

## کاربرد مطالعه فیزیک سنگ در تعیین خصوصیات پتروفیزیکی مخازن هیدروکربوری

جعفر ولی<sup>۱\*</sup>، حسن مومینوند<sup>۲</sup>، فرنوش حاجی زاده<sup>۳</sup>، فریبرز طالبی<sup>۴</sup>

<sup>۱\*</sup>دانشجوی دکتری، دانشگاه ارومیه، [J.Vali@urmia.ac.ir](mailto:J.Vali@urmia.ac.ir)

<sup>۲</sup>دانشیار، دانشگاه ارومیه، [H.Moomivand@urmia.ac.ir](mailto:H.Moomivand@urmia.ac.ir)

<sup>۳</sup>استادیار، دانشگاه ارومیه، [F.HajiZadeh@urmia.ac.ir](mailto:F.HajiZadeh@urmia.ac.ir)

<sup>۴</sup>دانشجوی دکتری، دانشگاه ارومیه، [F.Talebi@urmia.ac.ir](mailto:F.Talebi@urmia.ac.ir)

### چکیده

اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و تحلیل مطالعات فیزیک سنگ نقشی حیاتی در اکتشاف و توسعه میدان‌های هیدروکربوری دارد. در این مطالعه نمونه‌های ماسه سنگ و سنگ آهک تهیه و پارامترهای پتروفیزیکی شامل چگالی، تخلخل و تراوایی و همچنین اندازه‌گیری سرعت‌های امواج اولیه و ثانویه نمونه‌ها در شرایط خشک و اشباع از آب در شرایط مخزن اندازه‌گیری شد. به کمک مدل گاسمن، سرعت امواج ثانویه بر حسب سرعت امواج اولیه برای نمونه‌ها در فشارمخزن بدست آمد. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و محاسبه ضریب پواسون و لامه و رسم نمودارهای آن در حالت‌های مختلف می‌توان نمونه‌های آزمایشگاهی را بر حسب نوع لیتولوژی و تخلخل تفکیک کرد. آنگاه پس از پردازش اولیه خط لرزه ای و آنالیز ارزیابی مخزن و تعیین مقادیر ضریب پواسون و لامه همانند نمونه‌های آزمایشگاهی می‌توان لیتولوژی به‌مراجه میزان تخلخل را در مقاطع لرزه ای تخمین زد.

**واژه‌های کلیدی:** سرعت‌های امواج اولیه و ثانویه، خط لرزه ای، ماسه سنگ، سنگ آهک، فیزیک سنگ، ضرایب لامه، نسبت پواسون

## The Application of Rock Physics study in estimating of Rock Physics properties of Hydrocarbon Reservoirs

Jafar VALI<sup>1\*</sup>, Hasan MOOMIVAND<sup>2</sup>, Farnush HAJI ZADEH<sup>3</sup> and Fariborz TALEBI<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>PhD Student, Urmia University, [J.Vali@urmia.ac.ir](mailto:J.Vali@urmia.ac.ir)

<sup>2</sup>Associate Professor, Urmia University, [H.Moomivand@urmia.ac.ir](mailto:H.Moomivand@urmia.ac.ir)

<sup>3</sup>Assistant Professor, Urmia University, [F.HajiZadeh@urmia.ac.ir](mailto:F.HajiZadeh@urmia.ac.ir)

<sup>4</sup>PhD Student, Urmia University, [F.Talebi@urmia.ac.ir](mailto:F.Talebi@urmia.ac.ir)

### Abstract

Laboratory measuring and Rock Physics analysis have a critical rule in exploration and developments of hydrocarbon fields. Sandstone and limestone samples are prepared and petrophysical parameters such as density, porosity and permeability are measured P and S-wave velocity measurements in dry and wet and in-situ conditions are done. In-situ S-wave velocities are calculated by P-wave velocities using Gassmann theory for the samples. Lithology discrimination are performed by cross-plotting Poisson's ratio and Lamé coefficients in different conditions using laboratory results. Then, after initial processing of seismic line and analyzing reservoir parameters such as Poisson's ratio and Lamé coefficients, lithology estimation along with porosity sections could be performed like laboratory samples.

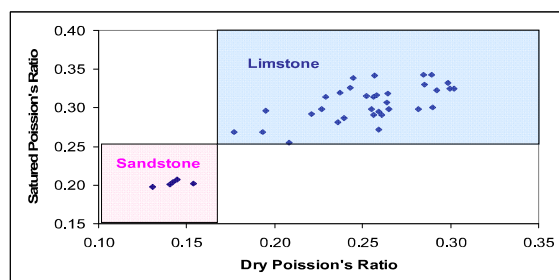
**Keywords:** P-Wave and S-Wave Velocities, Seismic Line, Sandstone, Limestone, Rock Physics, Lamé coefficients, Poisson's ratio

### مقدمه

برای ارزیابی دقیق تأثیر پارامترهای مخزن بر روی خواص کسسانی سنگ‌های مخزن، تئوری فیزیک سنگ به‌مراجه انجام کارهای آزمایشگاهی لازم و ضروری می‌باشند. نتایج آزمایشگاهی باید بوسیله تئوری‌ها تفسیر و مدل‌سازی شوند تا بعنوان اطلاعات ورودی برای تفسیر لرزه‌ای بکار روند (وانگ و نور ۱۹۹۲). در بخش تئوری مطالعاتی توسط (گاسمن ۱۹۵۱) و (بیوت ۱۹۵۶) و در بخش آزمایشگاهی مطالعاتی توسط (وانگ و نور ۱۹۹۲)، (وانگ ۲۰۰۰)، (هان و همکاران ۱۹۸۶) و (ابرهارت و همکاران ۱۹۸۹) انجام شده است. با استفاده از پارامترهایی از قبیل تخلخل، چگالی، نوع کانی‌های تشکیل دهنده نمونه‌ها،

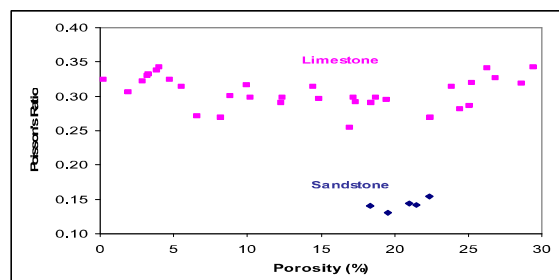
مقادیر سرعت امواج اولیه و ثانویه در فشارهای مختلف با استفاده از مدل گاسمن پیش بینی می گردد. همچنین ضرایب لامه با استفاده از داده های سرعت های امواج اولیه و ثانویه اندازه گیری شده در شرایط اشباع از آب برای نمونه ها محاسبه شده است.

یکی از راههای تعیین لیتولوژی با استفاده از تعیین ضرایب کشسانی (ضریب پواسون و ضرایب لامه) می باشد. همچنین نسبت پواسون یک وابستگی فشاری دارد و با کاهش فشار افزایش می یابد (دومنیکو ۱۹۸۴). با رسم مقادیر ضریب پواسون در حالت خشک و اشباع از آب در نمونه های آزمایشگاهی مشاهده می شود که نمونه ها بر حسب نوع لیتولوژی از یکدیگر تفکیک می گردند (شکل ۱).



شکل ۱. پیش بینی لیتولوژی نمونه های آزمایشگاهی بر اساس نسبت های پواسون در حالت های اشباع از آب و خشک در شرایط فشار مخزن

در ضمن تفکیک لیتولوژی بر حسب مقادیر ضریب پواسون در حالت اشباع از آب بر حسب تخلخل نیز بررسی شده است (شکل ۲).



شکل ۲. تفکیک نمونه های آزمایشگاهی با ضریب پواسون بر حسب تخلخل به نمونه های سنگ آهک و ماسه سنگ.

از جمله راههای تعیین لیتولوژی به همراه میزان تخلخل ضرایب لامه می باشد. بهمین منظور مقدار ضریب لامه بر حسب سرعت های امواج اولیه و ثانویه در شرایط اشباع از آب برای نمونه های آزمایشگاهی محاسبه شده است. پس از محاسبه مقادیر  $\mu * \rho$  و  $\lambda * \rho$  با توجه به اینکه کلیه مشخصه های نمونه ها از قبیل مقادیر تخلخل و نوع لیتولوژی هر نمونه مشخص می باشد. بنابراین می توان نمونه ها را به دسته های مجزا شامل ماسه سنگ با تخلخل خوب و سنگ آهک با تخلخل زیاد و همچنین سنگ آهک با تخلخل اندک تقسیم بندی کرد.

### روش تحقیق

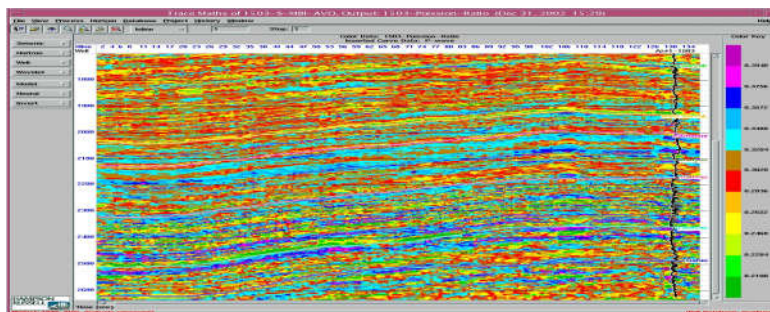
اندازه گیری چگالی، تخلخل و تراوایی نمونه ها انجام شد. سپس سرعت های تراکمی و برشی در شرایط مخزن اندازه گیری شد. نمونه های مورد استفاده در این مطالعه از ماسه سنگ با تخلخل دارای محدوده ۳/۱۸ تا ۴/۲۲ درصد و همچنین سنگ آهک با ۰/۶ تا ۴/۲۹ درصد استفاده شده است. این بررسی نشان می دهد که نسبت پواسون برای نمونه های ماسه سنگ در محدوده  $\sigma = 0.20$  و برای نمونه های سنگ آهک نیز در محدوده  $0.30$  تا  $\sigma = 0.35$  در شرایط فشار و دمای مخزن می باشد. در سازندهای مورد مطالعه در سازند A فشار موثر ۳۰ GPa و در سازند B برابر با ۴۵ GPa می باشد. اندازه گیری سرعت امواج اولیه و ثانویه در دو حالت خشک و اشباع از آب انجام شده است.

سرعت موج ثانویه نمونه های آزمایشگاهی در پیش بینی مدل گاسمن بر حسب سرعت موج اولیه در شرایط مخزن بدست آمده است. معادلات مربوط به بهترین منحنی گذرانده شده مربوط به نمونه های ماسه سنگ و سنگ آهک در معادله (۱) آمده است:

$$V_{SG} = 0.58V_{PM} + 0.1 \quad R^2=0.94 \quad (۱) \quad \text{ماسه سنگ}$$

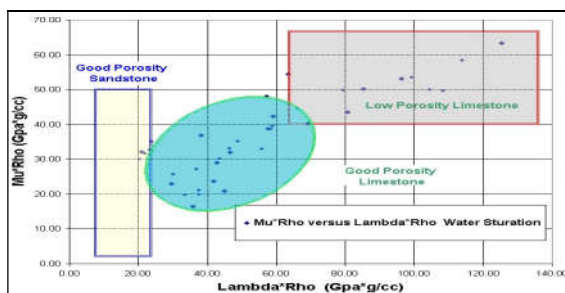
$$V_{SG} = 0.2V_{PM}^2 - 1.16V_{PM} + 3.5 \quad R^2=0.95 \quad (۲) \quad \text{سنگ آهک}$$

که در آن  $V_{SG}$  سرعت موج ثانویه در پیش بینی مدل گاسمن و  $V_{PM}$  سرعت موج اولیه در اندازه گیری آزمایشگاهی می باشد. پس از پردازش اولیه خط لرزه ای دو بعدی و همچنین با استفاده از نگار صوتی حداقل یک چاه و به همراه آنالیز ارزیابی مخزن می توان با محاسبه ضریب پواسون و ضرایب لامه در مقاطع لرزه ای، لیتولوژی و مقادیر تخلخل سازند ها را در گستره یک خط لرزه ای تخمین زد (شکل ۳).



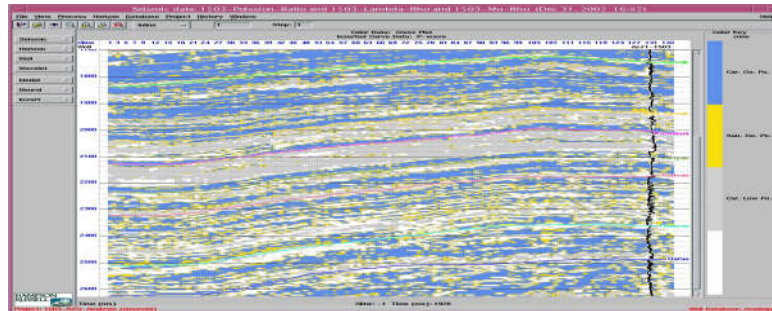
شکل ۳. نسبت ضریب پواسون در مقطع لرزه ای و پیش بینی تخلخل سازند های مختلف  
بسمت رنگ سبز: مخزن با تخلخل زیاد بسمت رنگ زرشکی: مخزن با تخلخل اندک

با رسم مقادیر  $\mu^* \rho$  بر حسب  $\lambda^* \rho$  برای نمونه های آزمایشگاهی سنگ آهک و ماسه سنگ و دسته بندی نمونه ها به ۳ دسته مجزا با توجه به داده های پتروفیزیکی و بر حسب نوع سنگ و میزان تخلخل آنها به نمونه هایی بصورت سنگ آهک با تخلخل اندک ( $\lambda^* \rho > 65$  و  $\mu^* \rho > 40$ ) و نمونه ماسه سنگ با تخلخل مناسب ( $\lambda^* \rho < 25$ ) و همچنین نمونه های سنگ آهک با تخلخل زیاد ( $\lambda^* \rho < 65$  و  $\mu^* \rho > 20$ ) تقسیم می گردند (شکل ۴).



شکل ۴. رسم مقادیر  $\mu^* \rho$  بر حسب  $\lambda^* \rho$  برای نمونه های آزمایشگاهی سنگ آهک و ماسه سنگ و دسته بندی نمونه ها به ۳ دسته مجزا  
آبی: سنگ آهک با تخلخل زیاد زرد: ماسه سنگ با تخلخل مناسب خاکستری: سنگ آهک با تخلخل اندک

با بررسی داده های لرزه ای می توان مقادیر  $\mu^* \rho$  و  $\lambda^* \rho$  را بر داده های خط لرزه ای همانند داده های آزمایشگاهی بر خط لرزه ای اعمال کرد (شکل ۵).



شکل ۵. مقادیر  $\lambda^* \rho$  و  $\mu^* \rho$  اعمال شده بر مقطع لرزه ای

آبی: مخزن کربناته با تخلخل زیاد زرد: مخزن ماسه سنگ با تخلخل زیاد خاکستری: مخزن کربناته با تخلخل اندک سفید: داده های نامناسب

میزان درصد تغییر سرعت موج اولیه در فشارهای پائین برای نمونه های آزمایشگاهی بیشتر از شرایط فشار مخزن مشاهده می شود. بنابراین در مواقعی که فشار مخزن افت می کند می توان انتظار داشت که تغییرات سرعت بیشتر از شرایط فشارمخزن می باشد. از این امر بعنوان مثال می توان در مباحث مربوط به مطالعات چهار بعدی استفاده کرد.

### نتیجه گیری

با داشتن اطلاعات اولیه پتروفیزیکی و نتایج اندازه گیری آزمایشگاهی سرعت و ارائه یک مدل مناسب می توان سرعت امواج ثانویه را در هر نقطه از میدان پیش بینی کرد، مشروط بر اینکه پارامترهای اولیه مدل بدرستی تخمین زده شده باشند. همچنین همخوانی سرعت های اندازه گیری شده در آزمایشگاه و پیش بینی شده توسط مدل گاسمن دلیل بر کاربرد این مدل را دارد.

به کمک نتایج داده های آزمایشگاهی سرعت و مشخصه های نمونه ها و بر اساس مقادیرنسبت پواسون و ضرایب لامه می توان نوع لیتولوژی نمونه های آزمایشگاهی را پیش بینی کرد.

با استفاده از داده های لرزه ای و فرایند های ارزیابی مخزن و مشابه با شرایط آزمایشگاهی می توان در مقطع لرزه ای نیز نوع لیتولوژی را تخمین زد. بنابراین می توان از نتایج داده های آزمایشگاهی که روش مناسب و مقرون بصره جهت ارزیابی در ابعاد وسیع می باشد سود جست.

### منابع

- Biot M. A., 1956, Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid: 1. Low-frequency range, 2. Higher frequency range: Journal of the Acoustical Society of America, **28**, 168-191.
- Eberhart-Philips D., Han D. H. and Zoback M. D., 1989, Empirical relationships among seismic velocity, effective pressure, porosity and clay content in sandstone: Geophysics, **54**, 82-89.
- Gassmann, F., 1951, Über die Elastizität poröser Medien. Vierteljahresschrift d. Naturf. Ges. Zürich, Jahrg, **96**, 1-23.
- Han D., Nur A. and Morgan D. L., 1986, Effective of porosity and clay content on wave velocities in sandstones: Geophysics, **41**, 895-921.
- Domenico, S. N., 1984, Rock lithology and porosity determination from shear and compressional wave velocity: Geophysics, **49**, 1188-1195.
- Wang Z. and Nur A., 1992, Elastic wave velocities in porous media: A theoretical recipe: Geophysics Reprint Series, **2**, 1-35.
- Wang Z., 2000, The Gassmann equation revisited comparing laboratory data with Gassmann prediction: Geophysics Reprint Series, **3**, 8-23.