

مدل سازی سه بعدی مخازن کربناته با استفاده از زمین آمار: مطالعه موردی برای تخمین تخلخل در میدان A حوضه زاگرس (ایران)

حسن محسنی، استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان*

زهرا رحیمی، کارشناس ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان

بهروز رفیعی، دانشیار، گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

رامین بهزاد، کارشناس ارشد، شرکت مهندسی و توسعه نفت تهران

موسی ظهرابزاده، کارشناس ارشد، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

چکیده

روش‌های متفاوتی برای مدل‌سازی سه بعدی مخزن وجود دارد. در این مطالعه از روش زمین آمار برای مدل‌سازی سه بعدی مخزن سازند آسماری در میدان نفتی A، جنوب غرب ایران مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین برای تهیه مدل‌های ساختمانی و پتروفیزیکی از نرم افزار پترل استفاده شده است. بدین منظور داده های مربوط به ۷۳ حلقه چاه حفر شده در این میدان پس از آماده سازی بصورت رقومی وارد محیط نرم افزار پترل گردیدند. همچنین برای پی بردن به نقش عوامل ساختمانی در توسعه تخلخل، داده‌های مربوط به گسل‌های این میدان نیز به مدل ارائه گردید. مبنای اولیه شبیه سازی نقشه UGC میدان بوده است، که با استفاده از نرم افزار مپ کارد Map Card آماده و وارد محیط نرم افزار گردید. تعمیم داده‌های مربوط به چاه‌هایی که داده‌های پتروفیزیکی آن‌ها بیشتر مشخص شده به کل میدان، نتایج قابل قبولی بدست داده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بخش‌های متخلخل عمدتاً در آسماری بالایی و میانی (زون‌های ۱، ۲، ۳ و ۶) و آسماری زیرین (زیر زون ۷/۲ و بخشی از زون ۸) وجود دارند. با توجه به این نتایج مشخص شد که زون‌های ۲ و ۶ و زیر زون ۷/۲، ۸ و ۱ از لحاظ بهره‌دهی دارای شرایط بسیار خوب تا خوب و سایر زون‌ها دارای شرایط متوسط تا ضعیف می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای پتروفیزیکی، مدل‌سازی سه بعدی، زمین آمار، پترل، تخلخل.

مقدمه

تعیین پارامترهای پتروفیزیکی در میادین هیدروکربوری با استفاده از داده های موجود، از جایگاه ویژه ای در پروژه های اکتشاف و بهره برداری در صنعت نفت برخوردار است. برای این منظور استفاده از روش های زمین آماری بهترین گزینه خواهد بود زیرا علاوه بر تخمین مقدار پارامتر در هر نقطه از فضای مورد نظر با کمترین خطای ممکن، میزان عدم قطعیت یا خطای تخمین را نیز می توان به دست آورد. معمولاً نتایج تخمین با هموارسازی همراه خواهند بود. مدل های سه بعدی زمین شناسی نقش اساسی در مهندسی مخازن نفت به عهده دارند. مدل سازی مخزن تنها یک علم مهندسی یا فقط مربوط به زمین شناسی نیست بلکه یک مدل جامع تلفیقی از مهندسی و زمین شناسی است. مدل جامع مخزن نیاز به دانش زمین شناسی، خصوصیات سنگ و سیال، جریان سیالات درون آن (Fluid Flow)، مکانیسم برداشت، حفاری و تکمیل چاه و غیره دارد (Khoshdel and Riahi 2007).

روش های متفاوتی برای مدل سازی سه بعدی مخزن وجود دارد. در هر کدام از این روش ها از اطلاعات زمین شناسی، ریاضیات یا آمار استفاده می شود و نرم افزارهای متعددی خواص مخزنی را مدل می کنند. مقالات متعددی با جنبه های متفاوتی در مدل سازی مخزن وجود دارد، به عنوان مثال می توان به شبیه سازی دینامیکی مخزن (Jackson et al. 2005)، شدت شکستگی (Wong 2003; Masferro et al. 2003)، استراتیگرافی سه بعد و مدل ساختمانی سه بعدی (Mitra and Leslie 2003; Mitra et al. 2006; Hennings et al. 2000) اشاره کرد.

روش های زمین آماری برای توصیف ناهمگنی در مخازنی که مقیاس آنها کوچکتر از فاصله چاه هاست به کار می روند. در حال حاضر روش زمین آمار یک ابزار قدرتمند در مدل سازی است. به طور کلی، زمین آمار مطالعه پدیده هایی است که در مکان یا زمان تغییر می کنند (Deutsch 2002). مولفه های اساسی در زمین آمار عبارتند از:

- آنالیز واریوگرام (Variogram analysis): ویژگی هائی از تطابق مکانی.
- کریجینگ (Kriging)
- شبیه سازی احتمالی (Stochastic simulation): ایجاد تصاویر چند گانه از یک متغیر که در مدل سمی واریوگرام بکار گرفته شده است. متغیر های زمین آماری تصادفی هستند، یک متغیر تصادفی یک خروجی عددی از یک پدیده تصادفی است (Corstjanje et al. 2008).

در ادامه توضیح مختصری در باره روش واریوگرام به عنوان یکی از روش های اصلی به کار گرفته شده در این پژوهش ارائه می گردد. روش های تخمین زمین آماری، همبستگی فضایی داده ها را در نظر می گیرند. از این رو اساس این گونه روش ها بر وجود ساختار فضایی داده ها است. واریوگرام مهم ترین ابزار بروز همبستگی های فضایی بین داده ها است. در واقع واریوگرام، میانگین مربعات تفاضل دو مقدار را به عنوان تابعی از نمو بین آنها نشان می دهد. واریوگرام، پایه بسیاری از محاسبات زمین آماری است (Ortiz and Deutsch 2002). مقدار واریوگرام از رابطه زیر بدست می آید:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-h})^2 \quad (1)$$

از نظر تئوری، مقدار واریوگرام به ازای فاصله صفر بین دو داده باید برابر صفر شود. زیرا دو نمونه که بر هم منطبق باشند مقدار کمیت مورد نظر در آن‌ها نباید اختلافی داشته باشد و در نتیجه پراش بین داده‌های آن‌ها صفر خواهد بود. در عمل معمولاً واریوگرام تجربی از صفر شروع نمی‌شوند و مقدار واریوگرام به ازای $h=0$ برابر عددی مانند N است که به آن اثر قطعه‌ای (Nugget Effect) گفته می‌شود (Journal and Huijbregts 1990).

پس از محاسبه و رسم واریوگرام تجربی، باید به واریوگرام حاصل یک مدل تئوریک برازش شود. در واقع باید مدل واریوگرام و پارامترهای آن بر اساس واریوگرام تجربی تخمین زده شوند. مدل‌های تئوریک مختلفی برای برازش به واریوگرام تجربی وجود دارد. رایج‌ترین این مدل‌ها، مدل کروی است که به صورت زیر تعریف می‌شود (حسینی پاک ۱۳۷۷).

$$\gamma(h) = C_1 \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) + C_0 \quad h \leq a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_1 + C_0 \quad h > a \quad (3)$$

که در آن C_0 اثر قطعه‌ای، C_1 فاصله بین اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام و a دامنه تاثیر واریوگرام است. مقدار $C_1 + C_0$ کل پراش داده‌ها را معرفی می‌کند. از خصوصیات این مدل این است که قسمت ابتدای منحنی آن دارای تغییرات خطی است. اگر بخش خطی آن را $\frac{2a}{3}$ ادامه دهیم، سقف واریوگرام را در نقطه‌ای به طول $\frac{2a}{3}$ (تصویر نقطه روی محور h) قطع می‌کند (شکل ۱). اگر در محاسبه واریوگرام به ازاء هر گام معینی بردار h نظیر آن گام در فضا در هر جهتی بتواند قرار گیرد،

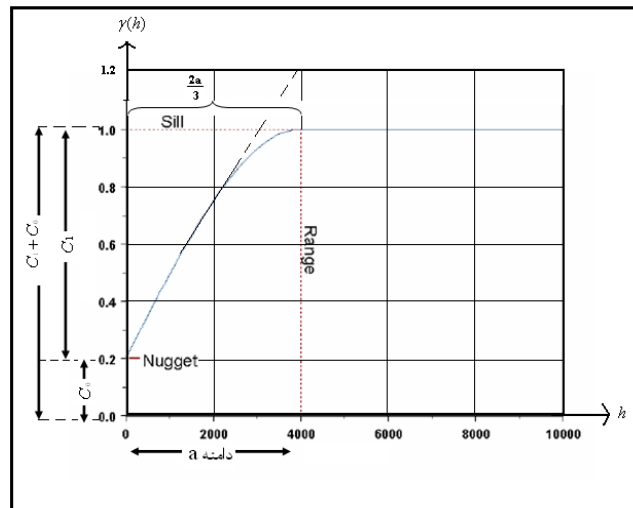
کوه در آن $\gamma(h)$ را سیمواریوگرام (Semivariogram) و $2\gamma(h)$ را واریوگرام می‌نامند، ولی چون در عمل بیشتر از $\gamma(h)$ استفاده می‌شود، لذا به عنوان یک قرارداد هر جا از واریوگرام استفاده شود، منظور نویسندگان همان $\gamma(h)$ است. در رابطه فوق n تعداد جفت نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند و در محاسبه واریوگرام شرکت می‌کنند، X_i عیار در نقطه i ام و X_{i+h} عیار در نقطه‌ای به فاصله h ام از نقطه i ام می‌باشد. با محاسبه مقدار واریوگرام به ازای h های مختلف، می‌توان نمودار $\gamma(h)$ بر حسب h را رسم کرد. به مقدار h ، گام (Lag) گفته می‌شود.

علاوه بر واریوگرام ساده‌ای که در بالا توضیح داده شد، ابزارهای دیگری برای بررسی ساختار فضایی وجود دارد که در زیر واریوگرام شاخص که بر مبنای آن مدل‌سازی حاضر صورت گرفته است تشریح می‌شود.

واریوگرام شاخص: اگر مقادیر کمیت مورد بررسی بسیار متغیر باشد، استفاده از واریوگرام توصیه می‌شود (Wellmer 1998). برای بسیاری از مدل‌سازی‌ها، مدل واریوگرام مانند آنچه در شکل (۱) نشان داده شده است، از مقداری مخالف صفر شروع شده و به دامنه‌ای به نام دامنه تاثیر (Range) (a) افزایش می‌یابد و در نهایت به مقدار ثابتی به نام سقف یا سیل (Sill) می‌رسد. محدوده ساختار داده‌ها در فاصله دامنه تاثیر آن‌ها است، یعنی دو داده که به فاصله بین صفر تا a از یکدیگر قرار داشته باشند دارای ارتباط فضایی بوده و کوواریانس آن‌ها صفر نیست، ولی دو نمونه که به فاصله بزرگتری از دامنه تاثیر قرار دارند، مقدار داده‌های نظیرشان مستقل از یکدیگر بوده و کوواریانس آن‌ها صفر می‌باشد.

امتداد معین معلومی قرار داشته باشد استفاده شود، آن واریوگرام را واریوگرام جهتی می نامند (حسنی پاک و شرف الدین ۱۳۸۰).

واریوگرام حاصل را، واریوگرام غیر جهتی می نامند. اگر در محاسبه واریوگرام فقط از زوج نقاطی که بردار h آنها (برداری که دو نقطه را به هم وصل می کند) در

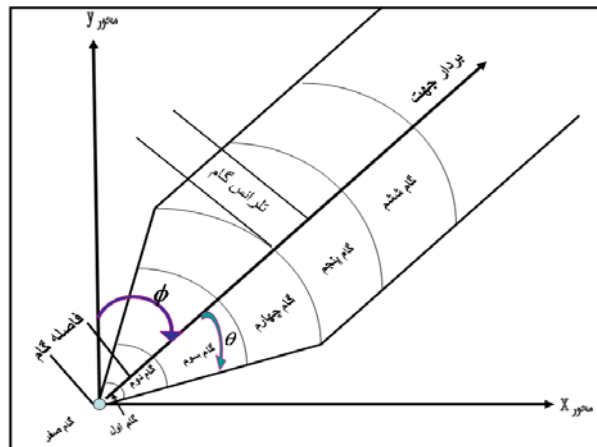


شکل ۱- مثالی از یک واریوگرام مورد استفاده در این پژوهش.

صفر تا ۱۸۰ درجه و زاویه ϕ بین ۹۰- تا ۹۰+ تغییر کند. برای محاسبه واریوگرام جهتی (در فضای سه بعدی) باید پارامترهای زیر را قبلاً تعیین نمود (Isaaks and Srivastar 1989):

زاویه θ ، دامنه زاویه θ ، زاویه ϕ ، دامنه زاویه ϕ و عرض باند (حداکثر فاصله بین خط مرکزی (امتدادی) که واریوگرام در آن امتداد محاسبه می شود) و حدود بالا و پایین آن (شکل ۲).

در یک فضای دو بعدی برای تعیین واریوگرام جهتی یک زاویه را باید برای بردار h مشخص کرد و آن زاویه با جهت مثبت محور X است که با θ نمایش داده می شود. در فضای سه بعدی برای تعیین یک واریوگرام جهتی دو زاویه را باید برای بردار h مشخص کرد که شامل: (۱) زاویه بردار h واقع در صفحه xy با جهت مثبت محور x (θ). (۲) زاویه بردار h با صفحه xy (ϕ). برای پوشش کل واریوگرام های جهتی زاویه θ باید بین

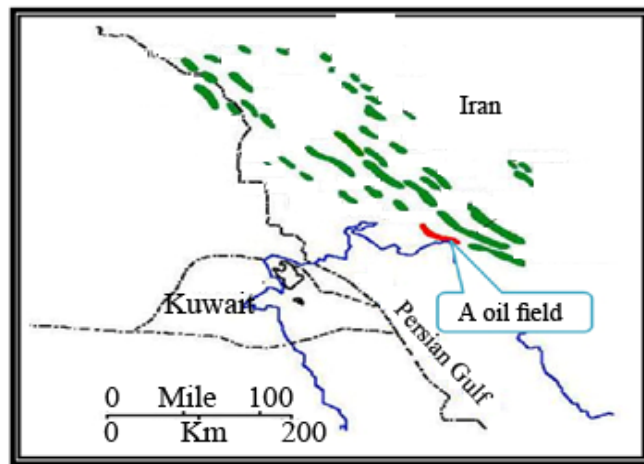


شکل ۲- پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه واریوگرام جهتی.

زمین شناسی منطقه

میدان A تاقدیس نامتقارنی است که در جنوب غربی ایران و در استان خوزستان قرار گرفته است. این میدان در ۱۸۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز و در منتهی الیه

شمال ساحل خلیج فارس واقع شده است (شکل ۳). از نظر موقعیت زمین شناسی این میدان در ناحیه فروافتادگی دزفول جنوبی قرار می گیرد.



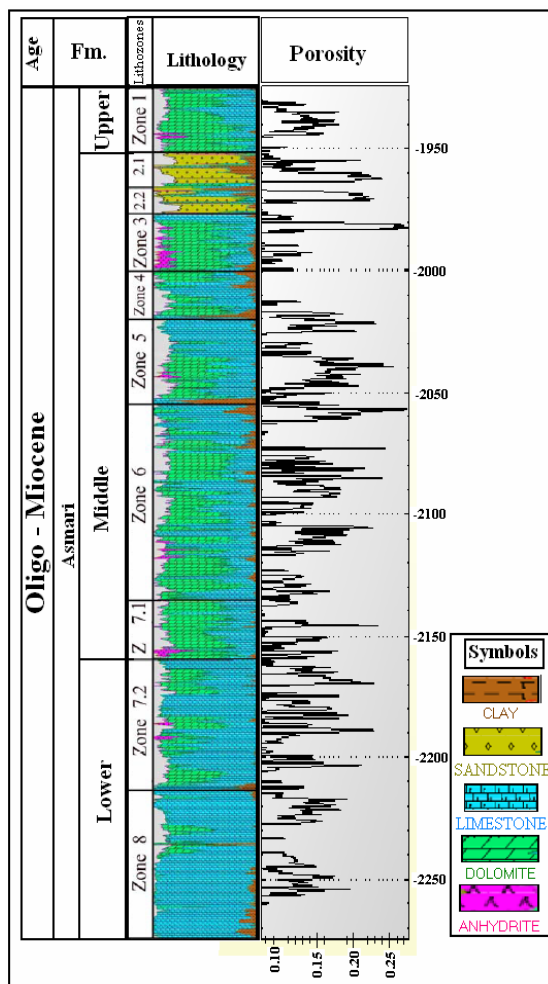
شکل ۳- موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه در حوضه زاگرس

طول تاقدیس در حدود ۵۴ کیلومتر و پهنای آن ۴/۵ تا ۷ کیلومتر است. روند کلی ساختمان $N 105^{\circ} E$ است. امتداد اصلی میدان، همچون سایر میادین جنوب غربی ایران، شمال غربی- جنوب شرقی است اما حدود ۲۱ کیلومتر از پلانچ شمال غربی میدان نسبت به جهت عمومی میدان دچار انحراف قابل ملاحظه ای گردیده و

به سمت شمال منحرف شده است. بطوریکه امتداد N 320° پیدا کرده است و به طرف انتهای پلانچ، این انحراف بیشتر شده و امتداد محور کاملاً شمالی- جنوبی شده است. نکته قابل توجهی که در ساختمان این میدان وجود دارد این است که این میدان تحت تأثیر دو گسل قرار گرفته است یکی به صورت معکوس و تراستی که

قائم (Zonation) بکار می‌رود. زون بندی جدید مخزن آسماری میدان A بر اساس اطلاعات ۱۱۹ حلقه چاه حفاری شده (۸۰ حلقه چاه دارای ارزیابی پتروفیزیکی) صورت گرفته است (ظهرباب زاده ۱۳۸۵)، که در محدوده مورد مطالعه مخزن آسماری به ۸ زون مخزنی تقسیم شده است. زون‌های ۲ و ۷ به دلیل تغییرات رخساره‌ای به دو زیر زون مجزا تقسیم شده‌اند. زون ۱ در آسماری بالایی، زون‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و قسمتی از زیر زون ۷/۱ در آسماری میانی و قسمت پایینی زیر زون ۷/۲ و زون ۸ در آسماری پایینی قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

یال جنوبی این تاقدیس را تحت تأثیر قرار داده و دیگری به صورت امتداد لغز با روند شمالی- جنوبی که دماغه شمال- غربی این تاقدیس را با توجه به حرکات خاص خود بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. به همین علت رخنمون سطحی این میدان نیز نشان دهنده تأثیر ساختاری تلفیقی از این دو گسل می باشد. سازند مورد توجه در این بررسی سازند آسماری است که از لحاظ ویژگی‌های زیست‌چینه‌ای به سه بخش بالایی، میانی و تحتانی تقسیم می‌شود. به طور کلی در مخازن هیدروکربنی دو نوع بخش‌بندی افقی (Sectorizing) و



شکل ۴- ستون چینه‌شناسی سازند آسماری در میدان نفتی A

روش انجام پژوهش

روش انجام پژوهش بدین صورت است که با استفاده از نتایج حاصل از مطالعه ساختمانی و زون‌بندی مخزن (ظهرباب زاده ۱۳۸۵)، افق فوقانی سازند آسماری بعنوان سطح مبنای تفسیری (Interpreted Horizon)، و سپس کلیه سر زون‌های مخزنی و سطوح همسان بعنوان افق‌های محاسباتی (Calculated Horizon) تعریف شدند. در مرحله بعد اطلاعات و فایل‌های کامپیوتری پس از آماده‌سازی و تبدیل به فرمت مناسب (LAS, ASCII) به نرم افزار PETREL وارد گردید. نرم افزار مورد استفاده در این پژوهش، نرم افزار شبیه ساز پترل است، قابلیت‌های کلی این نرم‌افزار عبارتست از:

- مدل‌سازی سه بعدی زمین‌شناسی (3D Geological Modeling)

- محاسبات حجمی مخزن (Volumetric Calculations)

- مدیریت مخزن (Reservoir Management).

در این پژوهش مدل‌سازی سه بعدی زمین‌شناسی مورد نظر بوده است. با ورود اطلاعات مربوط به ۷۳ حلقه چاه به نرم افزار در مرحله اول و با توجه به موقعیت چاه‌ها (۷۳ چاه) محدوده‌ای برای میدان تحت مطالعه تعریف گردید، همچنین با استفاده از نقشه دیجیتالی میدان (UGC) که با استفاده از نرم افزار مپ کارد Map Card تهیه شد، سطوح مخزنی نیز تعریف شدند (شکل ۵).

در مرحله بعد مدل‌سازی ساختمانی نیز با توجه به مراحل زیر انجام گرفت:

- در اولین مرحله تعریف مدل Define Model انجام گرفت.

- مدل‌سازی گسل‌ها (Fault Modeling): در این مرحله نیز اطلاعات مربوط به گسل وارد نرم افزار گردید.

- ایجاد شبکه بندی مخزن (Pillar Gridding): قابل ذکر است که در این مرحله باید ابعاد شبکه (X, Y) را تعیین نمود، این ابعاد باید متناسب انتخاب شوند. اگر ابعاد بزرگ انتخاب شود نتیجه مطلوبی بدست نمی‌آید و در صورت کوچک بودن ابعاد، مدت اجرای برنامه بسیار طولانی و وقت گیر خواهد بود.

- تعیین افق‌ها (Make Horizon)

- لایه‌بندی (Layering).

مدل پتروفیزیکی به کمک روش زمین‌آمار و در مراحل زیر صورت گرفت:

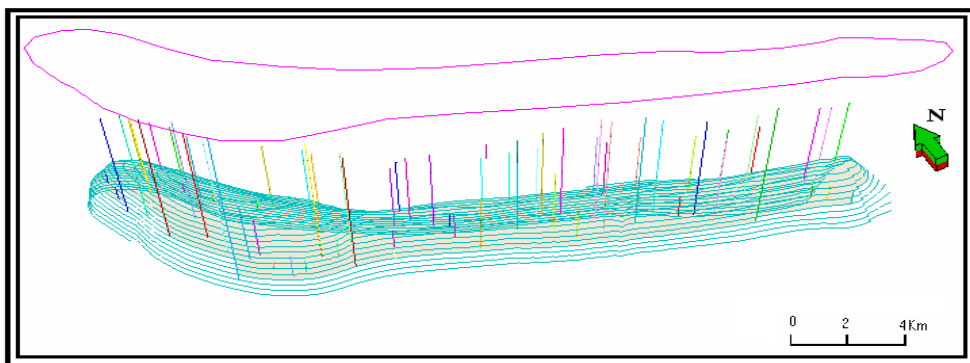
- آنالیز داده‌ها و تهیه هیستوگرام‌های توزیع تخلخل (شکل ۶).

- آنالیز داده‌ها و تهیه مدل واریوگرام از داده‌های پتروفیزیکی، که لازم است در سه جهت Major, Minor و Vertical واریوگرام‌ها را مدل نمود، در زیر واریوگرام در جهت Minor نشان داده شده است (شکل ۷).

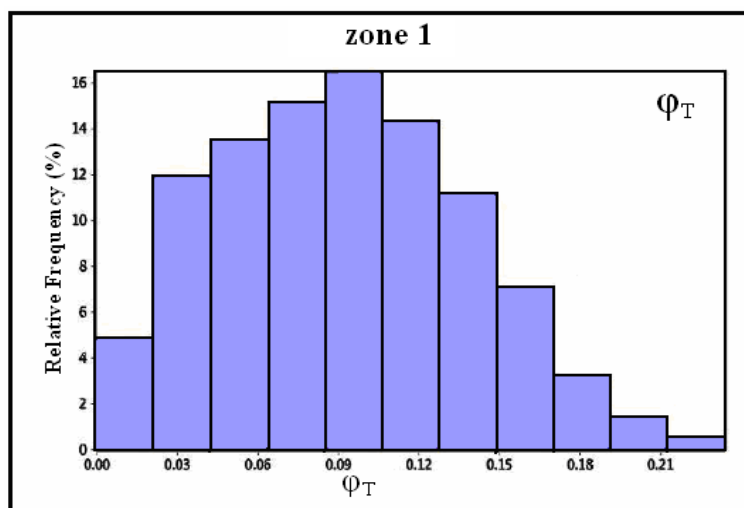
- ایجاد مدل خواص پتروفیزیکی (Property Modeling).

داده‌های ورودی در این تحقیق شامل موارد زیر است:

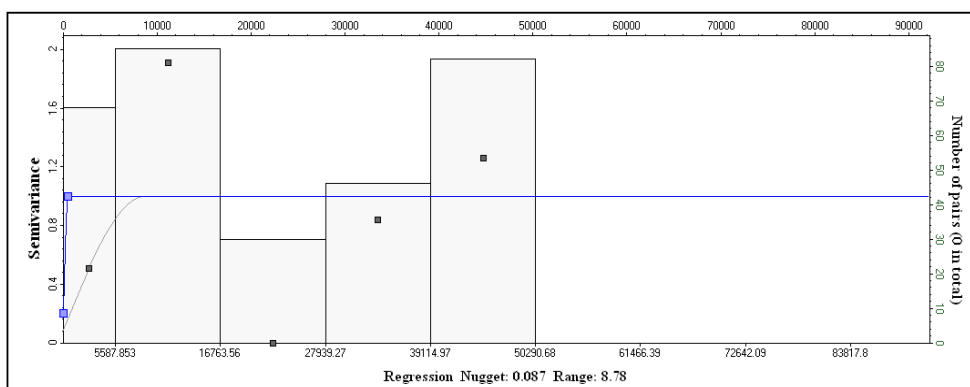
- اطلاعات چندگانه موقعیت چاه‌ها (Well Head).
 - اطلاعات مسیر حفاری چاه‌ها (Well Top).
 - اطلاعات نقشه کنتوری افق فوقانی سازند آسماری، بصورت رقومی شده (Asmari Digital Contour Map)، که شامل کنتورهای ساختمانی است.
 - اطلاعات پتروفیزیکی چاه‌های ارزیابی شده (Well Log) بالغ بر ۷۳ حلقه چاه که این اطلاعات شامل درصد تخلخل و درصد لیتولوژی‌های مختلف در سنگ مخزن می‌باشد.



شکل ۵- موقعیت چاه‌های مورد مطالعه، محدوده مخزن و نقشه دیجیتالی (UGC) میدان



شکل ۶- هیستوگرام درصد فراوانی تخلخل در زون ۱ مخزن آسماری میدان A



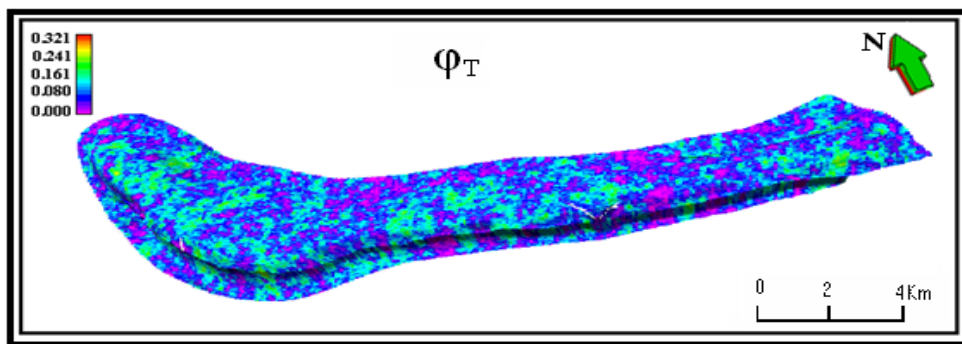
شکل ۷- مدل واریوگرام مورد استفاده در جهت فرعی

های نمودار و قرار دادن آنها در مقابل مقادیر مغزه عمل پردازش داده‌ها انجام شود. در این محاسبات معمولاً فرض می‌شود که یک ارتباط خطی یا غیر خطی بین تخلخل و سایر متغیرهای پتروفیزیکی وجود دارد. به عبارت دیگر در این محاسبات تصور می‌شود که تابع خطی یا غیر خطی بدست آمده برای مدل‌سازی ارتباط بین تخلخل، تراوایی و دیگر پارامترهای سنگ، مناسب و کافی است.

بحث

با توجه به اینکه در چاه‌های مغزه‌گیری شده، تخلخل در دسترس می‌باشد، بر پایه آن‌ها مدل‌های پتروفیزیکی تخلخل زون‌های مختلف مخزن محاسبه شده و نتایج حاصله بحث خواهد شد. پس از انجام مراحل بالا و وارد کردن اطلاعات به نرم‌افزار در ابتدا مدل سه بعدی تخلخل به دست آمد (شکل ۸).

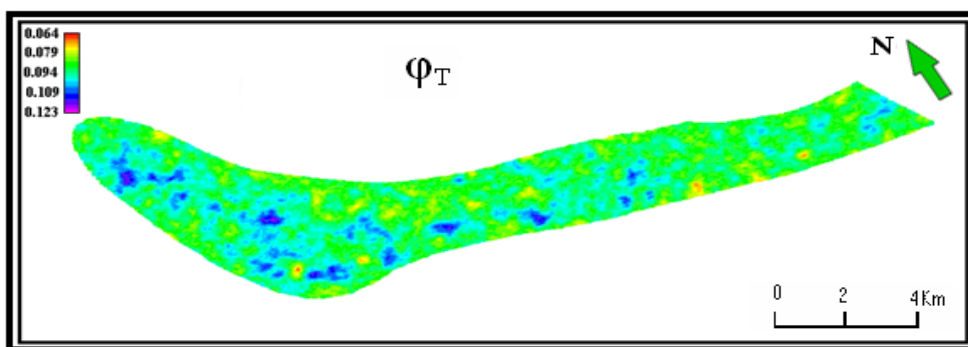
در میدان مورد مطالعه در چاه‌های ۱۳، ۲۱، ۶۳، ۶۴ و ۷۲ از مخزن آسماری مغزه‌گیری شده است. به دلیل اینکه هدف اصلی این پژوهش مدل‌سازی تغییرات فضایی تخلخل است، در نتیجه نیاز هست که در مرحله اول داده‌های تخلخل موجود در چاه‌های مغزه‌دار را به سایر چاه‌ها تعمیم داد. در مرحله آماده‌سازی داده‌ها، ابتدا می‌بایست داده‌های Null (مقادیر ۹۹۹/۲۵- در داده‌های رقومی نمودارهای چاه‌پیمایی)، Log Tail (مقادیر تکرار شده) و Bad Hole Flag (اینتروال‌هایی که اختلاف مقادیر نمودار کالیپر و قطر سرمته در آنها بیشتر از ۱/۵ اینچ باشد، که این فواصل نشان دهنده نواحی ریزشی در دیواره چاه می‌باشند) حذف گردد. سپس به منظور پردازش داده‌ها، ابتدا عمل تطابق عمق بین نمودارها (Depth Shifting) و همچنین تطابق عمق بین نمودارها و مغزه (Depth Matching) صورت گیرد و در ادامه با یافتن عمق‌های متناظر مغزه از روی داده-



شکل ۸- مدل سه بعدی پتروفیزیکی تخلخل در مخزن آسماری میدان A

و فراوان‌ترین فرکانس تخلخل در حد ۷ تا ۱۰ درصد با فراوانی حدود ۶۰ درصد است (شکل ۹).

برش‌های مجزای زون‌های مختلف بر پایه مدل سه بعدی بالا بدست آمدند، فراوانی تخلخل در مخزن آسماری میدان A بیشتر در کوهانک غربی متمرکز است



شکل ۹- نقشه گسترش تخلخل برای کل مخزن آسماری میدان A

روند عمومی از دامنه شمالی به طرف دامنه جنوبی افزایش می‌یابد. نتایج ارزیابی‌های پتروفیزیکی نشان می‌دهد که از نظر سنگ‌شناسی این زیر زون از ۳۴ درصد ماسه سنگ، ۲۲ درصد سنگ‌های گلی (اغلب شیل و مارن)، ۲۳ درصد سنگ آهک و ۲۱ درصد دولومیت تشکیل شده است.

زیر زون ۲/۲: این زیر زون اگر چه همانند زیر زون ۲/۱ بافت تخریبی دارد، اما در بعضی چاه‌های دامنه شمالی یا به طور کلی تغییر رخساره داده و به تدریج به شیل، مارن، دولومیت و آهک‌های دولومیتی شده و یا اینکه از مقدار ماسه سنگ‌های موجود در آن به مقدار زیادی کاسته شده است، بگونه‌ای که در چاه‌های اخیر حداکثر مقدار ماسه سنگ به ۱۶ درصد می‌رسد. این شرایط نیز در بعضی از چاه‌های واقع در بخش ۴ از دامنه جنوبی نیز دیده می‌شود، بطوریکه مقدار حضور ماسه سنگ در این چاه‌ها به صفر می‌رسد، به بیان دیگر از نظر رخساره‌ای این زیر زون تبدیل به آهک‌های دولومیتی، شیل و مارن می‌گردد. همین تغییرات رخساره‌ای که بالطبع با تغییرات پتروفیزیکی همراه است. مبنای تفکیک زیر زون ۲/۲ از زیر زون ۲/۱ شده است. نتایج ارزیابی‌های پتروفیزیکی نشان می‌دهد که این زیر زون بطور متوسط از ۳۲ درصد ماسه سنگ، ۲۰ درصد

پیش از پرداختن به نتایج حاصل از مدل سازی در این بخش به اختصار سنگ شناسی زون‌های مخزنی معرفی می‌گردند. زون یک متشکل از دولومیت، سنگ آهک‌های دولومیتی و سنگ آهک به ضخامت متوسط ۳۵/۲ متر است. نتایج ارزیابی‌های پتروفیزیکی ۵۰ درصد سنگ‌های این زون را دولومیت، ۴۲ درصد سنگ آهک، ۵ درصد سنگ‌های رسی (اغلب شیل و مارن)، ۲ درصد انیدریت و ۱ درصد ماسه سنگ نشان داده است. زون ۲ که از زون‌های ۱ و ۳ به علت داشتن بافت تخریبی (ماسه سنگ و گل سنگ) متمایز می‌شود، فوقانی‌ترین بخش آسماری میانی را شامل می‌گردد. متوسط ضخامت حفاری شده آن ۲۸ متر است و متشکل از ماسه سنگ، آهک‌های ماسه‌ای، شیل و مارن‌های ماسه‌دار و مقادیری آهک‌های دولومیتی و دولومیت است. زون ۲ بر اساس تغییرات سنگ‌شناسی و پارامتر-های پتروفیزیکی به دو زیر زون زیر تقسیم می‌شود. زیر زون ۲/۱: این زیر زون اساسا بافت تخریبی دارد و عمدتاً از ماسه سنگ‌های کوارتزی، شیل و مارن تشکیل شده است. بطرف دماغه شمال غربی (چاه‌های ۷۴ و ۱۱۲) از مقدار ماسه‌ها بتدریج کاسته می‌شود. همین شرایط تقریباً به طرف دماغه جنوب غربی (چاه‌های ۹ و ۱۲) نیز دیده می‌شود. ضمن اینکه مقدار ماسه‌ها در یک

۸ می‌گردد. زون ۷ بدلیل تغییرات سنگ‌شناسی به دو زیر زون ۷/۱ و ۷/۲ بشرح زیر تقسیم شده است:

زیر زون ۷/۱: عمدتا از آهک‌های دولومیتی، همراه با مقادیر دولومیت و سنگ آهک (دارای تخلخل حفره‌ای) تشکیل شده است. متوسط ضخامت حفاری شده آن ۴۵/۵ متر است. از لحاظ سنگ‌شناسی ۵۵ درصد این زون از سنگ آهک، ۳۸ درصد دولومیت، ۶ درصد سنگ‌های رسی (عمدتا شیل و مارن)، ۱ درصد انیدریت و بدون حضور ماسه سنگ است. از زیر زون ۷/۲ نیز به علت داشتن مقدار سنگ آهک کمتر و همچنین وجود یک لایه مارنی به ضخامت ۱/۵ تا ۲/۵ متر در قاعده جدا می‌گردد.

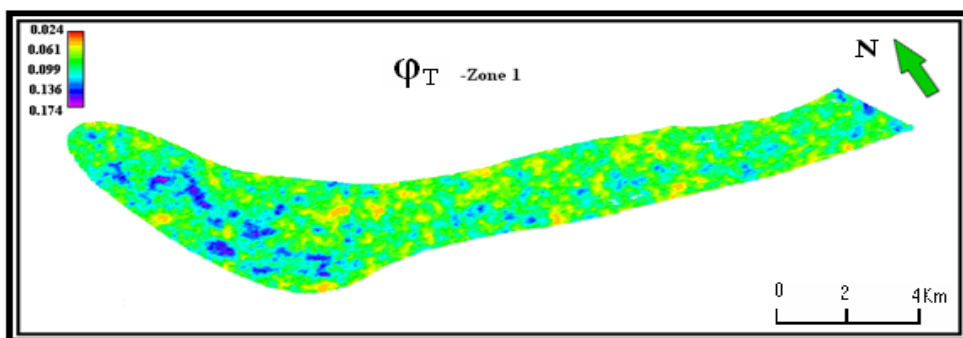
زیر زون ۷/۲: این زون که متعلق به بخش میانی آسماری زیرین است، عمدتا از سنگ آهک، آهک-های دولومیتی و مقادیری دولومیت تشکیل شده است. متوسط ضخامت حفاری شده آن ۴۴/۱ متر است. این زون که تحتانی‌ترین بخش آسماری زیرین را در بر می‌گیرد، عمدتا از سنگ آهک و مقادیر کمی دولومیت بصورت لایه‌های نازک پراکنده و یا دولومیت‌های توده‌ای (به ویژه در بخش زیرین) تشکیل شده است. متوسط ضخامت حفاری شده آن ۷۲/۸ متر است. از لحاظ سنگ‌شناسی ۶۹ درصد این زون را سنگ آهک، ۲۶ درصد دولومیت، ۴ درصد سنگ‌های رسی (عمدتا شیل و مارن) تشکیل می‌دهد، و از انیدریت و ماسه سنگ اثری دیده نمی‌شود.

در زیر برای هر یک از ۸ زون موجود در سازند آسماری تخلخل مدل‌سازی گردید (شکل ۱۰ الی شکل ۱۹). بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی پتروفیزیکی و محاسبات آماری، دامنه تخلخل به دست آمده در زون‌های مخزنی در جدول ۱ قید شده است.

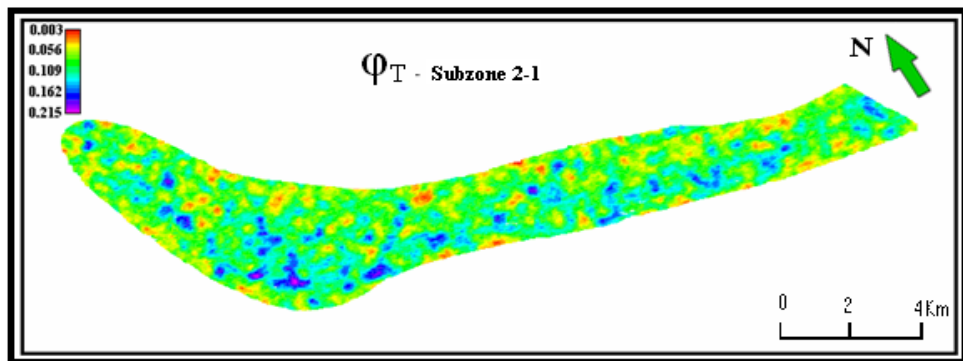
سنگ‌های رسی (اغلب شیل و مارن)، ۲۲ درصد دولومیت و ۲۶ درصد سنگ آهک تشکیل شده است. زون ۳ اساسا کربناته بوده و از دولومیت، سنگ آهک-های دولومیتی و لایه‌های نازکی از انیدریت با فراوانی ۴۵ درصد دولومیت، ۴۴ درصد سنگ آهک، ۶ درصد انیدریت و ۵ درصد سنگ‌های رسی (شیل و مارن) تشکیل شده است. در قاعده این زون نیز لایه ۱ تا ۲ متری مارنی دیده می‌شود که حد پائینی این زون محسوب می‌شود. زون ۴ بطور متوسط ۱۹ متر ضخامت دارد. از نظر سنگ‌شناسی عمدتا از سنگ آهک، سنگ آهک‌های دولومیتی و سنگ‌های رسی (عمدتا شیل و مارن) تشکیل شده است. نتایج ارزیابی‌های پتروفیزیکی میزان سنگ آهک در این زون را ۵۱ درصد، دولومیت و ۳۲ درصد و سنگ‌های رسی را ۱۶ درصد، انیدریت و ماسه سنگ هر کدام ۱ درصد را نشان داده است. زون ۵ با میانگین ضخامت ۴۱ متر این زون از ۶۰ درصد سنگ آهک، ۳۴ درصد دولومیت، ۴ درصد سنگ‌های رسی (عمدتا شیل و مارن) و ۱ درصد ماسه سنگ و ۱ درصد انیدریت تشکیل شده است. زون ۶ از سنگ آهک‌های ضخیم لایه دولومیتی و دولومیت با بین لایه‌های شیلی تشکیل شده است. متوسط ضخامت حفاری شده این زون حدود ۹۶ متر است. نتایج ارزیابی‌های پتروفیزیکی ۵۱ درصد این زون را سنگ آهک، ۴۱ درصد دولومیت، ۷ درصد سنگ‌های رسی (عمدتا شیل و مارن)، ۱ درصد انیدریت و بدون حضور ماسه سنگ نشان داده است. زون ۷ از سنگ آهک‌های دولومیتی، سنگ آهک و مقادیری دولومیت همراه با لایه‌های نازک شیل به ضخامت متوسط ۸۹/۶ متر تشکیل شده است. در قاعده این زون یک لایه مارنی-شیلی به ضخامت ۰/۵ تا ۱/۵ متر باعث تفکیک این زون از زون

جدول ۱- دامنه تغییرات تخلخل در زون های مخزنی سازند آسماری میدان نفتی A.

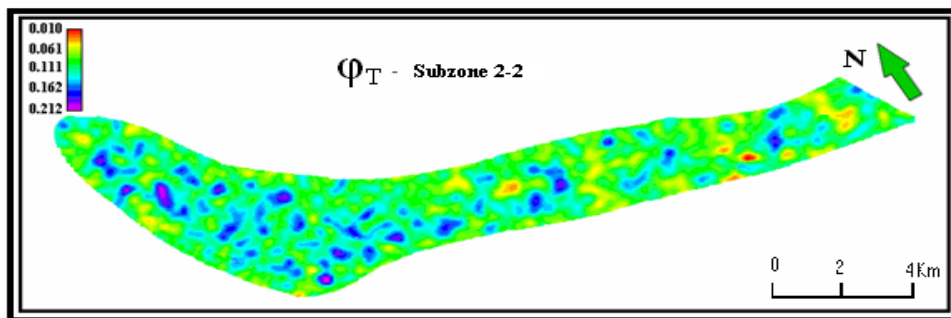
زون های مخزنی	درصد تخلخل
زون ۱	۲/۴ تا ۱۷/۴
زون ۲	۰/۵ تا ۲۱/۵
زون ۳	۱/۲ تا ۱۴/۹
زون ۴	۰/۹ تا ۲۰/۷ درصد
زون ۵	۴/۶ تا ۱۹/۲
زون ۶	۵/۲ تا ۱۴ درصد
زون ۷	۳/۵ تا ۱۷/۷
زون ۸	۱/۹ تا ۱۳ درصد



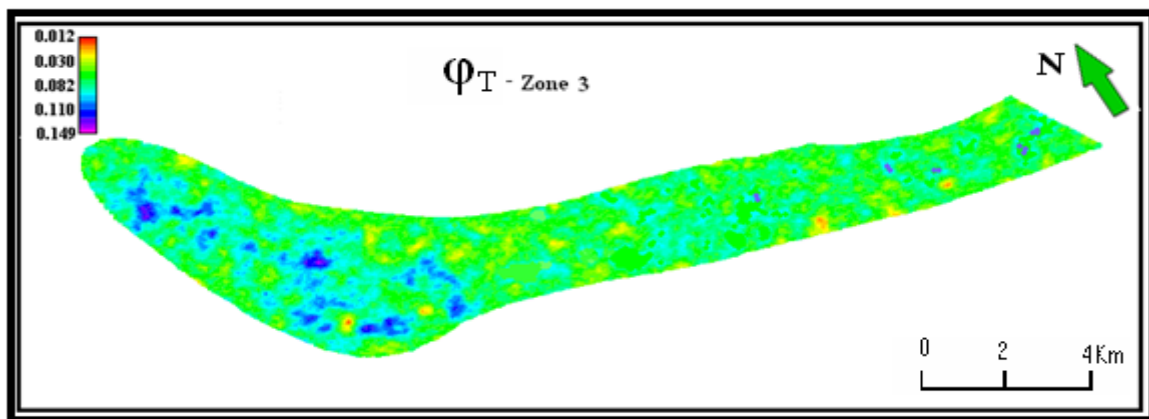
شکل ۱۰- نقشه گسترش تخلخل برای زون ۱ مخزن آسماری میدان A



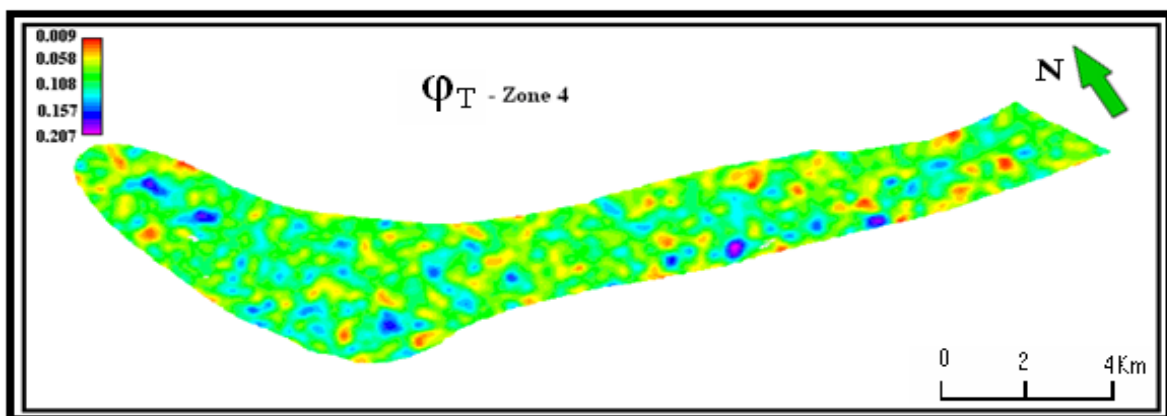
شکل ۱۱- نقشه گسترش تخلخل برای زیر زون ۲/۱ مخزن آسماری میدان A



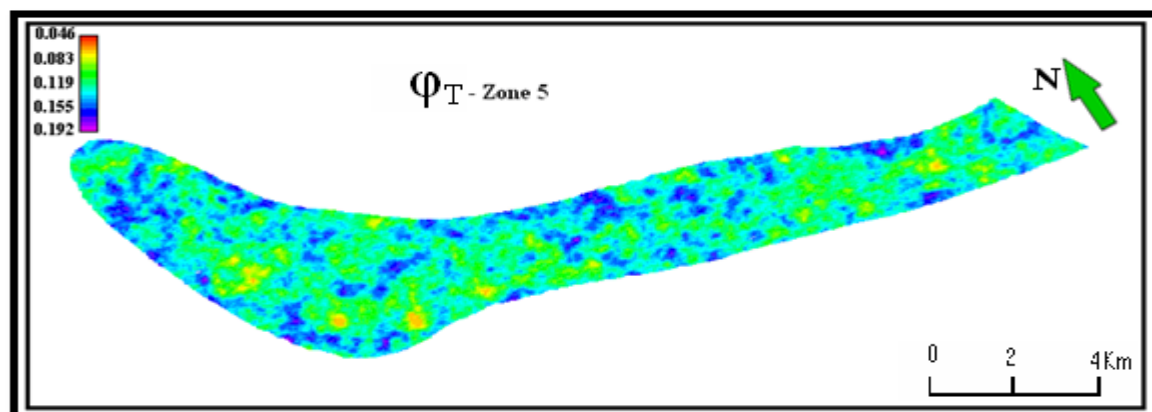
شکل ۱۲- نقشه گسترش تخلخل برای زیر زون ۲/۲ مخزن آسماری میدان A



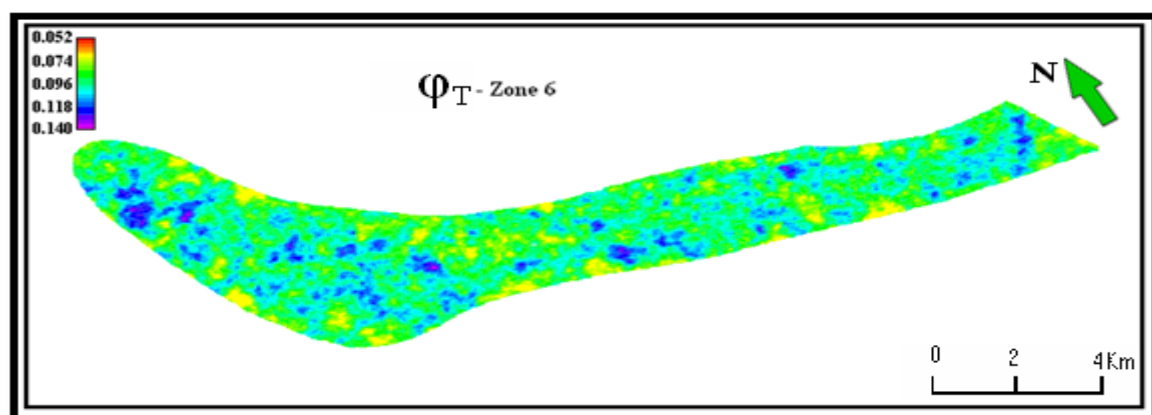
شکل ۱۳- نقشه گسترش تخلخل برای زون ۳ مخزن آسماری میدان A



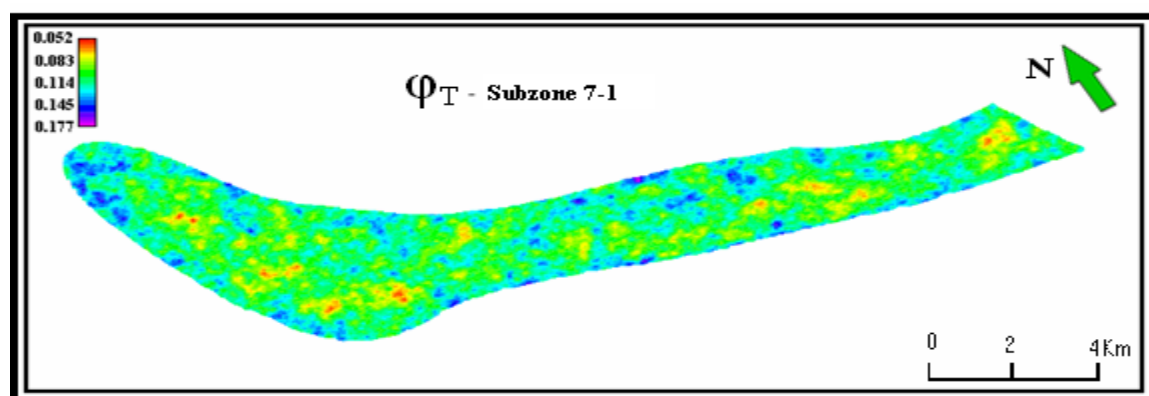
شکل ۱۴- نقشه گسترش تخلخل برای زون ۴ مخزن آسماری میدان A



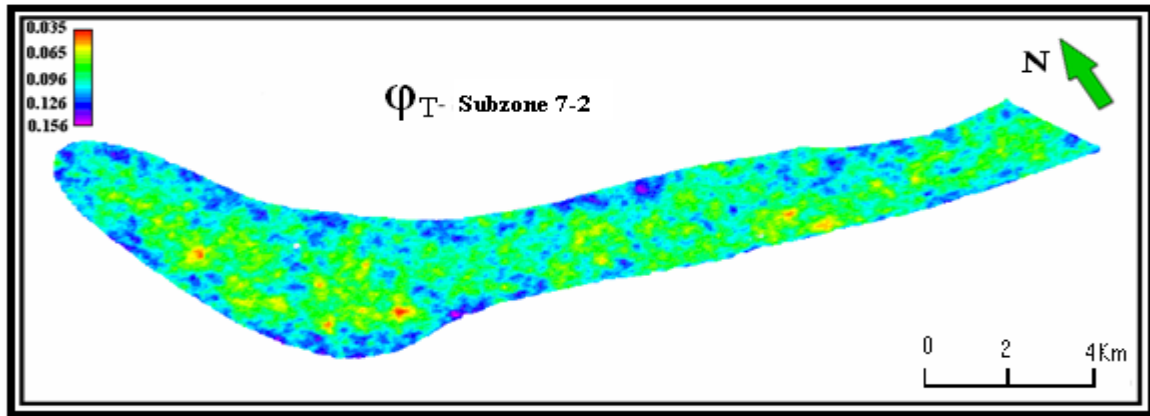
شکل ۱۵- نقشه گسترش تخلخل برای زون ۵ مخزن آسماری میدان A



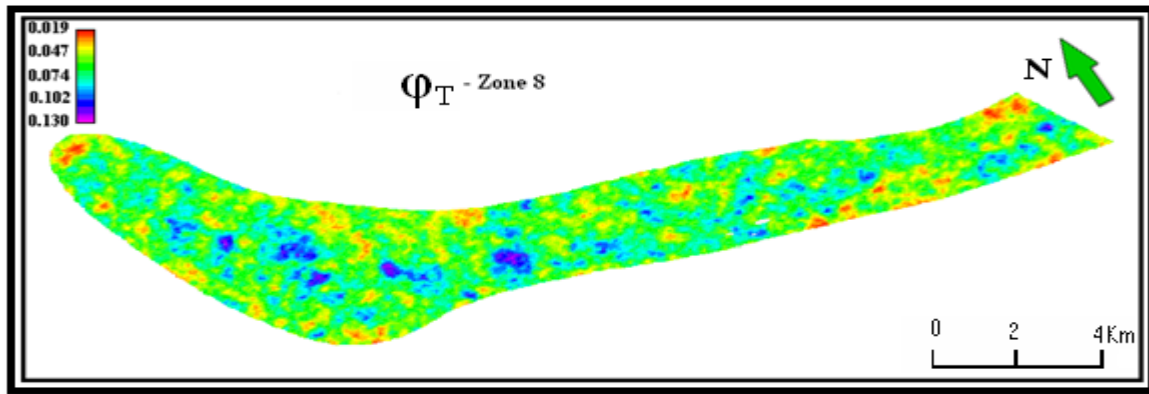
شکل ۱۶- نقشه گسترش تخلخل برای زون ۶ مخزن آسماری میدان A



شکل ۱۷- نقشه گسترش تخلخل برای زیر زون ۷/۱ مخزن آسماری میدان A



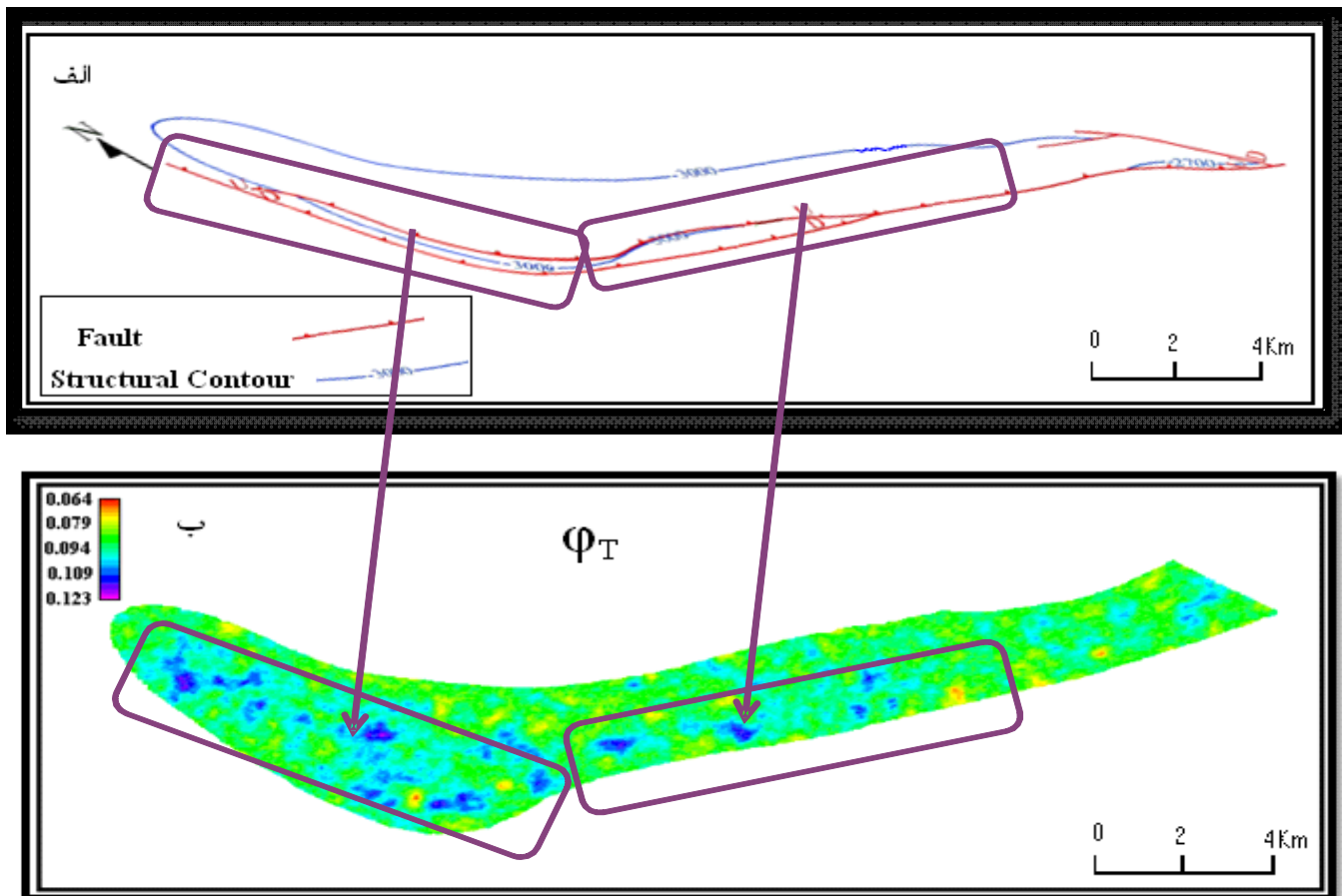
شکل ۱۸- نقشه گسترش تخلخل برای زیر زون ۷/۲ مخزن آسماری میدان A



شکل ۱۹- نقشه گسترش تخلخل برای زیر زون ۸ مخزن آسماری میدان A

جنوبی میدان و دماغه شمال- غربی و کمترین حد تخلخل در قسمت های شمالی میدان دیده می شود. این موضوع به احتمال قوی به دلیل توسعه شکستگی ها و درز و شکاف و نقش آن ها در افزایش تخلخل می باشد.

همان گونه که از شکل ۲۰ پیداست، این میدان تحت تأثیر دو گسل قرار گرفته است، با توجه به این نکته و بررسی دقیق مدل های تخلخل در بالا مشخص شد که این گسل ها تأثیر بسزایی بر روی مقدار تخلخل داشته اند، بطوریکه بیشترین فراوانی تخلخل در قسمت حاشیه



شکل ۲۰- هم سوئی آشکار زون های با تخلخل بیشتر با راستای گسل های موجود در میدان A، الف) نقشه گسترش میدان به همراه موقعیت گسل های اصلی تاثیر گذار بر آن. ب) نقشه گسترش تخلخل با نواحی گسل خورده یعنی دامنه جنوبی و بخش جنوب غربی میدان به خوبی مشخص است.

اغلب دارای تخلخل کم (۵ تا ۱۲ درصد) بوده و دارای توان تولیدی کمتری می باشد. تخلخل در آسماری زیرین (بویره در بخش تحتانی آن) به علت وجود سنگ آهک های متراکم در مقایسه با سایر بخش ها میزان کمتری (به طور متوسط ۱۱/۵ درصد) را دارا می باشد اما در دامنه شمالی (چاه ۲۶) و بخش شمال شرقی میدان سنگ های آسماری زیرین به علت گسترش سنگ های دولومیتی دارای کیفیت بهتری نسبت به سنگ های آسماری زیرین دامنه جنوب شرقی میدان می باشند. آسماری میانی به علت ضخامت زیاد، احتمالاً مجموعه

در میدان مزبور تولید از سازند آسماری تحت تاثیر تلفیقی از یک سیستم توام تخلخل ماتریکس و شکستگی می باشد. اما بیشترین میزان تولید از طریق شکستگی های باز و لایه های متخلخل (به خصوص دولومیت ها) صورت می پذیرد. نتایج آنالیز مغزه ها (هرچند در تعداد کمی چاه مغزه گیری صورت گرفته است) نشان می دهد که میزان تخلخل در لایه های دولومیتی بین ۱۵ تا ۲۰ درصد و طبقات ماسه ای اغلب دارای بیشترین درصد تخلخل (بیش از ۲۰ درصد) هستند. سنگ های کربناته دولومیتی نشده و یا رسی

(زون‌های ۱، ۲، ۳ و ۶) و تا حد کمی در آسماری زیرین (زیر زون ۷/۲ و بخشی از زون ۸) قرار دارند.

۴- با توجه به این نتیجه مشخص شد که زون‌های ۲ و ۶ و زیر زون ۷/۲، ۸ و ۱ از لحاظ بهره‌دهی دارای شرایط بسیار خوب تا خوب و سایر زون‌ها دارای شرایط متوسط تا ضعیف می‌باشند.

۵- گسل‌ها تاثیر بسزایی بر روی مقدار تخلخل داشته‌اند، به طوریکه بیشترین فراوانی تخلخل در قسمت حاشیه جنوبی میدان و دماغه شمال- غربی و کمترین حد تخلخل در قسمت‌های شمالی میدان دیده می‌شود. که ناشی از گسترش شکستگی‌های است که بر اثر سیستم گسلی ایجاد شده‌اند.

۶- کوهانک غربی مخزن به طور کلی دارای شرایط مخزنی بهتر از کوهانک شرقی است.

سپاسگزاری

از مدیریت محترم شرکت مهندسی و توسعه نفت تهران به خاطر در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز و نرم افزار پترل برای انجام این پژوهش، کمک‌های مالی و اجازه انتشار نتایج حاصله تشکر می‌شود. کمک‌های فراوان آقای مهندس علی رضا رستمی از اداره کل اکتشاف و تولید شرکت ملی نفت موجب امتنان فراوان است. از آقای دکتر علی کدخدایی به دلیل راهنمایی‌های ارزنده‌شان در پردازش داده‌ها به کمک نرم افزار پترل صمیمانه قدردانی می‌شود. از داوران ناشناس که با نکته‌سنجی مقاله را نقد نموده و راهکارهای ارزشمندی برای برطرف نمودن لغزش‌ها و بهبود آن ارائه نمودند سپاسگزاری می‌شود.

متنوعی از تخلخل را در بر می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های بالایی آسماری میانی به علت گسترش سنگ‌های دولومیتی و همچنین افق‌های تخریبی متخلخل (ماسه و ماسه سنگ) دارای تخلخل متوسط بیشتری است. مقدار متوسط تخلخل در آسماری میانی و بالایی بین ۱۲ تا ۱۴ درصد متغیر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱- در میدان A تولید از سازند آسماری تحت تاثیر تلفیقی از یک سیستم توام تخلخل ماتریکس و شکستگی می‌باشد. اما بیشترین میزان تولید از طریق شکستگی‌های باز و لایه‌های متخلخل (به خصوص دولومیت‌ها) صورت می‌پذیرد.

۲- بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی پتروفیزیکی، محاسبات آماری و نمودارهای هیستوگرام، فراوان‌ترین فرکانس تخلخل (مد) به دست آمده در زون‌های مخزنی به صورت زیر می‌باشد:

زون ۱ (تخلخل ۸ تا ۱۰ درصد)

زون ۲ (تخلخل ۸ تا ۱۱ درصد)

زون ۳ (تخلخل ۲ تا ۵ درصد)

زون ۴ (تخلخل ۹ تا ۱۲ درصد)

زون ۵ (تخلخل ۱۲ تا ۱۵ درصد)

زون ۶ (تخلخل ۸ تا ۱۱ درصد)

زون ۷ (تخلخل ۹ تا ۱۲ درصد)

زون ۸ (تخلخل ۲ تا ۶ درصد).

۳- بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه مشاهده شد که بخش‌های متخلخل عمدتاً در آسماری بالایی و میانی

منابع

- 10- Khoshdel, H., and M. A. Riahi, 2007, 3D Porosity estimation using multiattribute analysis methods in one of the Persian Gulf Oil Fields: *Journal of Society of Petroleum Engineers* v. 22, p. 395-406.
- 11- Masafferro, J. L., M. Bulnes, J. Poblet, and N. Casson, 2003, Kinematic evolution and fracture prediction of the Valle Morado structure inferred from 3-D seismic data, Salta Province, northwest Argentina: *AAPG Bull* v. 87, p. 1083-1104.
- 12- Mitra, S., and W. Leslie, 2003, Three dimensional structural model of the Rhourde el Baguel field, Algeria: *AAPG Bull* v. 87, p. 231-250.
- 13- Mitra, S., J. A. D. Gonzalez, J. G. Hernandez, S. H. Garcia, and S. Banerjee, 2006, Structural geometry and evolution of the Ku, Zaap and Maloob structures, Campeche Bay, Mexico: *AAPG Bull* v.90, p. 1565-1584.
- 14- Ortiz, J., and C. V. Deutsch, 2002, Calculation of uncertainty in the Variogram. *Mathematical Geology* v. 34, p. 169-183.
- 15- Wellmer, F. W. 1998, *Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits*. Springer New Yourk. 379p.
- 16- Wong, P. M. 2003, A novel techniques for modeling fracture intensity: A case study from the Pinedale anticline in Wyoming: *AAPG Bull.*, v. 87, p. 1717-1727.
- ۱- حسنی پاک ع، ا.، ۱۳۷۷، زمین آمار: انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.
- ۲- حسنی پاک ع، ا. و م. شرف الدین ۱۳۸۰: تحلیل داده های اکتشافی: انتشارات دانشگاه تهران، ۹۷۷ صفحه.
- ۳- ظهرا ب زاده م.، ۱۳۸۵، مطالعه زمین شناسی مخزن آسماری میدان رگ سفید: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات، ۳۷۸ صفحه.
- 4- Corstanje, R., S. Grunwald, and R. M. Lark, 2008, Inferences from fluctuations in the Local variogram about the assumption of stationary in the variance: *Geoderma* v. 143, p. 123-132.
- 5- Deutsch, C. V. 2002, *Geostatistical Reservoir Modeling*. Oxford University Press, Oxford. 376p.
- 6- Hennings, P. H., J. E. Oslon, and L. B. Thompson, 2000, Combining outcrop data and three- dimensional structural models to characterize fracture reservoir: An example from Wyoming: *AAPG Bull* v. 84, p. 830-849.
- 7- Isaak, E. H., and R. M. Srivastar, 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*: Oxford Univ. Press, Oxford. 561 P.
- 8- Jackson, M. D., S. Yoshida, A. H. Muggeridge, and H. D. Johnson, 2005, Three-dimensional reservoir characterization and flow simulation of heterolithic tidal sandstones: *AAPG Bull* v. 89, p. 507-528.
- 9- Journel, A. G., and Ch. J. Huijbregts, 1990, *Mining Geostatistics*: Academic Press Inc. 342 p.