

ارائه یک روش جدید برای تخمین خواص مخزن با استفاده از آماره‌های فرکتال در یکی از مخازن نفتی ایران

امیر عباس عسگری^۱؛ غلامرضا بشیری^۲؛ قربانعلی صبحی^۳؛ مهدی بهره مندی^۴

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، askariaa@ripi.ir

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، bashirigh@ripi.ir

۳- پژوهشگاه صنعت نفت، sobhiga@ripi.ir

۴- پژوهشگاه صنعت نفت، bahremandim@ripi.ir

(دریافت ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۵، پذیرش ۱۰ اردیبهشت ۱۳۸۶)

چکیده

توصیف صحیح ناهمگنی‌های خواص مخزن (تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری) نقش مهمی در پیش‌بینی درست تولید هیدروکربن در مخازن زیرزمینی دارد. متأسفانه نمی‌توان تنها با چند چاه اکتشافی توزیعات و ناهمگنی‌های خواص مخزن را در مقیاس بزرگ حجم مخزن شناخت. در چنین مواردی یکی از روش‌های بسیار مؤثر و جدید در توصیف و شناسایی توزیعات خواص مخزن در صورت نا کار آمدی روش‌های زمین آماری، استفاده از روش‌های فرکتالی است.

در این مقاله سعی شده است با ترکیب روش‌های هندسه فرکتال (برای توصیف جزئیات) و زمین آمار (برای توصیف کلیات) توزیعات واقع بینانه خواص مخزن برای سه چاه مجاور در یک مخزن نفتی بزرگ در جنوب ایران آزمایش و تولید شود. روال این تحقیق بدین صورت است که ابتدا با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی و مغزه‌های سنگی، واحدهای سنگی مخزن که شامل کربنات، ماسه‌سنگ و شیل است با بکارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری تفکیک و ارتباط آنها در بین این سه چاه مشخص شد. سپس مقادیر تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری برای هر چاه محاسبه و در صورت لزوم تخمین زده شد. در هر یک از نواحی تفکیک شده طول همبستگی‌های عمودی و قائم، با بکارگیری آنالیز واریوگرام و مقادیر ناهمگنی‌های عددی با استفاده از آنالیز R/S بدست آمد. سرانجام توزیعات دو بعدی احتمال‌پذیر خواص مخزن در فاصله بین چاه‌های مورد مطالعه با ترکیب روش کریجینگ و نویس‌های فرکتالی آماری بطور واقع بینانه‌ای تولید شد. در مرحله کنترل نیز نتیجه نسبتاً خوبی مخصوصاً برای پارامتر تخلخل با خطای نسبی ۴/۹۳ درصد بدست آمد.

در نهایت با استفاده از توزیعات فرکتالی بدست آمده می‌توان ناهمگنی‌های خواص مخزن را با دقت بیشتری از لحاظ ارتباط دقیق بین منافذ نمایش و از آن بعنوان ورودی مناسب و بهینه در شبیه‌سازی‌های حرکت سیال محیط متخلخل استفاده کرد.

کلمات کلیدی

هندسه فرکتال، آمار چند متغیره، پارامترهای پتروفیزیکی، نفوذپذیری، زمین آمار، مدل‌سازی احتمال‌پذیر، ناهمگنی‌های مخزن

۱- مقدمه

مسائلی چون عدم تشخیص لایه‌های رسوبی برای حفریک چاه، عدم پیش‌بینی وضعیت مواد تزریق شده در بین لایه‌ها برای مطالعات ازدیاد برداشت و معطلی تولید نفت از چاه بعد از حفاری می‌تواند با عدم شناخت دقیق از طبیعت توزیع خواص پارامترهای مخزن بین چاه‌ها باشند.

تاکنون اهمیت توصیف توزیعات خواص مخزنی بین چاهی در صنعت نفت علی‌رغم رشد وسیع آن به خوبی برای رشته‌های مختلف این صنعت نشان داده نشده است. به این صورت که معمولاً مهندسان مخزن یک شکل ساده‌ای از توزیعات بین چاهی را ارائه می‌دهند و زمین‌شناسان نیز بر روی یک مقیاس خیلی بزرگ کار می‌کنند. در نتیجه هر دو با کار در ناحیه بین چاهی به منظور پیش‌بینی جزئیات و ناهمگنی‌ها، ناآشنا هستند که برای پرکردن این فاصله در چند ساله اخیر از علم زمین آمار استفاده شده است [7, 9].

علم زمین آمار به ارائه توصیفات کمی‌زمین‌شناسی و ارتباط مکانی بین پدیده‌ها در یک محیط آماری می‌پردازد. در مطالعات مخازن حجم و اندازه نمونه‌های برداشت شده قسمت خیلی کوچکی از کل حجم مخزن را دربر می‌گیرد. به‌رحال برآورد حجم ذخیره مخزن با استفاده از یک یا چند چاه خالی از ریسک نبوده و یک عدم قطعیت را در تصمیم‌گیری‌ها ایجاد می‌کند که نقش زمین آمار را در اینجا می‌توان کیفیت دادن به این عدم قطعیت دانست [3].

محققان زیادی چون "آرمسترانگ" مقالات زیادی را در زمینه مزایا و کاربرد انواع روش‌های زمین آماری در توصیف و مدل کردن پدیده‌ها ارائه داده‌اند [1]. عیب بزرگ زمین آمار محدودیت در تعبیر و تفسیر کلیت پدیده از جمله بیان جزئیات مدل در مقیاس‌های کوچک است. نویسندگان متعددی چون "قدر" سعی کرده‌اند که جزئیات یک مدل را با اضافه کردن یک سری اعداد تصادفی که از ماهیت اصلی داده‌ها نشأت گرفته‌اند، پیش بینی کنند [6]. بدین ترتیب هندسه فرکتال مطرح شد. اصطلاح فرکتال اولین بار توسط "ماندلبرات" در سال ۱۹۷۵ بعنوان اشیاء هندسی‌ای که دارای ابعاد کسری هستند، بیان شد [10]. وی بیان کرد که «برها نمی‌توانند شکل کروی داشته باشند، کوه‌ها نمی‌توانند بصورت مخروط باشند، خطوط ساحلی شکل دایره ندارد، نه پوست درخت صاف است و نه مسیر نور در یک خط مستقیم است». به این صورت که این اشیاء دارای بعد صحیح هندسی نیستند بلکه دارای ابعاد کسری‌اند و تغییراتشان در هر مقیاسی یکسان است و با دقیق کردن مقیاس مشاهده هرگز به سطح نهایی جزئیات نمی‌رسیم. لذا با این مقدمه

می‌توان ادعا کرد که مخازن هیدروکربنی هم به شکل توده‌های استوانه‌ای منظم نیستند و می‌توان جزئیات آنها را در قالب هندسه فرکتال مطالعه کرد.

نویسندگان و محققان زیادی چون "هاردی و بی‌یر" [7]، "پاچیسکی" [12]، "دیمری" [5] و "بلنکیسوپ" [2] به کاربردهای هندسه فرکتال در علوم زمین پرداخته و راجع به آن بحث کرده‌اند. در این باره آقایان "هاردی و بی‌یر" به ارائه یک روش مدل-سازی احتمال‌پذیر^۱ در توصیف خواص توزیعات پارامتری‌های مخزن (تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری) در فضای بین چاهی پرداختند. آنها با استفاده از ترکیب دو مدل با مقیاس-های مختلف مدل‌های واقع بینانه‌ای ایجاد کردند. مدل اول آنها برای ایجاد ساختارهای بزرگ مقیاس استفاده از روش‌های درون‌یابی معمولی (غیر زمین آماری) و مدل دوم آنها نیز در ایجاد ساختارهای کوچک مقیاس استفاده از آماره‌های فرکتالی (fGn & fBm) بود.

بطور کلی برای پیش‌بینی و آنالیز پدیده‌های طبیعی مخصوصاً اگر از این پدیده‌ها اطلاعات چندانی در دست نباشد و یا محدود باشند باید آنها را مدل‌سازی کرد. این مدل‌سازی باید دو هدف اصلی را در برداشته باشد اول اینکه خصوصیات کلی پدیده را بیان کند و دوم اینکه ویژگی‌های ماکروسکوپی پدیده را نیز کنترل کند [2].

در این مقاله سعی شده است با در نظر گرفتن کارهای محققان قبلی یک روش جدید از ترکیب زمین آمار (مطالعه همبستگی مکانی داده‌ها در جهت‌های عمودی و افقی) و هندسه فرکتال (مطالعه جزئیات ناهمگنی‌ها با داده‌های موجود پتروفیزیکی) برای توصیف دقیق‌تر پارامترهای مخزن در فاصله بین چاه‌ها ارائه شود. به این صورت که در مقیاس بزرگتر، شکل کلی پدیده مدل می‌شود یعنی با استفاده از یک روش درون‌یابی زمین آماری مثل کرجینگ مقادیر داده‌ها در مکان‌های بدون نمونه-برداری درون‌یابی می‌شود و در مقیاس کوچک‌تر جزئیاتی که بر اساس توابع تصادفی و ماهیت درونی داده‌های اصلی (آماره‌های فرکتال) بدست آمده‌اند به مدل اولیه اضافه می‌شود.

برای این منظور از داده‌های سه چاه واقعی در یکی از مخازن بزرگ نفتی جنوب ایران استفاده شده است که برای انجام چنین روشی کل مخزن مورد مطالعه به نواحی و لایه‌های همگن‌تر که در کارهای گذشته به آن توجه نشده بود، تفکیک شد. این کار باعث کاهش خطا و رسیدن به یک نتیجه بهتر برای توصیف بهینه مخزن می‌شود.

۲- تئوری و روش‌شناسی

همانطور که اشاره شد هندسه فرکتال، شاخه‌ای از علم ریاضیات است و بر روی اشیایی که خاصیت مقیاس‌پذیری دارند، بحث می‌شود. اشیایی که برخی از خواص آنها بر اثر تغییر مقیاس، متشابه و ثابت بمانند این مجموعه اشیاء دارای یک بعد کسری (غیر صحیح) هستند. بطور کلی فرکتال‌ها به توصیف پدیده‌های غیر منظم می‌پردازند و جزئیات را در همه مقیاس‌ها نشان می‌دهند. بیشتر فرکتال‌ها خاصیت خود تشابهی^۲ دارند یعنی اجزاء بزرگ‌تر مشابه اجزاء کوچک‌تر در مقیاس‌های مختلف است. فرکتال‌های خودتشابه در طبیعت به ندرت وجود دارند (مانند برگ سرخس). اشیاء فرکتال را هم می‌توان بر اساس خواص آماری آنها تعریف کرد. این چنین فرکتال‌هایی را فرکتال‌های تصادفی یا آماری و یا خود تمایل^۳ می‌نامند (مثل ابرها و حوضه‌های آبریز). در این نوع فرکتال‌ها می‌توان خواص متشابهی را در جهت‌های مختلف و با تغییر مقیاس‌های متفاوت برای آن شیء بدست آورد. به این ترتیب که مقدار میانگین یک ویژگی از یک شیء ممکن است بصورت تابع توان^۴ تغییر مقیاس دهد. به عنوان مثال میانگین، انحراف معیار، کوواریانس یا چگالی طیفی یک پدیده فرکتال، بصورت یک تابع توانی مقیاس‌پذیر و قابل تکرار است [6,7].

بعد از شناخت وجود و نوع فرکتال یک پدیده باید درجه ناهمگنی یک خاصیت از آن پدیده را با استفاده از روش‌های مختلف مشخص کرد. این مقدار همیشه از بعد توپولوژی (بعد اقلیدسی) آن شیء بزرگ‌تر بوده و به صورت کسری بیان می‌شود. این مقدار را بعد فرکتال آن شیء می‌نامند.

اکثر مشاهدات طبیعی در مطالعات مخازن زیرزمینی شامل مجموعه‌ای از نمونه‌های حاصل از اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی (مانند تخلخل، چگالی، مقاومت ویژه سازند، فشار و غیره) در یک زمان یا مکان مشخص در طول مسیر چاه می‌باشد. قطعاً مقادیر این نمونه‌ها دارای تغییراتی است که با مطالعه آنها می‌توان به رفتارهای نامعلوم در مقیاس‌های کوچک و بزرگ پی برد [8]. روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌تواند این سری‌های زمانی را در حوضه‌های زمان، مکان و فرکانس مورد مطالعه قرار دهد. روشی که در اینجا برای آنالیز خاصیت فرکتالی داده‌های لاگ‌های پتروفیزیکی مورد استفاده قرار گرفته روش آنالیز R/S° است که با شناسایی پارامتری به نام ضریب هورست^۵ و مرتبط ساختن آن با بعد فرکتال طبق معادله زیر به توصیف سری زمانی داده‌ها می‌پردازد [6].

$$H = d + 1 - D \quad (1)$$

که در آن

H ضریب هورست، d بعد اقلیدسی شیء و D بعد فرکتال شیء است.

بررسی‌ها نشان داده است که اکثر پارامترها در لاگ‌های چاه-پیمایی در جهت قائم خاصیت fGn^7 و در جهت افقی خاصیت fBm^4 دارند [6,7]. بدین ترتیب می‌توان از این دو به عنوان انتخاب مدل برای توصیف توزیعات خواص مخزن در جهت‌های مختلف استفاده کرد.

روش‌های زمین آماری برای توصیف پدیده‌ها و مدل کردن آنها مناسب هستند و لیکن نمی‌توانند به تعبیر و تفسیر در کلیت پدیده‌ها از جمله بیان جزئیات مدل در مقیاس‌های کوچک بپردازند. هدف این مقاله معرفی یک مدل سازی احتمال پذیر بر پایه هندسه فرکتال و زمین آمار برای توصیف توزیعات پارامتری شاخص مخزن (تخلخل و نفوذپذیری)، در فضای بین چاه‌های نمونه‌گیری است.

کریچینگ، به عنوان یک روش واسطه‌یابی زمین آماری، تأثیر هموارسازی^۹ روی داده‌ها دارد و نمی‌تواند جزئیات و ناهمگنی‌های مکانی را نمایش دهد. برای مثال با مقایسه طول یک منحنی درون‌یابی شده و طول واقعی آن منحنی، می‌توان پی برد که منحنی درون‌یابی شده طولش کمتر و محدود به یک فاصله است. همچنین در یک لایه متخلخل رفتار حرکتی متفاوتی در صورت همگنی و ناهمگنی آن دیده می‌شود. اینجاست که از طبیعت احتمال‌پذیر مدل واقعی، استفاده می‌شود. با ایجاد توابع تصادفی که تصورات مشابهی را با تغییرات مکانی داده‌های واقعی داشته و لیکن از لحاظ شکل متفاوت از همدیگرند می‌توان واقعیت‌ها را شبیه‌سازی کرده و با تولید نسخه‌های فراوان از آن عدم قطعیت مکانی و ریسک را تخمین زد. یعنی هر جا که مدل‌های زمین آماری برای توصیف پارامترهای مخزن ناتوان بودند بتوان از یک تئوری دیگر که جزئیات مدل را نمایان سازد، استفاده کرد.

موضوع اصلی این مقاله ساخت یک مدل مطابق با واقعیت برای توزیعات خواص مخزن است که برای توصیف بهتر، آن را در دو مقیاس متفاوت بررسی می‌کند. ابتدا مخزن در یک مقیاس بزرگ برای شناخت شکل و ساختار کلی آن بر اساس روش کریچینگ (یک روش زمین آماری) مدل می‌شود که این حاصل از اوریوگرافی خواص مخزن در جهت‌های قائم و افق در هر یک از نواحی تفکیک شده است. در نهایت برای پی بردن به ناهمگنی‌ها در مقیاس کوچک‌تر توزیع زمین آماری با آماره‌های فرکتالی (نویس fGn) ترکیب و مدل احتمال‌پذیر ایجاد می‌شود.

شرح این دو مرحله به صورت زیر است:

پارامترهای α و β به لحاظ توانی بودن آنها رفتار فرکتالی توزیع نهایی را مشخص می‌کنند که α نشان دهنده لایه‌بندی و β نشان دهنده نویس فرکتال (این همان ضریب هورست است که به بعد فرکتال نسبت داده می‌شود).

و S_x نیز نویس آنیزوتروپی در جهت X را نشان می‌دهد. با تبدیل معکوس فوریه گسسته دو بعدی چگالی طیفی معادله ۲ می‌توان یک نسخه از نویس فرکتالی fGn در حوضه مکان بصورت زیر تولید کرد:

$$g_{j,l} = \sum_{m=0}^{N_x} \sum_{p=0}^{N_z} G_{m,p} e^{2i\pi [(jm/N_x) + (lp/N_z)]} \quad (3)$$

که در آن

i و l شمارش سلول‌ها در جهت افقی و قائم در حوضه فرکانس، m و p شمارش سلول‌ها در جهت افقی و قائم در حوضه مکان، N_x و N_z تعداد کل سلول‌ها در جهت افقی و قائم

و تابع $G_{m,p}$ تبدیل فوریه گسسته تابع $R_{m,p}$ (مربع تابع $S(\omega_x, \omega_z)$) است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G_{m,p} = R_{m,p} e^{i\theta_{m,p}}, \quad R_{m,p}^2 = S(\omega_x, \omega_z) \quad (4)$$

که برای محاسبه $R_{m,p}$ چگالی طیفی معادله ۲ به صورت زیرگسسته می‌شود:

$$R_{m,p}^2 = \frac{1}{[s_x(m)^2 + E_z(p)^2]^\beta} \quad (5)$$

که در آن β برابر ضریب هورست و E_z نیز بیان کننده آنیزوتروپی در جهت قائم است.

قبل از استفاده از آرایه $g_{j,l}$ باید آن را با داده‌های چاه هم مقیاس کرد. برای این کار از واریانس آرایه V_n جهت به مقیاس بردن نویس^{۱۱} استفاده می‌شود که V_n به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V_n = \frac{1}{N_x N_z} \sum_{j=1}^{N_x} \sum_{l=1}^{N_z} (g_{j,l} - \bar{g})^2 \quad (6)$$

که در آن

$$\bar{g} = \frac{1}{N_x N_z} \sum_{j=1}^{N_x} \sum_{l=1}^{N_z} g_{j,l} \quad (7)$$

از آنجایی که مقدار میانگین در آرایه نویس تولید شده برابر صفر می‌باشد، آرایه $F_{j,l}$ به مقیاس برده شده با مقدار نویس دلخواه و میانگین صفر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_{j,l} = g_{j,l} \sqrt{\frac{V}{V_n}} \quad (8)$$

۲-۱- ساخت مدل قطعیت پذیر (بزرگ مقیاس)

مرحله اول، ساخت مدل توصیفی و کلی زمین‌شناسی مخزن است که اسکلت آن توسط اطلاعات لرزه‌ای، لاگ‌های پتروفیزیکی و داده‌های مغزه حاصل می‌شود (در این مطالعه به علت فقدان داده‌های لرزه‌ای از داده‌های لاگ استفاده شد). برای این کار ابتدا کل مخزن بر اساس بازتاب‌های سنگ‌شناسی و رسوبی مربوط به لاگ‌ها به نواحی همگن تقسیم و در بین چاه‌ها با هم مرتبط شدند. سپس در هر یک از نواحی تفکیکی یک مدل زمین آماری به روش کریجینگ برای تولید توزیعات خواص ایجاد شد که در آن ارتباط مکانی داده‌ها با استفاده از آنالیز واریوگرام بدست آمد. این روش یک تعبیر و تفسیر نرم و همواری به صورت کلی و بدون بیان جزئیات و به صورت قطعیت پذیر^{۱۱} از توزیعات بین چاهی ایجاد می‌کند [24, 16].

۲-۲- ساخت جزئیات مدل به صورت احتمال پذیر (کوچک مقیاس)

پس از توصیف ساختار و شکل کلی مخزن توسط زمین آمار، مرحله بعد تعریف و ایجاد ناهمگنی‌های کوچک مقیاس در هر ناحیه تفکیک شده است. برای این کار از روش‌های شبیه‌سازی تصادفی بر مبنای تئوری فرکتال استفاده شد [23] که نتیجه آن تولید نسخه‌های فراوانی از نویس‌های فرکتالی آماری است. این نویس‌ها برای ایجاد توزیعات بین چاهی به مدل کلی مرحله قبل اضافه می‌شود. برای انتخاب بهینه‌ترین مدل نسخه‌های متعدد بدست آمده از لحاظ ارتباط دقیق بین منافذ، می‌توان از شبیه‌سازی‌های خطوط جریان توسط داده‌های تولیدی استفاده و در نهایت مدل‌های بهینه‌تر را مرتب کرد [24, 23]. شکل شماره ۱ نمودار حرکتی این مطالعه را نشان می‌دهد.

تولید نویس‌های فرکتالی (fGn) در جهت قائم (برای تولید مقاطع عرضی)، ابتدا در سال ۱۹۹۴ توسط "هاردی و بی‌یر" با مطالعه بر روی عکس‌های مغزه مطرح شد [7] آنها توانستند یک مدل چگالی طیفی دو بعدی برای مدل‌سازی کامپیوتری عکس‌های مغزه به صورت زیر نشان دهند:

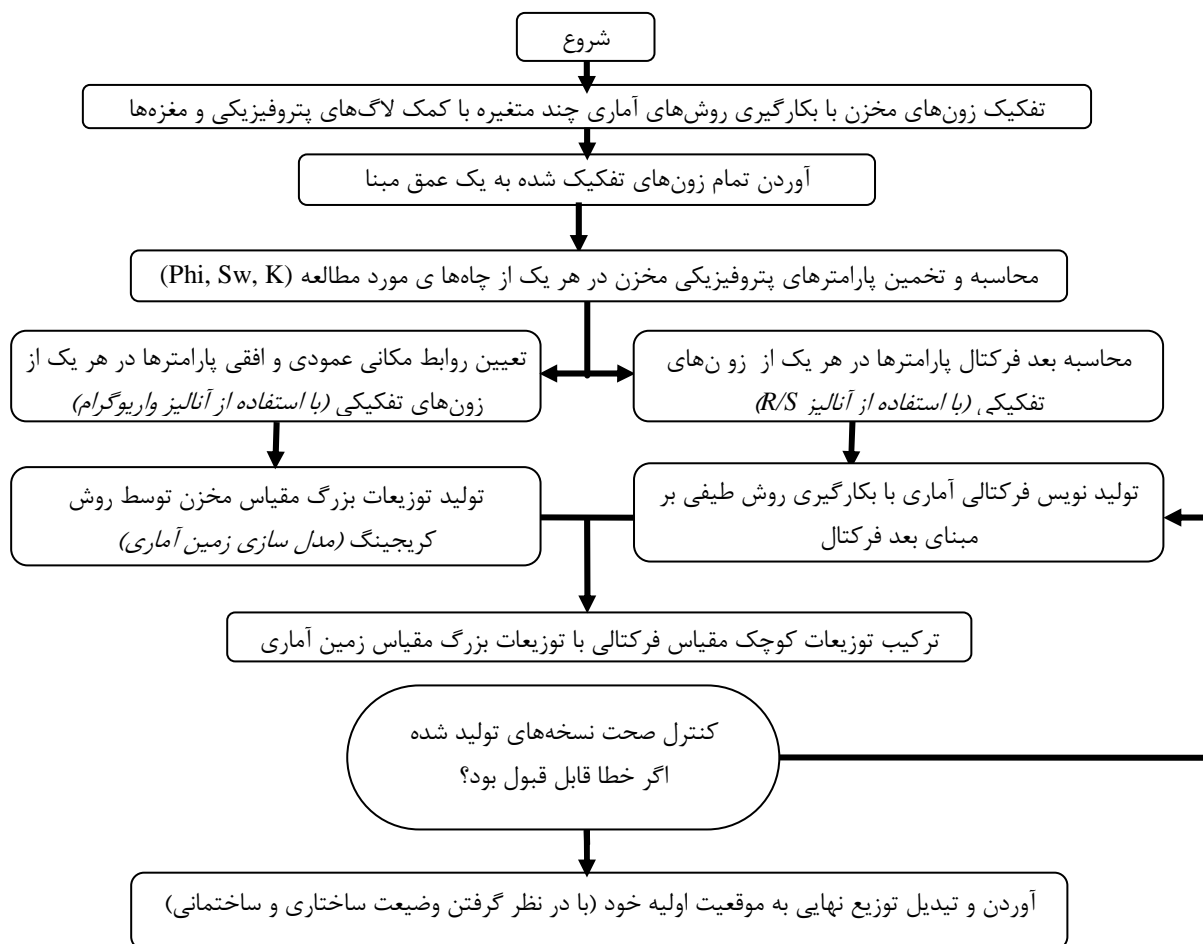
$$S(\omega_x, \omega_z) = ASD \left[\frac{\delta(\omega_x)}{\omega_z^\alpha} + \frac{BSD}{(s_x \omega_x^2 + \omega_z^2)^\beta} \right] \quad (9)$$

که در آن

$S(\omega_x, \omega_z)$ تابع چگالی طیفی با فرکانس‌های زاویه‌ای ω_x و ω_z به ترتیب در جهت‌های x و z .

ASD انحراف معیار نمونه‌های اولیه

BSD نشان دهنده مقدار نسبی نویس و لایه‌بندی



شکل ۱: نمودار حرکتی انجام کار در روش ارائه شده برای تولید توزیعات خواص مخزن با ترکیب روش فرکتال و زمین آمار

پایین نیز به ماسه سنگ تبدیل می‌شود. این مخزن در مناطق کربناته ناهمگن می‌باشد و ضخامت مفید آن حدود ۳۰۰ متر است. طبق مراحل زیر ساخت یک مدل احتمال پذیر حاصل از آماره‌های فرکتالی انجام می‌شود:

۳-۱- جمع‌آوری و آماده‌سازی داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه لاگ‌های پتروفیزیکی و مغزه‌های سه چاه اکتشافی است. این سه چاه در یک راستا به ترتیب به فواصل ۱۳۷۸ متر و ۱۳۰۷ متر از هم قرار گرفته‌اند. داده‌های چاه شماره یک بین اعماق ۲۷۶۲ تا ۳۲۹۵ متر، داده‌های چاه شماره ۲ بین اعماق ۲۶۲۷ تا ۳۱۷۶ متر و داده‌های چاه شماره ۳ نیز بین اعماق ۲۶۸۲ تا ۳۲۴۸ متر واقع شده‌اند.

برای هر یک از این سه چاه یک مجموعه کاملی از لاگ‌های پتروفیزیکی رانده شده است که شامل: قطرسنجی (CALI)، اشعه گاما (CGR)، زمان گذر صوت (DT)، نوترون (NPHI)، اندیس فتوالکتریک (Pef)، جرم مخصوص (RHOB)، مقاومت

سپس این آرایه نویس به مقیاس برده شده به آرایه لایه‌بندی (کریج شده) برای تولید آرایه نهایی اضافه می‌شود:

$$B_{j,l} = A_{j,l} + s_{noise} F_{j,l} \quad (9)$$

با تنظیم فاکتور نویس s_{noise} می‌توان مقدار نویس اضافه شده به آرایه نهایی را تغییر داد.

بدین ترتیب با محاسبه نویس fGn و اضافه کردن آن به مدل زمین آماری که توسط روش کریجینگ بدست آمده، می‌توان یک مدل احتمال پذیر برای ایجاد هر نسخه از توزیعات خواص مخزن همراه با جزئیات تولید کرد.

۳-۲ کاربرد روش ارائه شده در یک مخزن نفتی

این روش پیشنهادی برای یکی از مخازن بزرگ نفتی جنوب ایران در سه چاه مجاور هم، مورد آزمایش قرار گرفت. واحدهای سنگی در برگیرنده این چاه‌ها شامل سنگ آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و شیل است. شکل مخزن مورد نظر بصورت طاق‌دیس‌وار است که قسمت مخزنی آن عمدتاً سنگ آهک و دولومیت با میان لایه‌هایی از شیل و ماسه است و در اعماق

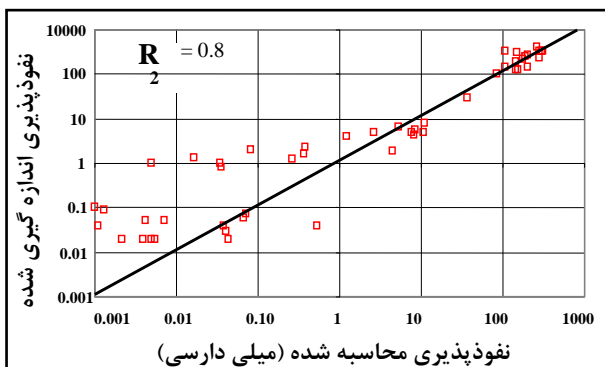
سیستم منافذ در مخازن کربناته پیچیده‌تر از مخازن آواری بوده و برخلاف آن رابطه معنی‌داری بین نفوذپذیری و تخلخل دیده نمی‌شود. روشی که در اینجا برای تخمین نفوذپذیری استفاده شد روش واحدهای حرکتی^{۱۲} است که در آن با استفاده از تشخیص یک پارامتری بنام FZI^{13} که مرتبط با پارامترهای پتروفیزیکی است می‌توان نفوذپذیری را برای تمام نواحی کربناته با دقت بالایی بر اساس معادله "کارنی کارمان" به صورت زیر تخمین زد [19, 13]:

$$k(md) = 1014 FZI^2 [\phi^3 / (1 - \phi^2)] \quad (10)$$

که در آن

k نفوذپذیری برحسب میلی‌داری، FZI شاخص حرکت جریان که از روش شبکه‌های عصبی با استفاده از ترکیب داده‌های مغزه و لاگ تخمین زده می‌شود و ϕ نیز تخلخل برحسب کسر اعشار می‌باشد [14, 22].

برای کنترل اعتبار نتایج، داده‌های پیش‌بینی شده از این روش برحسب داده‌های واقعی بدست آمده از مغزه‌ها مطابق شکل ۲ رسم شد که نتیجه آن قابل قبول با ضریب تشخیص بالای ۰/۸۸ است.



شکل ۲: نفوذپذیری پیش‌بینی شده در برابر نفوذپذیری اندازه‌گیری شده از مغزه‌ها در نواحی کربناته

۳-۳- تفکیک و جدایش لایه‌ها برای همگن‌سازی

در اینجا از روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری که تاکنون بطور جدی از آن در مطالعات مخازن استفاده نشده، برای تفکیک و شناسایی واحدهای سنگی بهره گرفته می‌شود. سرعت و اعتماد بالای تعبیر و تفسیر این روش‌ها توسط نویسندگان زیادی توصیه و بکار گرفته شده است [4, 11].

در این جا به دو تکنیک از روش‌های چند متغیره آماری شامل آنالیز فاکتوری (برای تشخیص روابط میان چندین متغیر و کاهش تعداد متغیرها، بدون از دست دادن اطلاعات مهم) و آنالیز خوشه‌ای (برای طبقه‌بندی و جدایش نمونه‌ها یا متغیرها، بر مبنای همبستگی میان آنها) اشاره و از آنها برای تجزیه و

ویژه ناحیه عمیق (RT)، مقاومت ویژه ناحیه متوسط (RS)، طیف کامل اشعه گاما (SGR)، پتاسیم (K)، توریم (THOR) و اورانیوم (URAN) می‌باشد. همینطور تعداد ۸۷۶ نمونه مغزه با مقادیر آنالیزهای تخلخل و نفوذپذیری در این چاه‌ها موجود می‌باشد.

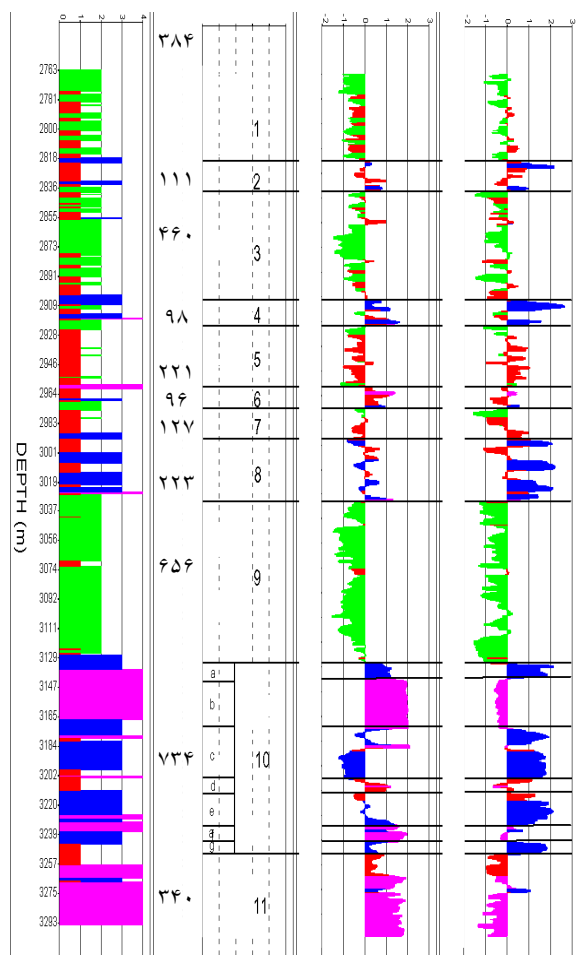
قیل از استفاده از داده‌ها باید آنها مورد کنترل کیفیت قرار بگیرند تا از نتایج حاصله بتوان با اعتماد بیشتری استفاده کرد. ابتدا با استفاده از آماره‌های ساده‌ای چون کمترین، بیشترین، میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی به توصیف کیفی مقادیر متغیرها از نظر تعداد و وضعیت جوامع آماری (منظور وجود چندین واحد سنگی در داده‌ها) پرداخته شد. سپس از بین داده‌ها مقادیر دور افتاده حذف شدند. در نهایت برای شرکت داده‌ها در آنالیز، تمام توزیعات متغیرها مورد نرمال‌سازی و استانداردسازی (تغییر مقدار داده‌ها بین صفر و یک) قرار گرفتند.

۳-۲- محاسبه و تخمین پارامترهای پتروفیزیکی

تخلخل و درجه اشباع آب نشان دهنده وجود هیدروکربن و نفوذپذیری هم نرخ تولید را کنترل می‌کند. پارامترهای تخلخل و درجه اشباع آب به سادگی و با در نظر گرفتن برخی روابط در نرم‌افزارهای پتروفیزیکی قابل محاسبه‌اند. بدین صورت پارامتر تخلخل با استفاده از ترکیب لاگ‌های نوترون، چگالی صوتی و پارامتر درجه اشباع آب با استفاده از لاگ مقاومت ویژه با در نظر گرفتن برخی از متغیرها (مانند درجه سیمان شدگی و نمای اشباع برای هر لیتولوژی) در هر چاه محاسبه می‌شود. مهم‌ترین پارامتر مخزن نفوذپذیری است که اندازه‌گیری پیوسته آن در طول چاه به سادگی تخلخل و درجه اشباع آب نیست. لذا برای تخمین این پارامتر از روش‌هایی که بتوان نفوذپذیری را به دیگر پارامترهای پتروفیزیکی و زمین‌شناسی مرتبط ساخت استفاده می‌شود [4, 11]. با توجه به وجود دو نوع سنگ مخزن آواری و کربناته در ناحیه مورد مطالعه روش‌های متفاوتی برای تخمین نفوذپذیری در نظر گرفته شد.

در رسوبات مخازن آواری که از ماسه سنگ و شیل تشکیل شده معمولاً رابطه نفوذپذیری با دیگر پارامترهای پتروفیزیکی مانند تخلخل دارای روند مشخص و معنی‌دار است. با مطالعه بر روی نمونه‌های مغزه در نواحی آواری میدان مورد مطالعه که بالغ بر ۵۲۴ عدد می‌باشد نتیجه شد که نفوذپذیری یک رابطه نمایی قابل قبول و معنی‌داری با تخلخل با ضریب تشخیص ۰/۹۱۴ را نشان می‌دهد. از معادله بدست آمده برای محاسبه نفوذپذیری در تمامی نواحی ماسه سنگی و شیلی استفاده شد.

تعداد واحد سنگی موجود در مخزن شامل شیل، ماسه سنگ، آهک و دولومیت). شکل شماره ۳ نتیجه ترکیب آنالیزهای فاکتوری و خوشه‌ای برای جدایش یازده ناحیه مجزا در چاه شماره یک را نشان می‌دهد.



شکل ۳: تفکیک و طبقه‌بندی یازده ناحیه مجزا با استفاده از آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای در چاه شماره یک همراه با تعداد نمونه‌های واقع شده در هر جامعه آماری

ستون اول این شکل الکترو رخساره‌ها بدست آمده مطابق با شیل (آبی)، ماسه سنگ (صورتی)، دولومیت (قرمز) و سنگ آهک (سبز) را نشان می‌دهد. همینطور ستون دوم تفکیک مخزن به نواحی کوچکتر و همگن‌تر به یازده ناحیه با تعداد نمونه‌های آماری در بر گرفته در هر ناحیه را نشان می‌دهد. در ستون سوم و چهارم این شکل نیز به ترتیب ضرایب فاکتورهای اول و دوم طبق توضیحات گفته شده رسم شده‌اند که به وضوح تغییرات نواحی شیلی، هیدروکربن‌دار، متخلخل و کربناته در آن دیده می‌شود. با انجام تمام مراحل ذکر شده برای دو چاه دیگر نیز همین

تحلیل و طبقه‌بندی داده‌ها استفاده شده است. در این مطالعه برای تفکیک و جداسازی لایه‌های همگن از روش‌های آماری فوق برای ۸ متغیر پتروفیزیکی شامل CGR, POTA, THOR, RT, RHOB, NPHI, PEF و DT در هر سه چاه مورد مطالعه استفاده شد. در ابتدا توزیع تمام متغیرهای مورد بررسی نرمال و سپس مقادیر هر یک از آنها برای شرکت در آنالیز بین صفر و یک استانداردسازی شد. بعد با استفاده از این مقادیر آنالیز فاکتوری انجام شد که نتیجه این آنالیز در هر سه چاه دو فاکتور اصلی حاصل از هشت متغیر فوق است. جدول شماره ۱ تعداد فاکتورها (Components) و مقادیر بار فاکتوری را در هر یک از متغیرهای شرکت داده شده در آنالیز فاکتوری در چاه شماره یک نشان می‌دهد.

جدول ۱: نتایج دو فاکتور اصلی و بارهای فاکتوری حاصل از آنالیز فاکتوری برای هشت متغیر پتروفیزیکی در چاه شماره ۱

Rotated Component Matrix^a

Variables	Component	
	1 ^b	2 ^c
CGR	.949	.117
POTA	.935	.110
THOR	.874	.118
RT	-.777	
RHOB		-.912
NPHI	-.472	.815
PEF	-.190	-.812
DT	.436	.756

Extraction Method: Principal Component Analysis.
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

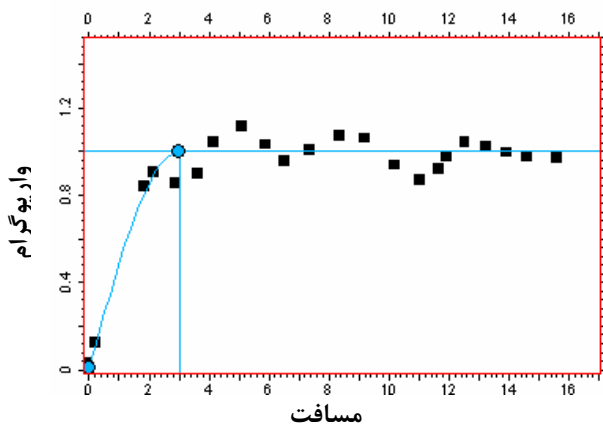
a. Rotation converged in 3 iterations.

b. % of Variance = 47 %

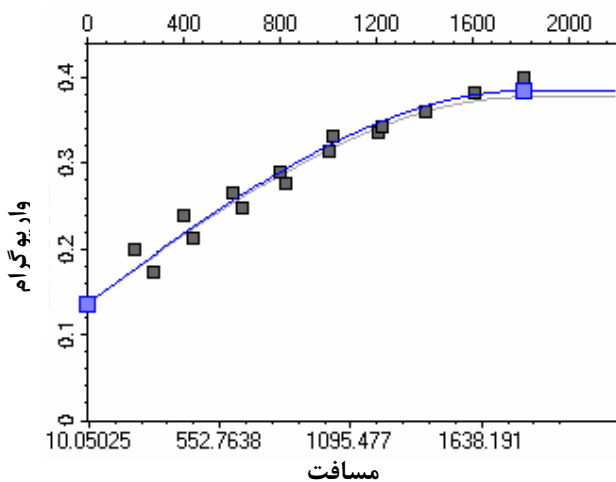
c. % of Variance = 32.4 %

همانطور که مشاهده می‌شود فاکتور اول که ۴۷ درصد تغییرپذیری کل جامعه را تشکیل داده است همبستگی مثبتی با متغیرهای THOR, POTA و CGR (معرف نواحی شیلی) و یک همبستگی منفی با متغیر RT (معرف نواحی نفت‌دار) دارد. فاکتور دوم آن نیز با ۳۲/۴ درصد تغییرپذیری کل جامعه، ارتباط مثبتی را با DT و NPHI (معرف نواحی متخلخل) و همبستگی منفی‌ای را با RHOB و PEF (معرف نواحی کربناته) نشان می‌دهد. برای دو چاه دیگر نیز دقیقاً همین نتایج بدست آمد.

در آخر آنالیز خوشه‌ای^{۱۴} با استفاده از فاکتورهای بدست آمده از آنالیز فاکتوری در هر یک از این چاه‌ها انجام شد که نتیجه آن تفکیک داده‌ها به چهار خوشه یا کلاس می‌باشد (با توجه به



شکل ۴: آنالیز واریوگرام متغیر تخلخل در جهت قائم در چاه شماره ۱ ناحیه ۷



شکل ۵: آنالیز واریوگرام متغیر تخلخل در جهت افقی در چاه شماره ۱ ناحیه ۷

۳-۵- بررسی عددی ناهمگنی‌ها در هر یک از نواحی تفکیک شده

اولین بار "هوت" از هندسه فرکتال برای توصیف و ارزیابی متغیرهای مخزن استفاده کرد. او بیان کرد که ساختار ارتباطات مکانی پارامترهای مخزن تاثیر بسزایی روی حرکت سیال در محیط‌های متخلخل ناهمگن دارد. وی همچنین نشان داد که توزیعات تخلخل محیط‌های رسوبی ویژگی فرکتالی دارند [20]. برای توصیف و اندازه‌گیری این ناهمگنی‌ها و تغییرات، ابتدا باید بعد فرکتال آن پدیده مشخص شود که معمولاً از پارامتری بنام ضریب هورست که بطور مستقیم وابسته و مرتبط با بعد فرکتال (D) است، طبق معادله ۱ استفاده می‌شود [17]. روش‌های متعددی برای تخمین و بدست آوردن ضریب هورست در سری‌های زمانی وجود دارد که از هر یک از آنها را می‌توان با توجه به نوع دقت و محدودیت استفاده کرد. در این مقاله از روش آنالیز R/S که صحت و دقت مورد قبولی را در بین بقیه

یازده ناحیه بدست آمد. بدین ترتیب می‌توان به‌سادگی واحدهای سنگی مشابه را بین چاه‌ها ارتباط‌سازی کرد. این یازده ناحیه به ترتیب شامل لیتولوژی‌های دولومیت، ماسه سنگ شیلی، سنگ آهک، ماسه سنگ شیلی، سنگ آهک، ماسه سنگ شیلی، سنگ آهک، شیل، ماسه سنگ تمیز، تناوبی از ماسه و شیل و شیل است.

۳-۴- بررسی روابط مکانی و همبستگی داده‌ها در هر یک از نواحی تفکیک شده

از روش‌های زمین آماری می‌توان برای تشخیص بررسی روابط مکانی در توصیف مخازن استفاده کرد. بطور کلی برای استفاده از زمین آمار ابتدا باید با انجام آنالیز واریوگرام ارتباط‌های مکانی و تغییرات یک خاصیت را در جهت‌های قائم و افقی مشخص و سپس با انتخاب یک روش واسطه‌یابی (مانند کریجینگ) توزیعات یک پارامتر را در بین نمونه‌ها ایجاد کرد. نتیجه آنالیز واریوگرام یک نمودار است که تغییرات مقادیر پارامتر را در برابر مسافت (گام) ایجاد شده نشان می‌دهد. شکل واریوگرام در لایه‌های همگن به صورت خط صاف و دارای مقدار ثابتی بنام حد آستانه است ولیکن در لایه‌های ناهمگن این شکل به صورت تغییراتی در مسافت‌های کوتاه نشان داده می‌شود.

در این مقاله برای سه پارامتر تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری در هر یک از نواحی تفکیک شده از آنالیز واریوگرام استفاده شد. این آنالیز به منظور بررسی تغییرات مکانی در جهت‌های قائم و افقی در هر ناحیه تفکیکی انجام شد. به طور نمونه شکل شماره ۴ آنالیز واریوگرام را برای متغیر تخلخل چاه شماره یک در ناحیه ۷ در جهت قائم نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که اولاً داده‌ها تنها تا فاصله ۴ متری با هم ارتباط دارند ثانیاً یک تغییرات تناوبی در مسافت‌های بالای ۴ متر در شکل دیده می‌شود که نشان دهنده وجود ناهمگنی و تناوب تخلخل در لایه مورد نظر می‌باشد. همین‌طور شکل شماره ۵ آنالیز واریوگرام تخلخل در ناحیه شماره ۷ چاه اول در جهت افق را نشان می‌دهد. از این شکل مشخص می‌شود که داده‌ها تا فاصله ۱۸۰۰ متری با هم ارتباط دارند. بنابراین همگن بودن در جهت افقی را می‌توان به طبیعت نسبتاً یکنواخت لایه‌ها در حین رسوب‌گذاری نسبت داد.

این تعبیر و تفسیرها برای سه متغیر یاد شده در هر یازده ناحیه تفکیکی انجام شد. حال با داشتن این واریوگرام‌ها توزیعات زمین آماری این متغیرها به روش کریجینگ آماده رسم و تولید می‌باشند.

واقعی می‌توان روشی به مراتب دقیق‌تر و نزدیک به ساختار واقعی داده‌ها ارائه داد.

جدول ۲: ضریب هورست و بعد فرکتال حاصله در یازده ناحیه تفکیکی سه چاه مورد مطالعه به روش آنالیز R/S

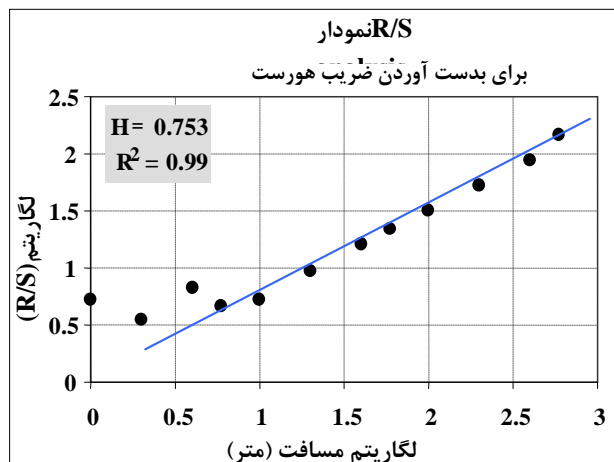
ناحیه (ZONE)	ضریب هورست (H)	بعد فرکتال (D)
۱	۰/۶۸	۱/۳۲
۲	۰/۷۳	۱/۲۷
۳	۰/۶۹	۱/۳۱
۴	۰/۷۱	۱/۲۹
۵	۰/۷۷	۱/۲۳
۶	۰/۷۵	۱/۲۵
۷	۰/۷۴	۱/۲۶
۸	۰/۷۶	۱/۲۴
۹	۰/۷۹	۱/۲۱
۱۰	۰/۸۳	۱/۱۷
۱۱	۰/۷۵	۱/۲۵

برای این کار ابتدا ساختار دانه‌بندی، اندازه و ابعاد شبکه مخزن مشخص می‌شود. بعلاوه محدودیت محاسباتی، یک ساختار شبکه بزرگ نمی‌تواند در شبیه‌سازی مخزن، مورد استفاده قرار گیرد. از این رو باید انتخاب اندازه شبکه به دقت انجام پذیرد. در مطالعه حاضر با توجه به اینکه حداکثر فاصله چاه‌ها از هم ۲۶۴۵ متر و ضخامت هریک از نواحی تفکیک شده به بیشتر از ۱۰۰ متر نمی‌رسید لذا برای اینکه بتوان یک نمایش خوبی از مقاطع تولیدی به دست آورد، مقیاس عمودی حدود ۱۰ برابر افزایش داده می‌شود. بدین ترتیب تعداد دانه‌بندی‌ها برای هریک از نواحی برابر با $264 \times X$ انتخاب شد که X ضخامت هریک از نواحی تفکیک شده برحسب متر می‌باشد. به هر ناحیه یک مقدار از ضریب هورست با توجه به جدول شماره ۲ نسبت داده شده است. بدین ترتیب همه نواحی به یک عمق مبنا برای انجام محاسبات آورده شدند.

شکل شماره ۷ یک نمونه از ترکیب روش کریجینگ را با نویس fGn برای یکی از نواحی تفکیک شده نشان می‌دهد. یادآوری می‌شود به منظور تولید توزیعات فرکتالی fGn از اعداد تصادفی استفاده می‌شود. بنابراین نسخه‌های فراوانی از خواص مخزن را می‌توان تولید کرد که هریک از آنها می‌تواند یک الگوی جدید و معتبری از توزیعات خواص مخزن تلقی شود. زیرا اولاً شامل داده‌های موجودند، ثانیاً خواص تولید شده بین چاه‌ها همان ساختاری (از لحاظ آماری) را دارند که داده‌های واقعی در نواحی چاه‌ها دارند. در اینجا با توجه به توان

روش‌ها داراست، برای محاسبه ضریب هورست استفاده شد [18, 21].

شکل شماره ۶ یک نمودار از آنالیز R/S را برای متغیر تخلخل در ناحیه شماره هفت چاه یک نشان می‌دهد.



شکل ۶: نمودار R/S در ناحیه تفکیکی شماره هفت چاه یک برای تخلخل همراه با ضریب هورست بدست آمده ($H=0.753$) حاصل از شیب بهترین خط برازش بر نقاط حاصله

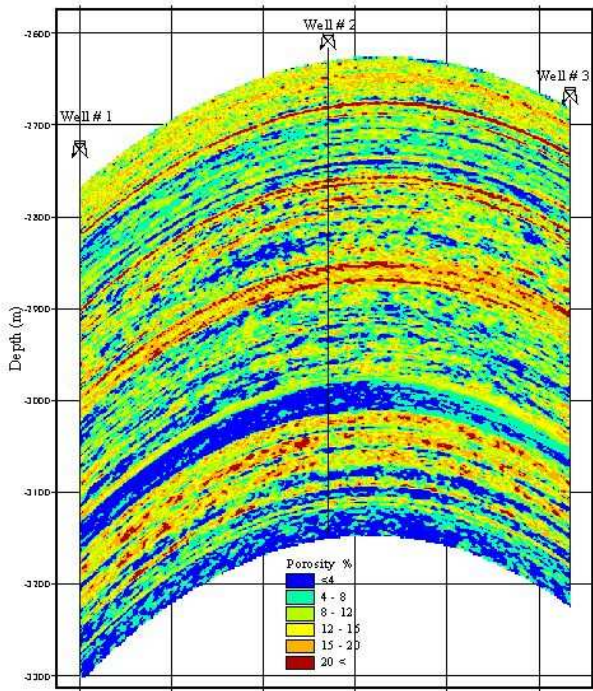
در این شکل می‌توان ضریب هورست را با استفاده از شیب بهترین خط برازش شده بر نقاط حاصل از آنالیز R/S بدست آورد. این مراحل برای تک تک نواحی تفکیکی در هر سه چاه از متغیر تخلخل انجام و ضریب هورست و بعد فرکتال برای هر ناحیه که نتیجه میانگین حسابی آنها در سه چاه است طبق جدول شماره ۲ بدست آورده شد.

بطور کلی در مطالعه این مقادیر می‌توان گفت که با افزایش مقادیر ضریب هورست خصوصیات پدیده نرم‌تر و یکنواخت‌تر می‌شود. در حالی که با کاهش ضریب هورست جزئیات این پدیده‌ها پیچیده‌تر می‌شوند.

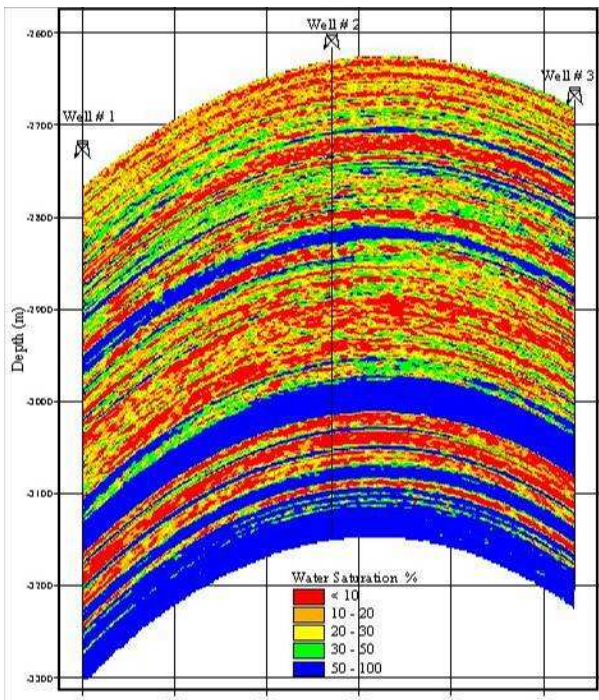
۳-۶- تولید توزیعات خواص مخزن با استفاده از ترکیب

توزیعات زمین آماری و آماره‌های فرکتالی fGn

برای تولید و ایجاد توزیعات دقیق از خواص مخزن از ترکیب روشی مبتنی بر زمین آمار که به صورت قطعیت است و روش آماره‌های تصادفی فرکتال (نویس fGn) که به صورت احتمال‌پذیر است، استفاده می‌شود. روش تولید این توزیعات بر مبنای ترکیب توزیعات حاصله از روش کریجینگ با توزیعات فرکتالی fGn حاصله از روش طیفی با بکارگیری الگوریتم معکوس تبدیلات فوریه است [7]. روش کریجینگ بر مبنای داده‌های واقعی و اندازه‌گیری شده است و خاصیت عدم قطعیت داده‌ها در آن لحاظ شده است. از این رو با اضافه کردن نویس یا نقاط مشکوک که از توزیعات فرکتالی بدست آمده به داده‌های

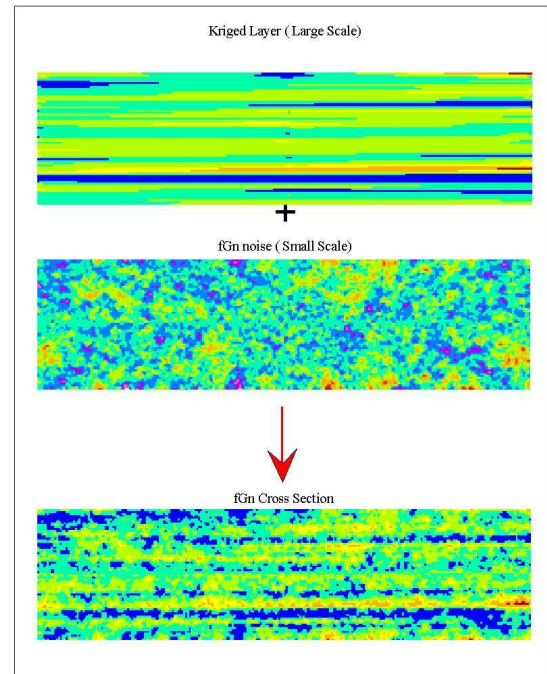


شکل ۸: توزیع احتمال پذیر پارامتر تخلخل حاصل از ترکیب روش‌های زمین آمار و آماره‌های فرکتالی fGn



شکل ۹: توزیع احتمال پذیر پارامتر درجه اشباع آب حاصل از ترکیب روش زمین آمار و آماره‌های فرکتالی fGn

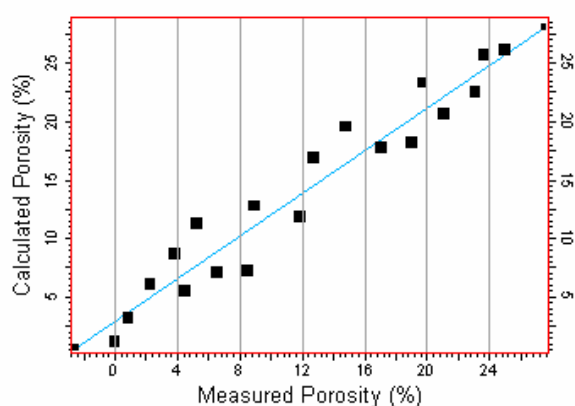
محاسباتی و توقع مقاله تنها یک نسخه از نقشه‌های توزیع برای هر یک از خواص مخزن ایجاد شد. بعد از رسم و تولید هر یک از توزیعات در هر ناحیه، برای یکی کردن تمام توزیعات آنها را با هم ترکیب و سپس برای اینکه شکل واقعی توزیعات در مخزن نشان داده شد. هر یک از نواحی‌ای که به یک عمق آورده شده بودند به موقعیت اصلی شان در چاه‌های مربوطه انتقال یافت. تمام مراحل برای تک نواحی و متغیرهای مورد نظر انجام شد که در نهایت اشکال شماره ۸ تا ۱۰ این توزیعات احتمال پذیر بر پایه فرکتال را به ترتیب برای متغیرهای تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری در فاصله بین چاه‌ها نشان می‌دهند.



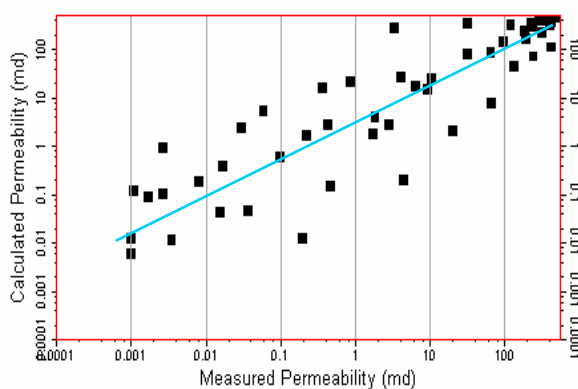
شکل ۷: نحوه ترکیب توزیع زمین آماری (کریجینگ) با نویس فرکتالی fGn برای ایجاد توزیع دقیق احتمال پذیر

۷-۳- کنترل صحت نتایج

برای کنترل کردن صحت نتایج ابتدا داده‌های چاه میانی (چاه شماره دو) حذف (Blind Test) و سپس با استفاده از مقایسه داده‌های حاصل از توزیعات تولید شده در موقعیت حذف شده و داده‌های واقعی در این چاه، صحت نتایج از لحاظ آماری بررسی گردید.



شکل ۱۱: توزیع مقادیر واقعی در برابر مقادیر تخمین زده شده به روش فرکتال برای پارامتر تخلخل



شکل ۱۲: توزیع مقادیر واقعی در برابر مقادیر تخمین زده شده به روش فرکتال برای پارامتر نفوذپذیری

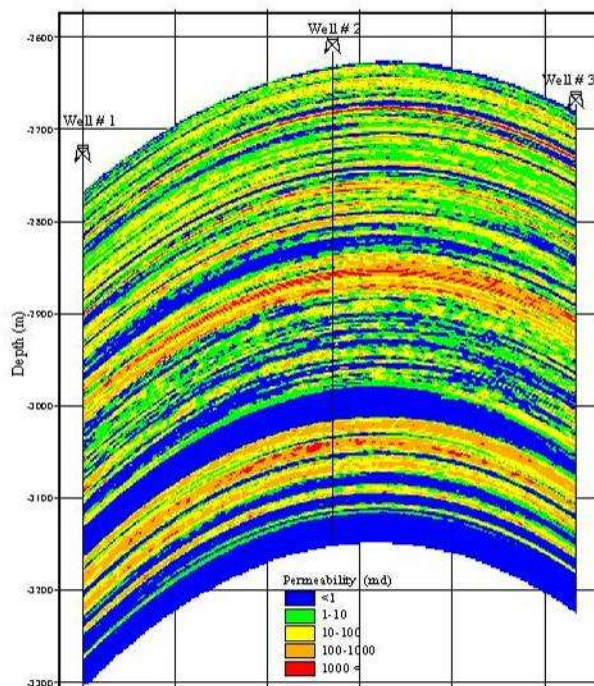
۴- نتایج

بر اساس تجزیه و تحلیل‌ها بر روی داده‌های سه چاه مورد مطالعه، نتایج زیر بدست آمد:

۱- با بررسی‌های آماری تک متغیره داده‌های پتروفیزیکی (مانند هیستوگرام)، واحدهای زمین‌شناسی در برگیرنده مخزن اعم از کربناته (سنگ آهک و دولومیت)، ماسه سنگی و شیلی را می‌توان به صورت کیفی از روی جدایش و انحرافات جوامع آماری تشخیص داد.

۲- با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره (آنالیز فاکتوری و آنالیز خوشه‌ای) که روشی نوین برای طبقه‌بندی و دسته‌بندی سریع داده‌های پتروفیزیکی در کنار استفاده از داده‌های مغزه است، دو فاکتور اصلی شناسایی و در نهایت چهار واحد رخساره الکتریکی بر اساس هشت متغیر پتروفیزیکی بدست آمد.

۳- با استفاده از نتایج آنالیز فاکتوری و خوشه‌ای نواحی مشابه در سه چاه مجاور ارتباط‌سازی شد که در نتیجه یازده ناحیه



شکل ۱۰: توزیع احتمال پذیر پارامتر نفوذپذیری حاصل از ترکیب روش زمین آمار و آماره‌های فرکتالی fGn

جدول شماره ۳ نتایج محاسبات آماری تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری (میانگین و انحراف معیار) در روش توزیع فرکتال را در برابر مقادیر واقعی چاه شماره ۲ (چاه حذف شده) نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود میزان خطا برای تخلخل ۴/۹۳ درصد، برای درجه اشباع آب ۸/۲۲ درصد و برای نفوذپذیری ۱۱/۳ درصد می‌باشد که نشان دهنده تطابق نسبی خوب برای همه متغیرها مخصوصاً برای تخلخل است. همچنین در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مقایسه‌ای بین مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده به ترتیب برای متغیرهای تخلخل و نفوذپذیری انجام شد که ضریب تشخیص‌های بالای ۰/۹۲ و ۰/۸۳ برای هر یک بدست آمد.

جدول ۳: محاسبه خطا و آماره‌ها برای ایجاد توزیعات فرکتالی (پیش‌بینی شده) در برابر داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده)

خطای نسبی	انحراف معیار	میانگین	پارامتر
تخلخل	۶/۳۳	٪ ۱۰/۴۱	محاسبه شده
	۶/۰۸	٪ ۱۰/۹۵	اندازه‌گیری شده
اشباع آب	۳۴/۵۳	٪ ۳۳/۰۱	محاسبه شده
	۳۱/۳۴	٪ ۳۰/۵۰	اندازه‌گیری شده
نفوذپذیری	۷۴۰	۱۴۹	محاسبه شده
	۸۳۹	۱۶۸	اندازه‌گیری شده

مجزا با ترکیب‌های مخزنی متفاوت بدست آمد.

۴- با بررسی ارتباط مکانی داده‌ها توسط آنالیز واریوگرام در هر یک از نواحی تفکیک شده، مشخص شد که در برخی از نواحی ماسه‌سنگی و شیلی داده‌های تخلخل و اشعه گاما یک روند را نشان می‌دهد (که برای آنالیزهای بعدی این روند از داده‌ها حذف شد) که بیانگر ارتباط و همبستگی خوب این داده‌ها در این نواحی است. در صورتی که در نواحی کربناته طول همبستگی داده‌ها بین ۲ تا ۱۰ متر متغیر است که بیانگر تعدد بیشتر لایه‌بندی و ارتباط مکانی کمتر در این نواحی است.

۵- برای بدست آوردن ضریب هورست و بعد فرکتال داده‌های پتروفیزیکی از روش آنالیز R/S که از لحاظ دقت و صحت به روش‌های دیگر برتری دارد استفاده شد.

۶- در بیان کمی ناهمگنی‌ها توسط ضریب هورست، نتیجه گرفته شد که این مقدار در این سه چاه بین ۰/۶۹۹ تا ۰/۸۶۲ متغیر است که میانگین آن برای واحدهای کربناته ۰/۷۲۸ و برای واحدهای ماسه‌سنگی ۰/۷۶۳ می‌باشد و این بیانگر تغییرات بیشتر کربنات‌ها نسبت به ماسه سنگ‌هاست.

۷- در واحدهای کربناته بعثت پیچیدگی روابط بین تخلخل و نفوذپذیری از روش واحدهای هیدرولیک حرکتی (FZI) استفاده شد. بدین ترتیب که این مقادیر در لاگ‌های پتروفیزیکی به کمک شبکه‌های عصبی تخمین زده شده و با استفاده از معادله معروف "کازنی-کارمان" نفوذپذیری با دقت بالایی تعیین شد.

۸- بهترین نواحی مخزنی از نظر درصد تخلخل، مقدار هیدروکربن و نفوذپذیری به ترتیب ناحیه شماره هفت (آهک دولومیتی)، ناحیه شماره یک (دولومیت)، ناحیه شماره سه (آهک دولومیتی) و ناحیه شماره نه (ماسه‌سنگ تمیز) می‌باشد.

۹- با مقایسه نتایج بدست آمده از روش توزیعات فرکتالی با داده‌های واقعی لاگ چاه شماره دو، یک مطابقت نسبی خوب مخصوصاً برای تخلخل با خطای ۴/۹۳ درصد، بدست آمد.

۱۰- بطور کلی می‌توان گفت این مخزن، در محدوده‌ای با ضخامت حدود ۵۰۰ متر و گسترش ۲۶۰۰ متر بطور زیادی در مناطق کربناته ناهمگن است. همچنین میانگین درصد تخلخل، درجه اشباع آب و نفوذپذیری که از توزیعات فرکتالی در فاصله بین چاه‌ها بدست آمده به ترتیب عبارت است از ۹/۳۱ درصد، ۳۴/۴ درصد و ۹۹ میلی داری.

۵- پیشنهادات

۱- ادامه بررسی این مطالعات در چاه‌های افقی با بهره‌گیری از خواص فرکتالی fBm

۲- تلاش برای تولید توزیعات فرکتالی در سه بعد و استفاده از

آن بعنوان ورودی مناسب برای شبیه‌سازی حرکت سیال.

۳- استفاده از داده‌های لرزه‌ای به منظور بررسی ساختاری و ارتباطات افقی بهتر لایه‌ها برای ساخت توزیعات فرکتالی در چارچوب مشخص شده.

۴- استفاده گسترده‌تر از روش‌های چند متغیره آماری چون آنالیز فاکتوری، آنالیز خوشه‌ای و آنالیز تفریقی (هوش مصنوعی) در فرآیندهای طبقه‌بندی و دسته‌بندی لایه‌ها و رخساره‌های سنگی با استفاده از داده‌های پتروفیزیکی، داده‌های مغزه و داده‌های لرزه‌ای به منظور بررسی‌های دقیق نفوذپذیری، درجه اشباع آب و تخلخل.

۵- انجام آزمایش‌های پتروگرافی، میکروسکوپ الکترونی، تزریق جیوه و آزمایش‌های ویژه مغزه (SCAL) به منظور بررسی‌های دقیق بر روی شکل و فضای ارتباطی منافذ و دانه‌های سنگ و تعمیم نتایج حاصله به نواحی دیگر که آزمایش نشده‌اند.

۶- استفاده از تئوری فرکتال‌ها و تراوش سیال (Percolation) در فرآیندهای ازدیاد برداشت (EOR) به منظور بررسی بهتر حرکت سیال در فضای منافذ

۷- کنترل و تست نتایج حاصل از توزیعات فرکتالی توسط داده‌های تولیدی (Production History) به منظور تشخیص و رتبه‌بندی بهترین نسخه‌های ایجاد شده.

۶- تقدیر و تشکر

در پایان از جناب آقای دکتر اسیری از بخش شبیه‌سازی مخازن اکتشاف و تولید، جناب آقای دکتر مهدی ایران نژاد عضو هیات علمی دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیر کبیر و نیز جناب آقای دکتر محمدرضا کمالی رئیس پژوهشکده اکتشاف و تولید پژوهشگاه صنعت نفت بخاطر راهنمایی‌ها و مساعدت‌های مفیدشان کمال تشکر و قدردانی می‌نماید.

۷- علائم اختصاری

یک مقدار ثابت در چگالی طیفی معرف انحراف معیار = ASD

یک مقدار ثابت در چگالی طیفی معرف لایه‌بندی = BSD

لاگ قطرسنجی = CALI (caliper)

لاگ اشعه گاما = CGR

لاگ صوتی = DT

بعد فرکتال = D

بعد اقلیدسی = d

حرکت براونی کسری = fBm (Fractional Brownian motion)

نویس گوسین کسری = fGn (Fractional Gaussian Noise)

- [15] Bucker, C.; 2000; "Data report: LWD data analysis of leg 171A", Proc. ODP, Init, Vol. 171A, pp.1-29.
- [16] Chambers, R.L.; 2000; "Petroleum geostatistics for nongeostatisticians", The Leading Edge, June, pp. 592-599.
- [17] Deshpande A.; 1998; "Quantifying lateral heterogeneities in fluvio-deltaic sediments using 3-d reflectioseismic data; offshore gulf of mexico", Department of Geosciences, penn state University.
- [18] Dolan, S.S.; Bean, C.J.; 1998; "The broad-band fractal nature of heterogeneity in the upper crust from petrophysical logs", Geophysics, VOL.132, pp.489-507.
- [19] Helsop, A.; 2000; "Understanding permeability from open-well logs", Kenneth helsop, oakrock Ltd.
- [20] Ewett, T.A.; 1986; "Fractal Distributions of Reservoir Heterogeneity and Their Influence on Fluid Transport", SPE, 15386.
- [21] Mela, K.; Louie, J.N.; 2001; "Correlation length and fractal dimension interpretation from seismic data using variograms and power spectra", Geophysics, VOL 166, NO. 5, pp. 1372-78.
- [22] Parsad, M.; 1992; "Velocity-permeability relations within hydraulic units", SRB projects, Geophysics dep. Standford University, Standford CA 94305.
- [23] Perez, G.; Kelkar, B.G.; 1992, "Effectiveness of conditional simulation to describe carbonate reservoir properties", SPE, March, 23971, pp. 329-342.
- [24] Yngve, A., Mohan, G.K.; 1991; "An application of geostatistics and fractal geometry reservoir characterization", SPE, March, 20257, pp. 11-19.

آخرنویس

- 1 - Stochastic
- 2 - Self Similar
- 3 - Self Affine
- 4 - PowerLaw
- 5 - Rescaled Range
- 6 - Hurst
- 7 - Gaussian Noise Fractional
- 8 - Fractional Brownian Motion
- 9 - Smooth
- 10 - Deterministic
- 11 - Scaling
- 12 - Flow units
- 13 - Flow Zone Indicator
- 14 - Hierarchical Clustering

- FZI (Flow zone indicator) = شاخص واحد حرکتی
- H = ضریب هورست
- $g_{(i,l)}$ = آرایه نویس فرکتالی در حوضه مکان
- k = نفوذپذیری
- K = لاگ پتاسیم
- NPHI = لاگ تخلخل
- Phi = تخلخل
- R/S (Rescaled range) = آنالیزه مقیاس برده شده
- RHOB = لاگ چگالی
- RS = لاگ مقاومت ویژه ناحیه متوسط
- RT = لاگ مقاومت ویژه ناحیه عمیق
- $S(w_x, w_z)$ = چگالی طیفی
- Pef = لاگ اندیس فتوالکتریک
- SGR = لاگ طیفی اشعه گاما
- SCAL = Special Core Analysis (آنالیز ویژه مغزه)
- Sw = درجه اشباع آب
- THOR = لاگ توریم
- URAN = لاگ اورانیم

۸- مراجع

- [1] Armstrong, M., Dowd, P.A.; 1993; *Geostatistical Simulations*, Kluwer Academic Publishers.
- [2] Blenkinsop, T.G.; 2000; *Fractals and dynamic systems in geoscience*, Birkhauser, p.p 603-619.
- [3] Chiles, J.P.; Del finer, P.; 1999; *Geostatistics: modelling spatial uncertainty*, JohnWiley & Sons.
- [4] Cosentino L.; 2001; *Integrated reservoir studies*, Editions TECHNIP, pp. 88-142.
- [5] Dimri, V.P.; 2000; *Application of fractals in earth sciences*, A.A Balkema et al, pp. 189-193.
- [6] Feder J.; 1988; *Fractals*, Plenum Publishing Co.
- [7] Hardy, H.H., Beier, R.A.; 1994; *Fractals in reservoir engineering*, World scientific.
- [8] Hearst J.R.; 2000; *Well logging for physical properties*, JohnWiley & Sons, pp. 359-463.
- [9] Jrey L.J.; 2000; *Statistics for Petroleum Enginnering and Geoscientists*, Elsevier.
- [10] Mandelbrot, B.B.; 1982; *the Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman & Company, San Francisco.
- [11] Moor Clyde H.; 2001; *Carbonate reservoirs*, Elsevier, pp. 37-60.
- [12] Pachepsky, Y.A.; 2000; *Fractals in soil science*, ELSEVIER.
- [13] Amaefule, J.O.; 1993; "Enhanced Reservoir Description: Using Core and Log Data to Identify Hydraulic (Flow) Units and Predict Permeability in Uncored Intervals/Wells," SPE, 26436.
- [14] Aminian, K.; Ameri, S.; 2003; "Prediction of Flow Units and Permeability using Artificial neural networks," SPE, 83586.