

تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی با استفاده از روش‌های مختلف در سازند کربناته‌ی ایلام واقع در یکی از میادین نفتی جنوب‌غربی ایران

رضا غلامی*، بهمن سلیمانی^۱، دانشگاه شهید چمران اهواز • سعید خواجویی^۲، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۱۰/۱۳
تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۱۰/۲۳
تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۱۲/۱۲

چکیده

یک واحد جریانی بخشی از مخزن است که به‌طور عمودی و جانبی، پیوسته است؛ به‌طوری که ویژگی‌های پتروفیزیکی و زمین‌شناسی تأثیرگذار بر جریان سیال در آن واحد ثابت است. با تعیین واحدهای جریانی در سنگ مخزن و بررسی توزیع متغیرهای تخلخل و تراوایی می‌توان نواحی با کیفیت مناسب مخزنی و مکان‌های بهینه و مناسب را شناسایی کرد. برای تعیین تعداد واحدهای جریانی از روش‌های مختلفی نظیر آنالیز هیستوگرام، احتمال نرمال، مجموع مربعات خطاها (SSE)، روش وینلند R35، نمودار SMLP، نمودار RQI و روش DRT استفاده شده است. از میان این روش‌ها، روش‌های SSE و DRT نسبت به بقیه عملکرد بهتری دارند؛ هرچند سایر روش‌ها نیز کاربرد مفیدی دارند. در این مطالعه از داده‌های آنالیز معمولی مغزه‌ی حاصل از سه حلقه چاه استفاده شده و آنالیزهای ذکر شده در بالا روی آنها انجام گردید. با اعمال تمامی این روش‌ها روی داده‌های مخزن ایلام در یکی از میادین جنوب‌غربی ایران، در نهایت چهار واحد جریانی شناسایی شد. بهترین واحدهای جریانی مطابقت خوبی با بخش‌های مخزنی ایلام اصلی و بالایی دارند. همچنین مطالعه‌ی مقاطع نازک مشخص کرد فرآیندهای دولومیتی شدن و انحلال، مهم‌ترین عوامل افزایش کیفیت مخزنی در سازند ایلام، به‌خصوص در نواحی مخزنی آن به‌شمار می‌روند.

واژگان کلیدی:

سازند ایلام، تخلخل و تراوایی، شاخص ناحیه‌ی جریانی، واحدهای جریان هیدرولیکی

مقدمه

می‌کنند که با ارزیابی همه‌ی آنها می‌توان چهار واحد جریانی را برای مخزن ایلام در نظر گرفت.

۱- موقعیت و زمین‌شناسی منطقه

سازند ایلام در میدان مورد مطالعه عمدتاً از سنگ آهک‌های روشن و کرم‌رنگ تشکیل شده است. در بخش بالایی آن لایه‌هایی از مارن، رس سنگ قرمز قهوه‌ای و شیل خاکستری نیز وجود دارد. در این محل، مرز بالایی این سازند با سازند گورپی ناهمساز و مرز پایینی آن با سازند لافان به‌صورت همساز است. سازند ایلام در گستره‌ی این میدان و میادین همجوار دو افق مخزنی مجزا دارد. افق مخزن ایلام بالایی در فواصل اولیه‌ی سازند قرار دارد که ضخامت آن در محل چاه‌ها عمدتاً ۵ متر بوده و در بعضی نقاط دیگر میدان به ۱۰ متر نیز می‌رسد. افق مخزن ایلام اصلی در میانه‌ی سازند قرار دارد که ضخامت آن در کل میدان ۶۵-۴۹ متر متغیر بوده و به‌طور میانگین ۵۷/۲۵ متر اندازه‌گیری شده است. این افق مخزنی در چاه A#1، ۶۱/۵ متر، در چاه A#2، ۶۵ متر و در چاه NW#1، ۵۸/۵ متر ضخامت دارد.

۲- واحدهای جریان هیدرولیکی

یک واحد جریانی، بخشی از مخزن است که به‌طور جانبی و قائم

تخلخل و تراوایی دو عامل مهم برای ارزیابی سازند و توصیف خصوصیات مخزن در صنعت نفت و گاز به‌شمار می‌روند. معمولاً سنگ‌های مخازن کربناته به‌دلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی از قبیل فرآیندهای دیاژنزی، بافت رسوبی و محیط‌های رسوبی مختلف، مشخصه‌ای ناهمگن دارند. درک واضح‌تر رفتار مخازن، نیازمند تقسیم‌بندی این مخازن به نواحی، لایه‌ها و واحدهای مجزایی با درجه‌ی ناهمگنی کمتر است. مفهوم واحدهای جریان هیدرولیکی^۳ به‌طور گسترده‌ای برای توصیف خصوصیات مخزن به کار می‌رود [۱]. یکی از اهداف توصیف مخزن، تفکیک آن به واحدهای کوچک‌تر (لایه یا ناحیه) و اختصاص متغیرهای پتروفیزیکی با مقادیر بیان‌کننده برای هر واحد است [۲ و ۳]. تئوری اولیه‌ی واحدهای جریانی توسط [۴] ارائه شد. اما تعریف رایج و امروزی واحدهای جریانی که مورد استفاده‌ی پژوهشگران است، اولین بار توسط [۱] ارائه شده است. محققان دیگری نظیر [۵-۸] نیز تئوری واحدهای جریانی را برای پیش‌بینی تراوایی با استفاده از اطلاعات مغزه و نمودارهای چاه‌پیمایی استفاده کردند. در این مطالعه ابتدا مقادیر شاخص ناحیه‌ی جریانی (FZI)، شاخص کیفیت مخزن (RQI) و نسبت تخلخل به ماتریکس (PMR) برای تمامی نمونه‌های مغزه محاسبه شده و سپس روش‌های مختلفی برای تعیین تعداد بهینه‌ی واحدهای جریان استفاده گردید. هر یک از این روش‌ها، تعداد دسته‌ی معینی برای داده‌ها مشخص

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (petroleum.gh92@gmail.com)

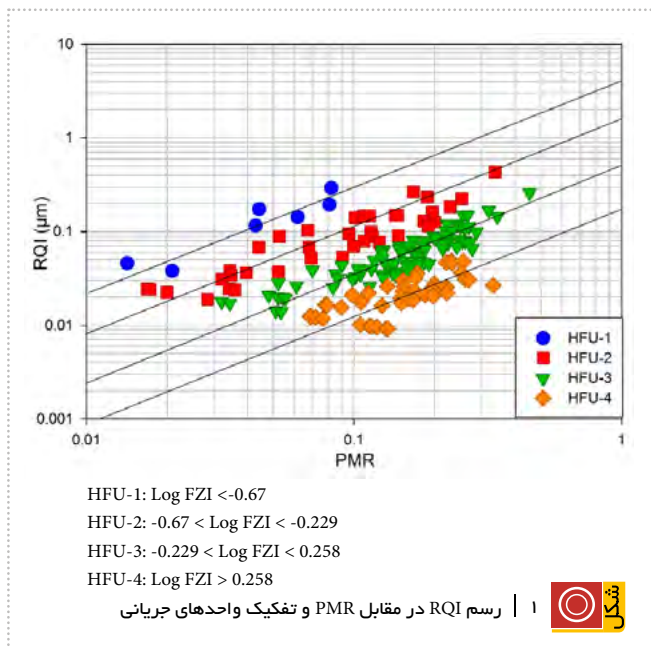
گرفت. در واقع نمونه‌هایی که روی یک خط قرار دارند، دارای خواص گلوگاهی یکسان بوده و بنابراین یک واحد جریان را تشکیل می‌دهند. در واقع هر خط نماینده‌ی یک واحد جریانی بوده و خط $PMR=1$ را در نقطه‌ای قطع می‌کند که این تقاطع، میانگین FZI برای هر واحد جریانی است. شکل-۱ چهار واحد جریانی را با محدوده‌ی مرزی معین برای تمامی داده‌های هر سه چاه نمایش می‌دهد (شکل-۱).

۳- روش‌های تعیین واحد جریانی

مطالعه‌ی واحدهای جریانی بر اساس داده‌های مغزه انجام می‌شود که در میدان مورد مطالعه چاه‌های A#3، A#2 و A#1 NW اطلاعات آنالیز معمولی مغزه دارند و بدین منظور استفاده شده‌اند. تعیین و شناسایی واحدهای جریان هیدرولیکی از روش‌های مختلفی از قبیل هیستوگرام و آنالیز احتمال نرمال (که روش‌های آماری هستند) و همچنین روش‌های نمودار اصلاح شده‌ی لورنز (SMLP)، شاخص ناحیه‌ی جریانی (DRT)، (FZI) و وینلند R35 انجام می‌شوند. همچنین برای مشخص شدن تعداد بهینه‌ی واحدها از روش مجموع مربعات خطاها (SSE) بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی K-means استفاده می‌شود. در این مطالعه انجام تمامی محاسبات و تحلیل‌ها در محیط نرم‌افزار Excel انجام و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای Minitab و Sigma plot استفاده شده است. همچنین خوشه‌بندی داده‌ها توسط نرم‌افزار قدرتمند Matlab انجام گردیده است.

۳-۱- آنالیز هیستوگرام و احتمال نرمال

در روش هیستوگرام توزیع لگاریتم شاخص ناحیه‌ی جریانی در هر



پیوسته بوده و خصوصیات لایه‌بندی، تخلخل و تراوایی مشابه دارند [۴]. این واحدها قابل نقشه‌برداری و قابل پیش‌بینی بوده و با بقیه‌ی حجم سنگ مخزن متفاوت است و ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی که بر جریان سیال تأثیر می‌گذارد از لحاظ درونی در هر واحد ثابت است [۹].

[۱۰ و ۱۱] فضای متخلخل را به‌عنوان یک دسته لوله‌های موئین شبیه‌سازی کردند. آنها با ترکیب قانون داری (برای جریان در فضای متخلخل) و قانون پوزبله (برای جریان در لوله‌ها) و با در نظر گرفتن عامل پیچایی (τ)، رابطه‌ی ۱- را بین تخلخل و تراوایی تعریف کردند [۷].

$$k = \left[\frac{\varphi_e^3}{(1-\varphi_e)^2} \right] \frac{1}{F_s \tau^2 S_{gv}^2} \quad (1)$$

در این رابطه k تراوایی برحسب میکرومترمربع (μm^2)، عامل پیچایی، φ_e تخلخل مؤثر، F_s عامل شکل و S_{gv} مساحت سطح در واحد حجم دانه است. پس از تقسیم رابطه‌ی ۱- بر φ_e ، می‌توان شاخص کیفیت مخزن (RQI)، شاخص منطقه‌ی جریان (FZI) و نسبت تخلخل به ماتریکس (PMR) را به‌شکل رابطه‌ی ۲- تعریف کرد [۶]:

$$RQI = 0.0314 \sqrt{\frac{k}{\varphi_e}} \quad (2)$$

$$PMR = \frac{\varphi_e}{1-\varphi_e} \quad (3)$$

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s \tau S_{gv}}} = \frac{RQI}{PMR} \quad (4)$$

در این روابط تراوایی برحسب میلی‌داریسی است و عدد ثابت 0.0314 برای تبدیل k از واحد میکرومتر (μm^2) به میلی‌داریسی (mD) در نظر گرفته می‌شود [۸].
 رابطه‌ی ۴- را می‌توان به‌صورت لگاریتمی نیز نوشت:

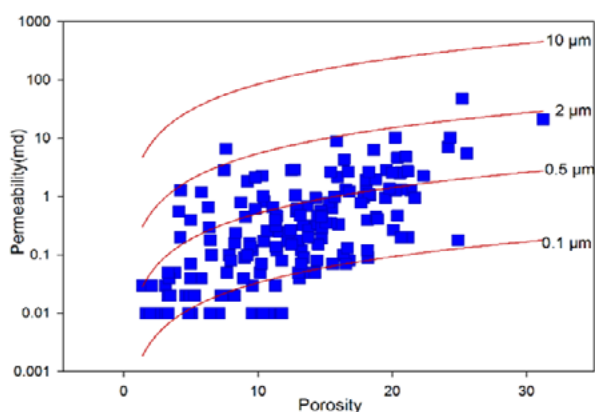
$$\log RQI = \log \varphi_z + \log FZI \quad (5)$$

طبق رابطه‌ی ۵- در حالت ایده‌آل، اگر مقادیر RQI و PMR را در یک مقیاس لگاریتمی در مقابل هم رسم کنیم نمونه‌هایی که مقادیر شاخص منطقه‌ی جریان یکسانی دارند روی یک خط ثابت با شیب واحد قرار می‌گیرند و نمونه‌های با مقادیر متفاوت شاخص منطقه‌ی جریان روی خطوط موازی با هم قرار خواهند

نمودار احتمالی مشخص می‌گردد (شکل ۲-ب). روش آنالیز نرمال به دلیل سهولت شناسایی خطوط مستقیم نسبت به روش هیستوگرام از دقت بیشتری برخوردار است. این نمودارها تعداد پنج دسته داده را برای تمامی نمونه‌های مغزه‌ی هر سه چاه به نشان می‌دهد.

۲-۲- مجموع مربعات خطاها (SSE)

با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی نظیر k-means، می‌توان داده‌های FZI را حول نقطه‌ای مرکزی طبقه‌بندی کرد. این روش در ابتدا دسته‌های FZI را برابر یک فرض کرده و آنالیز خوشه‌بندی را انجام می‌دهد و در ادامه با افزایش تعداد دسته‌های FZI آنالیز خوشه‌بندی را در هر مرحله تکرار می‌کند. بدین ترتیب داده‌ها در گروه‌های مشخصی قرار داده می‌شوند که هر کدام یک نقطه به‌عنوان مرکز دسته دارند. فاصله‌ی هر داده تا نقطه‌ی مرکزی نیز با روش‌های مناسب محاسبه می‌گردد و با اعمال آنالیز رگرسیون خطی روی داده‌ها، مجموع مربعات خطا نیز برآورد می‌شود. سپس تعداد دسته‌ها که همان واحدهای جریان هستند در مقابل مجموع مربعات خطا رسم می‌گردند. با افزایش تعداد واحد جریان هیدرولیکی، مقدار مجموع مربع خطاها کاهش یافته اما از یک مقدار به بعد، تغییرات کاهش آن محسوس نبوده و قابل صرف‌نظر کردن است. شکل ۳- همان تعداد واحد جریان هیدرولیکی بهینه است. شکل ۴- چهار واحد بهینه را برای کل داده‌های مغزه‌ی هر سه چاه نشان می‌دهد. مهم‌ترین مزیت این روش نسبت به سایر روش‌ها اینست که مستقل از کاربر عمل می‌کند.

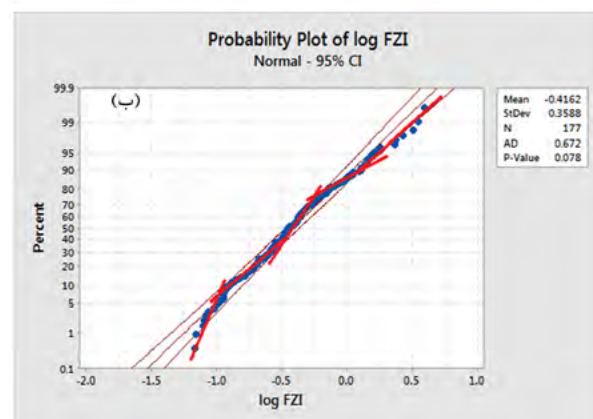
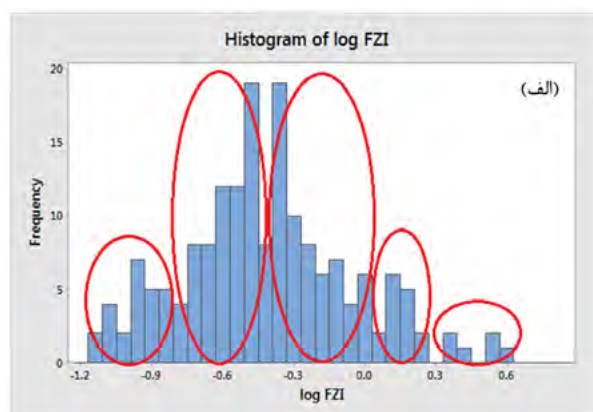


Megaport: units with R35 values greater than 10μm
 Macroport: units with R35 values between 2 & 10μm
 Mesoport: units with R35 values between 0.5 & 2μm
 Microport: units with R35 values between 0.1 & 0.5μm
 Nanoport: units with R35 values smaller than 0.1μm

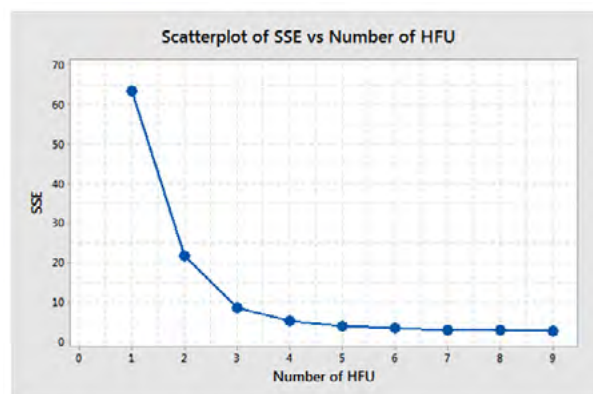
دسته‌بندی داده‌های تخلخل و تراوایی بر اساس اندازه‌ی دهانه‌ی منافذ (R35) | ۴



واحد جریان به صورت توزیع نرمال است [۱۲]. در واقع هر توزیع نرمال در نمودار هیستوگرام نشان‌دهنده‌ی یک دسته داده‌ی منحصر به فرد است (شکل ۲-الف). همچنین طبق اصول واحدهای جریان هیدرولیکی، آنالیز احتمال نرمال لگاریتم شاخص ناحیه‌ی جریانی در هر واحد جریان به صورت توزیع خطی است [۸]. با رسم این نمودار، تعداد بهینه‌ی واحدهای جریانی بر اساس تعیین نقاط شکستگی روی



نمودارهای هیستوگرام و احتمال نرمال لگاریتم شاخص ناحیه‌ی جریانی (FZI) برای تمامی داده‌های موجود | ۲



نمودار SSE در مقابل تعداد دسته‌ها و تعیین تعداد بهینه‌ی واحد جریانی | ۳



روش می توان جهت تعریف حدود ناحیه های بهره ده و حذف تخلخل و تراوایی های بسیار کم استفاده کرد [۱۴]. این معادله امکان دسته بندی داده ها و کیفیت مخزن بر مبنای اندازه ی دهانه ی منافذ را فراهم می کند که به همراه سایر روش ها به تعیین تعداد و توزیع واحدهای جریان منجر می شود. شکل-۴ تعداد چهار واحد جریانی را بر مبنای اندازه ی دهانه ی منافذ برای تمامی داده های مغزه نشان می دهد.

۲-۴- نمودار لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه نگاری (SMLP)

[۱۵] روشی را برای ترکیب تخلخل، تراوایی و ضخامت لایه جهت تشخیص واحدهای جریانی تعریف کردند. آنها نمودار لورنز

۲-۳- نمودار R35 Winland

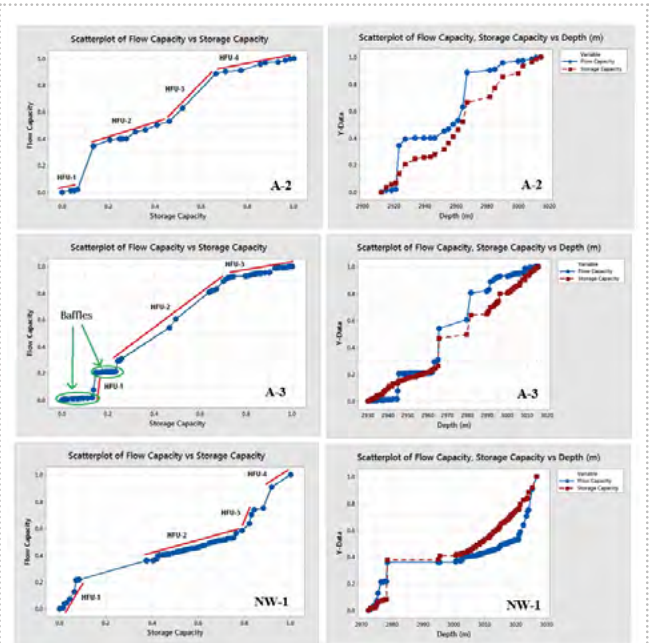
وینلند آنالیز رگراسیون را برای توسعه ی یک رابطه ی تجربی بین تخلخل، تراوایی و اندازه ی دهانه ی منافذ انجام داده است. سپس مناسب ترین تطبیق منحنی را در اشباع جیوه ی ۳۵ درصد به دست آورد و معادله ی زیر را ارائه داد. این رابطه توسط [۱۳] ارائه شد:

$$\text{Log}R35 = 0.732 + 0.588\text{Log}K - 0.864\text{Log}\phi \quad (۶)$$

در این فرمول تجربی R35 شعاع دهانه ی منافذ بر حسب میکرومتر، K تراوایی بر حسب mD و ϕ تخلخل بر حسب درصد است. از این

جدول ۱ | مقادیر محاسبه شده ی DRT

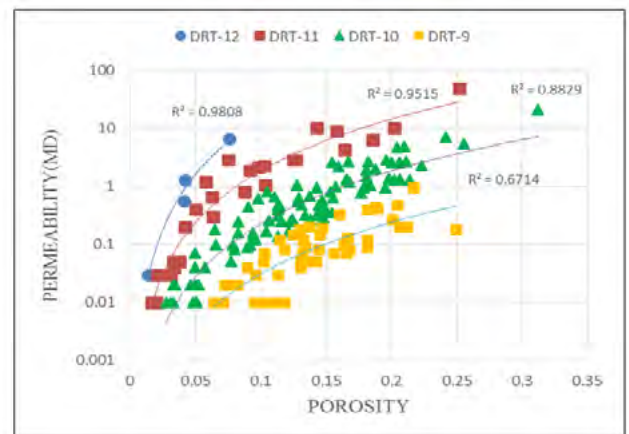
N	(Phi (fr	K	FZI	DRT
۱	۰.۰۷	۶.۵۹	۳.۵۵	۱۲
۲	۰.۰۱	۰.۰۳	۳.۲۳	۱۲
۳	۰.۰۴	۱.۲۹	۳.۹۲	۱۲
۴	۰.۰۹	۱.۸۵	۱.۳۸	۱۱
۵	۰.۲۵	۴۸	۱.۲۸	۱۱
۶	۰.۱۶	۴.۳۲	۰.۸۲	۱۱
۷	۰.۱۵	۲.۱۶	۰.۶	۱۰
۸	۰.۰۹	۰.۱۲	۰.۳۳	۱۰
۹	۰.۱	۰.۸۲	۰.۷۵	۱۰
۱۰	۰.۰۷	۰.۰۲	۰.۲	۹
۱۱	۰.۰۹	۰.۰۳	۰.۱۶	۹
۱۲	۰.۰۸	۰.۰۴	۰.۲۱	۹



شکل ۵ | رسم نمودار لورنز اصلاح شده بر مبنای چینه نگاری (SMLP) برای چاه های مورد مطالعه

جدول ۲ | ارزیابی تعداد واحدهای جریانی با روش های مختلف

Methods	Number of HFU			
	Well A-2	Well A-3	Well NW-1	All Well
Normal Probability	۳	۵	۴	۵
SSE	۳	۴	۴	۴
SMLP	۴	۳	۴	-
R35	۳	۳	۳	۴
RQI	۳	۴	۴	۴
DRT	۲	۳	۴	۴



شکل ۶ | دسته بندی داده های تخلخل و تراوایی با استفاده از روش DRT

$$DRT = Round(2 \log(FZI) + 10.7) \quad (7)$$

بر اساس این رابطه، چهار دسته DRT برای داده‌های مغزه‌ی مخزن ایلام تعیین شد (شکل-۶). همچنین از این معادله می‌توان برای پیش‌بینی تراوایی استفاده کرد. بدین صورت که پس محاسبه‌ی آن، مقادیر DRT به‌دست آمده پس از تعیین ساختار فضایی، در شبکه‌ی سه‌بعدی مخزن منتشر می‌شوند (جدول-۱). سپس با توجه به رابطه‌ی تخلخل و تراوایی در هر مجموعه DRT، به هر یک از سلول‌های شبکه‌ی مخزن مقدار معینی از تراوایی اختصاص داده می‌شود.

۳- نتایج

تمامی روش‌های ذکر شده برای هر یک از چاه‌ها و همچنین برای تمامی نمونه‌های هر سه چاه انجام شده که جهت جلوگیری از طولانی شدن مقاله، نمودارهای هر یک از چاه‌ها به‌طور جداگانه ارائه نشد و تنها نمودار مربوط به تمامی نمونه‌ها برای هر روش نمایش داده شد. با ارزیابی همه‌ی این روش‌ها در نهایت حداقل چهار واحد جریانی برای سازند ایلام شناسایی گردید. جدول-۲ نشانگر خلاصه‌ی تعداد واحدها در هر یک از روش‌های ذکر شده است. هر واحد جریانی در مخزن ویژگی منحصر به‌فردی دارد که در جدول-۳ مقادیر میانگین هر یک از این واحدها بیان شده است.

پس از تعیین واحدهای جریانی در مخزن، توزیع این واحدها در برابر عمق ارزیابی شد. HFU-1 به‌دلیل داشتن مقادیر بالاتر FZI، بهترین واحد جریانی و HFU-4 به‌دلیل مقادیر کمتر، FZI ضعیف‌ترین واحد جریانی شناخته شدند. بهترین کیفیت واحد جریانی، با نواحی مخزن ایلام اصلی و بالایی مطابقت خوبی دارد. همچنین در این فواصل، نمودارهای چاه‌پیمایی، تخلخل بیشتر و اشباع آب کمتری را نشان می‌دهند. به‌عبارت دیگر با افزایش کیفیت مخزن، مقایر اشباع آب در قسمت‌های مخزنی کاهش می‌یابد. از مهم‌ترین عواملی که سبب افزایش کیفیت مخزنی در این ناحیه شده، می‌توان به فرآیندهای دولومیتی شدن و انحلال اشاره کرد. با توجه به مطالعه‌ی مقاطع نازک، تخلخل غالب در این مخزن اکثراً از نوع تخلخل قالبی، حفره‌ای، بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری است.

در بخش ایلام بالایی، رخساره‌ی گریستون اووئیدی، گسترش محدودی دارد که فضای بین ذره‌ای آن با سیمان پر شده است. اما در همین بخش تخلخل‌های حفره‌ای و قالبی قابل مشاهده هستند. در بخش مخزنی ایلام اصلی فرآیندهای دولومیتی شدن و انحلال به‌خوبی قابل رؤیت هستند. بر اساس طبقه‌بندی دانه‌ها، عمده‌ترین و گسترده‌ترین رخساره‌ی سازند

اصلاح شده بر مبنای چینه‌نگاری را برای توصیف خصوصیات جریان استفاده کردند که نیازمند داده‌های معمولی تخلخل و تراوایی مغزه است. نمودار لورنز (SMLP) بر اساس رسم درصد تجمعی ظرفیت جریان^۴ در برابر درصد تجمعی ظرفیت ذخیره^۵ و با حفظ ترتیب چینه‌شناسی به‌دست می‌آید. نقاط عطف در نمودار SMLP بیانگر تغییرات در خواص جریانی محیط متخلخل است. این تغییرات توسط خطوط مستقیم و با شیب متفاوت که هر یک نشان‌دهنده‌ی یک واحد جریانی هیدرولیکی است، نشان داده می‌شوند که خطوط مستقیم موازی نماینده‌ی یک واحد جریانی است. پس از رسم نمودار، بخش‌هایی از آن، که شیب زیادی داشته و ظرفیت جریان بیشتری نسبت به ظرفیت ذخیره دارند فرآیند سرعت مخزنی زیادی خواهند داشت و در اصطلاح نواحی پر سرعت مخزنی نامیده می‌شوند. بخش‌های کم‌شیب نمودار که ظرفیت ذخیره‌ی آن مسطح بوده و ظرفیت جریان کمی دارند ناحیه‌ی غیرمخزنی یا Baffle نامیده می‌شوند. بخش‌هایی که نه ظرفیت جریان و نه ظرفیت ذخیره دارند به‌عنوان موانع و سدهای مخزنی در نظر گرفته می‌شوند. با رسم همزمان حاصل ضرب تراوایی و تخلخل در ضخامت، در مقابل عمق، اگر این دو منحنی از یکدیگر فاصله داشته باشند، هر چه تغییرات فاصله‌ی دو نمودار بیشتر باشد، نشانگر ناهمگنی بیشتر مخزن بوده و اگر مقدار جدایش تغییرات قابل توجهی نداشته باشند، معرف همگن بودن مخزن است. با توجه به شکل-۵ برای چاه‌های A2، A3 و NW-1 به ترتیب ۴، ۳ و ۴ واحد جریانی قابل تشخیص است. همچنین چاه A2 نسبت به دو چاه دیگر درجه‌ی ناهمگنی بیشتری دارد.

۲-۵- روش گونه‌های سنگی ناپیوسته (DRT)

از آنجا که مقادیر FZI متغیری پیوسته هستند با استفاده از رابطه‌ی ۹- می‌توان متغیر پیوسته FZI را به متغیر ناپیوسته تبدیل کرد. در این حالت نمونه‌ها در دسته‌های مجزایی طبقه‌بندی می‌شوند. این معادله توسط [۱۶]، برای توصیف مخازن کربناته استفاده شده است.

۳ | مقادیر میانگین ویژگی‌های مخزنی برای هر واحد جریانی

Class	Phi _{mean}	K _{mean}	PMR	RQI	FZI
HFU-1	۴.۶۶	۱.۷۹	۰.۰۴۹	۰.۱۴۳	۲.۸۵
HFU-2	۹.۴۱	۲.۹۵	۰.۱۰۵	۰.۱۰۲	۱.۰۰۵
HFU-3	۱۳.۶۹	۱.۱۰۸	۰.۱۶۳	۰.۰۶۲	۰.۳۷
HFU-4	۱۳.۴۴	۰.۱۰۳	۰.۱۵۸	۰.۰۲۲	۰.۱۴

مخزنی و همچنین بخش‌های غیرمخزنی در مقیاس عمق به‌شمار می‌رود.

- روش DRT به‌دلیل قرار دادن داده‌ها در دسته‌های مجزا و عملکرد مناسب آن، روشی مؤثری برای تعیین واحدهای جریان‌ی محسوب می‌شود.
- با ارزیابی روش‌های مورد مطالعه، در نهایت چهار واحد جریان‌ی برای سازند ایلام در دشت آبادان شناسایی شد که واحد-۱ به‌دلیل مقادیر بیشتر FZI، بهترین واحد جریان‌ی و واحد-۴ با مقادیر کمتر FZI، ضعیف‌ترین واحد جریان‌ی معرفی شد.
- توزیع بهترین واحد جریان‌ی (HFU-1) در مقیاس عمق مطابقت خوبی را با بخش‌های مخزنی ایلام اصلی و بالایی نشان می‌دهد. این واحد جریان‌ی همچنین انطباق مناسبی با مقادیر زیاد نمودار تخلخل و مقادیر کم نمودار اشباع آب دارد.

ایلام به‌خصوص در بخش ایلام اصلی، رخساره‌ی پکستون تا وکستون دولومیتی شده است.

نتیجه‌گیری

- از بین روش‌های آماری ارزیابی واحدهای جریان‌ی، آنالیز احتمال نرمال به‌دلیل مشخص بودن نقاط عطف در این منحنی، نسبت به روش هیستوگرام از عملکرد مفیدتری برخوردار است.
- روش مجموع مربعات خطاها (SSE)، به‌دلیل اینکه مستقل از کاربر عمل می‌کند، نسبت به روش‌های هیستوگرام و احتمال نرمال ابزار مؤثرتری برای تعیین تعداد بهینه‌ی واحدهاست.
- نمودار SMLP روشی کارآمد برای شناسایی ناحیه‌های پرسرعت

پانویس‌ها

1. soleimani3000@yahoo.com
2. saeed.khajoe@gmail.com

3. Hydraulic Flow Units
4. Flow Capacity

5. Storage Capacity

منابع

- [1] Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D. G., & Keelan, D. K. (1993). Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- [2] Aggoun, R. C., Tiab, T., and Owayed, J. F. (2006). Characterization of flow units in shaly sand reservoirs-Hassi R'Mel Oil Rim, Algeria. J. Pet. Sci. Eng. 50:211-226.
- [3] Bear, J. (1972). Dynamics of fluids in porous media. New York, NY: Elsevier.
- [4] Hearn, C. L., Ebanks Jr, W. J., Tye, R. S., & Ranganathan, V. (1984). Geological factors influencing reservoir performance of the Hartzog Draw Field, Wyoming. Journal of Petroleum Technology, 36(08), 1-335.
- [5] Perez, H.H., Datta-Gupta, A. and Mishra, S. (2005). The role of electrofacies, lithofacies, and hydraulic flow units in permeability prediction from well logs: a comparative analysis using classification trees. SPE Paper 84301.
- [6] Orodu, O. D., Tang, Z., & Fei, Q. (2009). Hydraulic (flow) unit determination and permeability prediction: a case study of block Shen-95, Liaohe Oilfield, North-East China. Journal of Applied Sciences, 9(10), 1801-1816.
- [7] Al-ajmi, F. A., Aramco, S., & Holditch, S. A. (2000). SPE 63254 Permeability Estimation Using Hydraulic Flow Units in a Central Arabia Reservoir.
- [8] Soto, R. B., Garcia, J. C., Torres, E., & Perez, G. S. (2001). Permeability prediction using hydraulic flow units and hybrid soft computing system.
- [9] Ebanks Jr, W. J. (1987). Flow unit concept-integrated approach to reservoir description for engineering projects. AAPG (Am. Assoc. Pet. Geol.) Bull.;(United States), 71(CONF-870606-).
- [10] Carmen, P.C.: "Fluid Flow through Granular Beds." Trans. AIChE (1937) V. 15, 150166.
- [11] Kozeny J. 1927: Uber kapillare leitung des wassers im boden, stuzugsberichte, Royal Academy OD Science, Vienna, Proc. Class1, 136: 271-306.
- [12] Abbaszadeh, M., Corp, O., Fujii, H., & Oil, A. (1996). Permeability Prediction by Hydraulic Flow Units Theory and Applications, (December), 263-271.
- [13] Kolodzie Jr, S. (1980). Analysis of pore throat size and use of the Waxman-Smits equation to determine OOIP in Spindle Field, Colorado. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers.
- [14] Spearing, M., Allen, T., & McAulay, G. (2001). Review of the Winland R35 method for net pay definition and its application in low permeability sands. Special Core Analysis (SCA) Symposium.
- [15] Gunter, G. W., Eptg, A., Finneran, J. M., Energy, D. J. H. D. J. H., Miller, J. D., & Amoco, E. (1997). SPE 38679 Early Determination of Reservoir Flow Units Using an Integrated Petrophysical Method, (1), 1-8.
- [16] Chekani, M., & Kharrat, R. (2012). An Integrated Reservoir Characterization Analysis in a Carbonate Reservoir: A Case Study. Petroleum Science and Technology, 30(14), 1468-1485.