

# شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی با استفاده از روش SGS در یکی از میادین جنوب غرب ایران

پژوهش نفت

سال بیست و یکم  
شماره ۶۶  
صفحه ۶۶-۵۳، ۱۳۹۰

فرامرز شعبانی<sup>\*</sup>، غلامرضا بشیری<sup>۱</sup>، محمد کرامتی<sup>۱</sup> و مهسا ایزدخواه<sup>۲</sup>

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده مطالعات مخازن و توسعه میادین

۲- دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده زمین شناسی

Shabanif@ripi.ir

## چکیده

برای شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی مانند تخلخل و اشباع آب در مخازن هیدروکربنی، از داده‌های چاه‌های حفاری شده (لاگ‌ها) استفاده می‌شود. با شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی، یک دید سه‌بعدی از خصوصیات مخزنی به‌دست می‌آید که در ایجاد الگوهای جریان مخزن نقش بسزایی دارد. همچنین با شبیه‌سازی این پارامترها، مکان‌های مستعد مخزنی شناسایی شده و در توسعه میادین هیدروکربنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر، از روش شبیه‌سازی تخمین تصادفی SGS (Sequential Gaussian Simulation) که یک روش زمین آماری می‌باشد، برای تهیه مدل سه‌بعدی پتروفیزیکی مخزن سروک میدان نفتی آزادگان (واقع در جنوب غربی ایران) استفاده شده است. در این روش زمین آماری، با استفاده از پارامترهای پتروفیزیکی با مقادیر و مختصات معلوم، مقدار همان پارامتر در نقاط مجهول به‌دست می‌آید. در روش SGS از سلول‌ها یا بلوک‌هایی که دارای یک ارزش معین از انواع پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشند، استفاده می‌شود. در نهایت پس از تعریف ساختمان مخزن و آنالیز

داده‌های پتروفیزیکی، مدل‌های شبیه‌سازی شده با این روش برای ۵ زون مخزنی سازند سروک در میدان نفتی آزادگان با دقت بالا برای پارامترهای تخلخل و اشباع آب به‌دست آمد. با اعمال حدود برشی مناسب، مکان‌های نفت ده مخزن در هر یک از زون‌ها و میانگین همه آنها در یک مدل واحد شبیه‌سازی شد. نتایج این مدل‌ها بیان‌گر این نکته است که بهترین زون مخزنی در سازند سروک، زون ۳ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای پتروفیزیکی، روش SGS، آنالیز داده‌ها، مدل شبیه‌سازی شده

## مقدمه

به‌صورت کلی یکی از ارکان اصلی در مطالعات جامع مخازن هیدروکربنی، مطالعه و شبیه‌سازی خصوصیات پتروفیزیکی می‌باشد که در اکثر شرکت‌های نفتی دنیا به آن پرداخته می‌شود. در شبیه‌سازی می‌توان خواص پتروفیزیکی مخزن از جمله تخلخل و اشباع آب که از تفاسیر لاگ‌ها به‌دست آمده‌اند را مدل‌سازی نمود. بدیهی است که این ویژگی‌ها تا شعاع خاصی که توسط کاربر در نرم‌افزار تعریف

دیگر را می‌توان به صورت ذیل خلاصه نمود:

ارزیابی عدم قطعیت<sup>۱</sup>: روش SGS یک روش تخمین تصادفی است که از هر یک از مدل‌ها و برنامه‌های پیش‌بینی در مخازن، تعداد زیادی از مدل‌ها با عدم قطعیت‌های مختلف که بین بهترین و بدترین مقادیر متغیرهای درگیر می‌باشد را به دست می‌دهد که از این بین می‌توان بهترین حالت که میانگینی از مدل‌های مختلف است را به عنوان مدل نهایی انتخاب نمود. اعمال ناهمگنی مخزن<sup>۲</sup>: روش SGS می‌تواند مدلی مبتنی بر واقعیت ناهمگنی در مخزن بسازد.

در نظر گرفتن داده‌های پیچیده<sup>۳</sup>: روش SGS می‌تواند دامنه وسیعی از داده‌های مختلف (مثل داده‌های پتروفیزیکی و لرزه‌ای) را برای به دست آوردن مدل بهتر با هم ادغام نماید [۵]. برای اعمال و استفاده از این روش باید مراحل طی شود که این مراحل شامل تعریف ویژگی‌های شکل و هندسه مخزن (ساخت مدل ساختمانی مخزن و شبکه‌بندی آن) و تعریف یک سری ویژگی برای پارامترهای پتروفیزیکی یا به طور کلی انجام آنالیز داده‌ها (درشت نمایی، تبدیل و تعریف ساختار فضایی برای داده‌ها) می‌باشد. هر یک از این مراحل در زیر آورده شده است.

### تعریف هندسه مخزن و شبکه‌بندی آن

#### ساخت مدل ساختمانی مخزن

تهیه مدل ساختمانی مخزن به طور معمول، نقطه شروع یک مدل مخزنی می‌باشد [۶]. در این قسمت، مدل‌سازی مربوط به ساختمان مخزن به همراه خصوصیات زمین‌شناسی از جمله خصوصیات تکنونیک و گسل خوردگی را می‌توان انجام داد. همچنین می‌توان از تمام قسمت‌های مختلف ساختار مدل ایجاد شده، مقطع تهیه نمود و تغییرات لایه‌های مخزن مورد نظر به همراه تغییرات ضخامت و ... را مشاهده نمود. با بررسی این تغییرات به راحتی می‌توان در مورد دیگر مراحل تفسیر مخزن اظهار نظر نمود. گسل خوردگی باعث ایجاد پیچیدگی‌هایی در مخزن می‌شود که شناخت مکانیزم و شبکه‌های آن ضروری می‌باشد [۷].

1. Deterministic
2. Stochastic
3. Assessing Uncertainty
4. Honoring Heterogeneity
5. Honoring Complex Data

می‌شود، تحت تأثیر هرچاه قرار دارد. با شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی، یک دید سه‌بعدی از خصوصیات مخزنی به دست می‌آید که در ایجاد الگوهای جریانی مخزن نقش بسزایی دارد. همچنین با شبیه‌سازی این پارامترها، مکان‌های مستعد مخزنی شناسایی شده و در توسعه میادین هیدروکربنی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

مدل‌سازی پتروفیزیکی به دو روش قطعی<sup>۱</sup> و تصادفی<sup>۲</sup> انجام می‌شود. در روش اول بر اساس برون‌یابی داده‌های چاه‌ها با مشخص نمودن شعاع جستجو در سه جهت  $X$ ،  $Y$  و  $Z$ ، یک مدل ساده و سریع ایجاد می‌شود که چندان قابل استفاده نبوده و تنها می‌تواند روند تغییرات هر پارامتر در مخزن را پیش‌بینی نماید. روش SGS از روش‌های شبیه‌سازی تصادفی می‌باشد که از قوانین زمین‌آمار (ژئوستاتیستیک) برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی پارامترهای مخزنی در سه بعد مخزن استفاده می‌کند.

### روش کار

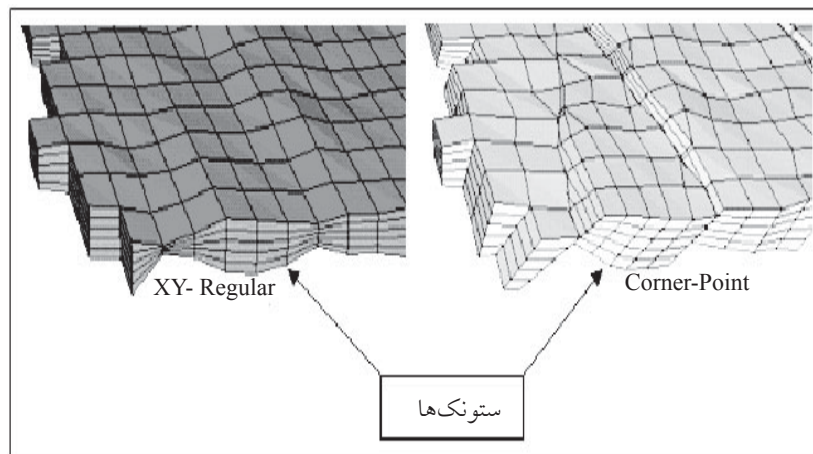
روابط زمین‌آمار در بسته‌های نرم‌افزاری تخصصی مدل‌سازی مخزن گنجانده شده‌اند. نرم‌افزارهای مدل‌سازی یک دید سه‌بعدی از تمام جنبه‌های مخزن، نظیر: زمین‌شناسی و ساختمان مخزن، دینامیک سیالات و طراحی چاه‌ها به کاربر ارائه می‌دهد [۲] و یک ابزار مدیریتی پیشرفته مخزن محسوب می‌شود که امکان استفاده از حداکثر بهره‌وری مخزن را فراهم می‌سازد [۳]. همچنین این نرم‌افزارها، کاربر را در طراحی نقشه‌ها، ایجاد انواع مدل‌های خواص پتروفیزیکی، شبیه‌سازی جریانات مخزنی، مکان‌یابی و طراحی چاه‌های جدید و مدیریت مخزن یاری می‌کند. نرم‌افزارهای مدل‌سازی ابزار همکاری بین ژئوفیزیک‌ها، زمین‌شناسان، مهندسان مخزن و حفاری به منظور کوتاه‌تر کردن زمان بین کشف میدان تا تولید از آن، افزایش میزان بهره‌وری از میدان و افزایش میزان بازیافت ثانویه با موقعیت‌یابی مناسب برای حفر چاه‌های جدید و چاه‌های تزریقی می‌باشد [۴]. یکی از روش‌های کارآمد در تخمین و شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی موجود در این نرم‌افزارها، روش SGS می‌باشد که وابسته به داده‌های چاه‌ها و داده‌های لرزه‌نگاری می‌باشد. مزایای این روش نسبت به روش‌های

دارای طول و عرض یکسان بوده و به‌صورت مکعب مستطیل هستند. ستونک‌ها در این سلول‌ها به‌صورت عمودی می‌باشند (شکل ۱).

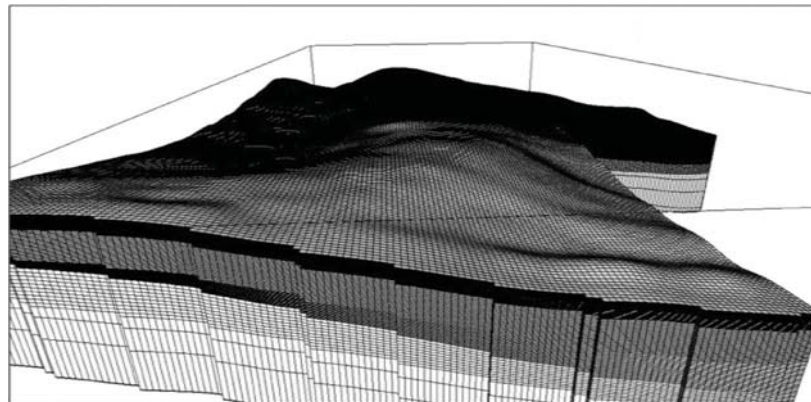
شبکه‌بندی با سلول‌های Corner-Point: این نوع سلول‌ها بسیار انعطاف‌پذیر هستند و می‌توانند به‌راحتی آثار گسل خوردگی را در خود نمایان سازند (شکل ۱). همچنین از مزایای دیگر این سلول‌ها می‌توان به قابلیت استفاده از آنها در ساخت سلول‌های شبیه‌سازی حرکت جریانات مخزنی اشاره نمود. به‌طور کلی این سلول‌ها زمین‌شناسی‌ترند و به‌دلیل همین مزیت، در این مطالعه از این نوع سلول‌ها برای شبکه‌بندی مخزن سروک استفاده گردید (شکل ۲). اما در لایه‌بندی<sup>۱</sup> سلول‌ها از روش نسبی<sup>۲</sup> استفاده شد که در این روش تعداد لایه‌های سلولی در همه قسمت‌های مخزن ثابت و سطوح بالا و پایین آنها هم‌راستا با سطوح بالا و پایین لایه‌های مخزنی می‌باشد. ابعاد هر یک از سلول‌ها  $150 \times 150 \times 1$  متر تعریف گردید.

### ساخت مدل شبکه مخزن

یک مدل شبکه مخزن، شامل سلول‌های سه بعدی است که هر یک از این سلول‌ها در برگیرنده میانگینی از کلیه پارامترهای پتروفیزیکی می‌باشند. در اجرای مدل ساختمانی مخزن و برآورد دقیق محاسبات حجم سنجی از مخزن، تقسیم‌بندی مخزن به سلول‌های کوچک الزامی است [۸]. ابعاد، راستا و شکل هر یک از سلول‌ها به‌ترتیب به ابعاد و بزرگی مخزن مورد مطالعه، میزان داده‌های معلوم از مخزن و راستا و جهت یافتگی شکستگی‌های مخزن بستگی دارد. هر سلول از مدل شبکه مخزن، شامل ستونک‌های نگهدارنده می‌باشد که هر یک از این ستونک‌ها گوشه‌های بالا و پایین سلول‌ها را به‌هم متصل می‌کند. این ستونک‌ها همواره به‌صورت مستقیم و موازی بوده و بسته به نوع سلول‌ها می‌توانند بر اثر گسل خوردگی دارای انحناء شوند. به‌طور کلی دو نوع سلول در شبکه‌بندی مخزن استفاده می‌شود: شبکه‌بندی با سلول‌های X-Y Regular: این نوع سلول‌ها همواره



شکل ۱- دو نوع شبکه‌بندی مخزن و نحوه عملکرد ستونک‌ها



شکل ۲- قسمتی از مدل شبکه‌بندی شده مخزن سروک میدان آزادگان

1. Layering
2. Proportional

## آنالیز داده‌ها

میانگین‌گیری شوند. با این کار برای هر سلول یک عدد از پارامترهای مختلف تعلق می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای محاسبه میانگین وجود دارد که بهترین آنها با توجه به ایستاد بودن پارامترهای تخلخل و اشباع آب، روش میانگین‌گیری عددی می‌باشد.

فرمول روش میانگین‌گیری عددی به صورت رابطه زیر است:

$$K_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N K_i \quad (1)$$

در این رابطه  $K_A$  میانگین پارامتر پتروفیزیکی  $K$ ،  $K_i$  مقدار پارامتر  $K$  در موقعیت  $i$  و  $N$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد. در میدان نفتی آزادگان با استفاده از ۹ حلقه چاه حفاری شده در موقعیت‌های مختلف مخزن (شکل ۴ و جدول ۱) که دارای داده‌های لاگ بودند، عملیات درشت‌نمایی داده‌های تخلخل و اشباع آب با استفاده از روش فوق صورت پذیرفت.

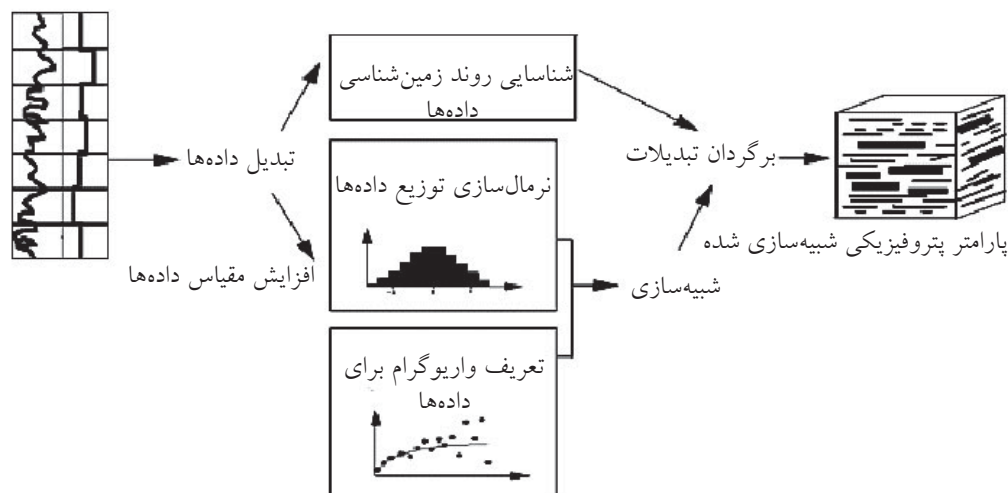
## تبدیل داده‌ها

برای استفاده از روش‌های زمین‌آماري در شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی، باید روند موجود در داده‌ها که می‌تواند بر اثر خصوصیات زمین‌شناسی منطقه به وجود آمده باشد، شناسایی و حذف گردد. برای تشخیص روند از واریوگرام منطقه مورد مطالعه می‌توان استفاده نمود. به طور کلی واریوگرام‌هایی که در محدوده مورد نظر به سقف ثابتی نمی‌رسند، می‌توانند دلالت بر وجود روند داشته باشند.

بعد از درشت‌نمایی داده‌ها، دو شرط اساسی در محاسبات زمین‌آماري این است که اولاً داده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و ثانیاً روندی در آنها موجود نباشد. چون در زمین‌آمار، موقعیت فضایی نمونه‌ها همواره با مقدار کمیت مورد نظر به صورت یک‌جا مورد تحلیل قرار می‌گیرند، باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه‌ها و فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد. این ارتباط فضایی بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده در قالب ساختار فضایی بیان می‌شود [۹]. این ساختارهای فضایی در حقیقت همان واریوگرام‌های تجربی<sup>۱</sup> هستند که در سه جهت برای داده‌های پتروفیزیکی چاه‌ها تعریف می‌شوند. بر اساس این واریوگرام‌ها، هر سلول در مخزن به نسبت فاصله آن از چاه‌ها از نظر کمیت‌های پتروفیزیکی، ارزش‌گذاری می‌گردد و در نهایت توزیع هر پارامتر در مخزن را به دست می‌دهد. در ادامه به تشریح هر یک از این مراحل پرداخته شده است (شکل ۳).

درشت‌نمایی داده‌ها<sup>۲</sup>

داده‌های پتروفیزیکی به صورت داده‌های لاگ در مسیر چاه‌های حفاری شده می‌باشند. قبل از شبیه‌سازی، این پارامترها باید در ابعاد سلول‌های تعریف شده در مخزن

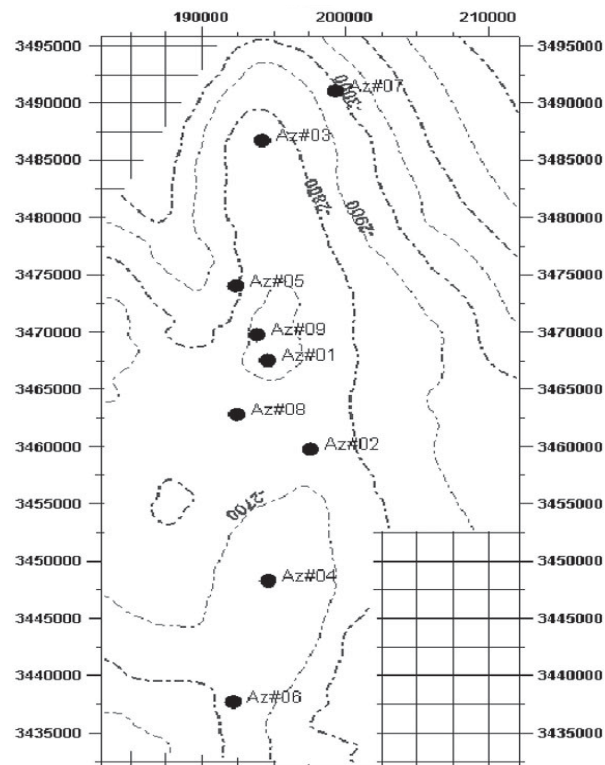


شکل ۳- توالی چگونگی شبیه‌سازی یک پارامتر پتروفیزیکی

1. Experimental Variogram  
2. Data Up Scaling

جدول ۱- مشخصات چاه‌های واقع در مخزن سروک میدان آزادگان

چاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع میز دوار	عمق (متر)
AZ#۰۱	۱۹۴۵۶۸/۰۰	۳۴۶۷۵۲۴/۰۰	۱۵	۶۰۰۰
AZ#۰۲	۱۹۷۵۴۸/۰۰	۳۴۵۹۷۵۹/۰۰	۱۴	۵۰۰۰
AZ#۰۳	۱۹۴۱۸۱/۰۰	۳۴۸۶۷۲۴/۰۰	۱۵	۶۰۰۰
AZ#۰۴	۱۹۴۶۱۱/۰۰	۳۴۴۸۲۸۲/۰۰	۱۴	۵۰۰۰
AZ#۰۵	۱۹۲۳۵۵/۰۰	۳۴۷۴۰۴۹/۰۰	۱۴	۵۰۰۰
AZ#۰۶	۱۹۲۱۷۴/۰۰	۳۴۳۷۷۱۰/۰۰	۱۴	۵۰۰۰
AZ#۰۷	۱۹۹۲۹۶/۰۰	۳۴۹۱۰۴۶/۰۰	۱۴	۵۰۰۰
AZ#۰۸	۱۹۲۴۲۲/۰۰	۳۴۶۲۸۱۳/۰۰	۱۴	۵۰۰۰
AZ#۰۹	۱۹۳۸۰۹/۰۰	۳۴۶۹۷۶۱/۰۰	۱۶	۵۰۰۰



شکل ۴- مدل سرزون سروک و موقعیت چاه‌های حفاری شده در میدان آزادگان

روند در جهت ضخامت قائم چاه برای حذف پیوستگی لیتولوژیکی داده‌ها، سپس حذف روند در جهت عمود بر لایه‌بندی به‌منظور حذف روند ناشی از محیط رسوبی و نهایتاً حذف روند کلی میدان در جهت عمود بر محور طاق‌دیس به‌منظور حذف روند ناشی از تغییرات ناحیه‌ای. یکی دیگر از شرط‌های استفاده از روش‌های زمین‌آماري در شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی، داشتن توزیع نرمال

برای حذف روند در داده‌ها ابتدا باید نرمال‌سازی در داده‌ها صورت گیرد و پس از آن کشیدگی این توزیع نرمال تا حد ممکن افزایش یابد تا دامنه‌ای از داده‌ها که مورد استفاده قرار می‌گیرد تا حد زیادی در اطراف میانگین داده‌ها تجمع یابد. در این صورت روندی در نحوه گسترش داده‌ها باقی نمی‌ماند. شناسایی و حذف روند داده‌ها طی سه مرحله صورت می‌گیرد: ابتدا حذف

معلوم، می‌توان مقدار همان کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم واقع در درون دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد [۱۰ و ۱۱]. واریوگرام ترسیمی برای داده‌ها میزان اختلاف یک پارامتر از نقاط معلوم را بر اساس فاصله از آن نقطه (Lag) بیان می‌کند و بر اساس این مدل واریوگرام، مقدار پارامتر مورد نظر در نقاط مجهول، تخمین زده می‌شود.

این ساختار فضایی در محاسبات آماری همان واریوگرام تجربی است که برای داده‌هایی با توزیع نرمال و فاقد روند تعریف می‌شود [۱۲]. در حقیقت برای داده‌ها در سه جهت در مخزن واریوگرامی تعریف می‌شود که برای هر سلول از سلول‌های مخزنی با توجه به فاصله‌ای که از محل چاه دارد، تخمینی انجام داده و برای هر پارامتر در هر سلول، یک ارزش عددی اختصاص می‌دهد. فرمول واریوگرام به صورت زیر است:

$$(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{i=N(h)} (x_i - x_{i+h})^2 \quad (2)$$

در این رابطه  $h$  مقدار واریوگرام،  $N(h)$  تعداد جفت داده‌ها و  $x_i - x_{i+h}$  انتها و ابتدای جفت داده  $i$  می‌باشد. به صورت کلی واریوگرام، تغییرپذیری داده‌ها را با افزایش فاصله نشان می‌دهد که یک محور آن تغییرپذیری (واریانس) و محور دیگر فاصله می‌باشد [۱۳].

استاندارد آنهاست. در توزیع نرمال، داده‌ها دارای میانگین صفر و انحراف معیار ۱ بوده و نمودار توزیع آنها به صورت زنگوله‌ای<sup>۲</sup> می‌باشد.

به‌طور کیفی می‌توان نرمال بودن توزیع داده‌ها را از روی ابزارهای آماری مانند: نمودارهای هیستوگرام، کج شدگی و کشیدگی توزیع داده‌ها تشخیص داد. بر این اساس نرمال‌سازی داده‌های تخلخل و اشباع آب صورت پذیرفت. در جدول ۲ ترتیب و نوع تبدیل داده‌ها به صورت تفصیلی آورده شده است.

احتمال روی دادن یک سری از موارد خاص در روند تبدیل داده‌ها وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد، عمده این موارد به شرح زیر است:

اگر منحنی توزیع به صورت دونمایی<sup>۱</sup> درآید، نشان‌دهنده این است که داده‌ها در دو گروه از سلول‌ها به صورت مستقل تقسیم شده‌اند و یا برخی از روندهای زمین‌شناسی در آنها شناخته نشده که باید برطرف شود. در غیر این صورت در برآوردها ایجاد اشکال خواهد کرد.

اگر تعداد نمونه‌ها خیلی کم باشد، احتمالاً توزیع داده‌ها کاملاً متقارن نخواهد بود. با اعمال مراحل مختلف تبدیل داده‌ها و در نظر گرفتن نکات حساس، نهایتاً داده‌های تخلخل و اشباع آب برای زون‌های مخزنی سازند سروک به صورت توزیع نرمال درآمدند (شکل ۵).

### تعریف واریوگرام برای داده‌ها

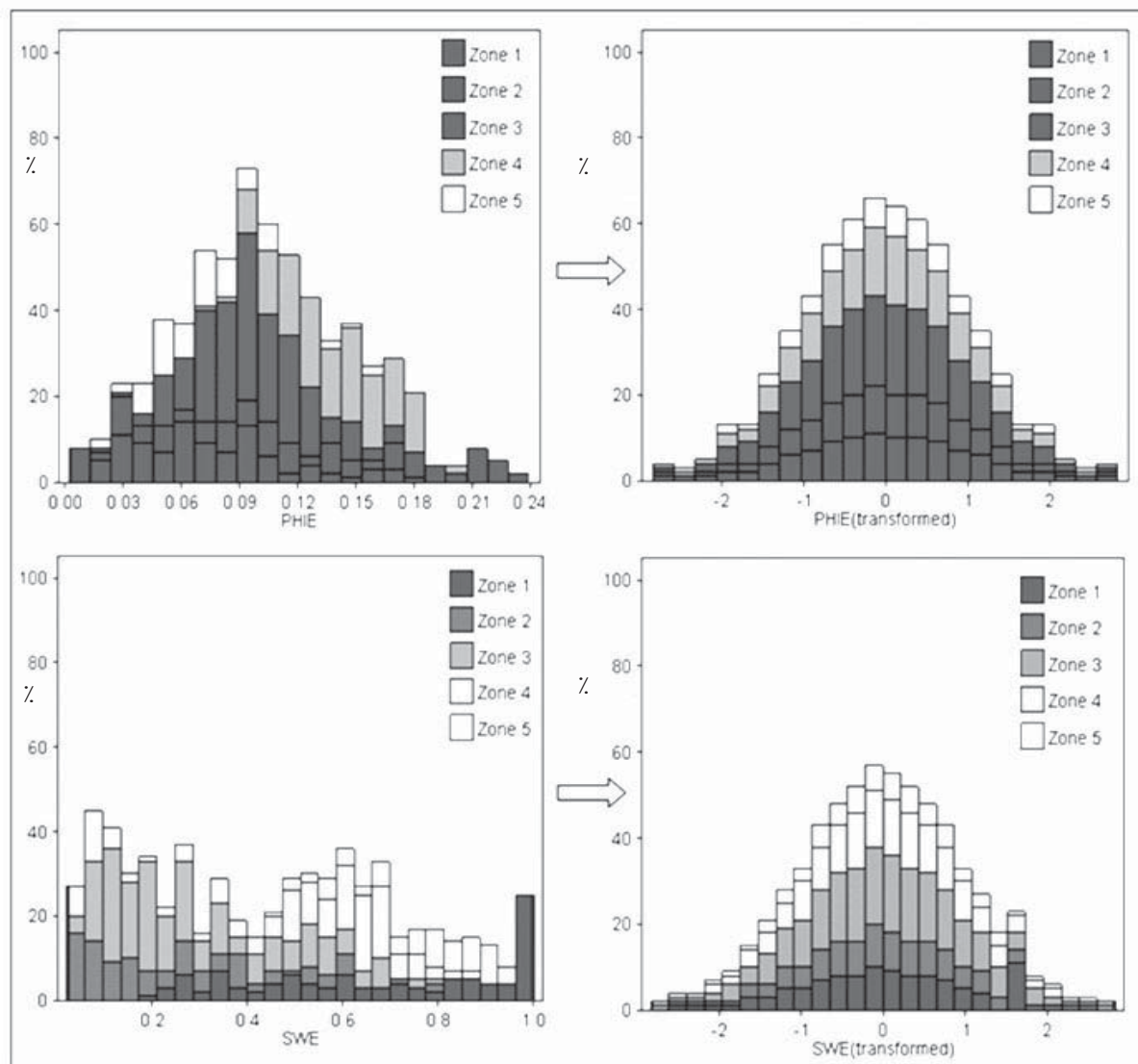
در زمین‌آمار با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات

جدول ۲- توصیف مراحل مختلف تبدیل داده‌ها در پارامترهای پتروفیزیکی

عملکرد	دسته اولیه
حذف داده‌هایی با مقادیر خیلی کم و یا خیلی زیاد که بیرون از محدوده تعریف شده قرار گرفته‌اند قرار دادن مقدار صفر برای میانگین داده‌ها و انتقال کلیه داده‌های باقی‌مانده با این میانگین گرفتن لگاریتم از داده‌ها برای حذف مقادیر منفی گرفتن مجذور ریشه داده‌ها	کاهش چولگی
نرمال سازی داده‌ها حذف روند در جهت فشردگی لایه‌ها به صورت عمودی حذف روند در جهت رسوب‌گذاری لایه‌ها حذف روندهای یک بعدی در جهات مختصات جغرافیایی جهانی مثل UTM	روندهای زمین‌شناسی

1. Bimodal
2. Gaussian Distribution





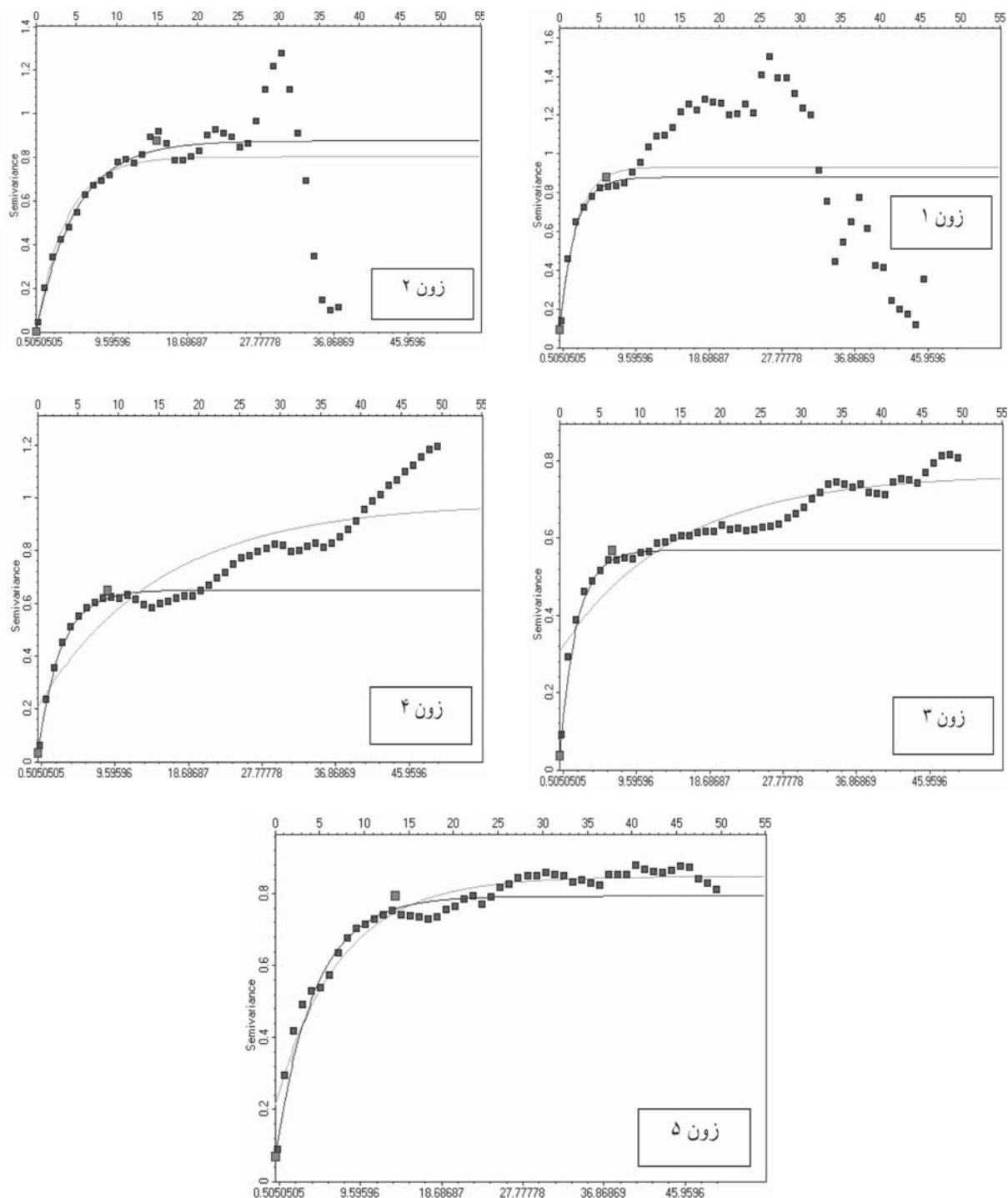
شکل ۵- نرمال سازی داده‌های تخلخل (PHI) و اشباع اب (SWE)

یا عمودی می‌باشد، نمایش داده شده است. در شکل ۶ واریوگرام‌های تخلخل و اشباع آب برای هر یک از زون‌ها به صورت مجزا در جهت (Z) که مهم‌ترین جهت واریوگرام به خاطر تراکم بالای داده‌ها می‌باشد، رسم شده است.

هر چه آرایش چاه‌ها منظم‌تر بوده و متقارن‌تر و مخزن همگن‌تر باشد، واریانس تخمین کمیت‌های پتروفیزیکی سنگ مخزن کمتر خواهد بود. در جدول ۳ مقادیر شعاع تأثیر به دست آمده از مدل واریوگرام در هر یک از جهات سه گانه (XYZ) که X و Y جهات افقی و Z جهت چاه‌ها

جدول ۳- مقادیر شعاع تأثیر مدل واریوگرام در هر یک از جهات سه گانه (XYZ)

سازند	زون	نوع واریوگرام	آزیموت (جهت از شمال) واریوگرام	شعاع تأثیر در جهت اصلی (m)	شعاع تأثیر در جهت فرعی (m)	شعاع تأثیر در جهت مسیر چاه‌ها (m)
سروک	زون ۱	نمایی	۱۳	۲۵۰۰۰	۱۶۰۰۰	۵/۸
	زون ۲	نمایی	۱۰	۲۵۰۰۰	۱۶۰۰۰	۱۵
	زون ۳	نمایی	۱۰	۲۵۰۰۰	۱۶۰۰۰	۶/۶
	زون ۴	نمایی	۱۳	۲۵۰۰۰	۱۶۰۰۰	۸/۷
	زون ۵	نمایی	۱۰	۲۵۰۰۰	۱۶۰۰۰	۱۳/۵



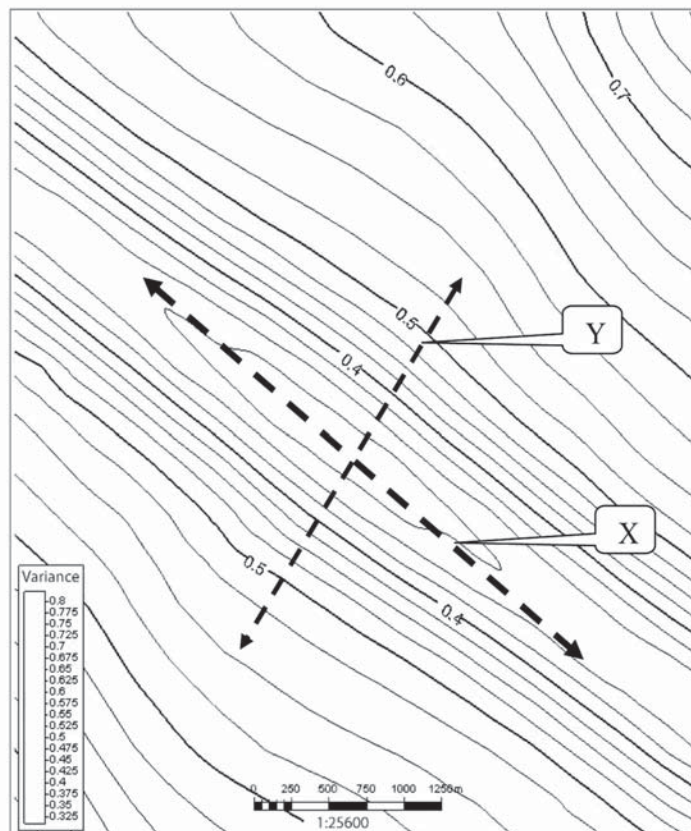
شکل ۶- واریوگرام های به دست آمده در جهت عمودی در ۵ زون

می باشد (شکل ۷). همچنین فاصله گام‌ها<sup>۱</sup> در واریوگرام در جهات افقی، فاصله دو نقطه معلوم متوالی از هم یا همان فاصله دو چاه متوالی و در جهت عمودی واریوگرام برابر با ضخامت لایه سلولی می باشد.

انتخاب جهت‌های افقی واریوگرام از روی نقشه امپدانس صوتی که خود نشان‌گر همگنی و ناهمگنی مخزن است، صورت می‌گیرد. به گونه‌ای که محور اصلی واریوگرام (X) در جهت بیشترین همگنی (کمترین واریانس) و طول آن نیز برابر با نصف طول مخزن و محور فرعی (Y) عمود بر این محور و طول آن نیز برابر با نصف عرض مخزن

1. Lags





شکل ۷- نقشه واریانس امیدانس صوتی در میدان آزادگان و تعیین محورهای اصلی و فرعی واریوگرام‌ها

## نتایج و بحث

تخلخل مخزن باشد. در ساخت مدل اشباع آب این مخزن از کوکریجینگ<sup>۲</sup> تخلخل مخزن به‌عنوان پارامتر ثانویه در ساخت مدل استفاده شده است. در این مدل بیشترین مقدار اشباع آب متعلق به نواحی جنوب و شمال میدان می‌باشد. با استفاده از نقشه هم شیب سرزون‌ها که به صورت غیر مستقیم نشان دهنده شکستگی زون‌ها می‌باشد، تراکم شکستگی‌ها تعیین شد که با توجه به شکل ۱۰، بیشترین شکستگی‌ها متعلق به نواحی جنوب و شمال میدان می‌باشد. برای ارزیابی میزان دقت مدل، باید نتایج مدل را با داده‌های واقعی موجود در چاه‌ها مقایسه نمود (صحت سنجی). هر قدر نتایج مدل به داده‌های واقعی نزدیک‌تر باشد، مدل به‌دست آمده دقیق‌تر خواهد بود که در مدل سروک تطابق بسیار خوبی بین نتایج مدل و داده‌های واقعی مشاهده گردید (شکل ۱۱).

در نهایت برای مشخص کردن مکان‌های مستعد مخزنی، با اعمال حدود برشی برای دو پارامتر تخلخل و اشباع آب، مدل مکان‌های مخزنی - غیر مخزنی به‌دست آمد.

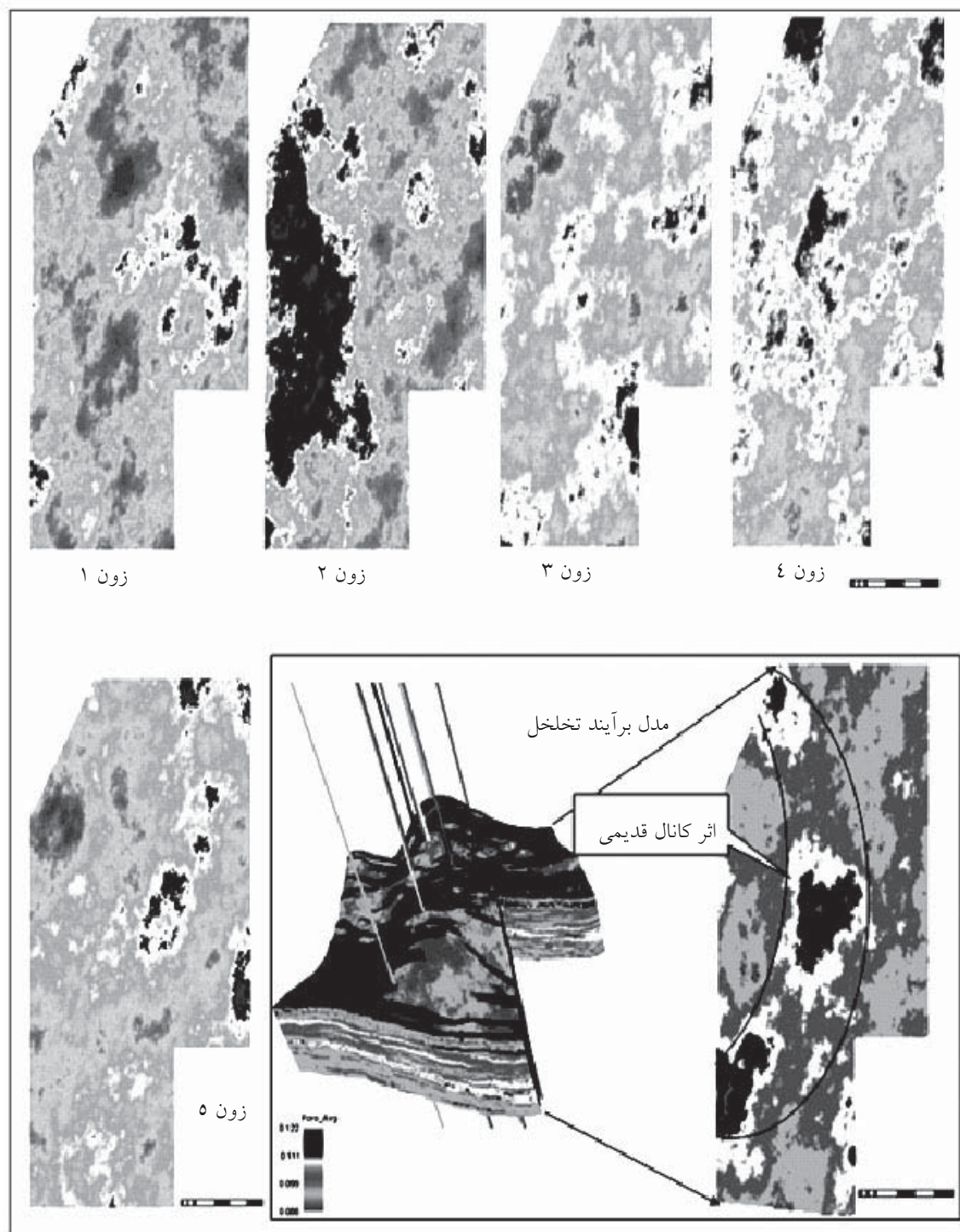
با تعریف شرایط ذکر شده، داده‌های پتروفیزیکی با روش SGS شبیه‌سازی شد که به صورت مدل‌های جداگانه برای هر یک از ۵ زون مخزنی نمایش داده شدند (شکل‌های ۸ و ۹ و جدول ۴). در این مدل‌ها می‌توان تغییرات در مقادیر تخلخل و اشباع آب را به دو صورت عمودی و افقی بررسی نمود. همچنین برآیند این مدل‌ها به صورت یکپارچه نیز مدل گردید. به طور کلی تغییرات مقادیر تخلخل و اشباع آب در کل مخزن بدین صورت است که در توزیع مقادیر تخلخل، بیشترین مقدار تخلخل از جنوب غرب میدان شروع شده و پس از گذر از نواحی مرکزی میدان به شمال غرب آن ختم می‌شود که اثر یک کانال قدیمی<sup>۱</sup> را نمایش می‌دهد. این کانال قدیمی به دلیل لیتولوژی متفاوت نسبت به اطراف خود، موجب بهبود و بالا رفتن میزان تخلخل در این نواحی شده است (شکل ۸).

مدل اشباع آب که مقدار اشباع شدگی آب در زون نفتی را نمایش می‌دهد، عمدتاً از نوع اشباع آب کاهش نیافتنی است که می‌تواند متأثر از فشار مویینه، نفوذپذیری نسبی و

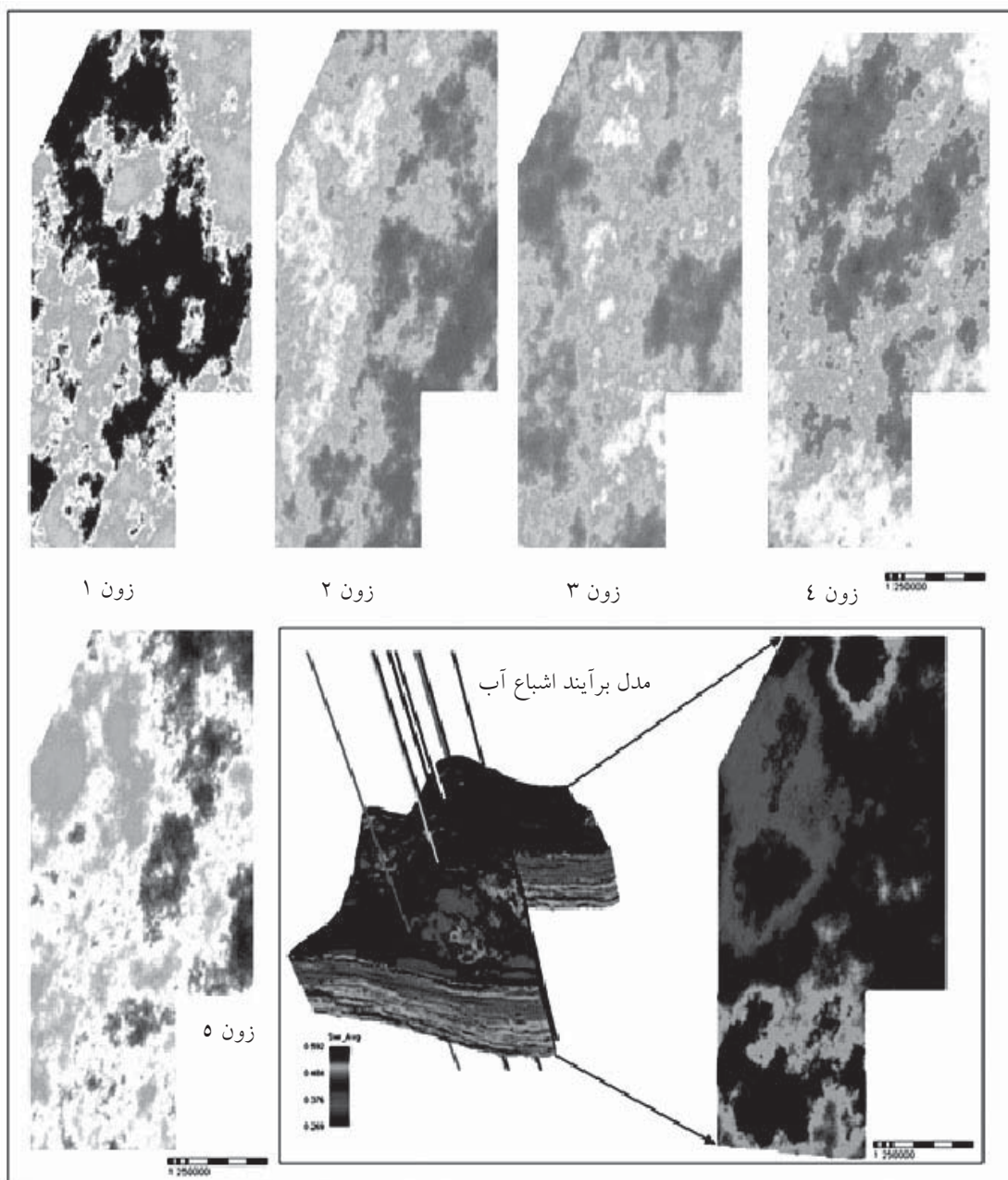
1. Paleochannel  
2. Co-Kriging

به غیر از قسمت‌های جنوبی، مرکزی و قسمتی از شمال میدان، بقیه نقاط دارای شرایط مخزنی خوبی هستند که می‌توان آن را در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای میدان مدنظر قرار داد (شکل ۱۲).

حدود برشی برای تخلخل ۵٪ و برای اشباع آب ۷۰٪ در نظر گرفته شد. بدین معنی که نواحی مخزنی با توجه به خصوصیات تولیدی باید بالای ۵٪ تخلخل و زیر ۷۰٪ اشباع آب داشته باشند. در مدل به‌دست آمده مشخص گردید که



شکل ۸- مدل شبیه‌سازی شده تخلخل در هر یک از زون‌ها و مدل برآیند تخلخل و اثر کانال قدیمی

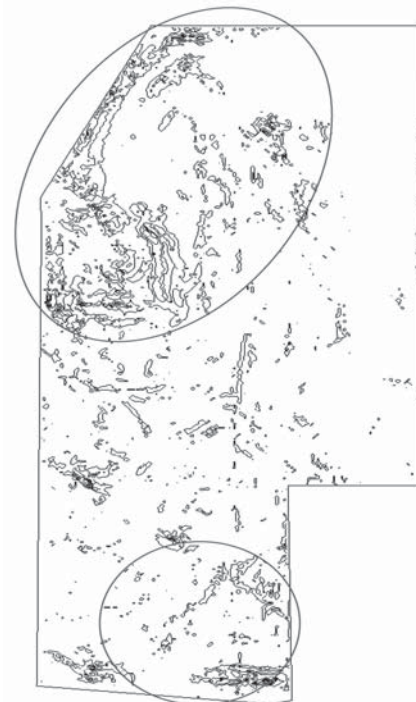


شکل ۹- مدل شبیه‌سازی شده اشباع آب در هر یک از زون‌ها و مدل برآیند اشباع آب

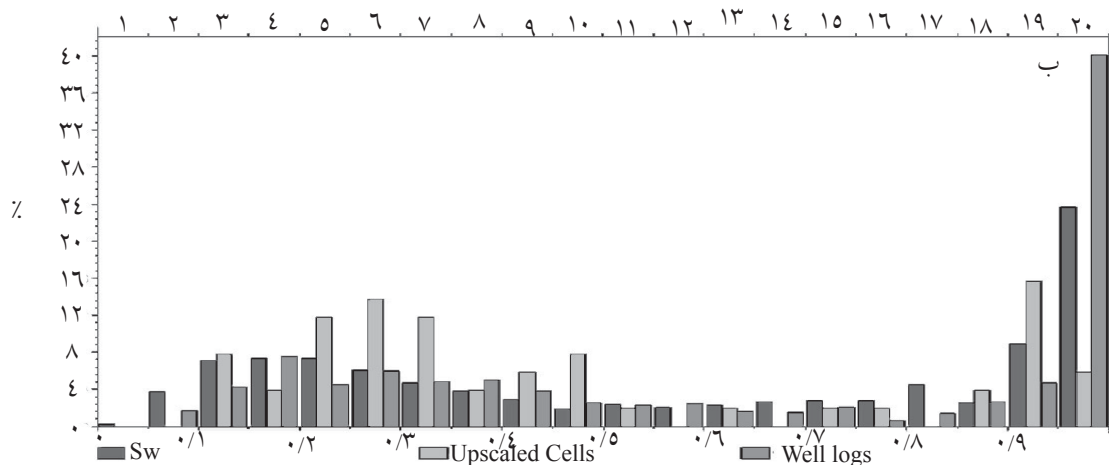
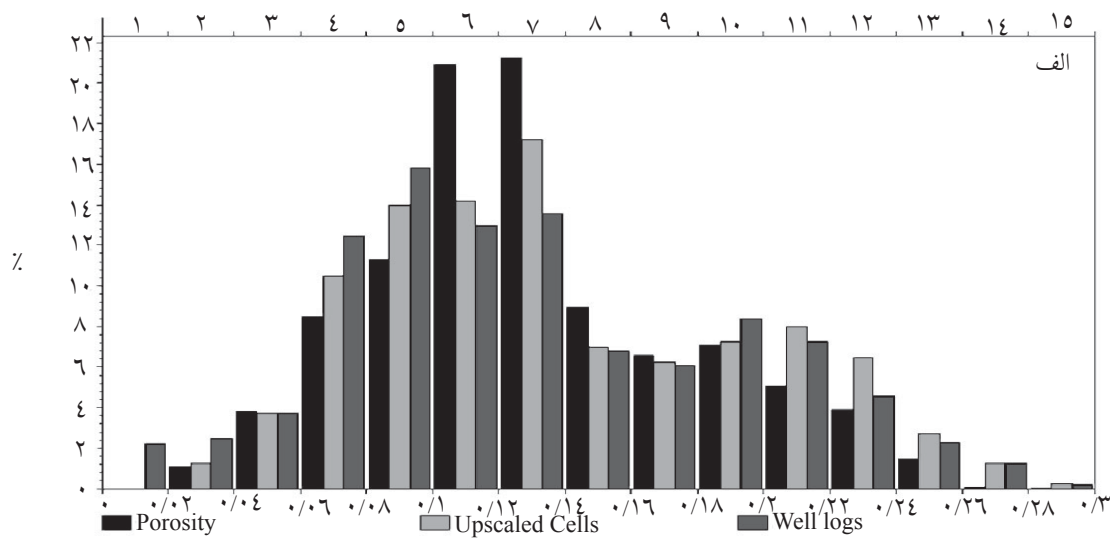
جدول ۴- مقادیر برآورد شده تخلخل و اشباع آب برای ۵ زون

زون	تخلخل	اشباع آب
زون ۱	۰/۰۶۴	۰/۶۵
زون ۲	۰/۱۱	۰/۸۳
زون ۳	۰/۰۹۴	۰/۲۸
زون ۴	۰/۱۴	۰/۵۰
زون ۵	۰/۰۷۳	۰/۷۶





شکل ۱۰- مدل توزیع تراکم شکستگی‌ها (مناطق داخل کادر دارای بیشترین شکستگی‌ها می‌باشد)



شکل ۱۱- صحت سنجی مدل برای دو پارامتر تخلخل (الف) و (ب) اشباع آب

### نتیجه‌گیری

با توجه به مدل برآیند تخلخل، آثاری از وجود یک کانال قدیمی در مخزن محرز است که می‌تواند در مطالعات فاسیس منطقه و همچنین در مطالعات دینامیک مخزن مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به اعمال حدود برشی برای مقادیر تخلخل و اشباع آب و ایجاد مدل مناطق مخزنی- غیر مخزنی، بهترین مناطق مخزنی مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد به غیر از قسمت‌های جنوبی، مرکزی و قسمتی از شمال میدان، بقیه نقاط دارای شرایط مخزنی خوبی هستند.

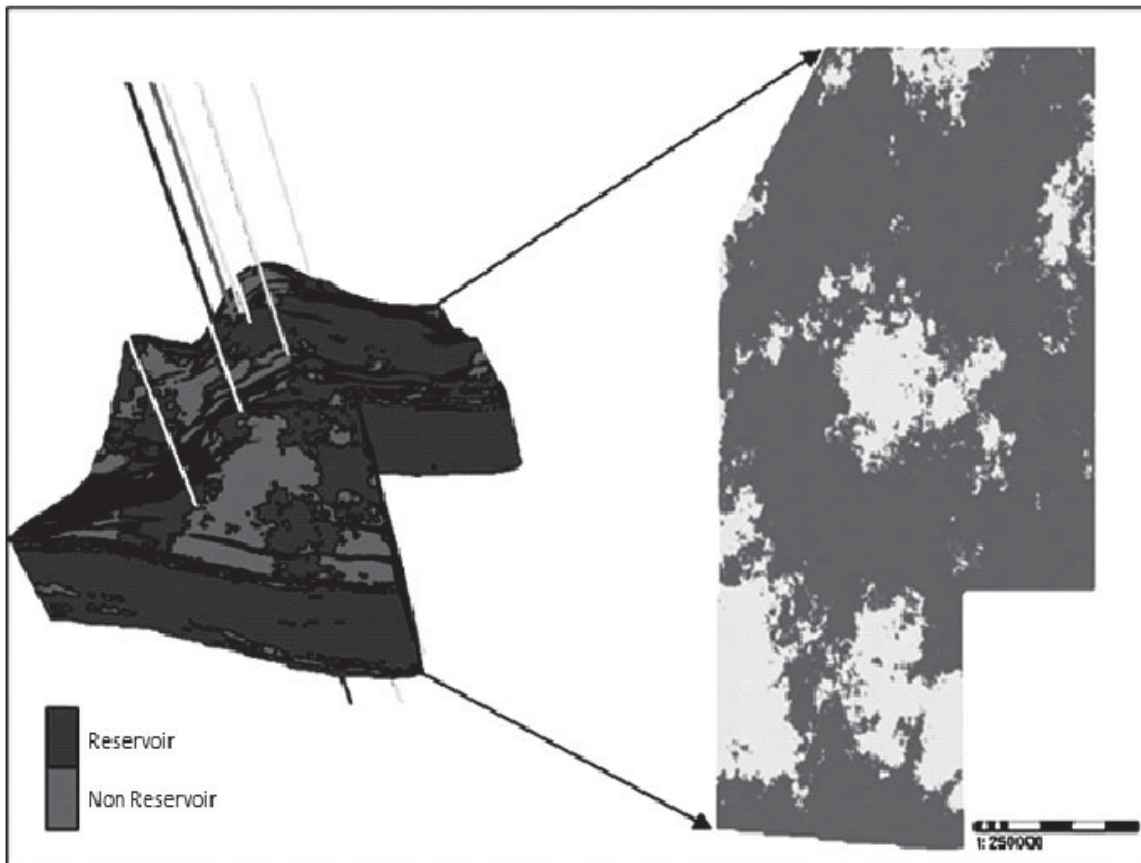
### تشکر و قدردانی

در پایان لازم می‌دانم از کلیه اساتید و همکاران عزیز در پژوهشکده مطالعات مخازن، مخصوصاً واحد مدل‌های مخازن و ریاست محترم آن که نهایت همکاری را در تدوین این مقاله داشتند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

روش SGS یک روش کارآمد در تخمین و شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی است. این روش یک روش تخمین تصادفی وابسته به داده‌های چاه‌ها و لرزه‌نگاری می‌باشد.

در آنالیز داده‌ها هر چه آرایش چاه‌ها منظم‌تر و توزیع متقارن‌تر باشد، واریانس تخمین برای کمیت‌های پتروفیزیکی سنگ مخزن کمتر خواهد شد و تعریف ساختار فضایی برای داده‌ها دقیق‌تر انجام می‌گیرد.

مقادیر به‌دست آمده برای پارامترهای تخلخل و اشباع آب برای هر زون به‌صورت جداگانه در جدول ۴ آورده شده است. طبق این نتایج، زون ۳ بهترین زون مخزنی می‌باشد که موید آن گزارش «مطالعه یکپارچه میدین ناحیه اروند» است. طبق این گزارش که در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده بیشترین حجم نفت در جای مخزن در زون ۳ می‌باشد (جدول ۵).



شکل ۱۲- مدل شبیه‌سازی شده مناطق مخزنی- غیرمخزنی

جدول ۵- حجم درجای نفت در ۵ زون سازند سروک [۵]

حجم نفت درجا [STB $\times 10^6$ ]	حجم فضاهای خالی [ $10^6 m^3$ ]	حجم کل [ $10^6 m^3$ ]	زون
۸۳۹۰	۴۲۴۷	۵۷۵۷۴	زون ۱
۱۸۶۹۲	۵۰۷۴	۵۱۳۹۹	زون ۲
۴۰۱۱۷	۱۱۳۵۴	۱۲۷۱۳۳	زون ۳
۱۲۶۴۷	۴۱۵۷	۳۱۶۱۷	زون ۴
۷۰۲	۲۹۳	۴۲۲۲	زون ۵

## منابع

- [1] Caers J., *Petroleum Geostatistics*, Stanford University, 2005.
- [2] Robinson A., Griffiths P., *The Future of Geological Modeling in Hydrocarbon Development*, 2th Ed., Geological Society, 2008.
- [3] Clayton V., *Geostatistical Reservoir Modeling*, Oxford University Press, New York., 2002.
- [4] Eisinger C.L., Jensen J.L., *Data Integration, Petrophysics, and Geomodelling*, University of Calgary, 1th Ed., 2009.
- [5] Askari A.A., Karimi Gh., Shabani F., Bashiri G.R., Hashemi S.M., Keramati M., *Integrated Study of The Fields in The Arvandan Area*, RIPI, 2010.
- [6] Peter J.D., Paulo J.R., *Model-based Geostatistics*, Springer Science, Library of Congress, 2007.
- [7] Randen T., *Mathematical Methods and Modelling in Hydrocarbon Exploration and Production (Mathematics in Industry)*, Schlumberger Stavanger Research., 2008.
- [8] Soleimani B., Shabani F., Amiri Bakhtiar H., Haghparast G., "Fault effect at volumetric modeling in Shadegan Oil field using RMS software", New York Science Journal, Vol. 1, No. 4, p. 36., 2008.
- [9] Bahar A., Kelkar M., *Journey from Well Logs/Cores to Integrated Geological and Petrophysical Properties Simulation: A Methodology and Application*, SPE paper 39565, first presented at the SPE India Oil and Gas Conference and Exhibition, New Delhi, India., 2000.
- [10] Shabani F., Bashiri Gh., Izadkhan M., *Application Geostatistical 3D modeling in determination of apt regions oil fields (case study; Azadegan oil field)*, 14th Intl. Oil, Gas & Petrochemical Congress, Tehran-Iran, 2010.
- [11] Etminan A.H., Seifi A., *An Improved Model for Geostatistical Simulation of Fracture Parameters and their Effects on Static and Dynamic Models*, International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, Brazil, 01 - 05 June 2008.

[۱۲] حسینی پاک ع.، زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۳۷۷.

[۱۳] شعبانی ف.، مدل‌سازی سه بعدی مخزن آسماری میدان نفتی شادگان با استفاده از نرم‌افزار IRAP RMS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران، ۱۳۸۷.