

# شبیه‌سازی توزیع نفوذپذیری در یکی از مخازن نفتی ایران با استفاده از روش‌های زمین‌آماري

پيام سامي<sup>۱</sup> معاونت برنامه‌ريزي و نظارت بر منابع هيدروکربوري وزارت نفت

چکیده

شناخت پارامترهای سنگ مخزن برای شبیه‌سازی مخزن به منظور طراحی برنامه توسعه میادین هیدروکربوری و تحلیل رفتار آنها در طول دوره بهره‌برداری و هم‌چنین مطالعات و شبیه‌سازی انواع فرآیندهای ازدیاد برداشت امری ضروری به شمار می‌رود. در این میان یکی از پارامترهای کلیدی، نقشه توزیع نفوذپذیری در مخزن است. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد روش‌های زمین‌آماري مورد استفاده در این تحقیق آن است که علاوه بر تهیه و تعیین نقشه توزیع نفوذپذیری، توزیع خطای تخمین را نیز محاسبه می‌کنند. در این مطالعه جهت تخمین توزیع فضایی نفوذپذیری و هم‌چنین خطای تخمین در مخزن ابتدا با استفاده از داده‌های ساخت فشار در ۴۰ حلقه چاه و تجزیه و تحلیل این داده‌ها به کمک نرم‌افزار PanSystem 3.0a میزان نفوذپذیری محاسبه و با استفاده از روش‌های زمین‌آماري ساختار فضایی توزیع نفوذپذیری در کل مخزن به دست آمد. در ادامه با استفاده از رسم واریوگرام غیر هم‌جهت و بیضی ناهمسان‌گردی، پارامترهای حاصل به عنوان ورودی تخمین گر کریجینگ مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق علاوه بر استفاده از نرم‌افزار زمین‌آماري WinGslib، نرم‌افزار رایانه‌ای نیز جهت برآزش بهترین مدل به واریوگرام تجربی توسعه داده شد.

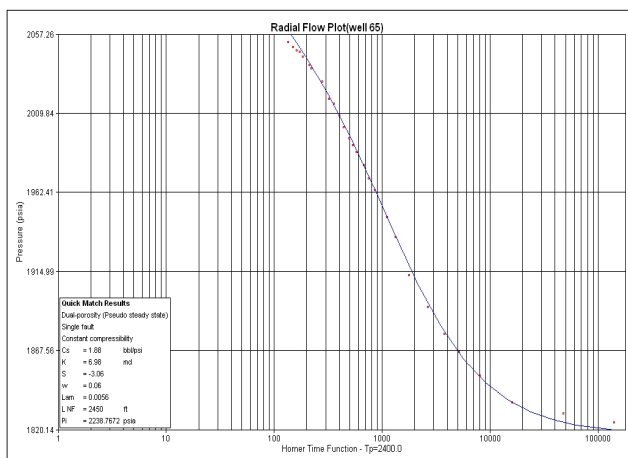
واژگان کلیدی | توزیع نفوذپذیری، چاه‌آزمایی، زمین‌آمار، خطای تخمین، ساخت فشار، واریوگرام تجربی

مقدمه

## ۱- تجزیه و تحلیل داده‌های چاه‌آزمایی

روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل فشارها نسبت به میزان بهره‌برداری از مخازن هیدروکربوری استفاده می‌شود که یکی از آنها،

تعیین توزیع نفوذپذیری در مخازن از مهم‌ترین مراحل مدل‌سازی استاتیکی و دینامیکی به شمار می‌رود. آزمایش ساخت فشار یکی از رایج‌ترین انواع چاه‌آزمایی حالت گذرا است که به طور گسترده‌ای در مهندسی مخازن هیدروکربوری استفاده می‌شود. آگاهی از خصوصیات فنی سطحی و زیر سطحی نظیر قطر لوله‌های جداری و لوله مغزی، عمق چاه، شرایط مسدود کننده‌ها و غیره نقش مهمی در تفسیر اطلاعات حاصل از این آزمایش دارند. معمولاً ثبت و ارزیابی تغییرات فشار در دوره‌های کوتاه مدت زمانی برای تفسیر دقیق شرایط اثر انبارش چاه ضروری است و برای زمان‌های اولیه برخی آزمایش‌ها، ثبت فشار باید حتی در بازه‌های ۱۵ ثانیه‌ای صورت گیرد. با ادامه آزمایش چاه می‌توان ثبت فشار را در بازه‌های زمانی بزرگتری انجام داد [۲۱].



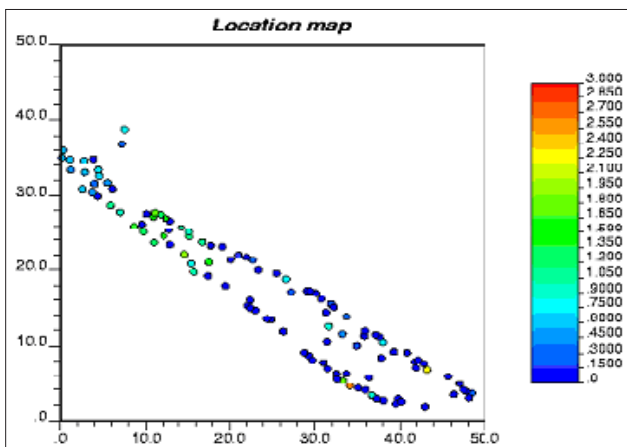
نمودار هورنر برای محاسبه نفوذپذیری در چاه ۶۵ | ۱



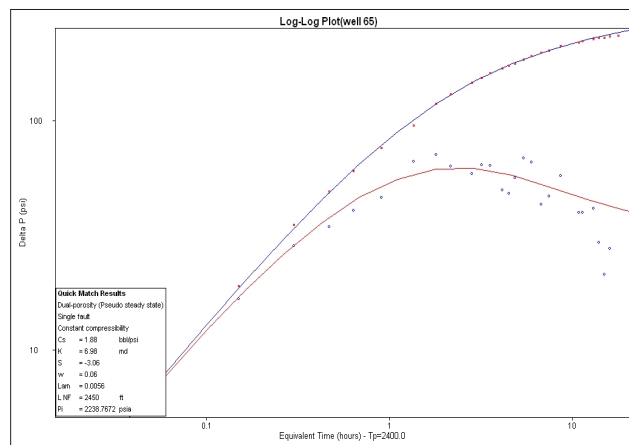
## ۲- مدل سازی توزیع فضایی نفوذپذیری با استفاده از روش های زمین آمار

پس از تعیین نفوذپذیری، با استفاده از اطلاعات ساخت فشار برای هر چاه، با استفاده از روش های زمین آماری توزیع فضایی نفوذپذیری به دست آمد. در این قسمت از نرم افزار زمین آماری WinGslib استفاده شد. در ابتدا نقشه موقعیت فضایی برای داده های نرمال نفوذپذیری رسم شد (شکل-۴). سپس جهت تشخیص نرمال بودن داده ها از روش های ترسیمی که شامل دو روش ترسیم فراوانی نما و ترسیم نیمه لگاریتمی توزیع جمععی بود استفاده شد که این روش ها در شکل های ۵-۶ نشان داده شده اند. توزیع نرمال یا گوسی یکی از پرکاربردترین توزیع های آماری است. اکثر روش های

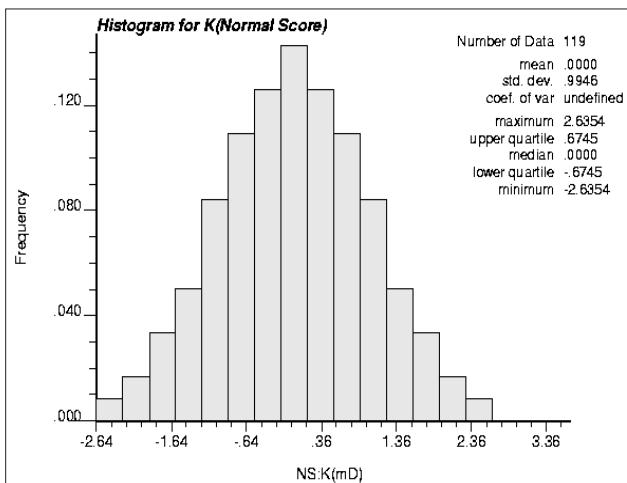
روش هورنر است. در این بررسی با استفاده از روش هورنر مقادیر نفوذپذیری به دست آمد و نتایج حاصل نشان دادند که بخش های شمالی میدان دارای مقادیر نفوذپذیری بیشتری هستند. در این مطالعه، جهت تجزیه و تحلیل داده های ساخت فشار از نرم افزار PanSystem استفاده شده که در شکل ۱- نمونه ای از تجزیه و تحلیل داده های چاه آزمایشی با استفاده از روش هورنر در چاه شماره ۶۵- میدان ارائه شده و در شکل ۲- نمودارهای لگاریتمی داده های فشار و مشتق فشار بر حسب زمان، نشان داده شده است. در شکل ۳- نتایج نفوذپذیری حاصل از تحلیل چاه آزمایشی روی ۴۰ چاه این میدان با استفاده از نرم افزار PanSystem ارائه شده است. لازم به ذکر است که در بررسی ها بر اساس شاخص بهره دهی و مقدار نفوذپذیری، مخزن به پنج ناحیه تقسیم شد.



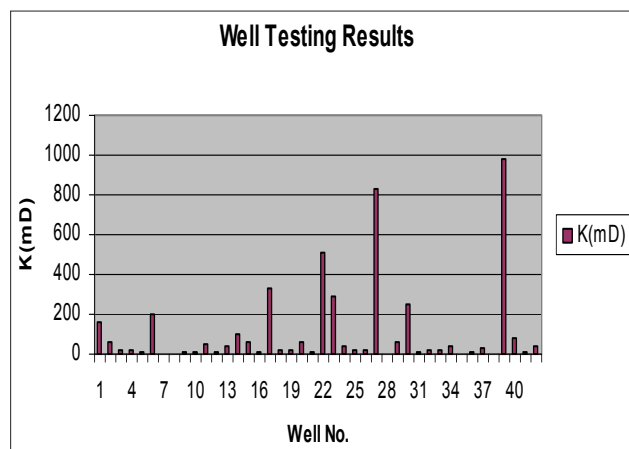
شکل ۴ نقشه موقعیت فضایی نفوذپذیری برای داده های نرمال



شکل ۲ نمودار لگاریتمی فشار و مشتق فشار بر حسب زمان برای محاسبه نفوذپذیری در چاه-۶۵



شکل ۵ فراوانی نمای داده های نرمال نفوذپذیری

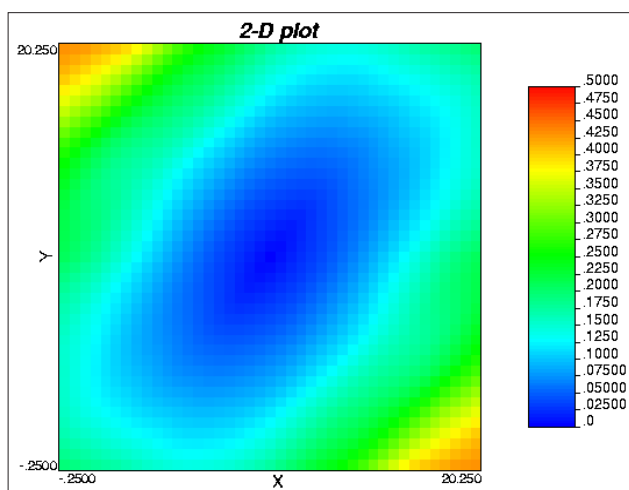


شکل ۳ نتایج حاصل از تحلیل چاه آزمایشی برای محاسبه نفوذپذیری در ۴۰ حلقه چاه میدان

واریوگرام برای مهندسی معدن، زمین‌شناسان و مهندسی مخازن هیدروکربوری جذابیت خاصی دارد، زیرا به کمک آن مشخصه‌های مهمی از کانسار یا میدین نفتی را که در ارزیابی ذخیره معدن یا مطالعه میدین نفتی مؤثرند قابل بررسی خواهند بود. البته لازم است که به ارتباط شعاع تأثیر و نیز همسان‌گردی در به کارگیری واریوگرام نیز اشاره‌ای کرد. این مشخصه‌ها را می‌توان به کمک تجزیه و تحلیل شباهت‌ها و یا ناشباهت‌های بین عیار نقاط مختلف در یک کانسار که به فاصله معین  $h$  از هم قرار دارند بررسی کرد. در واقع برای محاسبه و تعیین مدل واریوگرام در گام نخست مجذور اختلاف مثلاً برای نفوذپذیری در یک مخزن نفتی به فاصله  $h$ ، محاسبه می‌شود [۴].

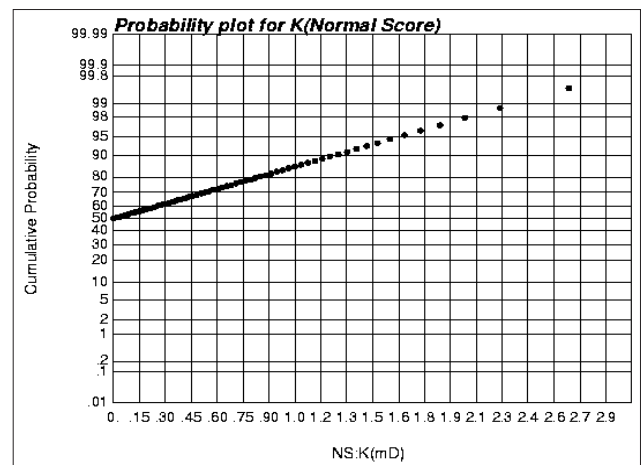
برای اینکه وضعیت تفاوت نفوذپذیری در این دو نقطه تعمیم داده شود، این محاسبه در مورد تمامی نقاطی که به فاصله  $h$  از هم قرار دارند انجام شده و میانگین مجذور اختلاف‌ها محاسبه می‌شوند. میانگین مجذور اختلاف نفوذپذیری‌های نقاطی که به فاصله  $h$  از هم واقعتاً، واریوگرام خوانده می‌شود [۴].

پس از رسم انواع مدل‌های واریوگرام در آزمون‌های مختلف که برای نمونه در شکل ۷- برای آزمون ۱۳۵ درجه نشان داده شده، بیضی ناهمسان‌گردی حاصل از واریوگرام غیر هم‌جهت (آزمون صفر درجه با بازه تغییرات ۹۰ درجه) رسم شد (شکل ۸). ناهمسان‌گردی به تغییرات دامنه تأثیر و یا سقف واریوگرام در جهات مختلف اطلاق می‌شود و به همین دلیل واریوگرام ابزار بسیار سودمندی برای تشخیص ناهمگنی‌هایی است که موجب بروز ناهمسان‌گردی می‌شود.

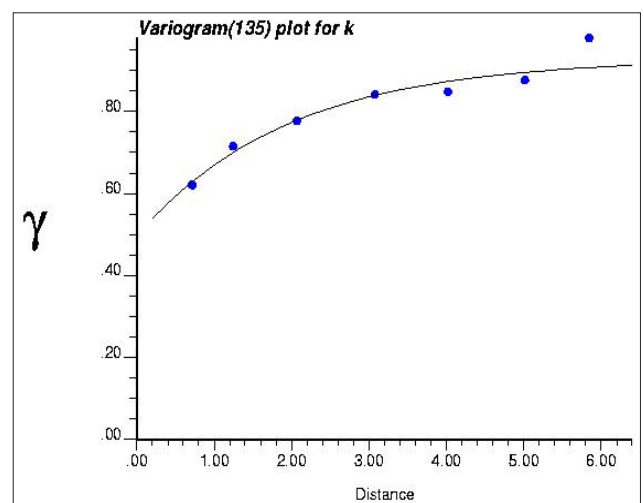


شکل ۸ | بیضی ناهمسان‌گردی داده‌های نرمال توزیع نفوذپذیری

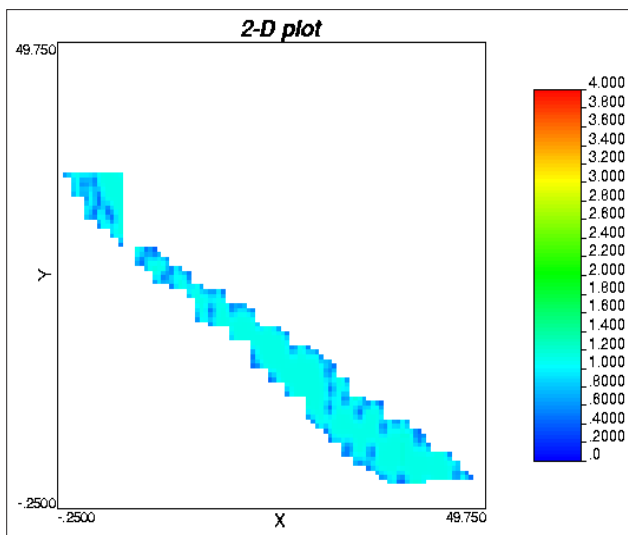
آماري فرض نرمال بودن داده‌ها را در خود نهفته دارند. لذا در اختیار داشتن داده‌هایی که توزیع نرمال دارند، در حقیقت مجوز استفاده از روش‌های مورد نظر است. به همین دلیل در بررسی‌های زمین‌آماري ابتدا لازم است نرمال یا غیر نرمال بودن داده‌ها را امتحان کنیم؛ چرا که در روش‌هایی که مختص داده‌های نرمال است استفاده از داده‌های غیر نرمال، محاسبات زمین‌آماري را دچار خطای سیستماتیک می‌کند [۳]. بعد از اینکه داده‌ها نرمال شدند، نمودارهای واریوگرام برای آزمون‌های مختلف رسم شدند. واریوگرام برای تشریح ارتباط فضایی بین هر مشخصه (مثل عیار، ضخامت، تخلخل، نفوذپذیری و غیره) در نقاط مختلف یک کانسار یا مخزن به کار می‌رود و بنابراین یک ابزار اساسی در زمین‌آمار به شمار می‌رود.



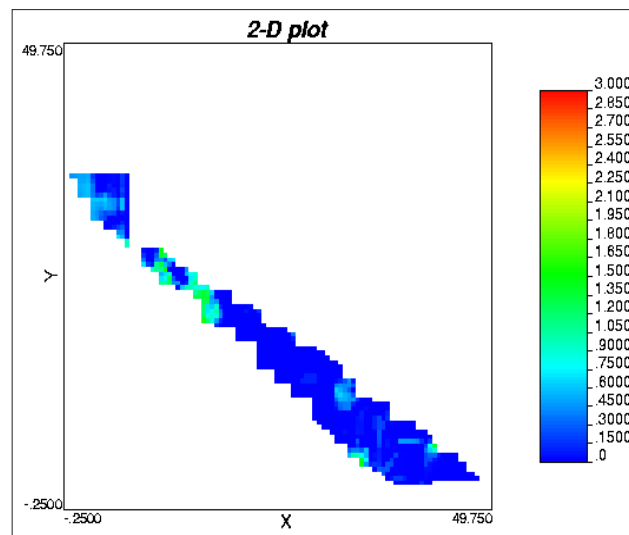
شکل ۶ | نمودار نیمه‌لگاریتمی توزیع تجمعی داده‌های نرمال شده نفوذپذیری



شکل ۷ | بهترین برازش مدل نمایی به واریوگرام تجربی داده‌های نرمال شده آزمون ۱۳۵ درجه



نقشه خطای تخمین نفوذپذیری برای داده‌های نرمال | ۱۰



نقشه نتایج تخمین نفوذپذیری برای داده‌های نرمال | ۹

ناحیه ۱- میدان دارای بیشترین مقدار نفوذپذیری و ناحیه ۳- دارای کمترین مقدار نفوذپذیری است.

۲- با بررسی فراوانی نمای رسم شده برای نفوذپذیری و نیز ترسیم نیمه‌لگاریتمی توزیع تجمعی داده‌ها، نرمال بودن تقریبی داده‌های نفوذپذیری مشخص شد.

۳- بیضی ناهمسان‌گردی به دست آمده با استفاده از رسم واریوگرام کلی نشان می‌دهد که بیشینه و کمینه شعاع تأثیر در آزمون‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه (یعنی دو آزمون عمود برهم) خواهد بود.

۴- با استفاده از نرم‌افزار WinGslib و روش کریجینگ، نقشه‌های تخمین و خطای تخمین برای داده‌های نرمال به دست آمد. با مقایسه نتایج کریجینگ مشاهده شد که قسمت‌های کناری به خصوص در ناحیه ۱- میدان خوب تخمین زده شده و خطای قسمت‌های مرکزی ممکن است به دلیل کمبود داده‌ها در آن قسمت باشد.

با استفاده از رسم واریوگرام غیرهم‌جهت و بیضی ناهمسان‌گردی، پارامترهای حاصل به عنوان ورودی روش کریجینگ استفاده شد. کریجینگ یک روش تخمین زمین‌آماري است، این روش را به طور خلاصه می‌توان بهترین تخمین گر خطی نارایب دانست. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمین، خطای مرتبط با آن را نیز می‌توان محاسبه کرد.

بنابراین می‌توان دامنه اطمینان هر تخمین را نیز محاسبه کرد؛ در حالی که معمولاً در روش‌های کلاسیک چنین نیست [۵].

در نهایت با استفاده از نرم‌افزار WinGslib، نتایج کریجینگ و خطای تخمین برای داده‌های نرمال نفوذپذیری به دست آمد که در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

### نتیجه‌گیری

۱- نتایج نفوذپذیری حاصل از داده‌های چاه‌آزمایی نشان داد که

### پانویس‌ها

<sup>1</sup> saei59@yahoo.com

### منابع

- [1] Tarek Ahmed, "reservoir Engineering Handbook", 2000, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.  
 [2] Amanat U. Chaudhry, "Oil Well Testing Handbook", 2004, Elsevier Inc.  
 [۳] رندو، ج- ترجمه مهندس اصغر خداپاری- "اصول زمین‌آماري"-

- انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی دانشگاه تهران-۱۳۷۱.  
 [۴] مدنی، حسن- "مبانی زمین‌آماري"- انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (واحد تفرش)-۱۳۷۳.  
 [۵] حسینی پاک، علی اصغر- "زمین‌آمار (ژئواستاتستیک)"- انتشارات دانشگاه تهران-۱۳۷۷