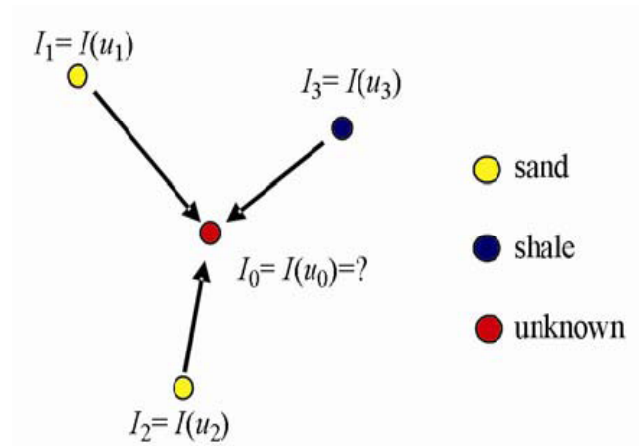
این بخش با هدف پاسخ به این سوال آغاز می‌گردد: چرا آمار چندنقطه‌ای ساختارهای غیرخطی را بسیار بهتر از روشهای دونقطه‌ای برپایه واریوگرام بازتولید می‌کند؟ برای پاسخ به این سوال، نگاهی دقیق‌تر به ارتباط زمین‌آمار دونقطه‌ای و چندنقطه‌ای لازم است. به عنوان مثالی ساده، فرض می‌کنیم در موقعیت  $u_0$ ، می‌خواهیم احتمال حضور ماسه ( $P(I_0 = 1)$ ) را تخمین بزنیم. سه داده  $I_1, I_2, I_3$  مشخص در اطراف این موقعیت وجود دارند که می‌توانند ماسه ( $=1$ ) یا شیل ( $=0$ ) باشند (شکل ۲-۳) (Zhang, 2008).

در چارچوب دونقطه‌ای، فرمول‌ها با ترکیب خطی این سه شاخص بدست می‌آیند.

از فرمول‌های کریجینگ برای آمار دونقطه‌ای داریم (Caers, 2010):

$$P(I_0=1 | I_1, I_2, I_3) = E\{I_0\} + \sum_{n=1}^3 \lambda_n (1 - E\{I_n\}) \quad 3-3$$

که ضرایب کریجینگ مربوطه است.



شکل ۳-۲ نمایی از هندسه یک پیشامد با سه داده معلوم (Zhang, 2008)

فرمول ۳-۳ بدین معنی است که در مثال فوق، برای محاسبه  $P(I_0=1 | I_1, I_2, I_3) = E\{ I_0 | I_1, I_2, I_3 \}$  از طریق فرمول زیر تقریب زده می‌شود:

$$I_0^* = a_0 + a_1 I_1 + a_2 I_2 + a_3 I_3 \quad ۴-۳$$

تخمینگر کریجینگ شاخص، برای محاسبه چهار ضریب  $a_0, a_1, a_2, a_3$  و حل دستگاه معادله کریجینگ بکار می‌رود. به این نکته دقت گردد که در سیستم کریجینگ، تنها واریوگرام یا کواریانس برای محاسبه ارتباط دونقطه استفاده می‌شود. عبارتی در هر لحظه، ممنوم مرتبه دوم تعیین کننده این است که هر یک از سه داده معلوم، از سلول نامعلوم اطلاع دهد؛ آنها (داده‌ها) در هر لحظه، با همدیگر برای تعیین نامعلوم بکار نمی‌روند (Caers, 2010; Zhang, 2008).

نوشتن دقیق عبارت کامل امید ریاضی شرطی، جالب است. داریم:

$$E\{I_0 | I_1, I_2, I_3\} = a_0 + a_1 I_1 + a_2 I_2 + a_3 I_3 + a_{12} I_1 I_2 + a_{13} I_1 I_3 + a_{23} I_2 I_3 + a_{123} I_1 I_2 I_3 \quad ۵-۳$$

$$P(I_0=1 | I_1, I_2, I_3) = E\{ I_0 \} + \sum_{n=1}^3 \lambda_n (1 - E\{ I_n \}) + \sum_{m,n=1}^3 \lambda_{nm} (1 - E\{ I_m I_n \}) + \sum_{m,n,p=1}^3 \lambda_{mnp} (1 - E\{ I_m I_n I_p \}) \quad ۶-۳$$

دقت شود که جملات غیرخطی به تخمینگر کریجینگ افزوده شده‌اند. یعنی؛ علاوه بر تعیین اوزان و ضرایب موجود در تخمین کریجینگ، ضرایب دیگری نیز افزوده شده است. مجموعه ای از ۸ معادله خطی،



مشابه با معادلات موجود در سیستم کریجینگ در فرمول ۳-۴ می‌توانند هشت ضریب وزنی را بدست دهند. این معادلات، معادلات نرمال (گسترده) نامیده می‌شوند. یک دستاورد برجسته معرفی جملات غیر خطی در فرمول ۳-۵ ظاهرشدن آمار درجات بالا (تا مرتبه چهار در این مثال) در معادلات نرمال می‌باشد. بخاطر سختی در استنباط این آماره‌های مرتبه بالا، از داده‌های پراکنده، حل کامل معادلات نرمال امکان‌پذیر نیست (Zhang, 2008). اگر پیشامد ساخته‌شده در همسایگی نقطه تخمینی را بطور خلاصه  $I$  بنامیم. از معادله ۳-۶ به معادله ۳-۷ می‌رسیم (Caers, 2010):

$$P(I_0=1 | I) = E\{ I_0 \} + \lambda (1 - E\{I\})$$

ضرایب وزنی  $\lambda$  از معادلات نرمال این چنین بدست می‌آیند:

$$\lambda \text{Var}[I] = \text{Cov}[I_0, I] \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{E[I_0, I] - E\{ I_0 \} E\{ I \}}{E\{ I \} (1 - E\{ I \})}$$

$$\frac{E[I_0, I] - E\{ I_0 \} E\{ I \}}{E\{ I \} (1 - E\{ I \})} (1 - E\{ I \}) + E\{ I_0 \} = P(I_0=1 | I)$$

$$P(I_0=1 | I) = \frac{E[I_0, I]}{E\{ I \}} \quad \quad \quad ۷-۳$$

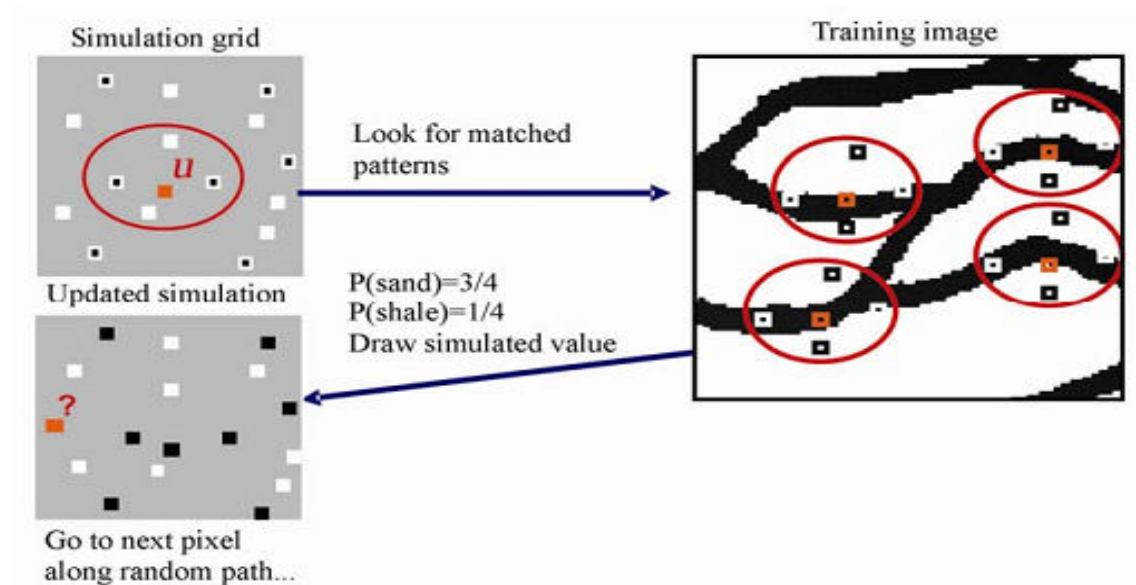
می‌توان بررسی نمود که معادله ۳-۷، مطابق با فرمول بی‌زین است (Zhang, 2002; Strebelle, 2000).

بنابراین برای پیشامد مثال داده شده،  $\{I_1=i_1, I_2=i_2, I_3=i_3\}$  می‌توان از طریق فرمول بی‌زین به محاسبه امید ریاضی شرطی مطابق با معادله آخر پرداخت:

$$E\{I_0=1 | I_1=i_1, I_2=i_2, I_3=i_3\} = P(I_0 | I) = P(I_0, I) / P(I) = \frac{\text{تعداد تکرار مشاهده شده پیشامد } I_0 \text{ و } I}{\text{تعداد تکرار مشاهده شده پیشامد } I} \quad \quad \quad ۸-۳$$

بعلاوه فرمول ۳-۸ می‌تواند از طریق پردازش تصویر آموزشی و شمارش تکرار پیشامد  $I_0$  و تعدادی از این پیشامدها که در موقعیت گره مرکزی  $u$  ماسه وجود دارد، به محاسبه احتمال مربوطه پردازد. در شرایط معمولی داده‌های پراکنده، برداشت مستقیم از داده‌های این دو احتمال مجزا که فراتر از واریوگرام است، ممکن نیست (Zhang, 2008; Zhang, 2002) (شکل ۳-۳).

بنابراین، برای شمارش این احتمالات، فرض می‌شود نسبت‌هایی که از تصویر آموزشی استخراج می‌گردد دارای همان آماره‌های مخزن تحت مطالعه است (Zhang, 2002).



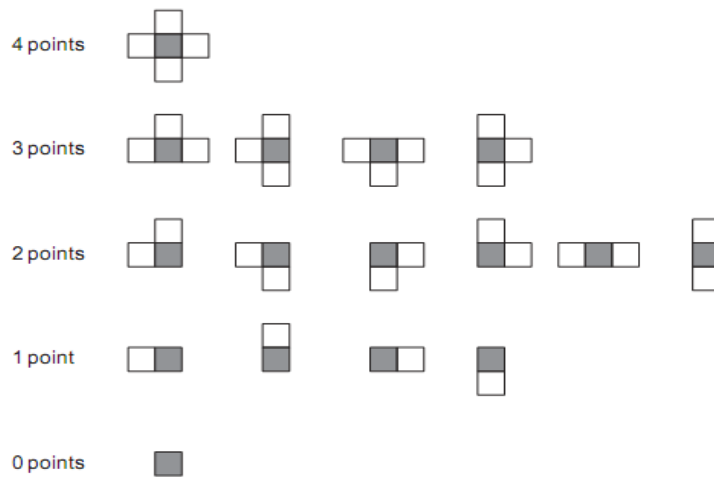
شکل ۳-۳-۳ نمایشی از طریقه محاسبه احتمال شرطی در موقعیت  $u$  (Zhang, 2008)

فرمول ۳-۹-۳ هسته اصلی الگوریتم *SNESIM* است. بنابراین مشاهده می‌شود که آمار چندنقطه‌ای با اتصال به آمار مرتبه‌های بالاتر ( $>2$ )، منجر به بازتولید بهتر ساختارهای منحنی‌شکل خواهد بود (Zhang, 2008).

### ۳-۴-۲ محاسبه ای از تعداد پیشامدهای ذخیره شده در درخت جستجو

در مثال پیش رو، مجموعه ساده‌ای از الگوهای دوبعدی نمایش داده می‌شود. در این مثال، چهار گره که در همسایگی نقطه در حال شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند، در نظر گرفته شده است (شکل ۳-۴). ابتدا، در تصویر آموزشی رخداد هر یک از این وضعیت‌های هندسی، از طریق شمارش محاسبه می‌گردد. از آنجا که هر گره، بروش شاخص کدبندی شده است، برای هر وضعیت  $P$ -نقطه‌ای، ترکیب  $2^P$  حالت وقوع صفر و یک، امکان‌پذیر است. لذا تعداد پیشامدهای متفاوت از مجموع وضعیت‌های گوناگون قابل دستیابی، از

طریق ضرب تعداد وضعیت‌های گوناگون با تعداد یکسان گره (p نقطه) در  $2^p$  بدست می‌آید. در این مثال تعداد کل پیشامدهای ممکن که احتمال وقوع از آن گرفته می‌شود مطابق رابطه (۳-۹) برابر ۸۱ می‌باشد.



شکل ۳-۴ تعداد وضعیت‌های محتمل با ۴ گره مجاور گره مرکزی (Ortiz, 2004)

$$\sum_{i=0}^4 \binom{4}{i} * 2^i = 1*1 + 4*2 + 6*4 + 4*8 + 1*16 = 81 \quad ۹-۳$$

اگر ترکیبی از شاخص‌ها در تصویر آموزشی یافت نشود، بروزرسانی انجام نمی‌گردد و احتمال بروز شده کاملاً مطابق با احتمال بدست آمده از کریجینگ شاخص بدست می‌آید (Ortiz, 2004).

### ۳-۴-۳ شبیه‌سازی با شبکه‌های چندگانه

بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس، قالب جستجوی بزرگی را نیز فراخوان می‌کند. هرچند به علت محدودیت‌های حافظه‌ای موجود، کارکردن با قالب‌های بسیار بزرگ، عملی نیست. راه حلی توسط رویکرد شبکه‌های چندگانه وجود دارد (Tran, 1994; Remy, 2004).

شبکه‌ای (g)، با مختصات کارتیزین در سه‌بعد در نظر می‌گیریم. اگر  $g^L$  را زیرمجموعه‌ای از g تعریف کنیم بطوری که:  $g^0 = g$  باشد و  $g^L$  از طریق کاهش نمونه‌های موجود زیرشبکه‌ای (با ابعاد دو برابر در هر جهت)

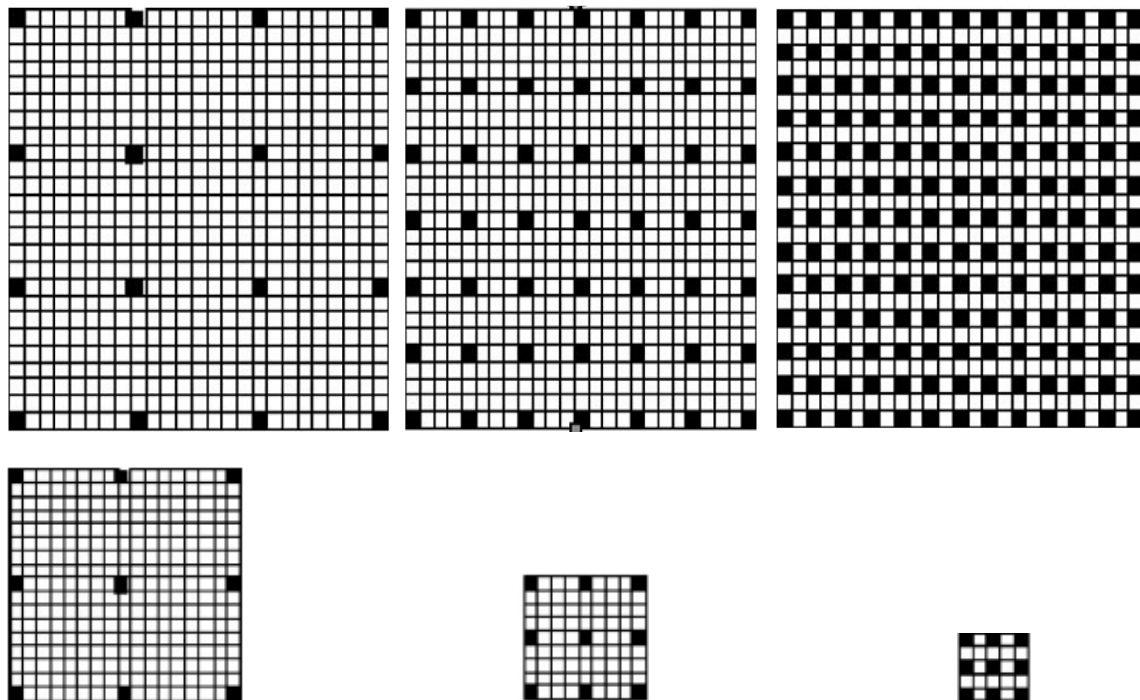
از شبکه  $g^{L-1}$  را پدید آورد،  $g^L$ ، اغلب بعنوان  $L$ امین سطح شبکه‌بندی نامیده می‌شود. الگوریتم ۲-۳ نشان می‌دهد چگونه در برنامه *SNESIM* شبکه‌های چندگانه بکار می‌رود (Remy, 2004).  
 الگوریتم ۲-۳ شبکه‌های چندگانه الگوریتم *SNESIM* (Remy, 2004)

- ۱- انتخاب تعداد  $L$  شبکه‌های چندگانه برای رسیدگی
- ۲- شروع با درشت‌ترین شبکه  $g^L$
- ۳- ساختن یک قالب هندسی جدید  $TJ^L$  با تجدید مقیاس قالب  $TJ$ :  

$$TJ^L = \{ 2^{L-1}h1, \dots, 2^{L-1}h1 \}$$
 قالب  $TJ^L$  دارای همان تعداد بردارهای  $TJ$ ، اما با گسترش بیشتر می‌باشد، بنابراین می‌تواند تغییرات بزرگ مقیاس را بدون افزایش اندازه درخت جستجو، با کارایی بالاتری تبدیل نمود.
- ۴- ساخت درخت جستجو با استفاده از تصویر آموزشی و قالب جستجو  $TJ^L$
- ۵- شبیه‌سازی همه‌گره‌های شبکه  $g^L$  بر اساس الگوریتم ۱
- ۶- همه‌گره‌های  $g^L$  اکنون بخشی از مجموعه داده‌ها هستند، و مراحل ۳ تا ۵ برای شبکه کوچکتر بعدی  $g^{L-1}$  اجرا می‌گردد.
- ۷- چرخش تا اینکه همه شبکه‌های تو در تو شبیه‌سازی شوند.

در شبیه‌سازی مرحله‌ای، برای تبدیل اطلاعات ساختاری بزرگ مقیاس معمولاً از یک شبکه چندگانه استفاده می‌شود (شکل ۳-۵). ابتدا با استفاده از قالبی بزرگ، گره‌ها در شبکه‌ای درشت شبیه‌سازی می‌گردند، سپس در شبکه ریزتری شبیه‌سازی انجام می‌گردد و از قالب کوچکتر استفاده می‌شود و این کار ادامه می‌یابد تا در نهایت ریزترین مقیاس با استفاده از قالب اصلی ساخته شود. در شکل ۳-۵ نمایی از فرآیند دیده می‌شود. سطر بالایی شبکه‌بندی‌هایی که شبیه‌سازی در آنها انجام می‌گردد و سطر پایینی، قالب‌هایی مطابق با هر شبکه که قادر به تغییر مقیاس هستند را نشان می‌دهد. توجه شود که قالب اصلی با هندسه ثابتی است، و بعد از هر شبکه‌بندی، تنها تغییر مقیاس می‌دهد (Liu, 2006).

نمونه‌های اصلی، ابتدا برای این که در درشت‌ترین شبکه مرتب شوند، در نزدیک‌ترین گره خود جای می‌گیرند، سپس در مرحله بعدی شبکه‌بندی، (نمونه‌ها) به جای قبلی خود برگشته و مجدداً در گره‌ها مرتب می‌شوند. این طرح، برداشت ساختارهای با مقیاس متفاوت را که با نمونه‌ها تایید می‌گردند امکان‌پذیر می‌سازد.



شکل ۳-۵ نمایی از فرآیند شبکه بندی چندگانه و قالبهای استفاده شده در آن (Liu, 2006)

بنابراین، زمین‌آمار چندنقطه‌ای از طریق تلفیق روش‌های پردازش تصویر، استخراج الگو و انتقال این ساختارها به مدل شبیه‌سازی قادر است ارتباط فضایی مابین چندنقطه را در هر لحظه شبیه‌سازی کند. این امر می‌تواند از طریق معادله نرمال منفرد به نحو مطلوبی انجام گیرد. الگوریتم معادله نرمال منفرد قادر است از طریق شبیه‌سازی پی در پی مدل را به داده‌های نمونه مشروط نماید و امتیازات روش‌های برپایه واریوگرام و روش‌های برپایه شی از این تلفیق قابل دستیابی است. بعلاوه امکان انتقال ساختارهای با ابعاد و شکل و مقیاس متفاوت را به مدل نهایی فراهم می‌کند.

## فصل چهارم

### بررسی پارامترهای ورودی

**SNESIM**

#### ۴-۱ مقدمه

برنامه SNESIM، که شبیه‌سازی چندنقطه‌ای می‌تواند توسط آن انجام گیرد، ابتدا توسط استرل (Strebelle) ساخته شد و بعدها در مرکز تحقیقات مخزن استنفورد<sup>۱</sup>، توسط دانشجویان وی، ارتقا پیدا کرد (Liu, 2005). سپس این برنامه، به همراه بسته‌های تولید تصویر آموزشی به نرم افزار SGEMS اضافه شد. استفاده مناسب از برنامه SGEMS به شناخت کامل پارامترهای ورودی آن و تاثیر آنها، وابسته است.

ورودی‌های متعددی در این برنامه وجود دارد، هر کدام از این پارامترهای ورودی، نیازمند به تنظیم مناسب برای تضمین نتایج مناسب هستند. در این فصل پارامترهای ورودی که مهم‌ترین تأثیر را در الگوریتم دارند، بررسی و برخی فرمول‌ها و توابع آن مرور شده است (Liu, 2006).

فایل پارامترهای SNESIM در قالب استاندارد Gslib است (Deutsch and Journel, 1998). بعضی از پارامترهای برنامه SNESIM، همچون تعداد دسته‌ها و کد هر دسته یا تعداد ستون‌های متغیر، در این فصل بررسی نشده است. پارامترهایی که معمولاً نا آشنا هستند را در این فصل بررسی می‌کنیم. این پارامترها عبارتند از: نسبت هدف و تصحیح محافظ سیستم، تعداد شبکه‌های چندگانه، بیشترین تعداد داده‌های شرطی، کمترین تعداد تکرار، شعاع جستجو، زوایای جستجو، نسبت چرخش و مقیاس<sup>۲</sup>، شرطی نمودن به داده‌های سخت، شرطی نمودن به داده‌های نرم.

پیوست (ب) به شرطی نمودن به داده‌های سخت و نرم و تاثیر آنها بر روی مدل اختصاص دارد.

---

<sup>۱</sup> - Stanford Center for Reservoir Forecasting (SCRF)

<sup>۲</sup> - Rotation and affinity ratio

## ۴-۲ نسبت هدف<sup>۱</sup> و تصحیح محافظ سیستم<sup>۲</sup>

شکل ۴-۱ نمونه‌ای از تصاویر آموزشی را که در این تحقیق استفاده شده است، نشان می‌دهد. اغلب اتفاق می‌افتد که احتمال رخساره‌های تصویر آموزشی با نسبت هدفی که می‌خواهیم شبیه‌سازی کنیم، برابر نیست. احتمال رخساره‌ی تصویر آموزشی را با  $P(A)$  مشخص می‌کنیم که  $A$  نمایانگر شاخص رخساره‌ی است و نسبت هدفی را که می‌خواهیم تولید کنیم به عنوان  $P^*(A)$  مشخص می‌کنیم. برای تولید تحقق‌های با نسبت هدف جدید، الگویی توسط ژانگ و جورنل (Zhang and Journal, 2002) پیشنهاد شد که الگوی به‌روزرسانی بیزین نام دارد و در SNESIM گنجانده شده است. همچنین در سیستم، تصحیحی به کار رفته است که هنگامی که به‌روزرسانی بیزین به تنهایی نمی‌تواند دقیقاً نسبت‌های هدف را تولید کند، کاربرد دارد. در مسیر بروز رسانی بیزین برای نسبت هدف در برنامه، ابتدا یک الگو برای اسکن کردن تصویر آموزشی بکار می‌رود، تا تعداد تکرارهای دو رویداد داده  $(B)$  و  $(A|B)$  را به دست آوریم. در این جا  $A$  رویدادی است که دسته‌ی رخساره‌ی گره مرکزی را مشخص می‌کند و  $B$  رویداد داده‌های چندنقطه‌ای همسایگی آن گره است. این اعداد در ساختار درخت جستجو ذخیره می‌گردند. سپس در حالت شبیه‌سازی پی‌درپی، در هر گره‌ی نمونه‌برداری نشده با رویداد شرطی مخصوص  $(B)$  احتمال  $P(A|B)$  با گرفتن نسبت اعداد محاسبه می‌گردد (Liu, 2006).

$$P(A|B) = \frac{P(A, B)}{P(B)} \quad ۱-۴$$

---

<sup>1</sup> - Target proportion

<sup>2</sup> - Servosystem parameter



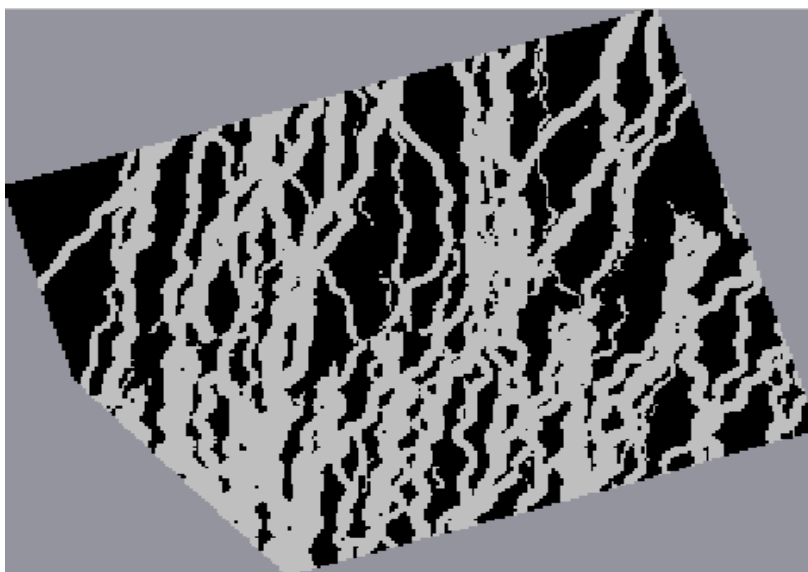
وقتی که  $P(A)$  را با  $P^*(A)$  جایگزین کنیم، (با داشتن  $\bar{A}$  که نشان می‌دهد رویداد  $A$  اتفاق نیفتاده

است،  $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$  و فرمول‌های بیزین همچون فرمول  $P(A/B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$  می‌توان به

فرمول ۲-۴ زیر رسید که بروزرسانی بیزین نام دارد (Liu,2006):

$$P(A/B) =$$

۲-۴



شکل ۱-۴ نمونه ای از تصویر آموزشی

#### ۱-۲-۴ تصحیح محافظ سیستم

در عمل، به روز رسانی بیزین هنگامی خوب کار می‌کند که  $P(A)$  و  $P^*(A)$  زیاد متفاوت نیستند. اما اگر، این دو زیاد متفاوت باشند،  $P^*(A)$  نمی‌تواند به خوبی بازتولید گردد. برای اصلاح این مشکل، نسبتی در برنامه به کار گرفته شده است (Strebelle,2000) که شبیه‌سازی را حین اجرا، به نسبت هدف وابسته می‌کند. اگر  $P^C(A)$  را به عنوان تابع توزیع احتمال موجود قبل از شبیه‌سازی گره ناشناخته  $u$  در نظر

بگیریم که از نمونه داده اصلی و مقادیر شبیه‌سازی شده قبلی به دست آمده است، احتمال شرطی  $P(A|B)$  با فرمول ۳-۴ در حال تغییر است (Liu,2006):

$$P^{new}(A|B) = P(A|B) + \mu(P(A) - P^C(A)) \quad 3-4$$

که  $\mu$  از پارامتر تصحیح خود تنظیم سیستم  $\lambda$  محاسبه می‌گردد:

$$\mu = \frac{\lambda}{1-\lambda}, \lambda \in [0,1) \quad 4-4$$

هر چه مقدار  $\lambda$  بزرگتر و به عدد یک نزدیکتر باشد، تصحیح قوی تر انجام می‌گیرد. (شکل ۲-۴ و ۳-۴)

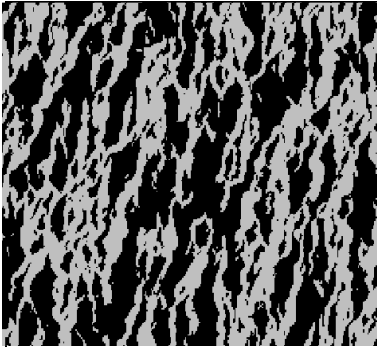
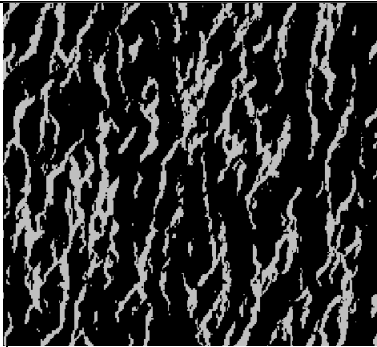
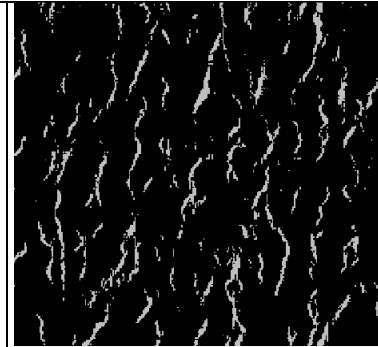
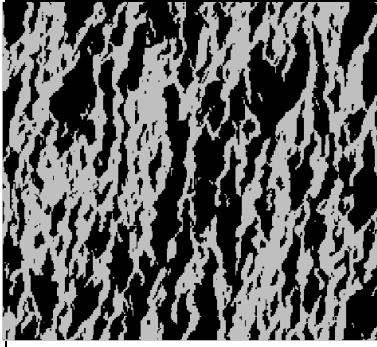
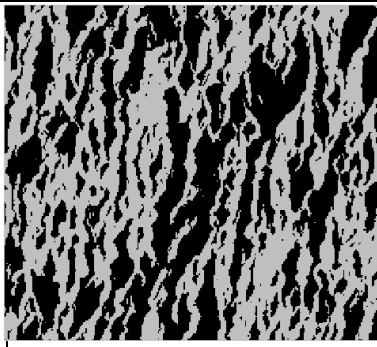
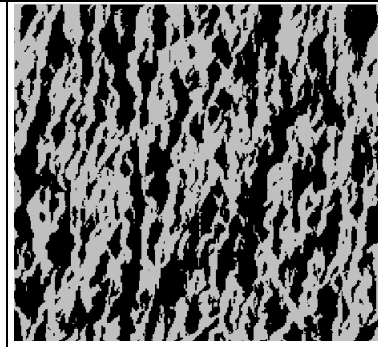
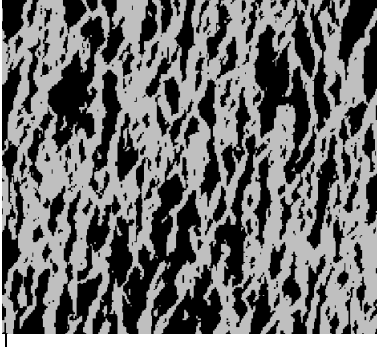
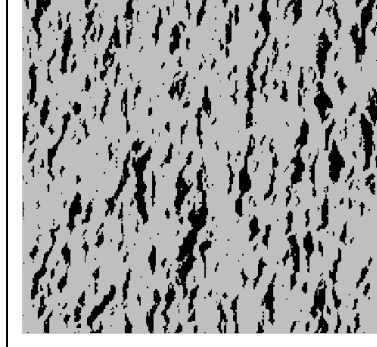
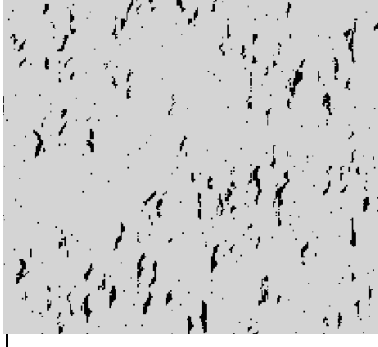
#### ۲-۲-۴ اثر متقابل بین نسبت هدف و تصحیح خود تنظیم سیستم

در این مطالعه، با تغییر هر کدام از این دو پارامتر ( $\lambda$  و  $P^*(A)$ )، تحلیل حساسیت هر کدام از آن‌ها را از طریق برنامه SGEMS بررسی نمودیم که شکل‌های ۲-۴ و ۳-۴ نتایج آن را نمایش می‌دهد. در شکل ۲-۴ نسبت کلی هدف، با تنظیم بر سه مقدار متفاوت ۰/۹۹ و ۰/۵ و ۰/۰۱ و  $P^*(A)$  در شکل ۳-۴ قراردادن دو مقدار دیگر ۰/۷۰ و  $P^*(A) = 0/33$ ، حساسیت سنجی شده است. پارامتر تصحیح سیستم نیز با سه مقدار متفاوت ( $\lambda=0,0/5,0/99$ ) به کار رفته است. در حالی که نسبت تصویر آموزشی (شکل ۱-۴)،  $P(A)=0/51$  می‌باشد. تحقق‌های غیر شرطی برای نسبت‌های هدف و تصحیح متفاوت به کار رفته است و مشاهده می‌شود که:

۱- هنگامی که نسبت‌های هدف به نسبت توزیع‌شان در تصویر آموزشی نزدیک هستند (شکل ۳-۴)، الگویتیم روزرسانی بیزین به تنهایی (قرار دادن خود تنظیم محافظ سیستم برابر با صفر،  $\lambda = 0$ ) نسبتاً خوب کار می‌کند (هرچند دقیقاً نسبت‌های هدف را تولید نمی‌کند (Liu,2006)). در این حالت نسبت‌های کانالی ۰/۴۴~۰/۳۳ و ۰/۷~۰/۵۷ بهتر از حالتی تولید می‌گردند که نسبت‌های هدف و تصویر آموزشی فاصله

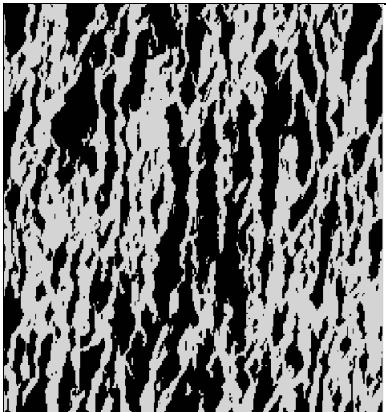
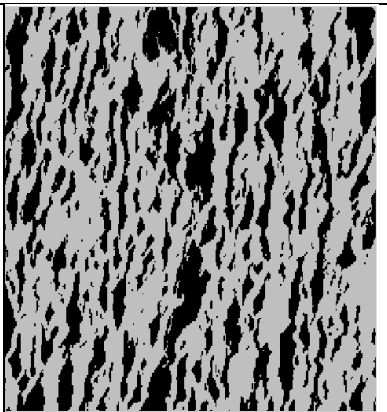
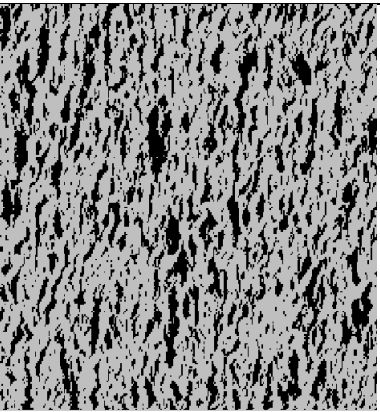
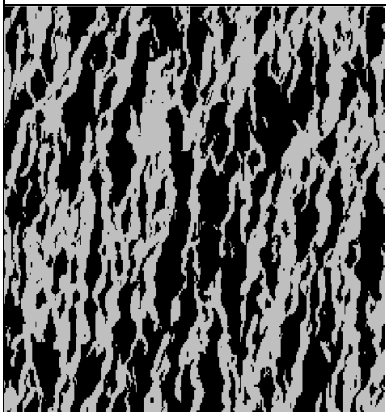
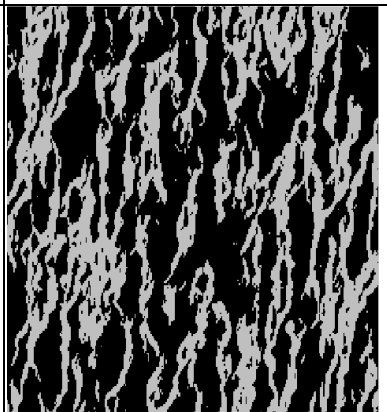
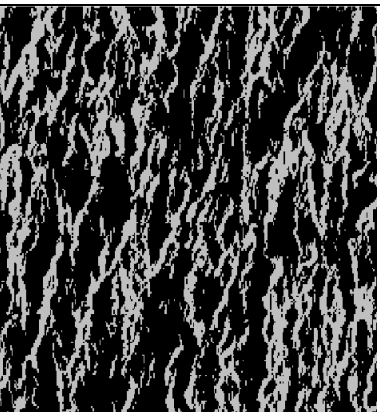
زیادی با هم دارند (شکل ۴-۲). در این حالت، نسبت‌های کانالی به نسبت توزیع کلی مربوطه‌شان نزدیک

نیستند،  $0/99 << 0/54 < 0/1$  و  $0/48 >> 0/1$ .

|   |   |  |
|---|---|--|
|    |    |    |
| $P^*(A)=0/01 \quad \lambda=0$<br>نسبت میانگین= $0/46$                               | $P^*(A)=0/01 \quad \lambda=0/5$<br>نسبت میانگین= $0/22$                             | $P^*(A)=0/01 \quad \lambda=0/99$<br>نسبت میانگین= $0/074$                            |
|   |   |   |
| $P^*(A)=0/5 \quad \lambda=0$<br>نسبت میانگین= $0/48$                                | $P^*(A)=0/5 \quad \lambda=0/5$<br>نسبت میانگین= $0/5$                               | $P^*(A)=0/5 \quad \lambda=0/99$<br>نسبت میانگین= $0/5$                               |
|  |  |  |
| $P^*(A)=0/99 \quad \lambda=0$   | $P^*(A)=0/99 \quad \lambda=0/5$   | $P^*(A)=0/99 \quad \lambda=0/99$   |

|                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| نسبت میانگین=0/54 | نسبت میانگین=0/80 | نسبت میانگین=0/95 |
|-------------------|-------------------|-------------------|

شکل ۲-۴ اثر نسبت هدف و خود تنظیم سیستم ( $\lambda = 0, 0/5, 0/99$ ) و  $P^*(A) = 0/1, 0/51$  و  $0/99$

|   |   |  |
|---|---|--|
|    |    |    |
| $P^*(A) = 0/70 \lambda = 0$<br>نسبت میانگین=0/57                                    | $P^*(A) = 0/700 \lambda = 0/5$<br>نسبت میانگین=0/64                                 | $P^*(A) = 0/70 \lambda = 0/99$<br>نسبت میانگین=0/7                                   |
|  |  |  |
| $P^*(A) = 0/33 \lambda = 0$<br>نسبت میانگین=0/44                                    | $P^*(A) = 0/33 \lambda = 0.5$<br>نسبت میانگین=0/37                                  | $P^*(A) = 0/33 \lambda = 0/99$<br>نسبت میانگین=0/33                                  |

شکل ۳-۴ اثر نسبت هدف و خود تنظیم سیستم ( $\lambda = 0, 0/5, 0/99$ ) و  $P^*(A) = 0/33$  و  $0/70$

۲- افزایش تصحیح سیستم باعث می شود احتمال تصویر شبیه سازی شده، به نسبت هدف نزدیک تر شود، اما تا حدی اطلاعات و ساختارهای رخساره ها از دست می رود. توجه به ستون وسط شکل ۲-۴ و ۳-۴ نشان می دهد، هنگامی که پارامتر خود تنظیم سیستم از ۰ به ۰/۵ افزایش پیدا می کند، نسبت های

رخساره‌ای به نسبت هدف نزدیک می‌شوند. در نهایت یک خودتنظیم سیستم بسیار قدرتمند ( $\lambda = 1$ ) منجر به تحقق‌های با نسبت کانالی برابر با نسبت هدف خواهد شد (ستون راست شکل ۳-۴). هرچند اشکال منحنی‌شکل در حال تخریب هستند و قطع شدگی‌هایی در آنها مشاهده می‌گردد. دقت به این نکته، بسیار مهم است که هرچه فاصله بین نسبت کلی هدف و نسبت کانالی تصویرآموزشی بیشتر گردد، این تخریب‌ها شدت بیشتری می‌یابد و پیوستگی کمتر می‌شود (مقایسه ستون‌های سمت راست دو شکل ۳-۴ و ۲-۴).

۳- وقتی نسبت هدف دقیقاً برابر نسبت تصویرآموزشی است (ستون میانی شکل ۲-۴)  $P^*(A) = 0/5$  پیوستگی کانال‌ها، عرض کانال‌ها، سینوسی بودن و ... دقیقاً مشابه با تصویرآموزشی است. مقدارهای مختلف تصحیح سیستم نتایج مشابهی دارد.

۴- اگر نسبت هدف از نسبت آن در تصویرآموزشی بسیار متفاوت باشد (شکل ۳-۴ و ردیف اول و سوم شکل ۲-۴) شکل کانال‌ها تغییر می‌کند. برای مثال با نسبت  $P^*(A) = 0/70$  کانال‌ها ضخیم‌تر از تصویرآموزشی هستند، تا جایی که تبدیل به رخساره غالب می‌شوند. و همان‌طور که نسبت تصحیح بالاتر می‌رود این پدیده شدیدتر می‌گردد.

دقت شود که نکته‌ای ظریف در تغییر نسبت هدف بر طبق نسبت تصویرآموزشی وجود دارد که بسیار مهم است: آماره‌های چندنقطه‌ای وابسته به تصویرآموزشی است و هنگامی که نسبت تصویرآموزشی تغییر می‌کند، این آماره‌ها نیز تغییر می‌کند. بنابراین؛ این دو نسبت (هدف و تصویر) نباید با هم اختلاف زیادی داشته باشند. پیشنهاد می‌گردد، هنگامی که این دو نسبت اختلاف زیادی دارند، به جای آن که از نسبت تصحیح بزرگی استفاده شود، تصویرآموزشی جدید ساخته شود که نسبتی نزدیک‌تر به هدف داشته باشد. اگر بازتولید الگوهای آموزشی اهمیت بالاتری نسبت به به دست آوردن نسبت هدف دارد، تصحیح خود تنظیم سیستم نباید بالا باشد (Liu, 2006).

## ۳-۴ تعداد شبکه های چندگانه

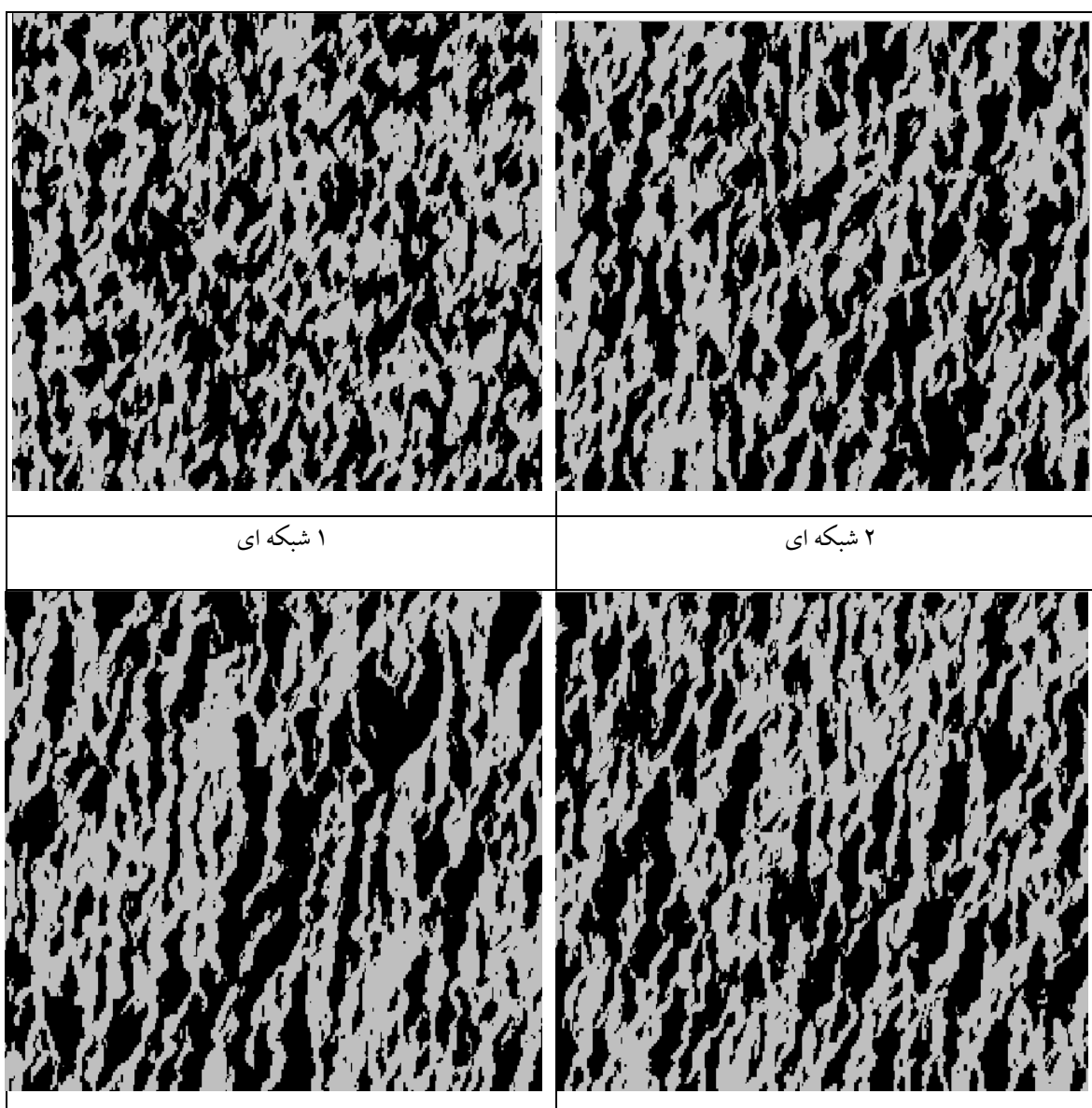
تعداد شبکه های چندگانه می تواند بر تحقق های نهایی تأثیر داشته باشد. اگر این عدد یک باشد، مستقیماً کوچکترین شبکه شبیه سازی می شود. در این حالت، تنها ساختارهای کوچک مقیاس می توانند محقق شوند که نتایج شبیه سازی قابل پذیرش نیست (اولین تصویر شکل ۴-۴). وقتی این عدد به ۲ یا ۳ و ۴ می رسد، ساختارهای بزرگ مقیاس، بیشتر و بهتر امکان شناسایی و بازتولید دارند (Liu, 2006). توجه شود که افزایش این عدد به بالاتر از ۵ یا ۶، بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس را افزایش نمی دهد. علت این موضوع قالب بسیار بزرگی است که لازم است در شبکه های بسیار درشت، به اسکن کردن تصویر آموزشی پردازد و تعداد کمی تکرار در این حالت یافت می شود. از این رو، پیشامد با داده های بزرگ، مجبور است به پیشامد کوچکتر تغییر یابد که مترادف با قالب داده ای کوچکتر می باشد (شکل ۴-۴).

## ۴-۴ بیشترین تعداد داده های شرطی

در برنامه SNESIM، تعداد گره های قالب جستجو بر روی حافظه مورد نیاز (هم RAM و هم CPU)، تأثیر زیادی دارد. عموماً با بزرگ شدن این عدد، الگوهای ساختاری بهتر بازتولید می گردند، اما حافظه بیشتر و هزینه و زمان بیشتری نیز نیاز است. این عدد به طور غیر مستقیم با بیشترین تعداد داده های شرطی مرتبط است (Liu, 2006). در تحلیل حساسیت، این پارامتر را برابر با ۹، ۲۵ و ۶۴ قرار دادیم. تحقق های غیر شرطی مرتبط، در شکل ۴-۵ آورده شده است (به طور عمودی ملاحظه کنید). وقتی این عدد از ۶۴ به ۲۵ می رسد حدود ۴ برابر سریع تر و از ۲۵ به ۹، سرعت ۳ برابر افزایش پیدا می کند.

بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس، از ۹ به ۲۵ افزایش می یابد (سطر اول و دوم شکل ۴-۵ مقایسه شود) هرچند از ۲۵ به ۶۴ تغییر چندانی نمی کند (سطر دوم و سوم را مقایسه کنید). نکته مهم، آن است که

یک عدد نهایی بزرگ داده‌های شرطی، لزوماً همیشه به طور کامل، آن چنان تأثیری برای بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس ندارد. در حقیقت هنگامی که شبیه‌سازی یک گره ناشناخته با استفاده از قالب بزرگی در حال انجام است، اغلب به سختی می‌توان تکرارهای کافی از پیشامد حاصل از تصویر آموزشی را بدست آورد.



|           |           |
|-----------|-----------|
| ۴ شبکه ای | ۶ شبکه ای |
|-----------|-----------|

شکل ۴-۴ نمایی از تحقق ها با شبکه های چندگانه متفاوت

برای رسیدن به تکرار کافی و آماری قابل اعتماد، مجبور هستیم دورترین داده ها را حذف کنیم که خود برابر با استفاده از قالبی کوچکتر است و این نکته علت شباهت میان دو سطر دوم و سوم شکل ۴-۵ را نشان می دهد (Liu,2006).

#### ۴-۵ کمترین تعداد تکرار

همان طور که در بخش قبل گفته شد،  $P(A|B)$  طبق فرمول  $P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)}$  ساخته می شود، که

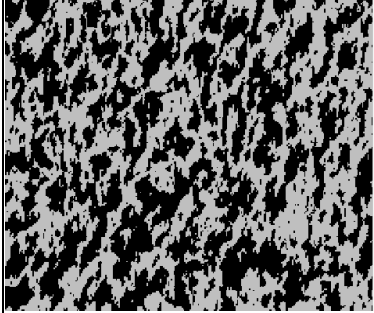
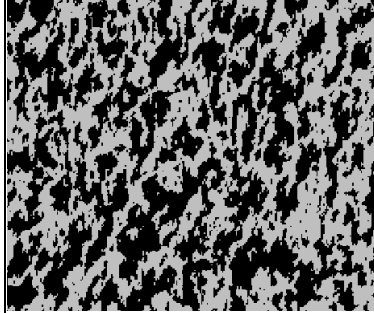
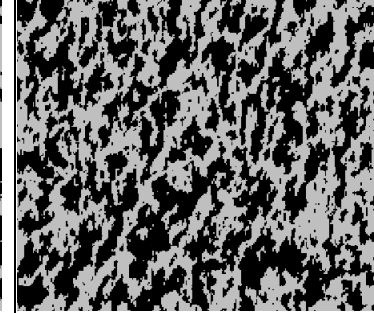
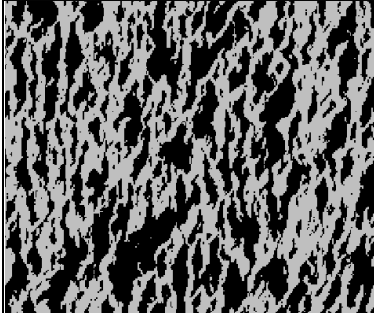
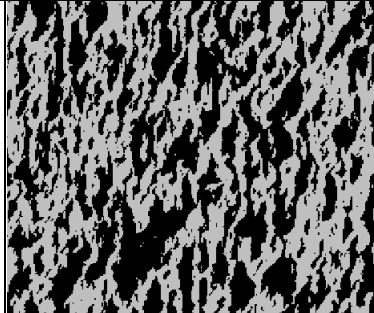
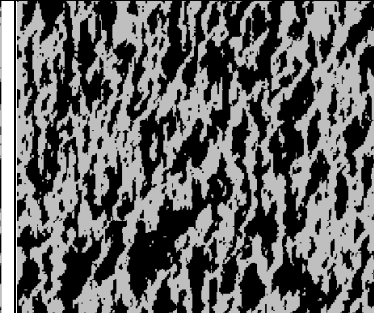
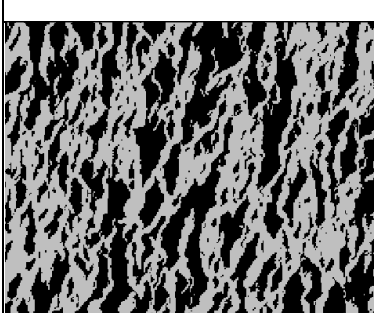
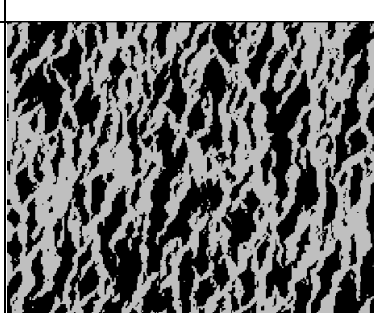
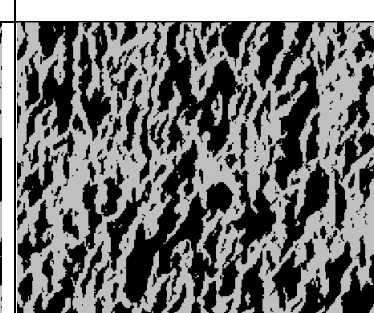
صورت و مخرج کسر نیازمند شمارش تکرارهای دو پیشامد متفاوت می باشد. تعداد تکرارهای هر کدام از پیشامدهای مورد نیاز از روی تصویر آموزشی خوانده می شود. برای تضمین کیفیت محاسبه، باید تکرارهای کافی از پیشامد داده ها وجود داشته باشد، که توسط پارامتر کمترین تعداد تکرار کنترل می گردد. این طور به نظر می رسد که اگر این عدد کوچک باشد، مثلاً (۱) بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس بهتر انجام می گیرد. علت آن، این است که اگر این عدد بزرگ باشد، با توجه به محدود بودن تصویر آموزشی، پیدا کردن این تعداد تکرار (شکل ۴-۵ از چپ به راست) بسیار سخت خواهد بود. بنابراین گره ها کاهش پیدا می کنند و اندازه پیشامد کوچکتر می شود. این حالت، نهایتاً منجر به این نتیجه می گردد که ساختارهای بزرگ مقیاس کمتر گردد و کانال ها پیوستگی خود را از دست می دهند (Liu,2006). هر چند در مورد مطالعه ما، کاهش این عدد از ۱۹ تا ۱ تأثیر چندانی در بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس ندارند.

هر چند، تنظیم این عدد برابر با یک، اثر منفی بر روی تصحیح خود تنظیم سیستم و بروز رسانی بیزین دارد. ممکن است در این حالت تعداد احتمالاتی که برابر با یک یا صفر بدست می آید زیاد باشد، بنابراین



تصحیح انجام نمی‌گیرد و صفر و یک مستقیماً وارد مدل می‌گردد. از این رو پیشنهاد می‌گردد کمترین

تعداد تکرار، عددی مابین ۱۰ تا ۲۰ انتخاب گردد (Liu,2006).

|   |   |  |
|---|---|--|
|    |    |    |
| بیشترین داده شرطی=۹<br>کمترین تکرار=۱   | بیشترین داده شرطی=۹<br>کمترین تکرار=۸   | بیشترین داده شرطی=۹<br>کمترین تکرار=۱۹   |
|   |   |   |
| بیشترین داده شرطی=۲۵<br>کمترین تکرار=۱  | بیشترین داده شرطی=۲۵<br>کمترین تکرار=۸  | بیشترین داده شرطی=۲۵<br>کمترین تکرار=۱۹  |
|  |  |  |
| بیشترین داده شرطی=۶۴  | بیشترین داده شرطی=۶۴  | بیشترین داده شرطی=۶۴   |

|                |                |                 |
|----------------|----------------|-----------------|
| کمترین تکرار=۱ | کمترین تکرار=۸ | کمترین تکرار=۱۹ |
|----------------|----------------|-----------------|

شکل ۴-۵ تحقق های گوناگون با تعداد بیشترین داده های شرطی (۶۴،۲۵،۹) و تکرارهای متفاوت (۱، ۸، ۱۹)

#### ۴-۶ همسایگی جستجو

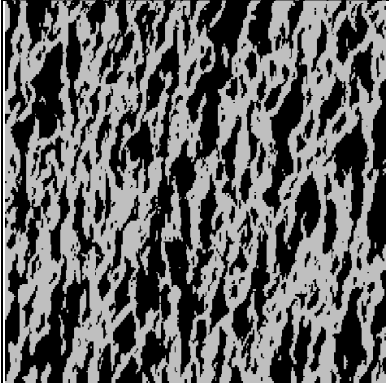
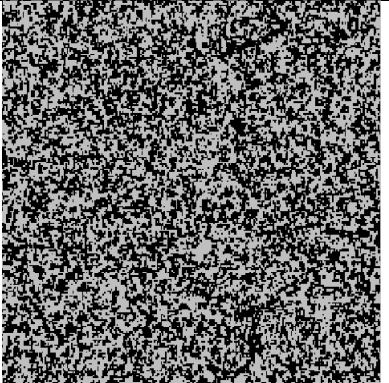
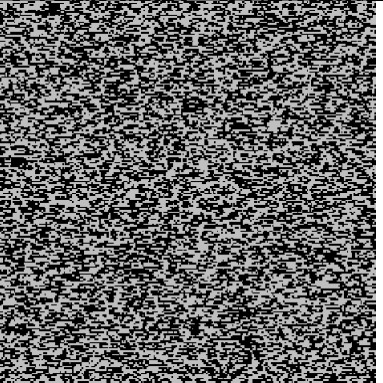
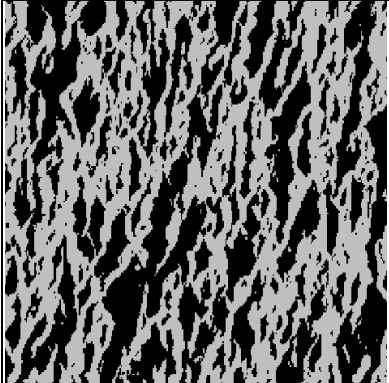
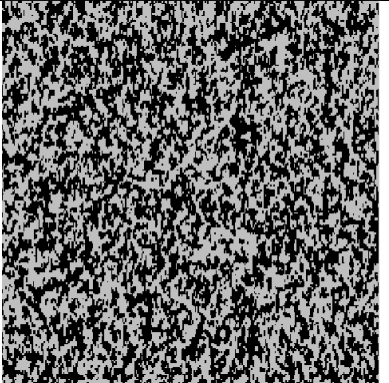
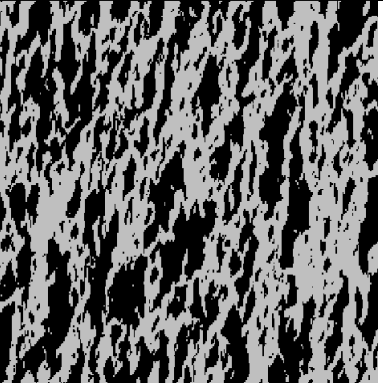
قالب یا الگوی جستجو، مفهومی کلیدی در شبیه سازی چندنقطه ای است. هندسه الگو، تعداد گره ها و آرایش گره<sup>۱</sup>، همگی فاکتورهای مهمی هستند که بر نتایج شبیه سازی اثر می گذارد. در SNESIM، این پارامترها در همسایگی جستجو، خودبخود تعریف می گردند. ابتدا یک بیضوی جستجوی داده، با استفاده از دو دسته از پارامترها محاسبه می شود: بیشترین شعاع جستجو (hx, hy, hz) و زوایای جستجو (sang1, sang2, sang3). همه گره ها در طول بیضوی جستجو بر اساس فاصله هایشان با گره مرکزی رتبه بندی می شوند. بدین صورت که، نزدیک ترین گره، باید ابتدا قرار بگیرد. از این طریق اولین n گره های مشروط، برای تعریف قالب انتخاب می شوند (تعداد بزرگترین داده های شرطی) (Liu,2006). در نتیجه قالب داده، توسط دو دسته پارامتر جستجو تحلیل حساسیت می شود که در زیر بررسی شده است:

#### ۴-۶-۱ شعاع جستجو

از آن جا که مورد بررسی ما دو بعدی است، تنها شعاع در دو جهت  $h_x$  و  $h_y$  را بررسی نمودیم. شکل ۴-۶ اثرات شعاع جستجو را نشان می دهد. این شعاع از ۱۵ تا ۲۸۰ تغییر می کند. در مجموع از ترکیب این اعداد، شش حالت آن نشان داده شده است. قابل مشاهده است که بهترین تحقق هنگامی است که  $h_x=h_y$  در حالی که بدترین تحقق ها، هنگامی است که  $h_x$  و  $h_y$  فاصله ی زیادی از هم دارند. شکل ۴-۷ علت چنین پدیده ای را نشان می دهد. هنگامی که  $h_x=h_y$  قالب به فرم دایره است و برای هر شبکه در شبکه های چندگانه تغییر مقیاس می یابد. از این طریق، علت تحقق های مناسب سه حالتی که این دو عدد با هم

<sup>1</sup> - order nodes

برابرنند توضیح داده می‌شود (شکل ۴-۶). هنگامی که  $hy < hx$  قالب به صورت بیضوی، کشیده می‌شود که بزرگترین محور در راستای X و در حالتی که  $hy > hx$  با بیضوی که در جهت Y کشیده شده است به جستجو می‌پردازد.

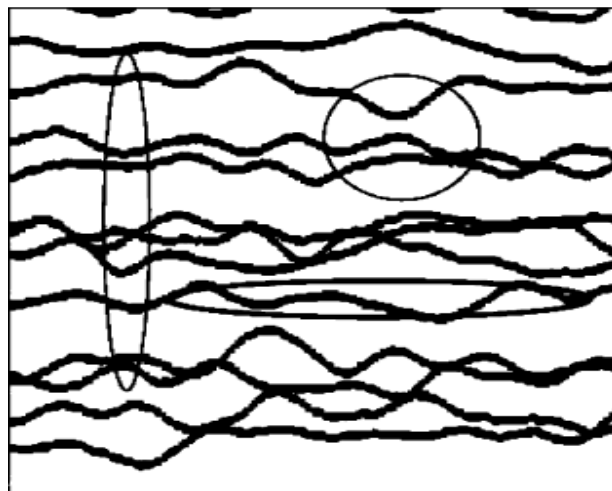
|   |   |  |
|---|---|--|
|    |    |    |
| hx=15,hy=15   | hx=15, hy=110   | hx=15, hy=280  |
|  |  |  |
| hx=110, hy=110  | hx=110, hy=280  | hx=280, hy=280   |

شکل ۴-۶ اثرات شعاع جستجو بر نتایج شبیه سازی

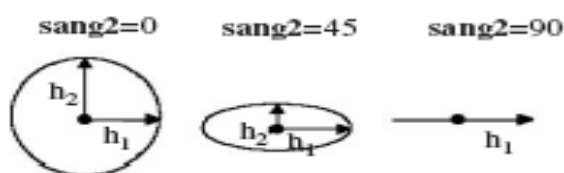
#### ۴-۶-۲ زاویه جستجو (Sang)

سه زاویه جستجو برای زوایای چرخش در یک جهت اصلی جستجو تعریف می‌شود. در این حالت، یک نکته وجود دارد؛ در شبیه سازی دو بعدی، تنها یک زاویه جستجو باید مشخص گردد تا اطمینان از عدم

چرخش سه بعدی ایجاد گردد. برای مثال در مورد دو بعدی در فضای  $x-y$ ، نیازمند آنیم Sang1 را مشخص کنیم و دو زاویه دیگر را صفر قرار دهیم. در غیر این صورت نتایج ناخواسته‌ای تولید می‌گردد و تحقق‌ها اشکالی همچون حالت‌هایی که در شکل ۴-۶ شعاع‌های جستجو با هم برابر نیستند، بازتولید می‌گردد. شکل ۴-۸ اثرات افزودن دو زاویه‌ی جستجو Sang2, Sang3 را در شبیه‌سازی دوبعدی نمایش می‌دهد. می‌توان مشاهده نمود هنگامی که این دو زاویه‌ی جستجو برابر با صفر نیست، دایره‌ی جستجو در صفحه‌ی شبیه‌سازی به بیضوی تبدیل می‌گردد. از این رو قسمتی از ساختارهای در طول یک جهت دیگر به تحقق‌ها افزوده می‌شود و همراه با از دست دادن قسمتی از الگوهای صفحه‌ای در حال شبیه‌سازی است. در حالی که با تغییر تنها یک زاویه Sang1، دایره‌ی جستجو در همان صفحه می‌چرخد و شکلش تغییری نخواهد کرد. بنابراین در این حالت، بازتولید ساختارها تغییر نخواهد کرد (Liu,2006). نتیجه‌ی کلی که به دست می‌آید مشابه نتایج کریجینگ سنتی است: همسایگی جستجوی همسانگرد در قالب‌های شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، ساختارهای پایدارتری را سبب می‌شود. هر چند همسایگی جستجو در این جا با روش دونقطه‌ای کمی متفاوت است، به این صورت که در شبیه‌سازی دونقطه‌ای، اثر حاشیه‌ای بزرگ‌تر است در حالی که در شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، داده‌های دورتر ممکن است دارای اهمیت بیشتر از داده‌های نزدیک باشند (Liu,2006).



شکل ۴-۷ اثرات انیزوتروپی جستجو بر قالب جستجو (Liu, 2006)



شکل ۴-۸ اثرات افزودن دو زاویه جستجو به زاویه اول در صفحه جستجوی دوبعدی (Liu, 2005)

## ۴-۷ نسبت چرخش و مقیاس

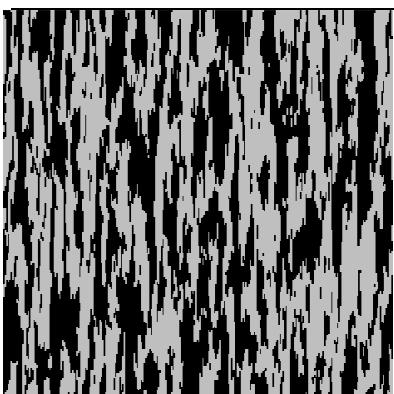
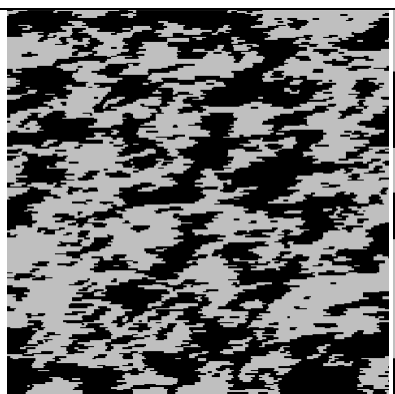
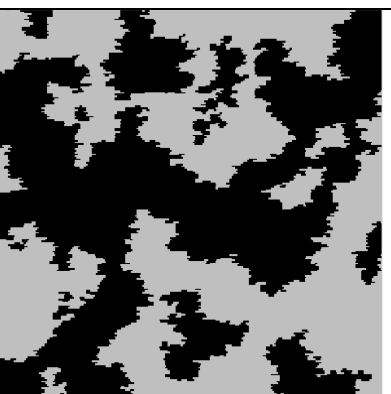
در شبیه‌سازی SNESIM، تصویر آموزشی باید پایا باشد، برای مثال، آماره‌ها باید غیر وابسته به موقعیت باشند. در حالی که در واقعیت مخزن با ناپایایی‌های زیادی روبرو هستیم. در صورتی که از همان تصاویر ناپایا برای ایجاد ناپایی بهره گیریم، نتایج بسیار متفاوت از تصویر آموزشی خواهد بود و میانگین تغییرات اعمال می‌گردد، یعنی الگوهای کمتر و بیشتر تکرار شده، اثری بر شبیه‌سازی بیشتر یا کمتر و تعیین موقعیت آنها، اعمال اثر ندارند و سیستم مشاهده شده در تصویر آموزشی از دست می‌رود (Liu, 2006).

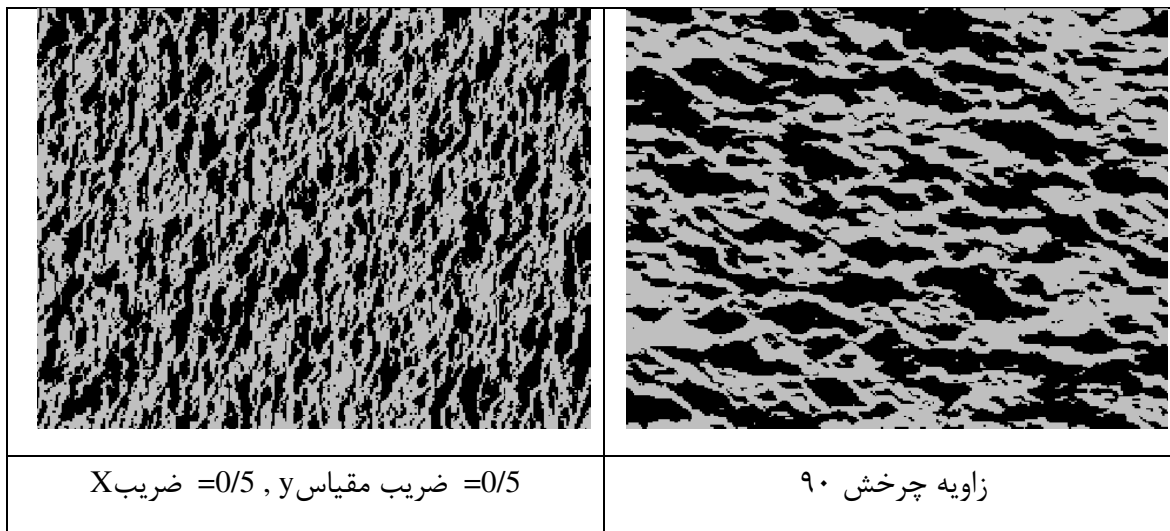
بنابراین باید از تصویر آموزشی پایا به مدلی از مخزن شامل ناپایایی برسیم. برای مثال، در یک مدل شامل کانال‌ها، زاویه کانال‌ها و عرض کانال‌ها می‌تواند تغییر کند. برای فائق آمدن بر این دو مشکل (Zhang,

(Zhang and Journal, 2002) و (2001) پیشنهاد دادند دو سری از اطلاعات وابسته به محل، برای مشروط سازی شبیه سازی استفاده گردد: زاویه‌های چرخش محلی و نسبت‌های مقیاسی که به ترتیب، جهات محلی کانال‌ها و عرض کانال‌ها را در بخش‌های مختلف مخزن کنترل می‌کند (Liu,2006). اثرات قرار دادن نسبت مقیاس و زوایای چرخش را در دو جهت  $x$  و  $y$  بررسی نموده‌ایم که در شکل ۴-۹، مشاهده می‌شود. شرطی نمودن به داده‌های گوناگون در الگوریتم SNESIM در پیوست (ب) آورده شده است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در الگوریتم SNESIM با تنظیم پارامترهای ورودی نتایج بسیار متفاوتی حاصل می‌گردد. از این رو بهینه‌سازی پارامترها مورد نیاز است و موارد و نکاتی که در هنگام تنظیم هر یک از پارامترهای ورودی باید مورد توجه قرار گیرد، به شرح زیر است:

۱. نسبت کلی هدف نباید از نسبت رخساره‌ای تصویر آموزشی بسیار متفاوت باشد. اگر چنین حالتی اتفاق بیفتد، بهتر است ساخت تصویر آموزشی متناسب با نسبت هدف مد نظر قرار گیرد. هنگامی که تمایل به بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس داریم، نسبت بالای خود تنظیم سیستم پیشنهاد نمی‌گردد.

|   |   |  |
|---|---|--|
|  |  |  |
| ضریب $y = 5$ , ضریب مقیاس $X = 1$   | ضریب $y = 0/5$ , ضریب $X = 5$   | ضریب $y = 10$ , ضریب $X = 10$  |



شکل ۴-۹ اثرات نسبت مقیاس سنگ در جهات  $X, Y$  و زاویه چرخش بر نتایج مدل

۲. افزایش تعداد بیشینه داده های شرطی، بازتولید ساختارهای بزرگ مقیاس را بهبود می بخشد، که نیازمند وجود تصویر آموزشی بزرگ و هزینه های حافظه ای بیشتری است.
۳. برنامه به پارامتر کمترین تکرار، آن چنان وابسته نیست، بویژه هنگامی که بروزرسانی بیزین یا خود تنظیم سیستم انجام نمی گردد. در کل عددی حدود ۱۰ تا ۲۰ توصیه می گردد.
۴. شبکه های چندگانه شبیه سازی توصیه می گردد، تعداد این شبکه ها به اندازه ساختارهای بزرگ مقیاس و کشیدگی میدان شبیه سازی وابسته است.
۵. همسایگی جستجو با توجه به تعداد بعدهای ساختارهای در حال بازتولید، تنظیم می شود. در کل پایدارترین حالت، انتخاب بیضوی جستجوی همسانگرد است.
۶. اگر از تصاویر آموزشی متفاوتی در شبکه های چندگانه بهره گیریم، سازگاری ساختارهای (بازتولید شده از) این تصاویر (بویژه در مرزها) باید مدنظر قرار گیرد.
۷. تصاویر آموزشی مورد استفاده نیازمند تصمیم پایایی است.

۸. اطلاعات ناپایا در توزیع رخساره‌ها می‌تواند با تلفیق پارامترهای نسبت چرخش و مقیاس سنگ تولید گردد.

۹. شرطی‌سازی به داده‌های سخت همانند سایر الگوریتم‌های برپایه پیکسل انجام می‌گیرد.

۱۰. شرطی‌سازی به داده‌های نرم از طریق ایجاد نقشه احتمال این داده‌ها انجام می‌گردد. فاکتور وزنی

بزرگتر از ۱ تاثیر این داده‌ها را نسبت به داده‌های سخت افزایش می‌دهد و این نسبت نباید از

صفر کمتر گردد.



## فصل پنجم

شبیه سازی شاخص برای استخراج

آمار چندنقطه ای

## ۵-۱ مقدمه

همانطور که در فصول قبل اشاره شد اغلب تکنیک‌های شبیه‌سازی مرسوم زمین‌آمار، از طریق مدل‌سازی واریوگرام متغیر ناحیه‌ای یا شاخص‌های آن، به محاسبه‌ی آمار دو نقطه‌ای می‌پردازند و قادر به شناسایی سیستم‌های غیرخطی مابین بیش از دو نقطه، که برای مدل‌سازی جریان سیال در کاربردهای نفتی یا طراحی‌ها در معدنکاری، حیاتی است، نمی‌باشد. شبیه‌سازی چند نقطه‌ای روشی برای مقابله با این شرایط است که متغیر گسسته را به کار می‌گیرد، اما هنوز نیازمند مجموعه‌ی عظیمی از داده‌ها است که تصویر آموزشی نام دارد و آمار چند نقطه‌ای به آن نسبت داده می‌شود (Ortiz and Emery, 2004). حجم زیاد داده‌ها، از جهات گوناگون مورد نیاز است؛ ۱- استخراج الگوهای حاکم در منطقه تحت مدل‌سازی در آن بازتاب یابد، بنابراین باید داده کافی برای استنباط آماره مورد نیاز وجود داشته باشد. ۲- معرفی برای این ساختارها و پیوستگی‌های خطی و غیرخطی این نقاط باشد. افزون بر این، پراکندگی آن باید طوری باشد که تعداد تکرار الگوها، به اندازه‌ی کافی برای شمارش در چندین نقطه وجود داشته باشد (Ortiz and Emery, 2004).

برداشت آمار چندنقطه‌ای، مسئله بزرگی است و نیازمند در اختیار داشتن داده‌هایی متراکم، در گستره‌ی وسیعی است. در عمل، این مشکل با بکارگیری تصویر آموزشی حل می‌شود (Ortiz and Emery, 2004). تصویر آموزشی، خود نیازمند تصمیم‌گیری در مورد پایایی یا بکارگیری روش‌هایی برای ایجاد تصویر آموزشی پایاست که هنوز به عنوان یکی از نیازهای اولیه این رویکرد برای مدل‌سازی مناسب، محسوب می‌گردد.

بکارگیری شبیه‌سازی زمین‌آمار سنتی برپایه کریجینگ نیازمند آمار همیشه مثبت یا سازگار است (Ortiz and Deutsch, 2004). بعلاوه، فرآیند مدل کردن واریوگرام، بعنوان روشی پیچیده و بیشتر وابسته

به نظرات شخصی (رجوع شود به فصل سوم) محسوب می‌گردد که با وجود مدل شدن مناسب نیز، نمی‌تواند بسیاری از مشخصات حیاتی متغیر را تبدیل نماید. در این فصل، با بکارگیری دو روش شبیه سازی چند نقطه‌ای و شبیه‌سازی شاخص پی‌درپی و ایجاد داده‌های مصنوعی در یک مورد مطالعاتی در مخزن، به مقایسه‌ای میان نتایج آنها می‌پردازیم تا تفاوت‌های این دو رویکرد را در مواجهه با ناهمگنی‌های غیرخطی به نمایش گذاریم و اثرات تعداد داده‌های شرطی را در هر کدام بررسی می‌کنیم.

## ۵-۲ شبیه سازی شاخص پی در پی و چند نقطه ای

بکارگیری الگوریتم شبیه‌سازی چند نقطه‌ای و مقایسه‌ی مناسبی با روش‌های مرسوم همچون شاخص پی‌درپی، نیازمند وجود شرایطی همچون موارد زیر است:

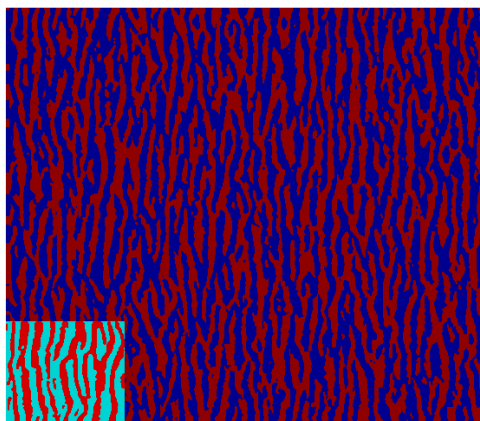
۱- انتخاب منطقه‌ای که پدیده‌هایی همچون درزه و اشکال پیچیده در آن موجود و غالب باشد.

۲- برداشت طرحی شماتیک از قسمتی یا کلّ منطقه‌ی تحت مطالعه به عنوان داده‌ی آموزشی

۳- داده‌هایی که بتوان از آن‌ها به عنوان داده‌های چاه در شرطی سازی مدل استفاده نمود

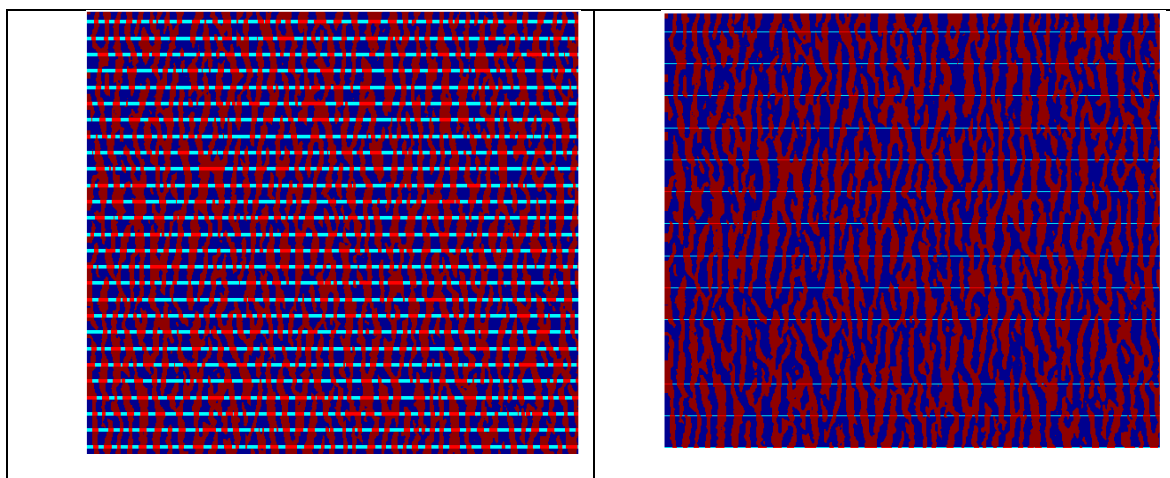
۴- وجود داده‌هایی مطابق با واقعیت برای اعتبار سنجی و مقایسه مدل‌های ساخته شده

لذا؛ برای داشتن الگوها و ساختارهای منحنی شکل بعنوان مورد مناسب شبیه‌سازی چند نقطه‌ای، تصویر کوچکتر (گوشه سمت چپ و پایین) شکل ۵-۱ انتخاب شد. برای دستیابی به تصویر آموزشی مناسب، شبیه‌سازی غیر شرطی با استفاده از الگوریتم SNESIM و تصویر مورد نظر انجام شد و شبکه‌ای با ابعاد ۴ برابر تصویر اولیه هدف قرار داده شد (شکل ۵-۱). تحقق به دست آمده به عنوان مقطعی واقعی از مخزن فرض شده است. لذا، اعتبار سنجی نهایی نسبت به آن سنجیده شده و نمونه‌ها از این تحقق برداشت شده است. سپس در راستای رسیدن به نمونه‌های واقعی، ابتدا ۱۴ چاه افقی فرضی در این منطقه ترسیم شد و در مرحله‌ی بعد، تعداد چاه‌ها برابر با ۲۷ چاه در نظر گرفته شد که در شکل ۵-۲ قابل مشاهده است.



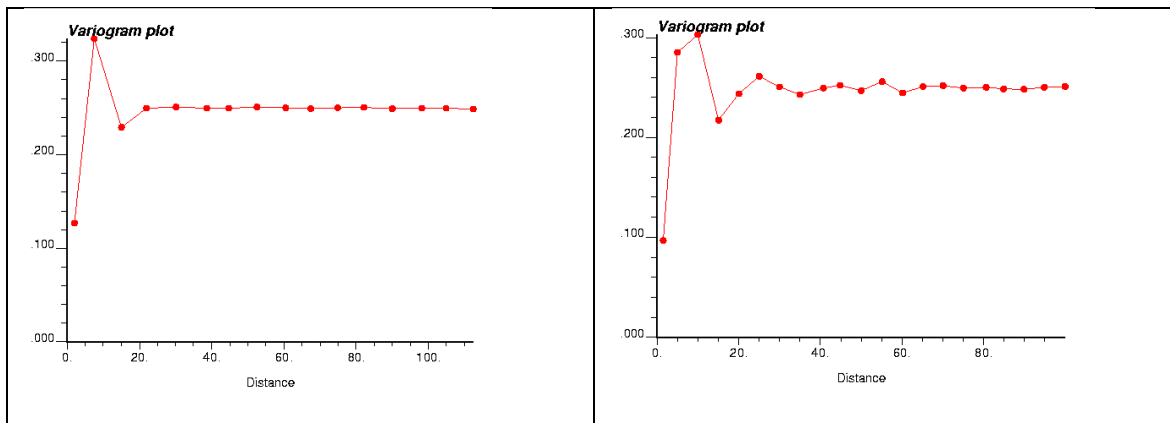
شکل ۵-۱ تصویر دارای الگوهای غیرخطی (تصویر کوچک سمت چپ-پایین) و تصویر آموزشی (شبکه بزرگتر) که بعنوان واقعیت فرض شده است

از آنجا که SIS نیازمند به مدل کردن واریوگرام است، در هر دو سری از داده ها (۲۷ چاه و ۱۴ چاه) واریوگرام ترسیم و در شکل ۵-۳ نشان داده شده است (Rezaee et al, 2011).



شکل ۵-۲ موقعیت ۱۴ چاه افقی فرضی برای شرطی نمودن مدل شبیه سازی در سمت راست و مدلی با ۲۷ داده شرطی در سمت چپ، نمایش داده شده است

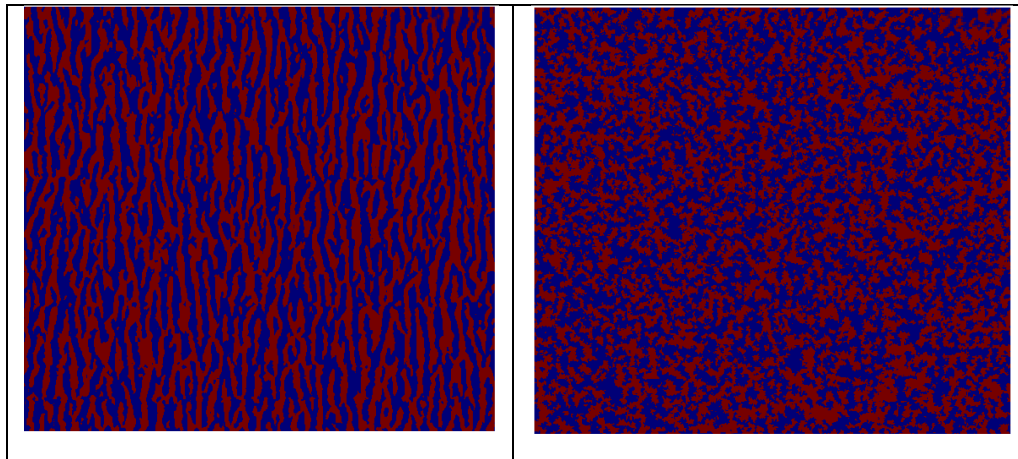
در این مرحله با استفاده از نمونه های شرطی سازی، پارامترهای به دست آمده از واریوگرام، شبیه سازی شاخص پی در پی انجام گرفت.



شکل ۳-۵ واریوگرام حاصل از چاه ۱۴ در سمت راست و چاه ۲۷ در سمت چپ

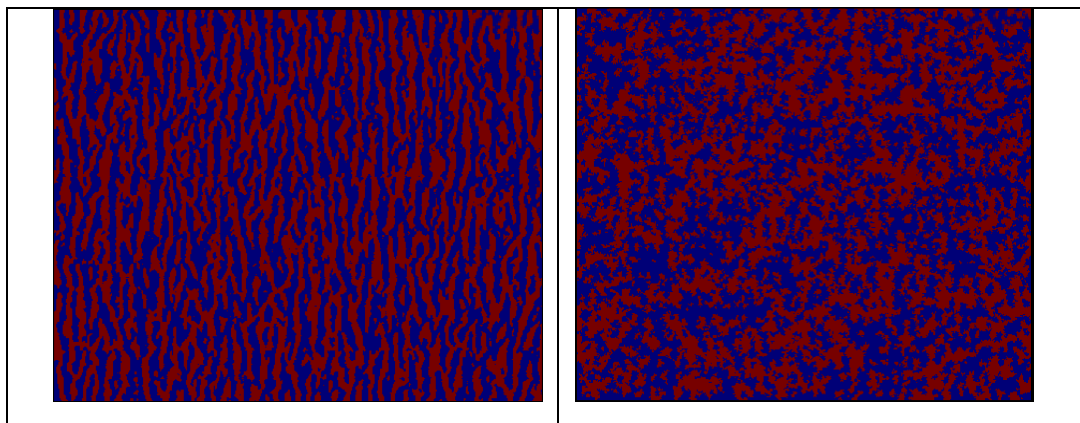
در مرحله بعد، از پارامترها و داده های موجود برای اجرای الگوریتم شبیه سازی چند نقطه ای استفاده شده و ۱۰۰ تحقق برای این شبیه سازی به دست آمد. لازم به توضیح است که نسبت های کانالی تولید شده، از هر یک از تحقق ها، بسیار نزدیک به تصویر آموزشی و واقعیت مخزن به دست آمد. در شبیه سازی شاخص پی در پی، این نسبت میانگینی برابر با ۰/۴۶ و در شبیه سازی چندنقطه ای ۰/۴۸ و نسبت کانالی تصویر آموزشی ۰/۴۷ است. مقدار میانگین مقادیر به دست آمده از همه تحقق ها در هر نقطه ای مشخص، مورد بررسی قرار گرفت تا نقشه ی احتمال Etype map هر یک از دو رویکرد به دست آید و سپس با در نظر گرفتن نسبت حدی ۰/۵، نقشه دو رخساره ای این احتمالات ترسیم شد که نتایج این فرایند در شکل ۴-۵ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می گردد، نتایج کاملاً متفاوتی از هر یک از الگوریتم ها به دست آمده است. بازتولید ساختارهای کانالی SNESIM کاملاً آشکار به نظر می رسد و پیوستگی آنها در حد بالایی دیده می شود، در حالی که از طرف دیگر ساختارهای ناپیوسته ضعیفی در نقشه SIS مشاهده می گردد.

با مشاهده الگوهای ناپیوسته و بسیار کم اثری که در SIS مشاهده می‌گردد، در مرحله بعد، فرایند شبیه‌سازی شرطی همانند مراحل قبل با ۲۷ دسته داده‌های نمونه‌برداری چاه، تکرار شد. در شکل ۵-۵ نمونه‌ای از این تحقق‌ها برای هر دو روش آورده شده است. همانطور که در این شکل نیز دیده می‌شود.



شکل ۴-۵ نقشه دو رخساره ای حاصل از نقشه Etype map، در سمت چپ SNESIM و در راست SIS قرار دارد.

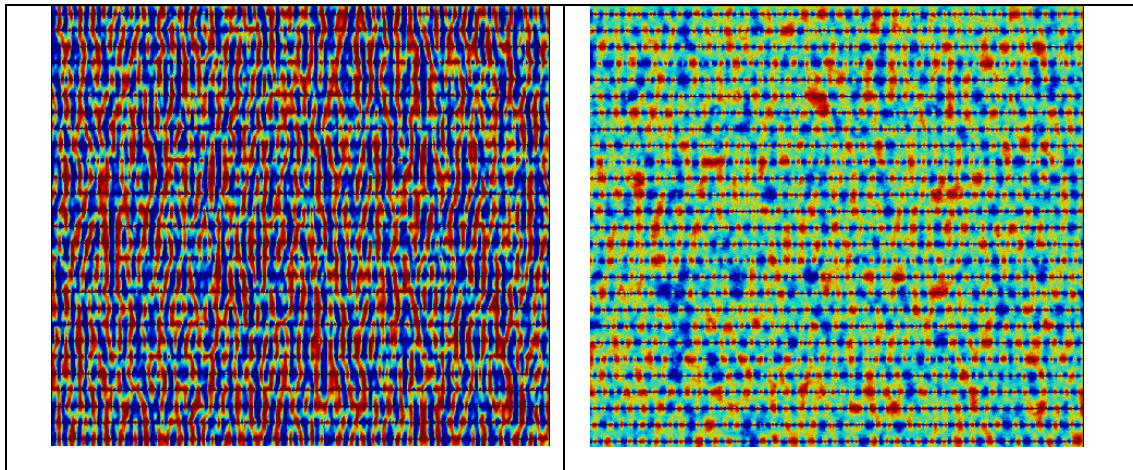
قدرت الگوریتم SNESIM در بازتولید ساختارهای تصویر ورودی، حکایت از توانایی این روش در مدل‌سازی چنین ساختارهایی دارد در حالی که در نقطه‌ی مقابل، در جهت رسیدن به این هدف، ضعف روش شاخص پی در پی کاملاً مشهود است. با ترسیم نقشه Etype map و مقایسه‌ی آنها در شکل ۵-۶ نیز، می‌توان به نتایج مشابهی دست یافت (Rezaee et al, 2011).



شکل ۵-۵ نمونه ای از تحقق حاصل از شبیه سازی SNESIM در سمت چپ و SIS در سمت راست، با ۲۷ داده شرطی

### ۳-۵ مقایسه نتایج

همانطور که اشاره شد، نقشه‌ی شبیه‌سازی شده غیر شرطی شکل ۵-۱ را می‌توان مطابق با واقعیت فرض نمود و به عنوان داده‌های اعتبار سنجی مدل در نظر گرفت (داده‌های نمونه نیز از آن برداشت شده است). می‌توان با مقایسه‌ی همه نقاط و گره‌های متناظر حاصل از نقشه‌ی دو رخساره‌ای (هر دو روش شبیه‌سازی) در دو حالت ۱۴ داده شرطی و ۲۷ داده شرطی، به همبستگی (هر یک از روش‌ها) با مدل واقعی دست یافت. نتایج زیر از مقایسه‌ی هر یک از این همبستگی‌ها به دست آمده است:



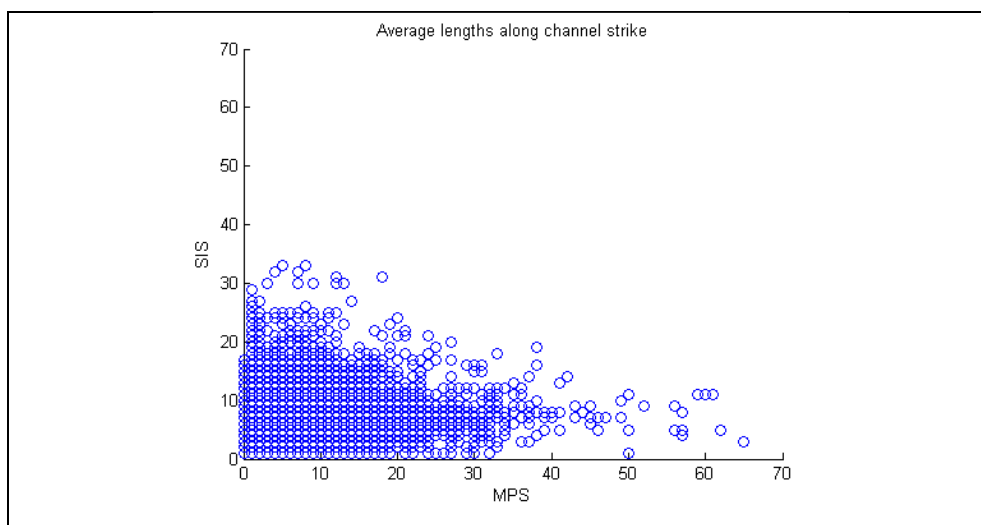
شکل ۵-۶ نقشه Etype map برای شبیه‌سازی آمار چندنقطه‌ای در چپ و برای شاخص پی در پی در سمت راست

۱- همبستگی در حالتی که از ۱۴ نمونه استفاده شده است، در *SIS* برابر با ۵۰٪ و در روش چند نقطه‌ای ۵۱٪ به دست آمده است.

۲- در حالتی که از ۲۷ داده برای شرطی‌سازی استفاده شده است، در *SIS* ۶۵٪ و *MPS* ۶۷.۵٪ همبستگی، از نقاط مطابق با واقعیت تولید شده است.

۳- هر چند اختلاف چندانی میان همبستگی هر یک از دو روش مورد استفاده به چشم نمی‌خورد، نکته قابل توجه در بازتولید بسیار قدرتمند الگوها در روش چند نقطه‌ای نسبت به روش بر پایه‌ی واریوگرام است.

برای کمی‌سازی نسبت بازتولید الگوها و مقایسه عددی پیوستگی کانال‌ها، برنامه‌ای در نرم‌افزار Matlab نوشته شده است که میانگین پیوستگی کانال‌ها در طول امتداد کانال‌ها، مبنای مقایسه قرار می‌گیرد. این فاکتور عددی در راستای محور  $y$  که امتداد کانال‌ها در آن راستا قرار دارد، محاسبه و در شکل ۷-۵ رسم شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، پیوستگی و امتداد کانال‌های تحقق‌های شبیه‌سازی چندنقطه‌ای بسیار بهتر از نتایج SIS می‌باشد.



شکل ۷-۵ اندازه میانگین کانال‌ها در راستای امتداد حاصل از دو روش شبیه‌سازی جهت مقایسه

#### ۴-۵ نتیجه‌گیری

در مقایسه‌ی مابین این دو روش می‌توان گفت که قوت روش شبیه‌سازی چندنقطه‌ای در بازتولید اشکال پیچیده در قالب مثالی کاملاً منعکس شده است. این در حالی است که با استفاده از روش SIS نمی‌توان بسیاری از خصوصیات محیط‌هایی شبیه کانال‌ها و توالی‌های غیر یکنواخت را به تصویر کشید و ساختارها نادیده گرفته می‌شوند (حداقل قسمتی از ساختارها) و بازتولید ضعیفی از آنها انجام می‌گیرد. بنابراین از چنین روش‌هایی نمی‌توان در زمینه‌هایی که پارامترهایی بحرانی و تاثیرگذار غیرخطی در زمین حاضر است، استفاده نمود. نهایتاً استفاده از رویکردهایی که بتوان از طریق آنها آمار چندنقطه‌ای و ارتباط نقاط



گوناگون جریان سیال را به طور همزمان استخراج نمود، جهت پیش‌بینی و برداشت صحیحی از جریان سیال ضروری به نظر می‌رسد.

## فصل ششم

مدل سازی رخصاره ای مخزن بروش

زمین آمار چندنقطه ای

## ۱-۶ مقدمه

در این فصل، با استفاده از ابزار شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، به شبیه‌سازی رخساره‌ای یکی از میادین نفتی با توزیع رخساره‌ای پیچیده خواهیم پرداخت. توالی چینه‌ای بدست آمده از اطلاعات مغزه و گرده‌افشانی شناسی<sup>۱</sup>، محیطی دلتایی-آبرفتی- ساحلی را برای رسوبات میدان سروش بیان می‌کند. در ادامه به معرفی میدان، بررسی نتایج رویکرد چندنقطه‌ای و مقایسه آن با روش‌های با قدمت بیشتر پرداخته شده است.

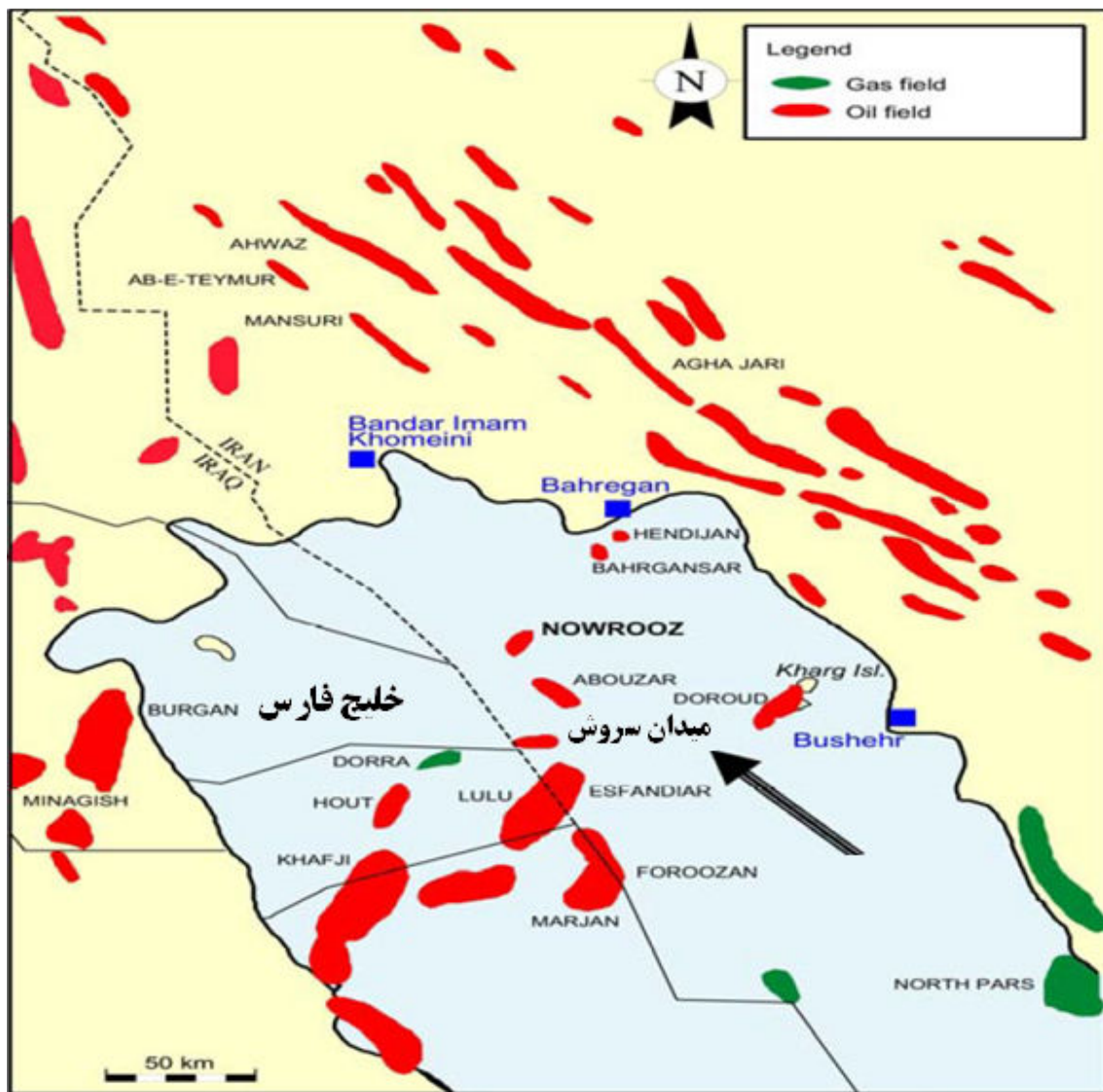
## ۲-۶ موقعیت جغرافیایی و مشخصات میدان سروش

میدان نفتی سروش در بخش شمال غربی خلیج فارس و در ۸۰ کیلومتری غرب جزیره‌ی خارک قرار دارد. در شمال این میدان، میدان ابودر واقع شده است و میدان نوروز نیز با فاصله‌ای در حدود ۵۰ کیلومتر از سروش قرار گرفته است. شکل ۱-۶ موقعیت میدان سروش را نمایش می‌دهد. این میدان تاقدیسی، راستای شرقی-غربی دارد و در نزدیکی مرز آبی ایران و کویت قرار گرفته است (Shell, 2003). در شکل ۲-۶ نمایی از مقاطع در جهات گوناگون برای افق بورگان B این میدان آمده است. (این شکل از بارگذاری داده‌ها<sup>۲</sup> در نرم‌افزار *SGEMS* بدست آمده است.) همانطور که مشاهده می‌شود، هندسه فضایی میدان، تاقدیس را نشان می‌دهد. شعاع میانگین ۸ کیلومتر و وسعت ناحیه میدان تقریباً ۲۱۱ کیلومتر مربع است (نخعی، ۱۳۸۸). بیشترین ضخامت لایه مخزنی تا نزدیک ۸۰ متر خواهد بود. بزرگ‌ترین یال موجود در آن نزدیک به ۲۳ کیلومتر در جهت X و ۱۸ کیلومتر در جهت Y و فاصله نقطه رأس آن از بیشترین عمق کمتر از ۶۰۰ متر است.

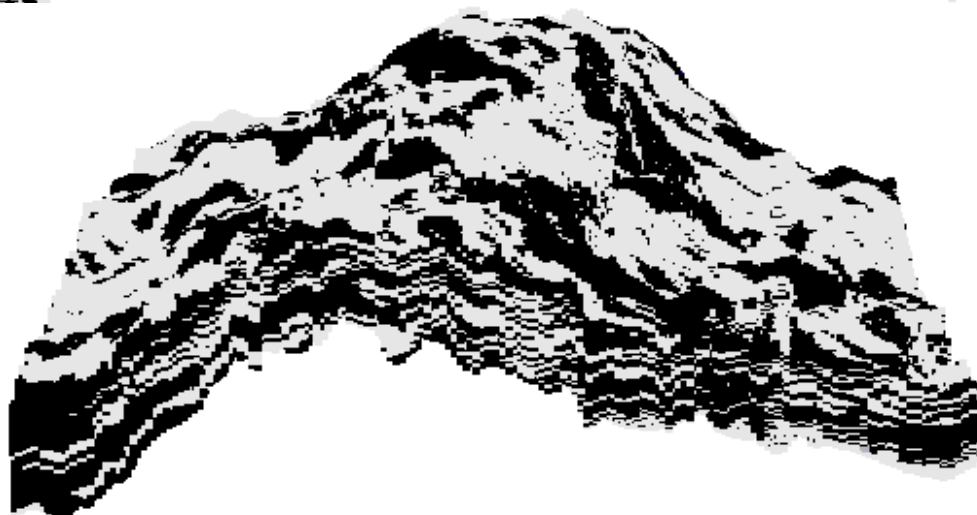
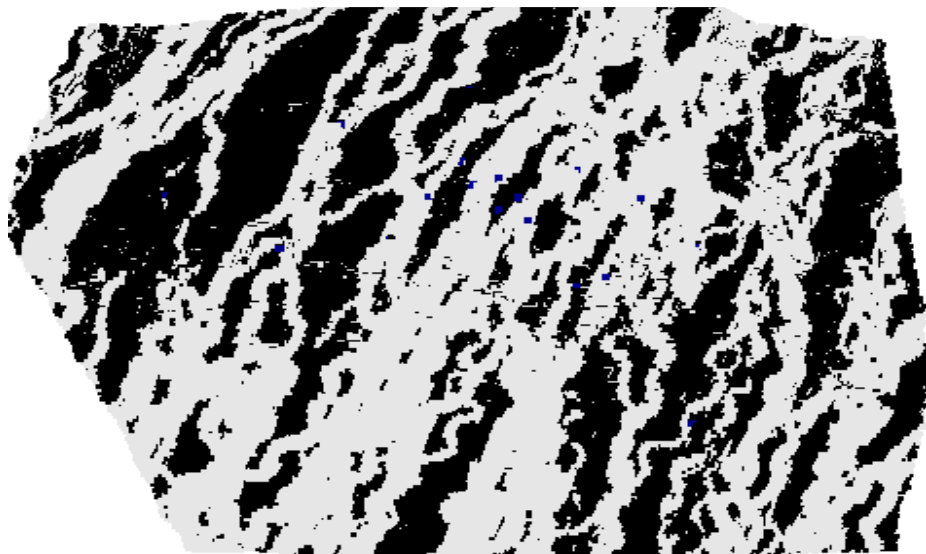
---

### 1-Palynology

۲- این داده‌ها از طریق شبیه‌سازی برپایه شی بدست آمده که از شرکت ملی نفت فلات قاره گرفته شده است.



شکل ۶-۱ موقعیت جغرافیایی میدان سروش (Shell, 2003)



شکل ۶-۲ نمایی از مقاطع XY (تصویر بالایی)، XZ (تصویر میانی) و YZ (تصویر پایینی) افق بورگان B میدان سروش

## ۶-۲-۱ مجموعه های چینه شناسی، سنگ شناسی و ساختاری

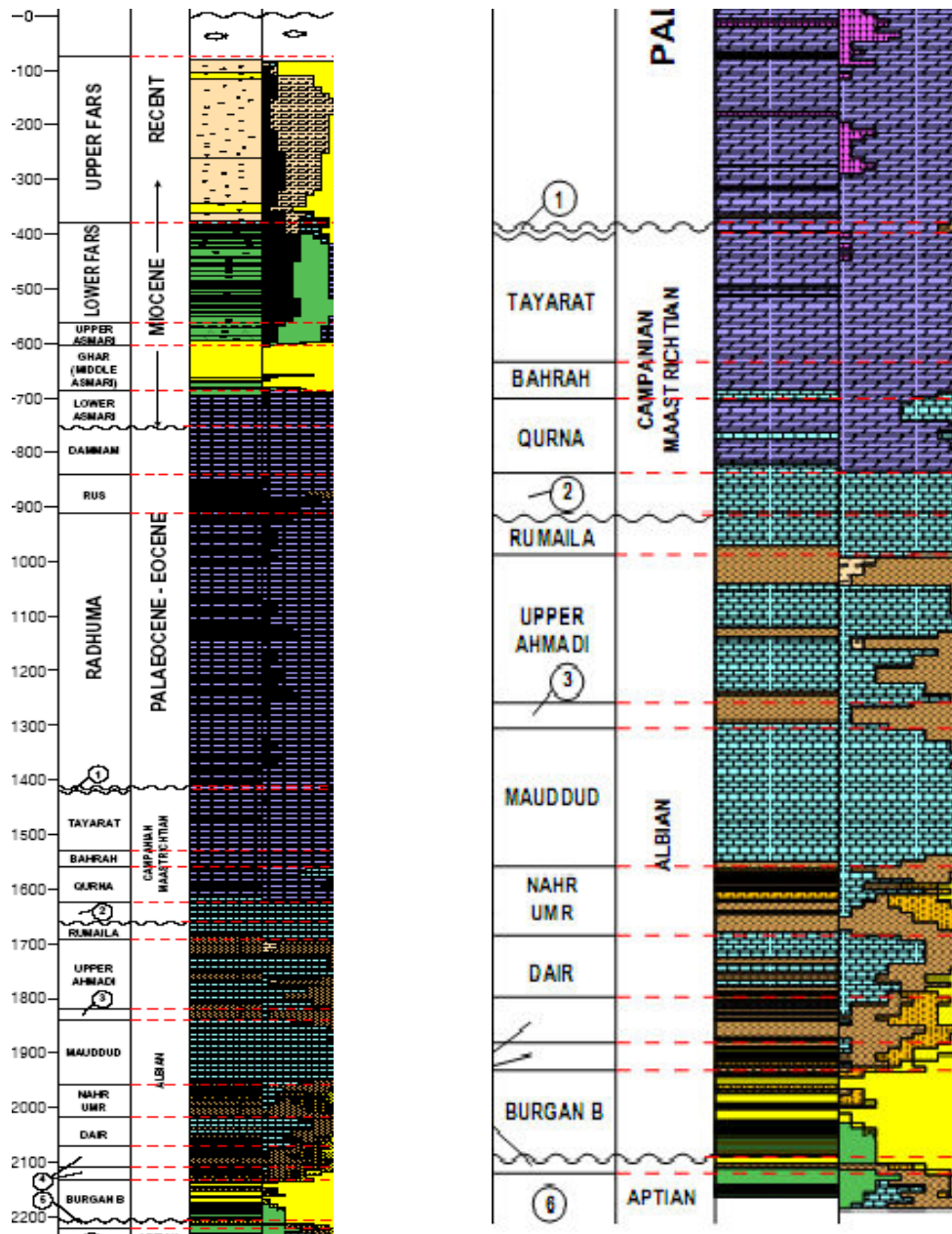
سازندهای مختلفی از شعیب بالایی تا فارس بالایی با سنهایی از آپتین و آلبین تا عهد حاضر در این میدان وجود دارد. لایه‌ی نفت ده میدان، در افق بورگان B<sup>۱</sup> (کژدمی) و در مخزن ماسه سنگی واقع شده است و سن آن کرتاسه میانی است. دانه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها، از ماسه با دانه متوسط و جورشدگی خوب در پایین، تا ماسه های درشت بالایی است که غنی از کواتز است. ماسه های بالایی که متخلخل و با تراوایی بالا است از لحاظ ظرفیت نفت‌دهی از اهمیت بیشتری برخوردار است (Shell, 2003).

شکل ۶-۳ نقشه‌ای از ستون‌های سنگی و سازندهای گوناگون منطقه در میدان سروش را نشان می‌دهد که از نمودارهای چاه و آنالیزهای مغزه چاه شماره ۲۱ میدان برداشت شده است. در ستون سنگی به ترتیب از پایین (عمق بیش از ۲۲۵۰ متر)، سنگ‌های آهک دولومیتی و مارن شعیب بالایی (داریان) و سنگ‌های آواری (شیل پیریتی) و سیلت با سن آپتین در این سازند قرار دارند. بر روی این سازند، سازند گژدمی (بورگان) همراه با ماسه سنگ‌های با سیمان کلسیتی، میان لایه‌هایی از کوارتزیت دانه متوسط تا درشت، شیل کلسیتی، شیل زغالی غیر کلسیته نرم، و در بورگان A علاوه بر اینها سنگ آهک دولومیتی و گچی نیز دیده می‌شود. بر روی آنها بخش آهکی دیر و سپس سازندهای نهرامر، مادود، احمدی، ... آسماری، غار و در نهایت، فارس قرار دارند (Shell, 2003).

در نتیجه‌ی فعال شدن و پیشرفت ناحیه‌ای سیستم گسلش زیرزمینی، در کرتاسه میانی و اواخر آن، رشد ساختاری مجددی، بوجود آمده است. در کل می‌توان برای اغلب گسل‌های منطقه و میدان جهت شمال

شرق-جنوب غرب (SW-NE) را مربوط به رشد چین ساختارهایی در راستای فشار اصلی برآورد کرد

(Shell, 2003).



شکل ۳-۶ نقشه ستون‌های سنگی و سازندهای گوناگون میدان سروش که از نمودارهای چاه و آنالیزهای مغزه چاه شماره ۲۱ میدان حاصل شده است (Shell, 2003).

### ۲-۲-۶ تعیین جنس سنگ

با آنالیز داده‌های چاه‌های ۱۶ و ۱۷ موجود در میدان، نه گونه سنگ در سازند بورگان B تعریف شد. این ۹ گونه سنگ، در قالب هفت دسته، که دارای خصوصیات مخزنی مخصوص خود هستند تقسیم می‌شوند (Shell, 2003). جدول ۱-۶، این ۹ گونه سنگ مختلف را به همراه تحلیل کیفیت مخزنی آن نشان می‌دهد. یکی از پارامترهای این دسته‌بندی سنگ در ۷ گروه مختلف، در ستون آخر دیده می‌شود. این پارامترها پس از انجام تصحیحات محیطی لازم بر نمودارهای چاه و از تفسیر و ترکیب این نمودارها با یکدیگر، استخراج شده است (Shell, 2003).

جدول ۱-۶ دسته بندی سنگها از حیث خصوصیت مخزنی (Shell, 2003)

| نوع سنگ | توصیف سنگ                    | کیفیت مخزنی    | VSH(GRNorm)% |
|---------|------------------------------|----------------|--------------|
| ۱       | ماسه های غیرمتراکم و شل      | عالی           | <10          |
| ۲       | ماسه های تمیز و حجیم         | خوب            | 10-30        |
| ۳       | ماسه و رس بستر               | خوب            | 10-60        |
| ۴       | ماسه، سیلت و رس متورق        | متوسط تا پایین | 10-80        |
| ۵       | ماسه، سیلت و رس هیدروتوربیده |                | 60-80        |
| ۶       | ماسه و سیلت رسی              |                | >80          |
| ۷       | شیل سیلتی                    | غیر مخزنی      |              |
| ۸       | ماسه و آهک سیمانی            | غیر مخزنی      |              |



|   |                                 |           |
|---|---------------------------------|-----------|
| ۹ | زغال سیلتی و قلوه سنگ های زغالی | غیر مخزنی |
|---|---------------------------------|-----------|

### ۳-۲-۶ تحلیل های زیست محیطی سنگی

تحلیل های چینه شناسی و داده های مغزه و گرده شناسی، و بررسی تغییرات جانبی آنها، بین گروه های سنگی توسط شرکت نفت ایران، محیطی دلتایی، آبرفتی و جلگه ای را برای نهشته های این میدان بیان می کند که جدول ۲-۶ به صورت خلاصه بیانگر این محیطها است. از نتایج تحلیل های محیط زیستی رخساره های موجود در سازند بورگان و میدان سروش، وجود سیستم های آبراه های رودخانه ای و اشکال غیر خطی مسلم است.

جدول ۲-۶ محیط زیست های سنگی (shell, 2003)

| نوع سنگ |   |   |   |   |   |   |   |   |                                  |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------------|
| ۹       | ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | محیط سنگی                        |
|         | × |   | × | × | × | × |   |   | سیستم های رسوبات ساحلی           |
|         | × | × |   |   |   |   |   |   | رسوبات دریایی و سیلابی           |
| ×       |   |   | × | × | × | × |   |   | دشت های ساحلی / سیستم های دلتایی |
|         |   |   |   |   |   |   | × |   | نهشته های درون شیاری ۲           |
| ×       |   |   |   |   |   |   |   | × | نهشته های درون شیاری ۱           |

### ۳-۶ تحلیل داده ها قبل از مدل سازی

آمادگی جهت انجام مدل سازی، طی مراحل زیر انجام شده است:

۱- تعریف شبکه‌ای منظم جهت شبیه‌سازی

۲- کدبندی دوتایی داده‌ها

۳- تعیین نسبت‌های هدف و سایر پارامترهای شبیه‌سازی

۴- ساخت تصویر آموزشی مناسب

### ۶-۳-۱ تعریف شبکه‌ای منظم جهت شبیه‌سازی

برای انجام مدل‌سازی، نیازمند شبکه منظمی از سلول‌ها می‌باشیم. تعریف چنین شبکه‌ای از چند جهت قابل بررسی است: الف- ابعاد شبکه ب- مرتب‌سازی سلولها ج- ابعاد سلولها

#### الف- ابعاد شبکه

با بررسی مدل فضایی تاقدیس میدان سروش، شکل ۶-۲، ضخامت لایه‌های مخزنی، ناچیز بنظر می‌رسد. با این وجود، این ضخامت کم در ابعاد صدها متر ارتفاع، گسترده شده است و طول و عرض زیاد تاقدیس (چند کیلومتر)، هزینه و وقت بسیاری را جهت تعریف سلولهای کافی متحمل می‌کند.

#### ب- مرتب‌سازی سلولها

از طرفی داده‌های گرفته شده از شرکت نفت بعنوان مدل تصویر آموزشی، که از شبیه‌سازی بروش برپایه شی بدست آمده است، خروجی نرم‌افزار petrel2010 و شامل مختصات نقاط و کدهای رخساره‌های آن است. با توجه به حجم میدان نفتی که در طول و عرض ده‌ها هزار متر گسترده است، این داده‌ها جهت استفاده در این پایان نامه، نیازمند مرتب‌سازی در ستون‌ها و سطرها (جهت منظم سازی) است. برای پردازش چنین شبکه‌ای در هر مرحله، با میلیاردها داده در کل محدوده سروکار خواهیم داشت.

#### ج- ابعاد سلولها

با تعریف شبکه دیگری از سلول‌ها با ابعاد بزرگتر، تا اندازه‌ای که بتواند از حجم فرآیندها به میزان قابل قبولی بکاهد، قسمتی از الگوها و ساختارهای موجود از بین رفته و بخوبی به مدل انتقال نمی‌یافت. از این رو

تصمیم بر آن شد از قابلیت تغییر محورهای مختصات نرم افزار Petrel استفاده شود. با تبدیل محورهای مختصات، شبکه منظمی از داده‌ها و سلول‌ها برای شبیه‌سازی چندنقطه‌ای بدست آمد (بخش ۶-۳-۳). با داشتن محورهای جدید، ارتباط محور قائم جدید که به صورت رویه‌ای بر روی سطوح فضای میدان واقعی می‌باشد، با محور قائم واقعی بررسی نشده است و تنها می‌توانیم شبیه‌سازی دوبعدی را در هر لایه و بصورت جداگانه انجام دهیم. در این شبیه‌سازی که بر پایه تصویر آموزشی است، در صورت امکان دستیابی به داده‌های سخت و نرم، به تولید مدل شرطی خواهیم پرداخت.

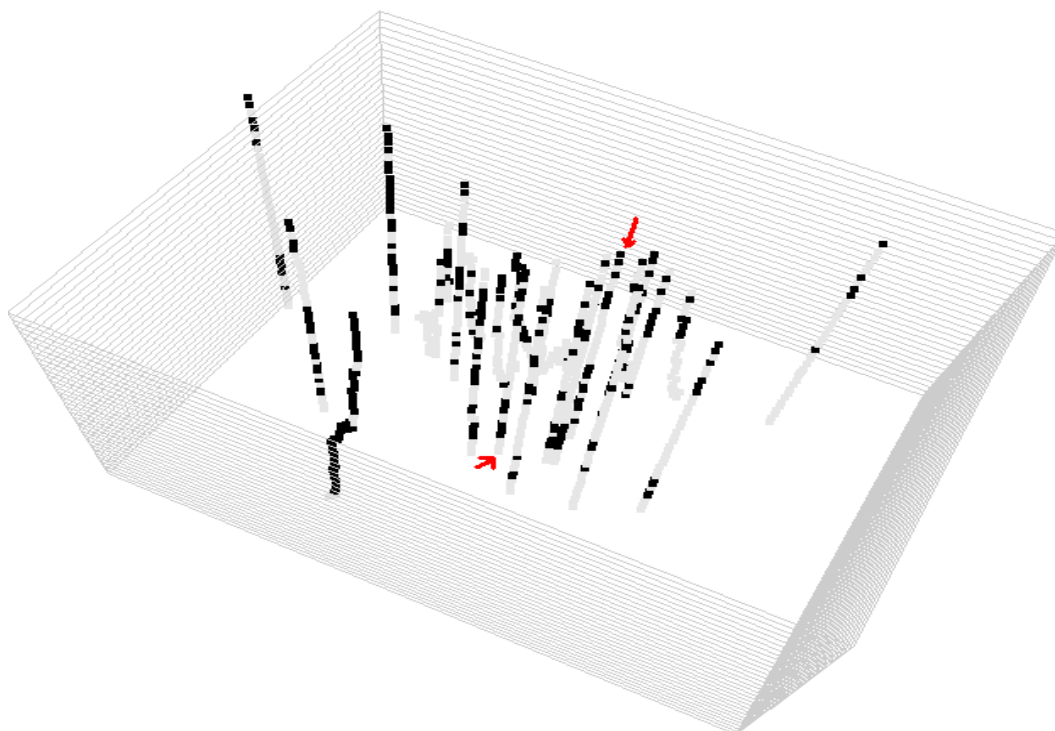
### ۶-۳-۲ کدبندی رخساره‌ها به صورت دو(رخساره ته نشست)تایی

همانطور که در بخش ۶-۲-۳ و ۶-۲-۴ اشاره شد، رخساره‌های سنگی و ته نشست موجود در این میدان متنوع هستند و در حال حاضر، نیازی به ساخت چنین مدل متنوعی از رخساره‌ها احساس نمی‌شد. برای سادگی مدل و تحلیل آن، دو رخساره (رسوبی) کلی مناسب و نامناسب مخزن در نظر گرفته شد. با توجه به خصوصیات رخساره‌های سنگی، ۳ گروه سنگی که از حیث خصوصیات مخزنی مناسب بودند در یک گروه رخساره ته نشست (ماسه‌های کانالی و رسوبات جزر و مدی- دلتایی) با کد (۱) و سایر گروه‌های سنگی بعنوان رخساره نامناسب، با کد (۰) در نظر گرفته شد. توسط چنین توزیع دوجمله‌ای، داده‌ها و تصویر آموزشی دو رخساره‌ای حاصل شده است. در این فصل، تمامی کدهایی که به رخساره‌ها و نمونه‌ها اختصاص داده می‌شوند، بر این اساس دسته‌بندی شده است.

### ۳-۳-۶ پارامترهای مورد نیاز شبیه سازی

#### ۱-۳-۳-۶ نسبت‌های هدف (Net to gross ratio)

مختصات ۱۶ چاه از ۲۷ چاه میدان سروش که بعنوان داده مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول ۳-۶ و موقعیت همه چاه‌ها در تصویر ۴-۶ نشان داده شده است. برای تعیین نسبت هدف در هر مرحله از شبیه‌سازی لایه‌ها، تنها منبع قابل اعتماد موجود، داده‌های رخساره‌ای موجود از چاه‌هایی موجود میدان می‌باشد که با تبدیل شاخص کدبندی شده باشد. آنالیزهای چاه‌نگاری و تفسیر نمودارهای مختلف شامل پتاسیل خودزا، صوتی، چگالی و... برای شناسایی رخساره‌ها انجام شده است. در قسمت‌هایی از چاه نیز که مغزه یا خرده‌های حفاری وجود داشته است، پس از تجزیه و تحلیل، اطلاعات رخساره‌ای مورد نظر استخراج شده است. و براساس رخساره مورد نظر، کد مربوط به توزیع دوجمله‌ای متناسب را گرفته‌اند. برای بدست آوردن نسبت رخساره‌ای هر لایه ناچار به تجزیه آماری آنها بوده و نسبت رخساره مناسب به کل سطح بدست آمد. جدول ۳-۶ نسبت‌های رخساره‌ای هدف استخراج شده از چاه‌ها و تعداد نقاط موجود در هر لایه، که از آنها برای تولید این نسبت مورد استفاده قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۶ موقعیت چاههای میدان سروش و شبکه انتخابی شبیه‌سازی (مشکی؛ رخساره نامناسب، سفید؛ رخساره مناسب)

#### ۲-۳-۳-۶ سایر پارامترها

در فصل ۴ بررسی پارامترهای ورودی *SNESIM* انجام شد و در مورد تاثیر هر پارامتر ورودی بر مدل نهایی بحث شد. همان روال در این مدل‌سازی نیز بکارگرفته شده است و پس از بهینه‌سازی براساس نسبت‌های رخساره‌ای و پیوستگی الگوها، پارامترهایی نزدیک به جدول ۵-۶ در هر لایه بکار رفته است.

جدول ۳-۶ مختصات چاه‌های میدان سروش

| شماره چاه | مختصات x  | مختصات y  | سقف (افق بورگان) | کف (افق بورگان) |
|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------|
| SR-02     | 353944    | 3214878   | -2113.45         | -2189.6         |
| SR-02A    | 353749.32 | 3214973.4 | -2114.47         | -2187.96        |
| SR-03     | 349618    | 3214446   | -2142.87         | -2195.5         |
| SR-04     | 356952    | 3209336   | -2237.16         | -2318.2         |

|          |          |            |           |       |
|----------|----------|------------|-----------|-------|
| -2217.2  | -2143.19 | 3214375    | 356759    | SR-05 |
| -2187.8  | -2125.36 | 3216470    | 353920    | SR-06 |
| -2170.49 | -2121.11 | 3215663    | 352568    | SR-07 |
| -2194.59 | -2121.85 | 3215678.91 | 355385.73 | SR-08 |
| -2194.2  | -2135.48 | 3213183    | 353958    | SR-09 |
| -2252.5  | -2183.65 | 3218048    | 348314    | SR-11 |
| -2260.19 | -2203.05 | 3215872.28 | 344174.02 | SR-12 |
| -2212.05 | -2174.42 | 3214237.14 | 346999.17 | SR-13 |
|          | -2127.14 | 3213422.07 | 354578.14 | SR-15 |
| -2175.03 | -2120.83 | 3214992.88 | 352785.66 | SR-16 |

#### ۴-۳-۶ تصویر آموزشی

چنانچه دیدیم؛ تصویر آموزشی می‌بایست خصوصیات ویژه‌ای داشته باشد. از این رو، تولید تصویر آموزشی مناسب، مهم‌ترین چالش در شبیه‌سازی چند نقطه‌ای محسوب می‌شود. تولید تصویر آموزشی، با تحلیل داده‌های موجود آغاز شد. این کار، در تصویر مقطع لرزه‌ای ناحیه، در طول میدان سروش و نوروز که در گزارش شرکت (Shell, 2003) موجود بود، انجام شد. با بررسی تغییرات روند منحنی‌های موجود، بدین صورت تفکیک شد که، اطلاعات چینه‌ای موجود، و جنس سنگ‌ها تفکیک لایه‌های گوناگون را امکان‌پذیر نمود تا لایه‌های با جنس یکسان یا نزدیک به هم، در یک دسته قرار گیرند. سپس طبقات بر اساس رخساره، کد مورد نظر (رنگ زرد کد ۱ و رنگ مشکی کد صفر) گرفتند و شکل ۶-۵ منتج شد.

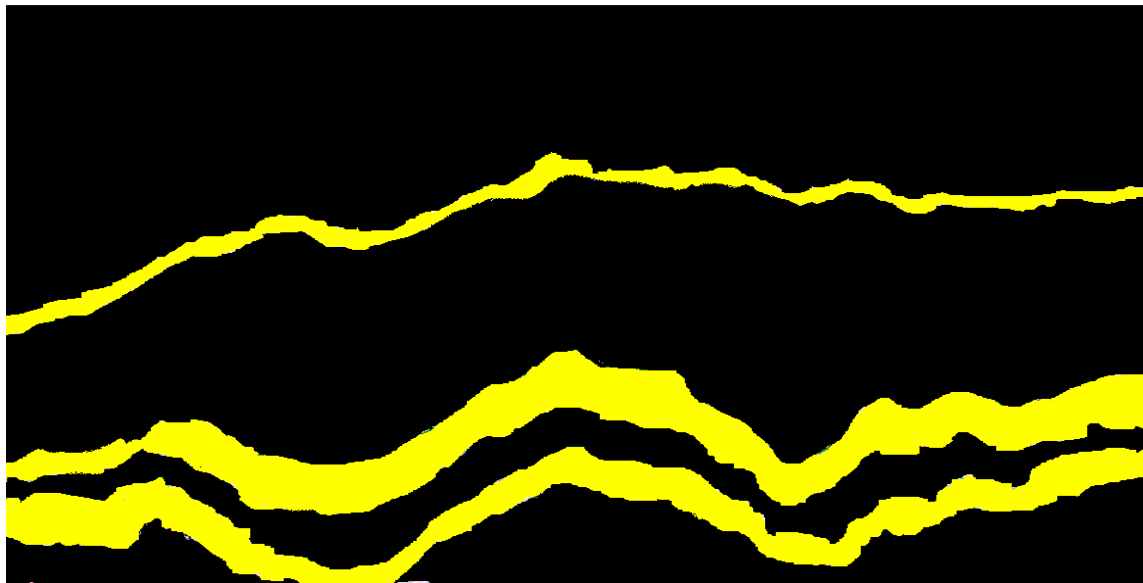
جدول ۴-۶ نسبت‌های هدف استخراج شده از هر لایه (Net to gross ratio)

| تعداد | نسبت | لایه | تعداد | نسبت | لایه | تعداد | نسبت | لایه | تعداد | نسبت | لایه |
|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| داده  | هدف  |      | داده  | هدف  |      | داده  | هدف  |      | داده  | هدف  |      |
| ۱۶    | ۵۶   | ۲۸   | ۳۴    | ۵۹   | ۱۹   | ۳۸    | ۷۹   | ۱۰   | ۲۸    | ۳۲   | ۱    |

|    |     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| ۱۵ | ۴۷  | ۲۹ | ۲۱ | ۵۲ | ۲۰ | ۳۸ | ۸۷ | ۱۱ | ۲۸ | ۴۶ | ۲ |
| ۱۵ | ۶۷  | ۳۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۲۱ | ۳۸ | ۸۷ | ۱۲ | ۲۹ | ۷۶ | ۳ |
| ۱۵ | ۳۳  | ۳۱ | ۱۷ | ۷۱ | ۲۲ | ۴۵ | ۸۰ | ۱۳ | ۲۸ | ۳۹ | ۴ |
| ۱۶ | ۱۹  | ۳۲ | ۱۸ | ۶۷ | ۲۳ | ۳۴ | ۸۵ | ۱۴ | ۲۹ | ۶۶ | ۵ |
| ۱۷ | ۱۰۰ | ۳۳ | ۱۷ | ۵۹ | ۲۴ | ۳۳ | ۶۷ | ۱۵ | ۲۸ | ۷۵ | ۶ |
| ۱۴ | ۱۰۰ | ۳۴ | ۱۵ | ۶۷ | ۲۵ | ۳۹ | ۹۰ | ۱۶ | ۲۹ | ۳۸ | ۷ |
| ۱۴ | ۱۰۰ | ۳۵ | ۱۵ | ۴۷ | ۲۶ | ۳۳ | ۸۲ | ۱۷ | ۲۸ | ۴۶ | ۸ |
| ۱۴ | ۱۰۰ | ۳۶ | ۱۶ | ۳۸ | ۲۷ | ۳۳ | ۹۴ | ۱۸ | ۳۳ | ۴۵ | ۹ |

جدول ۵-۶ پارامترهای مورد استفاده برای شبیه سازی

| ضریب انتخابی | پارامتر مورد نظر                                       | ضریب انتخابی | پارامتر مورد نظر     |
|--------------|--|--------------|----------------------|
| ۴            | تعداد شبکه‌های چند گانه                                | ۰.۵ تا ۰.۶   | نسبت خود تنظیم سیستم |
| ۸۰           | شعاع جستجو در جهات X و Y                               | ۶ تا ۸       | کمترین تعداد تکرار   |
| ۶۰           | تعداد گره‌های قالب جستجو (بیشترین تعداد داده‌های شرطی) |              |                      |



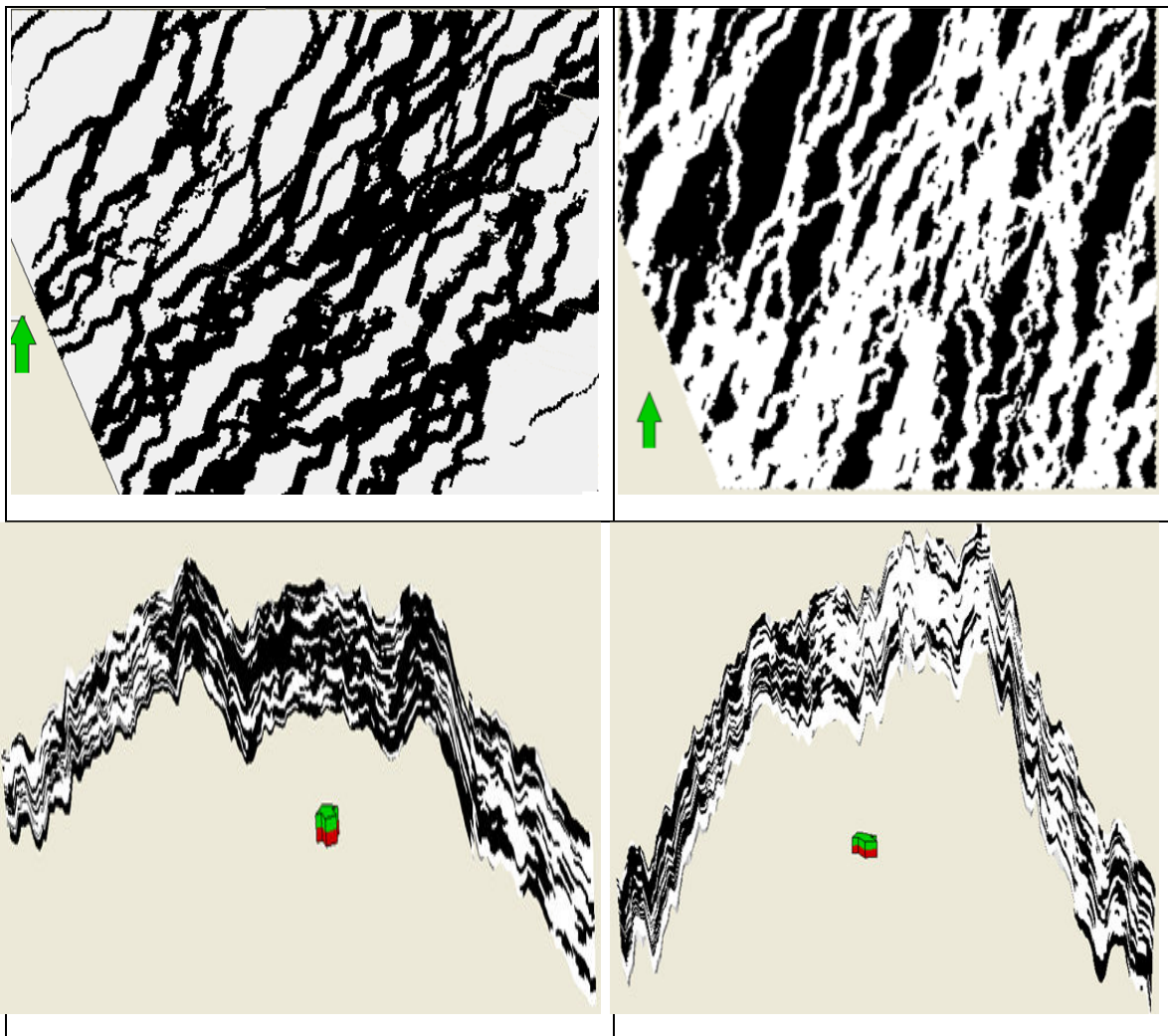
شکل ۵-۶ تصویر آموزشی تولید شده از نقشه مقطع لرزه ای

با توجه به گستردگی این مقطع، بدیهی است که تنها الگوهای بزرگ مقیاس، در آن قابل نمایش و امکان استخراج از این تصویر را خواهند داشت، از این رو؛ الگوهایی بسیار ساده در آن دیده می‌شود. چون حداقل‌های لازم از ساختارهای کوچک مقیاس و الگوی رخساره‌های هم‌انگشتی، در این مدل وجود ندارد، لذا این تصویر نمی‌تواند معرف مناسبی برای همه ساختارهای ممکن باشد و الگوهای به تعداد کافی، در همه جهات و همه مقیاس‌ها (مسلماً) وجود ندارد. برای ایجاد تصویر آموزشی شامل ساختارهای سه بعدی می‌توان از تلفیق آماره‌ها و داده‌های لرزه و چاه (به عنوان نمونه) بهره گرفت.

با پیگیری‌های فراوان، جهت در اختیار گرفتن تصویر آموزشی مناسب، تصویر شکل ۶-۶ برای این کار انتخاب شد. این مدل، حاصل از مدل‌سازی بر پایه شیء است که بر اساس تعریف پارامترها و هندسه الگوهای موجود در میدان، توسط کارشناسان شرکت ملی نفت انجام و در اختیار قرار گرفته است. این تحلیل‌های کارشناسی براساس آنالیزهای چینه‌شناسی و تصحیحات محیط زیستی که بر روی رخساره‌های سنگی فعال بوده است، انجام می‌گیرد. استفاده از داده‌های چاه‌پیمایی برای شرطی نمودن این مدل‌سازی بکار گرفته شده است. پس از مدل کردن میدان و تبدیل شاخص، مدل دو رخساره‌ای مخزن بورگان B در



شکل ۶-۶ نمایش داده شده است. در شکل راست رخساره‌های مناسب مخزن به رنگ سفید و در سمت چپ به رنگ مشکی دیده می‌شوند، اما در سایر موارد این تحقیق رخساره مناسب با رنگ سفید و نامناسب به رنگ مشکی نشان داده شده است. این تصاویر مقطعی از میدان در مختصات گوناگون است که در نرم‌افزار Petrel و توسط کارشناسان شرکت نفت در اختیار قرار گرفته است.



شکل ۶-۶ مدل ساخته شده توسط رویکرد برپایه شیء- تصویر بالایی XY برداشت شده از سقف میدان و تصویر پایینی نمایی از مقطع جانبی XZ میدان را در دو مقطع با مختصات مختلف نشان می‌دهد (شرکت ملی نفت فلات قاره).

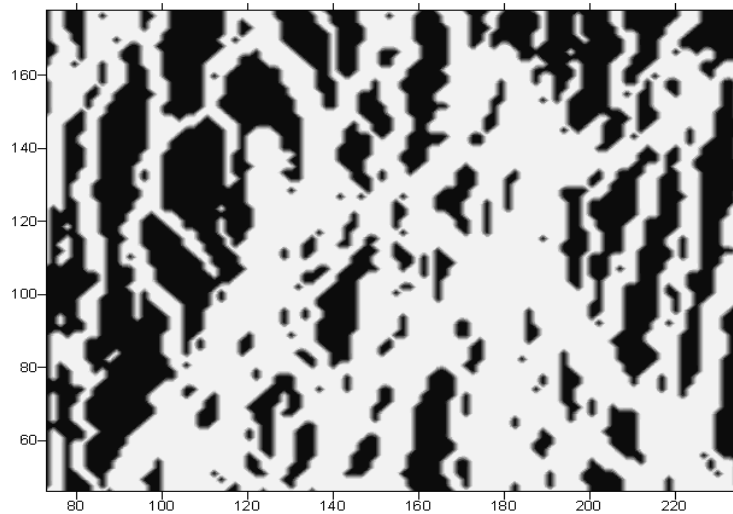
در نرم افزار petrel امکانی وجود دارد که می‌تواند با تغییر محورهای مختصات و در نظر گرفتن محورهای غیر عمود یا به صورت غیرخطی، رویه‌ها و اشکال فضایی پیچیده را به هندسه منظم‌تری تبدیل کند. بنابراین با تبدیل محورهای مختصات  $X, Y, Z$  محورهای جدیدی می‌سازیم. اگر محور  $Y, X$  را با زاویه  $18^\circ$  درجه، ساعتگرد چرخش دهیم، مختصات جدید  $I, J$  را به وجود می‌آوریم که داده‌ها را می‌توان بر اساس آن تبدیل نمود. مختصات  $K$  می‌تواند عمق مدل را طوری تغییر دهد که همچون شبکه‌ای منظم داده‌ها را در اختیار داشته باشیم. شکل ۶-۷ نمایی جانبی از مخزن را پس از تبدیل مورد نظر به تصویر کشیده است.



شکل ۶-۷ مدل جانبی کل میدان پس از تبدیل محورهای مختصات و منظم سازی مدل در شبکه. رنگ سفید رخساره

مناسب و رنگ مشکی نامناسب (شرکت نفت فلات قاره)

برای رسیدن به تصویر آموزشی مورد نیاز، مدل مربوط به هر لایه بررسی شد و منطقه‌ای که بعنوان تصویر آموزشی انتخاب شد در شکل ۶-۸ نشان داده شده است. این تصویر، از لایه بیستم مخزن (در مختصات تبدیل یافته) و به ابعاد  $163 * 133$  و از مبدا با مختصات  $x=73, y=46$  آغاز می‌گردد.



شکل ۶-۸ تصویر آموزشی استخراجی از لایه بیستم به ابعاد  $163 \times 133$

#### ۶-۴ مدل سازی دو بعدی رخساره ای

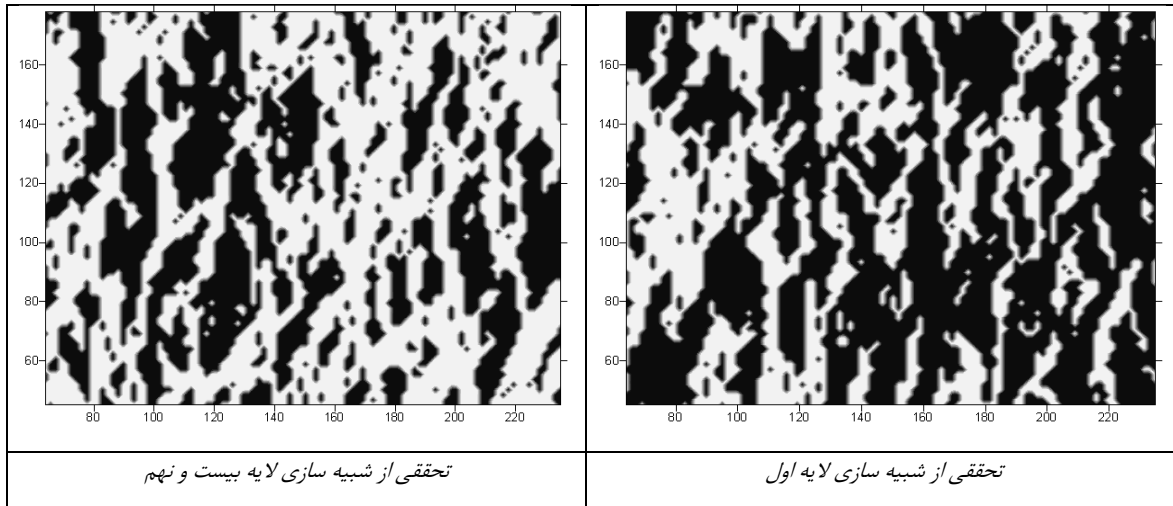
##### ۶-۴-۱ انتخاب ابعاد شبکه ی مناسب تخمین

ابعاد شبکه مدلی که از رویکرد برپایه ی شیء و پس از تبدیل نمودارها بدست آمده بود، برابر با  $275 \times 228 \times 36$  به ترتیب در جهات  $Z, Y, X$  (مختصات جدید) بوده است. با بررسی داده های سخت در شبکه منظم داده ها، تراکم چاهها در قسمت میانی و مرکزی میدان مشاهده می گردد. از این رو، شبکه تخمین، به ابعاد  $172 \times 134$  در نظر گرفته شده است (شکل ۶-۴). نقطه ی مبدأ (عمیق ترین گره با کمترین  $x$  و  $y$ ) نقطه  $x=64, y=45, z=36$  می باشد.

##### ۶-۴-۲ مدل حاصل از شبیه سازی دو بعدی میدان

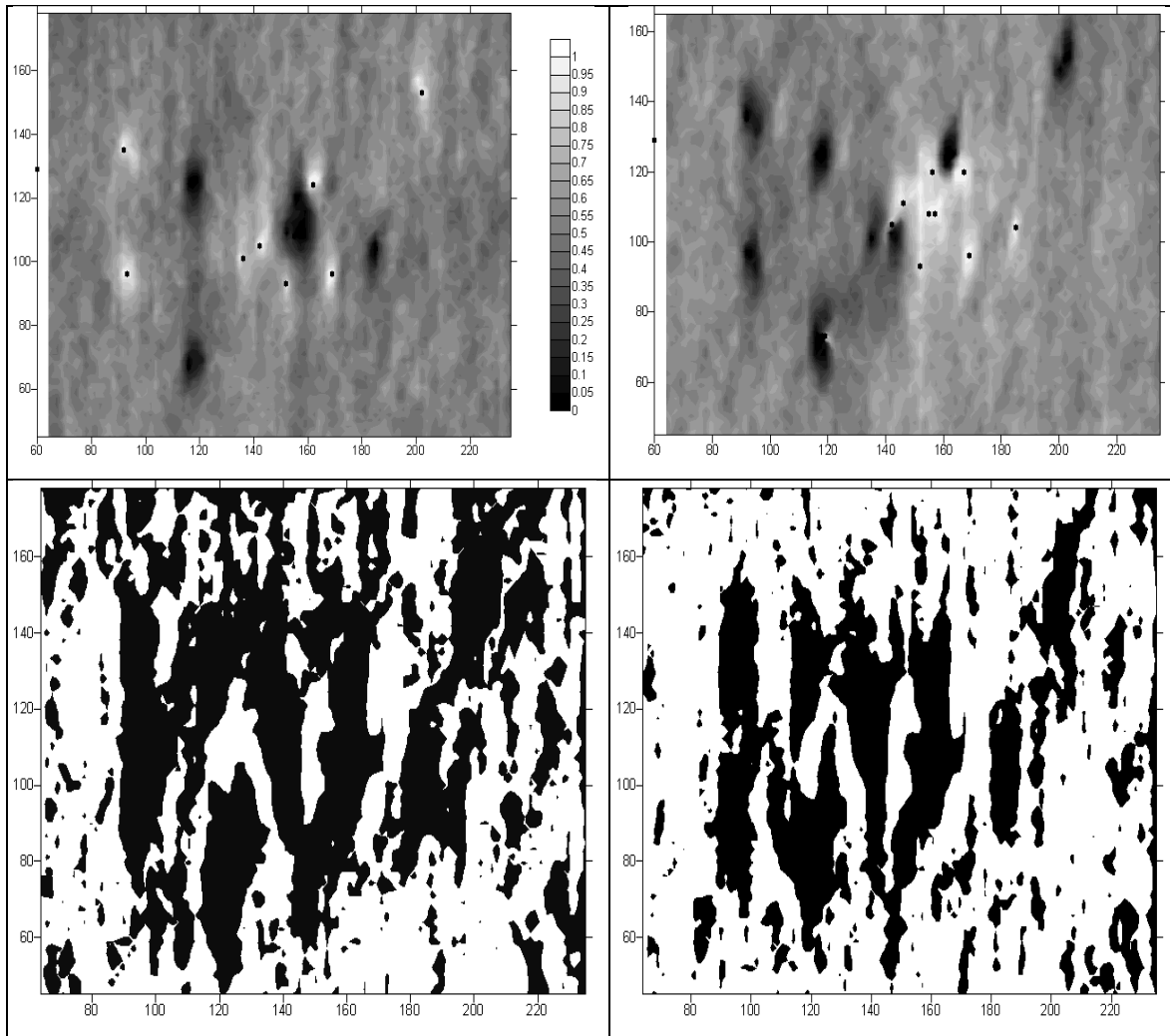
برای هر یک از ۳۶ لایه (۳۶ واحد در جهت عمق)، ۱۰۰ تحقق مختلف با پارامترهای مدل سازی یکسان تولید شد. شکل ۶-۹ نتایج مدل را برای یکی از تحقق های لایه های اول و بیست و نهم را نشان می دهد. در

هر لایه با بدست آوردن ۱۰۰ تحقق در فضای شبیه‌سازی، نقشه Etype (نقشه ای که از میانگین‌گیری از ۱۰۰ تحقق شبیه‌سازی شده در هر پیکسل ایجاد می‌شود) رخساره‌های مورد نظر، رسم شده است.



شکل ۶-۹ نمایشی از دو تحقق نتایج مدل. سفید؛ رخساره مناسب و مشکی؛ نامناسب

سپس برای هر کدام از این نقشه‌های تخمین، نقشه توزیع دو رخساره‌ای پس از تبدیل هر گره به کد شاخص حاصل از Etype map بدست آمد. شکل ۶-۱۰ نقشه تخمین (Etype map) حاصل از دو لایه مختلف و نقشه تخمین دو رخساره‌ای دو لایه دیگر پس از تبدیل شاخص (بروی آن) نمایش داده شده است. دوایر توپر نمونه‌های چاه را نشان می‌دهد. در نقشه Etype داده‌های چاه، دقیقاً تایید شده است و برنگ سفید و مشکی دیده می‌شود. در شبیه‌سازی چندنقطه‌ای حجم و تراکم داده‌های سخت، تاثیری بر روی تایید کامل آنها در همه تحقق‌ها نخواهد داشت و با هر تراکم و چگالی، این داده‌ها تایید خواهد شد.



شکل ۶-۱۰ Etype map لایه بیستم (بالا- راست) و Etype map لایه بیست و نهم (بالا- چپ) و در ردیف زیرین، نقشه

دوتایی حاصل از (Etype map) لایه های اول (سمت راست) و لایه دوم (سمت چپ) دیده می شود.

می توان مشاهده نمود که در هر نقشه (Etype map) اطراف داده نمونه برداری، منطقه تاثیری وجود دارد (در اطراف نقاط کانالی، هاله ای سفید رنگ و در اطراف نقاط نامناسب مخزن، هاله مشکی رنگ وجود دارد). در هر منطقه تاثیر، با توجه به اطلاعات موجود در آن نقطه، هاله متناسب دیده می شود (Liu, 2005; Liu and Journal, 2004). در کل، در صورتی که داده ها در حد مناسبی باشد (داده های لرزه، چاه، رخنمون، آزمون) می توان با اعتبار بیشتری به تولید مدل های مخزنی اقدام نمود (Liu and Journal, 2004).

بررسی مناطق تاثیر می‌توان به این نکته جالب نیز پی برد که متقارن نبودن منطقه تاثیر با توجه به روند کانال‌ها و به صورت سینوسی کشیده شده است. برای اندازه‌گیری تاثیر این مناطق و نقاط نمونه‌برداری در شبیه‌سازی، می‌توان از مفهوم محتوای اطلاعات<sup>۱</sup> کمک گرفت (Liu, 2005; Liu and Journal, 2004).

## ۵-۶ بررسی نتایج مدل

### ۱-۵-۶ مفهوم محتوای اطلاعات و پیشنهاد نقشه نقاط حفاری

با بدست‌آوردن نقشه محتوای اطلاعات (مراجعه به پیوست (ب) لایه‌های مختلف، می‌توانیم به ارزیابی کمی‌تری از اطلاعات موجود نسبت به پیشامدهای رخساره‌ای بدست آوریم. شکل ۶-۱۱ نقشه محتوای اطلاعات (0) مربوط به لایه‌های دهم و بیستم که نمایش (Etype map) آن در بخش‌های قبل آورده شده بود را جهت مقایسه به تصویر کشیده است.

دقت به نقشه محتوای اطلاعات لایه‌های مختلف از چند جهت حائز اهمیت است که بطور مختصر اشاره می‌گردد:

الف - ارزیابی کمی نسبت به اینکه پیشامدهای همسایگی  $B$  گره مرکزی در نقاط مختلف مدل تا چه میزان در برگیرنده اطلاعات از پیشامد  $A$  است. در این مورد مطالعاتی، این کمیت اغلب در نواحی میانی بازه (0 1) قرار دارد. بنابراین هرچند میزان اطلاعات ناشی از داده‌های موجود که در شبیه‌سازی هر سلول شرکت می‌کند، رقم قابل قبولی دارد، ولی هنوز این میزان از داده‌ها و اطلاعات جهت ساخت مطمئن تر الگوها کافی نیست و ارقام بالاتری نیاز است. بعنوان نمونه می‌توان هاله با ماکزیمم محتوای اطلاعات را انتخاب و مبنایی برای انتخاب فعالیت‌های آتی باشد.

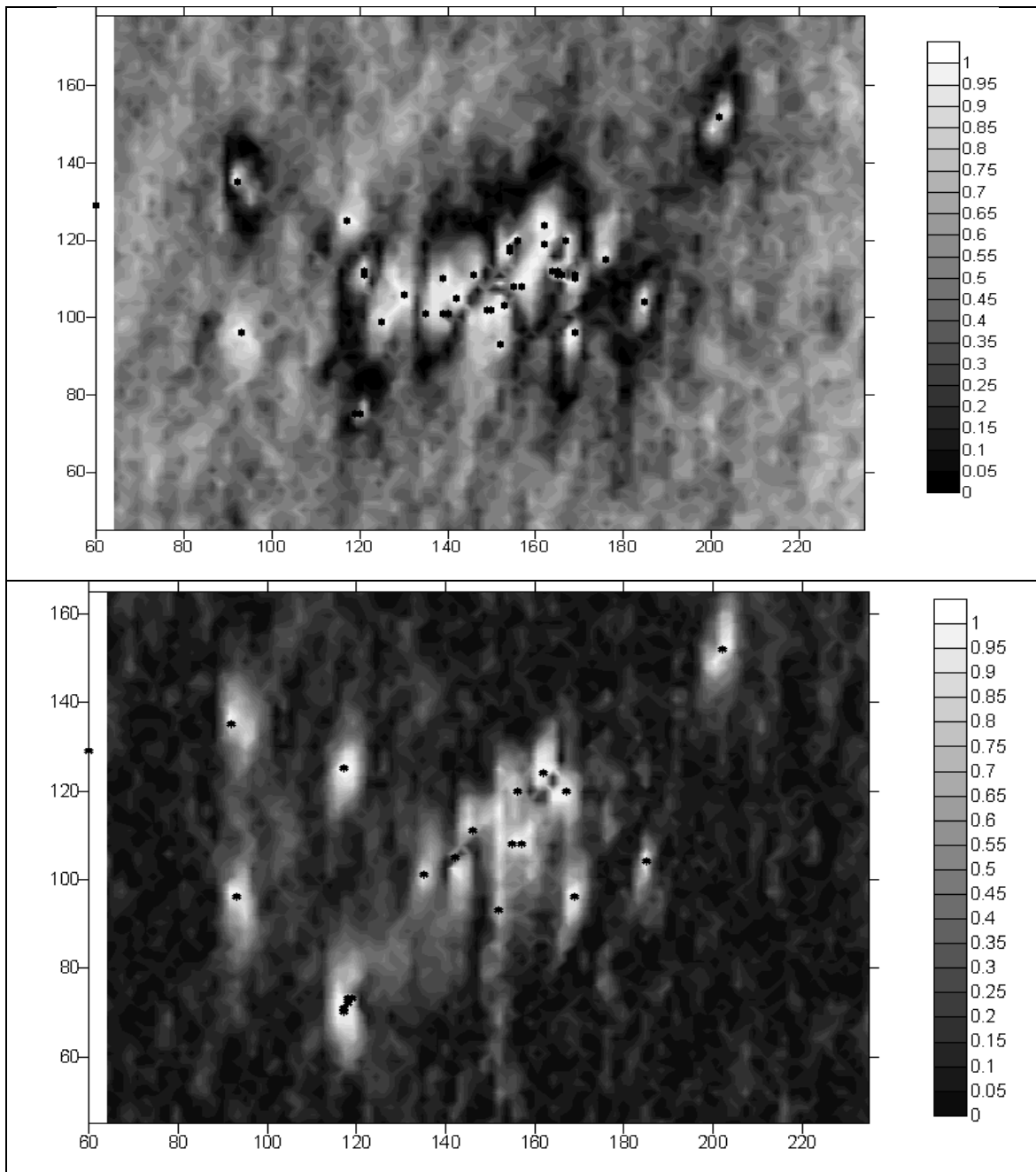
---

<sup>1</sup> - Information content

ب- می‌تواند مبنایی بر ارزیابی شبیه‌سازی باشد. هر چه رنگ نقاط تیره‌تر و جزیره‌هایی برنگ روشن‌تر موجود باشد مدل دربردارنده اطلاعات بیشتری است و اعتبار مدل بالاتر است. یکی از مهم‌ترین نکات، وجود الگو و ساختار داده‌ها در این نقشه است. در شکل ۶-۱۱، این الگوها به چشم می‌خورد.

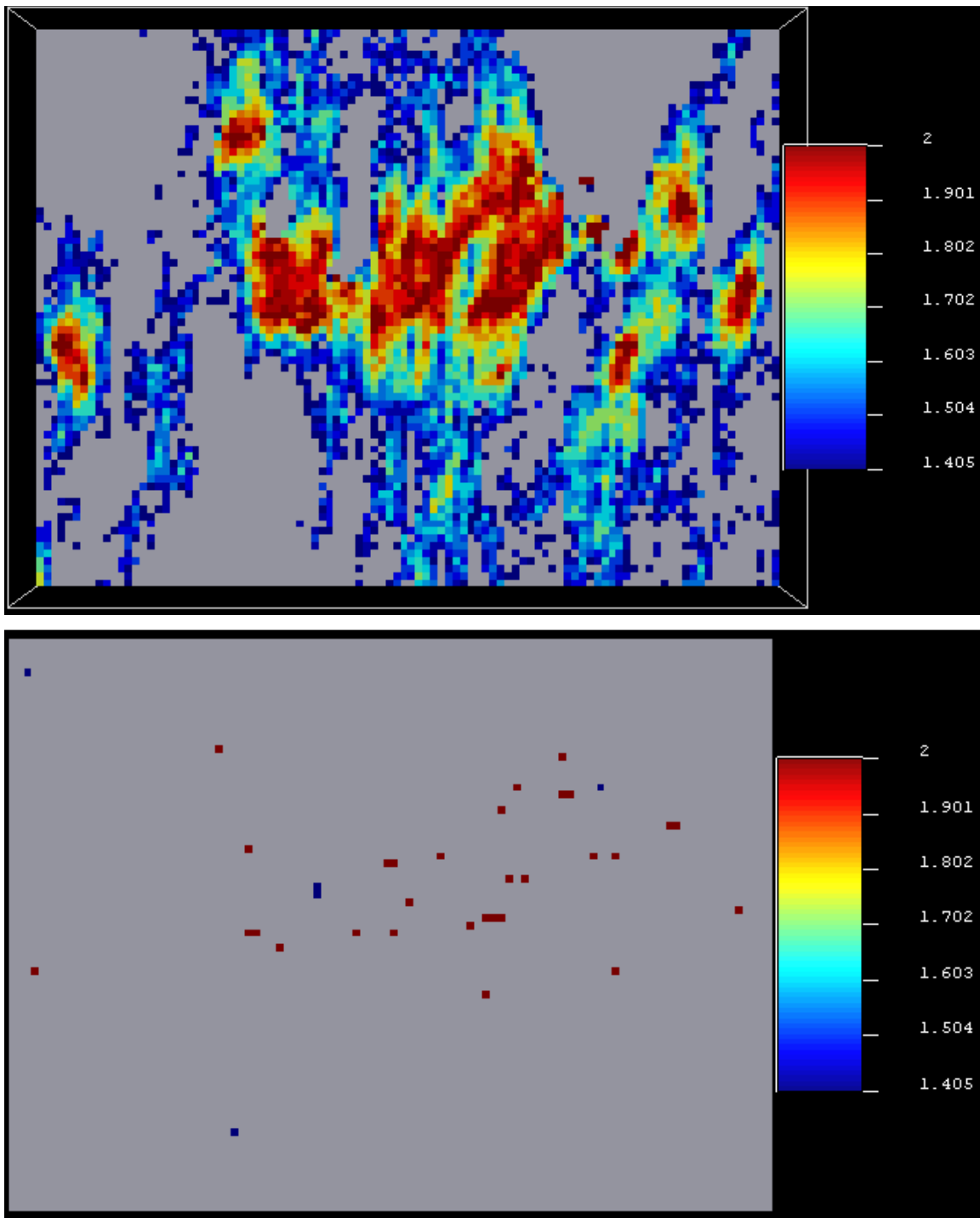
ج- می‌تواند برداشتی از هماهنگی و تناسب میان داده‌های نمونه‌برداری و تصویر آموزشی بدست دهد. در صورتی که الگوهای پدیده، بخوبی در این نقشه بازتولید شده باشند، این هماهنگی موجود است و هرچه این تطابق بالاتر باشد نقاط در بردارنده اطلاعات بالاتری است. بنابراین مبنایی بر انتخاب تصویر آموزشی مناسب خواهد بود. لذا می‌توان با اعتماد بالاتری به این نقاط نگاه کرد و مبنای تصمیم‌گیری‌های بعدی باشد. این هماهنگی در این مورد مطالعاتی در سطح متوسط است.

ح- با تفاسیر و ارزیابی نقشه (Etype map) و  $\omega$  می‌توان به ارزیابی بهتری از نقاط با اطلاعات بالاتر و بطور همزمان مناسب مخزن رسید. چنین نقشه‌ای را تهیه و در شکل ۶-۱۲ نشان داده‌ایم، آنومالی این نقشه در لایه‌های میانی (لایه ۹ تا ۲۰) قرار گرفته است و نشان می‌دهد اعتبار مدل در این لایه‌ها بالاتر است که لایه یازدهم بعنوان نمونه نشان داده شده است. علت این امر، می‌تواند آن باشد که در لایه‌های نزدیک به سطح اطلاعات رسوب‌شناسی بیشتری موجود بوده و با توجه به تناسب این داده‌ها و آماره‌های تصویر آموزشی، خصوصیات مخزنی این لایه‌ها بهتر از ماسه‌های سطوح عمیق‌تر منعکس شده است، درحالی‌که ممکن است لایه‌های بالاتر از آن از حیث خصوصیات مخزنی در اولویت پایین‌تری است. این نقشه می‌تواند مبنای انتخاب نقاط بهینه حفاری قرار گیرد. هر چه برنگ آبی نزدیک‌تر می‌شویم، اهمیت نقاط (خصوصیات مخزنی و اطلاعات بیشتر نقطه) بالاتر خواهد بود.



شکل ۶-۱۱ نمایش نقشه محتوای اطلاعات مربوط به لایه های دهم (بالایی) و بیستم (پایینی)





شکل ۶-۱۲ نقشه تطبیقی (Etype map) و  $\omega$ ، و مختصات چاههای لایه یازدهم پیشنهاد نقاط مناسب مخزنی با بیشترین اطلاعات. هرچه هاله برنگ آبی نزدیک شود اهمیت نقاط بیشتر می گردد.

## ۶-۵-۲ تولید نسبت هدف $P^*(A)$ یا تولید ساختارهای پدیده فضایی

در بخش ۶-۵-۳، بررسی و مشاهده خواهد شد؛ که شبیه‌سازی زمین‌آماري چندنقطه‌ای، با تولید نسبت‌های رخساره‌ای متناسب با نسبت‌های رخساره‌ای هدف، به شناسایی ارتباطات میان رخساره‌ای و تولید مدل می‌پردازد. در این حین، سوالاتی به ذهن می‌رسد. سوالاتی همچون: آیا فرآیند مورد استفاده در این شبیه‌سازی، تنها نسبت هدف را تولید می‌کند یا شناسایی دقیق رخساره‌ها در اولویت بالایی است؟ مطابقت احتمال رخساره‌های مدل با نسبت هدف، سبب از دست دادن اطلاعات تصویر آموزشی می‌گردد یا خیر؟ میزان حساسیت مدل، به داده‌های شرطی‌سازی و سایر داده‌ها، چقدر است؟

در این بخش به بررسی و یافتن پاسخ این سوال می‌پردازیم که آیا در روش چند نقطه‌ای، تولید نسبت‌های هدف، از طریق ساخت خصوصیات کانال‌ها و الگوها انجام می‌گیرد یا اینکه بازتولید کانال‌ها و ساخت نسبت نهایی از طریق میانگین‌گیری و ساخت نسبت احتمال هدف در هر تحقق انجام می‌گیرد؟

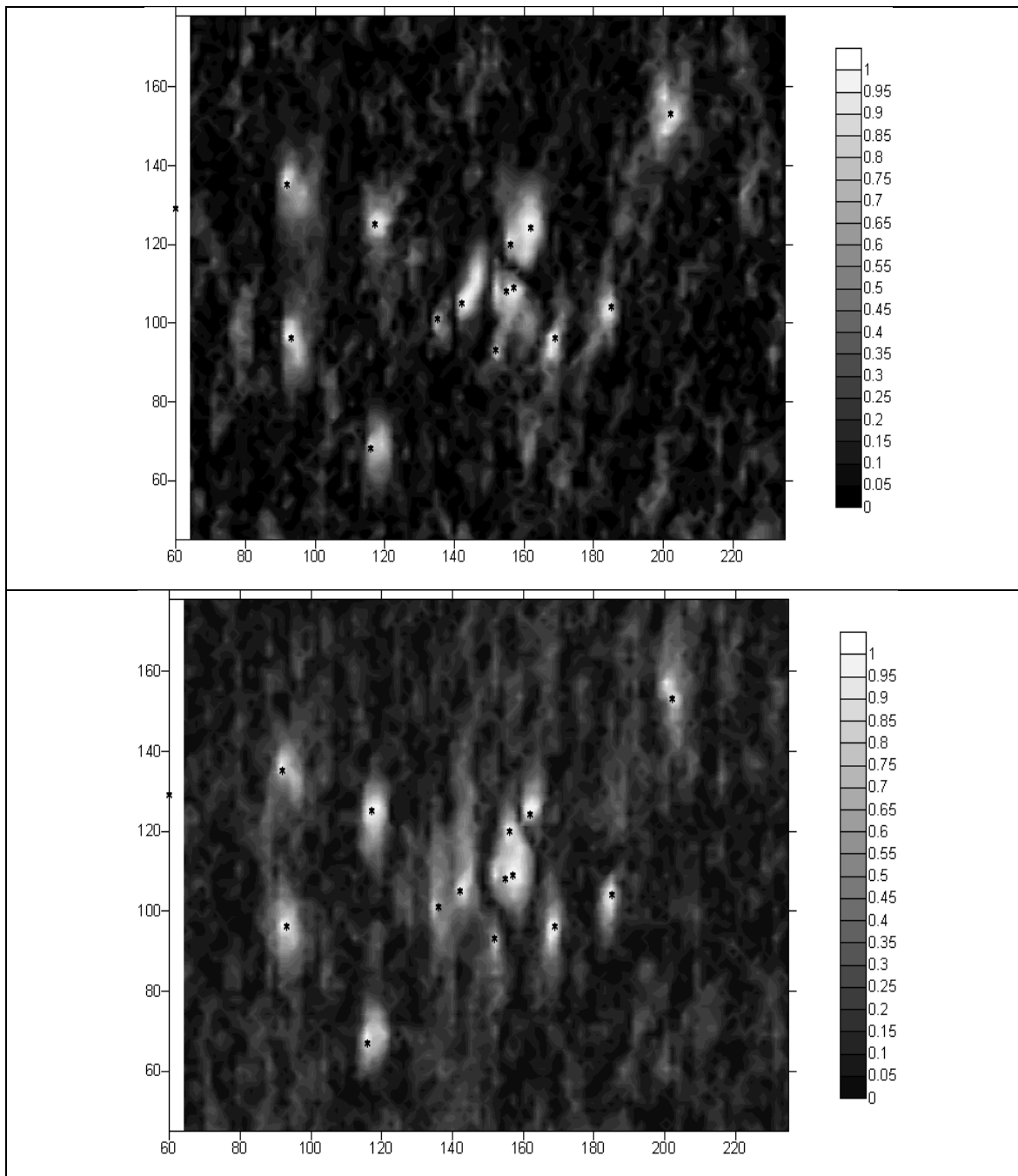
برای پاسخ به این پرسش، از فرمولی استفاده شده است، که در آن،  $P^*(A)$  (جهت مطالعه بیشتر این نسبت به فصل چهارم مراجعه شود.) جایگزین  $P(A)$  در فرمول محتوای اطلاعات می‌شود. با توجه به اینکه در این شبیه‌سازی، اختلاف اندکی بین نسبت  $P^*(A)$  برداشت شده از افقهای مختلف چاه و نسبت  $P(A|B)$  بدست آمده از مدل‌های شبیه‌سازی وجود داشت، حساسیت نقشه‌ای بر اساس چنین فرمولی به مراتب بالاتر از فرمول محتوای اطلاعات می‌باشد. در حالی که شدت تفاوت میان نسبت‌های  $P(A)$  و  $P(A|B)$  در اغلب افق‌ها بسیار زیاد است (شکل ۶-۱۱). با بررسی چنین نقشه‌ای، اگر بسیار هموار باشد و الگوهای کانالی و روند آنها دیده نشود (رنگ موقعیت‌های گوناگون بجز هاله اطراف نقاط نمونه‌برداری یکنواخت باشد) می‌توان این‌گونه برداشت کرد که تنها استراتژی این شبیه‌سازی تولید نسبت هدف بوده است. ولی همانطور که در شکل ۶-۱۳ مشاهده می‌شود ناهماری‌ها و روندهایی در این نقشه وجود دارد که در نقاط دور از نمونه‌ها قرار دارند و یکنواختی به حدی نیست که ساختارهای فضایی محلی از دست برود. در موقعیت‌های

گونگون روند و جهت‌گیری (تا حدودی) به مناسب یا نامناسب بودن رخساره بستگی دارد. هرچند، این میزان و شدت برجستگی‌ها زیاد دیده نمی‌شود. علت را می‌توان در آن دانست که تنها از داده‌های چاه و یک تصویر آموزشی برای ساخت این مدل استفاده شده است و سهم داده‌های دیگر غیر مستقیم و بسیار ناچیز است. در شکل ۶-۱۳ دو تصویر از نقشه چنین فرمولی در لایه‌های بیست و پنجم و بیست و نهم دیده می‌شود.

برای این ادعا که شبیه‌سازی چندنقطه‌ای به میزان قابل توجهی (حتی با وجود داده‌های زمین‌شناسی بسیار ناچیز) قادر به تولید روندها و الگوهای موجود در منطقه می‌باشد، دو شاهد مهم وجود دارد:

الف- نقشه Etype map که در آن پیوستگی و ضخامت کانال‌ها و آبراهه‌ها به چشم می‌خورد. پیوستگی‌ها و عدم وجود ناپیوستگی‌های شاخص در الگوی مشاهده شده و ساختار رخساره‌ها، می‌تواند تا حدی نیز، ناشی از تاثیر الگوریتم بروزرسانی بی‌زین و نسبت خود تنظیم سیستم باشد (رجوع شود به فصل چهارم). هرچند، اختلاف نسبت هدف و نسبت رخساره‌ای تصویر آموزشی بالاست و معمولاً در این مواقع، این دو نسبت خوب کار نمی‌کند یا به از دست دادن پیوستگی ساختارها می‌انجامد که در این مورد چنین پدیده‌ای دیده نمی‌شود.

ب- نقشه شکل ۶-۱۳، که در آن ناهمواری‌های جزیره‌ای در نقاط نمونه‌برداری و منحنی‌های سینوسی شکل وجود دارد. طبق بحث فوق، این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که در هر موقعیت نسبت به وجود رخساره‌ای خاص، مدل جهت‌گیری خاصی را نشان می‌دهد که ناشی از احتمال حضور چنین رخساره‌ای است. هرچند این منحنی‌ها هنوز راضی‌کننده نیست و نیاز به برجستگی و پیوستگی بیشتری حس می‌شود.



شکل ۶-۱۳ بررسی ناهمواری نسبت‌های احتمالی تولید شده در لایه‌های بیست و پنجم و بیست و نهم مخزن

### ۳-۵-۶ ایجاد مدل اعتبار سنجی برای بررسی میزان بازتولید داده ها

در این مرحله، با بررسی مجدد تراکم نمونه‌های چاه و مغزه (داده‌های سخت)، شبکه شبیه‌سازی دیگری انتخاب شد. معیار انتخاب چنین شبکه‌ای منطقه‌ای با بیشترین تعداد چاه‌های اکتشافی بوده است. از این‌رو در شبکه‌ای به ابعاد  $100 \times 75$  در جهات  $x$  و  $y$ ، دو چاه (در شکل ۴-۶ با پیکان مشخص شده‌اند) با نسبت توزیع و فاصله مناسب از سایر چاه‌ها، را پنهان کردیم و شبیه‌سازی مجدد انجام گرفت. برای چنین عملیاتی از پارامترهای شبیه‌سازی پیشین استفاده شده است. بعنوان نمونه نسبت‌های هدفی برابر با جدول ۵-۶ قرار داده شده است. علاوه بر ابعاد شبکه و مختصات نقطه آغازین شبکه شبیه‌سازی که برابر با  $x=90$ ,  $y=65$  است، تفاوت دیگر آن با شبیه‌سازی اولیه، استفاده از رویکرد بومی در بکارگیری تصاویر آموزشی است. رویکرد بومی بدین معنی است که در شبیه‌سازی هر لایه، از تصویری آموزشی مربوط به همان لایه استفاده شده است. برای رسیدن به مجموعه تصاویر آموزشی مورد نیاز، مدل مربوط به هر لایه بررسی شد و منطقه‌ای با پایایی لازم از میان آن انتخاب شد. این مجموعه تصاویر آموزشی با ابعاد و مختصات کلی متفاوت، در پیوست (ج) نمایش داده شده است. یادآوری می‌گردد در هر لایه، ۱۰۰ تحقق شبیه‌سازی شده است و بر مبنای آنها نقشه Etype رسم شده است. با بررسی همسایگی هر چاه و تغییرات رخساره‌ای آنها، دوچاه برای حذف از داده‌های سخت انتخاب شد و از مقایسه نقطه به نقطه این داده‌ها، با نتایج شبیه‌سازی در هر افق، نتایج زیر بدست آمده است.

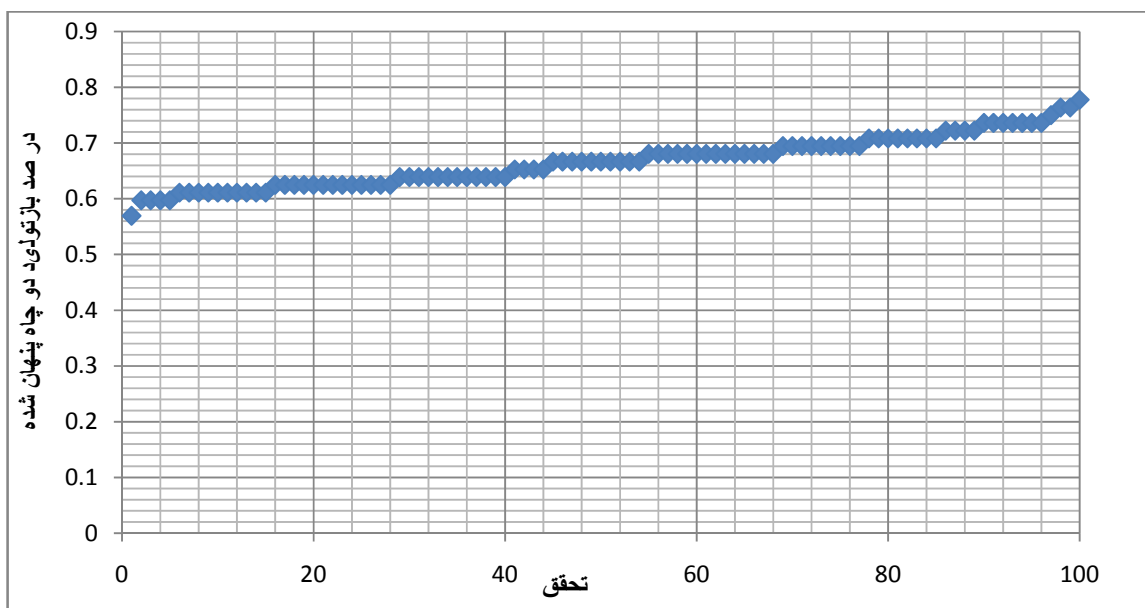
### ۱-۳-۵-۶ نسبت بازتولید هر یک از تحقق‌ها

رخساره‌های تولید شده توسط نقشه دوتایی Binary-Etype با هر یک از چاه‌های پنهان شده بصورت نقطه‌به‌نقطه مقایسه شد و درصد تولید رخساره صحیح، برابر با ۷۸٪ در چاه اول و ۶۹٪ در چاه دوم و میانگین ۷۳٪ حاصل شد. با جایگزینی مقادیر هر یک از تحقق‌ها در نقشه Binary-Etype، شکل ۶-۱۴

حاصل شده است (این گراف پس از مرتب سازی صعودی ترسیم شده است). در صورتی که تحقق ناشی از بالاترین نسبت بازتولید را در هر لایه انتخاب کنیم، تصاویر پیوست (د) بدست می آید.

### ۶-۵-۳ انتخاب مناسبترین عدد حد برش Etype جهت دوتایی کردن آن

بطور طبیعی، برای دوتایی نمودن نقشه Etype و نمایش دوتایی این طیف پیوسته، نسبت حدی ۰/۵ (میانجامعه آماری بین صفر تا یک) استفاده می گردد. در این مرحله با کار بر روی این عدد و تغییر آن در بازه صفر تا یک، اثرات آن را بر بازتولید رخساره هر یک از دو چاه بررسی نمودیم. شکل ۶-۱۵ چنین نمایشی از بازتولید را نشان می دهد.



شکل ۶-۱۴ درصد بازتولید رخساره های صحیح چاه های مرحله اعتبارسنجی در هر تحقق

با دقت به شکل ۶-۱۵ هر چند بالاترین نسبت های بازتولید در چاه اول با ۰/۸۳ بازتولید درست، از قرار دادن نسبت حدی ۰/۵۳ و ۰/۵۵ بدست آمده است، بهینه بازتولید هر دوچاه در نسبت بین ۰/۶۲ تا ۰/۶۴ با نسبت بازتولید ۰/۷۸ به چشم می خورد. لذا از قرار دادن چنین نسبت حدی در تابع تبدیل دوتایی می توان به توزیع دو رخساره ای بهتری از جامعه مورد نظر و بازتولید بهینه دست یافت.

از طرفی با قراردادن این نسبت و ایجاد نقشه دوتایی هرچند در روندهای کلی و الگوهای کانال‌های بازتولید شده بهبود دیده می‌شود، اما هنوز شکل و پیوستگی کاملاً مناسبی در این نقشه‌ها دیده نمی‌شود و شامل نویز می‌باشد. با قرار دادن نسبت حدی برابر با نسبت هدف (در هر لایه) بجای گرفتن نسبتی ثابت، بهبود مناسبی در رسم کانالها و نمایش الگوها حاصل می‌گردد که در پیوست (ه) ملاحظه می‌گردد. در این صورت نسبت میانگین بازتولید ۷۱٪ در چاه‌ها بدست می‌آید.

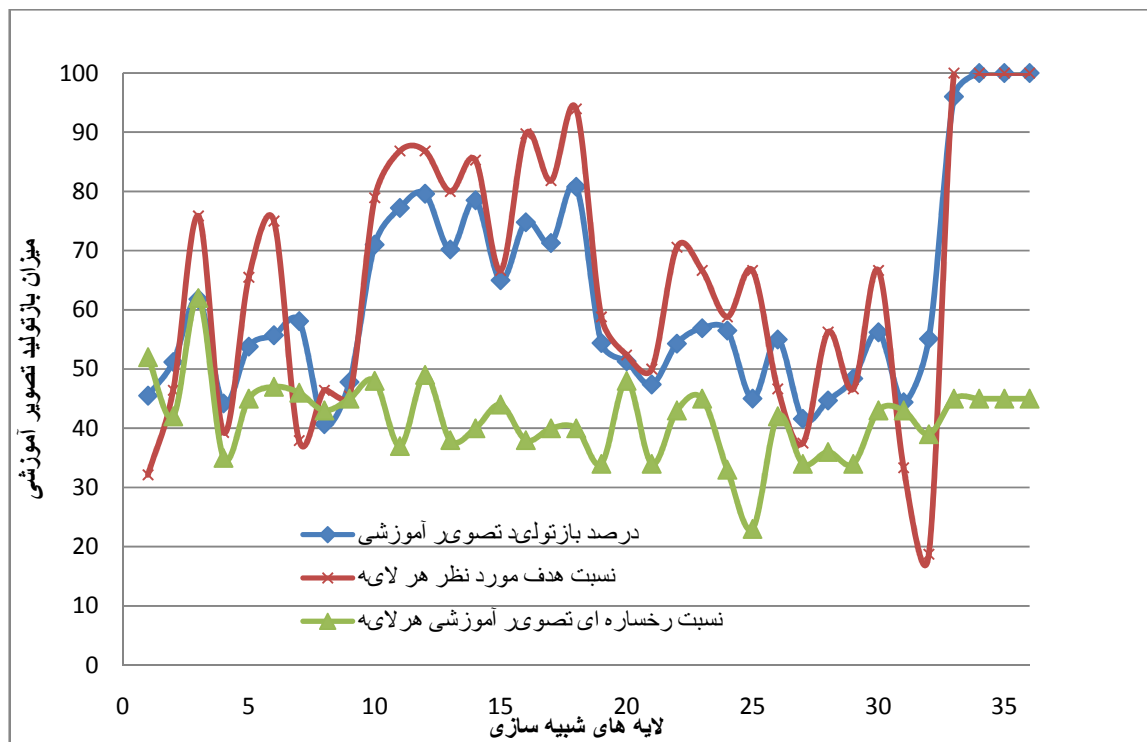


شکل ۶-۱۵ درصد بازتولید رخساره‌های صحیح چاه‌های مرحله اعتبارسنجی با تغییر نسبت حدی تبدیل دوتایی

### ۳-۳-۵-۶ بازتولید نقطه به نقطه تصویر آموزشی

در این مرحله، قسمتی از تصویر آموزشی که در شبکه اعتبارسنجی واقع شده است مخفی می‌گردد و نتایج حاصل از شبیه‌سازی چندنقطه‌ای در این شبکه، با داده‌های تصویر آموزشی که از شبیه‌سازی برپایه شیء بدست آمده است به صورت نقطه به نقطه مقایسه می‌گردد. شکل ۶-۱۶ بازتولید چنین شبکه‌ای را

در لایه های تصویر آموزشی نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود این نسبت بازتولید، اغلب در محدوده‌ای بین ۴۰٪ تا ۸۰٪ تغییر می‌کند. این نسبت در لایه‌های دهم تا هجدهم دارای بهترین نسبت بازتولید است (بین ۷۰ تا ۸۰ درصد) و در لایه‌های آخر، با توجه به بالا بودن نسبت هدف، بیشینه نسبت بازتولید تصویر آموزشی میسر شده است. همانطور که در شکل ۶-۱۶ مشاهده می‌گردد، میزان بازتولید، رابطه مستقیمی با نسبت هدف را نشان می‌دهد در صورتی که نسبت‌های رخساره‌ای تصویر آموزشی، تاثیر مشخصی بر روی این نسبت ندارد.

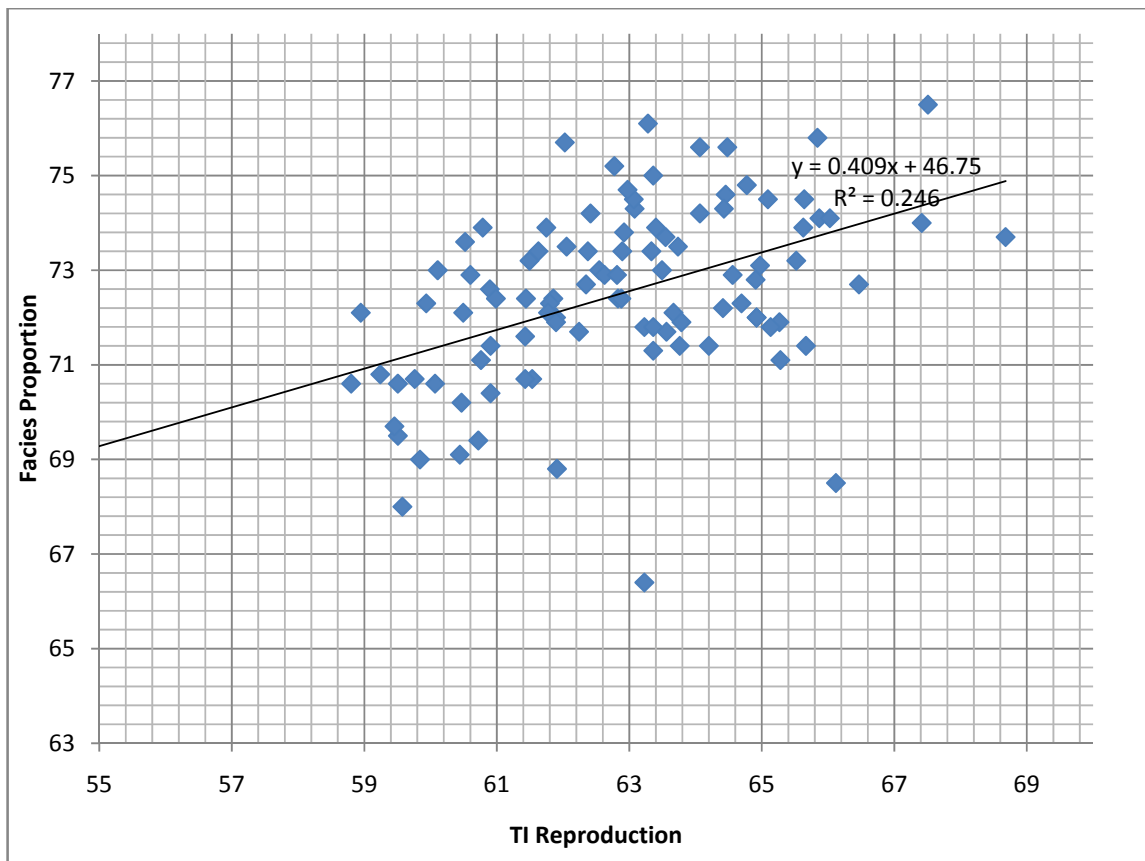


شکل ۶-۱۶ درصد بازتولید تصویر آموزشی در شبکه اعتبارسنجی

اگر یکی از تصاویر آموزشی (بعنوان نمونه تصویر آموزشی لایه چهاردهم، با نسبت بازتولید ۷۹٪) را در نظر بگیریم و نسبت‌های بازتولید این تصویر (از مقایسه نقطه به نقطه با نقشه دوتایی Etype map) بدست آوریم، و نموداری را از قرار دادن این نسبت‌ها و نسبت‌های رخساره‌ای هر یک از ۱۰۰ تحقق موجود



مقایسه و ترسیم نماییم، شکل ۶-۱۷ بدست می‌آید. مشاهده می‌گردد ضریب تعیین مابین این نسبت بازتولید و نسبت‌های رخساره‌ای، در حد پایینی است. بنابراین می‌توان گفت این درصد بازتولید از نسبت‌های رخساره‌ای تاثیر نمی‌گیرد.



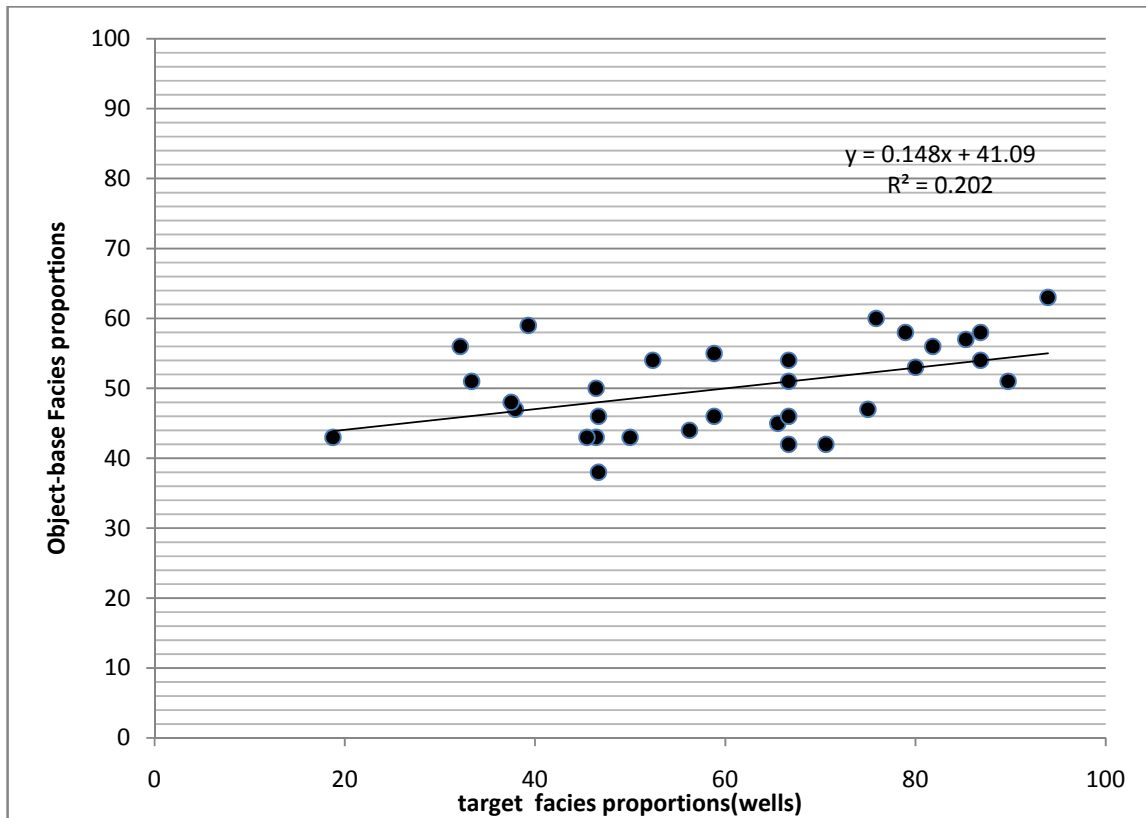
شکل ۶-۱۷ درصد بازتولید تصویر آموزشی در هر یک از ۱۰۰ تحقق در مقایسه با نسبت‌های هر تحقق

۶-۵-۳-۴ مقایسه با روش شبیه‌سازی برپایه شیء در شرطی سازی داده‌های سخت و تولید

نسبت‌های هدف Net to gross ratio

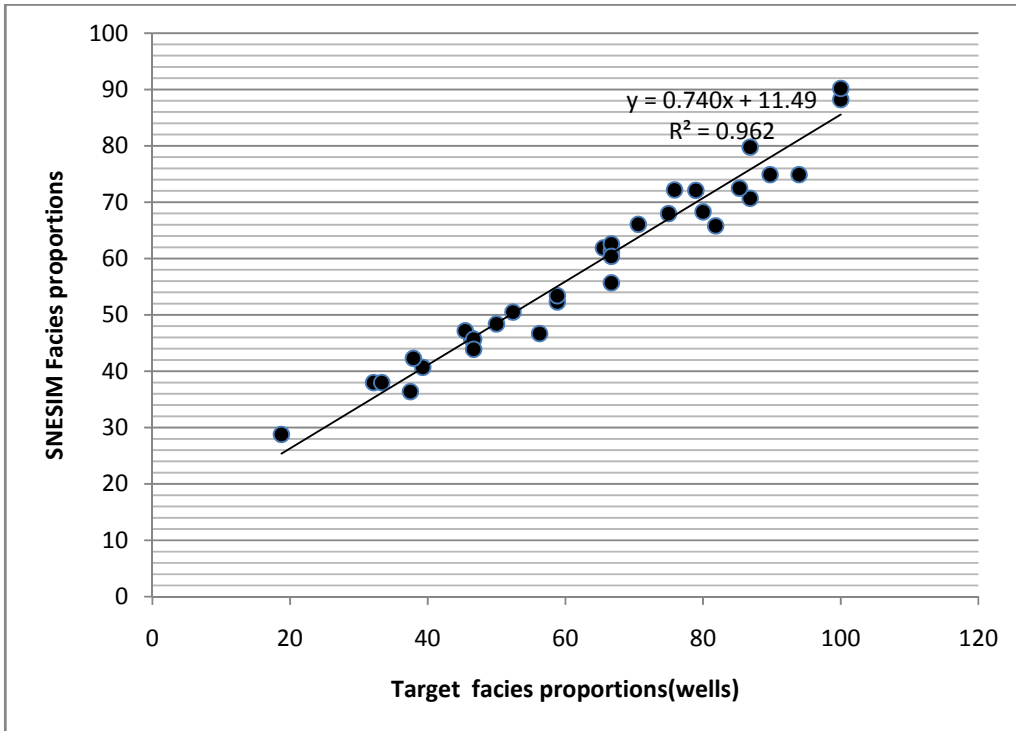
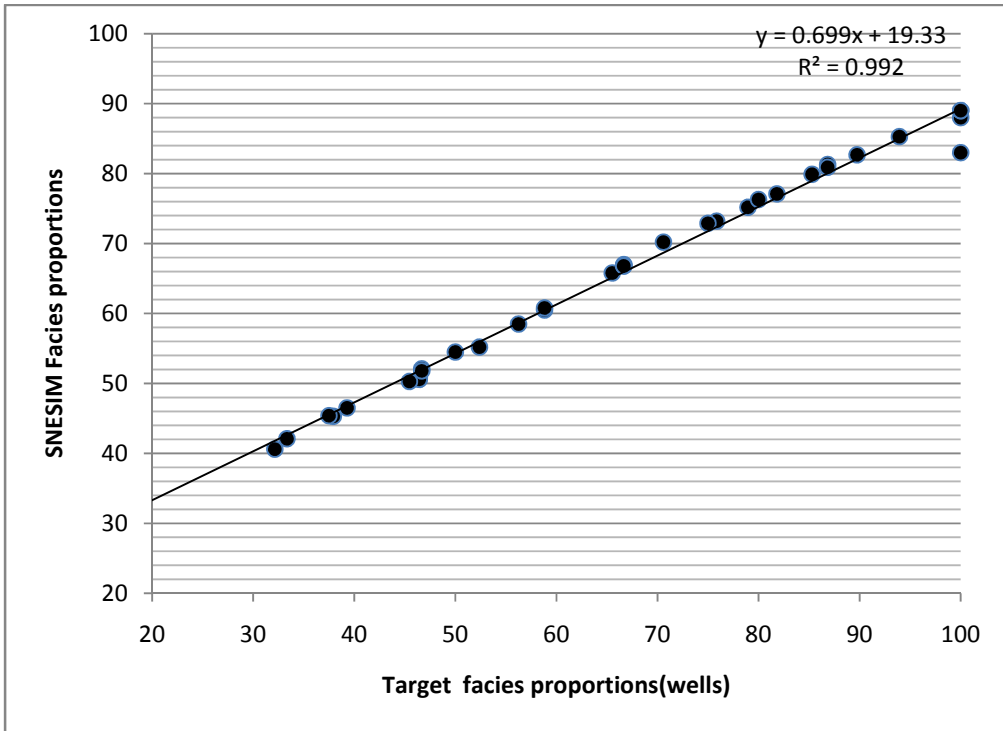
همانطور که در بخش شبیه‌سازی برپایه شیء اشاره شد، داده‌های مورد استفاده در روش شبیه‌سازی برپایه شیء، تنها داده‌های سختی است که در شبیه‌سازی چندنقطه‌ای نیز استفاده نمودیم. از مقایسه

نسبت‌های هدف که از افق‌های هرچاه در هر لایه قابل استحصال است با نسبت‌های رخساره‌ای شبیه‌سازی برپایه شی شکل ۶-۱۸ بدست آمده است.



شکل ۶-۱۸ مقایسه نسبت‌های رخساره‌ای داده‌های چاه و مدل بر پایه شیء

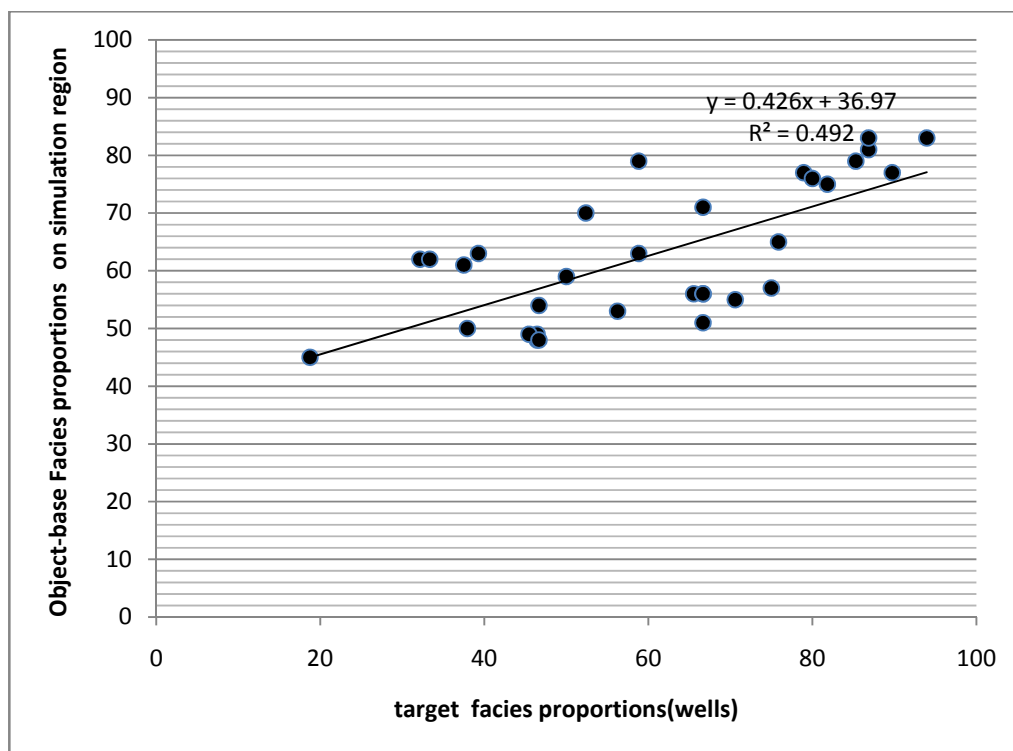
اگر از داده‌های تحقق‌های نتایج مدل چندنقطه‌ای نسبت‌های رخساره‌ای را در دو شبیه‌سازی اولیه و اعتبارسنجی بدست آوریم، از مقایسه با نسبت‌های هدف نمودارهای شکل ۶-۱۹ بدست می‌آید. در این نمودارها، اختلاف اندک میان نسبت‌های مدل نهایی در لایه‌های گوناگون و نسبت‌های چاه‌ها قابل تشخیص است. اختلاف اندک میان بیشینه ضریب تعیین (+۱) و ضریب تعیین چندنقطه‌ای (۰.۹۹) گویای قدرت این روش در تولید نسبت‌های هدف است.



شکل ۶-۱۹ نمودار بالایی: مقایسه نسبت‌های رخساره‌ای مدل چندنقطه‌ای با نسبت هدف در شبکه بزرگ اولیه و نمودار

پایین: نسبت‌های رخساره‌ای شبیه‌سازی چندنقطه‌ای با نسبت هدف در شبکه اعتبارسنجی

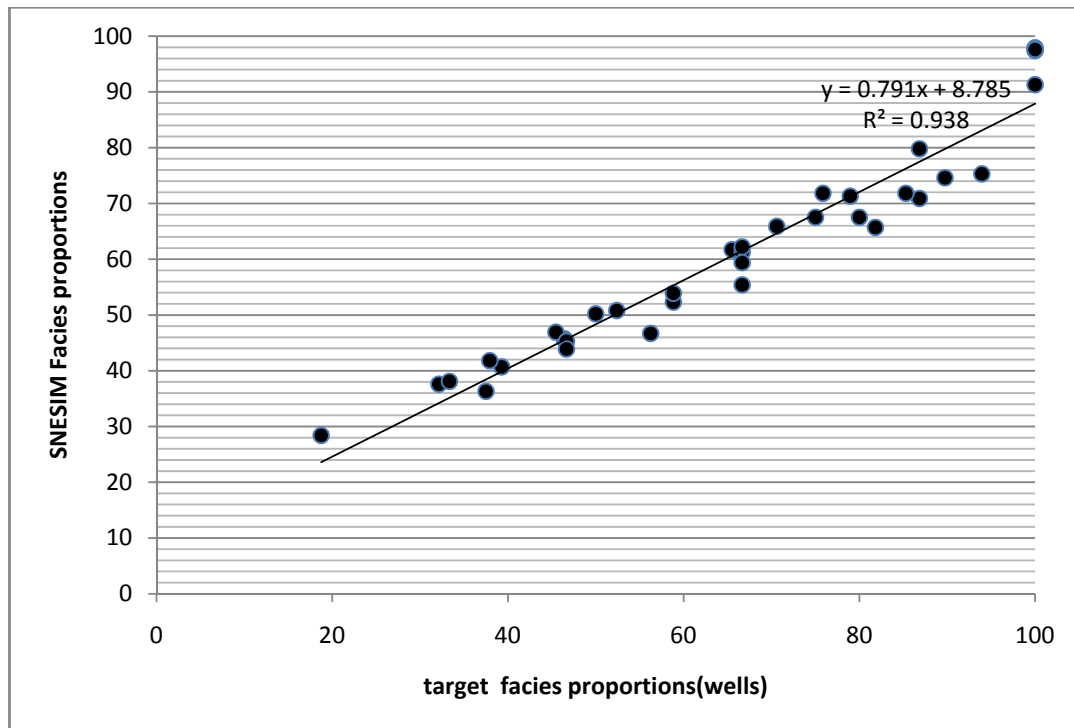
برای مقایسه مناسب‌تری مابین دو روش مورد اشاره شبیه‌سازی (برپایه شی و چندنقطه‌ای)، نسبت‌های رخساره‌ای شبیه‌سازی برپایه شی را در ابعاد شبکه اعتبارسنجی ترسیم می‌کنیم (شکل ۶-۲۰). با توجه به اینکه داده‌های سخت یکسان و ابعاد شبکه شبیه‌سازی دقیقاً برابر است، در شبیه‌سازی برپایه شیء بهبودی از نزدیک شدن به نسبت‌های هدف نسبت به شبکه بزرگتر دیده نمی‌شود.



شکل ۶-۲۰ مقایسه نسبت‌های رخساره‌ای داده‌های چاه و مدل بر پایه شیء در شبکه اعتبارسنجی

در پایان با ثابت نگه داشتن کلیه پارامترهای شبیه‌سازی و اضافه کردن مقادیر دو چاه حذف شده در شبکه اعتبارسنجی، شبیه‌سازی‌های دیگری به همان حجم انجام شد. نقشه‌های Etype در ضمیمه (و)

آورده شده است. شکل ۶-۲۱ نمودار مقایسه‌ای نسبت‌های رخساره‌ای حاصل از این شبیه‌سازی در مقایسه با نسبت‌های هدف را به نمایش گذاشته است.

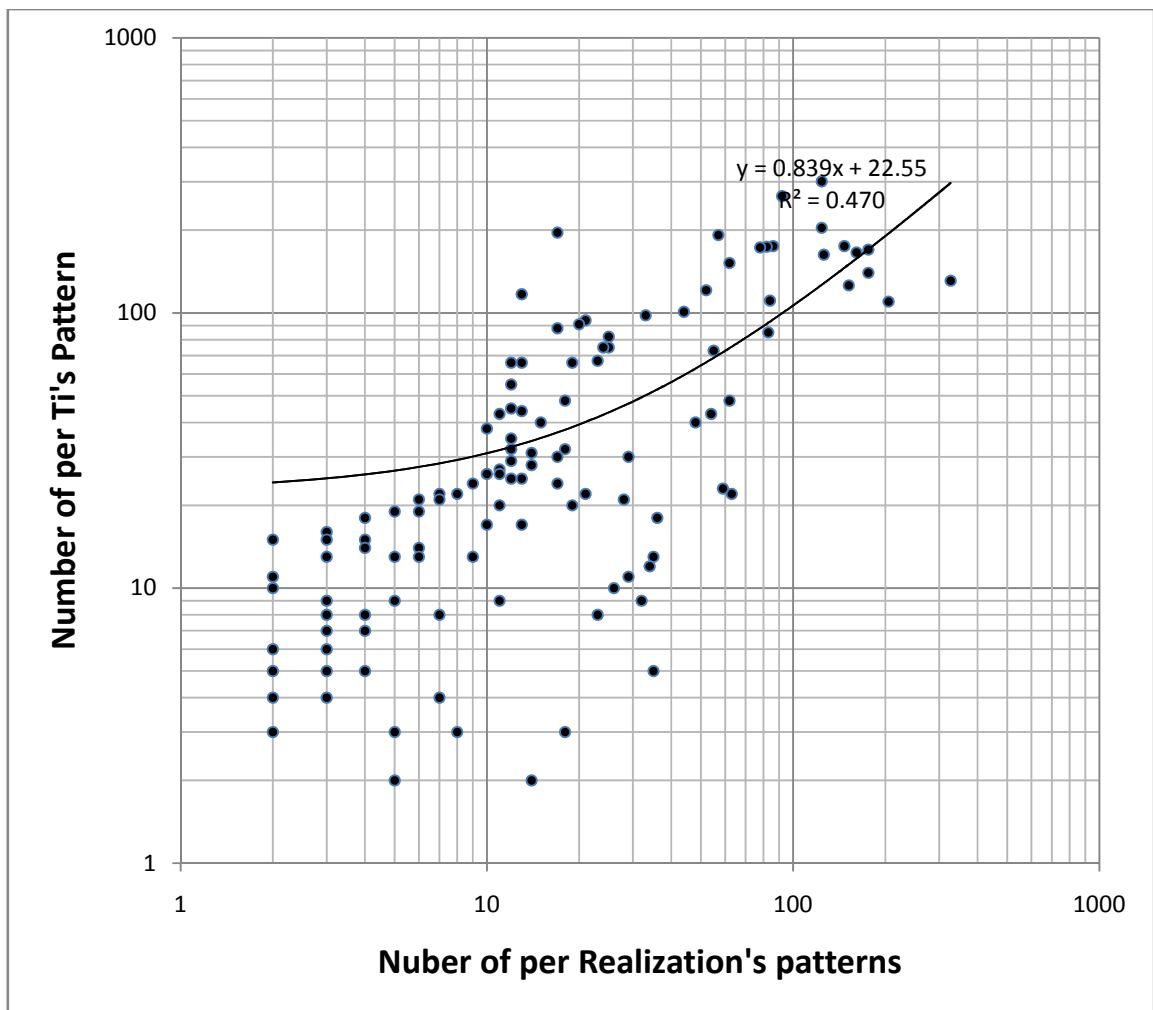


شکل ۶-۲۱ مقایسه نسبت‌های رخساره‌ای و هدف میانگین تحقق‌های شبیه‌سازی نهایی

#### ۶-۵-۴ مقایسه الگوهای تصویر آموزشی و تحقق‌ها

اگر تعداد الگوهای یافت شده در هر وضعیت هندسی را در مدل شبیه‌سازی و تصویر آموزشی مقایسه نماییم، حالت ایده‌آل برابر بودن تعداد هر یک از الگوی وضعیت‌های هندسی خاص در مقایسه آنها با همدیگر است. یعنی تعداد الگوی وضعیت هندسی خاص و همانند در تصویر آموزشی و تحقق‌ها باید برابر باشد. در این مورد، با در نظر گرفتن قالب هندسی (بخش ۳-۴ مطالعه گردد) با ابعاد ۳\*۳ بعنوان نمونه، به بررسی الگوهای مدل نهایی شبیه‌سازی و تصویر آموزشی پرداختیم. بدین صورت که در نرم‌افزار Matlab برنامه‌ای نوشتیم تا وضعیت‌های هندسی محتمل را در قالب مفروض در دو جامعه یاد

شده جستجو نماید و تعداد این الگوهای همانند را مقایسه نماید. از این مقایسه و حذف زوج عدد پرت (۱۲۸۸ و ۸۰۳۶) شکل ۶-۲۲ بدست آمده است. هرچند بازتولید الگوها در حد قابل قبولی است، اما نزدیکی تعداد الگوها چندان جالب نیست.



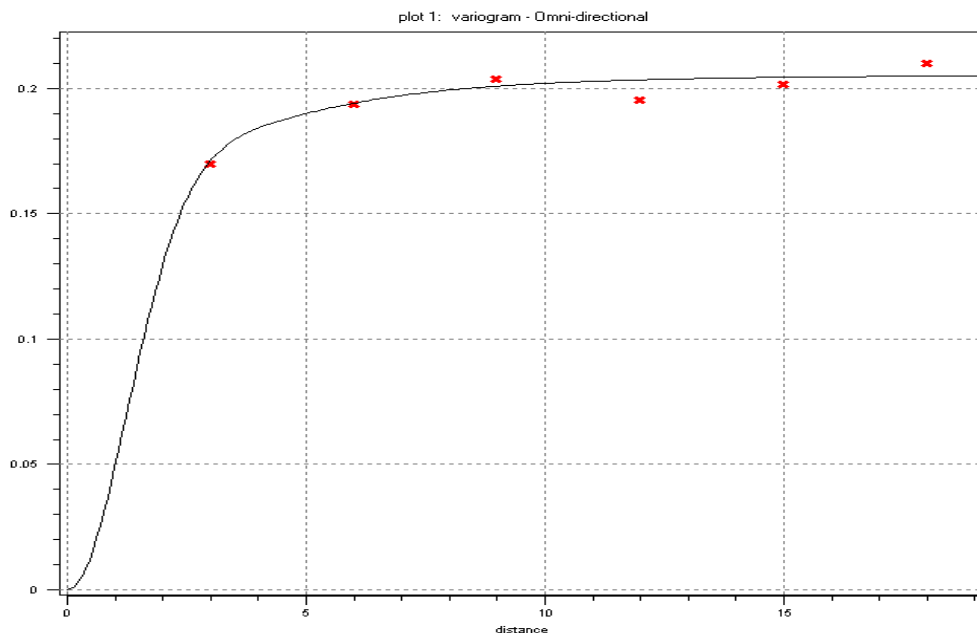
شکل ۶-۲۲ مقایسه الگوهای وضعیتهای هندسی گوناگون قالب ۳\*۳ در تصویر آموزشی و تحقیقها

### ۵-۵-۶ مقایسه با روش شبیه سازی شاخص پی در پی

روش شبیه سازی شاخص در فصل دوم معرفی شده است. برای مدل سازی شاخص داده های چاه، از همان پارامترهای قبلی شبیه سازی، جهت شبکه بندی استفاده شد. برای بدست آوردن مدل واریوگرام بهینه، ابتدا واریوگرامی تمام جهتی مدل شد و پارامترهای واریوگرام بهینه که در شکل ۶-۲۳ نشان داده شده است، مطابق جدول زیر بدست آمد.

جدول ۶-۶ پارامترهای واریوگرام تمام جهتی

| مدل واریوگرام              | گوسین | فواصل گامها    | ۳    |
|----------------------------|-------|----------------|------|
| دامنه واریوگرام ساختار اول | ۱۵    | تعداد ساختارها | ۳    |
| دامنه واریوگرام ساختار دوم | ۸     | اثر قطعه ای    | ۰    |
| دامنه واریوگرام ساختار سوم | ۳     | سقف            | ۰.۲۱ |



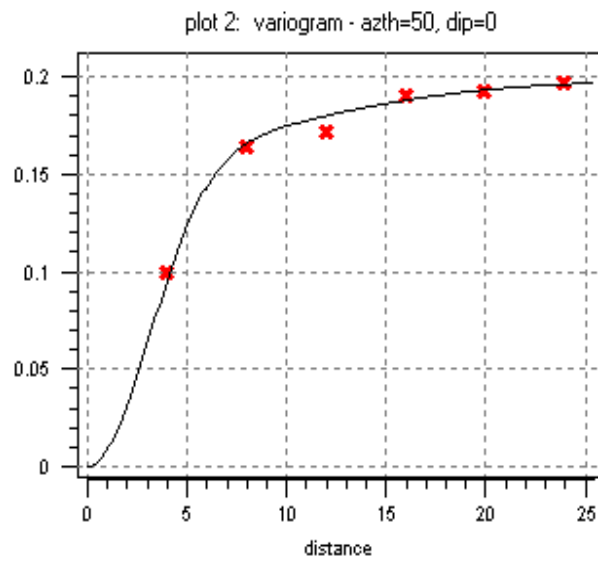
شکل ۶-۲۳ مدل برآزش شده به واریوگرام تمام جهتی

پس از رسم واریوگرام‌های گوناگون، مدل واریوگرام بهینه، مطابق با مدل گوسین، طبق پارامترهای جدول ۶-۷، مطابق با شکل ۶-۲۴ بدست آمد. مشاهده می‌گردد همسانگردی موجود است که سبب می‌شود در دوزاویه عمود بر هم ۵۰ و ۱۴۰ درجه، دامنه‌های یکسان بدست آید. بر اساس پارامترهای جدول ۶-۷ و با استفاده از مدل‌سازی SIS در SGEMS، ۱۰۰ تحقق ایجاد کردیم و نتایج نمونه‌ای از آنها در شکل ۶-۲۵ ارائه شده است.

جدول ۶-۷ پارامترهای واریوگرام‌های بهینه در جهات آزیموت ۵۰ و ۱۴۰

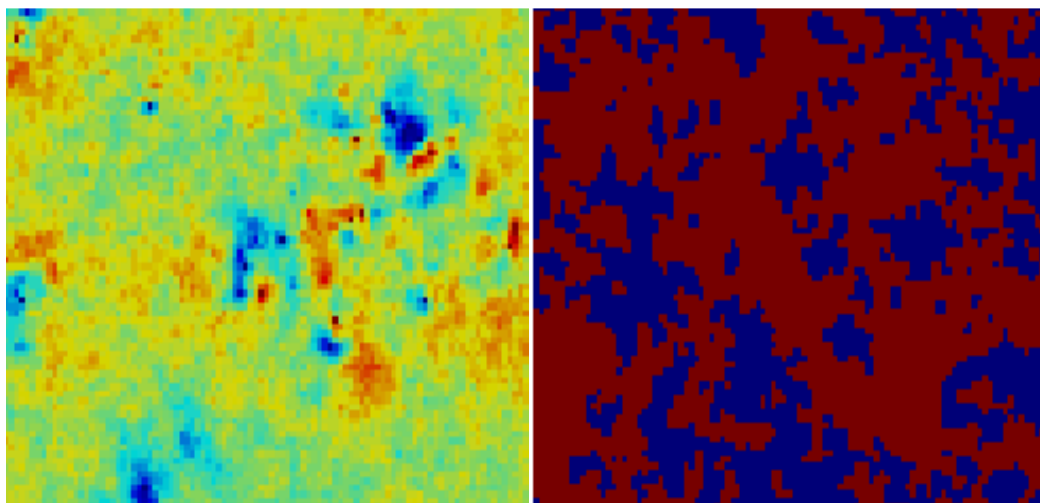
| مدل واریوگرام     | گوسین         | فواصل گامها    | ۴   |
|-------------------|---------------|----------------|-----|
| دامنه ساختار اول  | ۷.۴۴          | تعداد ساختارها | ۲   |
| دامنه ساختار دوم  | ۲۴            | اثر قطعه ای    | ۰   |
| زوایای عمود بر هم | ۵۰ و ۱۴۰ درجه | سقف            | ۰.۲ |





شکل ۶-۲۴ واریوگرام بهینه مدل شده

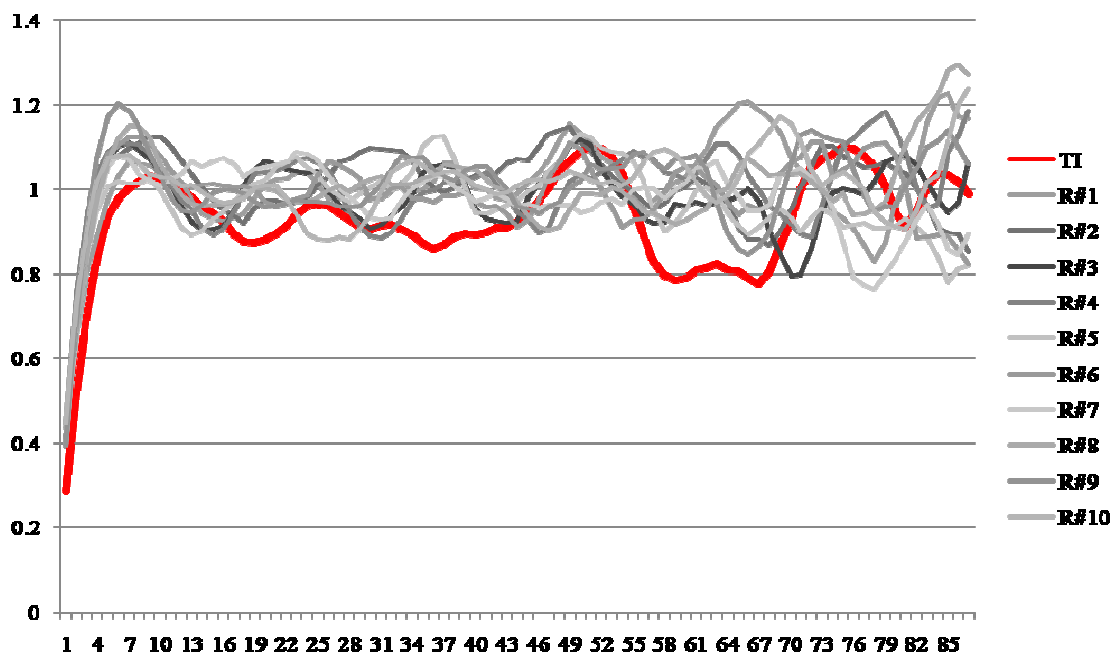
همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، رویکرد شبیه‌سازی شاخص پی‌درپی، به هیچ وجه قادر به شناسایی پدیده زمین‌شناسی منحنی‌وار و ارتباط فضایی موجود نمی‌باشد. مدل نهایی این شبیه‌سازی تنها نويز را بازتاب داده است و قادر به نشان دادن ساختارهای منظم موجود بین رخساره‌های موجود در میدان نمی‌باشد.



شکل ۶-۲۵ یکی از تحقق‌های حاصل از شبیه‌سازی SIS و Etype

## ۶-۵-۶ رسم واریوگرام جهت‌ی تصویر آموزشی و تحقق‌ها و مقایسه آنها

هماهنگی و تطابق آماره‌ها و الگوهای موجود میان تصویر آموزشی و نمونه‌ها و از طرف دیگر تحقق‌ها با هر یک از این داده‌ها از مهم‌ترین مواردی است که در استفاده از روش شبیه‌سازی برپایه تصویر آموزشی می‌تواند بررسی شود. در این بخش با رسم واریوگرام جهت‌ی در راستای  $X$  برای تصاویر آموزشی و تحقق‌های مربوطه، به مقایسه واریوگرام‌های حاصل می‌پردازیم. شکل ۶-۲۶ این مقایسه را مربوط به یکی از تصاویر آموزشی (لایه هجدهم) شبکه اعتبارسنجی و ۱۰ تحقق مدل شبیه‌سازی نشان می‌دهد. بهترین حالت، هنگامی است که منحنی واریوگرام تصویر آموزشی مابین منحنی‌های تحقق‌ها قرار گیرد. هرچند در این شکل نیز تاحدی چنین چیزی دیده می‌شود اما حالت ایده‌آل اتفاق نیفتاده است. علت آن را می‌توان در عدم هماهنگی کامل داده‌های نمونه‌ها (چاه‌ها) و تصویر آموزشی جستجو نمود. به نظر می‌رسد روند و ساختارهای موجود نمونه‌ها در این الگوریتم، امکان بیشتری برای ورود به مدل‌های نهایی یافته است.



شکل ۶-۲۶ نمودار واریوگرام تصویر آموزشی و تحقق‌های لایه هیجدهم در راستای X

### ۶-۵-۷ محاسبه عدم اطمینان از طریق میزان نفت درجا

توانایی تولید تحقق‌های چندگانه هم‌احتمال<sup>۱</sup>، ایده ارزیابی ناهمگنی فضایی را به وجود آورد. (Journal and Huijbregts, 1978; Barrera, 2006). در مدل‌سازی مخزن، به دلیل محدودیت در میزان و کیفیت انواع متفاوت داده‌های در اختیار، ساختن یک مدل زمین‌شناسی یگانه، با جزییات کامل و ۱۰۰٪ اطمینان، امکان‌پذیر نیست (Liu et al, 2004). در این مرحله با بدست آوردن میزان سیال درجای مخزن در ۱۰۰٪ تحقق هم‌احتمال، به ارزیابی کمی از عدم اطمینان پرداخته می‌شود. به محتوای هیدروکربن کلی مخزن؛ یا موجودی ذخیره اولیه نفت درجا، (STOIP)<sup>۲</sup> یا نفت درجای قبل از آغاز تولید، گویند.

بر اساس پارامترهای موجود از میدان سروش که در جدول ۶-۸ نمایش داده شده است، نمودار STOIP یا میزان نفت درجای مخزن هر یک از تحقق‌ها، طبق فرمول ۶-۱ بدست آمد و با رسم نمودار تابع توزیع تجمعی C<sub>10</sub>, C<sub>50</sub>, C<sub>90</sub> این نمودار، بر حسب میلیون بشکه بدست آمده است (شکل ۶-۲۷).

$$\text{STOIP} = (\text{Bulk volume} * \text{Porosity} * (1-s_w)) / \text{Formation volume factor (b}_o\text{)} \quad ۱-۶$$

$$\text{STOIP} [\text{m}^3] = \text{میزان نفت درجا} \quad \text{Bulk volume} (\text{m}^3) = \text{حجم کل مخزن}$$

$$\text{Formation volume factor} = \text{فاکتور حجم سازندی} \quad \text{Porosity} = \text{تخلخل} (\%)$$

$$\text{STOIP}(\text{barrel}) = 6.289808 * \text{STOIP} [\text{m}^3] \quad s_w = \text{اشباع آب}$$

جدول ۶-۸ پارامترهای سازندی مربوط به مخزن سروش (شرکت نفت فلات قاره)

1 - Equiprobable

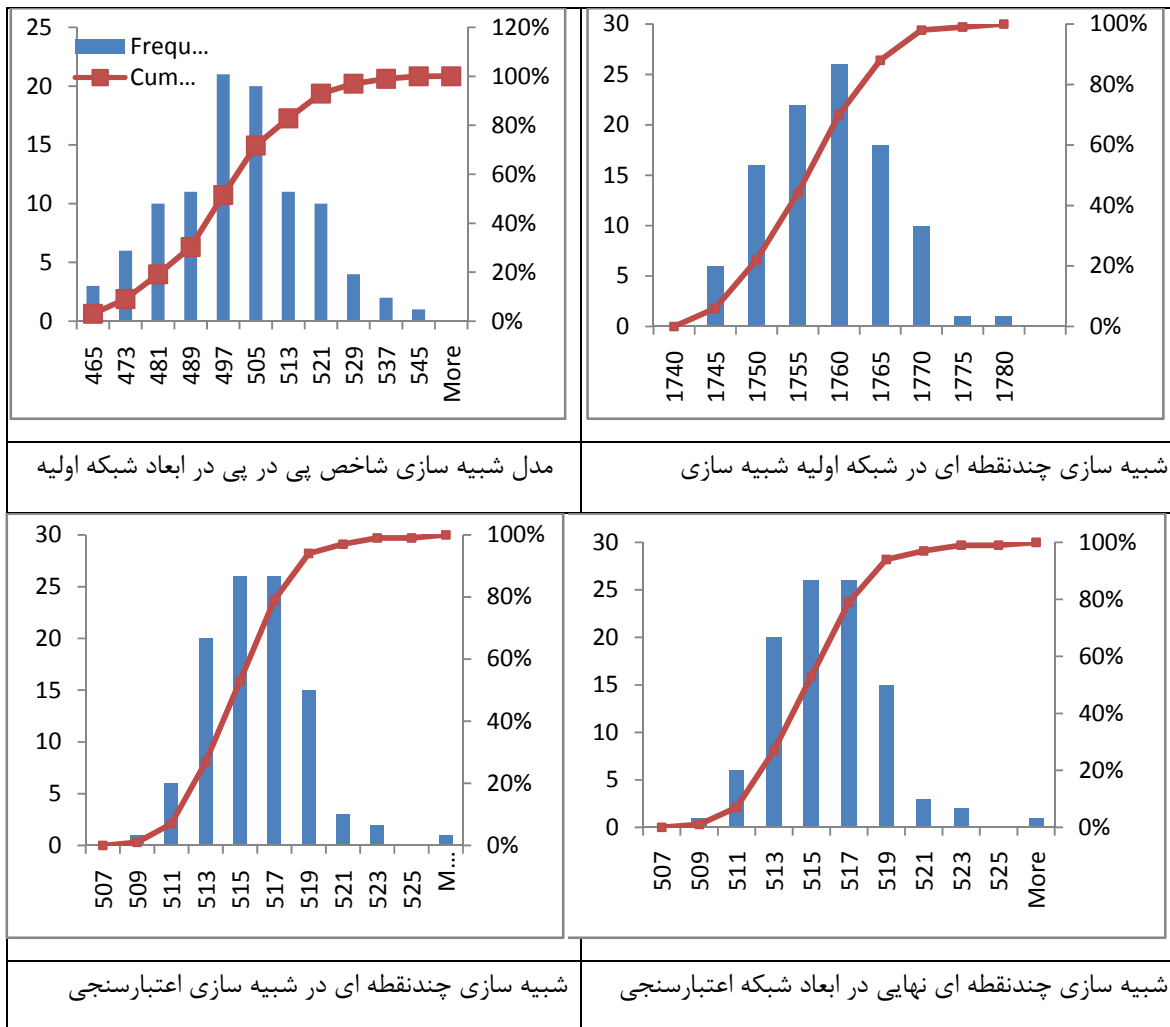
2 - Stack tank oil initial in-place

|                                      |             |                         |     |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------|-----|
| Bulk volume(million-m <sup>3</sup> ) | 3829.202807 | Formation volume factor | 1.1 |
| Porosity                             | 25%         | S <sub>w</sub>          | 20% |

همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف اندکی میان اعداد بدست آمده از ۱۰٪ فراوانی توزیع تجمعی و ۵۰٪ و ۹۰٪ آن در شبیه‌سازی چندنقطه‌ای وجود دارد که بیانگر عدم اطمینان پایین این روش است. جدول ۶-۹ P<sub>10</sub>، P<sub>50</sub> و P<sub>90</sub> شبیه‌سازی های گوناگون را در خود دارد. P<sub>10</sub>، P<sub>50</sub> و P<sub>90</sub> نشان دهنده احتمال حضور سیال درجا در مخزن هستند، بنابراین در تحقق های گوناگون شبیه‌سازی چندنقطه‌ای، به نوعی ثبات در تولید داده‌های آماری پدیده مدل شده، وجود دارد و در فاصله اطمینان ۱۰٪ تا ۹۰٪ مدل مخزن تفاوت چندانی از میزان سیال ارائه نمی‌کند. بطورکلی هر چه اطلاعات تلفیقی مدل‌ساز، در تولید مدل زمین‌شناسی بیشتر باشد، پیش‌بینی حجم سیال با صحت بیشتری همراه است و مدل بدست آمده از روش زمین‌آمار چندنقطه‌ای بخوبی توانسته است از داده‌ها و منابع اطلاعاتی موجود بهره‌مند گردد.

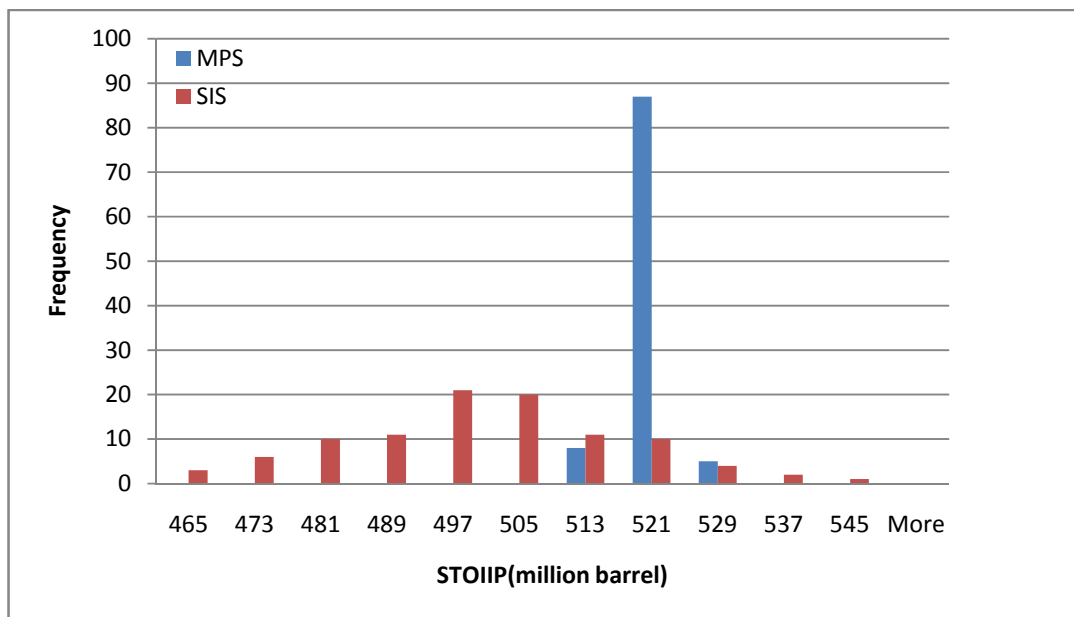
جدول ۶-۹ احتمال های مختلف سال درجای مخزن در شبکه های گوناگون شبیه سازی

| Probability/simulation | (m-barrel) P <sub>10</sub> | P <sub>50</sub> (m-barrel) | P <sub>90</sub> (m-barrel) |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| SIS                    | 522                        | 494                        | 465                        |
| (First) MPS            | 1765.35                    | 1756.08                    | 1746.51                    |
| (validation) MPS       | 518.45                     | 514.56                     | 511.18                     |
| (last grid) MPS        | 518.38                     | 514.64                     | 511.16                     |



شکل ۶-۲۷ نمودار توزیع تجمعی میزان نفت در جا بر حسب میلیون بشکه

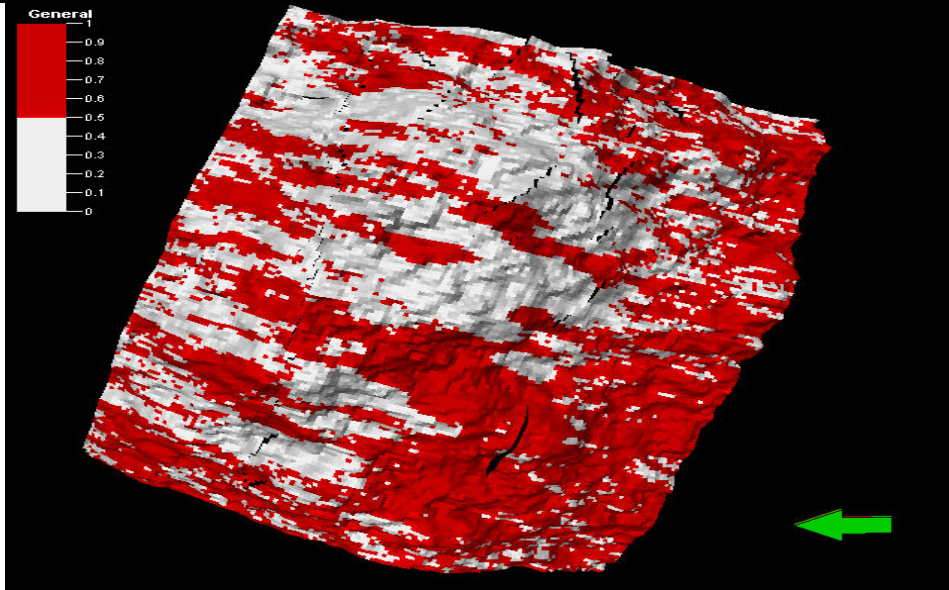
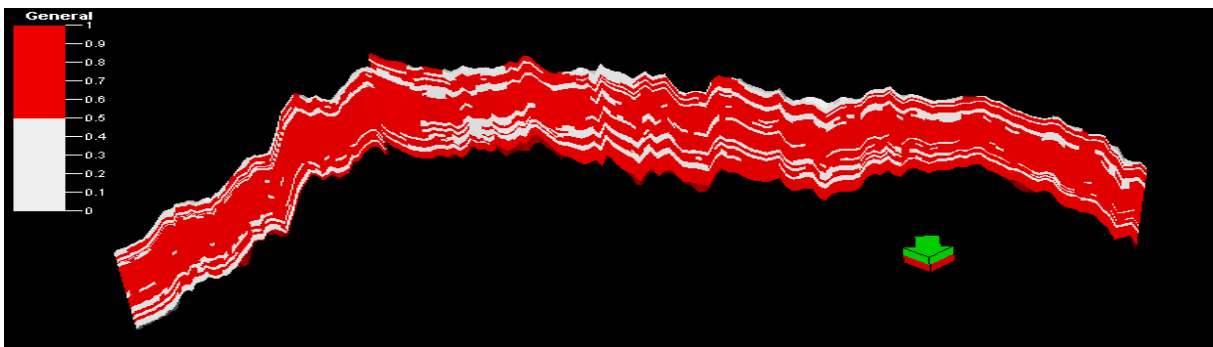
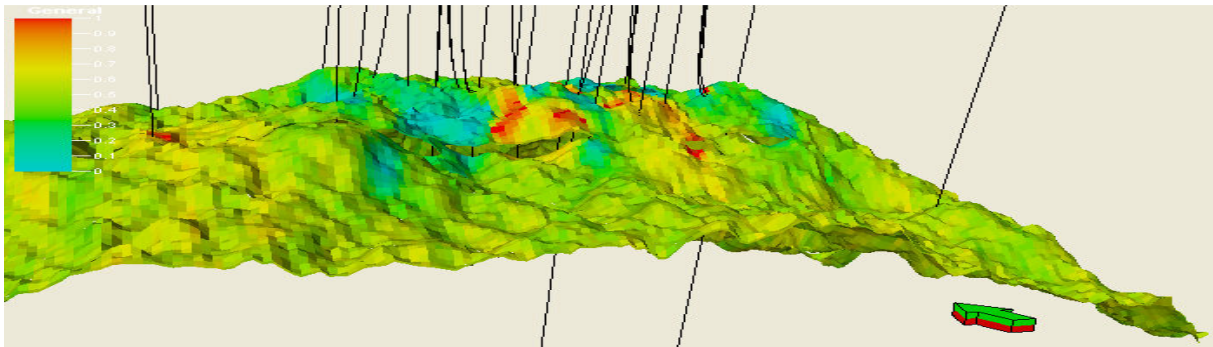
در شکل ۶-۲۸ مشاهده می‌گردد با بکارگیری روش شبیه‌سازی چندنقطه‌ای نسبت بروش شاخص پی‌درپی، عدم اطمینان کاهش یافته است. این نسبت را می‌توان از تغییرات سیال در جای مخزن در بازه تحقق‌های گوناگون بدست آورد. با داشتن بازه تغییرات شبیه‌سازی چندنقطه‌ای در ۵۱۱ تا ۵۲۷ (میلیون بشکه) و تغییرات شبیه‌سازی پی‌درپی در بازه ۴۵۶ تا ۵۴۴ میلیون بشکه، بهبود ۵.۵ برابر بدست می‌آید که پیشرفت بسیار مطلوبی محسوب می‌شود.



شکل ۶- ۲۸ نمودار هیستوگرام میزان نفت درجای دو شبیه سازی شاخص پی در پی و چندنقطه ای

#### ۶-۵-۸ ترسیم مدل چند نقطه ای و مقایسه با مدل فرض شده از واقعیت

در نهایت هر مدل سازی، ارائه نقشه‌هایی از پارامتر مورد شبیه‌سازی و سنجش مدل ارائه شده بر اساس واقعیت و داده‌های موجود است. در این مورد مطالعاتی نیز، با قراردادن نقشه‌های تحقق در ۳۶ لایه مختلف بر روی یکدیگر، نقشه احتمال Etype map این مدل‌ها آماده شد و از طریق بارگذاری در نرم‌افزار Petrel2010 تصاویر شکل ۶-۲۹ از مدل آماده شد. همانطور که در این اشکال می‌توان دید، خصوصیات و الگوهای اولیه میدان در هر مقطع از آن، بازتولید شده است (مقایسه با شکل ۶-۷). بنابراین شبیه‌سازی دویعدی میدان از طریق رویکرد چندنقطه‌ای، توانسته است اهداف مورد نظر مدل‌سازی را تامین نماید. هرچند برای بهبود مدل و استفاده بهینه از دانش موجود، فرآیندهای بسیاری را می‌توان پیاده کرد که معدودی از آنها در فصل هفتم اشاره شده است.



شکل ۶-۲۹ نمایی از شبکه مدل شده از میدان سروش (قرمز، مناسب مخزن و سفید نامناسب)

## فصل هفتم

### نتایج و پیشنهادات



## ۱-۷ مقدمه

با بکارگیری تصویر آموزشی، تشخیص الگوهای غیرخطی و استخراج آنها ممکن می‌گردد. به این ترتیب، تا حدودی نیازهای مدل‌های زیرسطحی، برآورده می‌گردد. تمرکز اصلی تحقیقات در این زمینه، پیرامون بسط و توسعه روشهای مستحکم‌تری از معرفیهایی عددی (به‌عنوان تصویر آموزشی) است که با تعریفی بهینه از قالب جستجو، اطلاعات مناسب از آن استخراج گردد و با توسعه برنامه‌های نرم‌افزاری، کاربرد عملی‌تر و آسان‌تری از این ابزار، ارائه گردد.

## ۲-۷ نتایج

در این تحقیق، با بررسی عملی رویکرد زمین‌آماری که از زمان حیات آن به پیشرفت‌های بزرگی دست یافته است، به ارزیابی نقاط قوت و ضعف این رویکرد پرداخته شد و در مقایسه با سایر حوزه‌های زمین‌آمار و شبیه‌سازی تصادفی، در مجموع نکات زیر، قابل عنوان است:

### الف) بازتابی از واقعیت و بازتولید آن در نقشه‌های نهایی شبیه‌سازی

در مواجهه با ناهمگنی و الگوهای پیچیده بسیاری که در واقعیت مخزن موجود است، زمین‌آمار چند نقطه‌ای کارا عمل می‌کند. هرچند روش‌های برپایه شی، قادر به بازتاب اشکال غیرخطی لایه‌های زیرسطحی می‌باشند، اما نیازمند تحلیل‌های هندسی و پارامتری کردن شکل هندسی تحت مدل‌سازی هستند و با تغییر شکل مورد نظر، فرآیند پیچیده ساخت پارامترهای اشکال، مجدداً باید انجام گیرد. در حالی که الگوریتم شبیه‌سازی زمین‌آماری چند نقطه‌ای، قادر به بازتولید ساختارهای با هندسه متفاوت (مراجعه به بخش ۴-۵-۶) و در مقیاس‌های متعدد است که بسیار قابل توجه است. مقایسه عددی مابین دستیابی به نسبت رخساره‌ای هدف در این دو روش شبیه‌سازی گواه دیگری بر این ادعا است. روش چندنقطه‌ای با ضریب تعیین ۰/۹۹ و روش برپایه شیء با ضریب تعیین ۰/۲ بدست آمد. با این حال، هنوز

فاصله بسیاری تا ایده‌ال هماهنگی بین تعداد الگوهای تصویر آموزشی و تحقق‌ها وجود دارد که دارای ضریب تعیین ۰/۴۷ است (بخش ۶-۵-۴) رسم واریوگرام جهتی نیز هماهنگی مابین تحقق‌ها و تصویر آموزشی را نشان می‌داد، هرچند اختلاف اندکی در پارامترهای مربوطه هر کدام دیده می‌شد. از جمله آنکه؛ سقف واریوگرام تصویر آموزشی در حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۴ از سقف واریوگرام تحقق‌ها بزرگتر است (بخش ۶-۵-۶). سایر پارامترهای بررسی شده نیز ساخت الگوهای تصویر آموزشی و نمونه‌ها را تایید می‌کند. از جمله می‌توان به الگوهای موجود در نقشه‌های Etype و نقشه محتوای اطلاعات اشاره کرد که از لحاظ کمی محتوای اطلاعات با میانگین ۰/۵۲ در بازه متوسط به بالایی قرار دارد. بازتولید نقطه به نقطه تصویر آموزشی در بازه قابل قبولی (۴۰ تا ۱۰۰) قرار دارد. بازتولید نقاط نمونه (چاه‌ها) نیز با ۷۸٪ و ۶۹٪ به ترتیب در چاه اول و دوم ارقام مناسبی به حساب می‌آید. بنابراین با دستیابی به چنین ابزاری که خلا آن در زمین‌آمار مرسوم، کاملاً احساس می‌شود، می‌توان به مدل‌هایی دست یافت که قادر به تولید اشکال منحنی‌شکل و توالی‌های پیچیده‌ای از چیدمان زمین است. درحالی‌که مدل‌های برپایه واریوگرام، بخوبی قادر به تشخیص آنها نیستند.

ب) انعطاف پذیری مدل در تلفیق داده‌ها و افزودن لایه‌های اطلاعاتی

تلفیق و بکارگیری منابع گوناگون اطلاعاتی از چند زاویه قابل بررسی است:

۱- شرطی نمودن به داده‌های سخت: هرچند روش زمین‌آمار چندنقطه‌ای همچون بسیاری از روشهای شبیه‌سازی که قادر به مقید نمودن مدل به داده‌های با اعتبار بالا هستند، قادر به تایید داده‌ها (با هر حجمی) است، اما با قرار دادن ابزارهای کنترلی دیگر و بکارگیری غیرمستقیم داده‌های موجود چاه می‌توان بر تاثیر هر یک از این داده‌ها بر مدل نهایی افزود. بکارگیری نسبت‌های عمودی در شبیه‌سازی سه بعدی و استخراج نسبت‌های هدف، نمونه‌ای از استخراج اطلاعات از

داده‌های چاه افزون بر شرطی نمودن مدل به این داده‌ها است. بعلاوه لازم به یادآوری است در روش‌هایی همچون روش برپایه شی، شرطی‌سازی به سختی صورت می‌گیرد و همراه با صرف زمان زیاد و هزینه بالایی است، در حالی که از مزیت‌های روش چندنقطه‌ای کارایی بالای الگوریتم از لحاظ حافظه (CPU) را می‌توان نام برد.

۲- بکارگیری نقشه‌های احتمال و زوایای چرخش در موقعیت‌های مختلف مخزن: چنین نقشه‌هایی که با استفاده از داده‌های لرزه، رسوب‌شناسی و زمین‌شناسی بدست می‌آید، می‌تواند علاوه بر استفاده مستقیم در شرطی نمودن مدل به داده‌های نرم، در ساخت سایر نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی که در ساخت مدل نهایی استفاده می‌شود بکار گرفته شود.

۳- بکارگیری ابزارهای ریاضی کنترلی در الگوریتم و افزودن یا کاهش تاثیر داده‌ها: با توجه به وجود پارامترهایی همچون محتوای اطلاعات  $\theta$ ، ضریب تاثیر داده های نرم  $\tau$ ، نسبت هدف  $P^*$ ، خود تنظیم سیستم  $\lambda$ ، کنترل بروزرسانی بیزین، ... و فرضیه‌هایی همچون استقلال شرطی پیشامدها که براعتبار تلفیق داده‌ها می‌افزاید، فرایند تلفیق داده‌ها بخوبی انجام می‌شود.

ج) وجود مدلی مفهومی در قالب تصویر آموزشی و تصمیم‌گیری بصری

۱- در مدل‌سازی چندنقطه‌ای، نه تنها از تصویر آموزشی برای استخراج الگوها و مدل ارتباط فضایی استفاده می‌شود که می‌توان خصوصیت یا قسمتی از خصوصیات مورد نیاز آنرا از طریق مشاهده قضاوت کرد که این نکته نیز از امتیازات آن محسوب می‌شود. بعلاوه با وجود نقشه‌های احتمال میانگین از تحقق‌ها (Etype)، نقشه محتوای اطلاعات، و سایر نقشه‌ها و حضور شبکه و قالب جستجویی که در آن نه تنها اندازه و شکل، بلکه سایر پارامترهای هندسی همچون مقیاس و تشابه آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد، به ابزارهای کنترلی ریاضی و آماری افزوده می‌شود. ضمن آنکه، بر سهولت کار تصمیم‌گیری در شرایط گوناگون می‌افزاید.

۲- قابلیت نمونه‌برداری سریع از قسمتی از مدل عددی، یا مشاهده بخشی از تغییرپذیری امکان‌پذیر است.

(د) عدم قطعیت پایین

هرچه داده‌های مورد استفاده در ساخت مدل نهایی بیشتر گردد، صحت مدل و مطابقت با واقعیت در سطح بالاتری قرار می‌گیرد. گرچه نقشه‌های نهایی اختلاف کمی با یکدیگر دارند و بعنوان نمونه سیال در جای مخزن (در شبکه نهایی شبیه‌سازی) در محدوده کوچکی از بازه عددی قرار گرفت (۵۰۸ تا ۵۲۵ میلیون بشکه)، از این‌رو عدم اطمینان پایینی بر این شبیه‌سازی‌ها حاکم است.

### ۳-۷ پیشنهادات

در انجام این تحقیق، سعی بر آن بوده است تا بهترین روش‌های قابل اجرا، جهت تست رویکرد شبیه‌سازی زمین‌آمار چندنقطه‌ای و فرآیند SNESIM بکارگرفته شود. پرواضح است، کاستی‌ها و نارسایی‌های بسیاری در انجام و بیان حق مطلب وجود دارد. از این‌رو برای سایر تحقیقات همسو، پیشنهاداتی به شرح ذیل اراده می‌گردد:

۱- برای شبیه‌سازی میدان سروش می‌توان از تلفیق مجموعه بزرگتری از داده‌ها (از جمله داده‌های لرزه) برای شرطی نمودن مدل استفاده نمود که از فعالیت‌های در حال حاضر و آتی شرکت ملی نفت در دسترس قرار می‌گیرد و شبیه‌سازی‌ها در جوامع گسسته با رخساره‌های بیشتر (۹ گونه رخساره سنگی) و جوامع پیوسته (همچون نفوذپذیری) انجام گیرد. در این راه می‌توان از تلفیق با روشهایی همچون آنیلینگ نیز استفاده نمود. موجود نبودن چنین داده‌ها و اطلاعاتی در حال حاضر مانع از انجام چنین کاری در این پایان نامه شده است.

۲- بکارگیری داده‌های تولید و دینامیک و تلفیق با مدل استاتیکی تولید شده جهت اصلاح و آزمونهای بیشتر بر روی مدل. از آنجا که چنین داده‌هایی از میدان سروش موجود نبوده است، امکان چنین عملیاتی که از اهداف اولیه بوده است، در حال حاضر وجود ندارد. این فرآیند با داشتن داده‌هایی همچون تخلخل، تراوایی، فشار مخزن و تولید، اشباعیت و سایر خصوصیات سیال و سنگ در این میدان امکان‌پذیر است. می‌توان با بکارگیری الگوریتم زمین‌آمار چندنقطه‌ای در میدان‌های دیگری که داده‌های تولید آن موجود است، به محک مدل‌های تولید شده پرداخت.

۳- استفاده از برنامه نویسی در بکارگیری الگوریتم SNESIM: در این پایان‌نامه از نرم‌افزار SGEMS برای استخراج الگوها و بازتولید آن در شبکه شبیه‌سازی استفاده شده است. همانطور که در بخش‌های ۴-۵-۶ و ۶-۵-۶ اشاره شد، به نظر می‌رسد فرآیند موجود در نرم‌افزار SGEMS در مواردی که هماهنگی مناسبی بین نمونه‌ها و تصاویر آموزشی و آماره‌های آنها برقرار نیست، نمی‌تواند بخوبی الگوهای تصویر آموزشی را بازتولید نماید. برای بهتر شدن وضعیت نسبی الگوها، پیشنهاد می‌گردد از برنامه‌نویسی استفاده شود.

۴- بر اساس کارهای کرز و جورنل (Caers and Journel) بکارگیری ابزار چندنقطه‌ای در قالب شبکه عصبی پیشنهاد می‌شود. این روش، اجازه می‌دهد که تابع خطایی اجرا شود و اعتبارسنجی از طریق آن انجام گیرد. تصویر آموزشی در این حالت به دو دسته آموزشی و دسته اعتبارسنجی تقسیم می‌گردد. ضرایبی که به شبکه عصبی آموزش داده می‌شوند، مجدداً در مجموعه اعتبارسنجی<sup>۱</sup> بررسی می‌گردند. هنگامی که شبکه عصبی شروع به خوراندن داده‌های آموزشی می‌کند، خطاها در مجموعه اعتبارسنجی افزایش می‌یابد و آموزش متوقف می‌شود. از آنجا که اعتبارسنجی نیازمند داده‌های آموزشی زیادی است، این روش در فضاهایی که داده‌های نمونه‌برداری و تصویر

---

<sup>۱</sup> - validation set

آموزشی به میزان کافی موجود است، پیشنهاد می‌گردد. چون اعتبار مدل از مقایسه احتمالات بدست آمده از داده‌های نمونه و تصویر آموزشی بررسی می‌گردد، می‌توان با تصاویر آموزشی متعدد این اعتبارسنجی انجام گیرد و تصویر آموزشی مناسب‌تر از طریق این آزمون انتخاب گردد.

۵- در مشخص نمودن مسیر تصادفی و ساخت الگوها و وضعیت‌های هندسی قالب جستجو با استفاده از محتوای اطلاعات، اصلاحاتی مطابق پیوست (ب، بخش ب-۲) پیشنهاد می‌گردد.

نهایتاً استفاده از رویکردهایی که بتوان از طریق آنها آمار چند نقطه‌ای و ارتباط نقاط گوناگون جریان سیال را به طور همزمان استخراج نمود، جهت پیش بینی و برداشت صحیحی از جریان سیال ضروری به نظر می‌رسد. از این رو شبیه‌سازی چندنقطه‌ای استفاده شده است که قادر به شناسایی این الگوها و تلفیق با داده‌های تولید می‌باشد. جهت اثبات چنین ادعایی، دسترسی به داده‌های تولید همچون پارامترهای اشباع و نفوذپذیری سیالات مخزن مورد نیاز است.

## پیوست الف - محدودیت های اجرایی و روشهای حل آنها

برای انجام هر نوع شبیه سازی یا تخمین زمین آماری، به تصمیم گیری درباره برقراری فرضیات پایایی و ارگودیسیت، نیاز است. در غیر این صورت تخمین عدم اطمینان یا متغیرهای فضایی نا ممکن می نماید. توصیف های ریاضی بسیار برای پایایی وجود دارد. برای مثال می توانید به منابع (Deutsch and Journel, 1998; Chiles and Delfiner, 1999) مراجعه نمایید. در حالی که اغلب کاربران، بخوبی در مورد تصمیم گیری پایایی واریوگرام یا هیستوگرام آگاه هستند، کمترین توجه به مفهوم پایایی آماره های درجات بالاتر، انجام شده است. براستی، در هر الگوریتم شبیه سازی به تصمیم گیری در مورد پایایی آماره های درجات بالاتر نیازمندیم. وگرنه، تولید نقشه واحدی از خصوصیت مورد نظر، با دانستن واریوگرام یا هیستوگرام، به تنهایی امکان پذیر نیست (شکل ۳-۱). اطلاعات بیشتری در راستای آمار درجات بالاتر مورد نیاز است. برای مثال، به الگوریتم رایج و شناخته شده شبیه سازی گوسین پی در پی<sup>۱</sup> (SGS) توجه نمایید. اغلب کاربران از این آگاهند که تنها، داشتن هیستوگرام و مدل واریوگرام برای شبیه سازی شرطی این روش مورد نیاز است. با این حال، آنچه در الگوریتم پنهان است، مفهوم قوی آمار چند نقطه ای در جای جای مخزن است که گوسین چندمتغیره ارائه می کند. فرض پایایی گوسین چند متغیره، به تعریف و تولید مدل های مخزنی می پردازد که بطور همگنی، ناهمگنی در آنها به چشم می خورد. مفهوم اخیر، بدین معناست که در میان همه مدل های ممکن مخزن، SGS، مدل های با بیشترین ناپیوستگی در مقادیر بیشینه و کمینه را تولید می کند. این خصوصیت SGS تحت عنوان بیشترین آنتروپی نامیده می شود (Caers and Zhang, 2002). تصمیم استفاده از روش های زمین آماری، بطور کامل به تصمیم پایایی وابسته است. پارامترهای بنیادی مدل برپایه مفهوم پایایی تخمین زده می شوند. در این بخش به توضیح مختصری راجع به این مفهوم می پردازیم:

## الف- ۱ پایایی

هر چند یکی از ارکان شبیه‌سازی، تشخیص الگو و روش‌های تشخیص الگو در تصویر آموزشی است، یکی از دغدغه‌های مربوط، این است که این الگو و آماره‌های چندنقطه‌ای، وابسته به موقعیت تصویر آموزشی نباشد. دغدغه‌ی دیگر، این است که اهمیت و تعداد این الگوها به درستی در تصویر انعکاس یافته باشد. اما مهم‌ترین اصل هر تصویر آموزشی همچون روش‌های دیگری که از تصویر آموزشی بی‌بهره‌اند، پایایی مدل استخراج شده است. بدین معنی که روند خاصی در مدل (واریوگرام یا تصویر آموزشی) مشاهده نشود و میانگین محلی در محدوده‌های با موقعیت‌های گوناگون، برابر باشد.

پایایی را می‌توان نیاز به وجود شباهت‌ها و تکرارهای کافی از خصوصیت مورد نظر در محدوده، نامید که با هدف محاسبه آمار تک متغیره، دو یا چند متغیره و خصوصیات ساده تا پیچیده چندنقطه‌ای، و از ائتلاف اطلاعات موجود بدست می‌آید (Caers and Zhang, 2002). عبارت ساده‌تر در آمار، معمولاً هنگامی یک تابع تصادفی پایا فرض می‌شود، که قانون آن با جابجایی بدون تغییر باقی می‌ماند. به این ترتیب یک تابع تصادفی پایا، خود را در فضا تکرار می‌کند. چنین امری، استنتاج آماری را ممکن می‌سازد. در معنای صریح‌تر، پایایی ایجاد می‌کند که تمامی ممان‌ها (گشتاورها)ی آماری با جابجایی ثابت بمانند. اما از آنجا که نمی‌توان چنین چیزی را توسط تعداد معدودی داده‌ی تجربی آزمود، معمولاً به ثابت ماندن دو ممان اول (میانگین و کوواریانس) کفایت می‌کنیم که در این صورت آن را پایایی ضعیف یا پایایی مرتبه دوم می‌نامیم (کنشلو، ۱۳۹۰).

به عبارت دیگر:

میانگین تابع  $Z(x)$  ثابت است  $E(Z(x))=m(x)=m$ ، که مقدار  $m$  مستقل از موقعیت  $x$  است.

تابع کوواریانس بین دو نقطه‌ی  $x$  و  $x+h$  تنها به بردار  $h$  وابسته بوده و مستقل از موقعیت  $x$  است.

در عمل اغلب این فرضیات برآورده نمی‌شوند. بدیهی است هنگامی که یک روند واضح مشاهده می‌شود، نمی‌توان مقدار میانگین را ثابت فرض کرد (کنشلو، ۱۳۹۰).



الگوریتم‌ها با این حقیقت برپایه مفهوم و تصمیم‌گیری پایا بودن مدل، پایه نهاده شده اند که عملگر، الگوریتم مشابه و یکسانی در هر گره سلول شبکه، بکار می‌برد و خصوصیات در حال تخمین یا شبیه‌سازی تکرار می‌گردد. در قلمرو آمار چندنقطه‌ای، که بر پایه مفهوم قوی‌تری از پایایی استوار است، استخوان‌بندی روش توسعه پیدا می‌کند و موجب اطمینان خاطر بیشتری خواهد بود. بعلاوه، تصمیم پایایی بر اساس مدل شماتیک تصویر آموزشی، نسبت به مدل ریاضی واریوگرام می‌تواند ساده‌تر انجام گیرد (Caers and Zhang, 2002)

### الف-۱-۱ روشهای حل ناپایایی در آمار چندنقطه‌ای

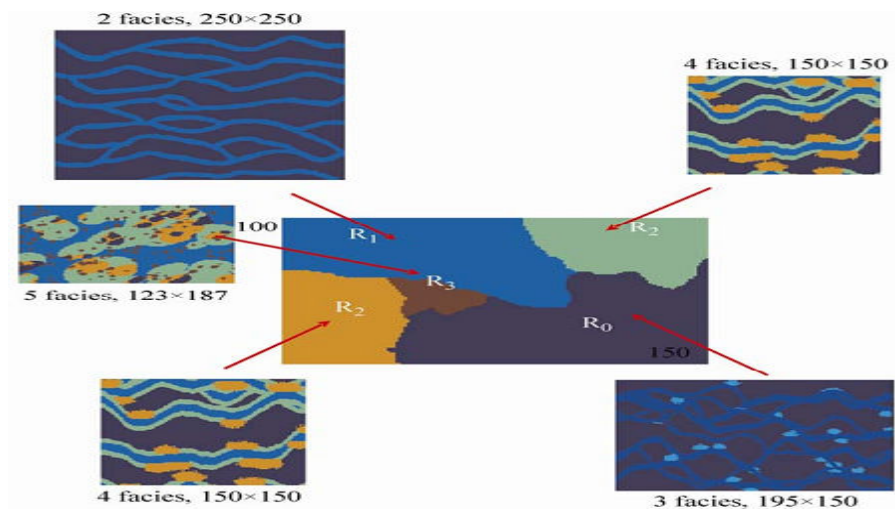
استفاده از یک تصویر آموزشی پیچیده، برای الگوریتم شبیه‌سازی در کل محدوده‌ای بزرگ و با ساختارهای متعدد، منجر به تحقق‌های بی‌کیفیتی می‌گردد که ناشی از وجود روند و الگوهای وابسته به موقعیت در تصویر آموزشی است. با ائتلاف همه الگوها در ساختاری واحد، به نام درخت جستجو بدون ذخیره موقعیت مربوطه الگوها، برخی ساختارهای بحرانی چنین تصویر آموزشی از دست می‌رود (Boucher, 2009). برای غلبه بر این مشکل؛ سه رویکرد انتخابی برای مدل‌سازی چنین پدیده‌های با تصویر آموزشی پیچیده، وجود دارد.

الف- استفاده از رویکرد ناحیه بومی<sup>۱</sup>؛ تقسیم نمودن شبکه شبیه‌سازی به چندین ناحیه و شبیه‌سازی هر ناحیه با تصویر آموزشی متفاوت که در ساختار درخت جستجویی مخصوص ذخیره می‌گردد. (شکل الف-۱) نکته مهم در رویکرد نواحی بومی، ناسازگاری احتمالی مابین تصاویر آموزشی هر ناحیه است. این نکته می‌تواند، به سبب ناپیوستگی‌های موجود در مرزهای نواحی باشد. مدل‌ساز از گروهی از تصاویر آموزشی که هر کدام پدیده واقعی ناحیه خود در خود جا داده است، استفاده می‌کند. بنابراین محتمل

---

<sup>1</sup> - region approach

است که این تصاویر آموزشی، به همدیگر وابسته نبوده و مفهوم واحدی از پدیده زمین‌شناسی از آنها برداشت نشود (Zhang, 2008; Boucher, 2009).



شکل الف-۱ شکل مربوط به مفهوم تقسیم به نواحی بومی (Zhang, 2008)

ب- میدان احتمالاتی<sup>۱</sup>: برای کنترل دسته‌های شبیه‌سازی، (Strebelle, 2002; Harding et al, 2004)

استفاده از رویکردی احتمالاتی وجود دارد. میدان احتمالاتی، با استفاده از یک تصویر آموزشی پیچیده، بخشی از الگوها را در هر ناحیه مخصوص فعال نموده و فرآیند از طریق آماده نمودن احتمالات محلی پیشامدهای گوناگون که از پیش تعریف شده‌اند، پیش می‌رود. یکی از مشکلات این روش، تغییر احتمال مشتق شده از درخت جستجو است که از راه چنین تلفیقی ایجاد می‌گردد و بطرز ناشناخته‌ای بر بازتولید الگوها تاثیر می‌گذارد (Boucher, 2009).

ج- افزاز درخت جستجو<sup>۲</sup>: سومین مسیر مورد استفاده، بکارگیری رویکردی سلسله مراتبی است

که دسته‌ها تودرتو قرار دارند. این رویکرد، با توسعه مفهوم نواحی بومی، اما با استفاده از تصویری آموزشی منفرد و در عین حال کامل بوجود آمده است. این مفهوم برپایه پیشنهاد

<sup>۱</sup> - Probability field approach

<sup>۲</sup> - Search tree partitioning

بوچر ایجاد شده است (Boucher, 2007). با اجرای این الگوریتم، اثر مهمی بر بالا بردن سرعت فرآیند مشاهده می‌گردد که از طریق جانشینی یک درخت جستجو بجای مجموعه‌ای از درخت‌های جستجو بدست می‌آید. این رویکرد، یک تصویر آموزشی بزرگ را به تصاویر کوچکتر همگن و فلس فلسمانندی که کلاس‌های افراز نامیده می‌شود تقسیم می‌کند. هر یک از این کلاس‌های افراز، درخت جستجوی متناسبی را داراست و از طریق آن الگوریتم شبیه‌سازی انجام می‌گردد. این کلاس‌های افراز، با اعمال فیلترهای مخصوصی، که به الگو حساس هستند، بر روی تصویر آموزشی بکار گرفته می‌شوند. در شبیه‌سازی پی‌درپی، در طول مسیر شبیه‌سازی، ابتدا کلاس افراز مورد نظر بدست می‌آید، سپس برای انتخاب درخت جستجوی مناسب استفاده می‌شوند، که چنین درختی شامل الگوهای خاص آن کلاس افراز است. این روش بر انعطاف‌پذیری انتخاب تصویر آموزشی می‌افزاید. بنابراین تصاویر آموزشی (پیچیده) که بسادگی بدست می‌آمد، اما در روش‌های چند نقطه‌ای پیشین، شبیه‌سازی پیچیده‌ای را رقم می‌زد، از این طریق قابل استفاده می‌گردد (Boucher, 2009).

#### الف-۱-۲ پایایی تصویر آموزشی و ناهمگنی مخزن تحت مطالعه

تصویر مورد استفاده نیازمند تصمیم‌گیری در مورد پایایی آن است؛ هرچند مخزن واقعی معمولاً ناپایاست. علت آن علاوه بر الگوهای نهشته‌ای وابسته به موقعیت، غیرتکراری بودن این الگوها بخاطر انیزوتروپی و ناهمگنی موجود در فرآیند رسوب‌گذاری است. برای فائق آمدن بر این مشکل، چندین رویکرد (مراجعه به بخش قبل) می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. یکی از روش‌های روبرو شدن با این چالش، از طریق تلفیق منابع گوناگون داده‌ها انجام می‌گیرد. چند نمونه از این منابع آورده ذکر شده است: داده‌های چاه، نقشه آزیموت که جهت و چرخش کانال‌ها در هر موقعیت محلی را تعیین می‌کند، نقشه فاکتور مقیاس که

تغییرات اندازه مشخصه زمین‌شناسی را در شبکه شبیه‌سازی می‌سازد، نقشه نسبت‌های رخساره‌ای هدف که می‌تواند متفاوت از نسبت‌های موجود در تصویر آموزشی باشد، نسبت‌های تغییرات قائم، نقشه احتمال‌های رخساره‌ای که به عنوان داده نرم می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Zhang, 2008).

## الف-۲ ارگودیسیتته: پایایی واریانس

الگوریتم‌های شبیه‌سازی زمین‌آماری، آمار ورودی همچون هیستوگرام و واریوگرام را تحت قانون مسلم (نوسانات ارگودیک) بازتولید می‌کنند. این نوسانات ناشی از وسعت محدود قلمرو فضایی هستند که در حال شبیه‌سازی است. آمار نمونه‌ها دقیقاً بازتولید نمی‌شود. می‌دانیم که واریوگرام محاسبه شده از یک تحقق منفرد، با آخرین عدد تولید شده در تحقق قبلی یا مقادیر ورودی واریوگرام مدل، الزاماً مطابقت ندارد؛ چون آمار نمونه‌ها ذاتاً دارای تغییرات است، هرچند، چنین مطابقت این آمارها پسندیده نیست، اما علت این نوسانات استفاده از ترفندهای ریاضی/زمین‌آماری نیست که می‌تواند اجازه دهد آمار نمونه‌ها در بازه‌ی تغییرات ذاتی‌شان معلق باشد. شبیه‌سازی در حوزه‌های نامتناهی، منجر به نتایج آماری تحقق‌هایی خواهد شد که دقیقاً با آمار مدل برابر است. بنابراین هنگامی که در یک حوزه‌ی محدودی شبیه‌سازی می‌کنیم، برخی آمارها نسبت‌های کمتری در برابر سایرین دارند. برای مثال، آمار واریوگرام یک تحقق، برای فواصل گام کوتاه معمولاً تغییرات کمتری نسبت به واریوگرام حاصل از گام‌های بلندتر دارد. بنابراین ارگودیسیتته نقش مهمی را چه در شبیه‌سازی و چه در تخمین پارامترهای مدل ایفا می‌کند. در کاربردهای مرسوم زمین‌آماری توصیه می‌شود از فواصل گام بیش‌تر از نیمی از اندازه‌ی میدان استفاده نشود، علت آن از آنجا ناشی می‌شود که در این شرایط نمونه‌های کافی برای برداشت قابل اعتماد و تخمین واریوگرام مطمئن موجود نیست. ملاحظات مشابهی در کاربردهای زمین‌آماری چند نقطه‌ای نیز می‌تواند لحاظ شود (Caers and Zhang, 2002). (بعنوان نمونه بخش اندازه تصویر آموزشی ۳-۲-۳ مطالعه شود).

## پیوست ب- شرطی نمودن به انواع داده ها

در علوم زمین، معمولا دو نوع داده وجود دارد: داده‌های سخت مثل داده‌های پراکنده چاه‌ها، و داده‌های نرم که گسترده بزرگ‌تری دارند، همچون داده‌های لرزه‌ای. شرطی نمودن مدل مخزن به انواع متفاوتی از این داده‌ها حیاتی به نظر می‌رسد. یکی از خصوصیات بارز شبیه‌سازی برپایه پیکسل، این است که شرطی‌سازی بسادگی امکان‌پذیر است. و شبیه‌سازی چندنقطه‌ای نیز این امتیاز را دارا است (Liu,2006).

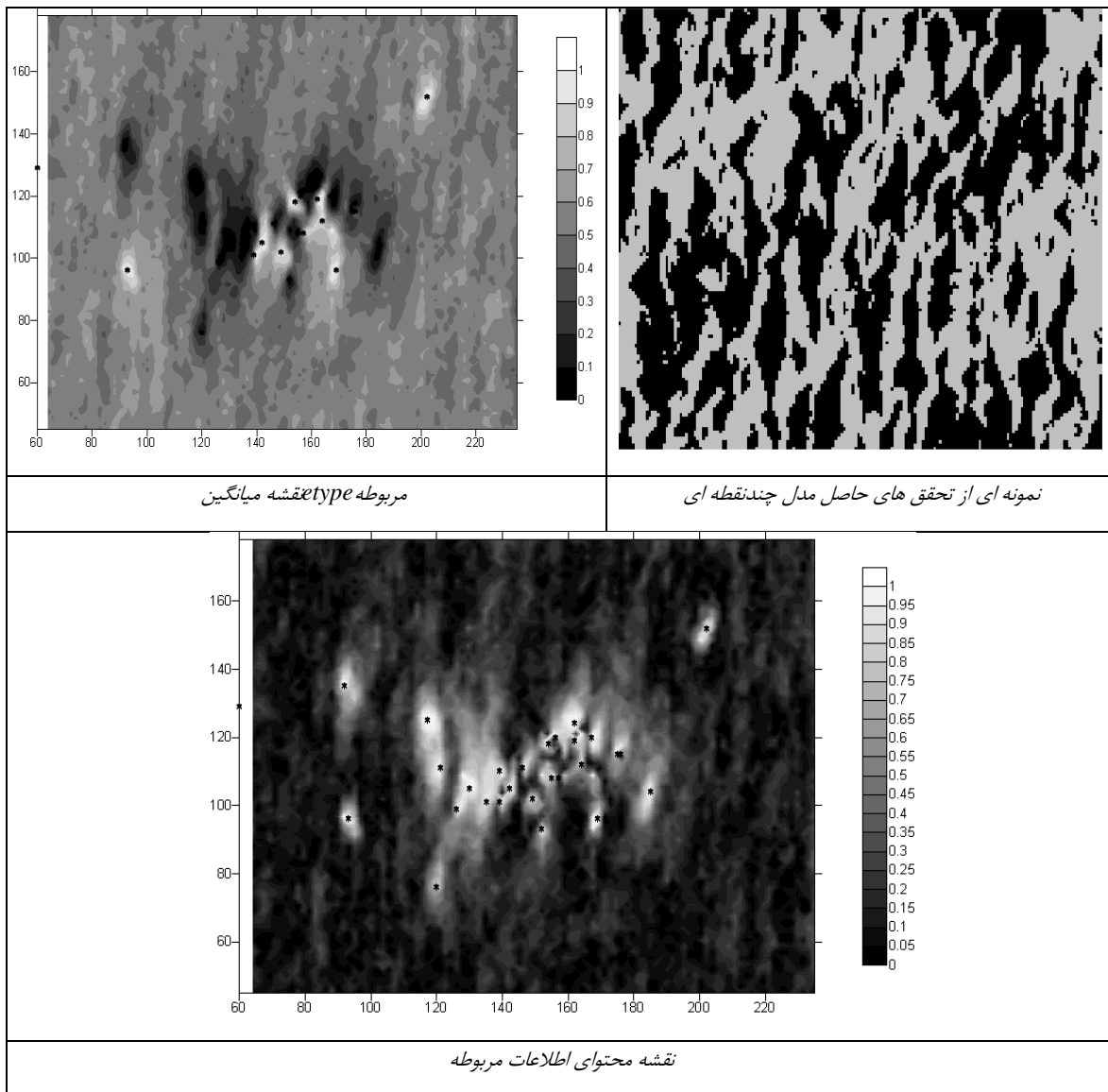
## ب-۲ شرطی نمودن مدل به داده‌های سخت

برنامه SNESIM، تکنیکی برپایه پیکسل است که می‌تواند هر تعداد از داده‌های سخت را تایید کند (Liu,2006). برای نمونه در یک شبیه‌سازی به ابعاد  $172 * 134$  واحد و تعداد ۱۰۰ گره در قالب جستجو، و شعاع جستجوی ۱۲۵ واحد، درخت جستجویی به ابعاد ۸۶۵۰۰۰ ساختار بدست آمد. ۱۰۰ تحقق مشروط به ۲۵ داده سخت (چاه)، طی مدت ۲۵۴ ثانیه شبیه‌سازی شد. شکل ب-۱ نتایج شرطی‌سازی (تصویر بالا-راست یکی از تحقق‌ها را نشان می‌دهد). برای شبیه‌سازی تصویر آموزشی (شکل ۴-۱) را نمایش می‌دهد. و تصویر بالا-چپ نقشه میانگین ۱۰۰ تحقق (Etype map) را نشان می‌دهد.

در این نقشه نیز می‌توان بررسی نمود که داده‌های چاه، دقیقا تولید شده است و برنگ مشکی و سفید (بنا به رخساره موجود) دیده می‌شود. در اطراف هر نقطه نمونه سخت، منطقه تاثیر بصورت هاله رنگی مرتبط با رنگ رخساره نمونه دیده می‌شود. در اطراف کانال‌ها هاله بصورت سفید و در اطراف جنس سنگ‌های نامناسب مخزن، رنگ مشکی مشاهده می‌گردد. برای ارزیابی کمی‌تری از میزان این ناحیه تاثیر، مفهوم محتوای اطلاعات بوجود آمده است. (تصویر پایین شکل ب-۱)

## ب-۲ مفهوم محتوای اطلاعات

در عمل همه ساختارهای موجود در تصویر آموزشی به طور کامل به شبکه شبیه‌سازی منتقل نمی‌گردد. علت این امر، وجود احتمال‌های شرطی است که بنابر اطلاعات همسایگی نقطه در حال تخمین، بدست می‌آید و به مسیر جستجو وابسته است (Ortiz, 2004). مسیر جستجو تصادفی است و داده‌های نمونه‌ها و گره‌های شبیه‌سازی شده در همسایگی هر نقطه که در این مسیر ملاقات می‌شود در ساخت این احتمال



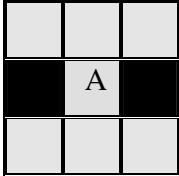
شکل ب-۱ شبیه سازی شرطی داده های چاه و نتایج حاصل از آن

شرطی نقش دارند. نه تنها مسیر تصادفی، بلکه هندسه قالب جستجو، تعداد گره های قالب و شبکه جستجو از شاخصه های تعیین کننده استخراج ساختارهای تصویر آموزشی هستند. بنابراین مسیر تصادفی که در هر تحقق متفاوت خواهد بود منجر به نتایج متفاوتی می گردد. این امر موجب می گردد در هر تحقق بخشی از آماره های مشخصات پدیده، منعکس گردد و تحقق ها، متفاوت از یکدیگر باشند. هر چند در یک حوزه نامحدود (ارگودیک)، مدل ها در نهایت آماره های یکسانی را تایید می کنند، اما می تواند با آماره های تصویر آموزشی دقیقا برابر نباشد. این اختلاف ممکن است از آنجا ناشی گردد که وضعیت جستجو شده در تصویر غایب باشد. اگر تعداد تکرارهای یافت شده وضعیت جستجو مورد نظر کافی نباشد یا چنین هندسه و وضعیتی مشاهده نشود تا آماره های معتبر استخراج گردد، با افتادن دورترین گره و ایجاد وضعیت جدید، فرایند پردازش تصویر مجددا انجام می گردد (Ortiz, 2004). یکی دیگر از محدودیت هایی که می تواند ناشی گردد، این است که وضعیتی که از داده های موجود ساخته می شود، می تواند کاملا از گره در حال شبیه سازی خبر دهد یا برعکس (شکل و-۲) که به سناریو داده های موجود شرطی سازی مربوط می گردد (Liu and Journal, 2004). برای مواجهه با مشکلات اشاره شده می توان از شبکه عصبی استفاده نمود یا در استفاده از مفهوم محتوای اطلاعات و رسیدن به الگوهایی با پیوستگی بیشتر، سه راه اصلاحی ذیل پیشنهاد می گردد (Liu, 2004):

الف- انجام شبیه سازی در فرآیندی پی در پی در مسیری با ساختار مشخص و نه مسیری تصادفی، بدین ترتیب که ابتدا نقاطی که بیشتر از پیشامدهای دیگر اطلاع می دهند ملاقات کردند و سپس مقادیر شبیه سازی به نقاط درجات پایین تر گسترش پیدا کند. یکی از دغدغه ها؛ طریقه اولویت بندی این نقاط شبیه سازی نشده است که از طریق محتوای اطلاعات می توان این اولویت

مشخص گردد. نقاطی که این عدد در آنها بالاتر است، بیشتر خبردهنده هستند و زودتر ملاقات می‌شوند.

پیشامد یکسان B در سه تصویر آموزشی متفاوت دیده میشود

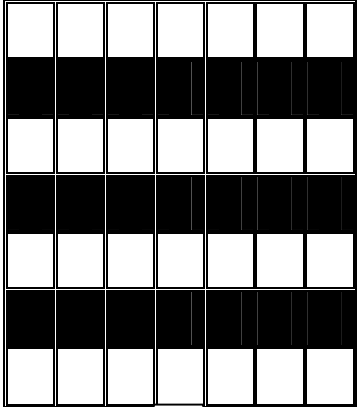
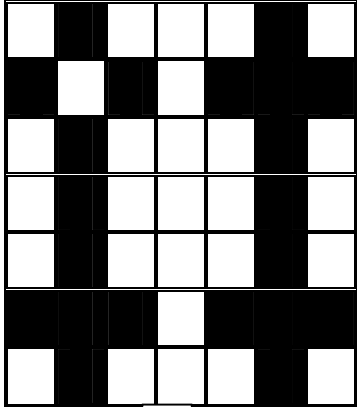
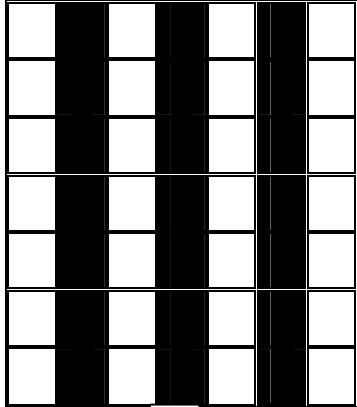
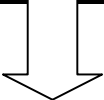
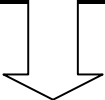
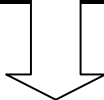
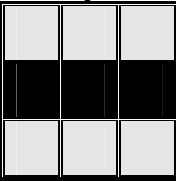
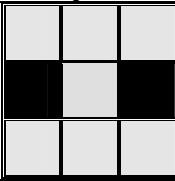
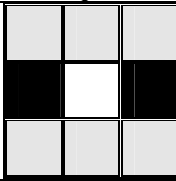


B پیشامد حاصل از نمونه‌ها

سلولهای طوسی: ناشناخته

سلول مرکزی: سلول در حال شبیه سازی

A پیشامد آنکه گره مرکزی سیاه باشد

| تصویر آموزشی اول  | تصویر آموزشی دوم  | تصویر آموزشی سوم  |
|---|---|---|
|   |   |    |
|  |  |  |
|  |  |  |
| $P(A B)=1$ B کاملاً از وقوع A اطلاع میدهد   | $P(A B)=0.5$ B از وقوع A هیچ اطلاعی نمیدهد  | $P(A B)=0$ B کاملاً از عدم وقوع A اطلاع میدهد   |

شکل ب-۲ پیشامد یکسان میتواند از گره مرکزی خبر دهد یا برعکس که به تصویر آموزشی مورد استفاده مرتبط است.

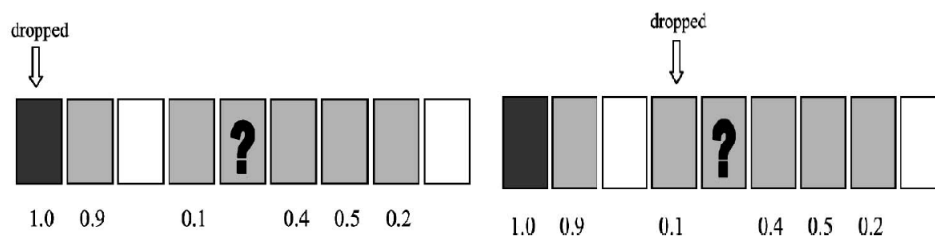
ب- رویکرد دیگر استفاده از مسیری ساختاری در هر یک از شبکه‌های چندگانه است: شبیه‌سازی

در هر شبکه‌ی خاص دو حلقه را فراخوان می‌کند. ابتدا اولویت محتوای اطلاعات هر یک از



گره‌ها محاسبه می‌شود، سپس به ترتیب از بالاترین تا پایین‌ترین اولویت ملاقات می‌شود. می‌توان هنگامی که نصف گره‌ها ملاقات شد، مجدداً مابقی گره‌ها اولویت‌بندی شود تا براساس آن شبیه‌سازی ادامه یابد. در بهترین حالت مسیر بعد از شبیه‌سازی هر گره شبیه‌سازی نشده به روز می‌شود، هر چند هزینه‌ی محاسبات بالا می‌رود.

ج- اصلاح دیگر را می‌توان در الگوریتم کوچک کردن وضعیت هندسی به این ترتیب انجام داد که پایین‌ترین محتوای اطلاعات مدنظر قرار داده شود؛ یعنی هنگامی که تکرارهای کافی برای پیشامد خاصی یافت نمی‌شود، گره با پایین‌ترین عدد  $\omega$  حذف گردد. در الگوریتم اولیه SNESIM گره‌ای که دورترین گره به گره مرکزی است، حذف می‌شود و این احتمال وجود دارد، گره با محتوای اطلاعات بالاتری باشد و به حذف ساختار بینجامد (شکل ب-۳).



شکل ب-۳ الگوریتم اولیه SNESIM در چپ و الگوریتم اصلاح شده در راست نمایش داده شده است (Liu, 2004)

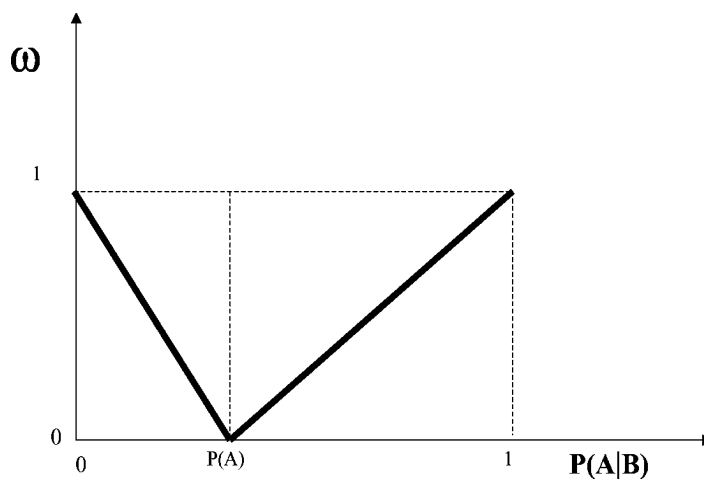
برای پیشامد داده شده B و احتمال  $P(A|B)$  محتوای اطلاعات  $\omega$  به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\omega = \begin{cases} \frac{P(A|B) - P(A)}{1 - P(A)} & \text{if } P(A|B) \geq P(A) \\ \frac{P(A) - P(A|B)}{P(A)} & \text{if } P(A|B) < P(A) \end{cases} \quad \text{و-۱}$$

$P(A)$  احتمال رخساره‌ای موجود حاصل از شبیه‌سازی تا این مرحله است. شکل ب-۴ به صورت شماتیک نشان می‌دهد اگر  $P(A|B)$  به صفر یا یک نزدیک گردد، در وقوع پیشامد A اطمینان وجود دارد، از این رو

محتوای اطلاعات پیشامد B بیشینه می‌گردد. در نقطه مقابل، هنگامی که  $P(A|B)$  به نسبت رخساره‌های تصویر آموزشی  $P(A)$  نزدیک گردد، آنگاه B اطلاعات بیشتری راجع به پیشامد A ندارد، از اینرو محتوای اطلاعات، می‌تواند به صفر هم (هنگامی که  $P(A)=P(A|B)$ ) برسد (Liu and Journal, 2004).

مسیری بر اساس ساختار  $\omega$  می‌تواند اطلاعات بسیار بیشتری را نسبت به ساختار تصادفی مارپیچی محاسبه کند. علت آن است که  $P(A|B)$  نه تنها محاسبات مربوط به وضعیت هندسی و مقادیر پیشامد B را در خود جای داده است، بلکه دانش موجود زمین‌شناسی که در تصویر آموزشی موجود است را نیز در خود داراست (Liu and Journal, 2004).



شکل ب-۴ محتوای اطلاعات  $\omega$  اطلاعاتی که B از پیشامد A میدهد را اندازه‌گیری می‌کند (Liu and Journal, 2004).  $\omega$  میزان اطلاعاتی که هر گره از پیشامدی می‌دهد را اندازه‌گیری می‌کند. هر چه این عدد بالاتر باشد، نقطه مورد نظر اطلاع بالاتری می‌دهد. بنابراین منطقه‌ای را در اطراف هر نمونه در مدل محتوای اطلاعات نیز می‌توان مشاهده کرد. در نقاط نمونه‌برداری، این عدد به یک می‌رسد و در نقاطی که از نمونه بسیار دور می‌شویم تا صفر پایین می‌آید. لازم به ذکر است، منطقه تاثیر اطراف نمونه‌های کانال در این مثال (تصویر پایینی شکل و-۱) کوچکتر از هاله اطراف نقاط نامناسب مخزن است. و این به علت نسبت‌های متفاوت

هدف این دو رخساره است. بدین ترتیب که هرگاه رخساره ۱ غالب است، وقوع چنین گره‌ای بیشتر اطلاع دهنده است و هنگامی که رخساره دیگر غالب است، برعکس. مورد دیگری که می‌تواند مورد توجه قرار گیرد متقارن نبودن منطقه تاثیر است که با توجه به روند کانال‌ها و به صورت سینوسی کشیده شده است. در کل، در صورتی که داده‌ها در حد مناسبی باشد (داده‌های لرزه، چاه، رخنمون، آزمون) می‌توان با اعتبار بیشتری به تولید مدل‌های مخزنی اقدام نمود (Liu and Journel, 2004).

### ب-۳ شرطی نمودن به داده‌های نرم

SNESIM می‌تواند به محاسبه متغیر ثانویه  $Y(u)$  (برای مثال الگوهای لرزه‌ای با گره مرکزی  $u$ ) پردازد. اولین مرحله قرار دادن  $Y(u)$  در برداری از احتمالات شرطی است:

$$\begin{pmatrix} P(Z(u) = 1|Y(u)) \\ \vdots \\ P(Z(u) = K|Y(u)) \end{pmatrix} \quad \text{ب-۲}$$

تابع توزیع شرطی مرحله ۲ (ج) از الگوریتم ۱-۳  $P(Z(u) = K|DJ(u))$  به معادله

$$P(Z(u) = K|DJ(u)Y(u)) \text{ ارتقا می‌یابد و این کار توسط فرمول پیشنهادی جورنل (Journel, 2002)}$$

انجام می‌گیرد که به تعریف ۴ کمیت زیر می‌پردازد (Remy, 2004):

$$x = \frac{1 - P(Z(u) = k|DJ(u), Y(u))}{P(Z(u) = k|DJ(u), Y(u))} \quad \text{ب-۳}$$

$$a = \frac{1 - P(Z(u) = k)}{P(Z(u) = k)} \quad \text{ب-۴}$$

$$b = \frac{1 - P(Z(u) = k|DJ(u))}{P(Z(u) = k|DJ(u))} \quad \text{ب-۵}$$

$$c = \frac{1 - P(Z(u) = k|Y(u))}{P(Z(u) = k|Y(u))} \quad \text{ب-۶}$$

بنا بر قضیه استقلال شرطی:

$$P(DJ(u), Y(u)|Z(u)) = P(DJ(u)|Z(u)) P(Y(u)|Z(u)) \quad \text{ب-۷}$$

احتمال ارتقا یافته با بکارگیری فرمول زیر محاسبه می‌گردد (Remy, 2004):

$$x = \frac{b.c}{a} \quad \text{ب-۸}$$

مرحله ۲ (ج) از الگوریتم ۳-۱ به مراحل زیر تغییر می‌کند (Remy, 2004):

۱. تخمین احتمالات  $P(Z(u) = K|DJ(u))$  طبق توصیف الگوریتم ۳-۱

۲. محاسبه احتمالات ارتقا یافته  $P(Z(u) = K|DJ(u)Y(u))$  با استفاده از معادله ب-۷

۳. بیرون کشیدن یک تحقق از تابع توزیع بروز شده

در نهایت، برای محاسبه بهتر افزونگی B و C، Journal (۲۰۰۴) پیشنهاد نمود توان  $\tau$  را در فرمول اضافه

$$\frac{x}{b} = \frac{c^\tau}{a} \quad \text{ب-۹} \quad \text{گردد (Liu, 2006; Remy, 2004):}$$

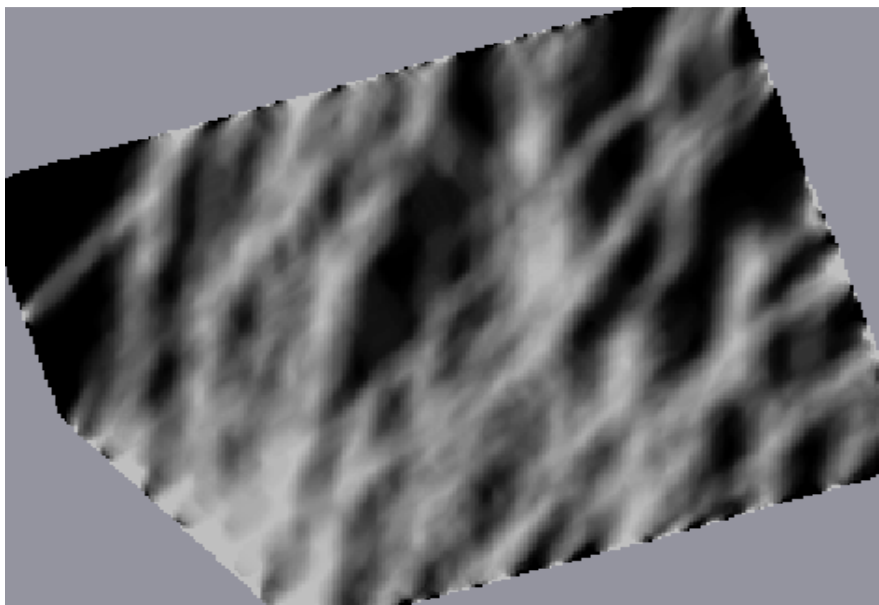
تنظیم  $\tau > 1$  تاثیر داده‌های لرزه را افزایش می‌دهد و قراردادن  $\tau < 1$  تاثیر این داده‌ها را کاهش می‌دهد

(Remy, 2004; Liu, 2006). شکل ب-۵ نقشه احتمال نرم (داده‌های مصنوعی) را که برای شرطی نمودن

شبیه‌سازی استفاده کرده‌ایم، نشان می‌دهد. چنین نقشه‌ای را از طریق میانگین متحرک و در نرم‌افزار

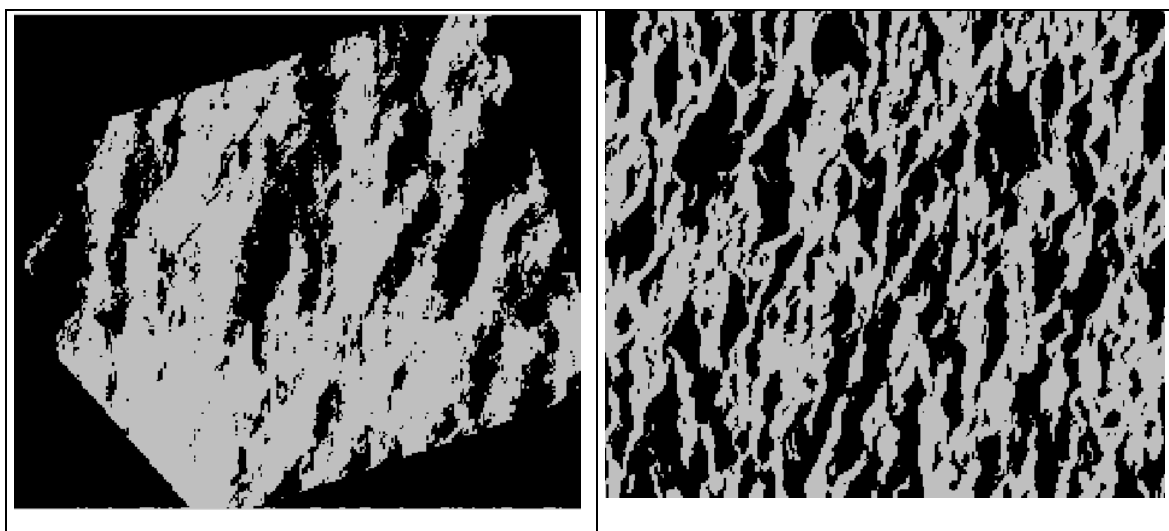
Matlab ایجاد نموده‌ایم. پارامتر  $\tau$  در این مثال برابر با یک گرفته شده است. شکل و-۶ نتیجه را در قالب

نمایش یک تحقق شرطی داده‌های نرم و یک تحقق غیر شرطی به مقایسه می‌گذارد.



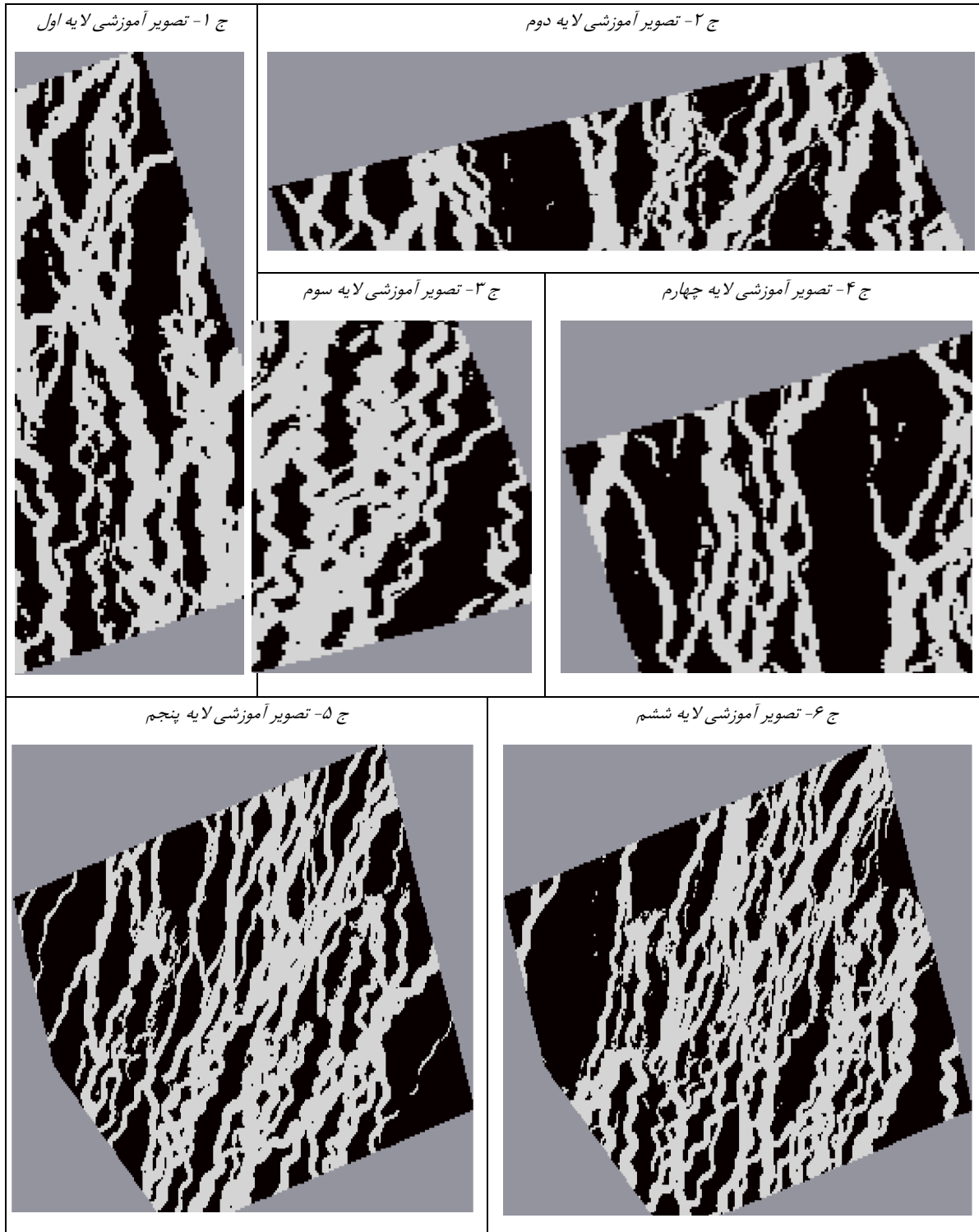
شکل ب-۵ نقشه احتمال برداشت شده از داده های نرم مصنوعی

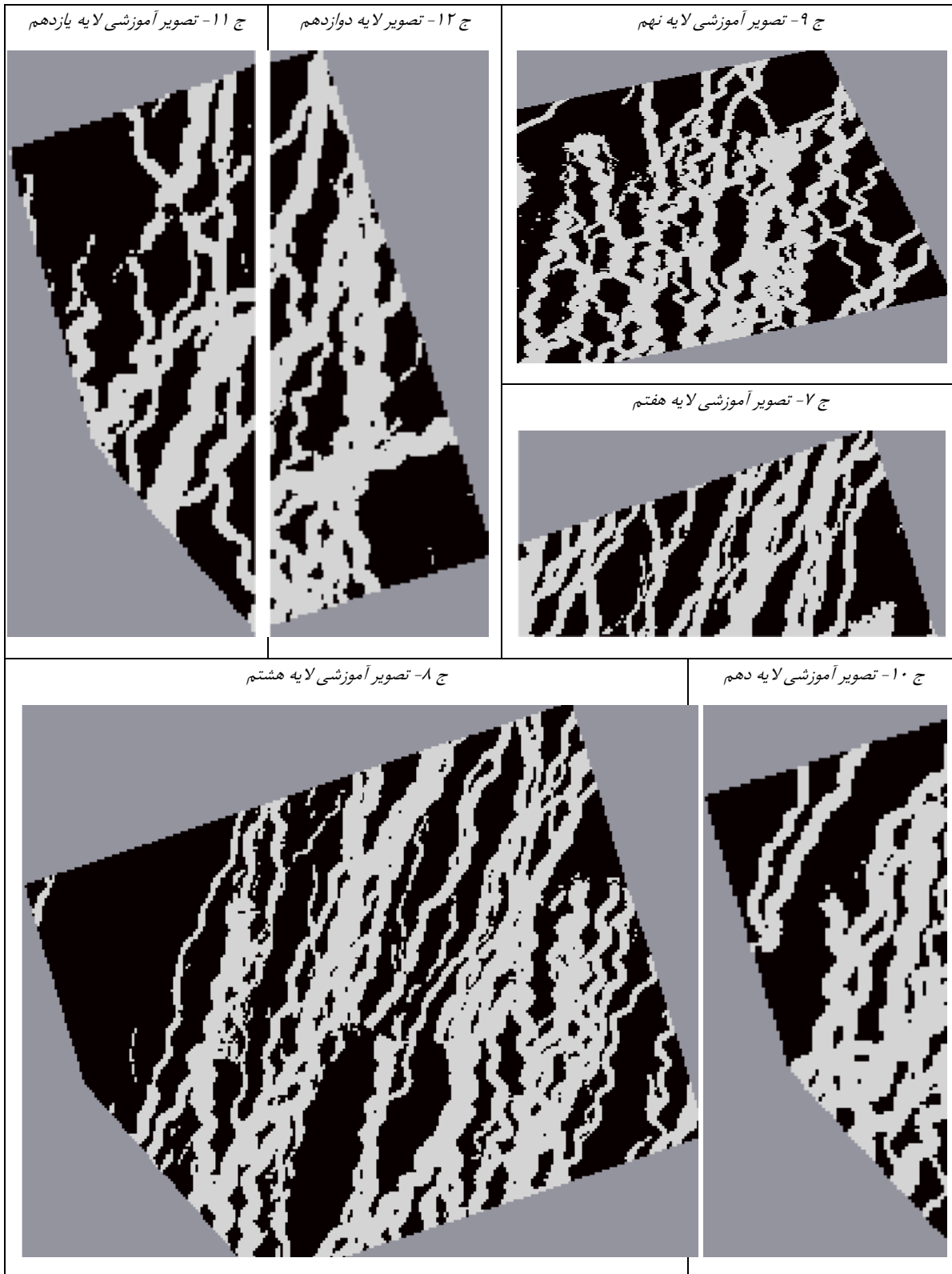
همانطور که از آنالیز حساسیت پارمترهای ورودی بدست آمد، برنامه SNESIM امتیازات شبیه سازی پی در پی و برپایه پیکسل را با امتیازات روش های برپایه شی در می آمیزد. این امتیازات اجازه شرطی سازی مدل به داده های موجود را همزمان با ساخت اشکال موجود زمین شناسی امکان پذیر می سازد.

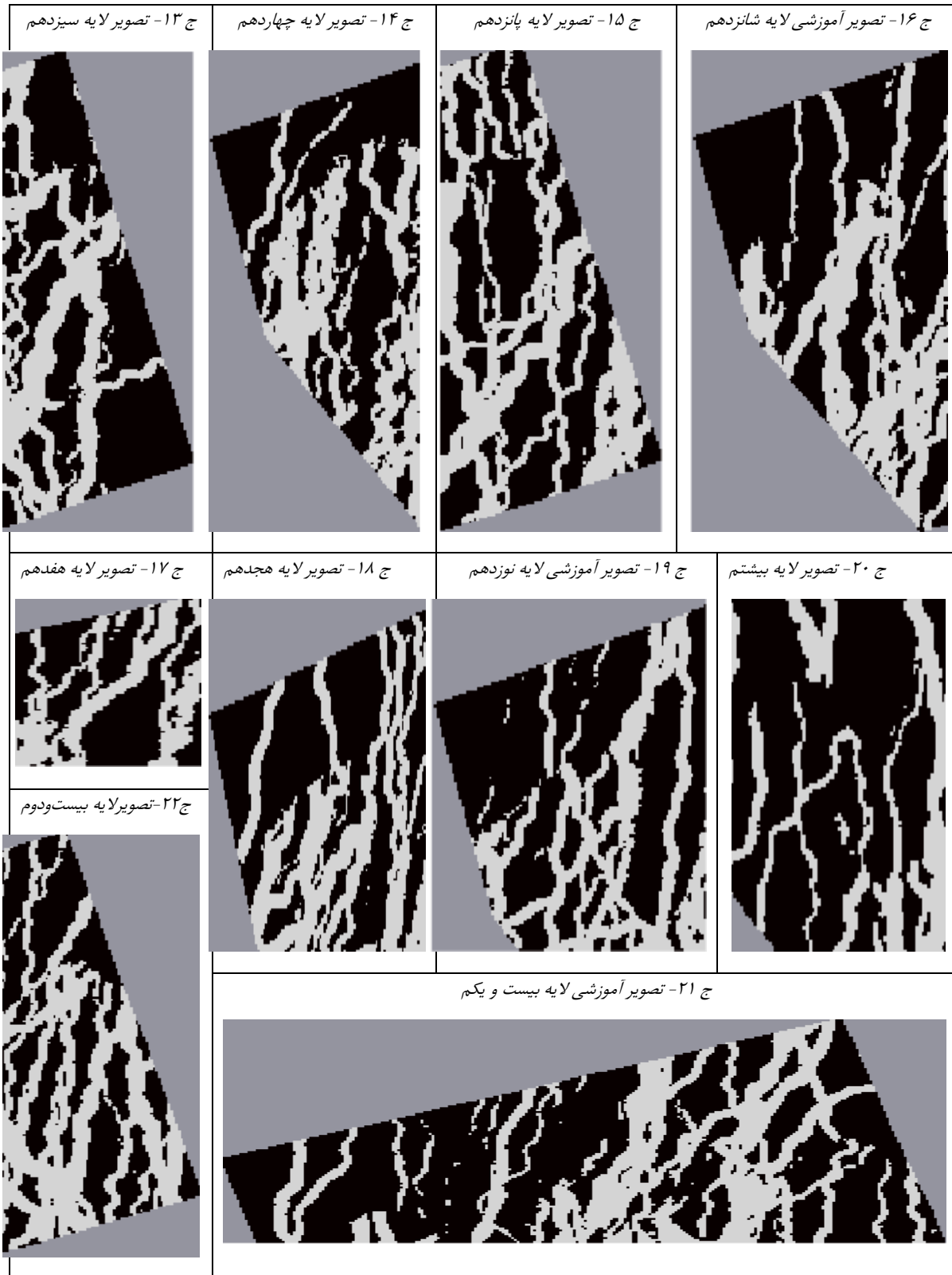


شکل ب-۶ مقایسه نتایج شبیه سازی غیر شرطی (راست) و شرطی شده (چپ) به داده های نرم





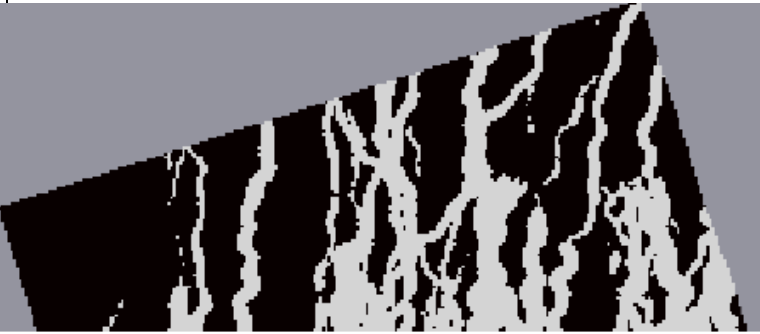



پیوست ج- مجموعه تصاویر آموزشی شبیه سازی نهایی و اعتبارسنجی



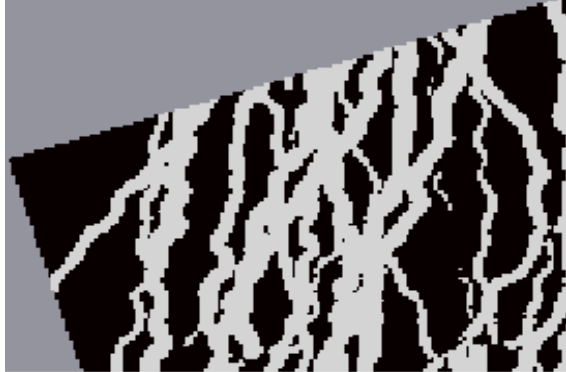




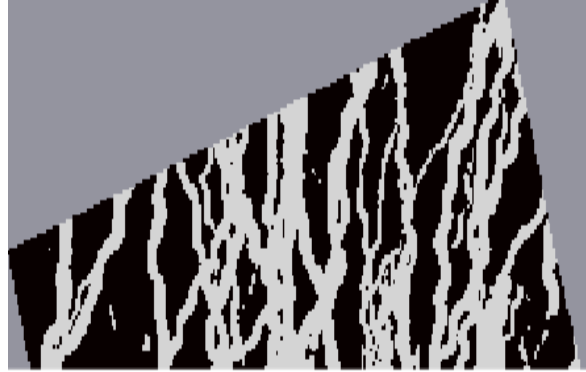


|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <p>ج ۲۲- تصویر آموزشی لایه بیست و سوم</p>     | <p>ج ۲۵- تصویر لایه بیست و پنجم</p>  | <p>ج ۳۲- تصویر لایه سی-<br/>ودوم</p>  | <p>ج ۲۶- تصویر لایه بیست<br/>وششم</p>  |
| <p>ج ۲۴- تصویر آموزشی لایه بیست و چهارم</p>  |  | <p>ج ۲۸- تصویر لایه بیست و هشتم</p>  |  |
| <p>ج ۲۷- تصویر لایه بیست و هفتم</p>          |  | <p>ج ۲۹- تصویر لایه بیست و نهم</p>   |  |

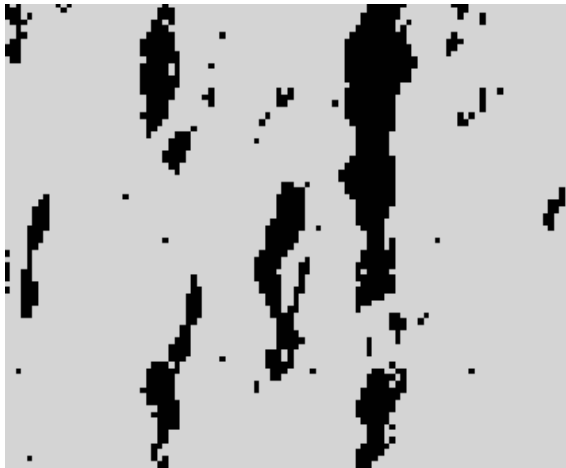
ج ۳۰- تصویر لایه سی ام



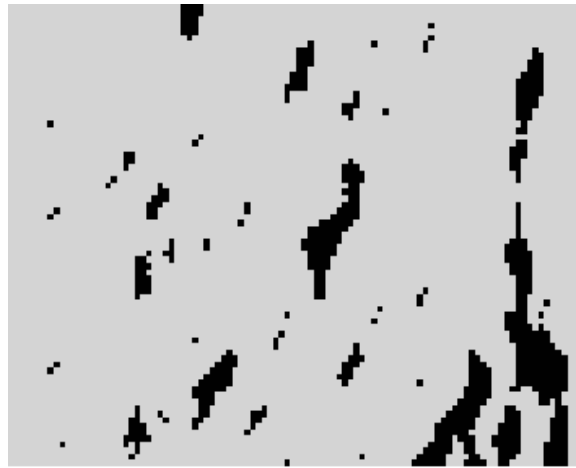
ج ۳۱- تصویر لایه سی و یکم



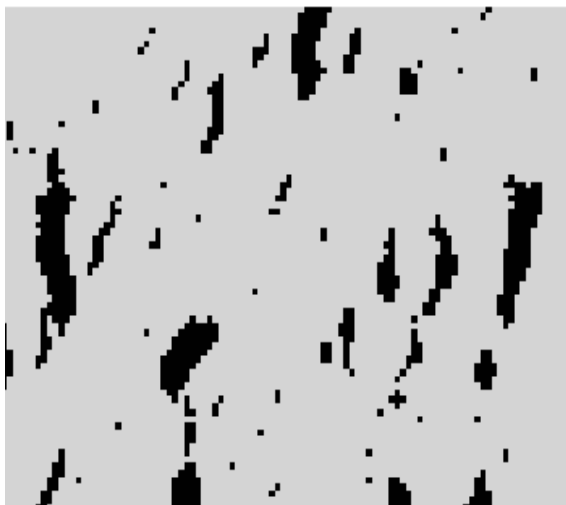
ج ۳۳- تصویر لایه سی و سوم



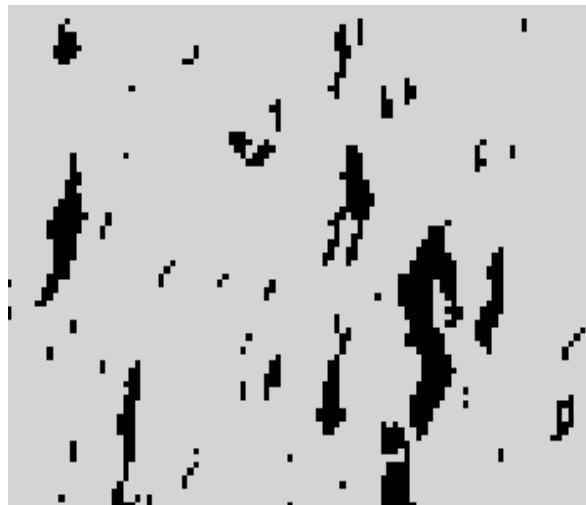
ج ۳۴- تصویر لایه سی و چهارم



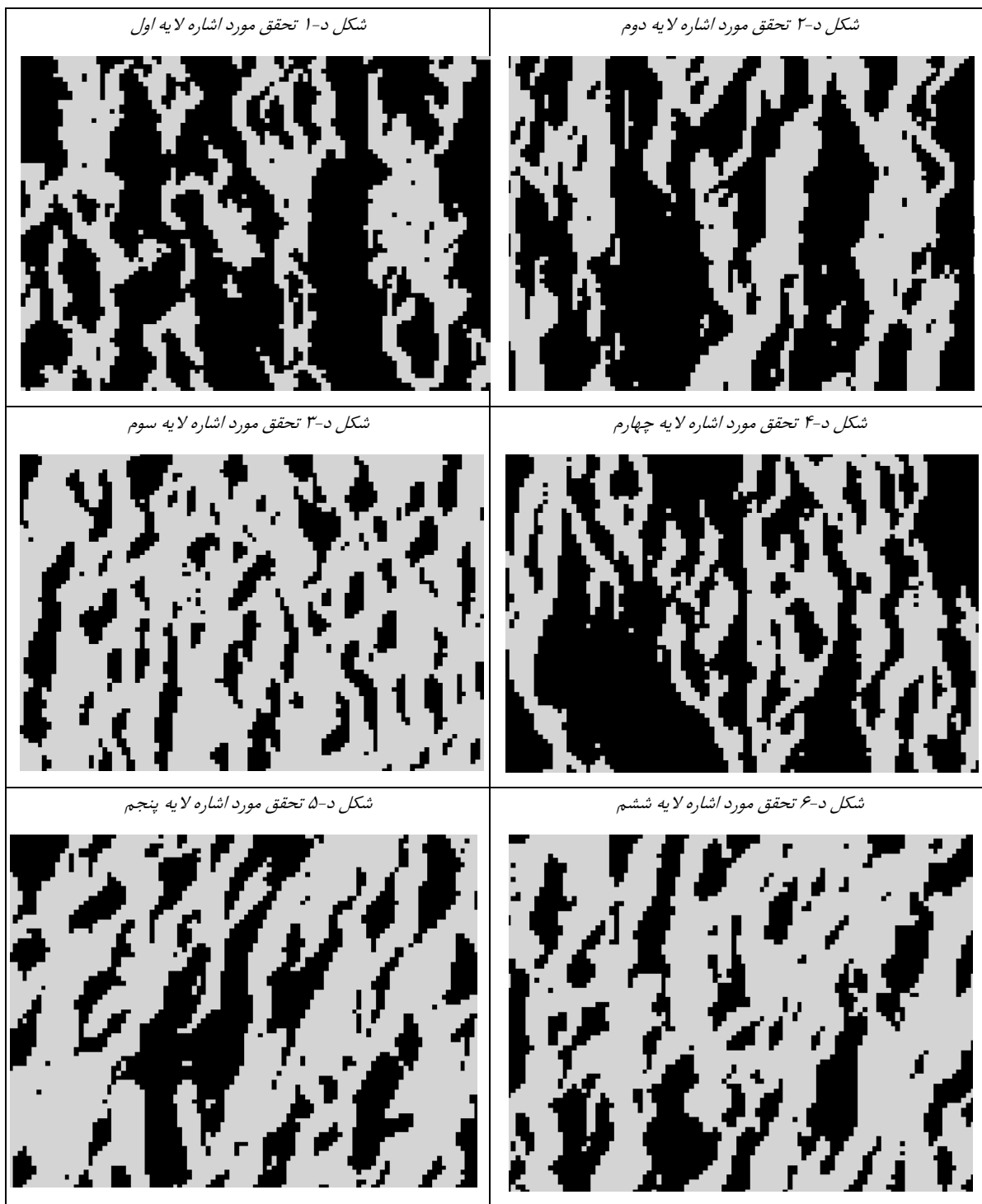
ج ۳۵- تصویر لایه سی و پنجم



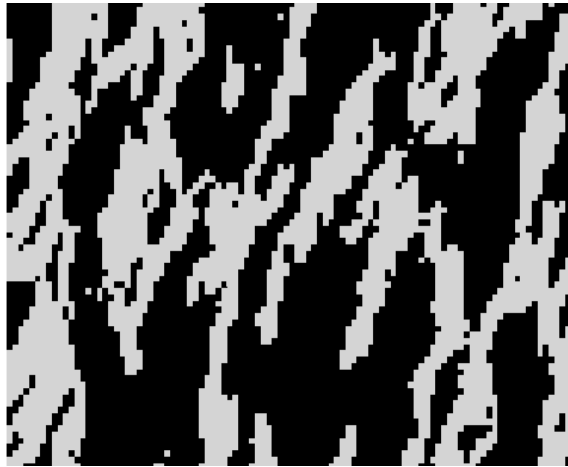
ج ۳۶- تصویر لایه سی و ششم



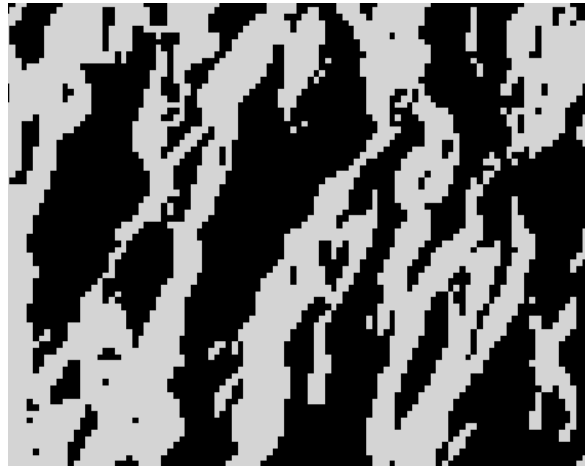
پیوست د- تحقق با بیشترین درصد بازتولید مرحله اعتبار سنجی در هر لایه



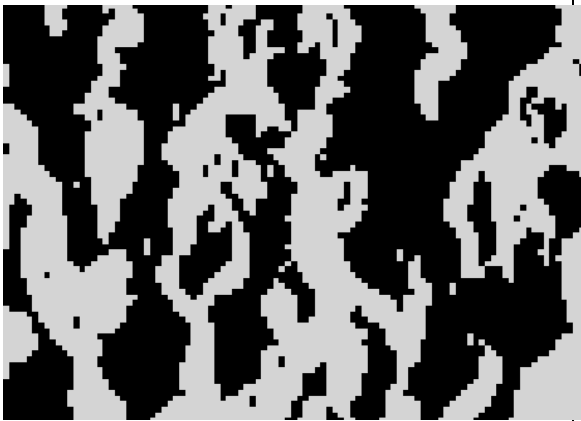
شکل د-۷ تحقق مورد اشاره لایه هفتم



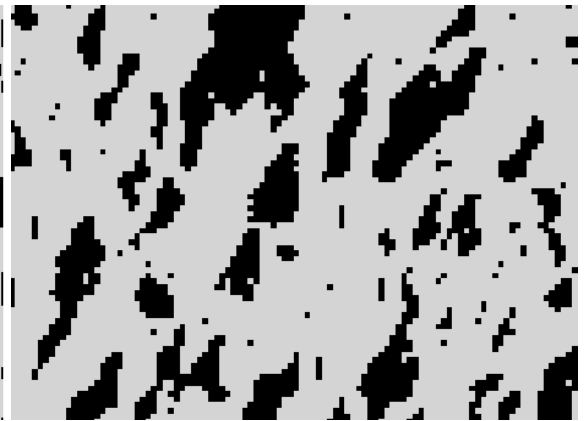
شکل د-۸ تحقق مورد اشاره لایه هشتم



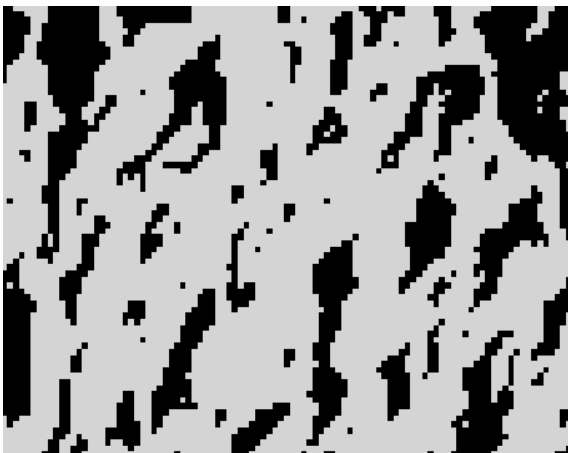
شکل د-۹ تحقق مورد اشاره لایه نهم



شکل د-۱۰ تحقق مورد اشاره لایه دهم



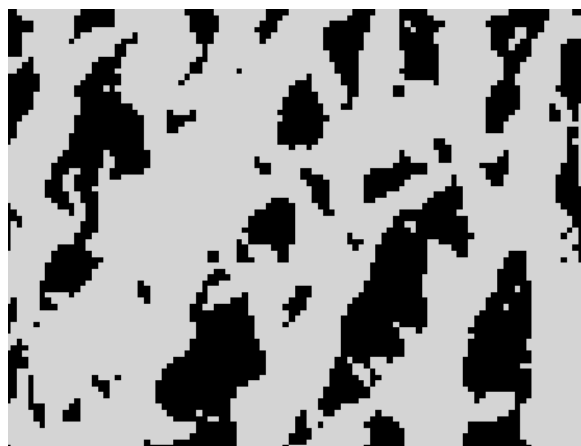
شکل د-۱۱ تحقق مورد اشاره لایه یازدهم



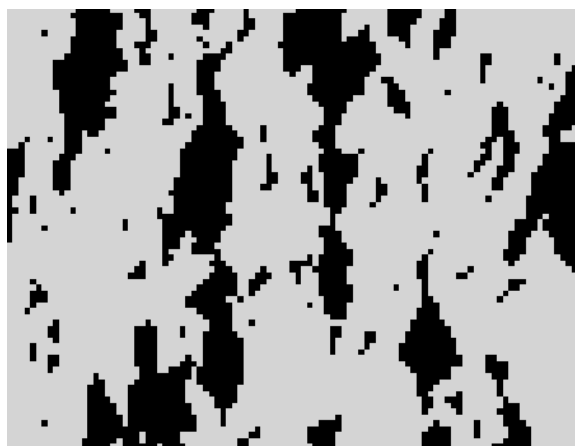
شکل د-۱۲ تحقق مورد اشاره لایه دوازدهم



شکل د-۱۳ تحقق مورد اشاره لایه سیزدهم



شکل د-۱۴ تحقق مورد اشاره لایه چهاردهم



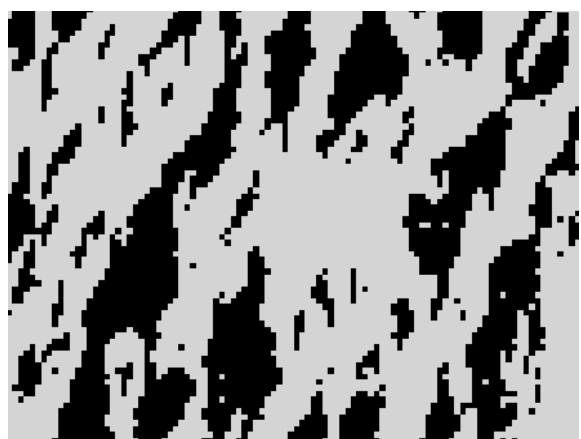
شکل د-۱۵ تحقق مورد اشاره لایه پانزدهم



شکل د-۱۶ تحقق مورد اشاره لایه شانزدهم



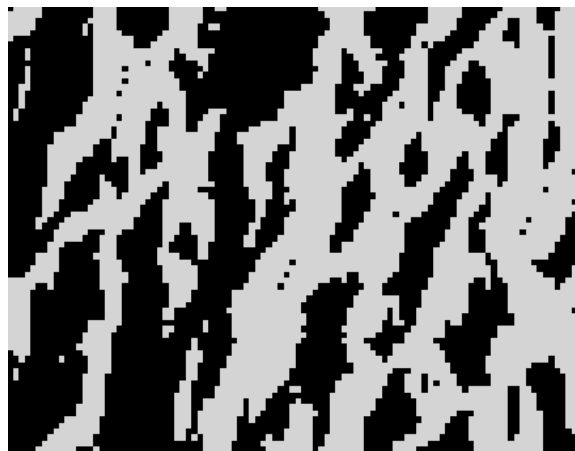
شکل د-۱۷ تحقق مورد اشاره لایه هفدهم



شکل د-۱۸ تحقق مورد اشاره لایه هیجدهم



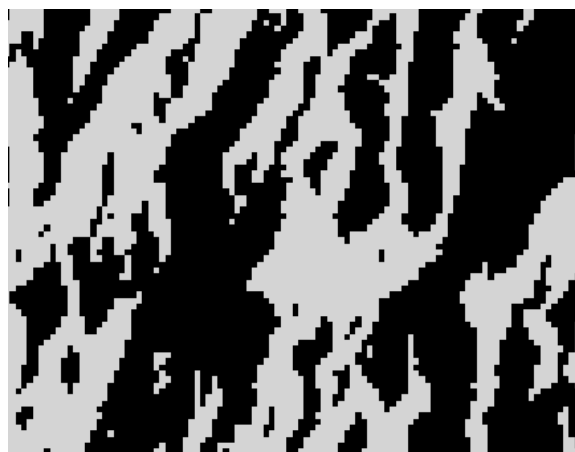
شکل د-۱۹ تحقق مورد اشاره لایه نوزدهم



شکل د-۲۰ تحقق مورد اشاره لایه بیستم



شکل د-۲۱ تحقق مورد اشاره لایه بیست و یکم



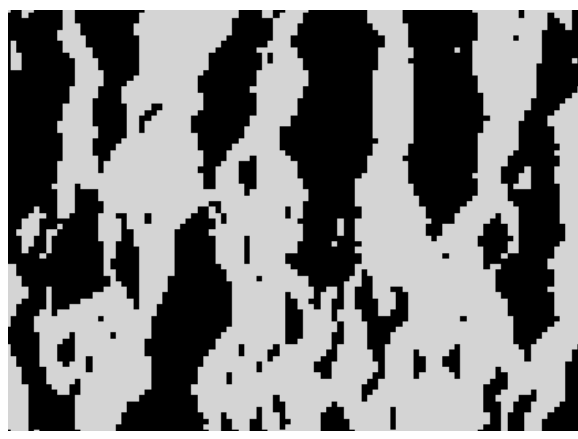
شکل د-۲۲ تحقق مورد اشاره لایه بیست و دوم



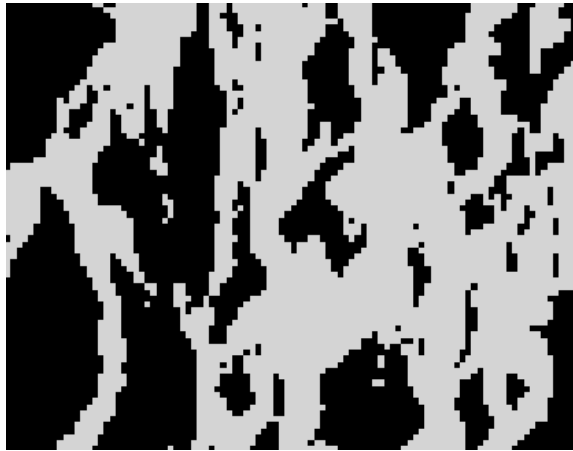
شکل د-۲۳ تحقق مورد اشاره لایه بیست و سوم



شکل د-۲۴ تحقق مورد اشاره لایه بیست و چهارم



شکل د-۲۵ تحقق مورد اشاره لایه بیست و پنجم



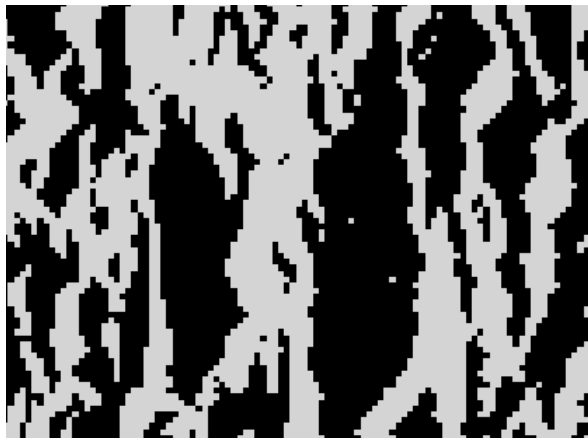
شکل د-۲۶ تحقق مورد اشاره لایه بیست و هشتم



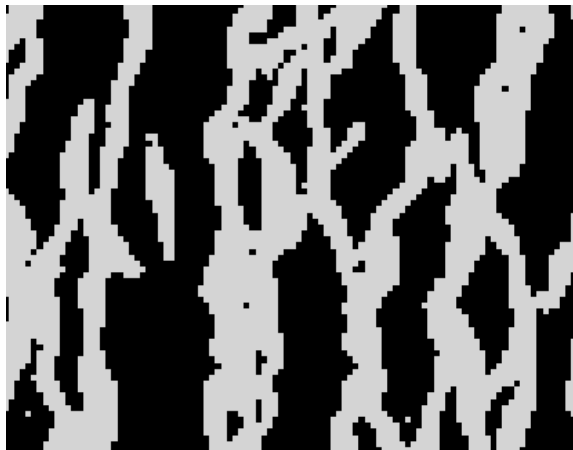
شکل د-۲۷ تحقق مورد اشاره لایه بیست و هفتم



شکل د-۲۸ تحقق مورد اشاره لایه بیست و هشتم



شکل د-۲۹ تحقق مورد اشاره لایه د بیست و نهم



شکل د-۳۰ تحقق مورد اشاره لایه سیم



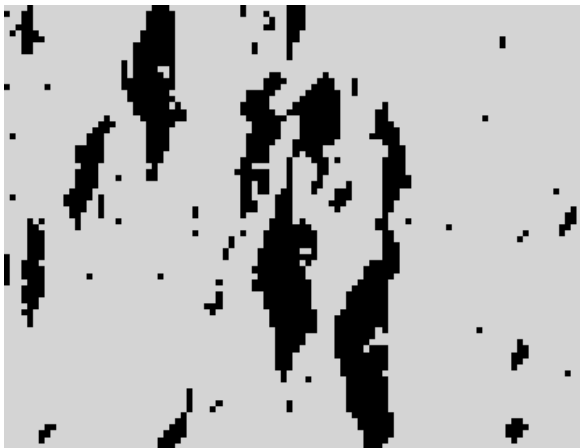
شکل د-۳۱ تحقق مورد اشاره لایه سی و یکم



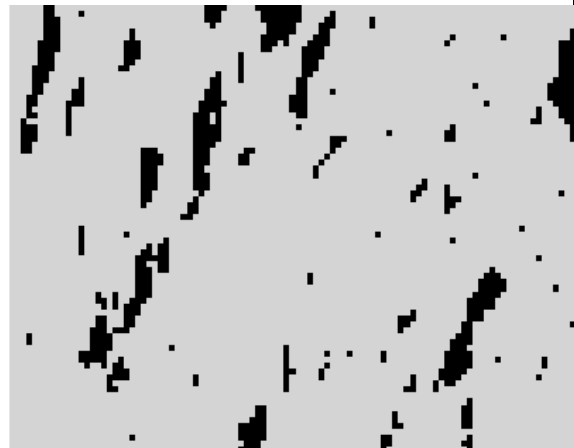
شکل د-۳۲ تحقق مورد اشاره لایه سی و دوم



شکل د-۳۳ تحقق مورد اشاره لایه سی و سوم



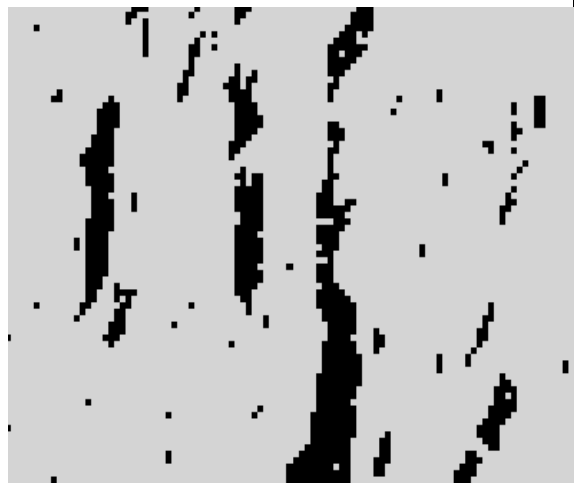
شکل د-۳۴ تحقق مورد اشاره لایه سی و چهارم



شکل د-۳۵ تحقق مورد اشاره لایه سی و پنجم

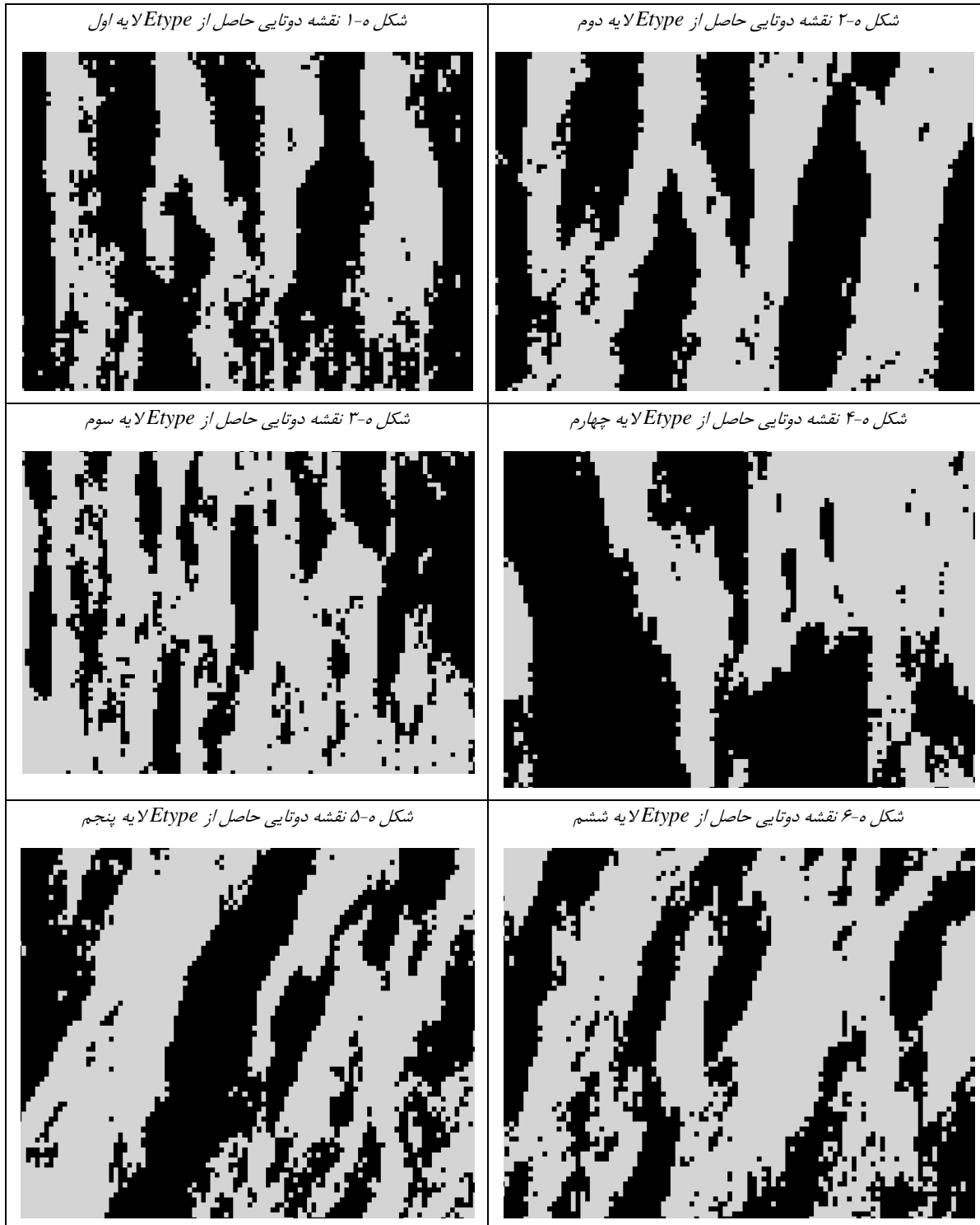


شکل د-۳۶ تحقق مورد اشاره لایه سی و ششم

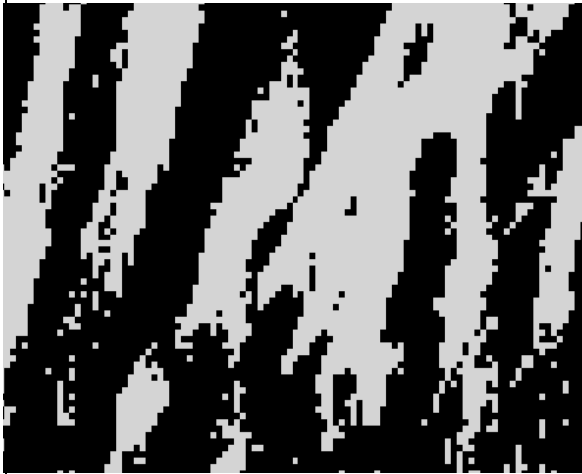




پیوست ه- نقشه احتمال دوتایی شده بر اساس نسبت حدی میانگین هر تحقق



شکل ۷- نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه هفتم



شکل ۸- نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه هشتم



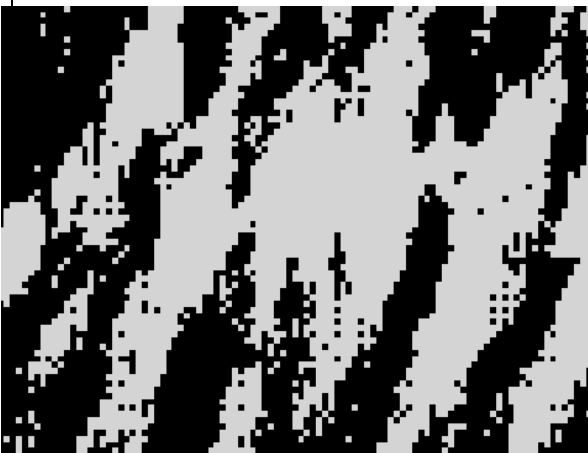
شکل ۹- نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه نهم



شکل ۱۰- نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه دهم



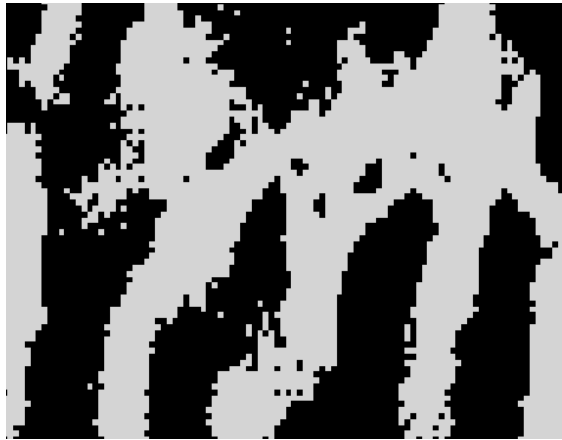
شکل ۱۱- نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه یازدهم



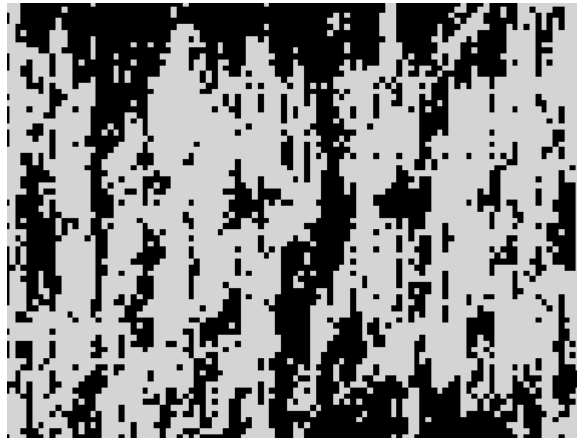
شکل ۱۲- نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه دوازدهم



شکل-۱۳ نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه سیزدهم



شکل-۱۴ نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه چهاردهم



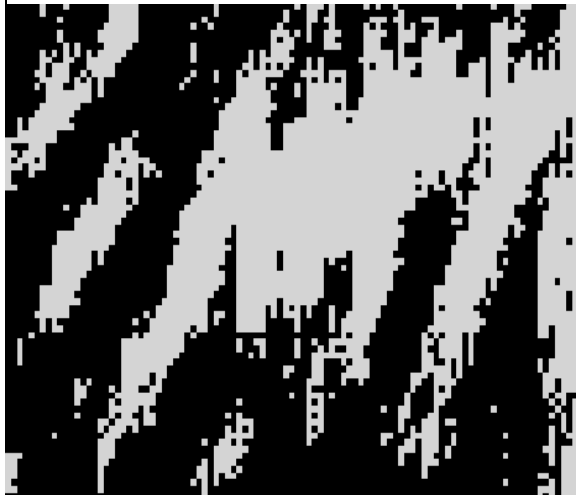
شکل-۱۵ نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه پانزدهم



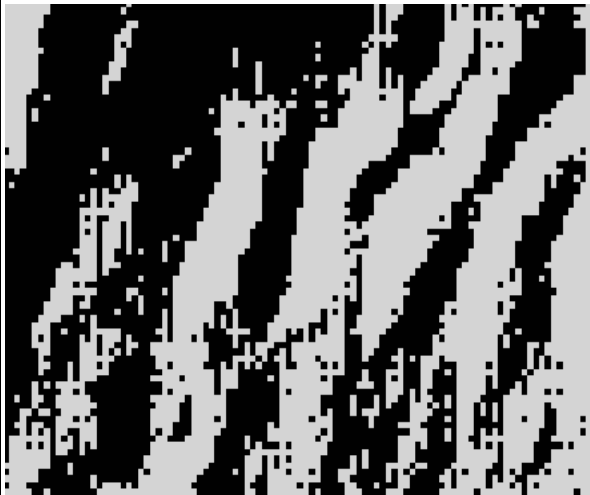
شکل-۱۶ نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه شانزدهم



شکل-۱۷ نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه هفدهم



شکل-۱۸ نقشه دوتایی حاصل از Etype لایه هیجدهم



شکل ه-۱۹ نقشه دوتایی حاصل Etype لایه نوزدهم



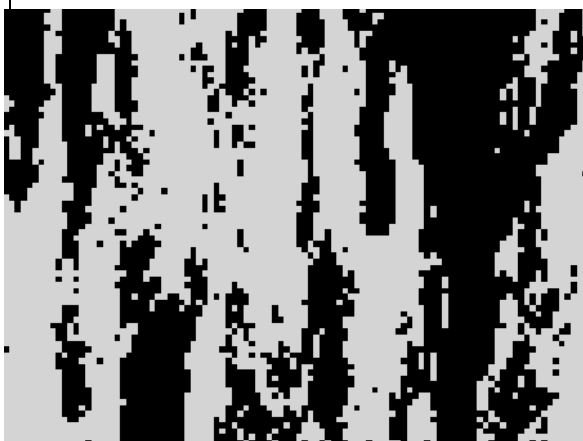
شکل ه-۲۰ نقشه دوتایی حاصل Etype لایه بیستم



شکل ه-۲۱ نقشه دوتایی Etype لایه بیست و یکم



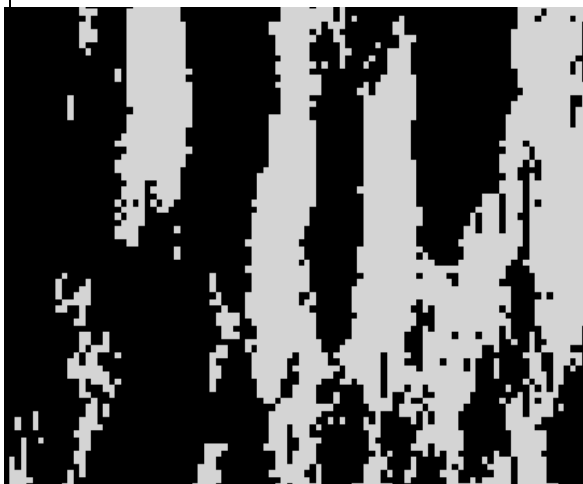
شکل ه-۲۲ نقشه دوتایی Etype لایه بیست و دوم



شکل ه-۲۳ نقشه دوتایی Etype لایه بیست و سوم



شکل ه-۲۴ نقشه دوتایی Etype لایه بیست و چهارم



شکل ۲۵- نقشه دوتایی Etype لایه بیست و پنجم



شکل ۲۶- نقشه دوتایی Etype لایه بیست و هشتم



شکل ۲۱- نقشه دوتایی Etype لایه بیست و هفتم



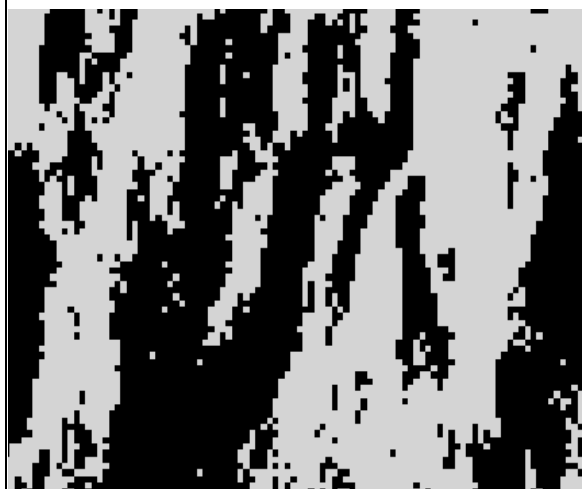
شکل ۲۸- نقشه دوتایی Etype لایه بیست و هشتم



شکل ۲۹- نقشه دوتایی Etype لایه بیست و نهم



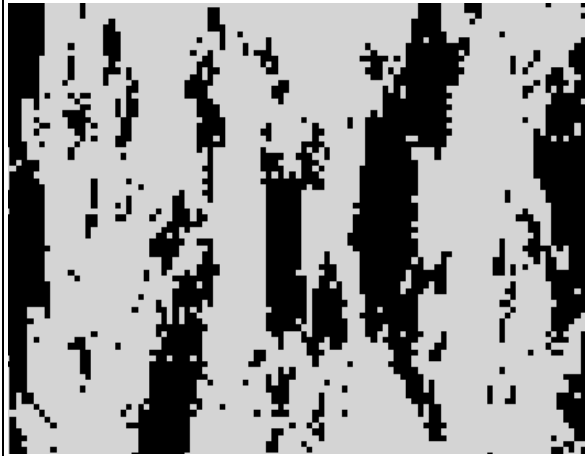
شکل ۳۰- نقشه دوتایی Etype لایه سیم



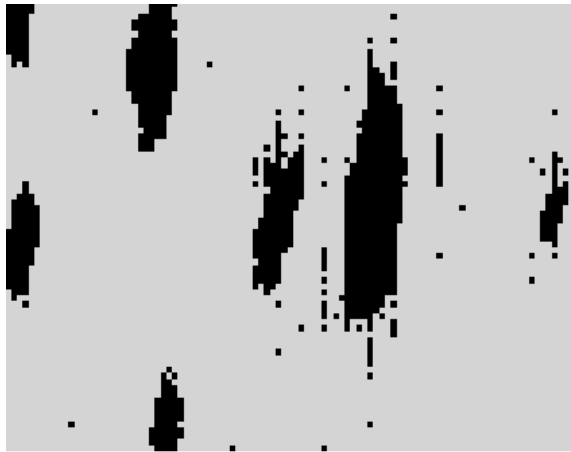
شکل ۳۱-ه نقشه دوتایی Etype لایه سی و یکم



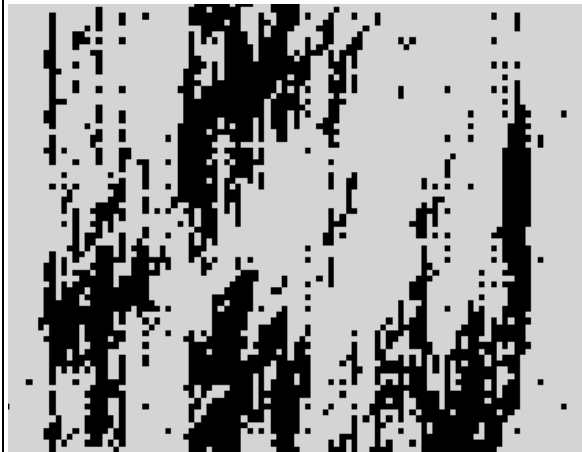
شکل ۳۲-ه نقشه دوتایی Etype لایه سی و دوم



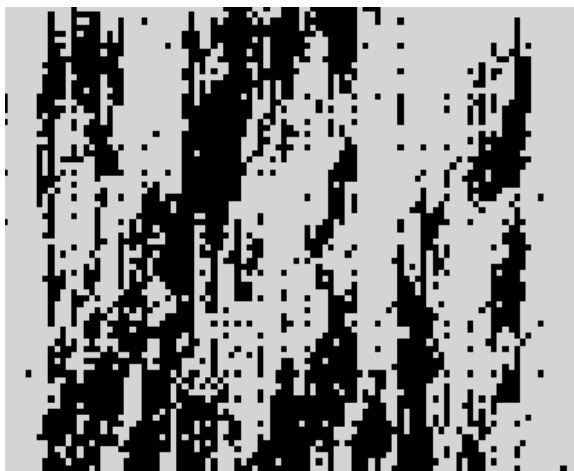
شکل ۳۳-ه نقشه دوتایی Etype لایه سی و سوم



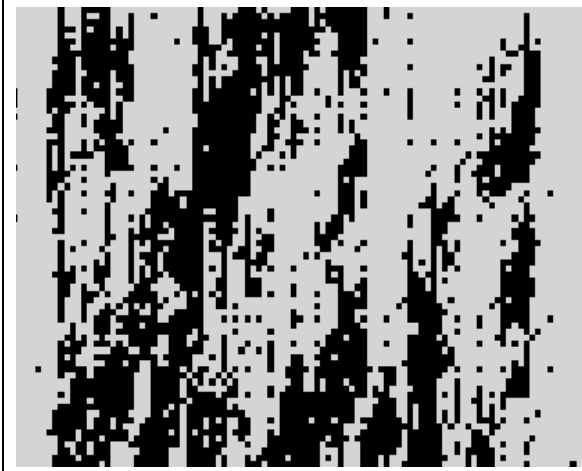
شکل ۳۴-ه نقشه دوتایی Etype لایه سی و چهارم



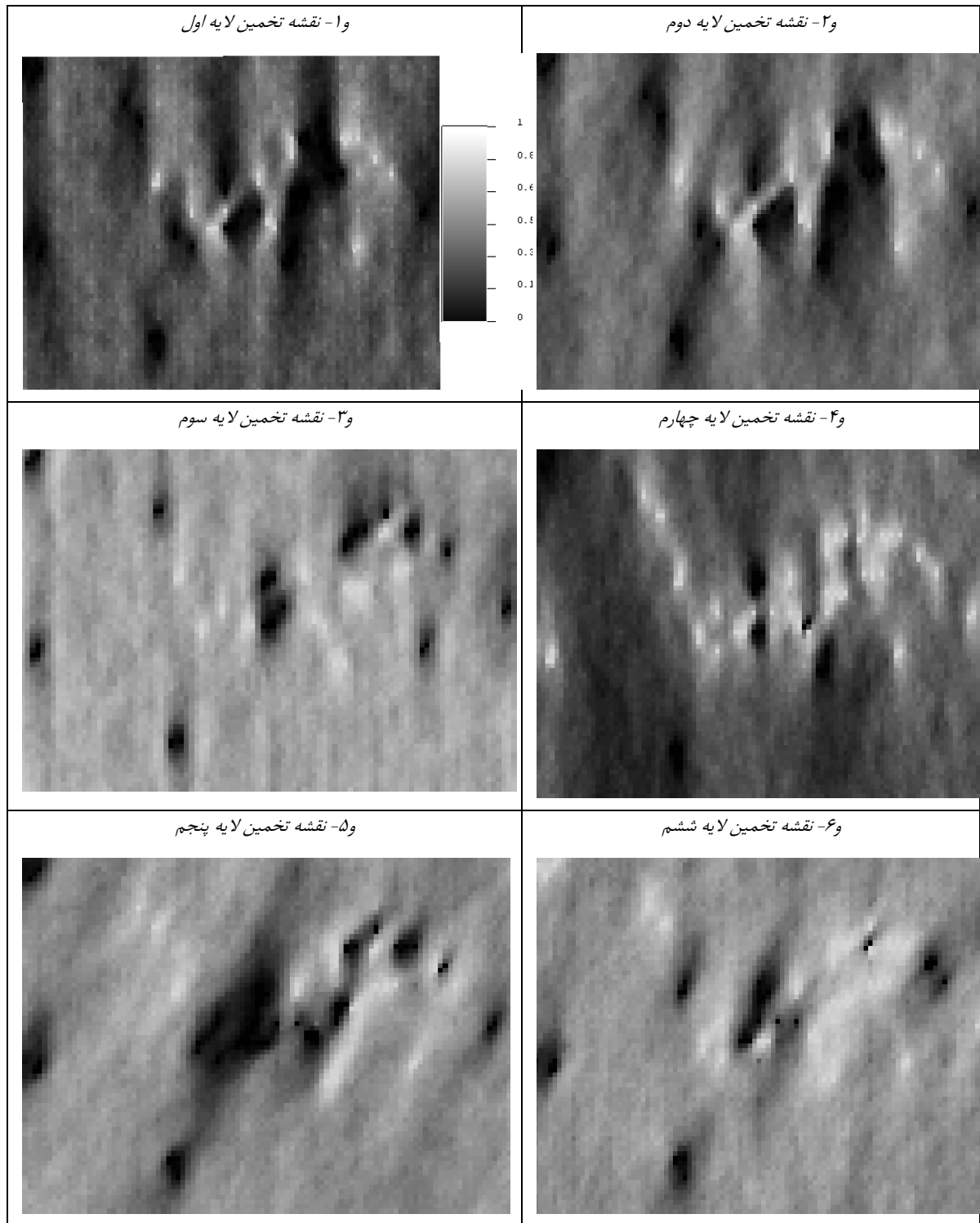
شکل ۳۵-ه نقشه دوتایی Etype لایه سی و پنجم

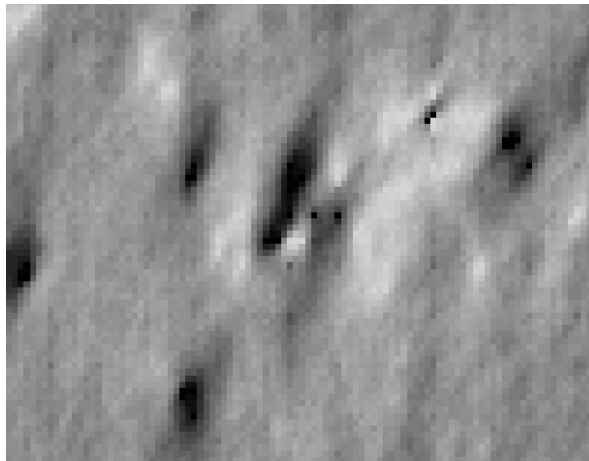
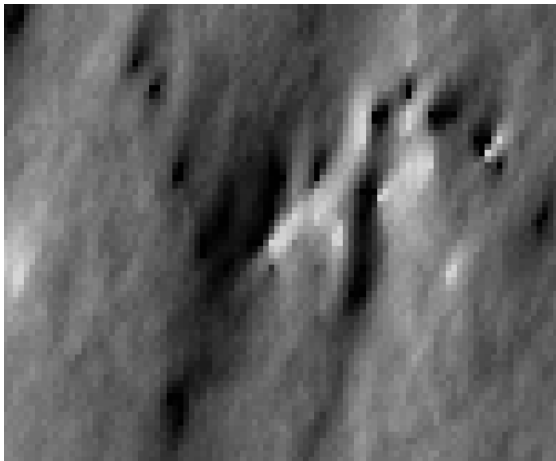
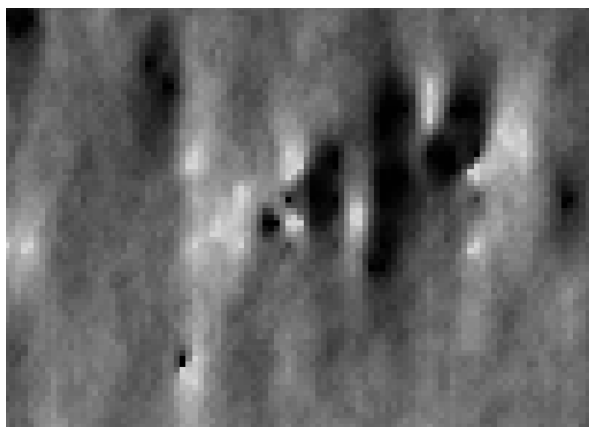
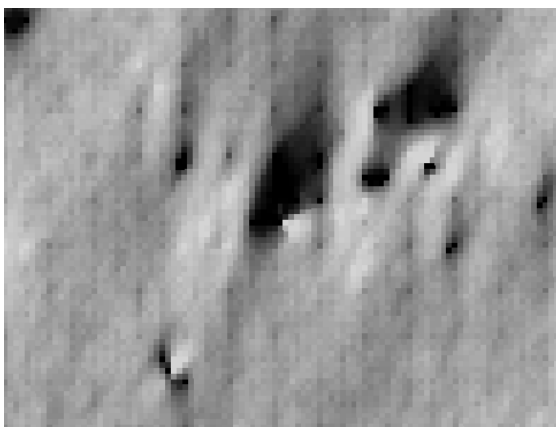
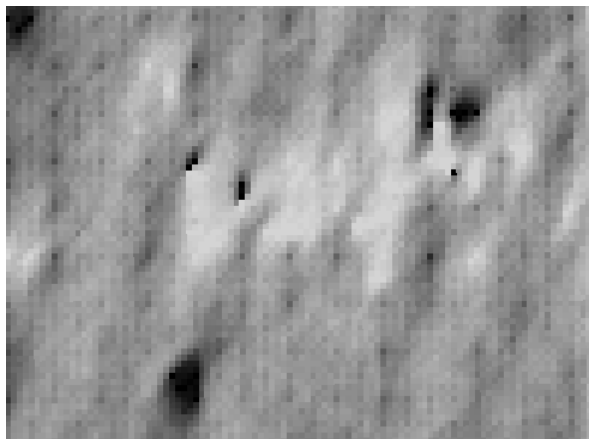
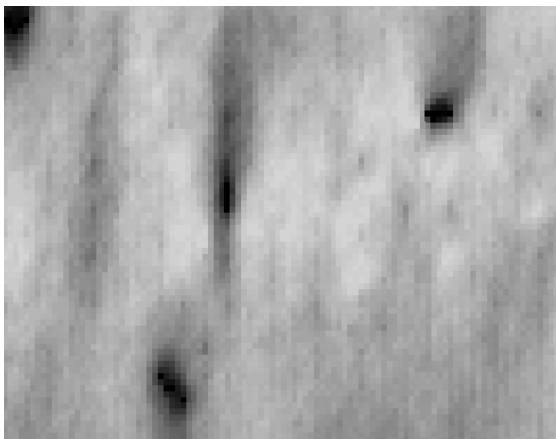


شکل ۳۶-ه نقشه دوتایی Etype لایه سی و ششم

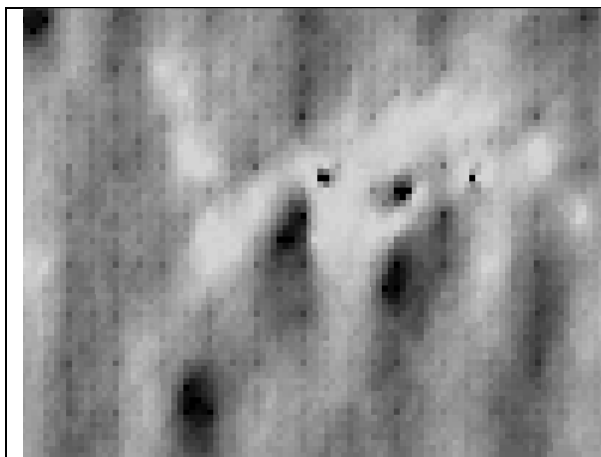


پیوست و- مجموعه نقشه های احتمال حاصل از شبیه سازی نهایی

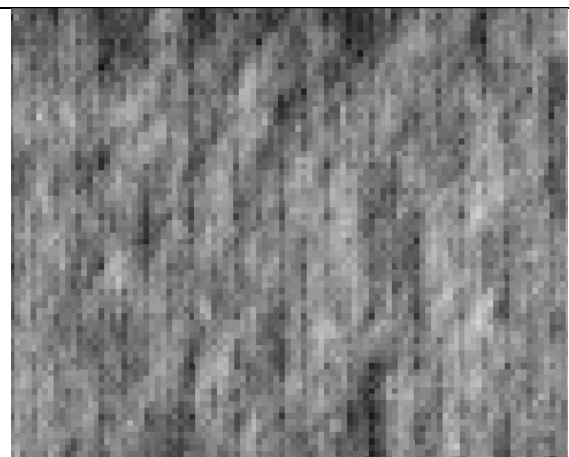


|   |   |
|---|---|
| <p>۷- نقشه تخمین لایه هفتم</p>       | <p>۸- نقشه تخمین لایه هشتم</p>        |
| <p>۹- نقشه تخمین لایه نهم</p>       | <p>۱۰- نقشه تخمین لایه دهم</p>       |
| <p>۱۱- نقشه تخمین لایه یازدهم</p>  | <p>۱۲- نقشه تخمین لایه دوازدهم</p>  |
| <p>۱۳- نقشه تخمین لایه سیزدهم</p>   | <p>۱۴- نقشه تخمین لایه چهاردهم</p>  |

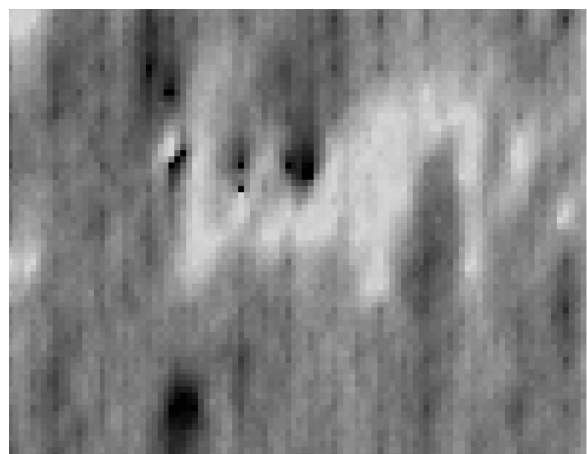




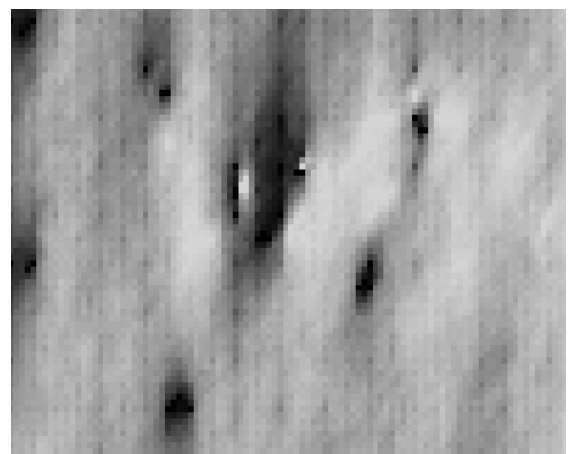
و ۱۵- نقشه تخمین لایه پانزدهم



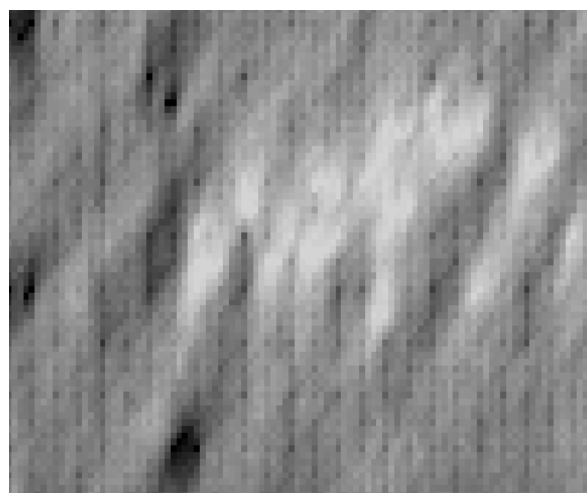
و ۱۶- نقشه تخمین لایه شانزدهم



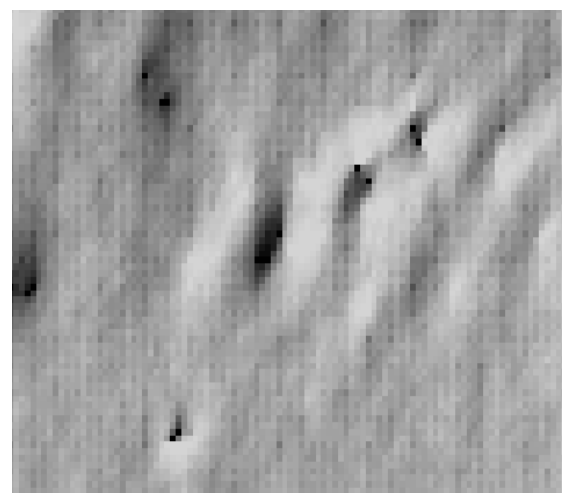
و ۱۷- نقشه تخمین لایه هفدهم



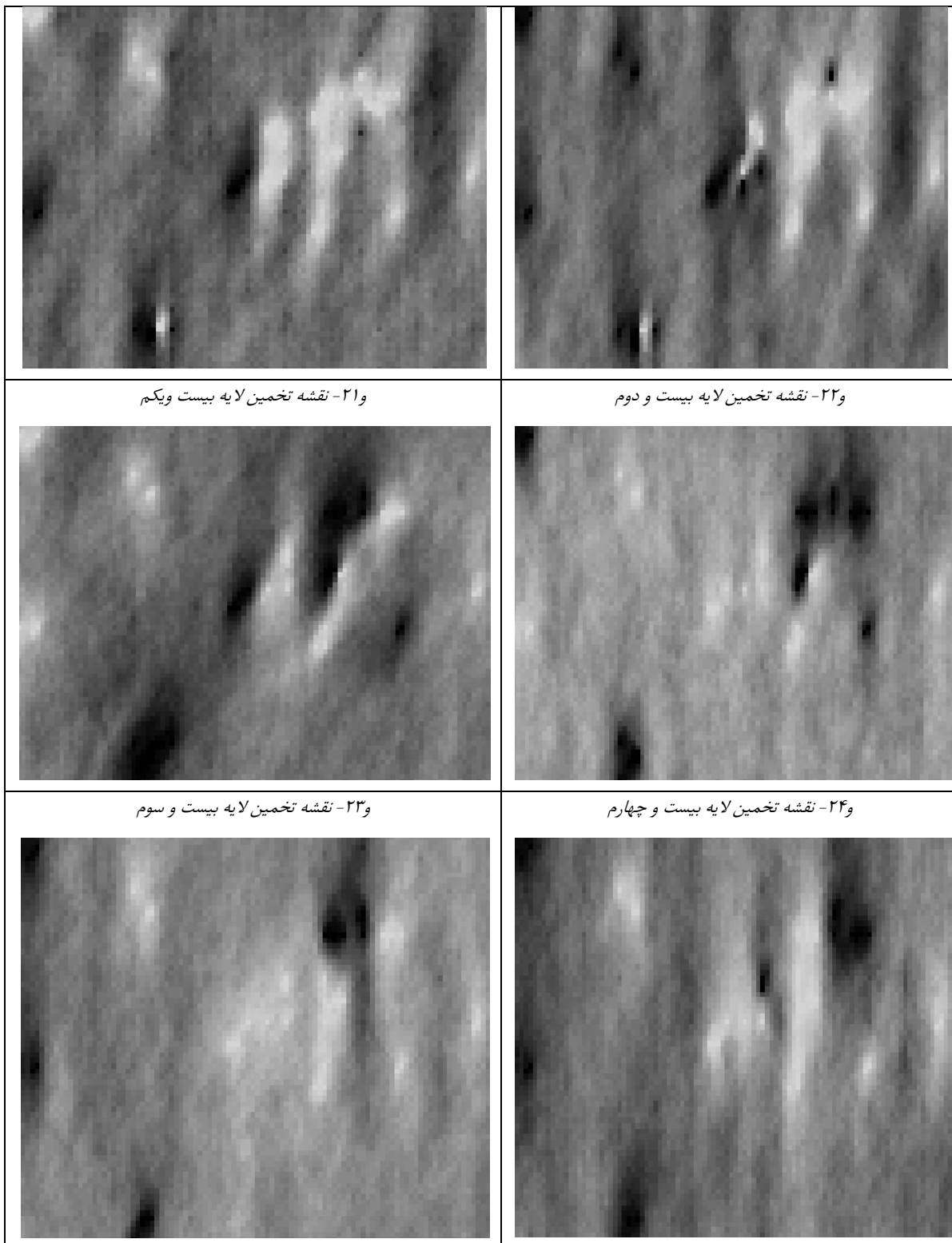
و ۱۸- نقشه تخمین لایه هیجدهم



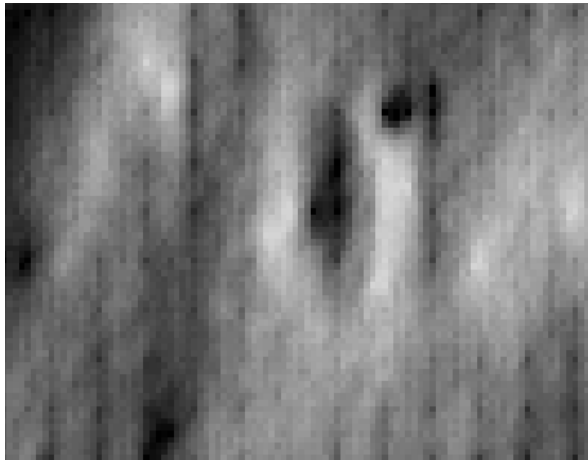
و ۱۹- نقشه تخمین لایه نوزدهم



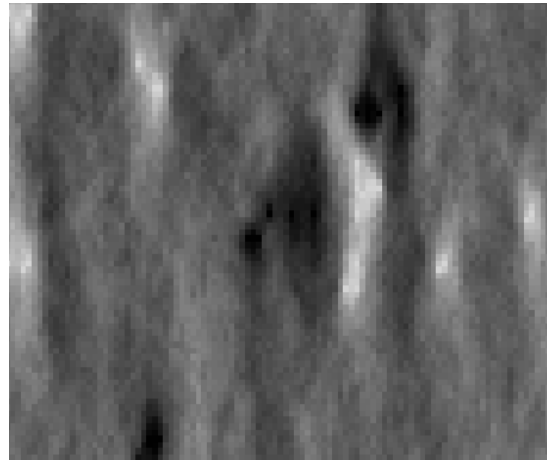
و ۲۰- نقشه تخمین لایه بیستم



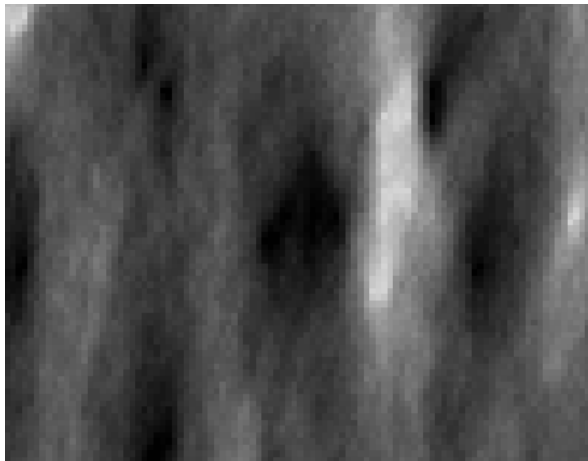
و۲۵- نقشه تخمین لایه بیست و پنجم



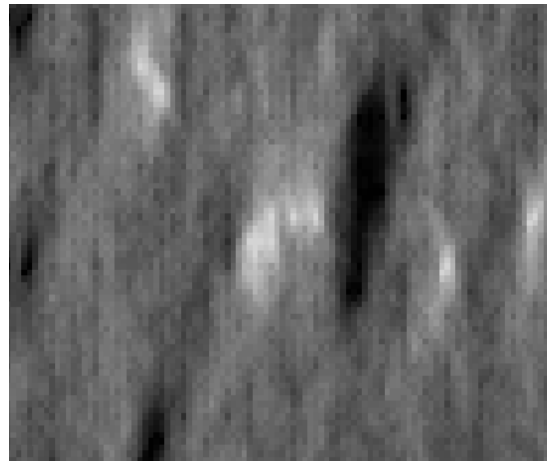
و۲۶- نقشه تخمین لایه بیست و هشتم



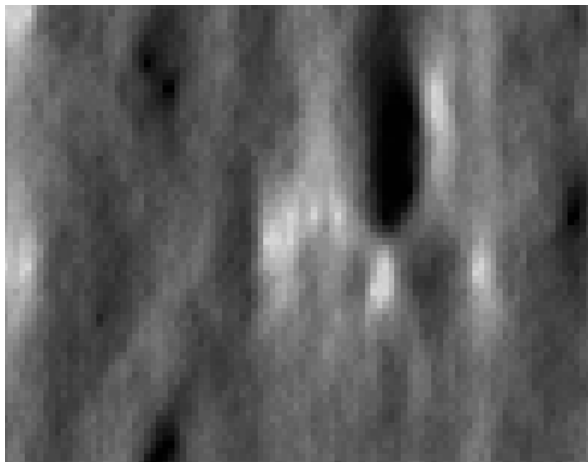
و۲۳- نقشه تخمین لایه بیست و هفتم



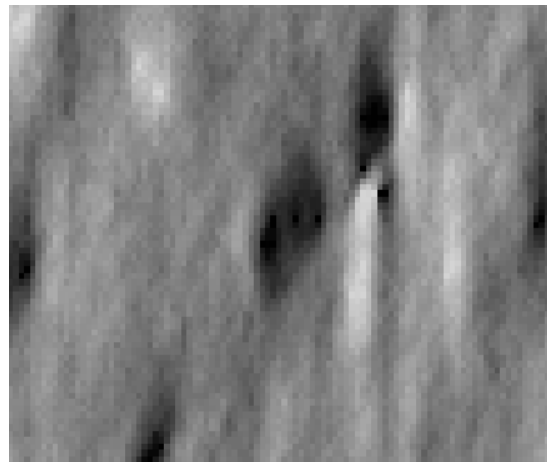
و۲۸- نقشه تخمین لایه بیست و هشتم



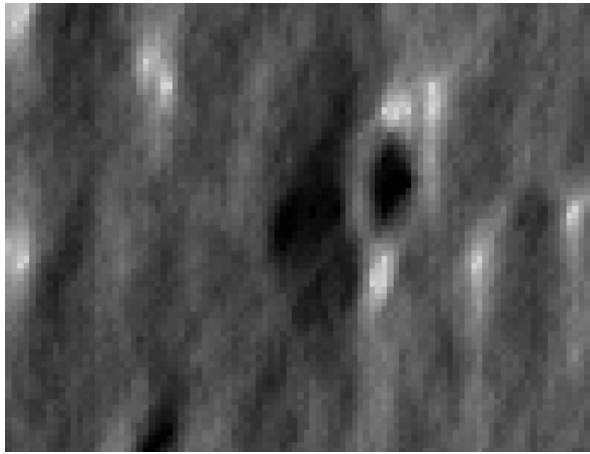
و۲۹- نقشه تخمین لایه بیست و نهم



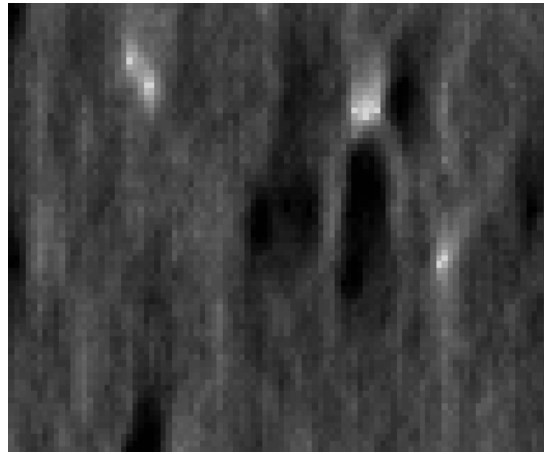
و۳۰- نقشه تخمین لایه سیام



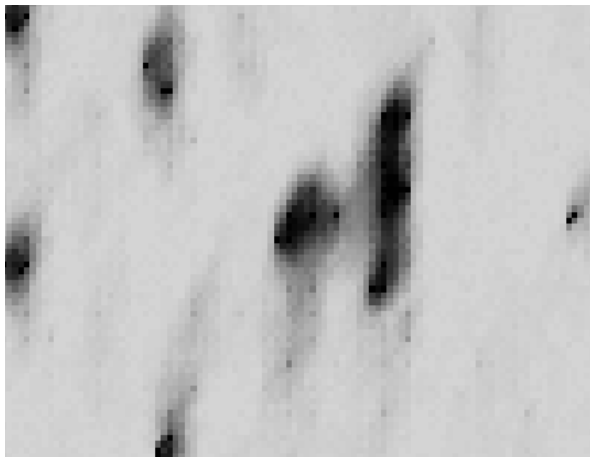
۳۱- نقشه تخمین لایه سی و یکم



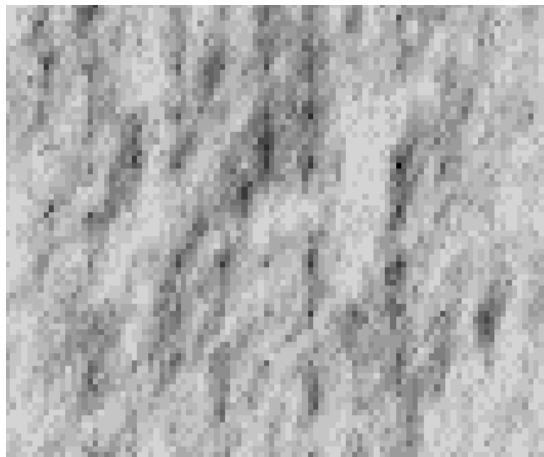
۳۲- نقشه تخمین لایه سی و دوم



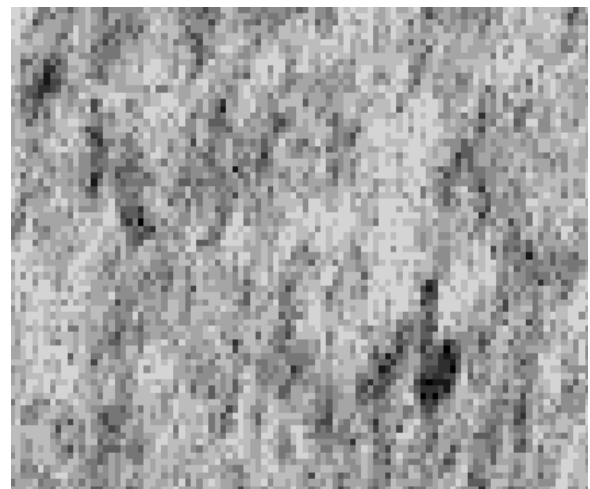
۳۳- نقشه تخمین لایه سی و سوم



۳۴- نقشه تخمین لایه سی و چهارم



۳۵- نقشه تخمین لایه سی و پنجم



۳۶- نقشه تخمین لایه سی و ششم



## منابع

### منابع فارسی

حسینی پاک، ع.، شرف الدین، م.، ۱۳۸۴، تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه

۷۷۶

کنشلو، م.، ۱۳۸۹، جزوه‌ی درسی زمین آمار خطی رشته معدن

نخعی ده میلانی، ع.، ۱۳۸۸، ارزیابی پتروفیزیکی بررسی مطالعات زمین شناسی و مطالعه  
رخسارهای الکترونیکی در مخزن نفت سنگین سازند کژدمی در میدان سروش واقع در خلیج

فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات

### منابع انگلیسی

Arpat, G.B., and Caers, J., 2007. Conditional simulation with patterns. *Mathematical Geology* 39 (2), 177–203.

Arpat, G.B., 2004, *Sequential simulation with patterns*, Ph.D. Dissertation, Stanford University, Stanford, CA, 166pp.

Barrera A.E., 2006, *Master Of Science in Engineering, Improved Geological Modeling and Dinamic Data Integration Using the Probability Perturbation Approach*, The University of Texas at Austin.

Boisvert J.B., Leuangthong O., Ortiz J.M., and Deutsch C.V., 2008, A methodology to construct training images for vein-type deposits, *Computers & Geosciences* 34: 491–502.

Boisvert, J. B., Lyster, S., and Deutsch, C. V., 2007, Constructing training images for veins and using them in multiple-point geostatistical simulation, in *33rd International Symposium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, APCOM 2007*, E. J. Magri (ed.), pp 113-120.

Bonet, J.S.D., 1997, Multiresolution sampling procedure for analysis and synthesis of texture images, *Computer Graphics* 31, 361–368 (Annual Conference Series).

Boogaart K.G. V., 2006, *Some theory for Multiple Point Statistics: Fitting, checking and optimally exploiting the training image.*

- Boucher A., 2009, Considering complex training images with search tree partitioning, **Computers & Geosciences** 35: 1151–1158.
- Boucher, A., 2007. Downscaling of satellite remote sensing data: application to land cover mapping. Ph.D. Dissertation, Stanford University, Stanford, CA, 143pp.
- Caers J., 2001, Geostatistics: from pattern recognition to pattern reproduction, **Petroleum Engineering**.  
Caers J., 2010, [www.ima.umn.edu/talks/workshops/1-7-11.../caers/caers-slides.ppt](http://www.ima.umn.edu/talks/workshops/1-7-11.../caers/caers-slides.ppt)
- Caers J., 2001, Geostatistical reservoir modelling using statistical pattern recognition, **Petroleum Science and Engineering** 29: 177–188.
- Caers J., 2002, History matching under training-image based geological model constraints, **Petroleum Engineering**.
- Caers J., and Zhang T., 2002, Multiple-point geostatistics: a quantitative vehicle for integrating geologic analogs into multiple reservoir models, Report, Stanford Center for Reservoir Forecasting
- Castro S., Caers J., and Mukerji T., 2005, The Stanford VI reservoir. Stanford, CA: Report 15, Stanford Center for Reservoir Forecasting.
- Chang H., and Zhang D., Lu Z., 2010, History matching of facies distribution with the EnKF and level set parameterization, **Computational Physics** 229 pp 8011–8030
- Chiles, J.-P. and Delfiner, P., 1999, Geostatistics: **Modeling Spatial Uncertainty**, John Wiley & Sons, Inc., New York City.
- Daly, C., 2005, Higher order models using entropy, Markov Random Fields and sequential simulation. In: Leuangthong, O., and Deutsch, C.V., eds., **Geostatistics Banff 2004**, Springer, pp. 215-224.
- Daly, C., and Knudby, C., 2007, Multipoint statistics in reservoir modelling and in computer vision, **Petroleum Geostatistics 2007**, A32
- Deutsch C.V., and Tran T.T., 2002, FLUVSIM: a program for object-based stochastic modeling of fluvial depositional systems, **Computers and Geosciences** 28pp525-533
- Deutsch C.V., and Wang L., 1996, Hierarchical object-based stochastic modeling of fluvial reservoir, **Mathematical Geology** 28 (7), 857-880
- Deutsch and Journel, 1998. **GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide**, edn. Oxford University Press, New York, 369pp.
- Deutsch, C.V., 1992, *Annealing Techniques Applied to Reservoir Modeling and the Integration of Geological and Engineering (Well Test) Data*. PhD thesis, Stanford University, Stanford, CA.
- Dubrule O., Damsleth E., 2001, Achievements and challenges in petroleum geostatistics, **Petroleum Geoscience** 7: S1–S7.
- Eskandari, K., and Srinivasan, S. 2007. Growthsim - A multiple point framework for pattern simulation, **Petroleum Geostatistics 2007**, A06
- Guardiano F., and Srivastava R.M., 1993, Multivariate geostatistics: beyond bivariate moments.

- Haldorsen H., and Damsleth E., 1990, Stochastic modeling, **Journal of Petroleum Technology** 42 : 404–412
- Haldorsen H., and Lake L., 1984, A new approach to shale management in field-scale models, **Society of Petroleum Engineers Journal** 24: 447–457.
- Harding A., Strebelle S., Levy M., Thorne J., Xie D., Leigh S., and Preece R., 2004, Reservoir Facies Modelling: New Advances in MPS, **Geostatistics Banff**: 559–568.
- Honarkhah M., 2011, Stochastic Simulation of Patterns Using Distance-Based Pattern Modeling, PhD thesis, Stanford University, Stanford, CA.
- Journel A.G., 1977, Deterministic geostatistics: a new visit. In: Baffi E, Shofield N (eds.), *Geostatistics-Wollongong*. Dordrecht: Kluwer Academic Publ, b, 1:174–187.
- Journel A.G., 1992, Geostatistics: roadblocks and challenges, In: Soares A (ed.), *Geostatistics-Troia*. Dordrecht: Kluwer Academic Publ 1: 475–489.
- Journel A.G., 1977, The abuse of principles in model building and the quest for objectivity. In: Baffi E, Shofield N (eds.), *Geostatistics-Wollongong*. Dordrecht: Kluwer Academic Publ, a, 1: 3–24.
- Journel A. G., 2002, Combining Knowledge From Diverse Sources: An Alternative to Traditional Data Independence Hypotheses, **Mathematical Geology** 34.
- Journel A. G., 1974, Geostatistics for conditional simulation of ore bodies, **Economic Geology** 69: 673–687
- Journel A. G., and Zhang T., 2006, The necessity of a prior multiple-point model, **Mathematical Geology** 38: 591–610.
- Journel A.G., 2004, Beyond Covariance: The Advent of Multiple-Point Geostatistics, **Geostatistics Banff**: 225-233.
- Liu, Y., 2004, An Information Content Measure Using Multiple-Point Statistics, **Geostatistics Banff**: 1047–1056.
- Liu, Y., 2005. An information content measure using multiple- point statistics. In: Leuangthong, O., and Deutsch, C.V. (Eds.), **Geostatistics Banff 2004**. Springer, New York
- Liu, Y., 2006, Using the Snesim program for multiple-point statistical simulation, **Computers & Geosciences** 32: 1544–1563.
- Liu, Y., Harding A., Abriel W., and Strebelle S., 2004, Multiple-point simulation integrating wells, three-dimensional seismic data, and geology, **AAPG Bulletin** 88: 905–921.
- Liu Y., and Journel A., 2004, Improving Sequential Simulation With a Structured Path Guided by Information Content, **Mathematical Geology** 36.
- Lyster, S., and Deutsch, C.V. 2008. MPS simulation in a Gibbs sampler algorithm, in *Geostats 2008 - Proceedings of the Eighth International Geostatistics Congress*, J.M. Ortiz and X. Emery (eds.), Gecamin Ltda., Santiago, Chile, vol. 1, p. 79-88.
- Maharaja A., (2008), TiGenerator: Object-based training image generator, **Computers & Geosciences** 34: 1753– 1761.

- Matheron G, 1973, *The intrinsic random functions and their application. **Advances in Applied Probability**, 439–468.*
- Ortiz Julian M., 2008, *An overview of the challenges of multiple-point geostatistics.*
- Ortiz Julian M., 2004, *Selected Aspects of Multiple-Point Statistics*
- Ortiz J.M, and Deutsch C.V., 2004, *Indicator Simulation Accounting for Multiple-Point Statistics, **Mathematical Geology 36.***
- Ortiz J.M., and Emery X., 2004, *Integrating Multi-Point Statistics into Sequential Simulation Algorithms, **Geostatistics Banff: 969–978.***
- Parra, A., and Ortiz, J. M., 2009, *Conditional multiple-point simulation with a texture synthesis algorithm, IAMG 09 Conference, Stanford University.*
- Peredo A. O., and Ortiz J.M., 2010, *Parallel implementation of simulated annealing to reproduce multiple-point statistics, **Computers & Geosciences.***
- Phelps G., and Boucher A., *Mapping Locally Complex Geologic Units in Three Dimensions: The Multi-Point Geostatistical Approach.*
- Remy Nicolas, (2004), *Geostatistical Earth Modeling Software: User's Manual.*
- Rezaee H., Dibaei A., and Koneshloo M., 2011, *Application of Multiple Point Geostatistics in Reservoir Modeling and Simulation, The First Iranian Virtual Conference on Three Ground Storage of Hydro Carbon Shell Exploration B.V., 2003, Soroosh and Norooz field integrated development.*
- Stien M., Abrahamse P., Hauge R., and Kolbjørnsen O., 2007, *Modification of the Snesim Algorithm, Petroleum Geostatistics.*
- Stoyan D, Kendall W, and Mecke J., 1987, *Stochastic geometry and its applications, New York: John Wiley & Sons.*
- Strebelle S., 2002, *Conditional Simulation of Complex Geological Structures Using Multiple-Point Statistics, **Mathematical Geology 34.***
- Strebelle, S., and A. Journel, 2000, *Sequential simulation drawing structures from training images: Geostatistics 2000 Cape Town, v. 1, p. 381–392.*
- Strebelle, S., and Journel, A., 2000. *Sequential simulation drawing structures from training images. In: Kleingeld, W.J., Krige, D.G. (Eds.), Geostatistics Capetown 2000, vol. 1, pp. 381–392.*
- Strebelle, S., 2000. *Sequential simulation drawing structures from training images. Ph.D. Dissertation, Stanford University, Stanford, CA, 187pp*
- Strebelle S, and Zhang T., 2004, *Non-stationary multiple-point geostatistical methods. In: Leuangthong O, Deutsch C V (eds.), Geostatistics Banff. 1: 235–244.*
- Strebelle, S., Payrazyan K., and Caers J., 2002, *Modeling of a deepwater turbidite reservoir conditional to seismic data using multiple-point geostatistics: Presented at the 2002 Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas*



- Tran, T.: 1994, *Improving variogram reproduction on dense simulation grids*, **Computers & Geosciences** **20**(7), 1161–1168
- Wei, L., 2001, *Texture synthesis by fixed neighborhood searching*. Ph.D. Dissertation, Stanford University, Stanford, CA, 132pp.
- Wu J., Boucher A., and Zhang T., 2008, *A SGeMS code for pattern simulation of continuous and categorical variables: FILTERSIM*, **Computers & Geosciences** **34**: 1863–1876.
- Zhang, T., 2002, *MULTIPLE-POINT SIMULATION OF MULTIPLE RESERVOIR FACIES*, M.S. Dissertation, Stanford University, Stanford, CA
- Zhang T, McCormick D, and Hurley N, 2007, *Applying multiple-point geostatistics to reservoir modeling a practical perspective*. *Petroleum Geostatistics, Cascais, Portugal, 10-14 September, 2007*.
- Zhang T, Journel A G, and Switzer P., 2005, *Merging prior structural interpretation and local data: the Bayes updating of multiple-point statistics*. *Proceedings of IAMG'05: GIS and Spatial Analysis 1*: 615–620.
- Zhang T., 2008, *Incorporating Geological Conceptual Models and Interpretations into Reservoir Modeling Using Multiple-Point Geostatistics*, **Earth Science Frontiers** **15**(1)
- Zhang T., 2002, *Rotation and affinity invariance in multiple-point geostatistics*. Stanford, CA: Report 15. Stanford Center for Reservoir Forecasting
- Zhang T., and Boucher A., 2007, *Non-stationary multiple-point geostatistical simulations with region Concept*, Stanford, CA: Report 20, Stanford Center for Reservoir Forecasting.
- Zhang, T., and Journel, A., 2002. *Merging prior structural interpretation and local data: the multiple-point geostatistics answer*. Stanford Center for Reservoir Forecasting Annual Report 16. Stanford University, Stanford, CA

## Abstract

*In petroleum and groundwater applications field, reliable facies modeling is of paramount importance for exploration of new reservoirs and making right decision for management of resources. Many of the current cases of facies modeling are based on variogram modelling. However, these conventional techniques, give the modellers limited capability to reproduce the continuities and geometries of facies modeling; and display more stochastic heterogeneity than expected. The reproduction of curvilinear and complicated patterns plays a crucial role in fluid analysis of the reservoir. Although object-based methods have been used to gain this goal; they suffer from some limits, including hard data conditioning process and time and CPU demands. This thesis is a case study of Soroush oil field, located on the north of Persian Gulf, based on facies modeling. Core and palynological data indicate that the Burgan B in the Soroush area consists of a series of incision-fill sequences occurring in an estuarine/coastal plain/ deltaic environment. Environmental analysis indicates that tidal and channel sediments have settled in this area. Multiple-point simulation of Burgan B in this field has been implemented utilizing SNESIM algorithm in SGEMS software. This algorithm accounts multi-point statistics and reproduces non-linear patterns, utilizing conceptual image. The Training Image contains the dominant conceptual patterns that geologists have presented in the domain. The Training Image utilized is a realization of object-based techniques that has been produced by N.I.O.C Experts. This realization has been developed using well logs' and core's facies data; geology and sedimentology explanations. Results of Multi-point simulation model imply that patterns and continuity of available structures in the training image have been reproduced. This is also manifested in the information content and E-type maps. Although geometry of sinuosity channels of this field is reproduced, the numbers of specific patterns of the training image and the realization (Co-efficient of determination equals with 0/47) are considerably different. Co-efficient of determination between net to gross ratios and multi-point simulation realizations is 0.99. The respective figure for object-based modeling equals 0.2. Reproduction of well samples in multi-point simulation are achieved with an average of 73% in the validation grid; and reproduction of nodes of the training image in the range of 70 to 80 percent in the middle*

*layers and the average of 57 percent for other layers, which are acceptable. Oil- in-place in different realizations are within a small range (511-527 million barrels). By comparing the results of SIS and MPS, the uncertainty has been decreased by 5.5 times.*

**Keywords: multiple-point simulation, training image, facies modeling , non linear patterns, multiple-point statistics, fluvial channe**



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Mining, Oil engineering and Geophysics**

**Investigation of the possibility of multiple point geostatistical method  
application to facies simulation of Oil Reservoir**

**Ahmad Dibaei**

**Supervisors:**

**Dr.Ali Moradzadeh**

**Dr.Mohammad Koneshloo**

**Assistant professor:**

**Dr.Davood Shamsavani**

**Industrial Consultant:**

**Sajjad kazem Shiroodi**

**FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE**

**Bahman-1390**