Archive of SID

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

فرامرز شعبانی*[۱]، غلامرضا بشیری[۱]، محمد کرامتی[۱] و مهسا ایزدخواه[۲]
۱-پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده مطالعات مخازن و توسعه میادین
۲- دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده زمین شناسی
Shabanif@ripi.ir

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

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 جریانی 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 زمین‌آماری، 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 مخرن 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

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شـود، تحـت تأثیـر هرچاه قـرار دارد. با شبیه‌سـازی پارامترهای پتروفیزیکی، یک دید سه‌بعدی از خصوصیات مخزنی به‌دست می‌آید که در ایجاد الگوهای جریانی مخزن نقش بسـزایی دارد. همچنین با شبیه‌سـازی این پارامترها، مکان‌های مستعد مخزنی شناسایی شده و در توسعه میادین هیدروکربنی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

مدل‌سازی پتروفیزیکی به دو روش قطعی[1] و تصادفی[2] انجام می‌شـود. در روش اول بر اساس برون‌یابی داده‌های چاه‌ها با مشـخص نمودن شـعاع جسـتجو در سه جهت X ،Y و Z، یـک مدل سـاده و سـریع ایجاد می‌شـود که چندان قابل اسـتفاده نبوده و تنهـا می‌تواند روند تغییرات هـر پارامتـر در مخـزن را پیش‌بینی نمایـد. روش SGS از روش‌هـای شبیه‌سـازی تصادفی می‌باشـد کـه از قوانین زمین‌آمار (ژئوستاتیسـتیک) برای پیش‌بینی و شبیه‌سـازی پارامترهـای مخزنی در سـه بعـد مخزن اسـتفاده می‌کند.

روش کار

روابـط زمین‌آمـاری در بسـته‌های نرم‌افـزاری تخصصی مدل‌سازی مخزن گنجانده شده‌اند. نرم‌افزارهای مدل‌سازی یک دید سه‌بعدی از تمام جنبه‌های مخزن، نظیر: زمین‌شناسی و سـاختمان مخزن، دینامیک سـیالات 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 جدیـد و مدیریت مخزن یاری می‌کنـد. نرم‌افزارهای مدل سـازی ابزار همکاری بین ژئوفیزیسـت‌ها، زمین‌شناسان، مهندسان مخزن و حفاری به‌منظور کوتاه‌تر کردن زمان بین کشـف میدان تا تولیـد از آن، افزایش میـزان بهره‌وری از میدان و افزایش میزان بازیافت ثانویه با موقعیت‌یابی مناسب برای حفر چاه‌های جدید و چاه‌های تزریقی می‌باشـد [٤].

یکـی از روش‌هـای کارآمـد در تخمین و شبیه‌سـازی پارامترهای پتروفیزیکی موجـود در این نرم‌افزارها، روش SGS می‌باشـد که وابسـته به داده‌های چاه‌هـا و داده‌های لرزه‌نگاری می‌باشد. مزایای این روش نسبت به روش‌های دیگر را می‌توان به‌صورت ذیل خلاصه نمود:

ارزیابی عدم قطعیت[3]: روش SGS یک روش تخمین تصادفی است که از هر یک از مدل‌ها و برنامه‌های پیش‌بینی در مخازن، تعـداد زیادی از مدل‌ها با عدم قطعیت‌های مختلف که بین بهترین و بدترین مقادیر متغیرهای درگیر می‌باشد را به‌دست می‌دهد که از این بین می‌توان بهترین حالت که میانگینی از مدل‌های مختلف است را به‌عنوان مدل نهایی انتخاب نمود.

اعمـال ناهمگنی مخـزن[4]: روش SGS می‌تواند مدلی مبتنی بر واقعیت ناهمگنی در مخزن بسازد.

در نظر گرفتن داده‌های پیچیده[5]: روش SGS می‌تواند دامنه وسـیعی از داده‌های مختلف (مثل داده‌های پتروفیزیکی و لرزه‌ای) را برای به‌دست آوردن مدل بهتر با هم ادغام نماید [۵].

برای اعمال و استفاده از این روش باید مراحلی طی شود که این مراحل شـامل تعریف ویژگی‌های شـکل و هندسه مخزن (سـاخت مدل سـاختمانی مخزن و شبکه‌بندی آن) و تعریف یک سـری ویژگی برای پارامترهای پتروفیزیکی یا به‌طور کلی انجام آنالیز داده‌ها (درشـت نمایی، تبدیل و تعریف سـاختار فضایی برای داده‌ها) می‌باشـد. 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 [٦]. در این قسمت، مدل‌سازی مربوط به سـاختمان مخزن به همراه خصوصیات زمین‌شناسـی از جمله خصوصیات تکتونیکی و گسل خوردگی را می‌توان انجـام داد. همچنین می‌توان از تمام قسـمت‌های مختلف سـاختار مدل ایجاد شـده، مقطـع تهیه نمـود و تغییرات لایه‌های مخزن مورد نظـر به‌همراه تغییرات ضخامت و ... را مشـاهده نمود. با بررسی این تغییرات به راحتی می‌توان در مورد دیگر مراحل تفسـیر 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

www.SID.ir

Archive of SID

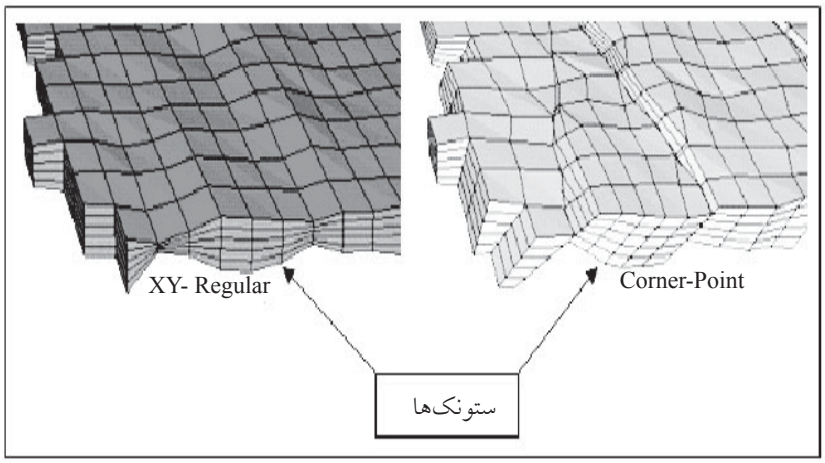
ساخت مدل شبکه مخزن

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].

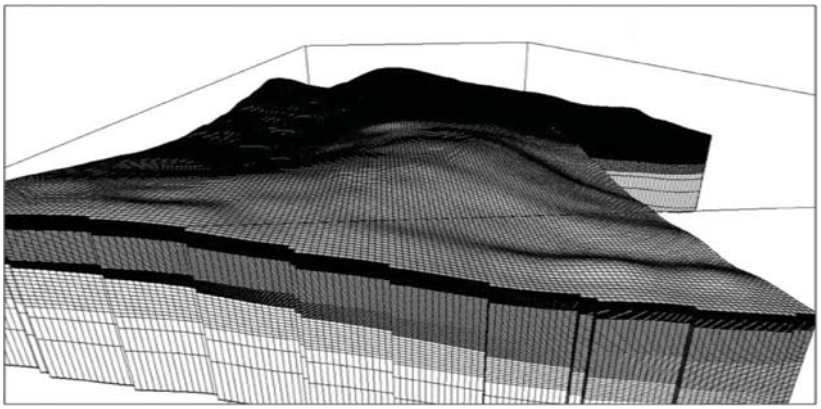
ابعاد، راستا و شکل هر یک از سلول‌ها به‌ترتیب به ابعاد و بزرگی مخزن مورد مطالعه، میزان داده‌های معلوم از مخزن و راستا و جهت یافتگی شکستگی‌های مخزن بستگی دارد. هر سلول از مدل شبکه مخزن، شامل ستونک‌های نگهدارنده می‌باشد که هر یک از این ستونک‌ها گوشه‌های بالا و پایین سلول‌ها را به‌هم متصل می‌کند. این ستونک‌ها 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 شبکه بندی مخزن استفاده می‌شود:

شبکه‌بندی با سلول‌های X-YRegular: این نوع سلول‌ها همواره 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[1] سلول‌ها از روش نسبی[2] استفاده شد که در این روش تعداد لایه‌های سلولی در همه قسمت‌های مخزن ثابت و سطوح بالا و پایین آنها هم راستا با سطوح بالا و پایین لایه‌های مخزنی می‌باشد. ابعاد هریک از سلول‌ها ۱۵۰×۱۵۰×۱ متر تعریف گردید.



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

www.SID.ir

Archive of SID

آنالیز داده‌ها

بعد از درشت‌نمایی داده‌ها، دو شرط اساسی در محاسبات زمین‌آماری 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 به‌صورت 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[1] 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).

درشت نمایی داده‌ها[2]

داده‌های پتروفیزیکی به‌صورت داده‌های لاگ در مسیر چاه‌های حفاری شده می‌باشند. قبل از شبیه‌سازی، این پارامترها باید در ابعاد سلول‌های تعریف شده در مخزن 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 ایستا بودن پارامترهای تخلخل و اشباع آب، روش میانگین‌گیری عددی می‌باشد.

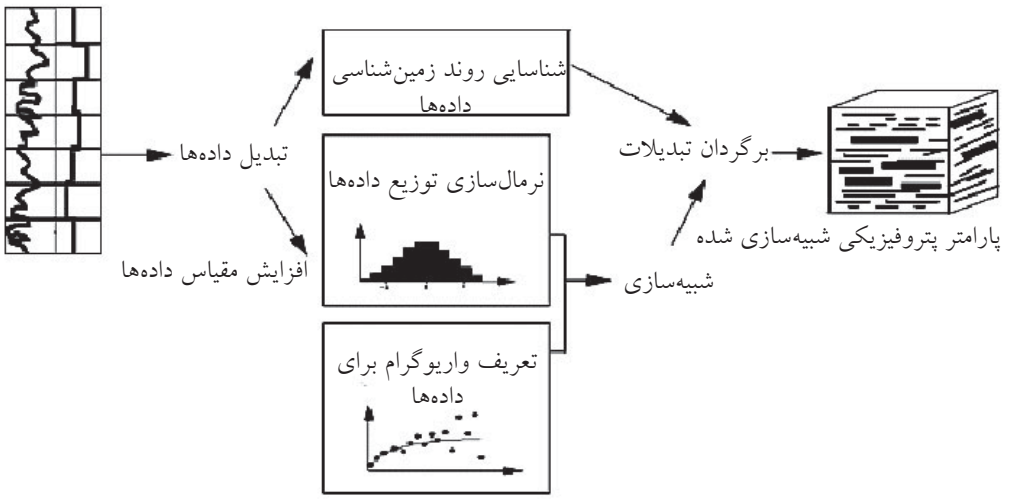
فرمول روش میانگین‌گیری عددی به‌صورت رابطه زیر است:

$$K_A = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} K_i \qquad (۱)$$

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 ٤ و جدول ۱) که دارای داده‌های لاگ بودند، عملیات درشت نمایی داده‌های تخلخل و اشباع آب با استفاده از روش فوق صورت پذیرفت.

تبدیل داده‌ها

برای استفاده از روش‌های زمین‌آماری 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.



شکل۳- توالی چگونگی شبیه‌سازی یک پارامتر پتروفیزیکی

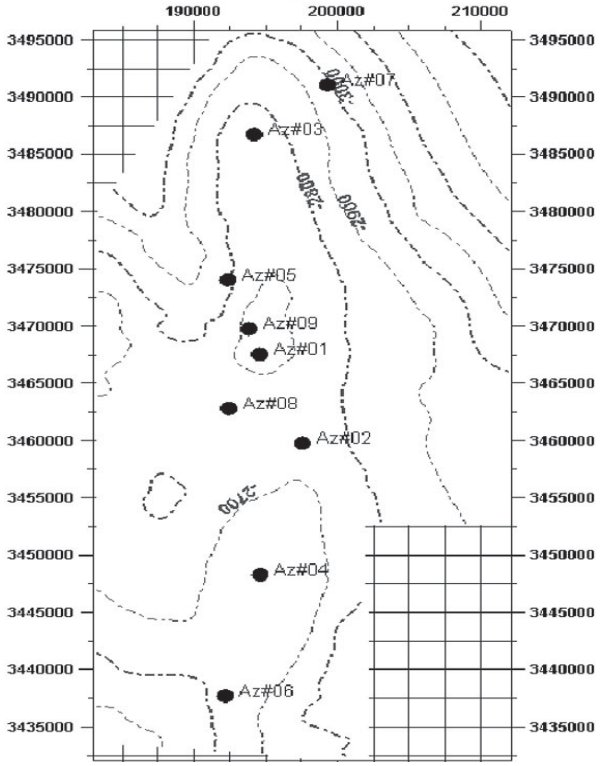
1.Experimental Variogram
2. Data Up Scaling

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- مشخصات چاه‌های واقع در مخزن سروک میدان آزادگان

چاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع میز دوار	عمق (متر)
AZ#۰۱	۱۹٤٥٦۸/۰۰	۳٤٦۷٥۲٤/۰۰	۱٥	٦۰۰۰
AZ#۰۲	۱۹۷٥٤۸/۰۰	۳٤٥۹۷٥۹/۰۰	۱٤	٥۰۰۰
AZ#۰۳	۱۹٤۱۸۱/۰۰	۳٤۸٦۷۲٤/۰۰	۱٥	٦۰۰۰
AZ#۰٤	۱۹٤٦۱۱/۰۰	۳٤٤۸۲۸۲/۰۰	۱٤	٥۰۰۰
AZ#۰٥	۱۹۲۳٥٥/۰۰	۳٤۷٤۰٤۹/۰۰	۱٤	٥۰۰۰
AZ#۰٦	۱۹۲۱۷٤/۰۰	۳٤۳۷۷۱۰/۰۰	۱٤	٥۰۰۰
AZ#۰۷	۱۹۹۲۹٦/۰۰	۳٤۹۱۰٤٦/۰۰	۱٤	٥۰۰۰
AZ#۰۸	۱۹۲٤۲۲/۰۰	۳٤٦۲۸۱۳/۰۰	۱٤	٥۰۰۰
AZ#۰۹	۱۹۳۸۰۹/۰۰	۳٤٦۹۷٦۱/۰۰	۱٦	٥۰۰۰



شکل ٤- مدل سرزون سروک و موقعیت چاه‌های حفاری شده در میدان آزادگان

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 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 زمین آماری در شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی، داشتن توزیع نرمال

www.SID.ir

Archive of SID

استاندارد آنهاست. در توزیع نرمال، داده‌ها دارای میانگین صفر و انحراف معیار ۱ بوده و نمودار توزیع آنها به‌صورت زنگوله‌ای[2] 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 به‌صورت 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 به‌صورت دونمایی[1] درآید، نشان‌دهنده این است که داده‌ها در دو گروه از سلول‌ها به‌صورت مستقل تقسیم شده‌اند و یا برخی از روندهای زمین‌شناسی در آن‌ها شناخته نشده که باید برطرف شود. در غیر این‌صورت 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 به‌صورت توزیع نرمال درآمدند (شکل ۵).

تعریف واریوگرام برای داده‌ها

در زمین‌آمار با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، می‌توان مقدار همان کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم واقع در درون دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است، تخمین زد [۱۰و۱۱]. 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، تخمین‌زده 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:

$$(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{i=N(h)} (x_i - x_{i+h})^2 \qquad (۲)$$

در این رابطه h مقدار واریوگرام، $N(h)$ تعداد جفت داده‌ها و $x_i - x_{i+i}$ انتها و ابتدای جفت داده i می‌باشد.

به‌صورت کلی واریوگرام، تغییرپذیری داده‌ها را با افزایش فاصله نشان می‌دهد که یک محور آن تغییرپذیری (واریانس) و محور دیگر فاصله می‌باشد [۱۳].

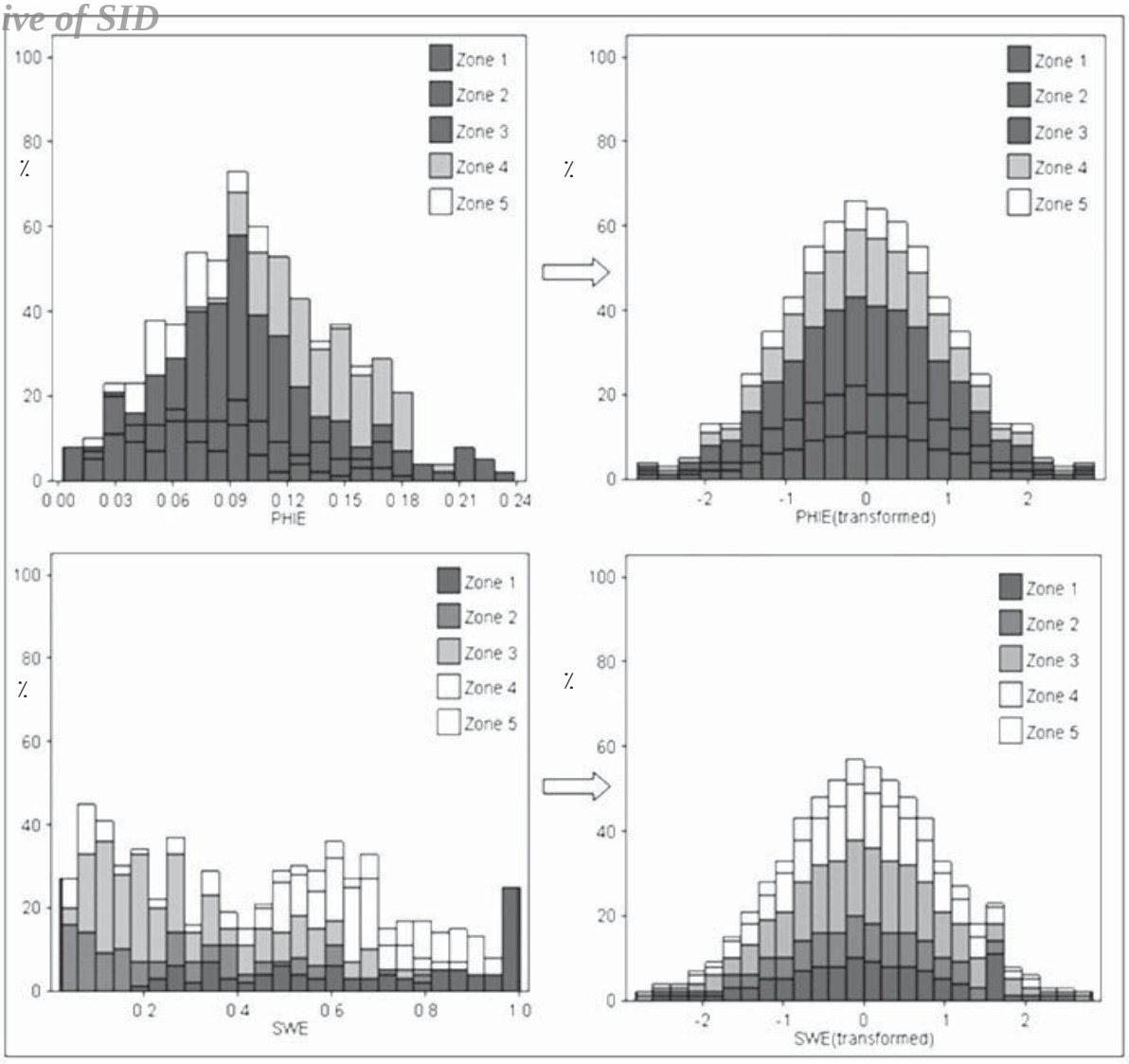
جدول۲- توصیف مراحل مختلف تبدیل داده‌ها در پارامترهای پتروفیزیکی

دسته	عملکرد
اولیه	حذف داده‌هایی با مقادیر خیلی کم و یا خیلی زیاد که بیرون از محدوده تعریف شده قرار گرفته‌اند
کاهش چولگی	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
روندهای زمین شناسی	نرمال سازی داده‌ها
	حذف روند در جهت فشردگی لایه‌ها به‌صورت عمودی
	حذف روند در جهت رسوب‌گذاری لایه‌ها
	حذف روندهای یک بعدی در جهات مختصات جغرافیایی جهانی مثل UTM

1. Bimodal
2. Gaussian Distribution

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵- نرمال سازی داده‌های تخلخل (PHI) و اشباع اب (SWE)

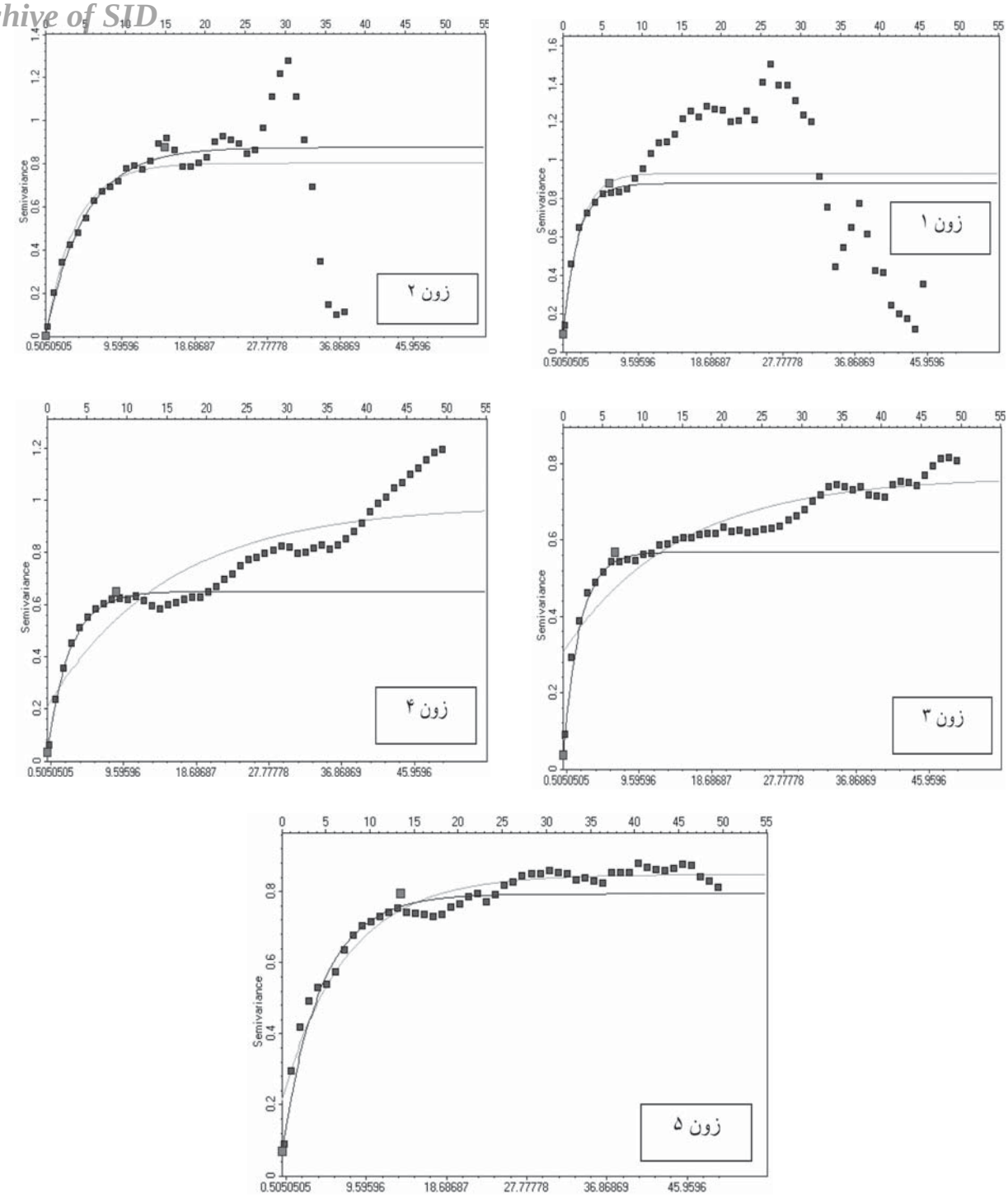
هـر چه آرایش چاه‌هـا منظم‌تر بـوده و متقارن‌تر و مخزن همگن‌تر باشـد، واریانس تخمیـن کمیت‌های پتروفیزیکی سـنگ مخزن کمتر خواهد بود. در جدول ۳ مقادیر شـعاع تأثیر به‌دسـت آمده از مدل واریوگرام در هر یک از جهات سـه گانه (XYZ) که Y و X جهات افقی و Z جهت چاه‌ها یا عمودی می‌باشـد، نمایش داده شـده است. در شکل ٦ واریوگرام‌های تخلخل و اشباع آب برای هر یک از زون ها به‌صورت مجزا در جهت (Z) که مهم‌ترین جهت واریوگرام به‌خاطر تراکم بالای داده‌ها می‌باشد، رسم شده است.

جدول۳- مقادیر شعاع تاثیر مدل واریوگرام در هر یک از جهات سه گانه (XYZ)

سازند	زون	نوع واریوگرام	آزیموت (جهت از شمال) واریوگرام	شعاع تاثیر در جهت اصلی (m)	شعاع تاثیر در جهت فرعی (m)	شعاع تاثیر در جهت مسیر چاه‌ها (m)
سروک	زون ۱	نمایی	۱۳	۲۵۰۰۰	۱٦۰۰۰	۵/۸
	زون ۲	نمایی	۱۰	۲۵۰۰۰	۱٦۰۰۰	۱۵
	زون ۳	نمایی	۱۰	۲۵۰۰۰	۱٦۰۰۰	٦/٦
	زون ٤	نمایی	۱۳	۲۵۰۰۰	۱٦۰۰۰	۸/۷
	زون ۵	نمایی	۱۰	۲۵۰۰۰	۱٦۰۰۰	۱۳/۵

www.SID.ir

Archive of SID



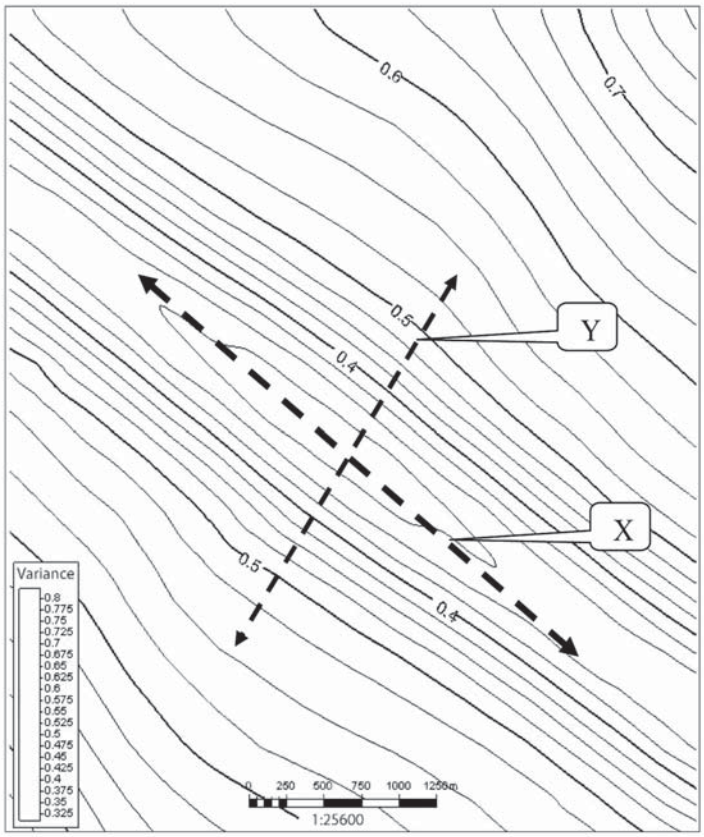
شکل ٦- واریوگرام های به‌دست آمده در جهت عمودی در ۵ زون

انتخاب جهت‌های افقی واریوگرام از روی نقشه امپدانس صوتی که خود نشان‌گر همگنی و ناهمگنی مخزن است، صورت می‌گیرد. به‌گونه‌ای 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 می‌باشد (شکل ۷). همچنین فاصله گام‌ها[1] 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 می‌باشد.

1. Lags

www.SID.ir

Archive of SID



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

نتایج و بحث

با تعریف شـرایط ذکر شده، داده‌های پتروفیزیکی با روش SGS شبیه‌سـازی شد که به‌صورت مدل‌های جداگانه برای هر یک از ۵ زون مخزنی نمایش داده شـدند (شکل‌های ۸ و ۹ و جدول٤). در این مدل‌ها می‌توان تغییرات در مقادیر تخلخل و اشباع آب را به دو صورت عمودی و افقی بررسی نمـود. همچنین برآیند این مدل‌هـا به‌صورت یکپارچه نیز مدل گردید. به‌طور کلی تغییرات مقادیر تخلخل و اشـباع آب در کل مخزن بدین صورت اسـت که در توزیع مقادیر تخلخل، بیشـرین مقـدار تخلخل از جنـوب غرب میدان شروع شده و پس از گذر از نواحی مرکزی میدان به شمال غرب آن ختم می‌شـود که اثر یک کانال قدیمی[1] را نمایش می‌دهد. این کانال قدیمی به‌دلیل لیتولوژی متفاوت نسـبت 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 اشـباع آب کاهش نیافتنی است که می‌تواند متاثر از فشار مویینه، نفوذپذیری نسبی و تخلخل مخزن باشد. در ساخت مدل اشباع آب این مخزن از کوکریجینگ[2] تخلخل مخزن به‌عنـوان پارامتر ثانویه در ساخت مدل استفاده شده است. در این مدل بیشترین مقدار اشباع آب متعلق به نواحی جنوب و شمال میدان می‌باشد.

با اسـتفاده از نقشه هم شیب سـرزون‌ها که به‌صورت غیر مسـتقیم نشان دهنده شکستگی زون‌ها می‌باشد، تراکم شکسـتگی‌ها تعیین شـد که با توجه به شکل ۱۰، بیشترین شکستگی‌ها متعلق به نواحی جنوب و شمال میدان می‌باشد.

بـرای ارزیابـی میزان دقت مدل، بایـد نتایج مدل را با داده‌های واقعـی موجود در چاه‌ها مقایسـه نمود (صحت سـنجی). هر قدر نتایج مدل به داده‌هـای واقعی نزدیک‌تر باشـد، مدل به‌دسـت آمده دقیق‌تر خواهد بود که در مدل سـروک تطابق بسـیار خوبـی بین نتایج مـدل و داده‌های واقعی مشاهده گردید (شکل ۱۱).

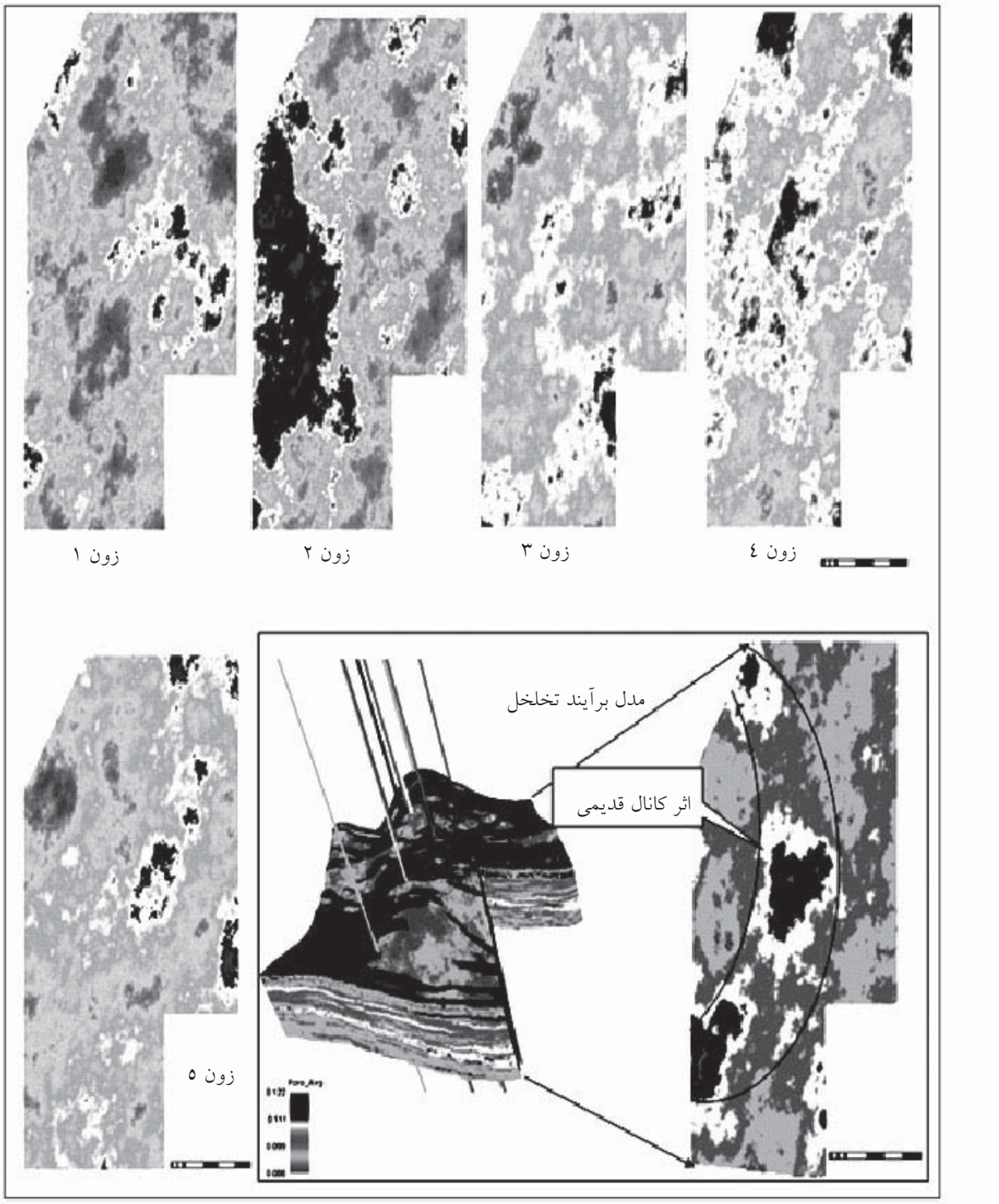
در نهایت برای مشخص کردن مکان‌های مستعد مخزنی، با اعمال حدود برشی برای دو پارامتر تخلخل و اشباع آب، مدل مکان‌های مخزنی- غیر مخزنی به‌دست آمد.

1. Paleochannel
2. Co-Kriging

www.SID.ir

Archive of SID

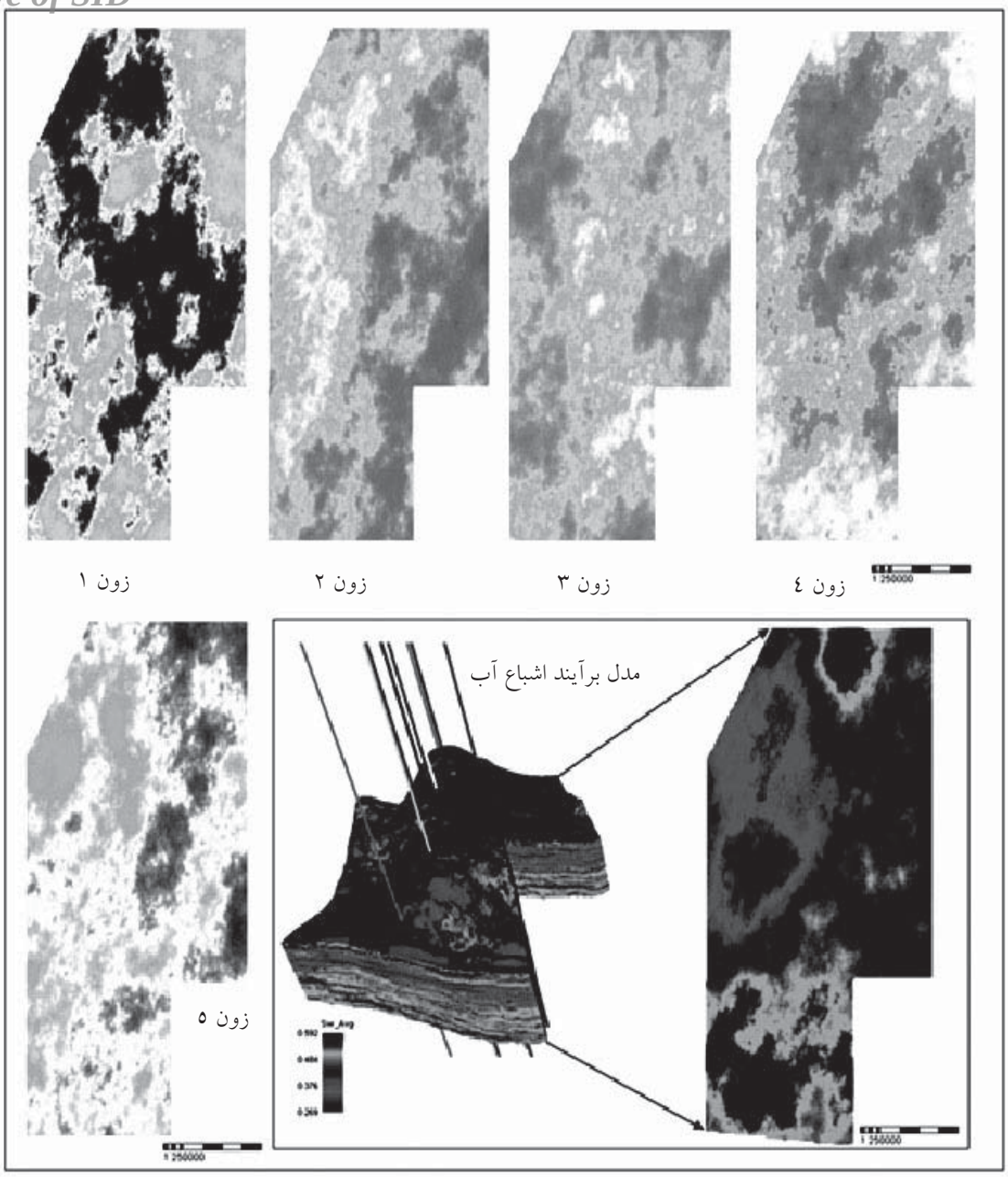
حدود برشی برای تخلخل ۵٪ و برای اشباع آب ۷۰٪ در نظر گرفته شد. بدین معنی که نواحی مخزنی با توجه به خصوصیات تولیدی باید بالای ۵٪ تخلخل و زیر ۷۰٪ اشباع آب داشته باشند. در مدل به‌دست آمده مشخص گردید که به غیر از قسمت‌های جنوبی، مرکزی و قسمتی از شمال میدان، بقیه نقاط دارای شرایط مخزنی خوبی هستند که می‌توان آن را در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای میدان مدنظر قرار داد (شکل ۱۲).



شکل۸- مدل شبیه‌سازی شده تخلخل در هر یک از زون‌ها و مدل برآیند تخلخل و اثر کانال قدیمی

www.SID.ir

Archive of SID



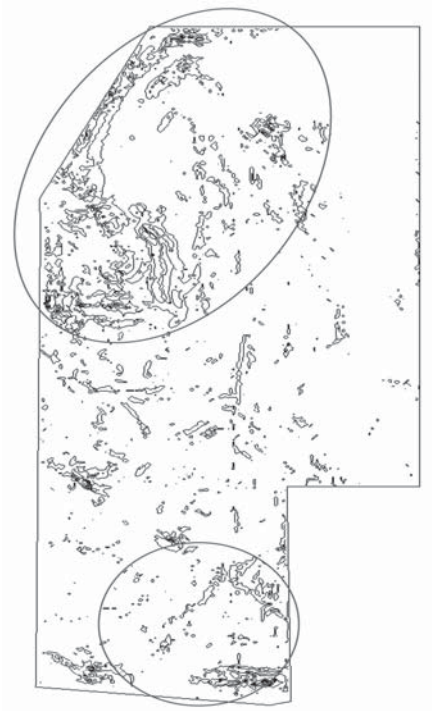
شکل۹- مدل شبیه‌سازی شده اشباع آب در هر یک از زون‌ها و مدل برآیند اشباع آب

جدول٤- مقادیر برآورد شده تخلخل و اشباع آب برای ۵ زون

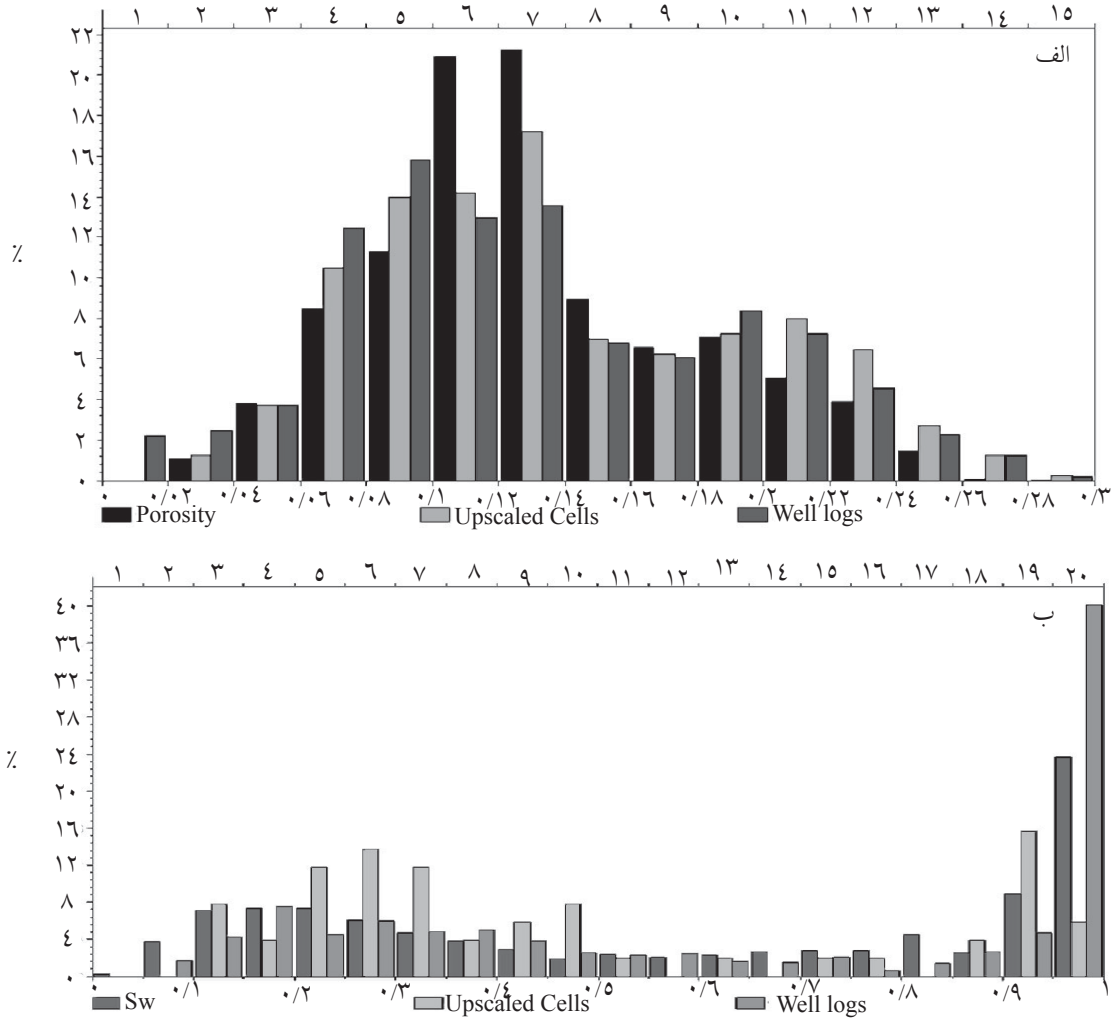
زون	تخلخل	اشباع آب
زون ۱	۰/۰٦٤	۰/٦۵
زون ۲	۰/۱۱	۰/۸۳
زون ۳	۰/۰۹٤	۰/۲۸
زون ٤	۰/۱٤	۰/۵۰
زون ۵	۰/۰۷۳	۰/۷٦

www.SID.ir

Archive of SID



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

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

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.

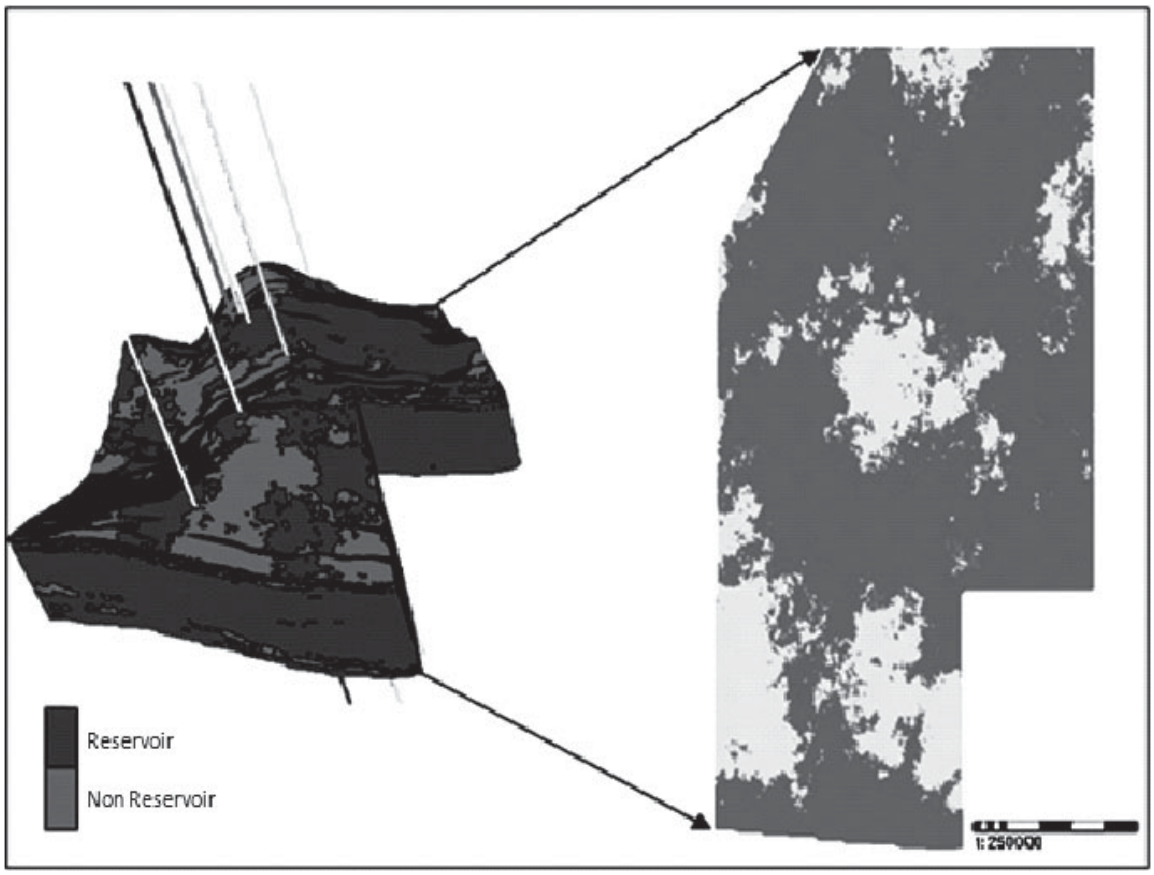
مقادیر به‌دست آمده برای پارامترهای تخلخل و اشباع آب برای هر زون به‌صورت جداگانه در جدول ٤ آورده شده است. طبق این نتایج، زون ۳ بهترین زون مخزنی می‌باشد که موید آن گزارش «مطالعه یکپارچه میادین ناحیه اروندان» است. طبق این گزارش که در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده بیشترین حجم نفت درجای مخزن در زون ۳ می‌باشد (جدول ۵).

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 به‌غیر 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.



شکل۱۲- مدل شبیه‌سازی شده مناطق مخزنی- غیرمخزنی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۵- حجم درجای نفت در ۵ زون سازند سروک [۵]

زون	حجم کل [$\times 10^6 m^3$]	حجم فضاهای خالی [$\times 10^6 m^3$]	حجم نفت درجا [$\times 10^6$ STB]
زون ۱	۵۷۵۷٤	٤۲٤۷	۸۳۹۰
زون ۲	۵۱۳۹۹	۵۰۷٤	۱۸٦۹۲
زون ۳	۱۲۷۱۳۳	۱۱۳۵٤	٤۰۱۱۷
زون ٤	۳۱٦۱۷	٤۱۵۷	۱۲٦٤۷
زون ۵	٤۲۲۲	۲۹۳	۷۰۲

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., Izadkhah 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] حسنی‌پاک ع.، زمین‌آمار(ژئواستاتیستیک)، 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.

www.SID.ir