

## تخمین پارامترهای پتروفیزیکی و ارزیابی ذخیره یکی از مخازن نفتی جنوب غرب ایران به روش شبیه سازی زمین آماری

حبیبه ولی زاده الوان<sup>۱</sup>؛ نادر فتحیان پور<sup>۲</sup>، سید حسن طباطبایی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی معدن، [habibehv@yahoo.com](mailto:habibehv@yahoo.com)

۲- عضو هیئت علمی دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

در پروژه های اکتشافی در صنعت نفت، زمانی می توان ریسکهای مرتبط با عدم قطعیت موجود در تغییرپذیریهای ذاتی پارامترهای پتروفیزیکی را کاهش داد که توزیع فضایی پارامترهای سنگ مخزن با جزئیات کامل تعیین گردیده باشد. اطلاعات موجود از مخزن مورد مطالعه که یکی از میادین نفتی جنوب غربی کشور است شامل مقادیر تخلخل و تراوایی اندازه گیری شده در آزمایشگاه به همراه جنس سازند می باشد.

ابتدا چگونگی توزیع فضایی تخلخل، وجود یا عدم وجود روند، ناهمسانگردی این متغیر و توزیع آن در فضای تخمین طی فرایند تخمین معین گردید و سپس با بکار گرفتن روابط جدید پتروفیزیکی شناخته شده در مخازن نفتی مشابه در دنیا، مقادیر تراوایی از روی مقادیر تخلخل در جاهایی که اندازه گیری در آنها به هر دلیلی ممکن نبوده است، تخمین زده شد و با در دست داشتن این دو پارامتر و اطلاعاتی از جنس سازند، میزان متوسط درصد اشباع هیدروکربوری مخزن در حدود ۳۲٪ و حجم ذخیره آن  $۸۸۸/۶ \times 10^6$  محاسبه گردید. مقادیر تخلخل در بلوک های تعریف شده فوق شبیه سازی شرطی شده و واریانس حالات تحقق یافته برای هر یک از بلوک ها به عنوان معیاری از عدم قطعیت پذیری محاسبه شد. لذا با محاسبه ریسک، امکان بررسی های دقیق سودآوری اقتصادی و برنامه ریزیهای دقیق تر توسعه میدان نفتی فراهم می آید.

واژه های کلیدی: پارامترهای پتروفیزیکی، تخلخل، تراوایی، عدم قطعیت، شبیه سازی زمین آماری

## Geostatistical Reservoir Simulation and Reserve Estimation of One of the Oil Fields in Southwest Iran

H. Valizadeh; N. Fathianpour; S.H. Tabatabaee

### Abstract

in exploration projects in oil industry only in a few cases we can reduce the relevant risk to existing uncertainty associated with natural changes of petrophysical parameters which the spatial distribution of the reservoir parameters are specified in full details. The studied reservoir in this issue is one of the South-Western oil field in Iran. The available information about this district contains porosity and permeability values measured in laboratory with formation lithology.

in order to evaluate the possible presence of any spatial trend distributed among data directional experimental variogram were computed to be used for further and more occur geostatistical estimations. A standard 3-D ordinary Kriging has been carried out for estimating porosity. Permeability has estimated with using new petrophysical correlations in similar oil reservoirs in the world with porosity values. Having these two parameters and information about formation lithology the mean percent of Hydrocarbon saturation of the studied reservoir was about 32% with estimated of  $888.6 \times 10^6$  cubic meters of its reserve.

Using conditional simulation of porosity with realizations for each block an estimate of uncertainty was computed. Finally these results are accompanied by a few suggestions for reducing estimation errors and further detailed exploration.

**Keywords:** Petrophysical Parameters, Porosity, Permeability, Uncertainty, Geostatistical Estimation

## ۱- مقدمه

محاسبه خصوصیات مخزن نفت و توصیف مشخصات آن نقش مهمی در صنعت نفت، بخصوص در شناخت صحیح مخازن و موفقیت اقتصادی آن ایفا می‌کند. جهت تخمین تخلخل، انتخاب بهترین روش تخمین و برآورد خطای تخمین بسیار حائز اهمیت می‌باشد، زیرا تخمین‌گرهای مختلف دارای توانایی و محدودیت‌هایی هستند که سازگار بودن و یا نبودن آنها با مورد مطالعاتی تحت تخمین می‌تواند در کیفیت تخمین مؤثر واقع شود و همچنین توزیع خطا می‌تواند در طراحی بهینه عملیات بسیار سودمند باشد [۱].

یکی از اهداف مطالعات پتروفیزیکی، تخمین دقیق و صحیح تراوایی از روی تخلخل در چاههایی است که اندازه‌گیری در آنها به هر دلیلی ممکن نمی‌باشد و در نهایت با در دست داشتن این دو پارامتر و اطلاعاتی از جنس سازند، میزان متوسط درصد اشباع هیدروکربوری مخزن و حجم ذخیره آن نیز قابل محاسبه می‌باشد.

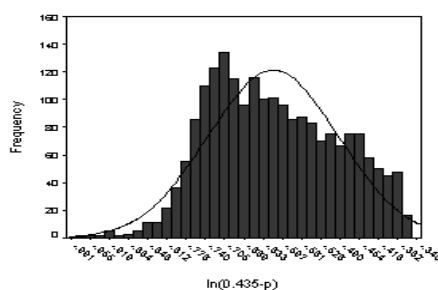
به سبب اثرات نامطلوب خطای حاصل از تخمین در افزایش ریسک سرمایه‌گذاری لازم است روشی که بتواند حداقل خطای تخمین را تضمین کند، به کار گرفته شود. از این رو در اختیار داشتن حالت‌های مختلف از مخزن به کمک شبیه‌سازی زمین‌آماری کمک مؤثری در مدلسازی مخازن نفتی و بهینه‌سازی آنها می‌نماید. شبیه‌سازی زمین‌آماری با محاسبه ریسک وعدم قطعیت همراه با اندازه‌گیریها امکان بررسی‌های دقیق اقتصادی و در نتیجه برنامه‌ریزیهای دقیق‌تر را فراهم می‌کند [۲].

## ۲- سازند مورد بررسی

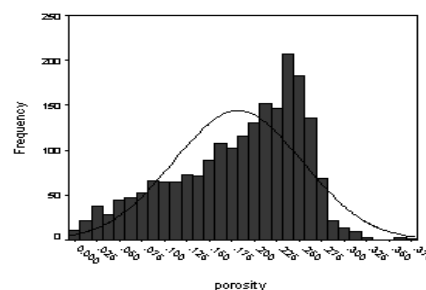
میدان نفتی مورد مطالعه متعلق به حوزه نفتی زاگرس می‌باشد که در جنوب غربی ایران، در استان خوزستان واقع شده است. در این میدان نفتی در امتداد گسترش محور طولی طاق‌دیس منطقه، تعداد ۱۱۷ گمانه قائم به فواصل نامنظم حفر شده است که عمق گمانه‌ها بر حسب نقشه مرزی میان نفت و آب و مشخص بودن انتهای محدوده نفتی متفاوت می‌باشد. متوسط ضخامت گمانه‌های حفر شده ۵۵ متر و عمیق‌ترین گمانه دارای ضخامت ۱۰۹ متر می‌باشد. اطلاعات بدست آمده از گمانه‌ها شامل پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از جمله تخلخل و تراوایی می‌باشد که پارامتر تخلخل در تمام نقاط مورد بررسی در گمانه‌ها معلوم می‌باشد اما پارامتر تراوایی در برخی از نقاط قابل اندازه‌گیری نبوده است. این منطقه از نظر لیتولوژیکی به هفت زون تقسیم شده است [۳]. طی مطالعات انجام شده در منطقه اطلاعات کاملی از زون‌های پنج، شش و هفت در دست نمی‌باشد، لذا جهت مطالعات آماری و زمین‌آماری صرفاً از اطلاعات زون‌های یک تا چهار استفاده می‌شود.

## ۳- پردازش داده‌ها و متدولوژی

تابع توزیع در هر چهار زون غیرنرمال بود و جهت نزدیک نمودن توزیع داده‌ها به حالت نرمال، تبدیل لگاریتمی سه پارامتری بکار گرفته شد [۱]. داده‌های هر چهار زون از نظر وجود مقادیر خارج از ردیف و وجود روند بررسی شدند، در هیچ یک از آنها داده خارج از ردیف یافت نشد و با توجه به نمودارهای پراکندگی تخلخل در جهت‌های  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  بطور بصری روند محسوسی مشاهده نشد و با آزمون‌های ریاضی مشخص گردید که ضرایب رگرسیون خطی بسیار ناچیز و قابل اغماض بوده و تنها مؤلفه ثابت که میانگین متغیر تصادفی است، باقی می‌ماند که دلیلی بر صحت عدم وجود روند در داده‌ها تلقی می‌گردد. در شکل (۱ و ۲) هیستوگرام فراوانی تخلخل در زون دو برای نمونه ارائه شده است.



شکل ۲- هیستوگرام مقادیر تبدیل یافته تخلخل در زون ۲



شکل ۱- هیستوگرام فراوانی تخلخل در زون ۲

### ۳-۱- واریوگرافی

از آنجاکه پایه و اساس بیشتر محاسبات روش‌های تخمینی زمین‌آماری، همبستگی فضایی داده‌ها (وجود ساختار فضایی میان داده‌ها) می‌باشد، واریوگرام‌های غیرجهتی تخلخل برای هر چهار زون با فواصل مختلف رسم گردید اما هیچ یک از واریوگرام‌های رسم شده، مناسب نبودند و نسبت مؤلفه تصادفی به مؤلفه فاصله‌ای در آنها بالا بود لذا جهت بدست آوردن واریوگرامی با دقت یکسان برای کلیه فواصل قطعه‌های واریوگرام (لگ‌های واریوگرام) محاسبات واریوگرام تجربی برای هر قطعه به طور مجزا با پارامترهای متناسب با فاصله مربوطه صورت گرفته و در نهایت از مجموعه مقادیر واریوگرام‌های تجربی محاسبه شده یک واریوگرام ترکیبی نهایی به دست آید. این نوع تخمین واریوگرام تجربی در عمل منجر به حذف پارازیت‌ها و نقصان موجود در شبکه داده‌ها گردید و تا حدودی مشابه عملکرد انتگرال واریوگرام، نتایج حاصل را هموار ساخت.

واریوگرام‌های جهتی داده‌ها برای امتدادهای محورهای بیضوی انیزوتروپی محاسبه گردید و امتدادهای با بیشترین و کمترین تغییرپذیری تعیین شدند که نتایج در جدول (۱) آورده شده است

جدول ۱- مشخصات مدل‌های واریوگرام منطبق بر امتدادهای اصلی بیضوی ناهمسانگردی در زون ۲

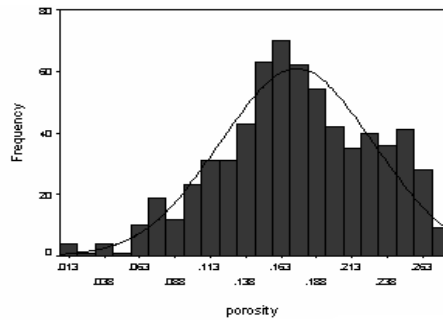
امتداد تغییرپذیری	نوع مدل	امتداد	شیب	شعاع تأثیر	اثر قطعه‌ای	سقف
حداکثر	کروی	۹۰	۰	۱۱۶۱	۰/۴	۰/۷۱
میانی	کروی	۰	۰	۷۳۶/۷	۰	۰/۹۶
حداقل	کروی	۰	۹۰	۷/۸	۰/۱	۰/۹۹

در این مرحله، مشخص شد که در زون چهار مؤلفه تغییرپذیری فضایی داده‌ها بسیار ناچیز است و برای برقراری ساختار فضایی میان داده‌ها می‌بایست فواصل بین گمانه‌ها کمتر باشد. از اینرو در ادامه، مطالعات زمین‌آماری فقط بر روی زونهای یک تا سه انجام گرفت.

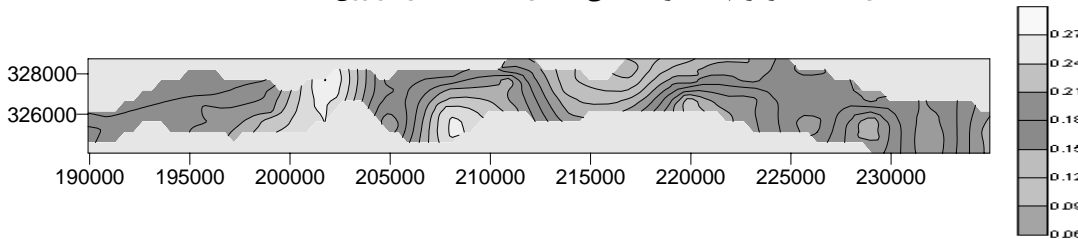
### ۳-۲- تخمین بهینه و بلوک‌بندی سه بعدی تخلخل

نظر به اینکه ضخامت زونهای نفت ده دارای نوسانات شدید می‌باشد، ابتدا سطح فوقانی هر زون به یک سطح مبنا منتقل و از آن محل ضخامت‌های اخذ شده در هر گمانه نگاشته گردید و ابعاد مناسب بلوکهای مورد تخمین در این منطقه مطالعاتی  $520 \times 3000$  متر در نظر گرفته شد. همچنین شعاع جستجو و تعداد نقاط شرکت کننده جهت تخمین هر بلوک بطوریکه هم اثر هموارشدگی در حد قابل قبولی باشد و هم تعداد نقاطی که تخمین زده می‌شوند کافی و خطای آن مینیمم باشد، از روش اعتبار متقابل تعیین شدند.

تخمین زمین‌آماری سه بعدی تخلخل با استفاده از برنامه KT3D از نرم افزار GSLIB به روش کریجینگ معمولی بلوکی در دو مرحله روی مقادیر تبدیل‌یافته تخلخل در محدوده فضای تخمین انجام گرفت. همه محاسبات انجام گرفته تا دستیابی به نتایج تخمین بر روی داده‌های تبدیل‌یافته لگاریتمی سه پارامتری بود، از اینرو با استفاده از فرمول کلارک مقادیر تخمین یافته به مقیاس داده‌های اولیه (داده‌های خام) بازگردانده شد [۷]. از آنجائیکه طبیعت اولیه توزیع داده‌ها می‌بایست در نتایج حاصل از کریجینگ حفظ گردند لذا با رسم نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر تخمینی تبدیل یافته مشاهده شد که طبیعت توزیع داده‌های خام در توزیع مقادیر تخمین‌زده شده تبدیل یافته تا اندازه قابل قبولی حفظ شده است. در شکل (۳) هیستوگرام فراوانی تخلخل در زون دو برای نمونه ارائه شده است. نقشه کنتوری مقادیر تخمینی تخلخل به منظور نشان دادن چگونگی تغییرات آن در مخزن نفتی، برای هر زون دو در شکل (۴) آورده شده است.



شکل ۳- هیستوگرام مقادیر تخمینی تبدیل یافته تخلخل در زون ۲



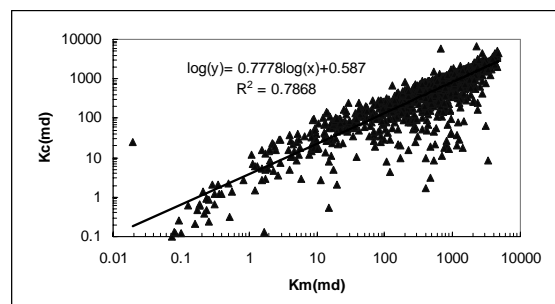
شکل ۴- نقشه کنتوری مقادیر تخمینی تخلخل در زون ۲

### ۳-۳- تخمین پارامترهای پتروفیزیکی سنگ مخزن

نظر به وجود نتایج آزمایشات کامل تخلخل موثر مغزه‌های حفاری بعلاوه نتایج آزمایشات نفوذپذیری تعداد کمتری از نمونه‌ها، اقدام به استفاده از مؤثرترین روش‌های تخمین پارامترهای نفوذپذیری، فشار موئین (منفذی) و درصداشباع آب و نفت گردیده است. معادله رگرسیون زیر جهت تخمین نفوذپذیری ( $k$ ) از تخلخل مؤثر ( $\phi_e$ ) به کار برده می‌شود که برای استفاده از این معادله در هر زون مورد مطالعه، می‌بایست ضرایب مربوط به داده‌های آن زون محاسبه گردد [4,11].

$$\ln k = 21.42 + 11.425 \ln \phi_e + 1.327 (\ln \phi_e)^2$$

پس از محاسبه معادله رگرسیون، میزان همبستگی مقادیر اندازه‌گیری شده تراوایی ( $Km$ ) و مقادیر محاسبه شده آن ( $Kc$ ) برای نقاط معلوم در داده‌های خام جهت اطمینان از صحت معادلات مذکور بررسی شد و نمودار مربوطه در شکل (۵) آورده شده است.

شکل ۵- نمودار توزیع ( $Kc$ ) و ( $Km$ ) در زون ۲

معادله اصلاح شده **Thomeer's** (۱۹۶۰) برای بدست آوردن فشار موئین ( $P_c$ ) بر حسب منحنی اشباع استفاده می‌شود. که فاکتورهای شکل هندسی فضاهای خالی ( $F_g$ )<sup>۲</sup> و فشار جابجائی ( $P_d$ )<sup>۳</sup> موجود در آن از معادلات زیر قابل محاسبه می‌باشند [۱۱].

$$P_d = \frac{9.378}{k^{0.3406} \phi} \quad \text{و} \quad F_g = \frac{\left[ \ln \left( \frac{5.21 k^{0.1254}}{100\phi} \right) \right]^2}{2.303} \quad \text{و} \quad \log P_c = -\frac{F_g}{\ln(1-S_w)} + \log P_d$$

در نهایت به کمک معادله جدیدی از اشیاء فاز آبی ( $S_w$ )<sup>۴</sup> فشار موئین ( $P_c$ ) که برای تمام ماسه سنگ های نفت زا و شیلی قابل استفاده می باشد و بر اساس کار (Bentson & Anli, 1967) پیشنهاد شده است، میزان درصد اشباع آب و سپس درصد اشباع بخش هیدروکربوری این مخزن ماسه سنگی محاسبه می گردد [۱۱ و ۱۳].

$$P_c = P_d + \sigma \cos \theta \sqrt{\frac{\phi}{k}} \left( \ln \frac{1}{S_w} \right)^\beta$$

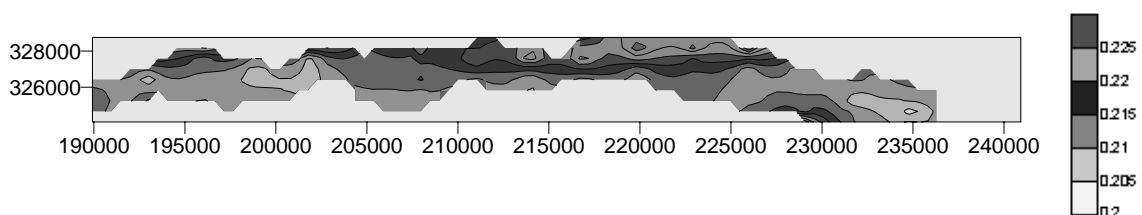
که در آن پارامتر  $\beta$  فاکتور شکل خلل و فرج است و مقدار آن معمولاً بین ۱ تا ۳ تغییر می کند و بطور متوسط ۲ لحاظ می گردد.  $\sigma$  تنش میان سطوح خلل و فرج است که مقدار آن برای نفت و آب شور ۲۰ می باشد [13].  $\theta$  زاویه تماس است که معمولاً مساوی صفر می باشد. مقادیر متوسط محاسبه شده برای زون دوم در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- مقادیر تخمینی و محاسبه شده پارامترهای مهم در زون ۲

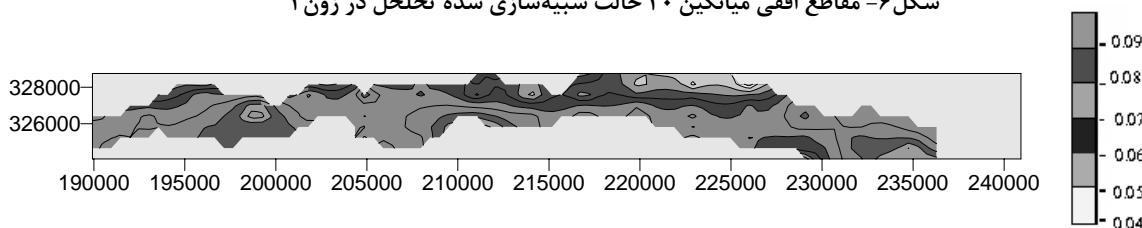
متوسط تخلخل مؤثر	متوسط تراوایی (md)	متوسط درصد اشباع هیدروکربوری	حجم کل مخزن با فرض اشباع ۱۰۰٪ (m <sup>3</sup> )	حجم ذخیره بخش هیدروکربوری مخزن (m <sup>3</sup> )
۰/۱۷۸	۳۸۳/۱	۰/۳۱	۳۵۴/۶*۱۰ <sup>۶</sup>	۱۱۲/۹*۱۰ <sup>۶</sup>

### ۳-۴- شبیه سازی سه بعدی و تخمین ذخیره مخزن

به منظور بررسی میزان تغییرپذیری در منطقه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از برنامه SGSIM نرم افزار WinGslib، ۳۰ نتیجه مختلف از وضعیت مقدار تخلخل در نقاط مختلف در محدوده فضای تخمین بدست آمد [2,12]. برای شناسایی زون های با حداکثر عدم قطعیت متوسط واریانس تغییرات تخلخل برای همه بلوکها محاسبه شد. از آنجایی که بلوکهای با واریانس بالا از ریسک بالایی برخوردارند، جهت رفع ابهامات و کاهش ریسک بایستی اطلاعات بیشتری از این بلوکها در دست باشد و این مناطق، مناطق بحرانی قلمداد می شوند. مقاطع افقی میانگین حالات شبیه سازی شده و وضعیت واریانس در محدوده فضای تخمین در اشکال (۷و۶) آورده شده است.



شکل ۶- مقاطع افقی میانگین ۳۰ حالت شبیه سازی شده تخلخل در زون ۲



شکل ۷- مقاطع افقی واریانس تخلخل در زون ۲

## ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تخمین تخلخل در زونهای مورد بحث در دو مرحله صورت گرفت و علت بالا بودن خطای حاصل از تخمین را می‌توان به مشکلات اندازه‌گیری مقادیر تخلخل از روی نمونه‌های مغزه و چند منشا بودن تخلخل مؤثر مربوط دانست. مقادیر تراوایی از روی مقادیر تخمینی تخلخل به کمک روابط پتروفیزیکی مربوطه در هر زون محاسبه شد (محدوده تغییرات تراوایی در منطقه از ۳۶۰ تا ۱۳۲۰ میلی داریسی تعیین شد). حجم فضای خالی در سه زون مورد مطالعه از مخزن  $10^6 * 2.693$  و میزان ذخیره هیدروکربوری آن در حدود  $10^6 * 888/6$  مترمکعب می‌باشد که بیشتر این ذخیره در زون سوم از مخزن متمرکز شده است. با اعمال روش شبیه‌سازی شرطی می‌توان به تخمین‌هایی از تخلخل دست یافت که نحوه توزیع تخلخل را به طور مناسبی ارائه دهند. به عبارت دیگر به جای تخمین یک عدد برای یک نقطه از مرکز یک بلوک در روشهای درون‌یابی می‌توان به گروهی از اعداد محتمل برای آن نقطه دست یافت که هر یک احتمال رخداد مربوط به خود را دارند. لذا با استفاده از تفاوت میان نتایج مختلف و محاسبه متوسط واریانس تغییرات تخلخل برای همه بلوکها می‌توان معیاری از عدم قطعیت در گستره مورد مطالعه تعریف نمود. از آنجایی که بلوکهای با واریانس بالا نشان‌دهنده تغییرات زیاد مقادیر تخلخل شبیه‌سازی شده است، این بلوکها از ریسک بالایی برخوردار می‌باشند و جهت رفع ابهامات و کاهش ریسک بایستی اطلاعات بیشتری از این بلوکها در دست باشد. از اینرو این مناطق به عنوان مناطق بحرانی قلمداد می‌شوند.

## ۵- مراجع

- [۱]. حسنی پاک، ع و شرف الدین، م، (۱۳۸۰)، *تحلیل داده های اکتشافی*، دانشگاه تهران.
- [۲]. حسنی پاک، ع، (۱۳۷۷)، *مدیریت خطا و ریسک*، دانشگاه تهران.
- [3]. Beiranvand, B., "Regional Geology of Ahvaz-Asmari Reservoir", 2003.
- [4]. Berg, R. R., 1970, "Method for determining permeability from reservoir rock properties", Transaction: Gulf Guastal Association of Geological Societies, v. XX, p. 303-317.
- [5]. Beucher, H., Doligez, B., Yarus, J.M., 1998, "Modeling complex reservoir with multiple conditional techniques": A partical approach to reservoir characterization, AAPG annual convention, May 17-20.
- [6]. Chiles, J.P., Delfiner, P., 1999, "Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainnty Wiley Science", New York.
- [7]. Deustch, C.V., and Journel, A.G., 1992, "GSLIB: Geostatical Software Library and user's guide": Oxford University press, New York.
- [8]. Dubrule, O., 2003, "Geostatistics for seismic data integration in earth models", EAGE: European Association of Geoscientists & Engineers, Printed in US.
- [9]. Lee, Y., Ellis, J.M., 1996, "Estimation and Simulation of lognormal random fields", pergomon.
- [10]. Rendu, J.M., 1981, "An introduction to geostatistical method of mineral evaluation", The South Africa Institute of Mining and Metallurgy.
- [11]. Thomeer, J. H. M., 1983, "Air permeability as a function of three pore network parameters", Journal of Petroleum Technology, p. 809-814.
- [12]. Vann, J., Bertoli, o., Jackson, s., 2003, "Geostatistical Simulation for Quantifying Risk", 2002.
- [13]. Wu, T. and R. R. Berg, "Relationship of reservoir properties for shaly sandstones based on effective porosity", Petrophysics, v. 44, p. 328-341.