

## تعیین نوع توزیع هیدرات گازی با استفاده از روش تغییرات دامنه در مقابل دورافت

بهنام حسینی شعار<sup>۱</sup>، ناصر کشاورز فرج خواه<sup>۲\*</sup>، احسان صالحی<sup>۲</sup>، مجتبی محمدو خراسانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> پژوهنده پژوهشگاه صنعت نفت، ضلع غربی ورزشگاه آزادی  
<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی، پژوهشگاه صنعت نفت، ضلع غربی ورزشگاه آزادی  
<sup>۳</sup> پژوهنده پژوهشگاه صنعت نفت، ضلع غربی ورزشگاه آزادی  
<sup>۴</sup> رئیس اداره ژئوفیزیک، مدیریت اکتشاف نفت ایران

### چکیده

شناسایی نوع توزیع هیدرات گازی در پائین آوردن میزان عدم قطعیت تخمین منابع هیدرات گازی بر اساس تئوری های فیزیک سنگی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. توزیع هیدرات گازی در میان ذرات رسوب را می توان به دو دسته کلی سیمانی و غیر سیمانی تقسیم نمود. در مدل های سیمانی، حضور هیدرات گازی باعث پیوستگی رسوبات شده و مدول برشی را تحت تاثیر قرار می دهد. در مدل های غیر سیمانی، حضور هیدرات گازی خصوصیات سیال درون منفذی را تحت تاثیر قرار می دهد و تاثیر بسزایی در مدول برشی رسوب نخواهد داشت. با توجه به این خصوصیات امکان شناسایی نوع توزیع هیدرات گازی با استفاده از داده های لرزه ای فراهم می باشد. در این مطالعه امکان بررسی نوع توزیع هیدرات گازی با استفاده از روش تغییرات دامنه با دورافت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که مدل های سیمانی و غیر سیمانی به ترتیب در کلاس ۴ و ۳ AVO قرار می گیرند.

### کلمات کلیدی

هیدرات گازی، مدل های فیزیک سنگ، اشباع هیدرات گازی، خصوصیات کشسانی

### نکات برجسته پژوهش

- تازه و نو بودن کار بروی هیدرات گازی (اولین بار در کشور).
- از داده های لرزه ای فقط استفاده شده.
- جامع و کامل و ارزان و سریع بودن تکنیک ها.

## ۱- مقدمه

تحلیل تغییرات دامنه در مقابل دورافت به عنوان یک روش موثر برای تعیین خصوصیات مخزن کاربرد دارد. با استفاده از برقراری شرایط مرزی امکان محاسبه دامنه موج تراکمی و برشی بازتاب شده و عبور کرده از سطح مشترک فراهم می شود. زوپریتس [۱] مقادیر دامنه بازتاب و عبور را برای دو موج تراکمی و برشی بر اساس وارون سازی داده‌های پیش از برانبارش محاسبه نمود. با توجه به خطی نبودن حل این معادله و تعداد پارامترهای کشسان زیاد آن، استفاده از این معادله برای وارون سازی مشکل می سازد. این رابطه‌ها توسط آکی و ریچاردز [۲] فتی و همکاران [۳]، اسمیت و گیدلو [۴] خطی سازی شده است. در این مطالعه به منظور بررسی پاسخ های AVO رسوبات حاوی هیدرات از رابطه آکی ریچاردز استفاده شده که بصورت زیر می باشد:

$$R(\theta) = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) + \left( \frac{1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha} - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta \beta}{\beta} - 2 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta \rho}{\rho} \right) \sin^2(\theta) + \frac{1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha} (\tan^2(\theta) - \sin^2(\theta))$$

$$R(\theta) = A + B \sin^2(\theta) + C (\tan^2(\theta) - \sin^2(\theta)),$$

که  $\alpha$ ،  $\beta$ ، میانگین سرعت تراکمی و برشی دو لایه،  $\rho$  میانگین چگالی دو لایه و  $\theta$  میانگین زاویه تابش و عبور موج می‌باشد.

ضرایب جملات آکی و ریچاردز [۲] مقادیر عرض از مبدا، گرادیان و انحنا می‌باشند. برای بدست آوردن این ضرایب اطلاعات رکورد نقطه میانی مشترک که تصحیح برونراند روی آن صورت پذیرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتیجه وارون سازی تغییرات دامنه در مقابل دورافت<sup>۱</sup>، مقاطع سری بازتابی خواهند بود که به عنوان نشانگرهای تغییرات دامنه در مقابل دورافت شناخته می‌شوند.

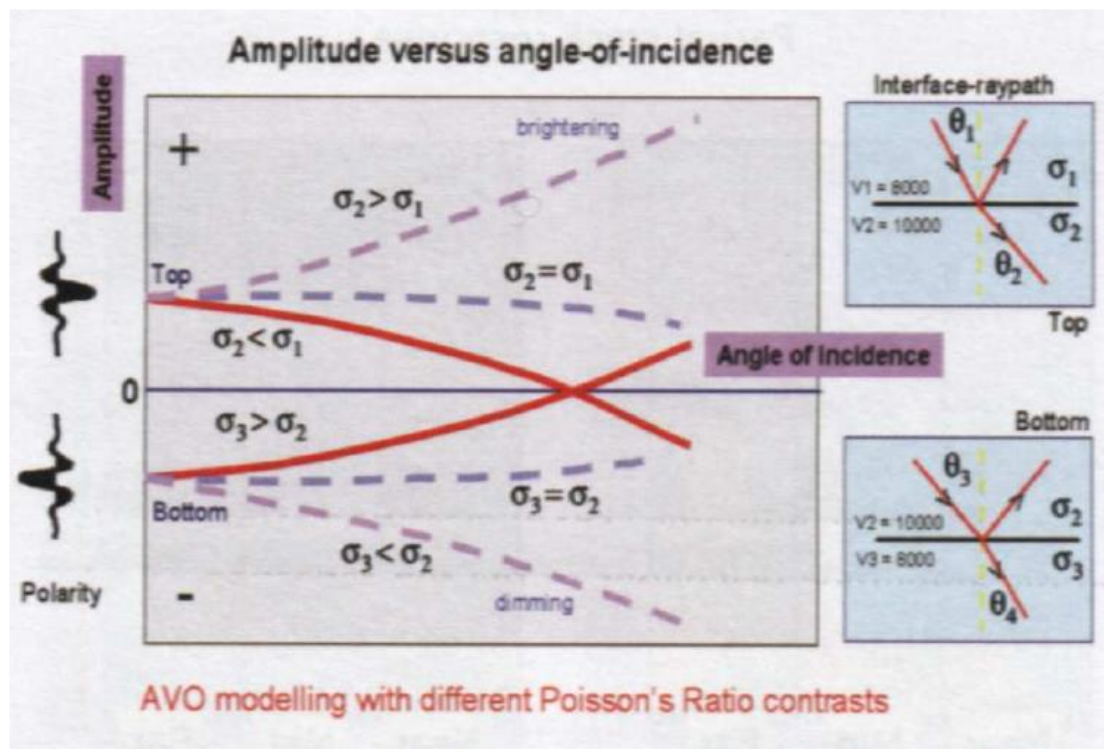
در این مطالعه به منظور بررسی پاسخ های AVO رسوبات حاوی هیدرات و بررسی امکان شناسائی نوع توزیع هیدرات گازی طبق تقسیم بندی اکر ([۵]، [۶]، [۷])، مدلسازی مصنوعی برای یک مدل ۴ لایه فراهم شده است. در این مدل لایه اول ستون آب، لایه دوم رسوبات حاوی هیدرات گازی، لایه سوم رسوبات حاوی گاز آزاد و لایه چهارم رسوبات حاوی آب در نظر گرفته شده است. رسوبات میزبان دارای سه میزان تخلخل ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد بوده و لایه حاوی هیدرات گازی با اشباع های مختلف، لایه حاوی گاز دارای مقدار اشباعهای مختلف در نظر گرفته شدند. بعد از بدست آوردن خصوصیات کشسان لایه ها با استفاده از تئوری محیط موثر [۸]، مدلسازی مستقیم با استفاده از حل معادله موج یک بعدی انجام شد و داده های لرزه ای نقطه میانی مشترک از مدل های مصنوعی بدست آمد. رکوردهای مصنوعی حاصله برای انجام وارون سازی AVO به جهت تعیین نوع توزیع هیدرات گازی مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲- تئوری کلاس های AVO

اوستراندر [۹] فاکتور تاثیرگذار در نحوه تغییرات دامنه در مقابل دورافت را نسبت پواسون بیان کرد. بر این اساس می‌توان سه حالت زیر را در نظر گرفت (شکل). نسبت پواسون در مرز مشترک دولایه ثابت بوده لذا تغییرات دامنه در مقابل دورافت ناچیز خواهد بود. نسبت پواسون لایه بالایی از لایه پائینی بوده در نتیجه دامنه بازتاب با دورافت به صورت جبری کاهش می‌یابد. نسبت پواسون لایه بالایی از لایه پائینی کمتر است. در این حالت دامنه بازتاب با دورافت به صورت جبری

<sup>1</sup> Amplitude variation versus offset, AVO

افزایش می‌یابد.



شکل ۱: نحوه تغییرات دامنه در مقابل دورافت برای سه حالت مختلف چگونگی تغییر نسبت پواسون در مرز مشترک دو لایه [۱۰].

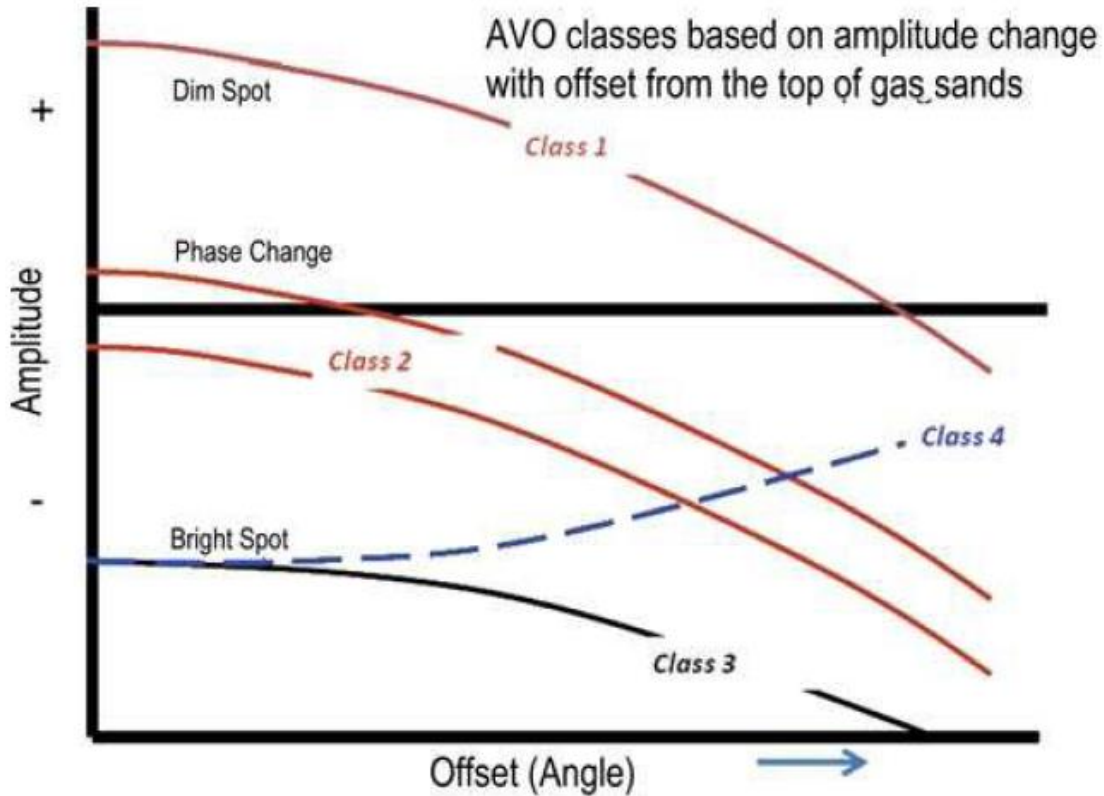
حضور گاز در یک لایه متخلخل را می‌توان به عنوان یک فاکتور تغییر دهنده نسبت پواسون در نظر گرفت. رادرفورد و ویلیامز [۱۱] کلاس‌های مختلفی را برای مرز مشترک یک لایه ماسه سنگی حاوی گاز بیان کرده‌اند که فاکتور تعیین کننده در آنها ضریب بازتاب ۲ در حالت تابش عمودی موج (RO) می‌باشد.

تغییرات پاسخهای AVO را می‌توان به تغییرات نسبت پواسون که مربوط به حضور هیدرات گازی و گاز آزاد است مرتبط دانست. برای مثال هنگامی که در داخل رسوبات زیری هیدرات‌های گازی، مقداری گاز آزاد وجود داشته باشد سرعت موج تراکمی به مقدار زیادی کاهش پیدا می‌کند. در حالی که سرعت موج برشی به واسطه‌ی کاهش چگالی مقداری کمی افزایش پیدا می‌کند. میزان کاهش ایجاد شده در سرعت موج تراکمی باعث تغییر در میزان ضریب بازتاب و کاهش در نسبت VP/VS و کاهش شدید نسبت پواسون می‌شود که در نهایت افزایش دامنه نسبت به دورافت را منجر می‌شود [۱۲] و می‌توان کلاس ۳ AVO را برای آن در نظر گرفت. در این حالت میزان عرض از مبدا و گرادیان هر دو منفی بوده و باعث افزایش میزان دامنه با دورافت می‌شود.

کاستاگنا و همکاران [۱۳] تقسیم بندی انجام شده توسط رادرفورد و ویلیامز [۱۲] را ناتمام خوانده و کلاس جدیدی را برای مرز بالای زون‌های حاوی گاز در نظر گرفته و کلاس ۴ AVO را معرفی نمودند. در این کلاس ضریب بازتاب در حالت تابش عمود بر سطح مشترک همچنان منفی بوده ولی با افزایش دورافت، مقدار دامنه به صورت جبری افزایش می‌یابد و از لحاظ اندازه کاهش می‌یابد. این کلاس در شرایطی اتفاق می‌افتد که سرعت موج برشی در لایه حاوی گاز کمتر از لایه بالایی آن

<sup>2</sup> Reflection coefficient

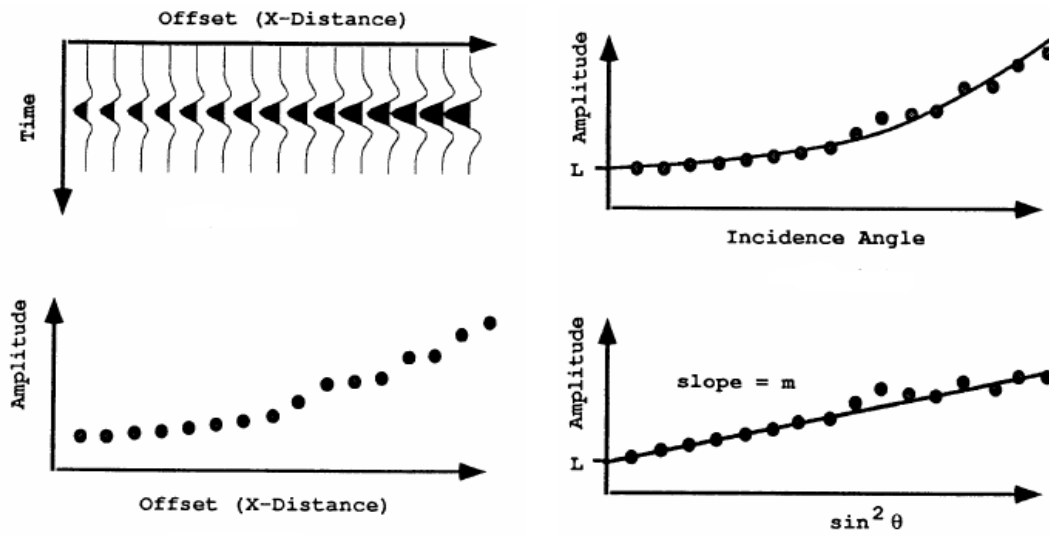
باشد. در این کلاس AVO، میزان عرض از مبدا منفی و میزان گرادیان مثبت می باشد که به واسطه آن میزان دامنه با دورافت افزایش می یابد (نمودار آبی رنگ شکل).



شکل ۲: نحوه تغییرات دامنه در مقابل دورافت برای چهار کلاس مختلف AVO (تغییر یافته کاستاگنا و همکاران، [۱۳]).

### ۳- نمودار متقاطع AVO برای مدل های مصنوعی

یکی از روش های بررسی کلاس های مختلف، استفاده از نمودارهای متقاطع (عرض از مبدا در مقابل گرادیان می باشد). روش محاسبه ضرایب عرض از مبدا و گرادیان با استفاده از روش حداقل مربعات می باشد که در به صورت شماتیک نشان داده شده است.

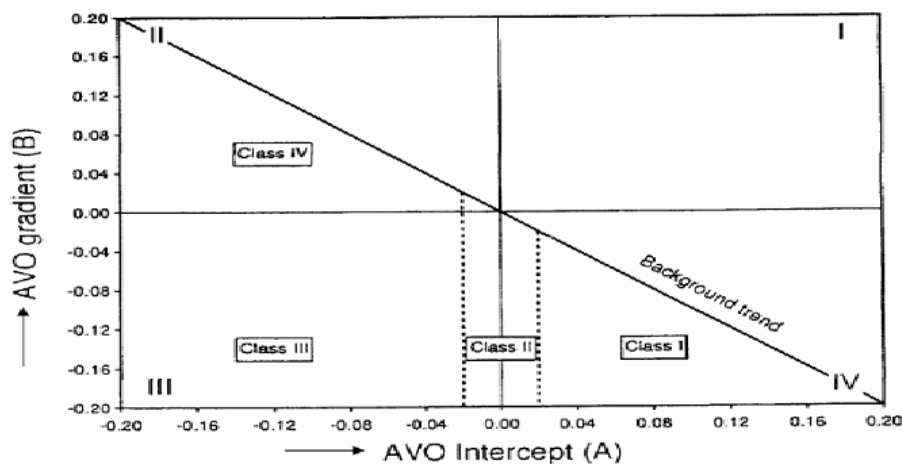


$$R_p(\theta) = L + m \sin^2 \theta$$

شکل ۳: نحوه محاسبه ضرایب با استفاده از روش حداقل مربعات

بعد از استخراج این دو نشانگر از داده‌های پیش از برآیند برای نمونه‌های زمانی مختلف و رسم آنها به صورت یک نقطه در نمودار مذکور، امکان شناسایی کلاس‌های مختلف و روند زمینه<sup>۳</sup> طبق شکل ۱ فراهم می‌شود.

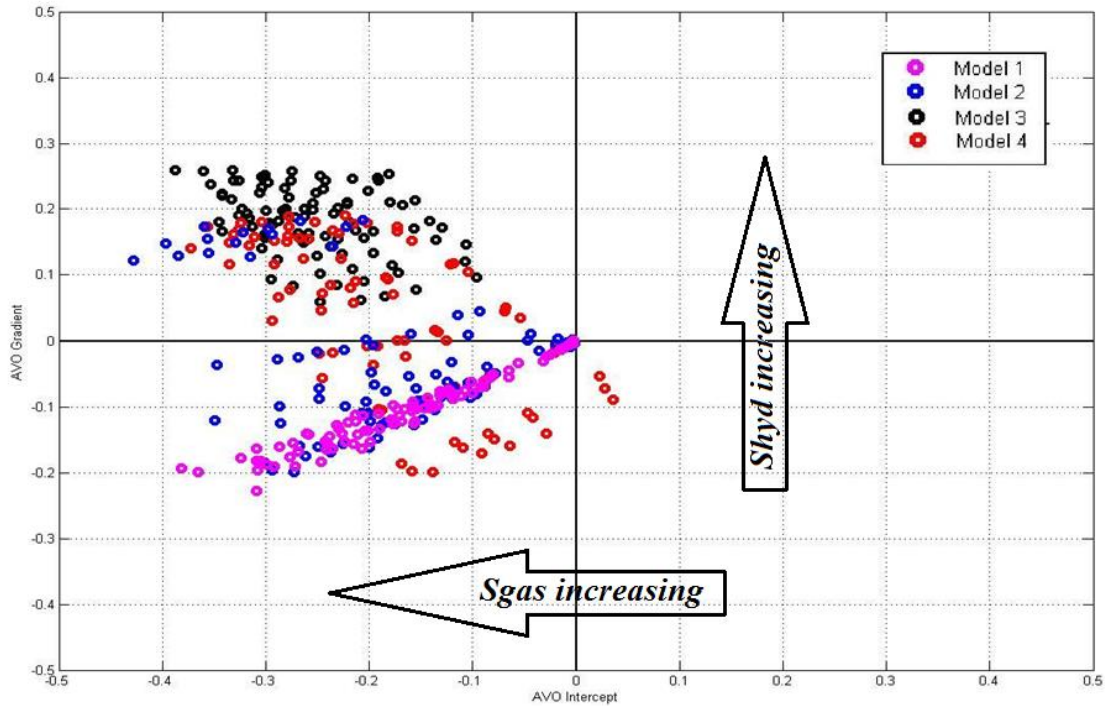
<sup>3</sup> Background trend



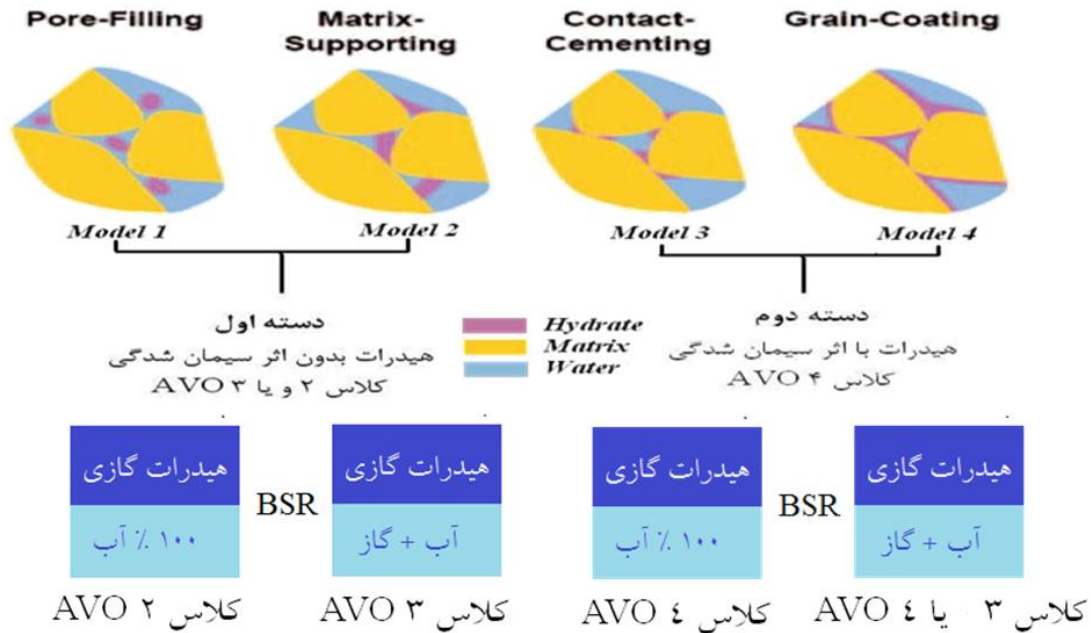
| Class | Relative Impedance                   | Quadrant      | A      | B | Amplitude vs Offset                  |
|-------|--------------------------------------|---------------|--------|---|--------------------------------------|
| I     | Higher than overlying unit           | IV            | +      | - | Decreases                            |
| II    | About the same as the overlying unit | II, III or IV | + or - | - | Increase or decrease may change sign |
| III   | Lower than overlying unit            | III           | -      | - | Increases                            |
| IV    | Lower than overlying unit            | II            | -      | + | Decreases                            |

شکل ۱: نمودار متقاطع عرض از مبدا و گرادیان؛ همانطوری که مشاهده می‌شود کلاس‌های مختلف AVO در زون‌های مختلف قرار می‌گیرند و رسوباتی که آنومالی هیدروکربوری ندارند تحت عنوان روند زمینه شناخته می‌شوند [۱۳].

در شکل ۲ نمودار متقاطع تهیه شده برای چهار مدل توزیع هیدرات گازی نشان داده شده است. همانطوری که در این نمودار متقاطع دیده می‌شود مدل اول کاملاً در کلاس ۳ قرار گرفته و مدل دوم با میزان اشباع هیدرات گازی معمول در کلاس ۳ و درحالی‌که برای درصد اشباع بالای هیدرات گازی به واسطه کاهش شدید تخلخل رفتار تغییر دامنه در مقابل دورافت آن در کلاس ۴ قرار می‌گیرند. مدل ۳ کاملاً در کلاس ۴ قرار گرفته، برای مدل ۴ در اشباع هیدرات گازی پائین، اثر حضور گاز در لایه زیرین باعث افزایش مقدار دامنه در مقابل دورافت خواهد شد و در کلاس ۳ قرار خواهد گرفت. با افزایش اشباع هیدرات گازی مخصوصاً در مدل‌های توزیع هیدرات ۱ و ۲ کلاس ۴ به کلاس ۳ تبدیل می‌شود. همینطور اشباع گاز نیز در تعیین کلاس مدل نقش دارد. نتایج حاصل شده از نمودار متقاطع بصورت خلاصه در شکل ۳ آمده است.



شکل ۲: نمودار متقاطع عرض از مبدا و گرادیان برای بازتابنده شبیه ساز بستر ۳۶۰ مدل تولید شده.



شکل ۳: نتایج حاصل شده از بررسی نمودار متقاطع بازتابنده شبیه ساز بستر. هنگامی که هیدرات‌های گازی اثری بر سیمان کنندگی رسوب نداشته باشند برای درصد‌های اشباع معمول هیدرات و بسته به میزان گاز آزاد گرفته در زیر آن می‌توان کلاس ۲ یا ۳ AVO را در نظر گرفت. اما هنگامی که حضور هیدرات باعث پیوستگی رسوب شده باشد در آنصورت برای مدل سوم کلاس ۴ و برای مدل ۴ بسته به میزان اشباع هیدرات و گاز آزاد کلاس ۳ یا ۴ AVO را می‌توان در نظر گرفت.

#### ۴- نتیجه گیری

با مطالعه کلاسهای مختلف AVO که با ابزاری همچون نمودار متقاطع بررسی می‌شود می‌تواند در شناسایی نوع توزیع هیدرات گازی تا حدودی موثر واقع شود. برای مقادیر معمول اشباع هیدرات گازی نتایج مطالعات نشان می‌دهد که مدل‌های اول و دوم توزیع هیدرات گازی در کلاس‌های ۲ و ۳، مدل سوم توزیع هیدرات در کلاس ۴ و مدل چهارم توزیع هیدرات گازی در کلاس ۳ یا ۴ AVO قرار می‌گیرند. بنابراین مشاهده می‌شود که با استفاده از این ابزار می‌توان جهت شناسایی نوع توزیع هیدرات گازی و یا حداقل کاهش عدم قطعیت مرتبط با آن استفاده نمود.

#### مراجع

- [1] Zoeppritz, K. 1919. Uber reflexion und durchgang seismischer Wellen durch Unstetigkeitsflächen. Ueber Erdbebenwellen II B, Nachrichtend er Ki) niglichenG esellschadfte t Wissenschaften zu GdttingenM, ath. Phys.K, I: 57-84.
- [2] Aki, K., Richards, P.G., Quantitative seismology; theory and methods: W. H. Freeman and Company, 1980.
- [3] Fatti, J. L., P. J. Vail, G. C. Smith, P. J. Strauss, and P. R. Levitt, 1994, Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3-D seismic case history using the geostack technique: Geophysics, 59, 1362-1376
- [4] Smith, G., and Gidlow, P. M., 1987, Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas: Geophys. Prosp., 35, 993-1014
- [5] Ecker, C., Dvorkin, J., and Nur, A., 1996, Sediments with gas hydrates; Internal structure from seismic AVO: 66th Ann. Internat. Meeting, SEG Expanded Abstracts, 24, 491-498.
- [6] Ecker, C., 1997, Characterization of a hydrate reservoir: Stanford Exploration Project Report, 94, 1-16.
- [7] Ecker, C., 1998, Seismic characterization of methane hydrate structure: Ph.D. Thesis, Stanford University.
- [8] Helgerud, M. B., Dvorkin, J., Nur, A., Sakai, A., and Collett, T., 1999, Effective wave velocity in marine sediments gas hydrates: Effective medium modeling: Geophys. Res. Lett., 26, 2021-2024.
- [9] Ostrander, W.J., 1984, Plane-wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence: Geophysics, 49, 1637-1648.
- [10] Castagna, J. P., H. W. Swan, and D. J. Foster, 1998, Framework for AVO gradient and intercept interpretation: Geophysics, 63, 948-956.
- [11] Rutherford, S. R., and Williams, R. H., 1989, Amplitude-versus-offset variations in gas sands: Geophysics, 54, 680-688.
- [12] Muller, C., Bonnemann, C., and Neben, S., 2007, AVO study of a gas hydrate deposit; offshore Costa Rica: Geophys. Prosp., 55, 1-17.
- [13] Castagna, J.P., Batzle, M.L. and Eastwood, R.L. 1985, Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks, Geophysics, 50, 571-581.