

بررسی ارتباط رخساره‌های الکتریکی و تخلخل مخزن با استفاده از زمین‌آمار در یکی از میادین گازی کشور

علی دهقان‌ابنوی* کارشناس ارشد مهندسی نفت ■ امیر کریمیان‌طرقبه، استادیار بخش علوم زمین دانشکده‌ی علوم دانشگاه شیراز ■ جعفر قاجار، استادیار دانشکده‌ی مهندسی شیمی نفت و گاز دانشگاه شیراز ■ علی طالب‌نژاد، کارشناس ارشد پتروفیزیک، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۴/۱۳

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۴/۲۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۱۲/۱۱

چکیده

استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و همچنین شناسایی رخساره‌های موجود در یک مخزن از عوامل اثرگذار در مدیریت و صیانت از مخازن نفت و گاز است. از طرفی اطلاعات پتروفیزیکی نیز نقش مهمی در توصیف مخازن و تعیین نواحی باکیفیت دارند. بنابراین، استفاده از روش‌های زمین‌آمار برای برآورد و تخمین این پارامترها در نواحی فاقد این اطلاعات و نمونه‌ها جهت شناسایی بهتر یک میدان، غیرقابل انکار است. از آنجا که در حالت معمول تنها روش پی بردن به این اطلاعات، چاه‌های حفر شده است، لذا استفاده از روش‌های زمین‌آمار برای درک سایر نواحی گستره‌ی مخزن و تعیین وضعیت کیفیت مخزن ضروری است. در زمین‌آمار با استفاده از اطلاعات در نقاط شناخته شده (چاه‌ها) می‌توان اطلاعات را در نواحی نمونه‌برداری نشده از مخزن تخمین زد. زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار است که بر روی همبستگی روابط فضایی بین داده‌ها تمرکز دارد.

هدف این مطالعه، استفاده از روش تخمین کریجینگ و روش شبیه‌سازی گوس متوالی جهت تخمین تخلخل و ضخامت رخساره‌های الکتریکی با کیفیت بالای مخزنی با استفاده از داده‌های ۳۳ چاه در یکی از میادین گازی کشور است. در تجزیه و تحلیل فضایی پارامترها، واریوگرام تجربی هر یک از متغیرها در جهات مختلف، همچون نقشه‌ی واریوگرام آنها برای تعیین جهت ناهمسان‌گردی و همچنین پارامترهای زمین‌آمار نظیر سیل^۱، دامنه^۲ و اثر ناگت^۳ برای تعیین تخلخل و رخساره‌ی باکیفیت مخزنی در کل گستره‌ی مخزن استفاده شده است. نرم‌افزار مورد استفاده در این مطالعه SGeMS است. این نرم‌افزار یک نرم‌افزار مدل‌سازی زمین‌شناسی است که توسط دانشگاه استنفورد ساخته و توسعه داده شده است. پس از انجام شبیه‌سازی هفت تحقق^۴ توزیع تخلخل و رخساره‌های باکیفیت مخزنی با استفاده از روش تخمین کریجینگ و شبیه‌سازی گوس متوالی تولید شده است. با بررسی نتایج شبیه‌سازی، مشخص شد که تخلخل‌های بالا و ضخامت رخساره‌های باکیفیت بالای مخزنی در میدان مورد مطالعه پیوستگی بالا و رابطه‌ی مستقیمی با یکدیگر نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی:

زمین‌آمار، روش تخمین کریجینگ، روش شبیه‌سازی گوس متوالی، میدان گازی، تخلخل، رخساره‌ی الکتریکی.

مقدمه

همچنین حفاری چاه‌های جدید در نواحی مختلف مخزن بدون اطلاع از وضعیت زمین‌شناسی و کیفیت مخزنی مستلزم صرف وقت و هزینه است، لذا در اینجا نقش استفاده از روش‌های زمین‌آمار برای پیش‌بینی و تخمین پارامترهای مختلف مخزنی مناسب و قابل اطمینان در مهندسی نفت روشن می‌شود. [۲]

زمین‌آمار مبتنی بر تئوری آمار و احتمالات کلاسیک در اوایل قرن بیستم توسط افرادی مانند مترون و گاندین معرفی شد. اما زمین‌آمار به شکل فعلی، در دهه‌ی ۱۹۷۰ توسط کریج^۵ که یک مهندس معدن در آفریقای جنوبی بود، بیان شد.

زمین‌آمار در ابتدا فقط در معادن، مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما با

بررسی و مشخصه‌سازی خصوصیات پتروفیزیکی نقش مهمی در بهینه‌سازی تولید و صیانت از مخزن دارد. از آنجا که دستیابی به این اطلاعات معمولاً از طریق حفاری، آنالیز مغزه و نمودارگیری از چاه‌ها شامل صرف هزینه و وقت است، لذا تعیین نواحی باکیفیت مخزنی و موثر بر تولید مانند نواحی با نفوذپذیری بالا در مخازن، بسیار حائز اهمیت است.

زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار است که به تخمین پارامترهای مختلف در نواحی فاقد اطلاعات می‌پردازد. به عنوان مثال، در یک میدان پس از عملیات لرزه‌نگاری و حفر یک یا چند حلقه چاه اکتشافی، اطلاعات مربوط به مخزن و پارامترهای اساسی آن در تولید، ناچیز است.

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (a.dehghan@shirazu.ac.ir)

شاخص مرتب می‌شوند.

سپس تعداد خوشه‌ها به کاربر داده می‌شود. مزیت عمده‌ی این روش این است که لازم نیست تعداد خوشه‌ها توسط کاربر تعیین شود بلکه فقط بازه‌ی تعداد خوشه‌ها تعیین می‌شود و همچنین این روش وابستگی داده‌ها را به بعد کاهش می‌دهد. [۱۹]

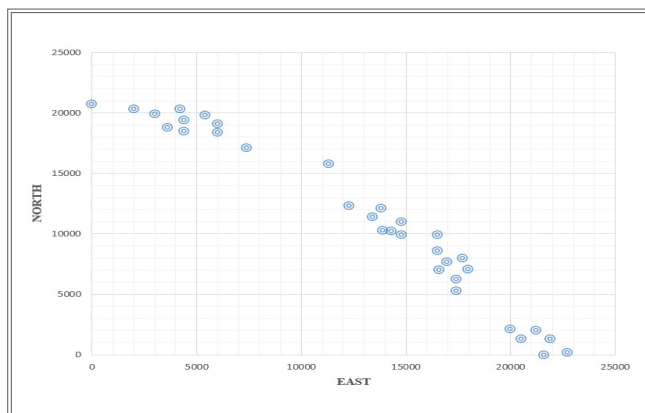
هدف از توصیف زمین‌آماري مخزن سه چیز است: اول، تهیه‌ی مدل‌های مخزن‌ی که قادر به پیش‌بینی یا تشخیص ناهمگنی‌های زمین‌شناسی باشند. دوم، تهیه‌ی مقادیر عدم قطعیت از طریق مدل‌های چندگانه‌ی مخزن که همه‌ی آنها دارای ناهمگونی زمین‌شناسی یکسانی هستند. سوم، استفاده از انواع مختلف داده‌ها.

تمام داده‌های خروجی از زمین‌آمار می‌تواند در مواردی از قبیل تعیین محل حفاری چاه جدید و نحوه‌ی حفاری چاه‌های جدید و شبیه‌سازی جریان استفاده شوند. هنگامی که یک منطقه از نظر پتانسیل ذخایر هیدروکربنی شناخته می‌شود، یک یا چند حلقه چاه اکتشاف در آن میدان حفر می‌شود.

این چاه‌ها وضعیت مخزن را به زمین‌شناسان و مهندسان نفت نمایش می‌دهد. به عنوان مثال، در مکان حفاری شده، وضعیت لایه‌ها، سازندها و خصوصیات پتروفیزیکی مانند تخلخل آن به دست می‌آید. [۷] در این مطالعه با استفاده از روش تخمین کریجینگ و شبیه‌سازی گاوس متوالی برای تخمین تخلخل و ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت با استفاده از داده‌های ۳۳ چاه در یکی از میداین گازی کشور پرداخته می‌شود.

۲- توصیف میدان

میدان مورد مطالعه در این پژوهش، یکی از میداین گازی کشور است که محل چاه‌های این میدان در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱، تعداد ۳۳ حلقه چاه در این میدان وجود دارد که تمام چاه‌ها دارای اطلاعات نمودارگیری هستند.



۱ | شمالی کلی میدان

گذشت زمان اهمیت آن در سایر علوم مانند مهندسی نفت آشکار شد. ماترون مفاهیم ابتکاری کریج را گسترش داد و آنها را فرمول بندی کرد و در تایید کار کریج از واژه‌ی کریجینگ استفاده کرد. [۳] اسپیر متوجه شد که تبدیل و تغییر شکل دادن داده‌ها قبل از استفاده از روش تخمین کریجینگ می‌تواند تخمین را بهبود بخشد. [۴]

هون روش GSLIB را معرفی کرد که کاربر می‌تواند تکنیک‌های زمین‌آماري مناسب را بر اساس محیط‌های رسوبی انتخاب کند. [۶] از کاربردهای زمین‌آمار در ایران می‌توان به نظریه و همکاران اشاره کرد که از روش‌های زمین‌آماري برای بررسی پراکندگی فضایی تخلخل و تخمین خطا در میدان نفتی منصوری استفاده کردند. [۵]

حسینی برای بررسی رابطه‌ی فضایی بین تخلخل و تراوایی، جهت ناهمسان‌گردی برای هر متغیر و توصیف پراکندگی این پارامترها را در مخزن گازی شورجیه (ب) میدان گازی خانگیران ارائه کرد. [۱۲]

کائو و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی کاربرد زمین‌آمار در مدل‌سازی مخازن نفتی و رخساره‌ها پرداختند و بیان کردند روش‌های زمین‌آماري ابزاری را برای استنباط بهتر از داده‌های محدود در ساخت مدل مخزن سه‌بعدی فراهم می‌کند. [۱۶] شبیه‌سازی نشانگر متوالی (SIS) به دلیل قابلیت‌های آن در تلفیق داده‌های مختلف، یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای مدل‌سازی لیتوفاسیسی است. [۱۷ و ۲۰]

با استفاده از مفهوم رخساره‌های الکتریکی می‌توان داده‌ها را خوشه‌بندی کرد. خوشه‌بندی در واقع، یک ساختار درون یک مجموعه از داده‌های بدون برچسب است که به هم شباهت داشته باشند.

در خوشه‌بندی سعی می‌شود تا داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌های درون هر خوشه، حداکثر و شباهت بین درون خوشه‌های متفاوت، حداقل شود. از جمله روش‌های خوشه‌بندی داده‌ها: روش آنالیز خوشه‌ای چند تفکیکی گرافیکی^۶، روش شبکه‌ی عصبی خودسازمان^۷، روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی^۸ و روش خوشه‌بندی با روش پویا^۹ است. [۱۸ و ۱۹]

روش آنالیز خوشه‌ای چند تفکیکی گرافیکی، به دلیل قابلیت تفکیک و دقت بالا، عدم نیاز به اطلاعات اولیه از داده‌های ورودی، پایدار بودن نتیجه با تغییر پارامترها و همچنین تولید تعداد بهینه‌ی خوشه‌ها، بهترین روش، بین چهار روش مذکور است.

اولین مرحله در این روش تعیین مقادیر اندیس همسایگی برای هر نقطه‌ی موردنظر است. مقادیر همسایگی با استفاده از روش چندبعدی تشخیص الگو بر اساس شاخص همسایگی انجام می‌شود که مقادیر اندیس همسایگی برای تشکیل گروه‌های کوچک بنیانی و تعیین الگوریتم چندبعدی جذب نقطه به نقطه‌ی نزدیک‌ترین همسایه، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در نهایت شاخص کرنل نقاط به دست می‌آید و نقاط بر اساس این

۳- روش مطالعه

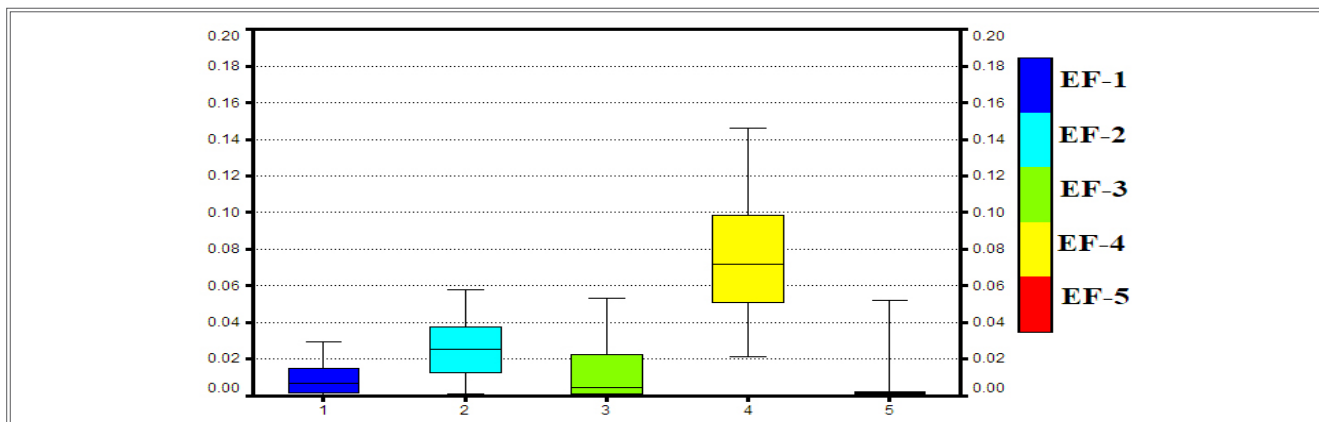
مخزنی و غیرمخزنی یک میدان استفاده کرد. [۱] در این مطالعه چون هدف اصلی استفاده از روش‌های زمین‌آماری در این میدان است، تنها نتایج حاصل از تعیین رخساره‌های الکتریکی میدان در شکل ۳ که شامل ستون یکی از چاه‌های میدان است، نشان داده شده است.

در شکل ۳ هر طیف رنگی بیان‌گر یک رخساره‌ی خاص با ویژگی‌های پتروفیزیکی، سنگ‌شناسی و کیفیت مخزنی مختلف است. طبق شکل ۳، تعداد ۵ رخساره‌ی الکتریکی در این میدان وجود دارد که نمودار جعبه‌ای تخلخل موثر این ۵ رخساره در شکل ۲ نشان داده شده است.

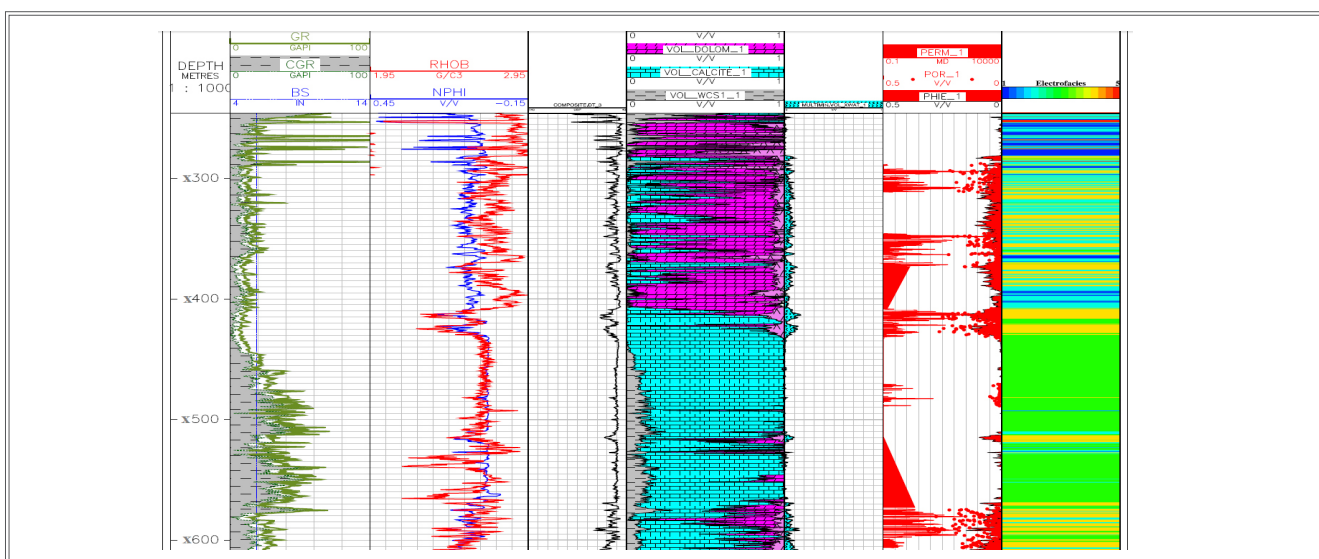
طبق تجزیه و تحلیل‌های مختلف در تمام چاه‌های موجود و نتایج حاصل از نمودار جعبه‌ای تخلخل موثر در نرم‌افزار، رخساره‌ی الکتریکی شماره ۴ با طیف رنگی زرد، بالاترین کیفیت مخزن را دارد. لذا با استفاده از این نتیجه در تمامی چاه‌ها می‌توان ضخامت این رخساره را تعیین کرد. این ضخامت نشان‌دهنده‌ی رخساره‌ی باکیفیت بالای مخزنی در میدان است.

در این مطالعه از داده‌های تخلخل و ضخامت نسبی رخساره‌ی باکیفیت مخزنی چاه‌ها جهت تخمین استفاده می‌شود. رخساره‌های الکتریکی از نمودارهای موجود در چاه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ تعیین می‌شوند. به طور کلی رخساره‌ی الکتریکی، مجموعه‌ای از پاسخ‌های نمودارهای پتروفیزیکی است که یک لایه را مشخص می‌کند و آن لایه را از لایه‌های اطراف متمایز می‌کند. برای تعیین رخساره‌های الکتریکی، داده‌های نمودارگیری باید خوشه‌بندی شوند.

خوشه‌بندی یعنی قرار دادن داده‌های مشابه در یک خوشه که این داده‌ها با داده‌های درون هر خوشه بیشترین شباهت و با داده‌های دیگر خوشه‌ها بیشترین تفاوت را دارند. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای در مخزن توسط بسیاری از نویسندگان جهت مشخصه‌سازی مخزن توصیه شده است. [۸، ۹ و ۱۰] همچنین از مفهوم رخساره‌های الکتریکی می‌توان جهت تفکیک نواحی



شکل ۲ | نمودار جعبه‌ای تخلخل موثر رخساره‌های الکتریکی



شکل ۳ | مقطع عرضی یکی از چاه‌های میدان

۳-۱- واریوگرام

زمین‌آمار در سال ۱۹۵۰ ابتدا توسط کریج در صنعت معادن معرفی و در سال ۱۹۷۰ به صنعت نفت وارد شد. روش کریجینگ یکی از روش‌های پایه برای تخمین فضایی داده‌ها بر اساس واریوگرام است. برای تخمین مقدار در یک سلول مجهول، واریوگرام باید در جهات مختلفی شروع شود که بیشترین و کوچک‌ترین میزان تغییر داده را پیدا کند. معمولاً این دو جهت، عمود بر یکدیگر هستند. این روش برای تخمین مقدار نمونه در مکان مجهول، وزن‌های اختصاص داده شده به نمونه‌های اطراف را تعیین می‌کند. [۱۵] بعضی از روش‌های تخمین که در صنعت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل: کوکریجینگ، کریجینگ ساده، کریجینگ فراگیر یا جامع و... است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش تخمین کریجینگ و شبیه‌سازی گوس متوالی برای تخلخل و ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت مخزن با استفاده از داده‌های ۳۳ حلقه چاه در یکی از میادین گازی کشور استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات نمودارگیری چاه‌ها است. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ژئولاگ جهت تعیین رخساره‌ی باکیفیت مخزن استفاده می‌شود که این نرم‌افزار از داده‌های نمودارگیری جهت خوشه‌بندی رخساره‌ها استفاده می‌کند. پس از تعیین ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت در کلیه‌ی چاه‌های میدان، این پارامتر با تخلخل وارد نرم‌افزار SGEMS می‌شود. اشکال ۴ و ۵ اطلاعات آماری دو پارامتر تخلخل و رخساره‌ی باکیفیت را نشان می‌دهند.

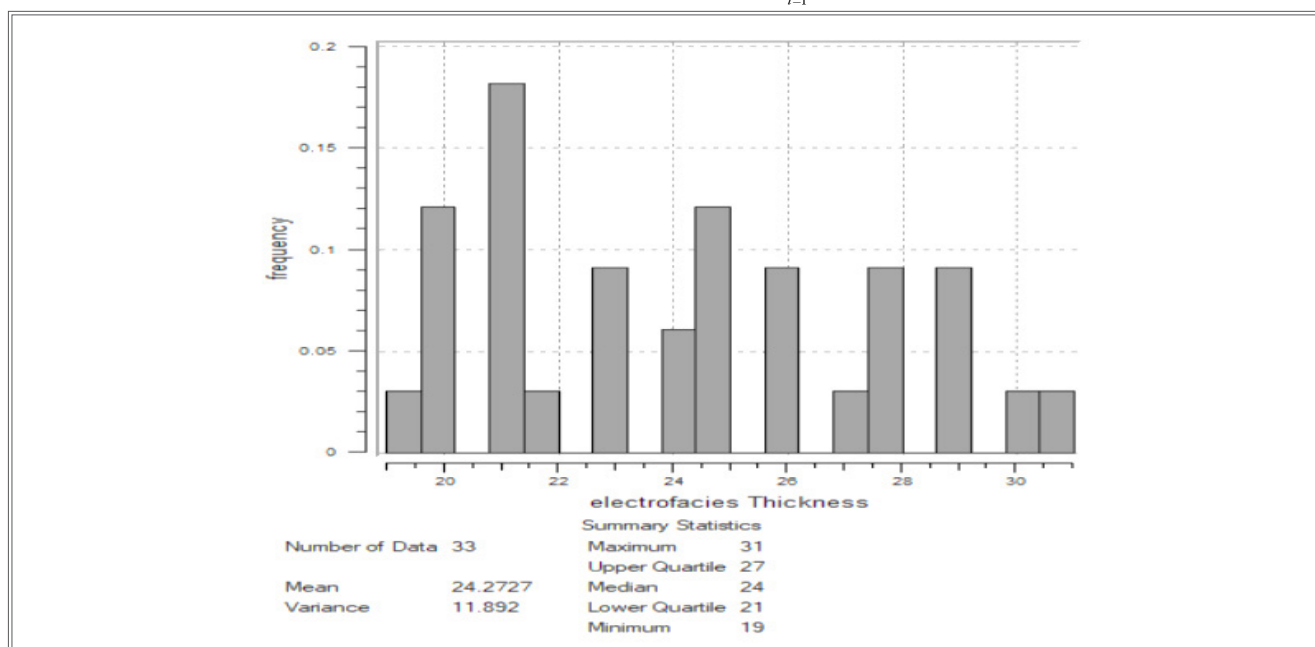
در زمین‌آمار پارامترهایی مانند میانه، انحراف معیار، کوواریانس و واریوگرام از اهمیت بالایی برخوردار هستند. کوواریانس و واریوگرام از توابع آماری هستند که برای توصیف همبستگی فضایی داده‌ها استفاده می‌شوند. واریوگرام مهمترین ابزار برای بررسی ارتباط فضایی بین داده‌ها است. مهمترین ویژگی واریوگرام در مقایسه با سایر ابزارهای آماری، ساده‌سازی پراکندگی ساختاری است که منجر به استفاده‌ی بسیار کاربردی آن در کلیه‌ی زمینه‌های مرتبط با صنعت شده است. [۱۳] در حقیقت، واریوگرام مهمترین ابزار برای بیان همبستگی فضایی بین داده‌ها و اساس بسیاری از محاسبات آماری است. هدف اصلی استفاده از تابع واریوگرام، شناخت ساختار پراکندگی داده‌ها، به ویژه با توجه به فاصله است. [۱۴] بنابراین با استفاده از معادله‌ی ۱ می‌توان مقدار واریوگرام را محاسبه کرد:

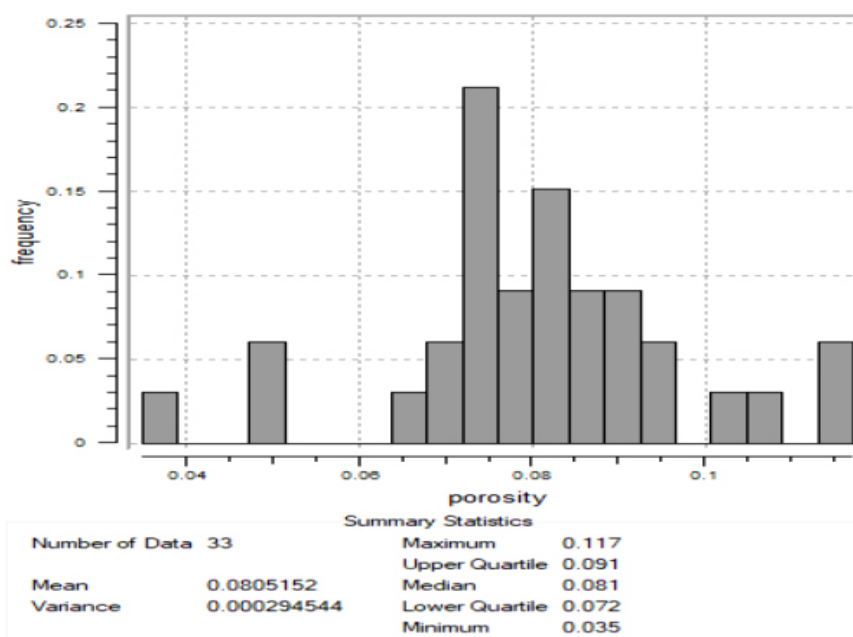
$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

۳-۲- روش کریجینگ

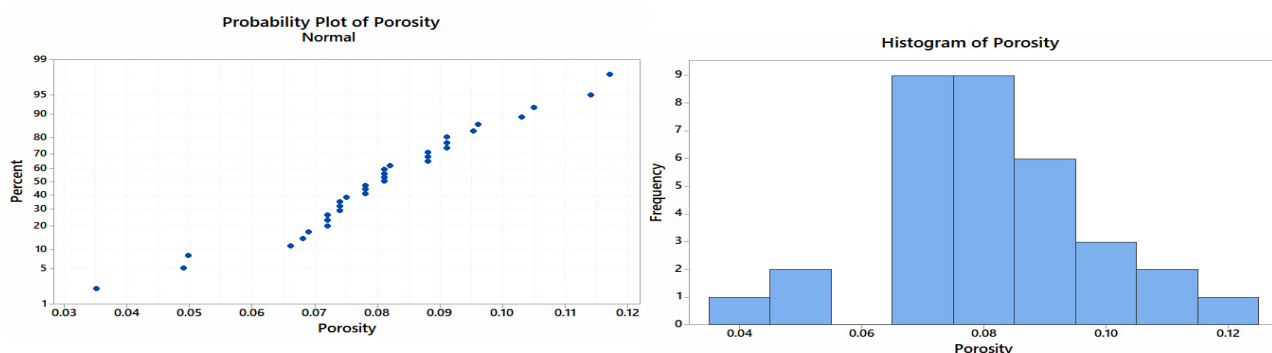
کریجینگ در واقع روشی برای تخمین متغیر در نقاطی با مختصات معلوم، با استفاده از مقدار همان متغیر در نقاط دیگر با مختصات معلوم است. [۱۵] روش کریجینگ از تخمین خطی برای پیش‌بینی مقادیر در نقاط مجهول استفاده می‌کند و اساس آن دو معیار به حداقل رساندن واریانس و شرایط عدم قطعیت است. این روش بهترین روش تخمین عدم قطعیت به‌شمار می‌رود و به این صورت مقادیر در نقاط مجهول محاسبه می‌شوند:

$$X^*(\vec{u}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i X(\vec{u}_i) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

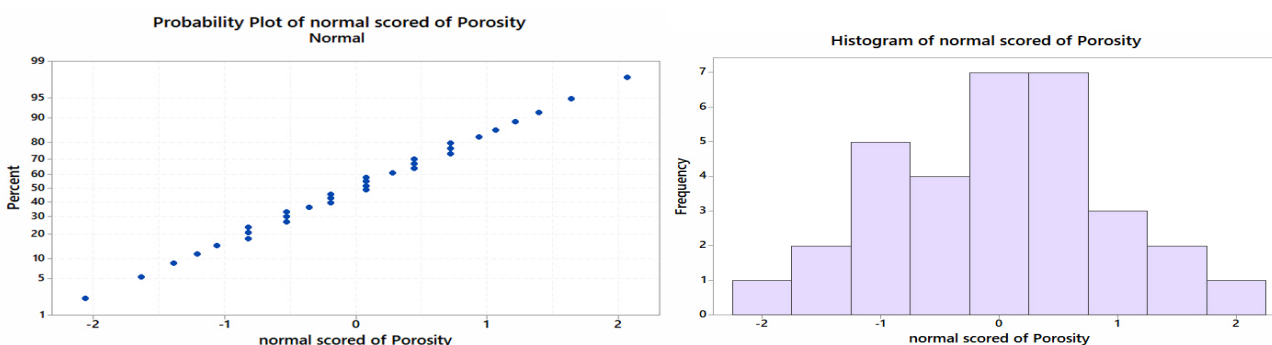




شکل ۵ | هیستوگرام داده‌های تخلخل

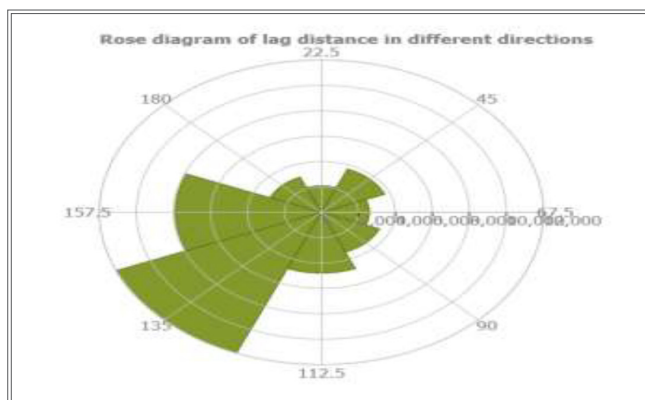


شکل ۶ | نمودار هیستوگرام و احتمال تخلخل قبل از تبدیل نمره‌ی نرمال



شکل ۷ | نمودار هیستوگرام و احتمال تخلخل بعد از تبدیل نمره‌ی نرمال

متر محاسبه شده است. جدول ۱ فاصله‌ی تأخیر محاسبه شده برای هر ۸ واریوگرام را نشان می‌دهد. از آنجا که واریوگرام بعد از هر ۱۸۰ درجه، تقارن نشان می‌دهد، واریوگرام در صفر درجه برابر با ۱۸۰ درجه است. بنابراین جدول ۱ و نمودار رز در ۱۳۵ درجه جهت حداکثر پیوستگی را نشان می‌دهد و در ۲۲/۵ درجه جهت حداقل پیوستگی داده‌های تخلخل را نشان می‌دهد. در شکل ۹ مدل واریوگرام نظری در چهار جهت نمایش داده شده است.



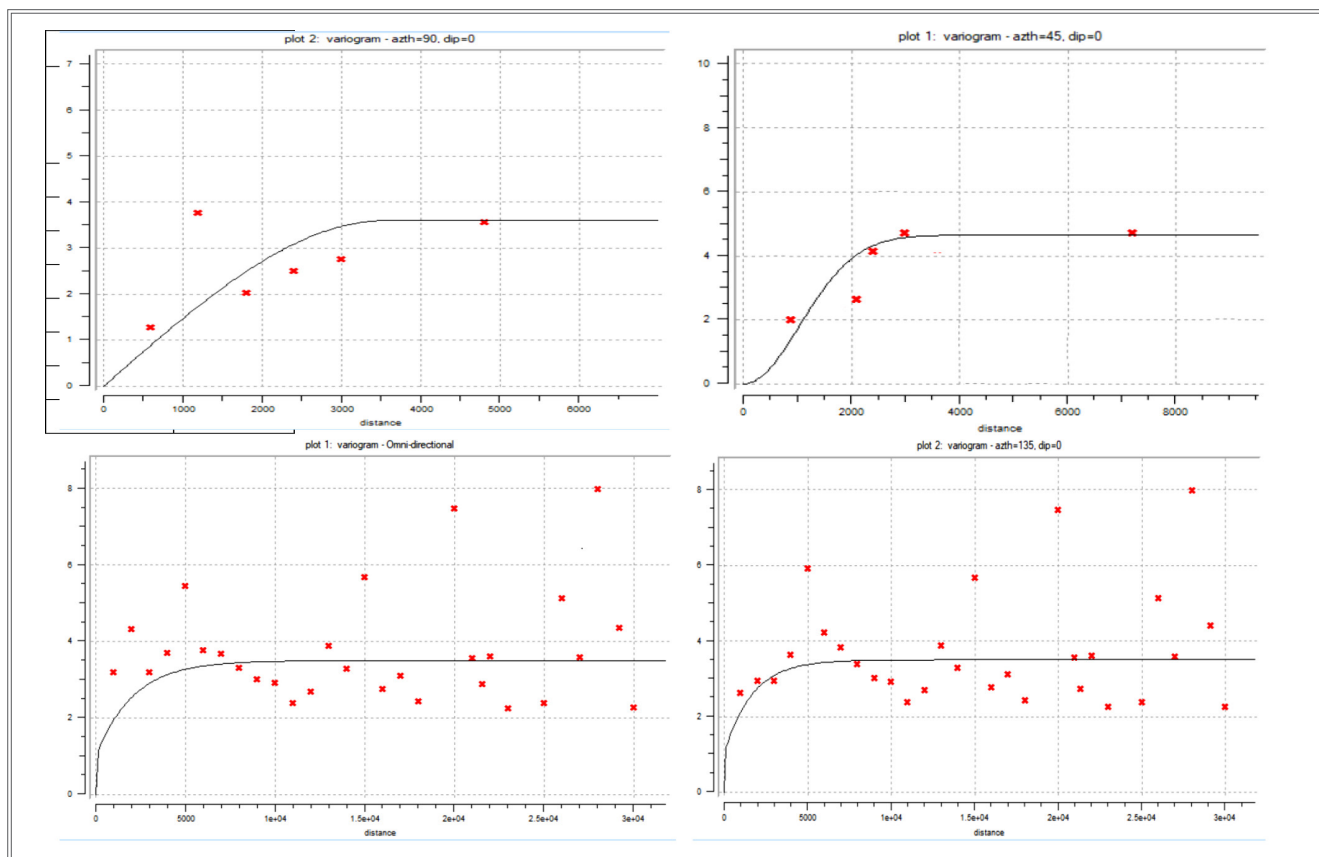
شکل ۸ | نمودار رز فاصله تأخیر در جهت‌های مختلف برای داده‌های تخلخل

به دلیل این که داده‌های زمین‌شناسی توزیع نرمالی ندارند، بنابراین برای دستیابی به یک تخمین دقیق، لازم است داده‌ها به توزیع نرمال تبدیل شوند. تبدیل نمره‌ی معمولی^{۱۰} می‌تواند با میانگین صفر و انحراف معیار یک، توزیع هر داده را به فرم گاوسی تبدیل کند. اشکال ۶ و ۷ هیستوگرام‌های تبدیل نرمال پارامتر تخلخل را نشان می‌دهد.

جهت تعیین جهت بیشترین پیوستگی بین داده‌های تخلخل، واریوگرام تجربی در چهار جهت با فاصله‌ی تأخیر^{۱۱} ۱۰۰۰ متر و تلورانس ۱۰۰۰

شکل ۹ | فاصله‌ی تأخیر مربوط به واریوگرام جهت‌های مختلف داده‌های تخلخل

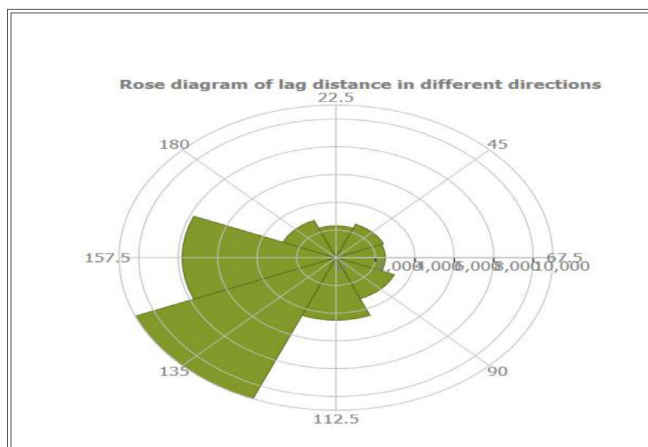
تخلخل	
تأخیر فاصله‌ای (m)	جهت (درجه)
۲۱۰۰	۲۲/۵
۳۷۰۰	۴۵
۲۶۰۰	۶۷/۵
۳۴۰۰	۹۰
۴۸۰۰	۱۱۲/۵
۱۲۰۰۰	۱۳۵
۷۹۰۰	۱۵۷/۵
۳۰۰۰	۱۸۰



شکل ۹ | نمودارهای واریوگرام تجربی برای داده‌های تخلخل

مشخص می‌شود بیشترین و کمترین پیوستگی به ترتیب در ۱۳۵ درجه و ۲۲/۵ درجه است.

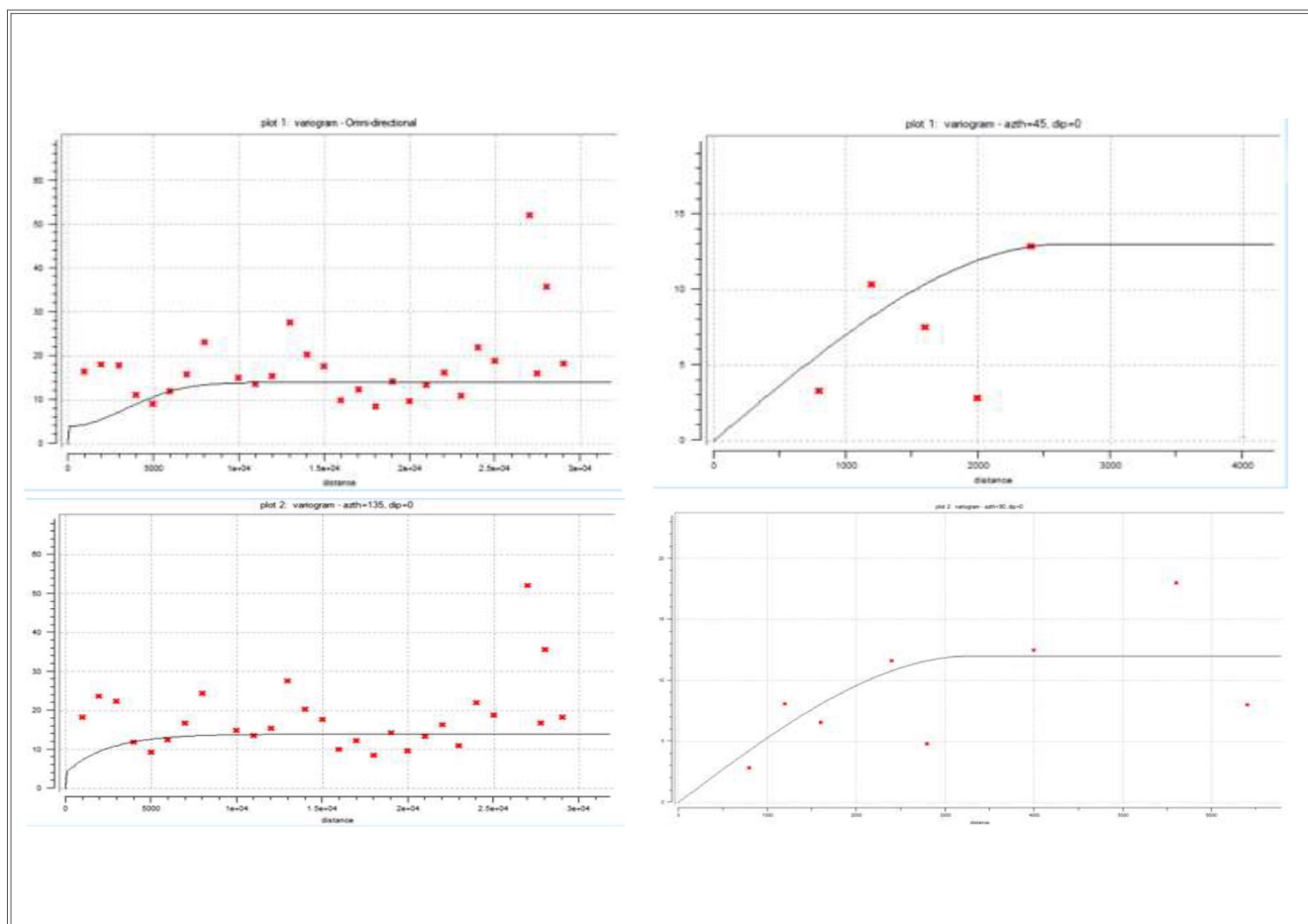
در ادامه در جدول ۲ فاصله‌ی تأخیر مربوط به جهت‌های مختلف داده‌های ضخامت رخساره‌ی الکتریکی با کیفیت نشان داده شده است. با توجه به نتایج،



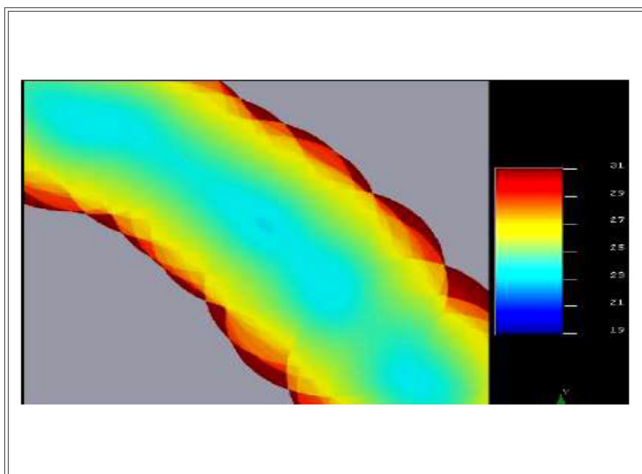
شکل ۱۰ نمودار رز فاصله تأخیر در جهت‌های مختلف برای داده‌های رخساره

جدول ۲ فاصله‌ی تأخیر مربوط به واریوگرام جهت‌های مختلف داده‌های رخساره است

ضخامت رخساره الکتریکی با کیفیت	
تأخیر فاصله‌ای (m)	جهت (درجه)
۲۳۰۰	۲۲/۵
۲۶۰۰	۴۵
۲۵۰۰	۶۷/۵
۳۲۰۰	۹۰
۴۵۰۰	۱۱۲/۵
۱۱۰۰۰	۱۳۵
۷۸۰۰	۱۵۷/۵
۲۹۰۰	۱۸۰



شکل ۱۱ نمودارهای واریوگرام تجربی برای داده‌های رخساره‌ی الکتریکی با کیفیت



۱۲ نقشه واریانس ضخامت رخساره با کیفیت مخزن

در شبیه‌سازی الگوریتم روش شبیه‌سازی گوس متوالی، مقدار میانه و واریانس توزیع گوسی در هر مکان، در امتداد شبیه‌سازی طول مسیر شبیه‌سازی با برآورد کریجینگ و واریانس کریجینگ تخمین زده می‌شود. مقدار حاصل از آن توزیع به عنوان داده‌های شرطی استفاده می‌شود.

تبدیل داده‌های اصلی به توزیع گوسی ممکن است ضروری باشد و معمولاً با تبدیل نمره‌ی معمولی انجام می‌شود. بیضی جستجوی مورد استفاده دارای رنج ۱۸۰ هزار متر و داده‌های شرطی حداقل ۴ و حداکثر ۱۲ است. برای اجرای الگوریتم، ۴ تحقق برای هر خاصیت در نظر گرفته شده است.

پس از بررسی، نتایج زیر به عنوان بهترین نتایج در نظر گرفته می‌شود. دلیل تایید یا رد یک تحقق خاص با استفاده از مدل‌ها بر اساس افزایش تکرار آن تحقق است که این تکرار در یک تحقق خاص، بیانگر احتمال بالای چنین شرایطی را در گستره‌ی مخزن ایجاد می‌کند.

از طرفی وقتی که تعداد تکرارهای تحقق کمتر است، تحقق رد می‌شود. بنابراین، دقت زیادی در بررسی تحقیقات لازم است. این تصاویر تنها قسمتی از تصاویر خروجی از نرم‌افزار است که کاربر پس از مشاهده‌ی تصاویر باید آنها را با هم مقایسه کند. هر تکرار شباهت بین تصاویر خروجی از هر دسته از نتایج نشان‌دهنده‌ی قطعیت بالا در نتایج آن ناحیه است.

اشکال ۱۲ و ۱۳ بالاترین تکرار را در بین تصاویر تمام مدل‌های تخلخل و ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت دارد و در بین نتایج مربوط به ضخامت می‌تواند به عنوان مدل نهایی زمین‌آمار این میدان در نظر گرفته شود.

با بررسی نتایج هر دو خاصیت می‌توان نتیجه گرفت که روند تخلخل و ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت بالا ارتباط مستقیمی با یکدیگر دارند. در واقع، در مکان‌هایی که میزان تخلخل بالا است، ضخامت رخساره‌های الکتریکی باکیفیت نیز ضخامت بالایی را نشان می‌دهد.

۴-۱-۴ مدل واریوگرام

بر اساس نتایج قسمت قبل، مقدار دامنه در جهت ۱۳۵ درجه دارای بیشترین مقدار پیوستگی در هر دو پارامتر تخلخل و ضخامت رخساره‌ی باکیفیت است. بیشترین مقدار و میانه‌ی دامنه برای پارامتر تخلخل برابر ۱۲۰۰۰ و ۶۰۰۰ متر با مقدار سیل ۳/۵ است. این مقادیر برای پارامتر رخساره‌های الکتریکی باکیفیت نیز به ترتیب ۱۱۰۰۰ و ۵۵۰۰ متر با مقدار سیل ۱۱ در جهت ۱۳۵ درجه است.

به صورت کلی سه روش کلی برای مدل واریوگرام وجود دارد که در تخمین مدل‌های واریوگرام متداول است: کروی، توانی و روش گوس. در هر دو خواص تخلخل و ضخامت رخساره‌ی باکیفیت، روش مدل توانی به این صورت مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\gamma(L) = 2 + 3.5 \left[1 - \exp\left(-\frac{3L}{12000}\right) \right] \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$\gamma(L) = 4 + 11 \left[1 - \exp\left(-\frac{3L}{11000}\right) \right] \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

۴-۲-۴ شبیه‌سازی با روش گوس متوالی

۴-۲-۱-۴ روش گرید کریجینگ

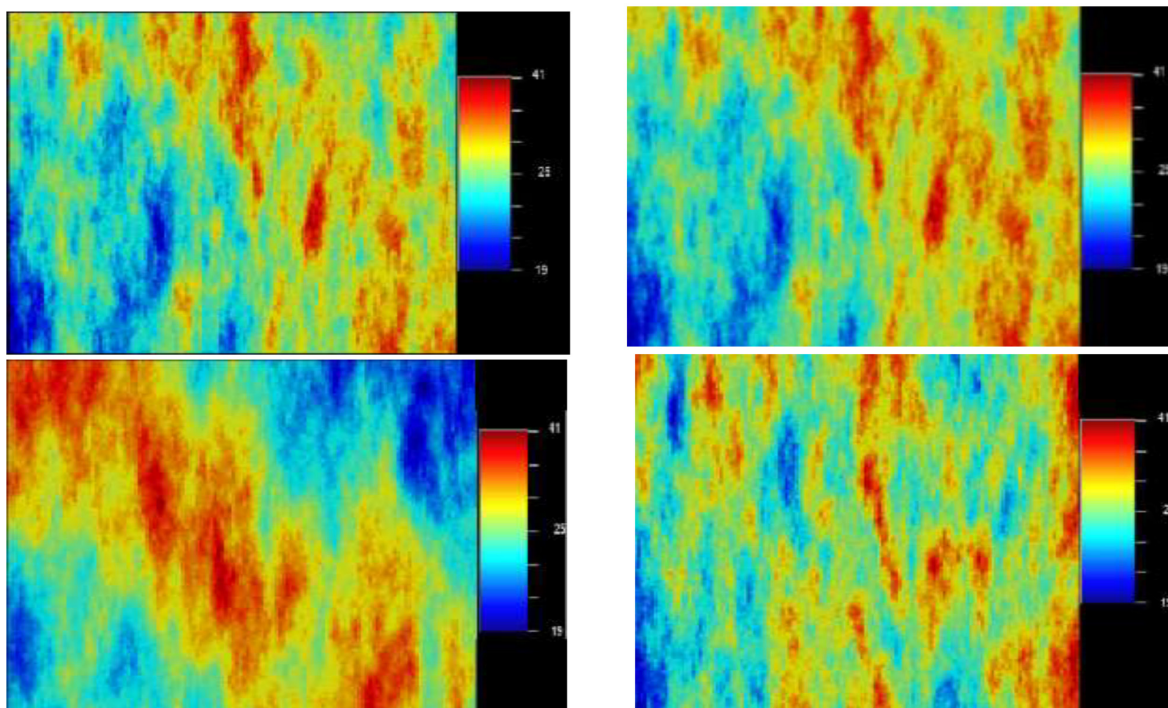
انتخاب نوع کریجینگ با یک رابط ویژه انجام می‌شود. روش‌های کریجینگ در دسترس شامل روش کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ با یک روند خاص و کریجینگ با میانگین متغیر محلی^{۱۲} است.

تنها روش کریجینگ معمولی به پارامترهای اضافی نیاز ندارد، در حالی که کریجینگ ساده به میانه، کریجینگ رونددار به اجزای روند چند جزئی و روش کریجینگ میانگین محلی به خاصیتی که میانگین محلی در آن ذخیره می‌شود، نیاز دارند.

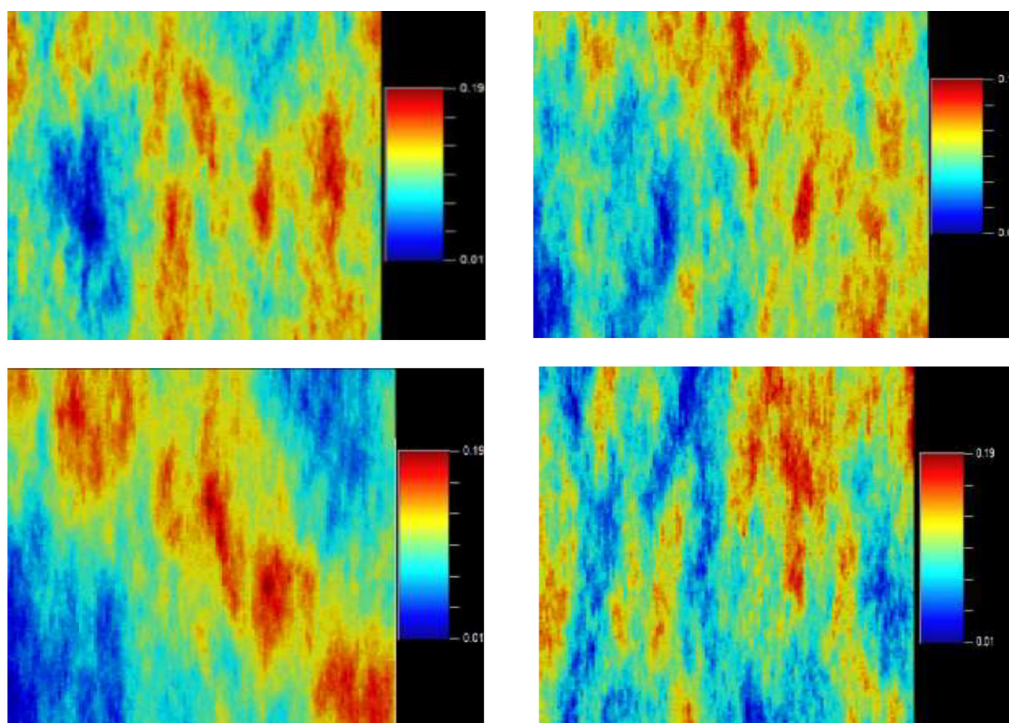
در روش کریجینگ معمولی، مقدار میانگین کنار هر مکان تخمین همسایگی مجهول ولی ثابت است که توسط الگوریتم کریجینگ معمولی از داده‌های همسایگی تعیین می‌شود.

شکل ۱۱ نقشه‌ی واریانس مربوط به پارامتر ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، به دلیل پیوستگی بالا، واریانس ضخامت رخساره‌ی باکیفیت مخزنی، در جهت شمال غربی به سمت جنوب شرقی کمترین مقدار است.

همچنین مقدار واریانس در جهت عمود بر این جهت با دور شدن از مرکز افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳ | چهار تحقق ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت مخزن با استفاده از روش شبیه‌سازی گوس متوالی



شکل ۱۴ | چهار تحقق تخلخل با استفاده از روش شبیه‌سازی گوس متوالی

جمع‌بندی

پس از شبیه‌سازی، مشخص شد توزیع این خواص دارای بیشترین پیوستگی و کمترین واریانس در جهت شمال‌غربی به جنوب‌شرقی است. پس از شبیه‌سازی با روش شبیه‌سازی گوس متوالی، بیشتر تحقق هر دو خاصیت به دلیل پیوستگی، رابطه‌ی مستقیمی را نشان داد. در حقیقت، نواحی که تخلخل بالایی داشتند، از ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیتی برخوردار هستند. لذا از این نتایج می‌توان جهت شناخت تعداد رخساره‌های موجود، افزایش دید نسبت به تعیین نقاط حفر چاه، برنامه‌های توسعه و ازدیاد برداشت این مخزن برای افزایش هر چه بیشتر تولید استفاده کرد. ■

استفاده از زمین‌آمار در مهندسی نفت خصوصا در زمان اکتشاف و توسعه‌ی میدان، نقش مهمی دارد. هدف از زمین‌آمار، یافتن رابطه‌ای بین مکان‌های معلوم و مکان‌های مجهول، برای به دست آوردن بهترین تخمین در نواحی مجهول و بدون اطلاعات است. هدف اصلی در این مطالعه، تعیین توزیع فضایی تخلخل و ضخامت رخساره‌ی الکتریکی باکیفیت در یکی از میادین گازی کشور است که داده‌های تخلخل و ضخامت رخساره‌های الکتریکی با کیفیت ۳۳ حلقه چاه برای تخمین استفاده شده است.

پانویس‌ها

1. Sill
2. Range
3. Nugget effect
4. Realizations
5. Krige
6. Multi Resolution Graph-based Clustering (MRGC)

7. Self Organizing Map(SOM)
8. Ascendant Hierarchical Clustering (AHC)
9. Dynamic Clustering (DYNCLUST)
10. Normal score transform
11. Lag distance
12. local varying mean (LVM)

منابع

- [1]. دهقان ابنوی، علی، کریمیان‌طرقبه‌امیر و قاجار جعفر، ۱۳۹۷، استفاده از مفهوم رخساره‌های الکتریکی در تعیین نواحی مخزنی یکی از میادین گازی ایران، پنجمین همایش ملی نفت و گاز و صنایع وابسته، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- [2]. Najafzadeh, K., and Riahi, M. A. (2010). Optimized combination of seismic attribute in porosity estimation by means of co-kriging. Paper 192, 14th Iranian Geophysics Conference, Tehran, Iran, May 11–13.
- [3]. Chambers, R. L., and Yarus, J. M. (2007). Geologically based, geostatistical reservoir modeling, SPE Pet. Eng. 6:52–65.
- [4]. Speer A (1976) Geology of Bangestan reservoir in Ab-Tymur and Mansuri. Technical report in NISOC-Iran, report no. P-(3021).
- [5]. Nazarpour, A., Shadizadeh, S. R and Zargar G (2014) Geostatistical Modeling of Spatial Distribution of Porosity in the Asmari Reservoir of Mansuri Oil Field in Iran. Petroleum Science and Technology, 32:1274–1282.
- [6]. Hohn ME (1999) Geostatistics and petroleum geology, 2nd edn. Kluwer Academic, Dordrecht.
- [7]. Wang L, Wong PM, Shibli SAR (1999) Modeling porosity distribution in the A'nan oilfield: use of geological quantification, neural networks, and geostatistics. SPE Res Eval Eng 2:527–532.
- [8]. Torghabeh, A., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R., Pradhan, B., Kamali, M., & Kadkhodaie-Ilkhchi, A. (2014). Electrofacies in gas shale from well log data via cluster analysis: A case study of the Perth Basin, Western Australia. Open Geosciences, 6(3), 393–402.
- [9]. Serra, O., M. Bett and J. R. Desparmet (1985). Análisis de ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozo, Schlumberger.
- [10]. Doveton, J. H. (2014). Principles of Mathematical Petrophysics, Oxford University Press.
- [11]. Stinco, L. P. (2006). Core And Log Data Integration. The Key For Determining Electrofacies. SPWLA 47th Annual Logging Symposium. Veracruz, Mexico, Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts: 7.
- [12]. Hosseini, Erfan, Raoof Gholami, and Farzad Hajivand. (2019) "Geostatistical modeling and spatial distribution analysis of porosity and permeability in the Shurijeh-B reservoir of Khangiran gas field in Iran." Journal of Petroleum Exploration and Production Technology 9.2, 1051-1073.
- [13]. Hassani Pak, A. A. (1998). Geostatistics (1st ed.). Tehran, Iran: Tehran University Press.
- [14]. Deutsch, C.U., "Geostatistical Reservoir Modeling", Oxford University Press, Oxford, 2002.
- [15]. Kelkar, Mohan, Godofredo Perez, and Anil Chopra. Applied geostatistics for reservoir characterization. Richardson, TX: Society of petroleum engineers, 2002.
- [16]. Cao, R., Y. Zee Ma, and E. Gomez. "Geostatistical applications in petroleum reservoir modelling." Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 114.8 (2014): 625-631.
- [17]. Ma, Y.Z. 2009. Propensity and probability in depositional facies analysis and modeling. Mathematical Geosciences, vol. 41. pp. 737-760.
- [18]. Jafarzadeh, Najmeh, et al. "Identification of electrical and petrophysical rock types based on core and well logs: utilizing the results to delineate prolific zones in deep water sandy packages from the Shah Deniz gas field in the South Caspian Sea Basin." Journal of Natural Gas Science and Engineering (2019): 102923.
- [19]. Baneshi, Mohammad, Mohammadreza Behzadijo, and Mahboobe Soroushnia. "Evaluation of the performance of ANN in predicting of electrofacies (estimated by SOM, AHC, and MRGC models)." Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 38.8 (2016): 1081-1088.
- [۲۰]. جف کایرز، علی دهقان‌ابنوی، جعفر قاجار، ۱۳۹۸، زمین‌آمار نفت، انتشارات بید.