

شبیه‌سازی پارامترهای مخزنی تخلخل و تراوایی با استفاده از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم در یکی از میادین نفتی خلیج فارس

بهاره فریدونی^۱، محمد مختاری^{۲*}

^۱دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود،

شاهرود، سمنان، ایران

^۲رئیس مرکز پیش‌بینی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

E_mail: mokhtari@iiees.ac.ir

دریافت شهریور ۱۳۹۶، پذیرش دی ۱۳۹۶

چکیده

برآورد پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری همچون تخلخل و تراوایی در گستره میدان با استفاده از اطلاعات لرزه نگاری سه بعدی به عنوان ابزاری کارآمد و مؤثر جهت مطالعه جامع مخازن و همچنین مدیریت مخزن قلمداد می‌شود. در این مطالعه که بر روی یکی از میادین نفتی خلیج فارس صورت گرفته است، هدف شبیه‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی تخلخل مؤثر و تراوایی با روش شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم در بخش مخزنی سروک میانی می‌باشد. با این شبیه‌سازی می‌توان یک مدل سه بعدی از تغییر پارامترهای پتروفیزیکی مخزن ارائه کرد که برای شبیه‌سازی جریان سیال و شناسایی مناطق مستعد با کیفیت مخزنی بالاتر حائز اهمیت می‌باشد. برای این منظور از نگارهای تخلخل مؤثر و تراوایی هفت حلقه چاه به همراه داده لرزه‌ای سه بعدی و نتایج وارون‌سازی لرزه‌ای صورت گرفته، استفاده شده است. پس از شبکه‌بندی مخزن و ایجاد مدل ساختمانی، داده‌های پتروفیزیکی بزرگ مقیاس شده وارد مدل و سلول مربوط به خود شده است. برای توزیع سه بعدی پارامتر تخلخل مؤثر، با توجه به ارتباط تخلخل مؤثر و نشانگر مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای، نگار تخلخل مؤثر بزرگ مقیاس شده در حکم داده اولیه و نشانگر مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای به عنوان داده ثانویه در شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم و کوکریجینگ وارد شده‌اند. برای شبیه‌سازی تراوایی نیز با توجه به ارتباط خوب تخلخل مؤثر شبیه‌سازی شده با نگار تراوایی بزرگ مقیاس شده، از نگار تراوایی بزرگ مقیاس شده به عنوان داده اولیه و از مدل تخلخل مؤثر شبیه‌سازی شده به عنوان داده ثانویه در شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم و کوکریجینگ استفاده گردید. نتایج حاصل از اعتبارسنجی حاکی از صحت مطالعه حاضر و کارآمد بودن روش شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم در مدل‌سازی تخلخل مؤثر و تراوایی در این مخزن می‌باشد.

کلید واژه: تخلخل مؤثر، تراوایی، کوکریجینگ، شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم، اعتبارسنجی.

مقدمه

به منظور بررسی گسترش جانبی پارامترهای دخیل در کنترل کیفیت مخزنی لازم است اطلاعات حاصل از چاه و داده‌های لرزه‌ای با هم تلفیق شوند تا بتوان یک مدل سه‌بعدی از مخزن بدست آورد. روش‌های مختلفی برای بررسی چگونگی توزیع داده‌ها وجود دارد. آمار کلاسیک یکی از روش‌های قدیمی برای ارزیابی داده‌ها می‌باشد که مقدار پارامتر مورد نظر در نمونه‌ها را در نظر گرفته و به موقعیت نمونه‌ها و توزیع آنها توجهی ندارد. بنابراین روش آمار کلاسیک قادر به تخمین مقدار یک نمونه با مختصات معلوم و با استفاده از مقادیر معلوم نقاط اطراف آن نخواهد بود. همچنین ممکن است بعضی از ساختارهای موجود بین داده‌ها توسط ابزارهای استفاده شده در آمار کلاسیک، خود را بروز ندهند [۶]. یکی از راه‌حل‌های موجود بکارگیری روش‌های زمین‌آماری است. در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، ساختار فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر ارتباط فضایی موجود که شامل فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌ها می‌باشد می‌تواند در قالب‌های ریاضی بیان شود که به آن ساختار فضایی می‌گویند [۳]. امروزه علم زمین‌آمار در مطالعات و مدل‌سازی مخازن هیدروکربوری با گسترش روزافزونی مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از عواملی که منجر به رشد روزافزون این علم شده است، ماهیت داده‌های مخزنی می‌باشد، بطوریکه داده‌های پتروفیزیکی نظیر تخلخل و تراوایی به عنوان داده‌هایی معرفی می‌شوند که در فضای مخزن از خود ساختار فضایی نشان می‌دهند. همچنین این روش به دلیل تمایل بیشتر به درک ساختار مخزنی، ساخت مدل واقع‌بینانه‌تر، امکان ارائه کمیت خطا و عدم قطعیت و همچنین بهبود مدیریت سرمایه و توسعه میادین نفت و گاز به عنوان روشی مطلوب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵، ۱، ۱۴].

مدل‌سازی پارامترهای پتروفیزیکی مخازن نظیر تخلخل و تراوایی از دو بخش تشکیل می‌شوند: بخش اول مربوط به مدل ساختمانی بوده که متشکل از مدل چینه‌ای و مدل گسلی است و بخش دوم مربوط به توزیع پارامترهای مخزنی در فضای هندسی مدل شده با استفاده از روش‌های زمین‌آماری می‌باشد [۱]. مدل‌سازی زمین‌آماری خواص مخزن با استفاده از دو روش قطعی^۱ و احتمالی^۲ انجام می‌شود. روش قطعی مانند کریجینگ، یک روش درونیابی خطی است که بهترین تخمینگر خطی نااریب را برای پارامترهایی که تغییرات و ساختار فضایی دارند، فراهم می‌کند. این روش برای تخمین مکان‌هایی که نمونه‌برداری انجام نشده است، استفاده می‌شود. در این روش هدف محاسبه پارامترهای تابع توزیع احتمال (نظیر میانگین) بر اساس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری یا اندازه‌گیری است. برخلاف کریجینگ در شبهه‌سازی زمین‌آماری که جزو روش‌های احتمالی است، هدف کمینه کردن واریانس خطای محلی نمی‌باشد بلکه بر روی تولید مجدد هیستوگرام نمونه‌ها و مدل واریوگرام با لحاظ کردن مقادیر داده‌ها متمرکز می‌شود. بر خلاف تمام روش‌های تخمینی مبتنی بر میانگین، شبهه‌سازی زمین‌آماری به عنوان الگوریتمی برای تعدیل اثر هموارسازی در روش‌های مبتنی بر میانگین استفاده می‌شود. زیرا روش‌های قطعی همچون کریجینگ علی‌رغم ارزیابی دقیق، تغییرپذیری‌های موجود را هموار می‌کند. بنابراین شبهه‌سازی زمین‌آماری برای مواردی که لازم است تغییرپذیری فضایی از میدان اندازه‌گیری شده حفظ شود، نسبت به روش قطعی همچون کریجینگ ارجحیت دارد [۷، ۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷].

مطالعات بسیاری در زمینه مدل‌سازی استاتیک و مدل‌سازی سه بعدی پارامترهای مخزنی صورت گرفته است. محسنی و همکاران (۱۳۸۹) [۱۲] برای مدل‌سازی سه بعدی مخزن سازند آسماری در یکی از میادین حوضه زاگرس از روش‌های

^۱Deterministic

^۲ Stochastic

زمین‌آماری کریجینگ و احتمالی استفاده کردند. شعبانی و همکاران (۱۳۹۰) [۱۰] با استفاده از روش شبیه‌سازی متوالی گوسی، مدل سه بعدی پتروفیزیکی مخزن سروک در میدان نفتی آزادگان را بدست آوردند. سلیمی دلشاد و همکاران (۱۳۹۲) [۸] از چهار روش مختلف زمین‌آماری کریجینگ، کوکریجینگ هم مختصات، شبیه‌سازی گوسی متوالی و شبیه‌سازی گوسی متوالی توام برای تخمین و شبیه‌سازی سه بعدی تخلخل مخزن در یکی از میداین کربناته جنوب غرب ایران استفاده کردند. در نهایت با مقایسه نتایج حاصل، از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی توام برای مدل‌سازی تخلخل استفاده کردند. پیامنی و همکاران (۱۳۹۲) [۲] از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی برای مدل‌سازی تخلخل و تراوایی در میدان گازی پارس جنوبی استفاده نمودند. دوستی ایرانی و همکاران (۱۳۹۴) [۵] از روش شبیه‌سازی متوالی توام با هدف مدل‌سازی سه بعدی پتروفیزیکی دو زون در بخش شرقی میدان نفتی اهواز استفاده کردند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) [۶] با استفاده از تحلیل‌های آماری، توزیع خواص پتروفیزیکی سازند کربناته فهلیان واقع در یکی از میداین جنوب ایران را بررسی کردند و در نهایت با استفاده از روش زمین‌آماری کوکریجینگ تخلخل موثر و روش شبیه‌سازی متوالی توام مدل توزیع تراوایی را بدست آوردند. فردلزرسانی و همکاران (۱۳۹۵) [۱۱] از روش شبیه‌سازی گوسی متوالی برای مدل‌سازی تخلخل در یکی از میداین نفتی خلیج فارس استفاده کردند. همتی نیک و همکاران (۱۳۹۶) [۱۴] از روش شبیه‌سازی متوالی توام برای مدل‌سازی سه بعدی زمین‌شناسی سازندهای ایلام و سروک در یکی از میداین نفتی ایران استفاده کردند.

روابط زمین‌آماری در نرم‌افزارهای تخصصی برای مدل‌سازی مخزن گنجانده شده‌اند. این نرم‌افزارها یک دید سه بعدی از وجوه مختلف مخزن اعم از زمین‌شناسی و ساختمان مخزن، دینامیک سیالات و چاه‌ها در اختیار می‌گذارند [۱۸]. نرم‌افزاری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، نرم‌افزار پترل محصول شرکت شلومبرژه می‌باشد که امکان ساخت مدل سه‌بعدی و تلفیق نگارهای پتروفیزیکی، اطلاعات زمین‌شناسی، داده‌های لرزه‌ای و داده‌های مغزه را در یک مطالعه فراهم می‌کند.

زمین‌شناسی و داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی پس از برانبارش، حجم سه بعدی وارون‌سازی لرزه‌ای، نگارهای چاه‌پیمایی و ارزیابی‌های پتروفیزیکی شامل تخلخل و تخمین لاگ تراوایی در این میدان استفاده شده است. تعداد کل چاه‌های موجود در این میدان ۱۵ حلقه می‌باشد، اما بدلیل اینکه در تمام چاه‌ها لاگ تخلخل و تراوایی وجود ندارد، تنها ۷ حلقه چاه مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه‌های هم‌تراز عمقی (UGS) از افق سروک میانی و داریان موجود می‌باشد. سرسازندهای لافان، سروک میانی، احمدی، سروک تحتانی، کژدمی، داریان و گدوان نیز موجود است.

سازند سروک با سن کرتاسه میانی در این میدان شامل سه بخش سروک میانی، احمدی و مدود می‌باشد. بخش سروک میانی غالباً از آهک نسبتاً تمیز به همراه آهک دولومیتی تشکیل شده است. بخش احمدی از سنگ آهک دولومیتی و بخش مدود شامل آهک مارلی و دولومیت می‌باشد [۱۳]. ستون چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. بخش مخزنی سازند سروک در این میدان، بخش سروک میانی می‌باشد.

STRATIGRAPHY		SECTION		
AG	FORMATIO	LITHOLOG	DESCRIPTIO	
E	Sea Water			
PLEISTOCEN E	BOTTOM SEDIMENT		Limestone ? (*)	
MIO-PLIOCENE	FARS		Limestone, marls and anhydrite	
PALEOGENE	EOCENE	JAHNUM	Dolomite and some anhydrite	
		RUS	Dolomite and anhydrite?	
	PALEOCENE	JAHNUM/PABDEH	Dolomite, some anhydrite and cherts at base	
UP. CRET.	SANTONIAN TO MAESTRICH.	ARUMA	GURPI ILAM	Shaly dolomite and cherts Dolomite and limestone
	CENOMANIAN	WASA	MIDDLE-SARVAK	Limestone, some dolomitic limestone, and marl
MID. CRET.	ALBIAN	WASA	AHMADI MAUDDU	Dolomitic limestone Dolomitic and marly limestone
			KAZHDUMI	Shale
LOWER CRETACEOUS	APTIAN	THAMAMA	DARIYAN	Pelletoidal limestone and some marls
	BARREMIAN TO HAUTERIVIAN		GADVAN	Limestone and shale
			UPPER-FAHLIYAN	Pelletoidal limestone
	VALANGINIAN		MIDDLE-FAHLIYAN	Limestone and dolomitic limestone (cherty at base)
	BERRIASIAN		LOWER-FAHLIYAN	Limestone dolomite
UPPER JURASSIC	TITHONIAN TO KIMMERIDG.		HIT H	Anhydrite and some dolomite Dolomite interbedded with anhydrite
			SURMEH	Dolomite and limestone Dolomite and limestone Dolomite and dolomitic limestone with marl and chert at base
MIDDLE JURASSIC	BAJOCIAN TO CALLOVIAN			Limestone and dolomitic limestone (pellety at base) Pelletal limestone
	SINEMURIAN TO			Dolomite, limestone Limestone with marl

شکل (۱) ستون چینه‌شناسی میدان مورد مطالعه. بخش مخزنی سازند سروک با کادر قرمز مشخص شده است (گزارش زمین‌شناسی شرکت ملی نفت ایران).

روش تحقیق

فرآیند مدل‌سازی با استفاده از تمام روش‌های زمین‌آماری شامل دو مرحله کلی ساخت هندسه مخزن و شبکه‌بندی آن (تهیه مدل ساختمانی و شبکه‌بندی مخزن) و آنالیز داده‌های پتروفیزیکی (بزرگ مقیاس^۳ کردن، حذف روند و نرمال‌سازی، ساخت واریوگرام و در نهایت ایجاد مدل سه‌بعدی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری) می‌باشد [۱۰]. در این قسمت مراحل انجام شده و نتایج حاصل از آن توضیح داده می‌شود.

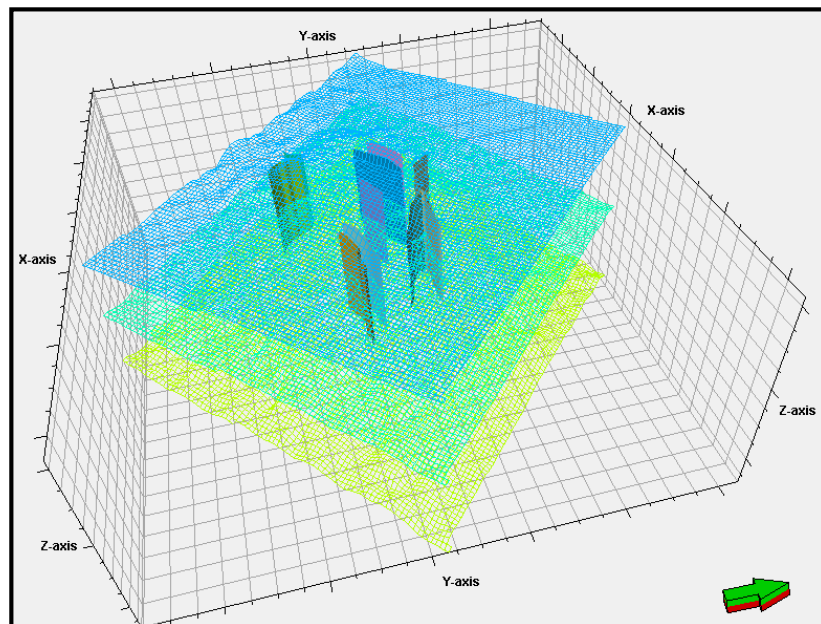
³ Scale up

مدل‌سازی ساختمانی و شبکه‌بندی مخزن

مدل ساختمانی در واقع چارچوب زمین‌شناسی مخزن می‌باشد که در توصیف مخازن نقش مهمی را ایفا می‌کند. در واقع با ساخت اسکلت مخزن و شبکه‌بندی آن، کلیه اطلاعات ساختمانی بصورت سه‌بعدی قابل رویت است. برای این منظور پس از بارگذاری داده‌ها در نرم‌افزار پترل، ابتدا گسل‌های موجود در میدان تفسیر و سپس وارد مدل شده است. در مرحله بعد پس از تعیین محدوده پروژه، مخزن شبکه‌بندی شده است. برای مدل‌سازی ساختمانی و پتروفیزیکی، لازم است که مخزن به سلول‌های کوچکتری تقسیم شود. مدل شبکه‌بندی مخزن از سلول‌های سه‌بعدی تشکیل شده است که هر سلول از این شبکه دربرگیرنده میانگینی از پارامترهای پتروفیزیکی مخزن می‌باشد [۱۹]. این شبکه سه‌بعدی امکان تلفیق داده‌های ساختمانی و پارامترهای پتروفیزیکی را برای ساخت مدل واقعی فراهم می‌کند. بر اساس فواصل شبکه و تعداد آنها و همچنین داده‌های پتروفیزیکی موجود، می‌توان در سلول‌هایی که مقدار ندارند، این پارامترهای پتروفیزیکی را با روش زمین‌آماری تخمین زد. در این تحقیق، ابعاد سلول‌های شبکه در راستای X و Y 100×100 مترمربع و در راستای Z در بخش مخزنی خطیاً برابر با ۱ متر و در بخش‌های غیر مخزنی ۳ متر می‌باشد. در شکل (۲) گسل مدل‌شده به همراه شبکه-بندی سلول‌ها نمایش داده شده است. افق‌های زمین‌شناسی مدل‌شده در راستای X و Y در شکل (۳-الف) و لایه‌بندی انجام شده در راستای قائم در شکل (۳-ب) آورده شده است.

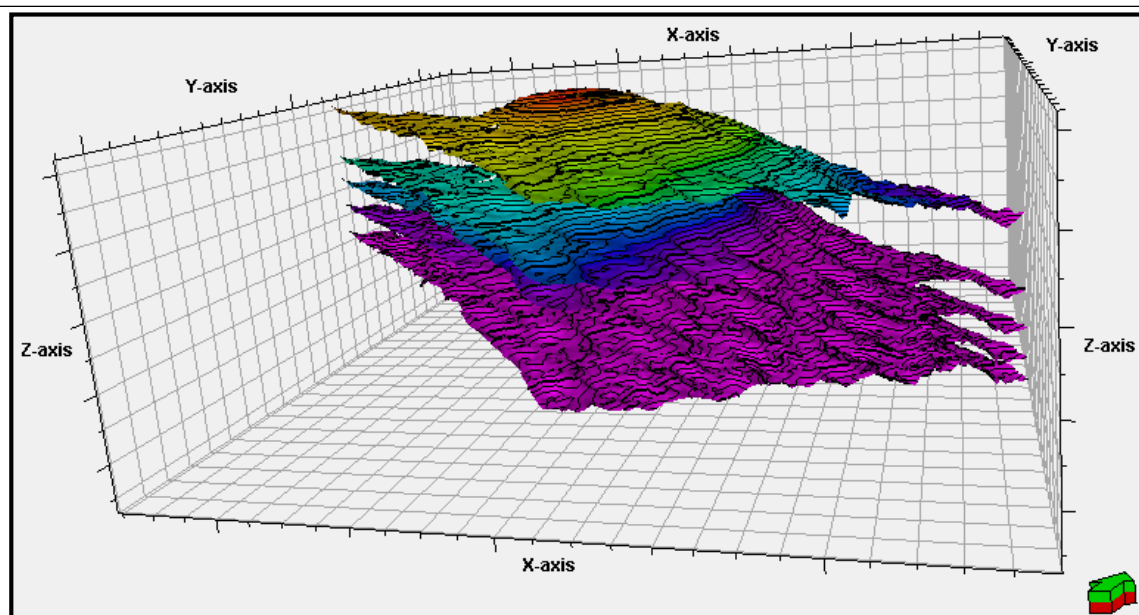
آنالیز داده‌های پتروفیزیکی

در این مرحله ابتدا نگارهای تخلخل موثر و تراوایی در محل چاه بزرگ مقیاس شده‌اند. هدف از بزرگ مقیاس کردن این است که به سلول‌هایی از شبکه سه بعدی که در آن نگارهای چاه‌پیمایی وجود دارد، مقدار تعلق گیرد. این عمل با میانگین-گیری مقادیر لاگ در هر سلول انجام می‌شود که در نهایت برای هر سلول تنها یک مقدار اختصاص می‌یابد. برای بزرگ مقیاس کردن نگار تخلخل موثر و تراوایی به ترتیب از میانگین‌گیری حسابی و هندسی استفاده شده است (شکل ۴).

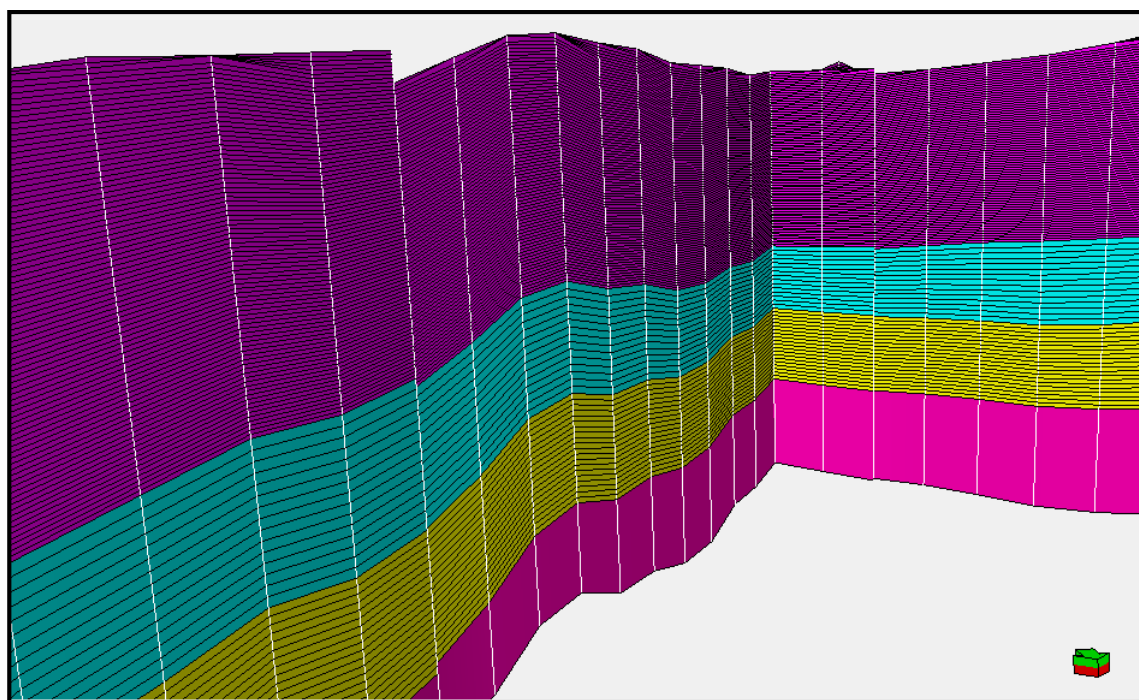


شکل (۲) گسل مدل‌شده به همراه شبکه‌بندی.

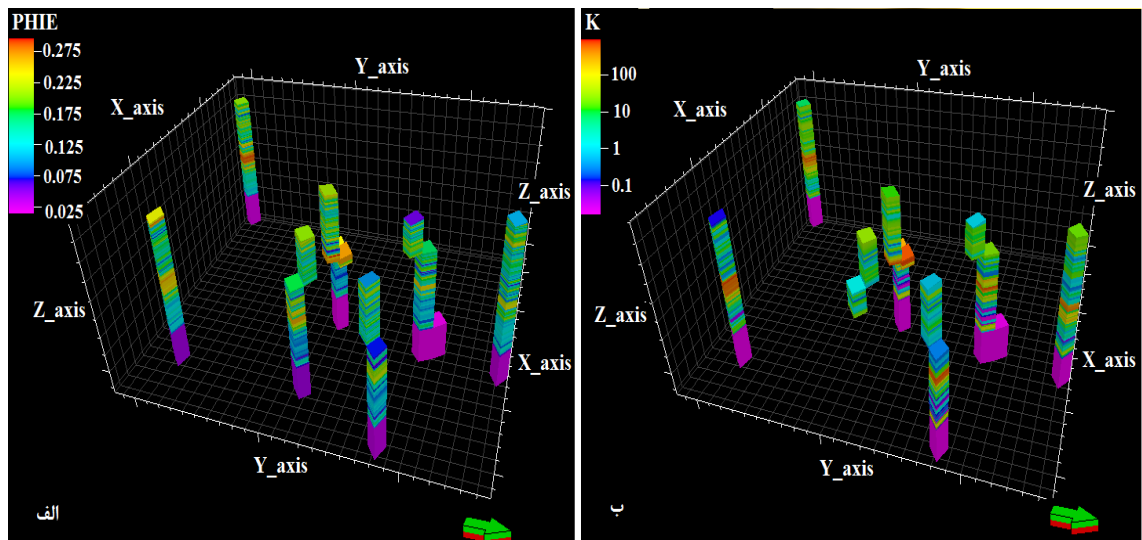
شبیه سازی پارامترهای مخزنی تخلخل و تراوایی با استفاده از روش شبیه سازی گوسی



شکل (۳-الف) افق‌های زمین‌شناسی مدل‌شده در شبکه سلولی.

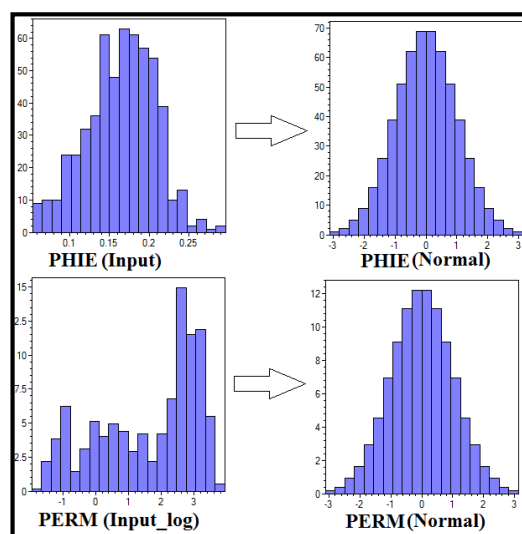


شکل (۳-ب) لایه‌بندی انجام شده در قالب شبکه سلولی.



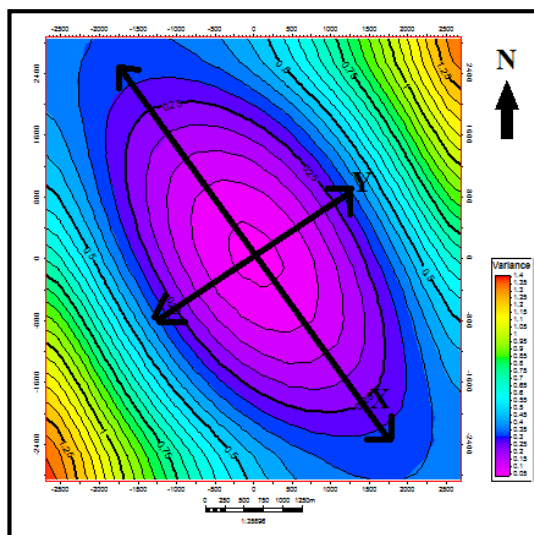
شکل (۴) درشت‌نمایی نگار تخلخل (الف) و نگار تراوایی (ب).

در مرحله بعد با استفاده از نگارهای بزرگ مقیاس شده واریوگرافی انجام شده است. قبل از انجام واریوگرافی لازم است تا داده‌ها به لحاظ پایایی و نوع توزیع مورد بررسی قرار گیرند. علت این امر، شرط لازم در وجود پایایی (عدم وجود روند در داده‌ها) و توزیع نرمال داده‌ها هنگام استفاده از روش‌های زمین‌آماري است. فعالیت‌های تکتونیکی نظیر گسل‌خوردگی و چین‌خوردگی منجر به وجود روند در داده‌ها می‌شود. وجود روند در داده‌ها باعث می‌شود که واریوگرام در محدوده مورد بررسی به یک سقف معین نرسد. برای بررسی وجود روند ابتدا داده‌ها نرمال شوند. استفاده از داده‌هایی با توزیع غیر نرمال، منجر به خطای سیستماتیک در محاسبات زمین‌آماري می‌شود. در توزیع نرمال، داده‌ها دارای میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می‌باشد و هیستوگرام آنها بصورت زنگوله‌ای می‌باشد. لازم به توضیح است که برای نرمال‌سازی تخلخل موثر از روش نرمال‌اسکور و برای تراوایی ابتدا از روش لگاریتمیک و سپس از روش نرمال‌اسکور استفاده شده است. شکل (۵) هیستوگرام توزیع تخلخل موثر و تراوایی را قبل و بعد از نرمال‌سازی در بخش مخزنی سروک میانی نشان می‌دهد. پس از نرمال‌سازی، پایایی داده‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت که روند مشخصی مشاهده نشده است. یعنی داده‌های تخلخل و تراوایی بصورت پایا می‌باشند.



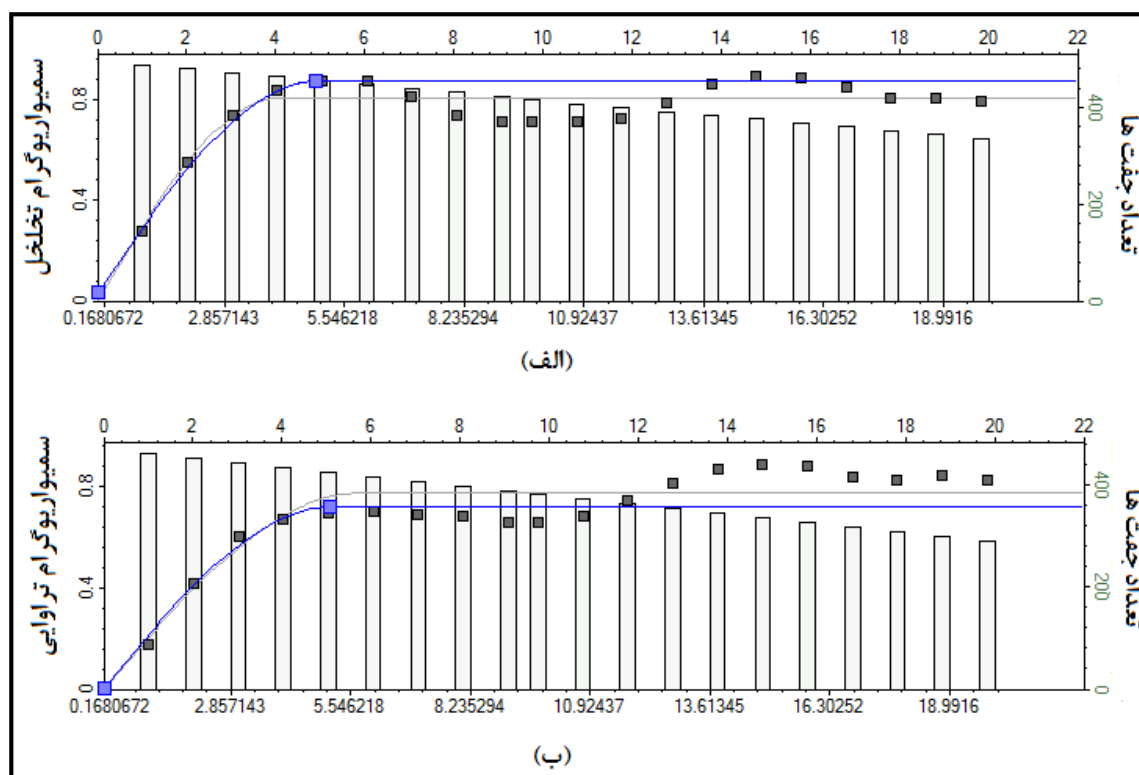
شکل (۵) نرمال سازی داده های تخلخل (بالا) و تراوایی (پایین) در بخش سروک میانی.

پس از نرمال سازی و بررسی پایایی داده ها، نوبت به بررسی ساختار فضایی داده ها می رسد. ابزاری که برای این منظور در محاسبات آماری مورد استفاده قرار می گیرد، واریوگرام می باشد [۳]. در واقع واریوگرام تغییرپذیری داده ها را نسبت به افزایش فاصله نشان می دهد که یک محور آن مقادیر تغییرپذیری (واریانس) و محور دیگر آن فاصله می باشد [۹]. برای این منظور ابتدا واریوگرام در جهت Z و در محل چاه ترسیم می شود. بدلیل اینکه فواصل نمونه برداری در محل چاه نسبت به جهات افقی کمتر می باشد، مقدار اثر قطعه ای^۴ که حاصل برون یابی مدل واریوگرام بر روی داده های تجربی در این جهت می باشد (عرض از مبدا محور واریانس در واریوگرام) برای جهات دیگر نیز مورد استفاده قرار می گیرد. از نظر تئوری مقدار واریوگرام به ازای فاصله صفر، باید به حداقل مقدار خود یعنی صفر تنزل یابد. ولی در عمل در واریوگرام های تجربی چنین شرایطی وجود ندارد. به مقدار واریوگرام در فاصله صفر اثر قطعه ای می گویند که می تواند به دلیل حضور مولفه های تصادفی و خطای نمونه برداری و آماده سازی داده ها باشد [۳]. پس از بررسی ساختار فضایی در راستای قائم و تعیین اثر قطعه ای، واریوگرام افقی بدون تغییر اثر قطعه ای، در جهات بیشترین (محور اصلی - X) و کمترین (محور فرعی - Y) همسانگردی رسم می شود. برای صرفه جویی در زمان جهت تعیین محورهای اصلی و فرعی به جای رسم تعداد زیاد واریوگرام در جهات مختلف، از نقشه واریانس امیدانس صوتی در بخش مخزنی سروک میانی استفاده شده است (شکل ۶). بنابراین همانطور که مشاهده می شود بیشترین پیوستگی فضایی (کمترین واریانس) در راستای شمال غرب-جنوب شرق و کمترین پیوستگی فضایی (بیشترین واریانس) در راستای عمود بر آن (شمال شرق-جنوب غرب) می باشد. پس از تعیین جهات افقی واریوگرام، واریوگرام پارامترهای پتروفیزیکی تخلخل و تراوایی برای تعیین پیوستگی فضایی این پارامترها ترسیم شده است. شکل (۷) واریوگرام قائم مربوط به پارامترهای پتروفیزیکی تخلخل و تراوایی و شکل (۸) واریوگرام افقی در جهت بیشترین پیوستگی فضایی را نشان می دهد. در جدول (۱) نتایج واریوگرافی انجام شده برای پارامترهای پتروفیزیکی مورد نظر آورده شده است.

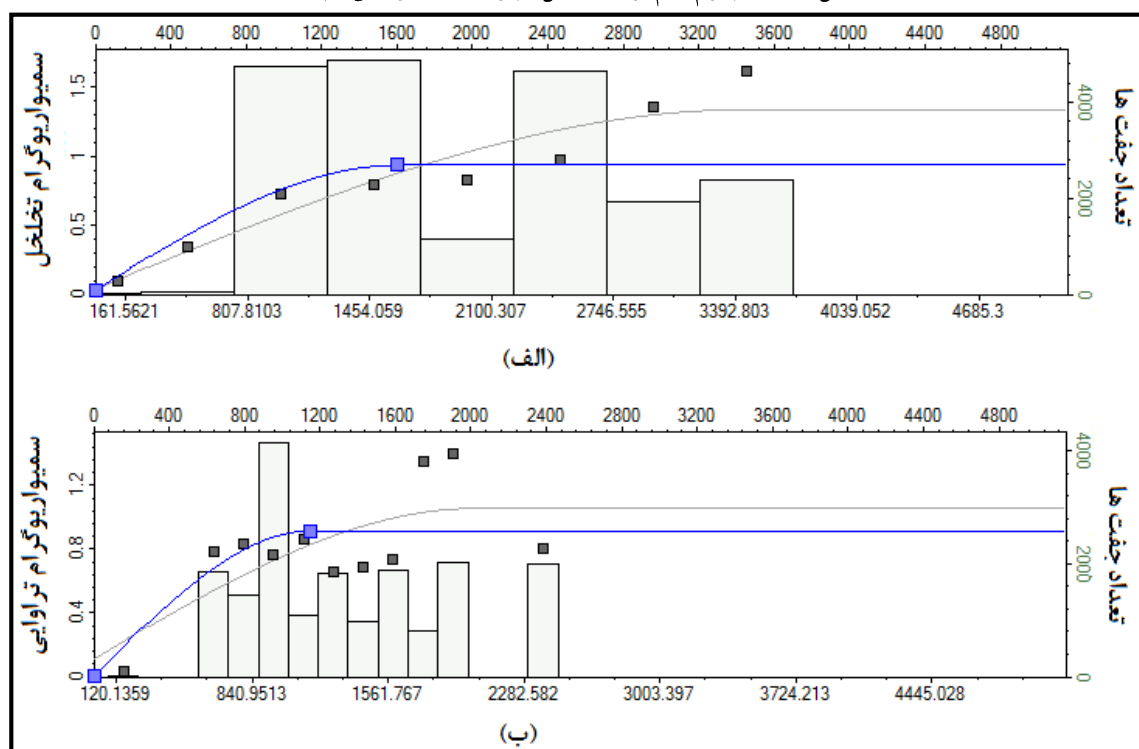


شکل (۶) نقشه واریانس امیدانس صوتی در افق مخزنی سروک میانی برای تعیین جهات اصلی و فرعی واریوگرامها.

⁴ Nugget



شکل (۷) واریوگرام قائم برای تخلخل موثر (الف) و تراوایی (ب).



شکل (۸) واریوگرام افقی در جهت بیشترین پیوستگی فضایی برای تخلخل (الف) و تراوایی (ب).

جدول (۱) نتایج واریوگرافی انجام شده و مشخصات بیضی ناهمسانگردی در لایه مخزنی سروک میانی.

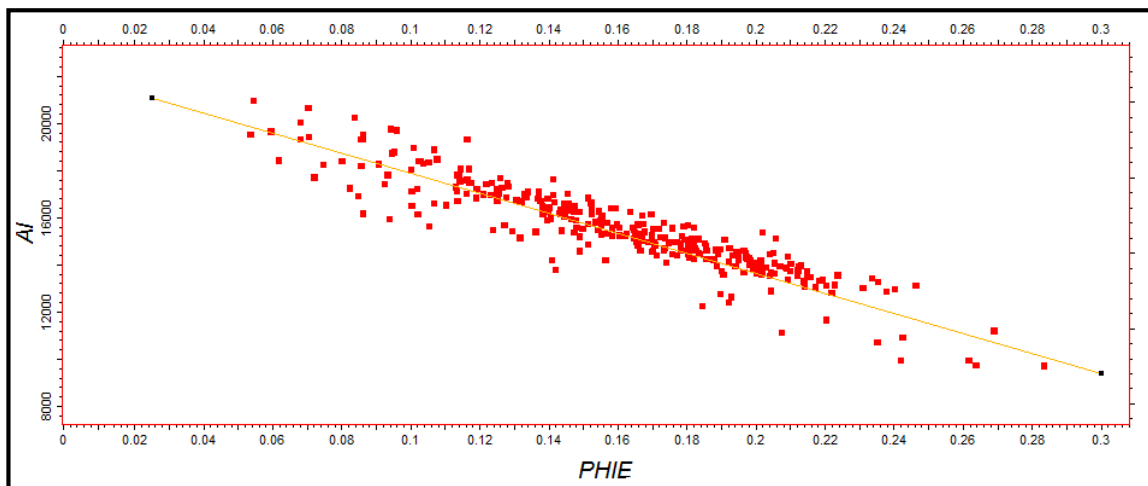
پارامتر	مدل واریوگرام	شعاع تاثیر (متر)	سقف % ²	اثر قطعه- ای % ²	قطر بزرگ (متر)	قطر کوچک (متر)	جهت قطر بزرگ (درجه)	جهت قطر کوچک (درجه)
تخلخل موثر	کروی	۳۴۵۳	۱	۰,۰۳۲	۱۶۰۱,۱	۵۹۰,۶	۳۱۵	۲۲۵
تراوایی	کروی	۲۰۲۳	۱	۰,۰۰۴	۱۱۴۸,۸	۹۶۱,۰۴۴	۳۱۵	۲۲۵

شبیه سازی تخلخل موثر و تراوایی

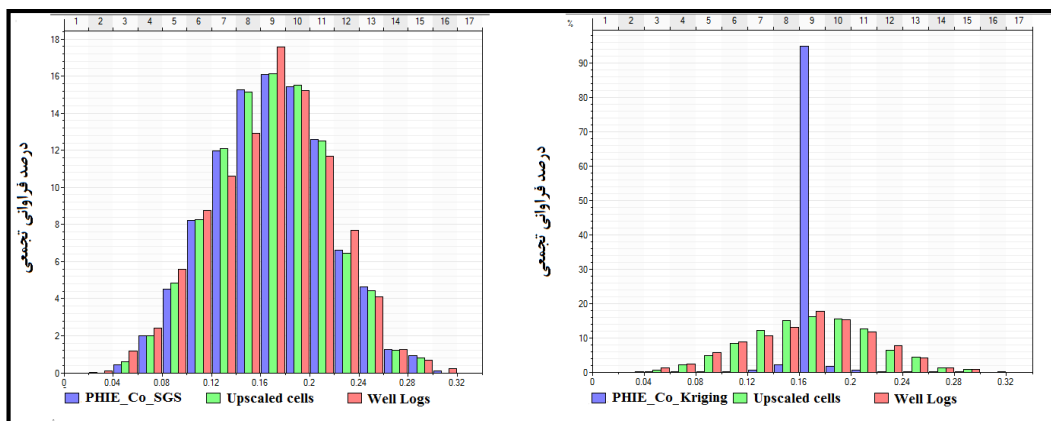
پس از انجام واریوگرافی و تعیین بیضوی ناهمسانگردی، با توجه به ارتباط خطی بین داده تخلخل موثر و نشانگر امپدانس صوتی حاصل از وارونسازی لرزه‌ای (شکل ۹)، تخلخل موثر با دو روش کوکریجینگ و شبیه سازی گوسی متوالی توأم تخمین زده شد. در این روش‌ها داده تخلخل بزرگ مقیاس شده به عنوان داده اصلی و داده وارونسازی لرزه‌ای نیز در حکم متغیر ثانویه استفاده شد. به منظور مقایسه نتایج حاصل از این دو روش، هیستوگرام و مدل سه بعدی ساخته شده مربوط به بخش مخزنی سروک میانی در شکل‌های (۱۰) تا (۱۳) نشان داده شده است. نتایج حاصل از کوکریجینگ بصورت یک مدل قطعی بوده و میانگینی از تخلخل موثر مخزن را نشان می‌دهد در صورتیکه نتایج حاصل از شبیه سازی متوالی توأم یک مدل چند تحقیقی بوده و ناهمسانگردی‌های مربوط به تخلخل موثر را نیز در نظر می‌گیرد. بنابراین با توجه به در نظر گرفتن تغییرپذیری تخلخل موثر در روش شبیه سازی متوالی توأم و همچنین هیستوگرام حاصل از آن که با نگار تخلخل موثر (خام و بزرگ مقیاس شده) انطباق خوبی را نشان می‌دهد، از این روش برای توزیع تخلخل موثر استفاده شده است.

برای تراوایی نیز از روشی مشابه استفاده گردید. برای این منظور ابتدا نمودار متقابل بین تراوایی و مدل تخلخل موثر حاصل از شبیه سازی متوالی توأم رسم شد (شکل ۱۴). با توجه به ارتباط خوب بین این دو پارامتر از دو روش کوکریجینگ و شبیه سازی متوالی توأم استفاده شد. در اینجا داده تراوایی بزرگ مقیاس شده به عنوان داده اصلی و مدل تخلخل موثر حاصل از شبیه سازی در حکم داده ثانویه می‌باشند. هیستوگرام و مدل سه بعدی حاصل از این دو روش در شکل‌های (۱۵) تا (۱۸) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل، از روش شبیه سازی متوالی توأم برای توزیع تراوایی استفاده شده است.

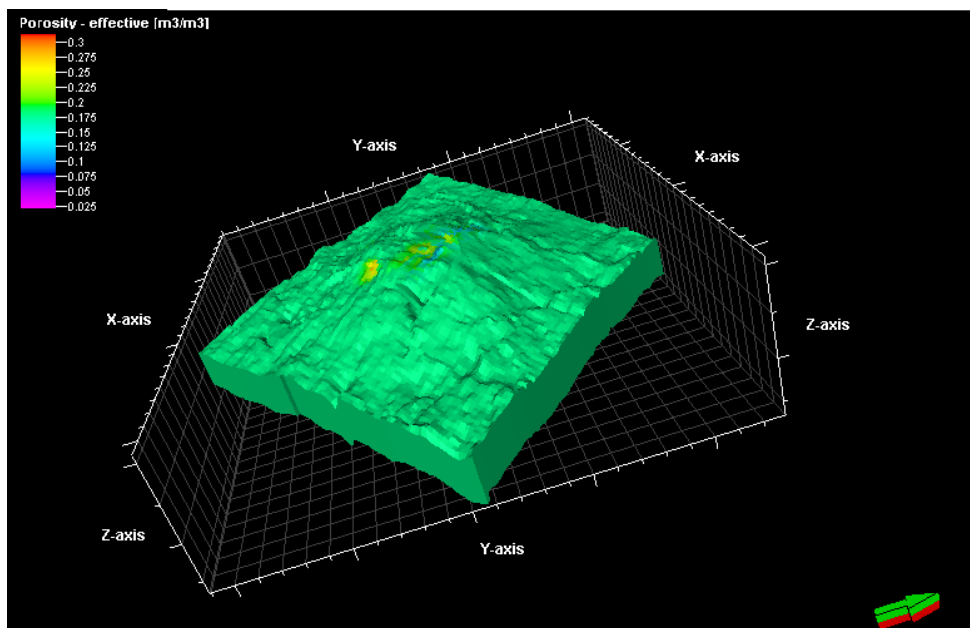
برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه سازی، از دو روش استفاده شده است. در روش اول هیستوگرام مدل ساخته شده با داده نگار چاه و داده نگار بزرگ مقیاس شده، مقایسه می‌شود. در صورتیکه نتایج مدل ساخته شده به داده واقعی نزدیکتر باشد، مدل دقیق‌تر خواهد بود. هیستوگرام تخلخل موثر و تراوایی مربوط به بخش مخزنی سروک میانی در شکل‌های (۱۰) و (۱۵) نشان داده شد. نتایج حاکی از صحت دو مدل تخلخل موثر و تراوایی با استفاده از روش شبیه سازی گوسی متوالی توأم می‌باشد. در روش دوم ابتدا یکی از چاه‌ها را از محاسبات حذف کرده و بعد از ساخت مدل، داده نگار چاه با مدل ساخته شده مقایسه می‌شود. در این تحقیق با حذف چاه 4P از محاسبات، نتایج مدل تخلخل موثر و تراوایی در شکل (۱۹) نشان داده شده است. نتایج حاصل از این روش نیز مؤید صحت شبیه سازی تخلخل موثر و تراوایی می‌باشد.



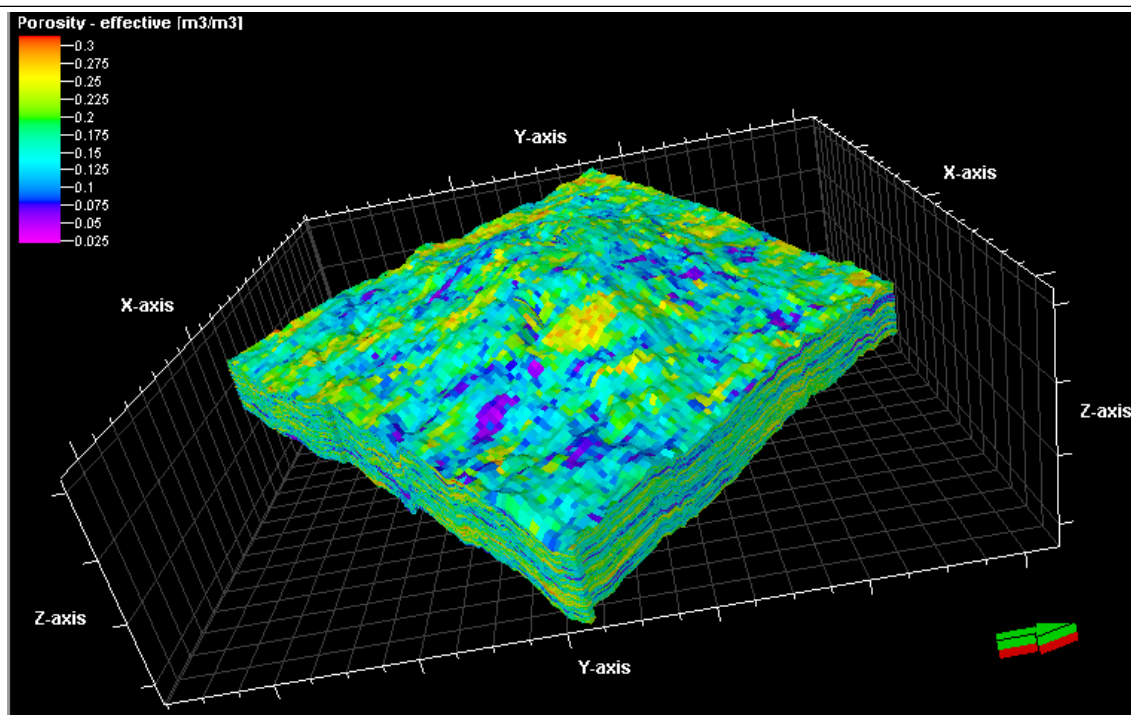
شکل (۹) نمودار متقابل بین داده تخلخل بزرگ مقیاس شده و نشانگر امیدانس صوتی.



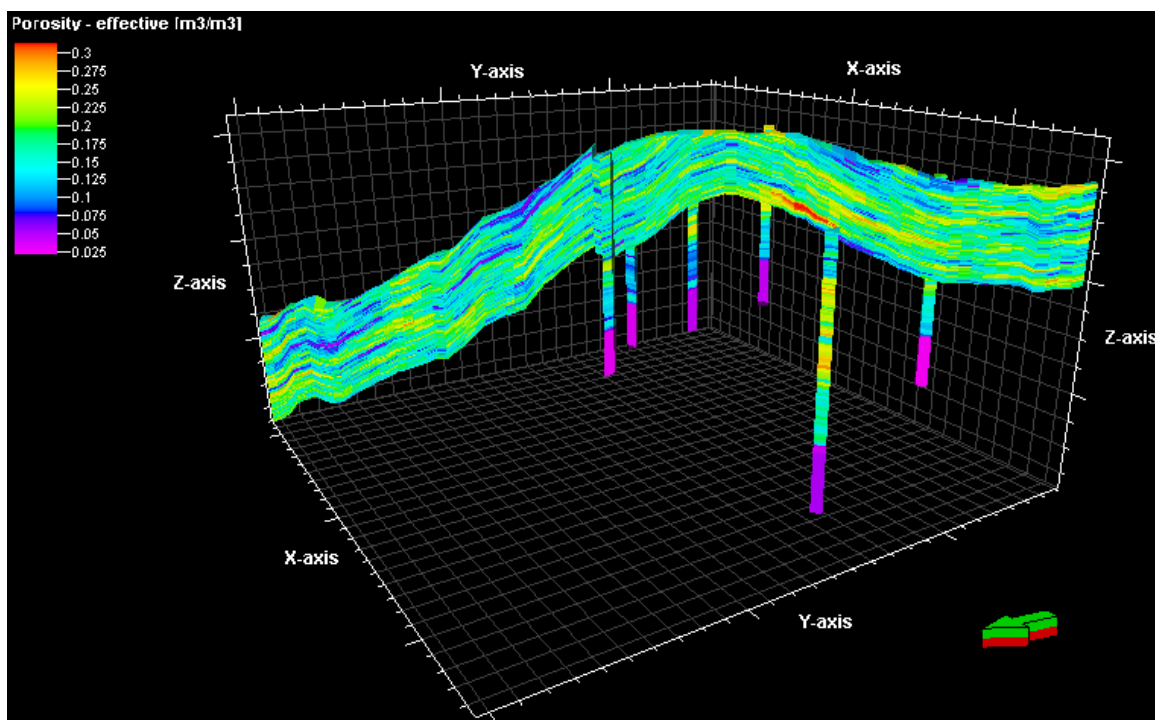
شکل (۱۰) هیستوگرام مربوط به نتایج شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم (چپ) و کوکریجینگ (راست) تخلخل موثر در بخش مخزنی سروک میانی.



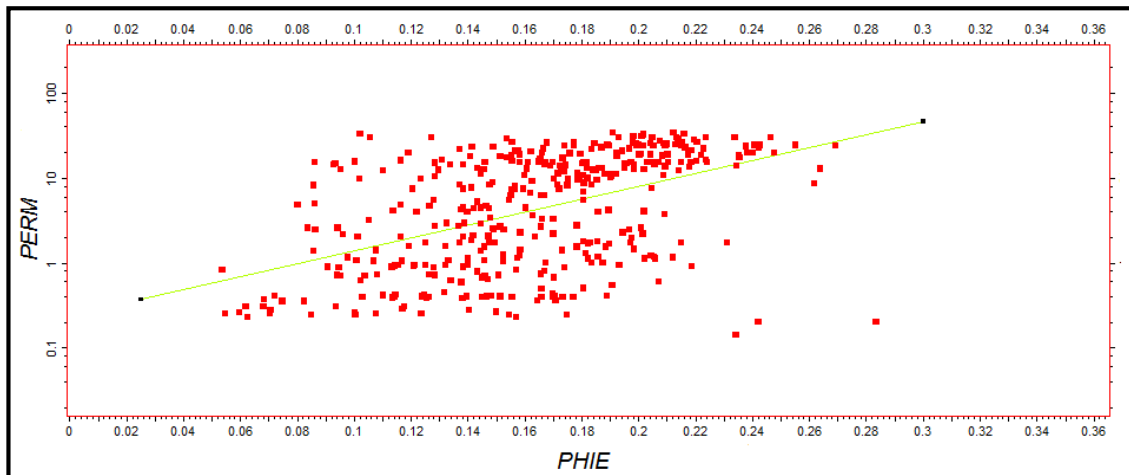
شکل (۱۱) تخلخل موثر مدل شده با استفاده از روش کوکریجینگ.



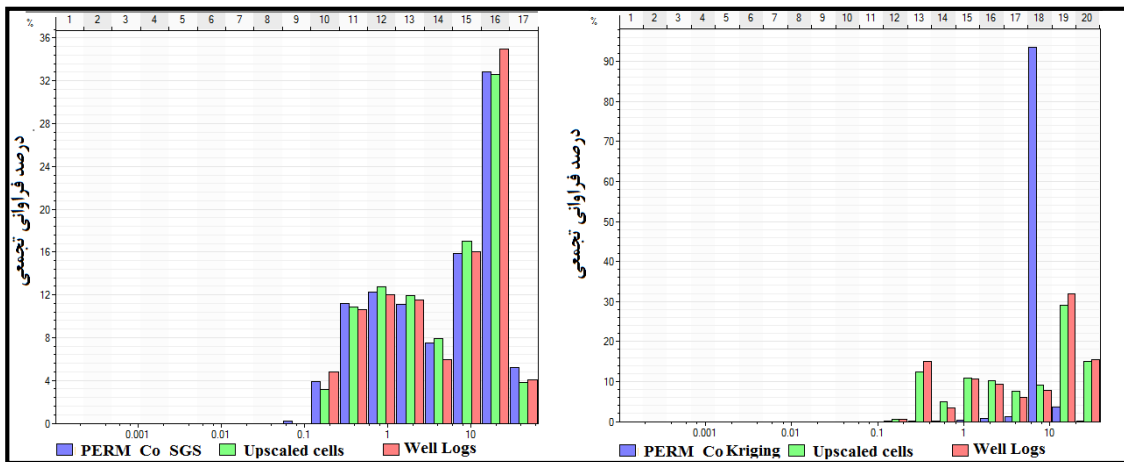
شکل (۱۲) تخلخل موثر شبیه سازی شده با استفاده از روش شبیه سازی گوسی متوالی توأم.



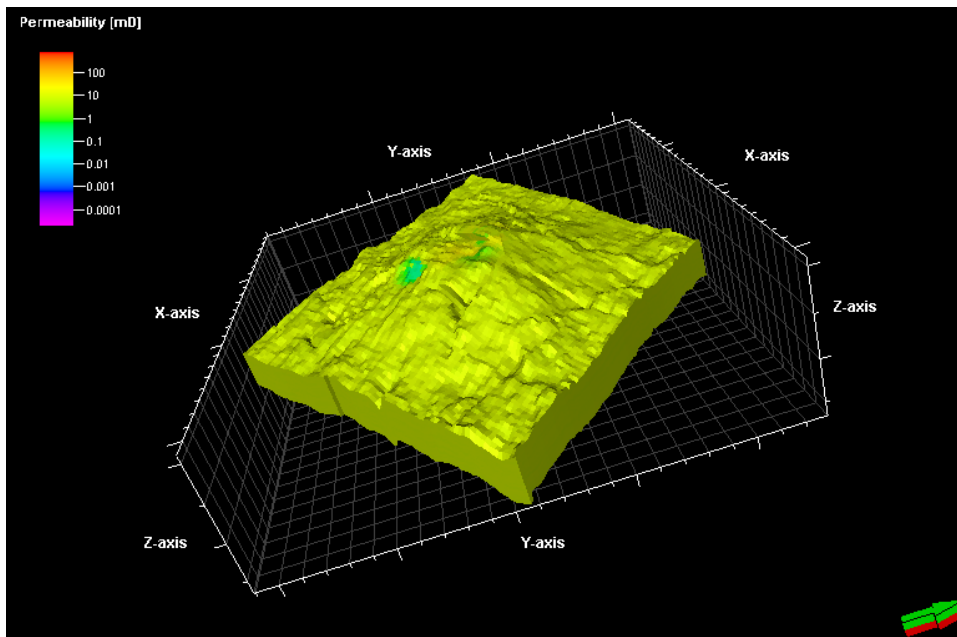
شکل (۱۳) مقطع عرضی از تخلخل موثر شبیه سازی شده.



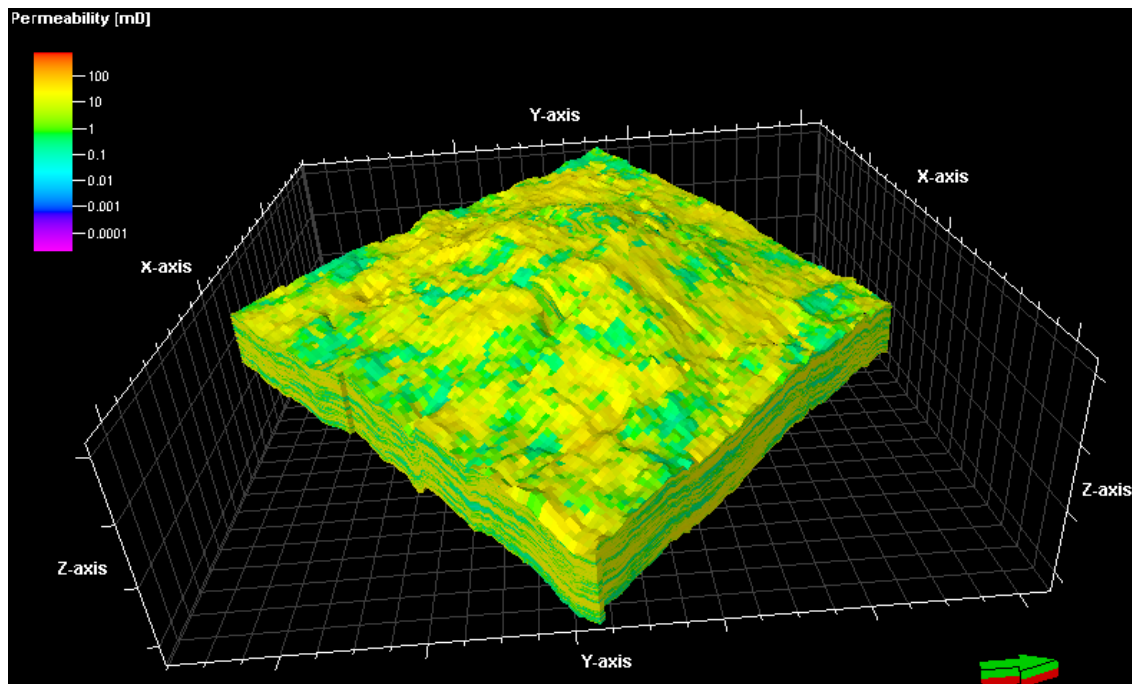
شکل (۱۴) نمودار متقابل بین داده تراوایی بزرگ مقیاس شده و مدل تخلخل موثر حاصل از شبیه‌سازی.



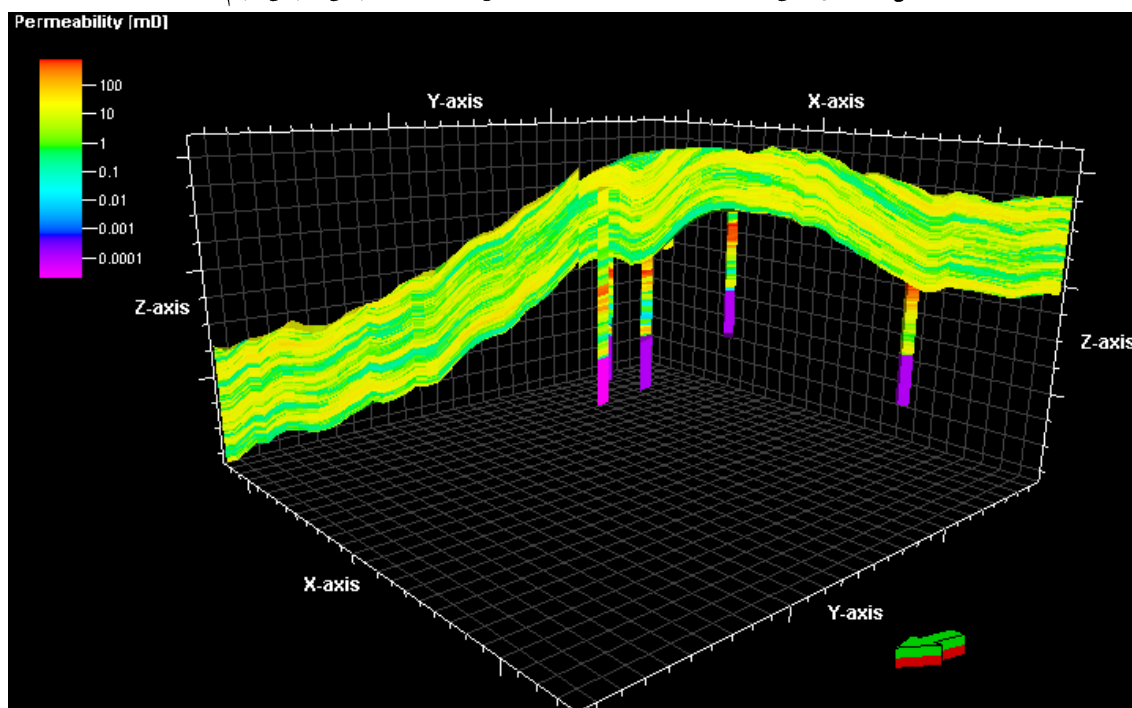
شکل (۱۵) هیستوگرام مربوط به نتایج شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم (چپ) و کوکریجینگ (راست) تراوایی در بخش مخزنی سروک میانی.



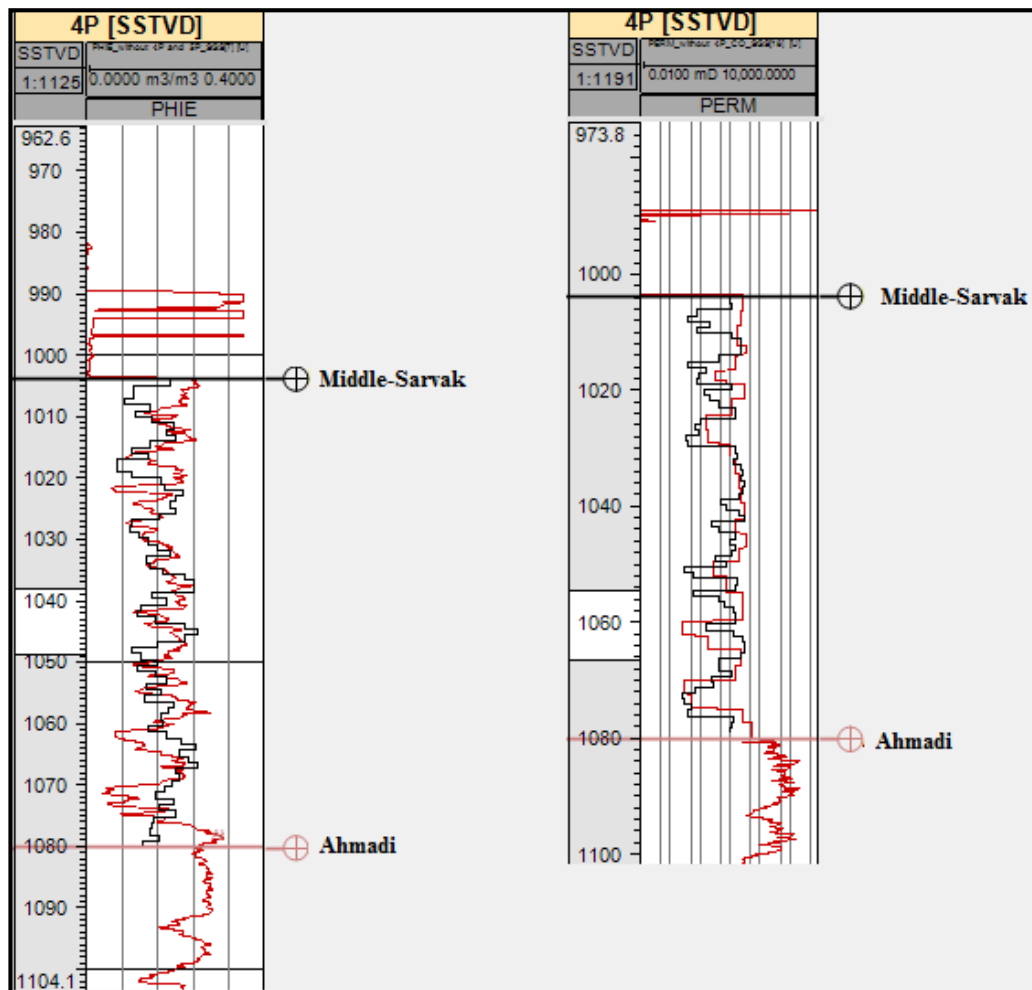
شکل (۱۶) تراوایی مدل شده با استفاده از روش کوکریجینگ.



شکل (۱۷) تراوایی شبیه سازی شده با استفاده از روش شبیه سازی گوسی متوالی توأم.



شکل (۱۸) مقطع عرضی از تراوایی شبیه سازی شده.



شکل (۱۹) نتایج اعتبارسنجی شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم برای تخلخل موثر (چپ) و تراوایی (راست) در محل چاه 4P رنگ قرمز مربوط به نگار اندازه‌گیری شده و رنگ سیاه مربوط به مدل شبیه‌سازی شده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله از روش‌های زمین‌آماري کورکریجینگ و شبیه‌سازی متوالی توأم برای مدل‌سازی سه بعدی تخلخل موثر و تراوایی استفاده شده است. برای این منظور پس از تفسیر گسل‌های موجود، ابتدا مخزن شبکه‌بندی شده است. سپس افق‌های زمین‌شناسی و گسل‌های تفسیر شده به محل خود در مدل منتقل شده و مدل‌سازی ساختمانی مخزن انجام شده است. در مرحله بعد برای مدل‌سازی پتروفیزیکی، ابتدا داده‌های چاه بزرگ مقیاس شده به موقعیت خود در مدل منتقل شده است. با توجه به همبستگی خوب میان داده تخلخل موثر و نشانگر امیدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای، تخلخل موثر با دو روش کورکریجینگ و شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم تخمین زده شد. با توجه به در نظر گرفتن ناهمسانگردی تخلخل موثر در روش شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم و همچنین هیستوگرام حاصل از آن، از این روش برای شبیه‌سازی تخلخل موثر در بخش مخزنی سروک میانی استفاده شده است. در مرحله بعد، از تخلخل موثر شبیه‌سازی شده به عنوان متغیر ثانویه برای تخمین تراوایی با دو روش کورکریجینگ و شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم استفاده شد. نتایج حاصل از مدل سه بعدی و هیستوگرام تراوایی نیز موید کارآمد بودن روش شبیه‌سازی گوسی متوالی توأم در تخمین تراوایی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

از داوران محترم مقاله آقایان دکتر عزت اله کاظم زاده و دکتر سید علی معلمی تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

- [۱]- امیدوار، آ.، کمالی، م. ر. و کاظم زاده، ع. ا.، ۱۳۹۲، شبیه سازی سه بعدی استاتیکی و تخمین پارامترهای مخزنی با به کارگیری روش های زمین آماری در یکی از مخازن ایران: پژوهش نفت، سال بیست و سوم، شماره ۷۵، صفحه ۵۷-۴۹.
- [۳]- پیامی، ک.، کدخدایی، ع.، حمدی، ب.، حسنی گیو، م.، رشیدی نژاد، آ.، ۱۳۹۲، مدل سازی سه بعدی تخلخل و تراوایی با استفاده از روش های زمین آماری در یکی از میداین گازی خلیج فارس، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۹، صفحه ۲۰-۳۰.
- [۳]- حسنی پاک، ع.، ۱۳۸۹، زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.
- [۴]- خواجه، م. م. و آقایی، م.، ۱۳۸۷، تخمین و شبیه سازی توزیع فضایی تراوایی یکی از مخازن جنوب ایران با استفاده از روش های زمین آماری، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۵۳، صفحه ۵۹-۶۲.
- [۵]- دوستی ایرانی، ر.، کدخدایی، ع.، پیروی، م.، رحیم کریمی، م.، دوستی ایرانی، م.، ۱۳۹۴، مدل سازی سه بعدی زمین شناسی دو زون در بخش شرقی میدان نفتی اهواز، مجله زمین شناسی نفت ایران، سال پنجم، شماره ۹، صفحه ۲۲-۳۳.
- [۶]- رحیمی، ر.، باقری، م.، مسیحی، م.، ۱۳۹۴، مشخصه سازی و تخمین خواص مخزنی یکی از مخازن کربناته جنوب ایران با استفاده از روش های زمین آماری (کریجینگ و SGS)، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۲۶، ص ۷۶-۸۳.
- [۷]- رندو جی. ام.، ۱۳۷۱، اصول زمین آماری، ترجمه مهندس علی اصغر خدایاری، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی تهران.
- [۸]- سلیمی دلشاد، م.، کاظم زاده، ع.، اصغری، ا.، نادری، ا.، ۱۳۹۲، مدل سازی سه بعدی تخلخل مخزن با استفاده از شبیه سازی توام در یکی از مخازن کربناته جنوب غرب ایران، پژوهش نفت، شماره ۵۷، صفحه ۱۳۸-۱۵۳.
- [۹]- شعبانی، ف.، ۱۳۸۷، مدل سازی سه بعدی مخزن آسماری میدان نفتی شادگان با استفاده از نرم افزار IRAPRMS؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۱۶ صفحه.
- [۱۰]- شعبانی، ف.، بشیری، غ.، کرامتی، م. و ایزدخواه، م.، ۱۳۹۰، شبیه سازی پارامترهای پتروفیزیکی مخازن هیدروکربنی با استفاده از روش SGS در یکی از میداین جنوب غربی ایران، پژوهش نفت، سال بیست و یکم، شماره ۶۶، صفحه ۵۳-۶۶.
- [۱۱]- فردلرزجانی، س.، کمالی، م.، کدخدایی، ع.، صبحی، ق.، ۱۳۹۵، مدل سازی سه بعدی تخلخل با استفاده از روش شبیه سازی گوسی متوالی در یکی از میداین نفتی خلیج فارس، پژوهش نفت، شماره ۸۷، صفحه ۸۸-۹۵.
- [۱۳]- محسنی، ح.، رحیمی، ز.، رفیعی، ب.، بهزاد، ر.، ظهرا ب زاده، م.، ۱۳۸۹، مدل سازی سه بعدی مخازن کربناته با استفاده از زمین-آمار: مطالعه موردی برای تخمین تخلخل در میدان A حوضه زاگرس (ایران)، پژوهشهای چینه نگاری و رسوب شناسی، سال بیست و ششم، شماره چهارم، صفحه ۱۲۵-۱۴۲.
- [۱۳]- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۳۶ صفحه.
- [۱۴]- همتی نیک، ح.، فضلی، ل.، نظری فرد، م.، طباطبائی رئیس، ه.، ۱۳۹۶، مدل سازی سه بعدی زمین شناسی سازندهای ایلام و سروک در یکی از میداین نفتی، ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۴۸، صفحه ۵۸-۶۵.

[15]- DEUTSCH C. V. and JOURNEL A. G., 1992, GSLIB: Geostatistical Software Library and user's guide: *Oxford University Press, New York*, p. 340.

- [16]- DEUTSCH C. V. and COCKERMAN P. W., 1994, Geostatistical Modeling of Permeability with Annealing Co-simulation (ACS): *Society of Petroleum Engineers*, doi: 10.2118/28413-MS.
- [17]- GOOVAERTS, P., 1997, Geostatistics for Natural Resources Evaluation: *Oxford University Press: New York*, p. 512.
- [18]- ROBINSON A., GRIFFITHS P., 2008, The Future of Geological Modeling in Hydrocarbon Development: *Geological Society of London*, p. 312.
- [19]- SOLEIMANI, B., SHABANI, F., AMIRBAKHTIAR, H., HAGHPARAST, G., 2008, Fault effect at volumetric modeling in Shadegan oilfield using RMS software: *New York Science Journal*, **1**, p. 36.

Simulation of porosity and permeability reservoir parameters by using Co-Sequential Gaussian Simulation method in one of the oil field in The Persian Gulf

Bahareh Fereidooni , Mohammad Mokhtari
* mokhtari@ iiees.ac.ir

Received: September 2017, Accepted: December 2017

Abstract

Estimation of petrophysical parameters of hydrocarbon reservoirs such as porosity and permeability using 3D seismic data is considered as an efficient and effective tool for comprehensive study of reservoirs as well as reservoir management. In this study, which was carried out on one of the oil fields in the Persian Gulf, the aim is to simulate the petrophysical parameters of effective porosity and permeability by using Co-Sequential Gaussian Simulation in part of Middle-Sarvak reservoir. With this simulation, a three-dimensional model of petrophysical reservoir parameters can be presented which is important for simulating fluid flow and identifying areas that are prone with higher reservoir quality. For this purpose, effective porosity and permeability logs of seven wells with a 3D seismic cube and seismic inversion results have been used. After reservoir gridding and creating a structural model, up scaled petrophysical data has entered to a model. For three-dimensional distribution of effective porosity parameter, due to the correlation of effective porosity and acoustic impedance attribute of seismic inversion, up scaled effective porosity logs as the initial data and acoustic impedance attribute of seismic inversion as secondary data have entered using Sequential Gaussian Simulation and Co-Kriging techniques. In order to simulate permeability, due to the good relationship between the effective porosity model obtained by simulating and up scaled permeability log, the effective porosity simulated as a secondary data and up scaled permeability log is used as initial data in Sequential Gaussian Simulation and Co-Kriging techniques. The results of validation indicate the accuracy of the present study and the efficiency of the Sequential Gaussian Simulation method in effective porosity and permeability modeling in this reservoir.

Keywords: Effective porosity, Permeability, Co-Kriging, Co-Sequential Gaussian Simulation, Validation.