

یادداشت پژوهشی

# تخمین حجم شیل با استفاده از نمودار تصویری FMI

محسن عزتی\*<sup>۱</sup>، بهمن سلیمانی<sup>۱</sup>، فرهاد خوشبخت<sup>۲</sup> و محمد صفرخان موذنی<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- پژوهشکده مطالعات مخازن، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۲۹

## چکیده

حجم شیل یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در کلیه مطالعات پتروفیزیکی و کیفیت مخزنی است. استفاده از مغزه، برای اندازه‌گیری خصوصیات پتروفیزیکی با محدودیت‌ها و مشکلاتی همراه است به عنوان مثال مغزه‌گیری همراه با صرف هزینه‌های بالا بوده و معمولاً بازیافت آن (به‌ویژه در مخازن شکاف‌دار) به‌طور کامل انجام نمی‌پذیرد. در ایران از نمودارهای تصویری غالباً برای تحلیل شکستگی استفاده شده و در سایر زمینه‌ها مانند محاسبه حجم شیل، تخلخل، شناسایی محیط رسوبی و ... چندان مورد استفاده قرار نگرفته است. در این مقاله حجم شیل موجود در سازند دالان، با اعمال روش باینریزاسیون بر روی نمودار تصویری FMI در یکی از مخازن کربناته جنوب غرب ایران محاسبه گردید. برای راستی آزمایی روش پیشنهادی، حجم شیل با استفاده از اندیس نمودار گاما (CGR) نیز محاسبه شد و مقادیر حجم شیل به‌دست آمده از نمودارهای FMI و گاما با هم مقایسه گردید. میزان حجم شیل به‌دست آمده از دو نمودار تطابق خوبی با هم نشان می‌دهد و قسمت‌هایی که محاسبه حجم شیل با استفاده از نمودار FMI با خطا همراه می‌شود، مربوط به مکان‌هایی است که شکستگی‌های باز در مجاورت میان لایه‌های شیلی قرار می‌گیرند.

**کلمات کلیدی:** FMI، حجم شیل، باینریزاسیون، نمودار گاما، شکستگی

## مقدمه

نیز پایین است؛ درمقابل لایه‌های شیلی و ماسه سنگ‌های فلدسپاتی میزان قرائت گامای بالایی دارند [۱].

عموماً برخی از فرمول‌های تجربی برای محاسبه حجم شیل توسط محققین پیشنهاد شده است؛ به عنوان مثال لارینوف برای محاسبه حجم شیل برای سنگ‌های با سن ترشیری رابطه ۱ و سنگ‌های قدیمی‌تر از آن رابطه ۲ را پیشنهاد نمود که در این روابط برای محاسبه حجم شیل از نمودار گاما استفاده می‌شود [۲]:

به‌طور معمول برای تخمین حجم شیل در مطالعات پتروفیزیکی از نمودار گاما<sup>۱</sup> (SGR و CGR) استفاده می‌شود. نمودار گاما میزان رادیواکتیویته سازند را اندازه‌گیری می‌کند و به منظور شناسایی لیتولوژی و انطباق استفاده می‌گردد. در ماسه سنگ‌های تمیز و آهک‌ها عموماً تمرکز عناصر رادیواکتیو کم و میزان قرائت نمودار گاما

1. GR Log

mohsenzati7@yahoo.com

\*مسئول مکاتبات  
آدرس الکترونیکی

یا مساوی ۱۲۰ است، با عدد ۱ و پیکسل‌هایی که عدد آنها کوچک‌تر از ۱۲۰ است، با عدد ۰ نشان داده می‌شود. به این ترتیب تصویر باینرایز می‌شود.

برای رسم نمودار حجم شیل از تصویر، مساحت پیکسل‌های دارای عدد ۱ (پس از باینریزاسیون) در مقابل مساحت کل تصویر، در یک پنجره متحرک محاسبه می‌شود.

شکستگی باز، تخلخل حفره‌ای و ریزش دیواره چاه به دلیل نفوذ گل حفاری، باعث تیره شدن تصویر FMI می‌شود. این حفرات دارای قرائت گامای کمتری نسبت به لایه‌های شیلی هستند و با اعمال فیلتر گاما می‌توان اثر این حفرات و شکستگی‌ها را از تصویر FMI حذف نمود.

در شکل ۲ نحوه شناسایی لایه‌های شیلی با استفاده از نمودار FMI نشان داده شده است. در این شکل ستون‌ها به ترتیب از چپ به راست شامل عمق، تصویر دینامیک، تصویر باینرایز شده، حجم شیل، نمودار گاما و لیتولوژی است. ستون سوم از سمت چپ نشان‌دهنده اعمال روش باینریزاسیون بر روی تصویر برای شناسایی لایه شیلی می‌باشد. در ستون چهارم از سمت چپ، با محاسبه درصد حضور نقاط شناسایی شده به عنوان شیل، درصد حضور شیل محاسبه گردیده است. نقطه‌چین حجم شیل به دست آمده از نمودار گاما و خط مهم‌تر حجم شیل به دست آمده از FMI می‌باشد.

قدرت تفکیک<sup>۱</sup> FMI به فاصله حسگرهای آن بستگی دارد که با توجه به فاصله ۵ mm آنها، قدرت تفکیک عمودی FMI، ۰/۲ اینچ (۵ mm) بوده و توانایی تشخیص جزئیات تا ۵۰ μ را دارد [۶]. قدرت تفکیک در نمودارهای چاه‌پیمایی (گاما، صوتی، چگالی و ...) ضعیف‌تر از FMI می‌باشد و غالباً میزان آن بیش از ۱۵ cm است [۷].

همان‌گونه که عنوان گردید، برای تخمین حجم شیل به طور معمول از نمودارهای SGR و CGR استفاده می‌شود. نمودار SGR تابع حضور سه عنصر رادیواکتیو اورانیوم، توریوم و پتاسیوم است، اما CGR تابع دو عنصر توریوم و پتاسیوم بوده و از اورانیوم تاثیر نمی‌پذیرد.

$$V_{Sh} = 0.083 (2^{3/7GR} - 1) \quad (۱)$$

$$V_{Sh} = 0.33 (2^{2GR} - 1) \quad (۲)$$

به ترتیب نشان دهنده حجم شیل و میزان قرائت نمودار گاما می‌باشد.

در نمودار گاما اختلاف شدت رادیواکتیویته باعث شناسایی شیل می‌شود اما نمودار تصویری FMI با استفاده از تفاوت ویژگی الکتریکی شیل‌ها، نسبت به سایر لیتولوژی‌ها، آنها را بارزسازی می‌نماید. در نتیجه، درصد حضور شیل از روی نمودار محاسبه می‌گردد. نمودارهای تصویری یکی از انواع نمودارهای مدرن می‌باشد که برای شناسایی پدیده‌های متقاطع با دیواره چاه در مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳]. ابزارهای تصویرگر الکتریکی مانند FMI، با استفاده از اختلاف خصوصیات الکتریکی سنگ‌ها، پدیده‌های زمین‌شناسی و تصویری الکتریکی از چاه ایجاد می‌کند [۴].

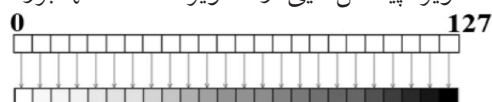
مطالعه مغزه یک روش معمول در تعیین پارامترهای مخزنی در چاه می‌باشد. تعیین پارامترهای مخزنی به خصوص در مخازن شکسته با استفاده از مغزه شامل محدودیت‌هایی است، که عبارتند از: الف) فاکتور بازیافت پایین در زون‌های شکسته، ب) هزینه بالای آن [۵] و ج) فاقد جهت در برخی انواع.

## روش کار

تصویر الکتریکی FMI از یک طیف رنگی شامل ۱۲۸ رنگ (۰ تا ۱۲۷) تشکیل گردیده است. طیف رنگی تصویر از سفید تا سیاه متغیر می‌باشد و با افزایش عدد، تصویر تیره‌تر می‌شود (شکل ۱).

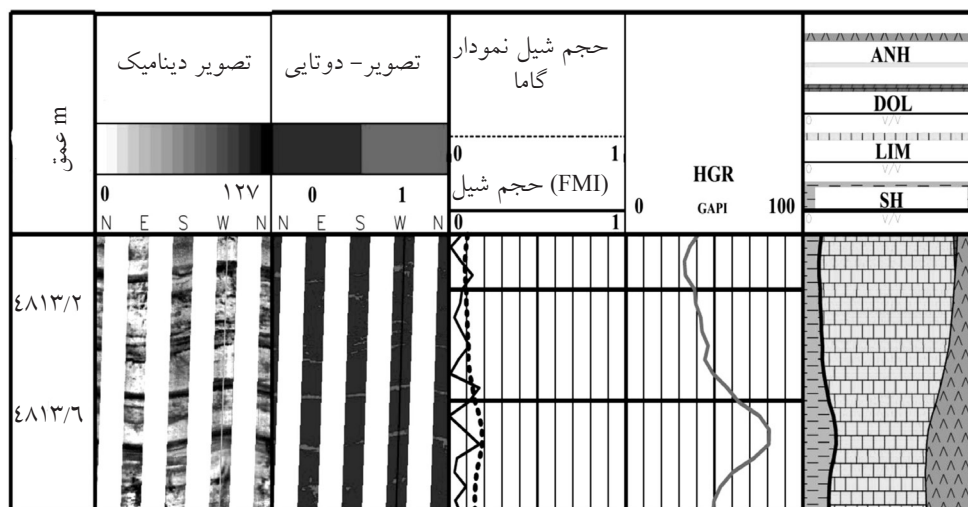
هر چه رسانایی الکتریکی پدیده‌های مختلف موجود در چاه، بالاتر باشد، در تصویر تیره‌تر دیده می‌شود. لایه‌های شیلی در صورتی که فاقد ماده آلی بلوغ یافته باشند، به دلیل رسانایی الکتریکی بالا به صورت تیره در نمودار FMI ظاهر می‌شوند.

معمولاً عدد پیکسل‌های لایه‌های شیلی در تصویر بالاتر از ۱۲۰ می‌باشد که با قراردادن این عدد به عنوان یک حد برش<sup>۱</sup> برای تصویر، پیکسل‌هایی از تصویر که عدد آنها بزرگ‌تر



1. Cutoff

2. Resolution



شکل ۲- شناسایی لایه‌های شیلی با استفاده از نمودار FMI. ستون دوم از سمت چپ تصویر FMI می‌باشد و نوارهای تیره در آن لایه‌های شیلی هستند که در بین لایه‌های آهکی قرار گرفته‌اند.

مشخص است، میزان شیل به‌دست آمده از نمودارهای CGR و FMI تطابق خوبی با هم دارند. تعداد بیشتر پیک‌های حجم شیل به‌دست آمده از FMI به‌دلیل قدرت تفکیک بیشتر این نمودار نسبت به نمودار CGR است.

برای مقایسه بهتر حجم شیل‌های به‌دست آمده از دو نمودار FMI و CGR، نمودار متقاطع<sup>۲</sup> برای آنها رسم گردید (شکل ۴). با توجه به اینکه نرخ نمودارگیری در FMI کوچک‌تر از نرخ آن در مقایسه با گاما می‌باشد (در FMI نمونه‌گیری‌های بیشتری نسبت به نمودار گاما در یک فاصله مشخص صورت می‌گیرد)، برای ایجاد یک نمودار متقاطع مطلوب و قابل مقایسه با نمودار گاما، ابتدا مقیاس حجم شیل مربوط به نمودار FMI، بزرگ‌تر گردید. سپس نمودار متقاطع برای کل چاه رسم شد. با توجه به ضریب همبستگی<sup>۳</sup> استخراج شده از نمودار متقاطع ( $R^2 = 0.68$ )، ارتباط معناداری بین حجم‌های شیل به‌دست آمده برقرار است.

حجم شیل در چاه مورد مطالعه از ۲۰٪ فراتر نمی‌رود که دلیل آن حضور لایه‌های شیلی به صورت میان لایه‌های باریک در بین لایه‌های کربناته و تبخیری است و در چاه لایه شیلی ضخیم، وجود ندارد.

اورانیوم یک عنصر رادیواکتیو مهاجرت‌پذیر است و ممکن است از شیل‌ها به درون سایر سنگ‌های متخلخل مانند ماسه سنگ‌ها، کربنات‌ها و ... مهاجرت کند. بنابراین، استفاده از نمودار SGR (به دلیل تاثیر پذیری از اورانیوم) برای تعیین حجم شیل ممکن است با خطا همراه شود. از این رو در محاسبات حجم شیل در این مقاله از نمودار CGR استفاده شده است. به منظور محاسبه حجم شیل در این مطالعه، از اندیس نمودار گاما<sup>۱</sup> استفاده گردید که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

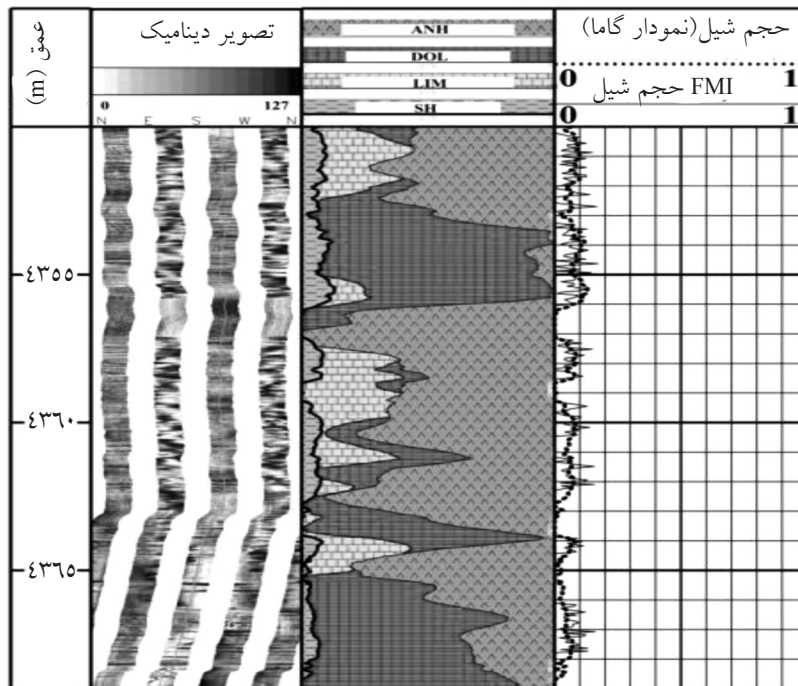
$$IGR = \frac{GRLOG - GRMIN}{GRMAX - GRMIN} \quad (3)$$

IGR، GRLOG، GRMIN و GRMAX به ترتیب نشان‌دهنده اندیس نمودار گاما، میزان گامای نمودار، کمینه نمودار گاما و بیشینه نمودار گاما می‌باشد.

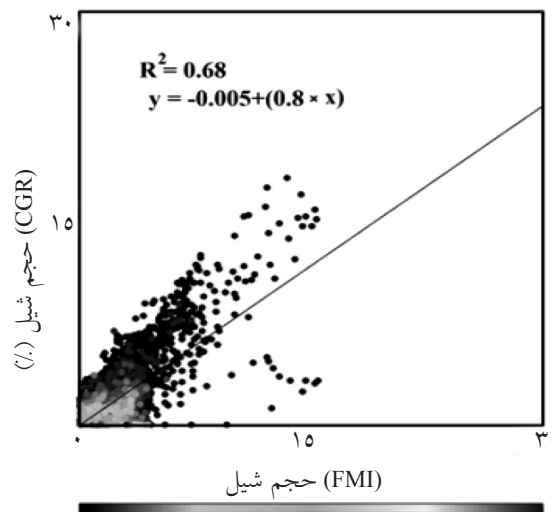
### نتایج و بحث

در شکل ۳ حجم شیل به دست آمده از دو روش CGR و FMI با هم مقایسه شده است. در این شکل ستون‌ها به ترتیب از چپ به راست نشان‌دهنده عمق، تصویر دینامیک، لیتولوژی و درصد حضور شیل می‌باشد. در ستون درصد شیل، نقطه‌چین نشان‌دهنده مقدار شیل به‌دست آمده از نمودار CGR و خط نشان‌دهنده مقدار شیل به‌دست آمده از نمودار FMI است. همان گونه که در شکل

1. GR Index  
2. Cross Plot  
3. Regression



شکل ۳- مقایسه حجم شیل به دست آمده از نمودارهای CGR و FMI



میزان توزیع (افزایش از چپ به راست)

شکل ۴- نمودار متقاطع حجم شیل (درصد) به دست آمده از نمودارهای CGR و FMI

برای حذف سایر نقاط تیره در تصویر می شود و به صورت خطای محاسباتی ظاهری گردد. این خطا در حالتی پیش می آید که شیل به صورت میان لایه نازک وجود دارد. اما در حالتی که شیل ها ضخیم لایه باشند، به دلیل طبیعت شکل پذیر شیل، شکستگی در آن نفوذ نمی کند و این خطا ظاهر نخواهد شد.

در نمودار متقاطع، نقاط پراکنده ای مشاهده می شود که به خط افقی نزدیک تر می باشند (حجم شیل FMI). این نقاط در اثر نزدیک شدن شکستگی های باز به لایه های شیلی یا قطع کردن لایه های نازک شیلی توسط شکستگی به وجود می آید و نشان دهنده محاسبه بیشتر حجم شیل در نمودار FMI نسبت به نمودار CGR است. وجود لایه های شیلی در مجاورت شکستگی باعث عدم کارکرد درست فیلتر گاما

## نتیجه‌گیری

نمودار گاما محاسبه گردید. حجم شیل به دست آمده در نمودارهای FMI و CGR هم‌خوانی خوبی با هم دارند. فاصله‌های مشکل‌دار در تخمین حجم شیل با استفاده از نمودار FMI، مربوط به کنار هم قرار گرفتن میان لایه‌های نازک شیلی و شکستگی‌های باز می‌باشد.

به‌کارگیری روش پیشنهادی در این تحقیق نشان داد که از نمودارهای تصویری می‌توان برای محاسبه درصد حضور شیل در مخازن و در نتیجه تخمین حجم مخزن استفاده کرد.

در این مقاله با استفاده از روش باینریزاسیون، لایه‌های شیلی موجود در تصویر FMI شناسایی گردید. لایه‌های شیلی به دلیل طبیعت رسانایی الکتریکی در تصویر FMI به صورت تیره ظاهر می‌شوند، پس با اعمال یک حد برش به تصویر می‌توان آن‌ها را جداسازی نمود. حجم شیل همچنین به طور سنتی با استفاده از نمودار گاما (CGR) تعیین می‌شود و در این مقاله نیز حجم شیل با استفاده از

## مراجع

- [1]. Asquith G. and Krygowski D, *Basic Well Log Analysis, The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma*, 2004.
- [2]. Larionov VV, *Borehole Radiometry: Moscow, U.S.S.R., Nedra*, 1969.
- [3]. خوشبخت، ف. ۱۳۹۱، مدل‌سازی تخلخل سه‌گانه در یک مخزن کربناته با استفاده از لاگ تصویر گرولاگ‌های چاه‌پیمایی، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن، تهران
- [4]. Khoshbakht F., Azizzadeh M., Memarian H., Nourozi G. H. and Moallemi S. A., "Comparison of electrical image log with core in a fractured carbonate reservoir", *J. Pet. Sci. Eng.* 86-87, pp. 289-296, 2012.
- [5]. Khoshbakht F., Memarian H. and Mohammadnia M., "Comparison of Asmar", *PabdehandGurpi formation's fractures, derived from image log. J. Pet. Sci. Eng.* 67, pp. 65-74, 2009.
- [6]. Schlumberger, *FMI Fullbore Formation MicroImager :Houston, Texas, Schlumberger Educational Services*, 2 p, 2004.
- [7]. Ellis D. V., and Singer M. J., "Well Logging for Earth Scientists. Published by Springer", pp. 531-568, 2007.