

## تعیین مدل پراکندگی رخصاره‌های مخازن کربناته به روش وارون‌سازی بیزین

حسین خوشدل\* مدیریتم اکتشاف شرکت ملی نفت ابوان  
علیرضا ناله‌میر† دانشگاه ایسلا سوئد

صادق کریم‌پولی\* حسین حسینی† دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
مجید نبی بیده‌ندی† دانشگاه تهران

چکیده

در این مطالعه، از روش وارون‌سازی بیزین داده‌های لرزه‌ای، جهت تعیین مدل‌های دو بعدی و سه بعدی توزیع و پراکندگی رخصاره‌های مخزن در بخش کوچکی از میدان گازی X استفاده شده است. براساس این مطالعه، تخلخل، فاکتور انعطاف پذیری ساختاری (که بیش از مقدار تخلخل، به نوع تخلخل وابسته است) و مدول حجمی سیال، می‌توانند به‌عنوان مناسب‌ترین پارامترهای پتروفیزیکی جهت مطالعه رخصاره‌های مخازن کربناته معرفی گردند. بنابراین، با برازش یک توزیع سه مولفه‌ای مختلط گوسی به روی داده‌ها در فضای سه متغیره‌ی این پارامترها، رخصاره‌های مطلوب، نامطلوب و انتقالی در این مخزن تعریف شدند. نتایج وارون‌سازی رخصاره‌ها در امتداد چاه، نشان‌دهنده دقت ۶۷ درصدی این روش است. همچنین، نتایج سه بعدی، دو واحد K2 و K4 را به‌عنوان واحدهای با کیفیت مخزنی مناسب معرفی می‌کند که مطالعات قبلی نیز مویده همین مطلب است.

واژگان کلیدی: مخازن کربناته، پراکندگی رخصاره، وارون‌سازی بیزین، میدان گازی X

### مقدمه

جهت استفاده در مخازن کربناته بهبود بخشیدند. در این مطالعه، ابتدا رابطه عمومی وارون‌سازی بیزین رخصاره شرح داده می‌شود. سپس، مشکلات مخازن کربناته مورد بحث قرار گرفته و پارامترهای مناسب معرفی می‌گردند. در پایان، نتایج پیاده‌سازی این روش روی بخش کوچکی از داده‌های مخزن گازی میدان X ارائه می‌شود.

### ۱- روش تحقیق

#### ۱-۱ روش وارون‌سازی بیزین رخصاره

فرض کنید S پاسخ لرزه‌ای برداشت شده در سطح، m ماتریس پارامترهای کشسان سنگ کل مانند سرعت‌ها یا مقاومت‌های لرزه‌ای، R ماتریس پارامترهای پتروفیزیکی مانند تخلخل، اشباع از آب و غیره و f رخصاره موردنظر باشد. احتمال رخداد یک رخصاره در عمق Z به شرط پاسخ لرزه‌ای مشاهده شده را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$P(f_z | S_z) \propto \prod_{m'} P(f_z | f_{z-1}) \int \int_{R, m} P(R | f_z) P(R | m') P(m' | m'') P(m'' | S_z) dR dm'' dm' \quad (1)$$

در معادله ۱، اندیس‌های W و S بیان‌گر مقیاس داده‌ها به ترتیب در چاه

تخمین پارامترها، ویژگی‌ها و خصوصیات مخازن هیدروکربنی و آگاهی از توزیع فضایی آن‌ها، ضمن ارزیابی عدم قطعیت‌های مربوطه، هم در فاز اکتشاف و هم در فاز تولید و توسعه مخزن، ضمن کاهش ریسک، نقش به‌سزایی در تصمیم‌گیری‌های آتی و مدیریت این منابع دارد. داده‌های لرزه‌ای، پاسخ مشخصی از یک نوع لیتولوژی و یا سیال خاص نیست، بلکه حاوی اطلاعاتی از سنگ‌کل (تلفیقی از سنگ و سیال) و یا به عبارتی رخصاره است. وارون‌سازی بیزین رخصاره از جمله روش‌های متداول و مرسوم است که علاوه بر تخمین رخصاره‌ها از روی داده‌های لرزه‌ای، مقدار عدم قطعیت این تخمین‌ها را نیز به صورت کمی ارائه می‌کند.

بولاند و اُمره در سال ۲۰۰۳، از روش‌های تحلیلی خطی برای وارون‌سازی بیزین پارامترهای کشسان سنگ مخزن استفاده کردند. بولاند و همکاران، این مطالعه را در سال ۲۰۰۸ برای تعیین رخصاره‌های مخزن گسترش دادند. گرانا و دلاروسا (۲۰۱۰) مباحث کامل‌تری در مخازن ماسه‌سنگی ارائه کردند. کریم‌پولی و همکاران (۲۰۱۳) الف و ب) ضمن تغییر پارامترها و مدل‌های پتروفیزیکی، این گونه روش‌ها را

\* نویسنده‌عهدده‌دار مکاتبات (s.karimpouli@aut.ac.ir)



که جهت تعریف رخساره بسیار مناسب است. بنابراین، تخلخل، فاکتور انعطاف پذیری ساختاری و مدول حجمی سیال به عنوان سه پارامتر پتروفیزیکی اصلی و تأثیرگذار در تخمین رخساره‌ی مخازن کربناته معرفی می‌گردد.

### ۳-۱ مورد مطالعاتی

میدان گازی X به نظر می‌رسد که در زمان ریفت نجد با سن کامبرین پیشین تشکیل شده است. اصلی‌ترین مخازن گازدار این میدان، سازندهای دالان و کنگان به ترتیب با سن پرمین فوقانی و تریاس زیرین با توالی کربناته-تبخیری می‌باشند. در بخش مخزنی، کنگان به دو زیرعضو مخزنی K1 و K2 و دالان، خود به چهار زیرعضو، K3، K4، نار و K5 تقسیم می‌شود که K4 و K3 واحدهای مخزنی هستند. لیتولوژی غالب در بخش مخزنی، دولومیت، آهک و تا حدودی انیدریت است.

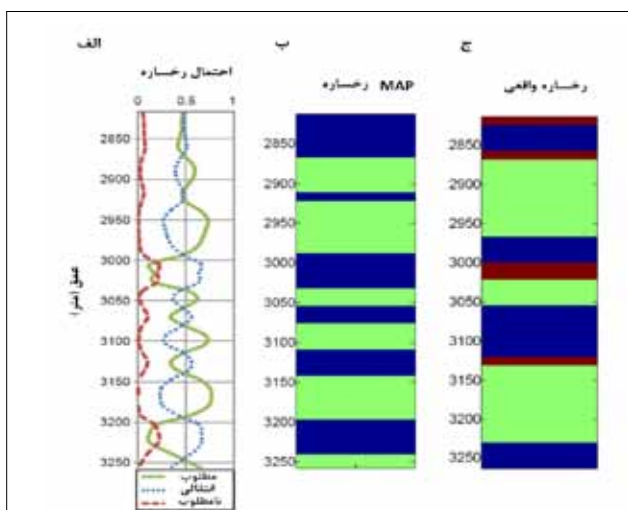
محاسبه فاکتور انعطاف پذیری ساختاری نشان داد که سه نوع ساختار تخلخل توسط این پارامتر از هم تشخیص داده می‌شوند: ۱. تخلخل حفره‌ای و شکستگی‌ها. ۲. ترک‌ها و ریزشکستگی‌ها و ۳. ریزتخلخل‌ها. در ادامه، تعریف رخساره‌ها براساس پراکندگی داده‌ها در فضای پارامترهای پتروفیزیکی مخزن صورت پذیرفت. شکل ۲- نمودار پراکندگی داده‌ها در فضای سه بعدی تخلخل، فاکتور انعطاف پذیری ساختاری و مدول حجمی سیال را نشان می‌دهد. با

و داده‌های لرزه‌ای است. برای درک بهتر این رابطه، بیان تصویری آن در شکل ۱- آمده است.

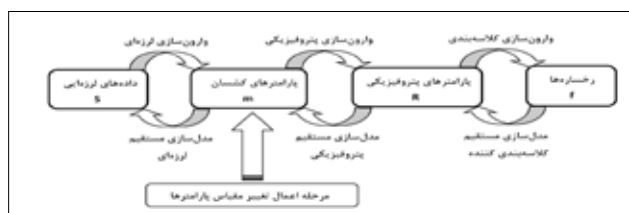
### ۲-۱ پارامترهای مناسب پتروفیزیکی در مخازن کربناته

در اهمیت انتخاب پارامتر پتروفیزیکی مناسب باید به سه نکته اشاره کرد: اول آن که پاسخ لرزه‌ای مبهم سنگ‌های کربناته، محصول مستقیم این پارامترها هستند. دوم، انتخاب مدل‌های پتروفیزیکی که در محاسبات تخمین رخساره، مورد نیاز هستند، به طور مستقیم تحت تأثیر این پارامترها بوده و سوم، اهمیت توزیع داده‌ها در فضای پارامترهای پتروفیزیکی است که اساس تعریف رخساره را تشکیل می‌دهد.

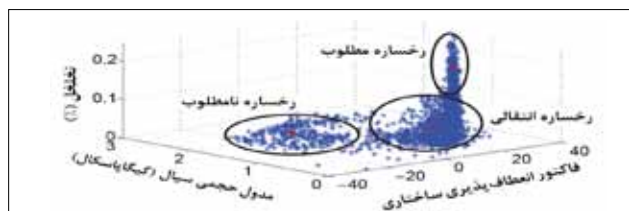
مطالعات زیادی (آنسلیمتی و ابرلی ۱۹۹۹، آسفا و همکاران ۲۰۰۳، آدام و همکاران ۲۰۰۶)، نشان دادند که تغییرات زیاد سیستم تخلخل و به عبارت دیگر، نوع تخلخل می‌تواند توجه‌کننده مناسبی برای ابهامات موجود در رفتار لرزه‌ای سنگ‌های کربناته باشد. سان (۲۰۰۴) فاکتور انعطاف پذیری ساختاری را به عنوان پارامتری پتروفیزیکی که بیش از تخلخل به نوع تخلخل و سرعت موج در محیط بستگی دارد، معرفی کرد. جهت تعیین نوع سیال نیز، مدول حجمی سیال به دو دلیل، پارامتر مناسبی به نظر می‌رسد: اول آن که مدل‌های پتروفیزیکی به آن وابسته هستند. دوم، جوامع آماری داده‌های چاه با استفاده از این پارامتر جدایش بیشتری نسبت به پارامتر اشباع از آب نشان می‌دهند



نتایج نهایی برای تخمین رخساره در چاه الف (سبز: رخساره مطلوب، قرمز: رخساره نامطلوب و آبی: رخساره انتقالی). الف- نمودار احتمال شرطی رخداد رخساره، ب- بیشینه مقدار توزیع پسین و ج- رخساره‌های واقعی (تصحیح شده از کریپپولی و همکاران ۲۰۱۳ ب).



شکل ۱ | نمایش روابط مستقیم و معکوس میان رخساره‌ها، پارامترهای پتروفیزیکی، پارامترهای کشسان و داده‌های لرزه‌ای



پراکندگی داده‌ها در فضای پارامترهای پتروفیزیکی مخزن رخساره‌های مطلوب، نامطلوب و انتقالی ضمن استفاده از توزیع مختلط گوسی با سه مولفه (دوایر قرمز) امکان‌پذیر است (تصحیح شده از کریپپولی و همکاران ۲۰۱۳ ب).

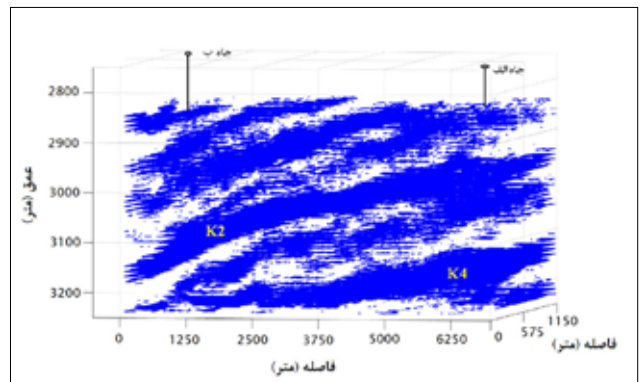
از این رو، حتی دست یابی به مدل‌های سه بعدی به سهولت امکان پذیر است. این کار برای داده‌های حاضر، انجام شده و در شکل ۴- نشان داده شده است. با توجه به این شکل، چگالی پراکندگی رخساره مطلوب در دو لایه بیشتر بوده که براساس عمق، به لایه‌های K2 و K4 تفسیر می‌شوند. این تفسیر با مطالعات قبلی مخزن تطابق کاملی نشان می‌دهد که در آن، از این دو لایه به عنوان لایه‌هایی با کیفیت مناسب مخزنی نام برده شده است.

### نتیجه‌گیری

از آنجایی که پاسخ لرزه‌ای زمین، محصول رفتار حجمی سنگ (مجموع نوع لیتولوژی و نوع سیال) است، پراکندگی رخساره گازی در مخزن، مورد توجه قرار گرفت. در این مطالعه، تخلخل، فاکتور انعطاف پذیری ساختاری و مدول حجمی سیال به عنوان پارامترهای پتروفیزیکی مناسب برای تعریف رخساره در مخازن کربناته معرفی شد و جهت تعیین پراکندگی آن، از روش وارون سازی بیزین استفاده گردید. نتایج نشان داد که این روش در حدود ۶۷ درصد رخساره مطلوب را به درستی پیش بینی می‌کند. همچنین، تعمیم این نتایج در مدل‌های دو و سه بعدی، معرف لایه‌های K2 و K4 به عنوان لایه‌هایی با ویژگی‌های مخزنی مناسب بوده که تطابق مناسبی با مطالعات قبلی دارد. ■

برآزش یک توزیع مختلط گوسی با سه مولفه می‌توان سه رخساره مطلوب، نامطلوب و انتقالی را تعیین نمود. رخساره مطلوب با مقدار بالای تخلخل نوع (۱) و سیال محتوی گاز، بیان گر مناطقی از مخزن با کیفیت بالا به شمار آمده و به نقشه در آروند آن، هدف نهایی مطالعات اکتشافی است.

نتایج تخمین رخساره در امتداد چاه در شکل ۳- آمده است. رخساره مطلوب که هدف اصلی اکتشاف است، با دقت نسبتاً خوبی و در ۶۷ درصد موارد، درست تخمین زده شده که از نقطه نظر آماری، کاملاً معنی دار بوده و در سطح قابل اعتمادی قرار دارد. یکی از ویژگی‌های مناسب این روش آن است که براساس ردلرزه است.



شکل ۴ | مدل سه بعدی پراکندگی رخساره مطلوب در محدوده مخزنی (تصحیح شده از کریم‌پولی و همکاران ۲۰۱۳ الف).

### منابع

- [1] Adam, L., Batzle, M., and Brevik, I., 2006. Gassman's fluid substitution and shear modulus variability in carbonates at laboratory seismic and ultrasonic frequencies. *Geophysics*, 71, F173-F183.
- [2] Anselmetti, F. S., and Eberli, G. P., 1999. The velocity-deviation log: a tool to predict pore type and permeability trends in carbonate drill holes from sonic and porosity or density logs. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 83, 450-466.
- [3] Assefa, S., McCann, C., and Sothcott, J., 2003. Velocities of compressional and shear waves in limestone. *Geophysical Prospecting*, 51, 1-13.
- [4] Buland, A., and Omre, H., 2003. Bayesian linearized AVO inversion. *Geophysics*, 68, 185-198.
- [5] Buland, A., O. Kolbjørnsen, R. Hauge, O. Skjæveland, and K. Duffaut., 2008. Bayesian lithology and fluid prediction from seismic pre-stack data. *Geophysics*, 73, C13-C21.
- [6] Karimpouli, S., Hassani, H., Malehmir, A., Nabi-Bidhendi, M., and Khoshdel, H. 2013(a). Understanding the fracture role on hydrocarbon accumulation and distribution using seismic data: A case study on a carbonate reservoir from Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 96, 98-106.
- [7] Karimpouli, S., Hassani, H., Nabi-Bidhendi, M., Khoshdel, H., and Malehmir, A., 2013(b). Application of probabilistic facies prediction and estimation of rock physics parameters in a carbonate reservoir from Iran. *Journal of Geophysics and Engineering* 10, 015008.
- [8] Grana, D., and Della Rossa, E., 2010. Probabilistic petrophysical-properties estimation integrating statistical rock physics with seismic inversion. *Geophysics*, 75, O21-37.
- [9] Sun, Y. F., 2004. Effects of pore structure on elastic wave propagation in rocks, AVO modeling. *Journal of Geophysics and Engineering*, 1, 268-276.