

# آشکارسازی هیدروکربورهای گازی دشت گرگان به شیوه آنالیز AVO

پژوهش نفت

سال بیست و سوم

شماره ۷۶

صفحه، ۱۳۶-۱۲۴ ۱۳۹۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۳/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۷/۲۱

روح‌اله پرویزی\* و پیمان رضایی

۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد قشم، دانشکده مهندسی شیمی

۲- دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی

rh\_parvizi@yahoo.com

راموس - کاستاگنا می‌توان گفت که درجه اشباع آب ۹۰٪ و درجه اشباع زون‌های هیدروکربوری شناسایی شده در زیر ناپوستگی کرتاسه - ترشیری در حدود ۱۰٪ است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات دامنه در مقابل دورافت، نشان‌گرهای تبدیلی، مدل‌سازی مستقیم AVO، مدل‌سازی معکوس AVO.

## مقدمه

AVO<sup>۱</sup> (تغییرات دامنه در مقابل دورافت) یک روش تفسیر لرزه‌ای است که به بررسی نحوه تغییرات دامنه امواج لرزه‌ای با تغییرات زاویه فرودی می‌پردازد، این تغییرات وابسته به خواص الاستیکی لایه‌های پایینی و بالایی یک بازتابنده است و خواص مذکور تحت تاثیر نوع سیال و شرایط لیتولوژی می‌باشد. آنالیز تغییرات دامنه موج P در مقابل دورافت (P-P AVO) به همراه اطلاعات مربوط به موج برشی تبدیلی (P-Sv)<sup>۲</sup>، ابزار اکتشافی موثری در آشکارسازی هیدروکربورهای گازی محسوب می‌شوند. در واقع روش P-Sv مکمل روش P-P می‌باشد [۱]. ربرت و کندال به بحث و بررسی در ارتباط با آنومالی‌ها بر پایه

## چکیده

AVO یا تغییرات دامنه در مقابل دورافت، یکی از روش‌های مؤثر در شناسایی نوع سیالات در اکتشافات زیر سطحی است. در این مطالعه با بهره‌گیری از مدل‌سازی مستقیم و معکوس در قالب آنالیز AVO به بررسی وجود هیدروکربورهای سبک در دشت گرگان پرداخته شده است. هدف، مدل‌سازی مستقیم تعیین نشان‌گرهای وابسته به لیتولوژی و سیال است. آنالیز مذکور در ارتباط با نشان‌گرهای تبدیلی و غیر تبدیلی انجام شده است. مدل‌سازی معکوس با داده‌های واقعی سروکار دارد و از نتایج مدل‌سازی مستقیم که برای شناسایی زون‌های حاوی هیدروکربورهای سبک بهره می‌گیرد شناسایی شوند. به کارگیری روش معرفی شده در دشت گرگان نشان می‌دهد که نشان‌گرهای تبدیلی مانند بازتابندگی سد صوتی موج برشی و بازتابندگی سرعت موج برشی نسبت به نشانگرهای غیر تبدیلی شامل بازتابندگی سد صوتی موج تراکمی و بازتابندگی سرعت موج تراکمی، قابلیت بالاتری در تمایز سیال دارد. تشکیل مقاطع برگردان شده از نشان‌گرهای سیالی، دو زون هیدروکربوری سبک را در زیر ناپوستگی کرتاسه - ترشیری آشکار می‌سازد و انتظار می‌رود که در زیر این زون‌ها آب وجود داشته باشد. با بررسی مقادیر نشان‌گرهای تقابل دانسیته، سرعت موج برشی و تراکمی از روی مقاطع برگردان شده نشان‌گرهای مذکور و در نظر گرفتن نمودار

1. Amplitude Variation With Offset

2. Primary Wave - Vertical Secondary Wave

کلی هدف از این مطالعه شناسایی زون‌های هیدروکربوری احتمالی در دشت گرگان با بررسی نشان‌گرهای AVO در محل لاین لرزه‌ای ۱۰۶ است.

### موقعیت جغرافیایی دشت گرگان

منطقه مذکور بین طول‌های شرقی ۵۴ تا ۵۶ و عرض‌های شمالی ۳۶ تا ۳۸ درجه واقع شده است. به این ترتیب دشت گرگان شامل شرق دریای خزر و خلیج گرگان تا رودخانه گرگان و بلندی‌های کپه داغ بوده و همچنین شمال مناطق مورفولوژیکی متمایز پوشیده جنگلی البرز تا مرز مشترک ایران و ترکمنستان را در بر می‌گیرد [۷].

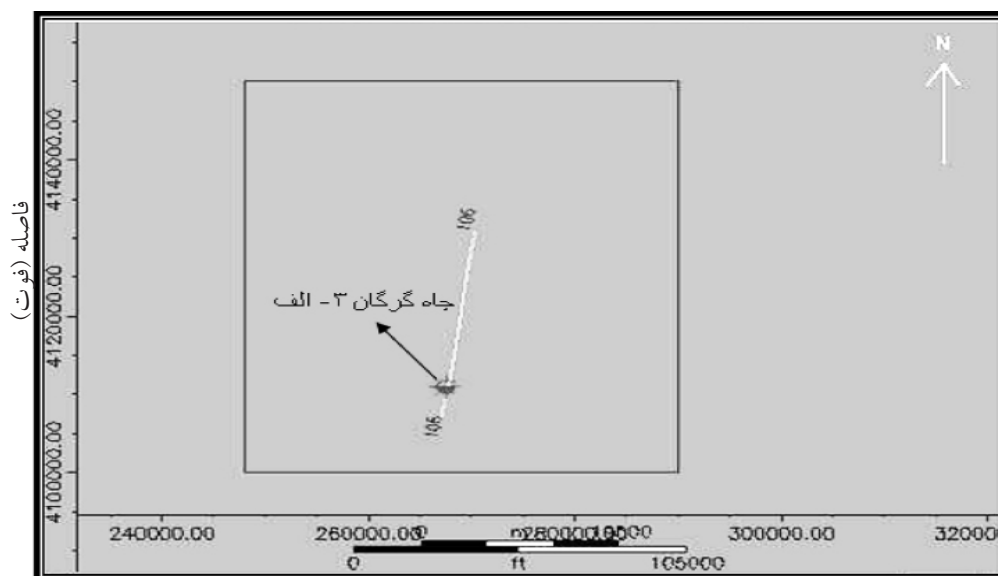
### اطلاعات داده‌های لرزه‌ای و پردازش

داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه دارای فاصله نمونه برداری ۲ ms، تعداد کانال‌ها ۲۴۰ عدد، فاصله هر دو موقعیت چشمه از یکدیگر ۲۵ m و فاصله نقاط عمقی مشترک از یکدیگر ۶/۲۵ m است. مراحل پردازش شامل وارد نمودن هندسه برداشت، ویرایش رد لرزه‌ها، جبران واگرایی کروی موج و جبران جذب غیر الاستیک محیط عبور موج می‌باشد.

نشان‌گرهای تبدیلی پرداخته‌اند [۲]. نیل و همکاران مطالعاتی در زمینه آنالیز لرزه‌ای جهت آشکارسازی هیدروکربورهای سبک انجام داده‌اند [۳]. آکی و ریچاردز یک تقریب شامل سه عبارت بازتابندگی دانسیته، سرعت‌های موج تراکمی و برشی در ارتباط با معادله زوپریتس تقریب اسمیت و گیدلو<sup>۲</sup> بر پایه معادله آکی و ریچاردز بنیان نهاده شده است. این تقریب روی مقاطع بر انبارش شده برای رسیدن به اطلاعاتی در ارتباط با خواص سنگ مخزنی، اجرا شده است [۵].

فاتی و همکاران نیز با توجه به خطی نبودن معادله زوپریتس و تعداد پارامترهای کشسان زیاد آن، جهت تسهیل به کارگیری معادله مذکور برای وارون سازی، به خطی سازی آن پرداخته‌اند [۶]. این مطالعه در دشت گرگان انجام شده است. مشاهده همزمان آنومالی‌های دامنه‌ای در مقطع لرزه‌ای و همچنین لایه‌های گازی در محل چاه گرگان ۳-الف عامل اساسی در انجام این تحقیق می‌باشد. داده‌های چاه و مقطع لرزه‌ای ۲ بعدی که از محل چاه گرگان ۳-الف عبور می‌کند در دسترس می‌باشد (شکل ۱).

آنالیز AVO به کمک نشان‌گرهای معمولی P-P، نشان‌گرهای تبدیلی P-Sv و در قالب مدل‌سازی مستقیم و معکوس در زون‌های هیدروکربوری و آب شور انجام شده است. به طور



شکل ۱- موقعیت لاین لرزه‌ای ۱۰۶ و چاه گرگان ۳-الف

1. Zoeppritz Equation
2. Smith and Gidlow Approximation

نشان‌گر بازتابندگی پواسون ( $\Delta\sigma$ )

$$\Delta\sigma = \frac{4}{9}(A+B) \quad (۲)$$

نشان‌گر بازتابندگی موج تبدیلی (S)

$$S = \frac{1}{2}(A-B) \quad (۳)$$

نشان‌گر علامت (SIGN)

$$\text{SIGN}=A*B \quad (۴)$$

نشان‌گر ضریب سیال ( $\Delta F$ )

$$\Delta F=1.252A+0.58B \quad (۵)$$

در صورت فقدان لاگ‌های سونیک، موج تبدیلی و دانسیته، به کمک روابط گاردنر و کاستاگنا پارامترهای مجهول قابل محاسبه می‌شوند:

رابطه کاستاگنا به منظور محاسبه سرعت موج تبدیلی از لاگ

سونیک

$$\alpha = 1.16\beta + 1.36 \quad (۶)$$

رابطه گاردنر به منظور محاسبه دانسیته از لاگ سونیک

$$\rho = a\alpha^b \quad (۷)$$

مقادیر  $a$  و  $b$  در محدوده وسیعی از سنگ‌های ماسه سنگی به ترتیب برابر  $۰/۲۳$  و  $۰/۲۵$  است.

### روش‌شناسی و بحث

در این مبحث سه حالت مدل‌سازی مستقیم AVO، مدل‌سازی معکوس AVO و تخمین درجه اشباع هیدروکربوری در دشت گرگان معرفی شده و مورد بحث قرار می‌گیرد. هدف مدل‌سازی مستقیم شناسایی نشان‌گرهایی است که تغییرات آنها وابسته به سیال است. پس از تعیین نشان‌گرهای مذکور به کمک مدل‌سازی معکوس، می‌توان زون‌های هیدروکربوری احتمالی را شناسایی نمود و نهایتاً درجه اشباع بر اساس سه پارامتر بازتابندگی دانسیته، سرعت‌های امواج تراکمی و برشی به کمک نمودار راموس - کاستاگنا برآورد می‌شود. لازم به ذکر است که داده‌های ورودی مدل‌سازی مستقیم، لاگ‌های

در مرحله بعد فرآیند معادل‌سازی ردلرزه‌ها و تصحیح دامنه وابسته به سطح ردلرزه‌ها در یک پنجره محدود انجام می‌شود. همچنین جهت حذف امواج مستقیم با دامنه بالا و امواج شکست مرزی، عمل برش<sup>۱</sup> در محدوده پنجره‌هایی با زاویه‌های مختلف انجام می‌گردد. در این بررسی فیلتر میان‌گذر<sup>۲</sup>، معادل‌سازی طیف دامنه، واهم آمیخت از نوع اسپایک<sup>۳</sup> وابسته به سطح<sup>۴</sup> به کار گرفته شده است. جهت بازگرداندن دامنه داده‌ها به میز آن واقعی ادغام ردلرزه‌های<sup>۵</sup> با نقطه عمق مشترک به منظور تقویت بازتاب‌های هم‌دوس<sup>۶</sup> و حذف نوفه‌های اتفاقی نیز انجام می‌شود.

### مقدمه روش AVO

آن‌چه در AVO نقش اصلی را بازی می‌کند، توجه به دامنه‌های انعکاسی به جای اینتروال‌های زمانی در مقاطع لرزه‌ای است. با توجه به اینکه نقاط روشن در مقاطع برانبارشی ممکن است تحت تأثیر لیتولوژی ایجاد شده باشند، باید در مقاطع قبل از برانبارش و در قالب آنالیز AVO بررسی شوند. AVO روشی کمی و فیزیکیال بوده و در قالب معادلات بیان می‌شود. از جمله این معادلات تقریب، شوی<sup>۷</sup> است:

$$R(\theta) \approx A + B \sin^2 \theta + C(\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (۱)$$

$$A = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)$$

$$B = \frac{1}{2} \left( -\frac{\Delta\rho}{\rho} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - 2\frac{\Delta\beta}{\beta} \right)$$

$$C = \frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha}$$

در رابطه ۱ پارامترهای  $A$ ،  $B$  و  $C$  به ترتیب معرف نشان‌گرهای عرض از مبدأ، گرادیان و اثرانحنا هستند.  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب بیان‌گر مقادیر متوسط پارامترهای سرعت موج  $P$ ، سرعت موج  $S$  و دانسیته  $\rho$  در لایه‌های بالایی و زیرین بوده و پارامترهای  $\Delta\alpha$ ،  $\Delta\beta$  و  $\Delta\rho$  نیز به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف سرعت موج  $P$ ، سرعت موج  $S$  و دانسیته  $\rho$  در لایه‌های بالایی و زیرین هستند. لازم به ذکر است که بیان‌کننده پارامتر بازتابندگی به عنوان تابعی از زاویه فرودی است. در زیر برخی دیگر از نشان‌گرهای AVO معرفی می‌شوند:

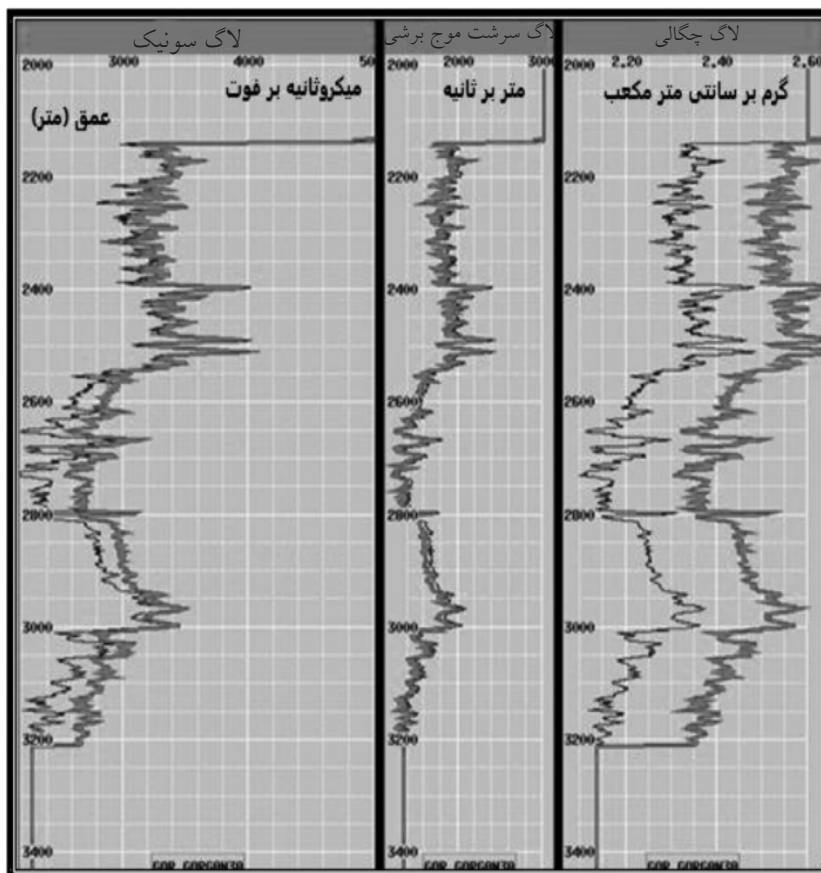
1. Muting
2. Band pass Filter
3. Spiking Deconvolution
4. Surface Consistent
5. Trace Mix
6. Coherent
7. Shuey Approximation

تقریب شوی است که در بخش مقدمه AVO توضیحات مربوط به این معادله آمده است. CDP های مصنوعی در دو حالت گازی و اشباع آبی در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در این دو CDP ساختگی، بخش بالا و پایین لایه هدف نشان داده شده است. لازم به ذکر است که فاز موجک مورد استفاده در ساخت CDP ها، ۳۰ هرتز و نوع آن Ricker می باشد. نتایج آنالیز نشان گر ها شامل انواع تبدیلی و غیر تبدیلی در بخش بالا و پایین زون های آبی و گازی CDP های ساختگی، در جداول ۱ و ۲ خلاصه شده است. در این جدول علامت + به معنای نشانگر با مقدار صفر، علامت + به معنای نشانگر با مقدار متوسط مثبت، علامت ++ نمایانگر نشانگر با مقدار مثبت بالا، علامت - به مفهوم نشانگر با مقدار منفی متوسط و علامت -- به معنای نشانگر با مقدار منفی بالا می باشد.

چاهی بوده و مدل سازی معکوس بر اساس داده های لرزه ای انجام می شود.

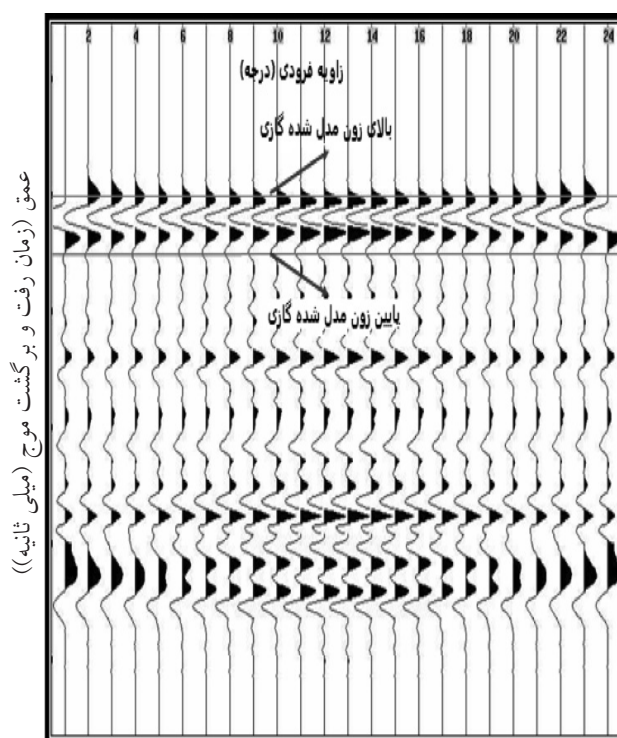
### مدل سازی مستقیم AVO در دشت گرگان

هدف مدل سازی مستقیم تعیین نشان گر هایی است که تمایز بهتری بین مخزن اشباع گازی و آبی نشان می دهد. مدل سازی مستقیم مستلزم تولید CDP های مصنوعی از داده های چاه است. برای این منظور باید لاگ های دانسیته، سونیک و سرعت موج برشی در دسترس باشند. در چاه گرگان ۳- الف تنها لاگ سونیک موجود است. بنابراین به کمک روابط گاردنر<sup>۱</sup> و ماد راک لاین لاگ های دانسیته و برشی از لاگ سونیک تولید می شوند، سپس بر اساس معادلات گاسمن<sup>۲</sup> (۱۹۵۱) لاگ های مذکور در حالت اشباع آبی ساخته می شوند (شکل ۲). روند ساخت CDP ها (محاسبه بازتابندگی یا ضریب انعکاسی) بر اساس رابطه



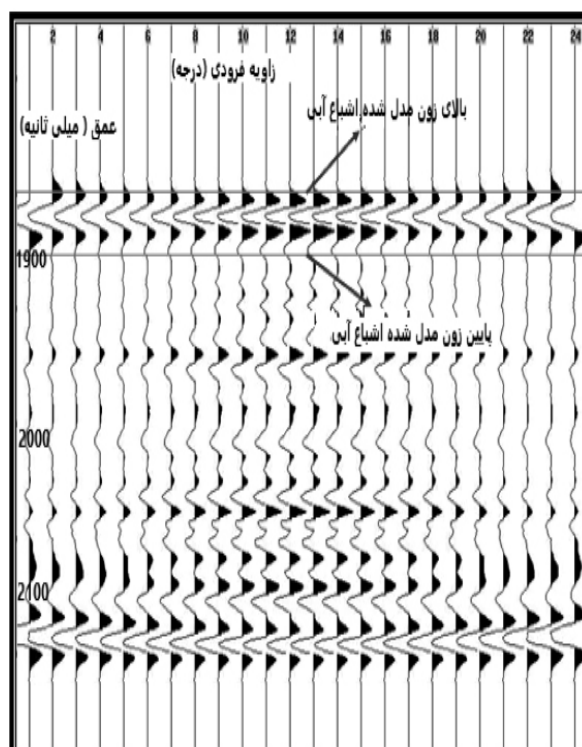
شکل ۲- لاگ های سونیک، سرعت موج برشی و دانسیته (رنگ خاکستری روشن نشان دهنده حالت گازی و رنگ خاکستری تیره نشان دهنده حالت اشباع آبی است).

1. Gardner's Equation
2. Gassmann's Equation



زاویه فرودی

شکل ۳- CDPهای ساختگی در حالت مدل شده گازی (زون بالا و پایین مخزن در این شکل مشخص شده است). لازم به ذکر است که میزان افزایش زاویه به ازای هر ردلرزه از چپ به راست ۲ درجه می باشد.



زاویه فرودی

شکل ۴- CDPهای ساختگی در حالت اشباع آبی (قسمت بالا و پایین زون مدل سازی شده اشباع آبی نیز در این شکل مشخص شده است). لازم به ذکر است که میزان افزایش زاویه به ازای هر ردلرزه از چپ به راست ۲ درجه می باشد.

جدول ۱- پاسخ نشان‌گرها در بخش بالا و پایین زون مدل‌سازی شده گازی

گرایان	نشانگر علامت		بازتابندگی دانسیته		بازتابندگی سرعت موج برشی		بازتابندگی سرعت موج تراکمی		بازتابندگی صد صوتی موج برشی		بازتابندگی صد صوتی موج تراکمی			
	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین		
	--	+	--	++	0	0	++	(-) 0	++	(-) 0	+	-	+	(-) 0
بازتابندگی پواسون	بازتابندگی $\Lambda * \rho$		بازتابندگی $\mu * \rho$		بازتابندگی صد صوتی الاستیکی		بازتابندگی شبه پواسون		ضریب سیال		عرض از مبدأ			
	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین
	--	(+) 0	+	(-) 0	++	(-) 0	+	(-) 0	--	+	--	+	++	(-) 0

جدول ۲- پاسخ نشان‌گرها در بخش بالا و پایین زون مدل‌سازی شده آبی

گرایان	نشانگر علامت		بازتابندگی دانسیته		بازتابندگی سرعت موج برشی		بازتابندگی سرعت موج تراکمی		بازتابندگی صد صوتی موج برشی		بازتابندگی صد صوتی موج تراکمی			
	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین		
	(-) 0	(+) 0	0	-	0	0	(+) 0	(-) 0	+	(-) 0	(+) 0	(-) 0	+	(-) 0
بازتابندگی پواسون	بازتابندگی $\Lambda * \rho$		بازتابندگی $\mu * \rho$		بازتابندگی صد صوتی الاستیکی		بازتابندگی شبه پواسون		ضریب سیال		عرض از مبدأ			
	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین
	(+) 0	(+) 0	++	(-) 0	(+) 0	(-) 0	++	(-) 0	++	(+) 0	++	(+) 0	+	(-) 0

### نشان‌گر بازتابندگی دانسیته<sup>۱</sup>

این نشان‌گر در هر دو زون آبی و گازی و در دو بخش بالا و پایین پاسخ صفر می‌دهد که علت آن می‌تواند عدم لحاظ اثر انحنای سطوح انعکاسی در فرآیند آنالیز باشد. از طرف دیگر با توجه به اینکه تغییر نوع سیال در پاسخ نشان‌گر مذکور بی‌تأثیر بوده است، بازتابندگی دانسیته بیانگر تغییرات لیتولوژی در آن دسته از لایه‌هایی خواهد بود که اختلاف صد صوتی<sup>۲</sup> بالایی با یکدیگر دارند. طبیعی است که این نشان‌گر در تشخیص زون‌های مخزنی و محدوده‌های آن موفق عمل نخواهد کرد.

### نشان‌گر بازتابندگی سرعت موج برشی<sup>۳</sup>

این نشان‌گر در زون گازی و در بخش بالا و پایین به ترتیب با مقادیر مثبت بالا و منفی نزدیک به صفر مشخص می‌شود.

همچنین در زون آبی و در بخش بالا و پایین به ترتیب مقادیر مثبت و منفی نزدیک به صفر دارد، بدین ترتیب تغییرات نشان‌گر مذکور تحت تأثیر لیتولوژی و سیال خواهد بود ضمن اینکه این نشان‌گر در تمایز نوع سیال چندان موفق عمل نمی‌کند، اما در تشخیص محدوده‌های لیتولوژی مخزن نسبتاً مناسب خواهد بود.

### نشانگر بازتابندگی سرعت موج تراکمی<sup>۴</sup>

این نشان‌گر در زون گازی و در بخش بالا و پایین به ترتیب با مقادیر مثبت بالا و منفی نزدیک به صفر مشخص می‌شود.

1. Density Reflectivity
2. Impedance
3. Shear Wave Velocity Reflectivity
4. P- Wave Velocity Reflectivity

به ترتیب مقادیر منفی نزدیک به صفر و مثبت نزدیک به صفر را داراست. بدین ترتیب تغییرات نشانگر مذکور تحت تاثیر سیال و لیتولوژی خواهد بود. ضمن اینکه این نشانگر در تعیین محدوده‌های لیتولوژی مخزن نیز عملکرد موفق دارد.

#### نشانگر علامت<sup>۶</sup>

این نشانگر در زون گازی و در بخش بالا و پایین به ترتیب با مقادیر منفی بالا و مثبت بالا مشخص می‌شود، همچنین در زون آبی و در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب مقادیر صفر و منفی متوسط دارد. بنابراین تغییرات نشانگر مذکور بیشتر تحت تاثیر سیال خواهد بود، ضمن اینکه این نشانگر در تمایز نوع سیال و تفکیک محدوده‌های مخزنی عملکرد مناسبی دارد.

#### نشانگر بازتابندگی پواسون<sup>۷</sup>

این نشانگر در زون گازی و در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب با مقادیر منفی بالا و مثبت نزدیک به صفر مشخص می‌شود. همچنین در زون آبی و در بخش‌های بالا و پایین نیز مقادیر مثبت نزدیک به صفر را خواهد داشت. به این ترتیب تغییرات نشانگر مذکور تحت تاثیر سیال و لیتولوژی بوده و این نشانگر در تفکیک محدوده‌های مخزنی عملکرد مناسبی دارد.

**نشانگر بازتابندگی مقاومت صوتی الاستیکی و بازتابندگی<sup>۸</sup>**  
پاسخ این نشانگرها در زون گازی و در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب با مقادیر مثبت متوسط و منفی نزدیک به صفر مشخص می‌شود همچنین در زون آبی و در بخش‌های بالا و پایین نیز مقادیر مثبت بالا و منفی نزدیک به صفر را دارد. بنابراین، تغییرات نشانگرهای مذکور تحت تاثیر سیال و لیتولوژی می‌باشد و این نشانگرها در تفکیک محدوده‌های مخزنی عملکرد مناسبی خواهند داشت.

#### نشانگر بازتابندگی $\mu \times \rho$

این نشانگر در زون گازی و در بخش‌های بالا و پایین

همچنین در زون آبی و در بخش بالا و پایین به ترتیب مقادیر مثبت و منفی نزدیک به صفر دارد، بنابراین، تغییرات نشانگر مذکور تحت تاثیر لیتولوژی و سیال خواهد بود. این نشانگر اگرچه در تمایز نوع سیال چندان موفق عمل نمی‌کند اما در تشخیص محدوده‌های لیتولوژی مخزن، پارامتری مناسب خواهد بود.

#### نشانگر بازتابندگی سد صوتی موج برشی<sup>۱</sup>

این نشانگر در زون گازی و در بخش بالا و پایین به ترتیب با مقادیر مثبت متوسط و منفی متوسط مشخص می‌شود همچنین در زون آبی و در بخش بالا و پایین به ترتیب مقادیر مثبت و منفی نزدیک به صفر دارد، بنابراین، تغییرات نشانگر مذکور تحت تاثیر لیتولوژی و سیال خواهد بود. این نشانگر اگرچه در تمایز نوع سیال چندان موفق عمل نمی‌کند اما در تشخیص محدوده‌های لیتولوژی مخزن، پارامتری مناسب خواهد بود.

#### نشانگر بازتابندگی سد صوتی موج تراکمی<sup>۲</sup>

این نشانگر در زون‌های آبی - گازی و در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب با مقادیر مثبت متوسط و منفی نزدیک به صفر مشخص می‌شود، به این ترتیب تغییرات نشانگر مذکور تنها تحت تاثیر لیتولوژی بوده و در تشخیص محدوده‌های مخزنی مناسب می‌باشد، زیرا مقادیر بازتابندگی سد صوتی موج تراکمی در بالا و پایین زون گازی علامت‌های مختلفی دارند.

#### نشانگرهای بازتابندگی شبه پواسون<sup>۳</sup> و ضریب سیال<sup>۴</sup>

پاسخ نشانگرهای مذکور مشابه بوده و در زون گازی در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب با مقادیر منفی بالا و مثبت متوسط مشخص می‌شود. همچنین در زون آبی و در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب مقادیر مثبت بالا و مثبت نزدیک به صفر دارد. بنابراین تغییرات این نشانگرها عمدتاً تحت تاثیر سیال خواهد بود، ضمن اینکه این نشانگرها در تمایز نوع سیال نیز موفق عمل می‌کنند.

#### نشانگرگردیان<sup>۵</sup>

این نشانگر در زون گازی و در بخش‌های بالا و پایین به ترتیب با مقادیر منفی بالا و مثبت متوسط مشخص می‌شود. همچنین در زون آبی و در بخش‌های بالا و پایین

1. Shear Wave Impedance Reflectivity
2. P-Wave Impedance Reflectivity
3. Pseudo-Poisson Reflectivity
4. Fluid Factor
5. Gradient
6. SIGN
7. Poisson Reflectivity
8. Elastic Impedance Reflectivity

بازتابندگی دانسیته و سرعت را محاسبه نمود. مراحل ذکر شده در ارتباط با CDP های همه نمونه‌ها تکرار می‌شود. نتایج به دست آمده، داده‌های بازتابندگی است که نشان‌گرهای AVO نامیده می‌شود. لازم به ذکر است که پارامتر بازتابندگی دانسیته در مقایسه با بازتابندگی سرعت‌های امواج P و S کوچک می‌باشد. همچنین اثرات پارامتر بازتابندگی دانسیته در دورافت‌های بالا و زوایای فرودی بیش از ۳۰ درجه آشکار می‌شود. در اغلب موارد داده‌های مربوط به دورافت‌های بالا که شامل اطلاعات دانسیته است، موجود نمی‌باشد. عوامل دیگری نظیر نوفه و بازیابی ناقص دامنه، موجب ایجاد خطا در مقادیر پارامترهای بازتابندگی دانسیته و سرعت امواج P و S می‌شود. معمولاً در محاسبات مربوط به مدل‌سازی معکوس AVO، مقدار بازتابندگی دانسیته از روابط شامل سرعت موج P تعیین می‌گردد. مدل‌سازی معکوس AVO در دو حالت به کار گرفته می‌شود: الف) به کارگیری تقریب شوی [۹] به جای معادلات زوپریتس، ب) استفاده از تقریب اسمیت-گیدلو [۵] به جای معادلات زوپریتس جهت محاسبه مقادیر نشان‌گرها به ترتیبی که بیان گردید. در شکل‌های ۵ و ۶ نتایج مدل‌سازی مستقیم در ارتباط با نشان‌گرهای ضریب سیال و بازتابندگی شبه پواسون رسم شده است. در این شکل‌ها بالای زون گازی با مقادیر منفی یعنی خاکستری روشن و پایین آن با مقادیر مثبت یعنی خاکستری نمایان می‌شود. در این شکل‌ها می‌توان دو زون احتمالی ۱ و ۲ مخزنی را در نظر گرفت و در بخش زیرین احتمالاً لایه آبی خواهیم داشت. لازم به ذکر است بالا و پایین لایه‌های آبی به ترتیب با مقادیر مثبت بالا (خاکستری سیر) و مقادیر مثبت متوسط (خاکستری) مشخص می‌شود. چاه گرگان ۳ الف به مقدار کمی از ذخایر هیدروکربوری سبک رسیده است که نتایج مدل‌سازی مستقیم وجود آن را در مقطع برگردان شده نشان‌گر ضریب سیال تایید می‌کند (شکل شماره ۷). همچنین بر اساس نتایج مدل‌سازی مستقیم، وجود دو زون گازی احتمالی به وسیله مقطع برگردان شده نشان‌گر علامت نیز تأیید می‌شود (شکل شماره ۸).

ترتیب با مقادیر مثبت بالا و منفی نزدیک به صفر مشخص می‌شود. همچنین در زون آبی و در بخش‌های بالا و پایین نیز مقادیر مثبت نزدیک به صفر و منفی نزدیک به صفر را داراست. بدین ترتیب تغییرات نشان‌گر مذکور تحت تاثیر سیال و لیتولوژی خواهد بود. ضمن اینکه این نشان‌گر در تفکیک محدوده‌های مخزنی عملکرد نسبتاً مناسبی دارد.

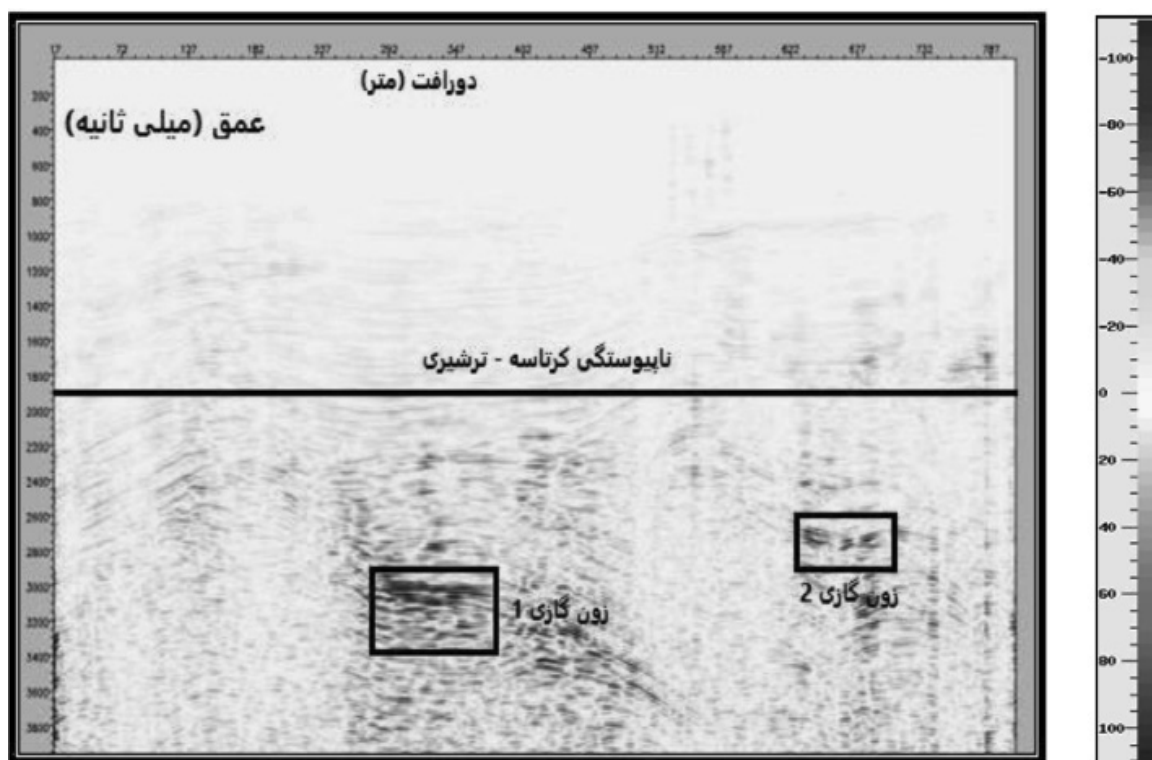
### مدل‌سازی معکوس AVO در دشت گرگان

هدف فرآیند مدل‌سازی معکوس، تبدیل داده‌های لرزه‌ای واقعی به مقاطعی از انواع نشان‌گرها است که کاملاً مفهوم فیزیکی دارند. به این ترتیب، ورودی مدل‌سازی معکوس داده‌های واقعی قبل از برانبارش و خروجی آن انواع ضرایب بازتابندگی می‌باشد. این ضرایب تابعی از زاویه فرودی بوده و به کمک معادلات زوپریتس [۸] و تقریب‌های آن محاسبه می‌شوند. مفهوم بازتابندگی، تغییر نسبی در پارامترهای سنگ می‌باشد. سه جزء اصلی در محاسبه ضرایب بازتاب‌پذیری که در مدل‌سازی معکوس AVO کاربرد دارند، عبارتند از:

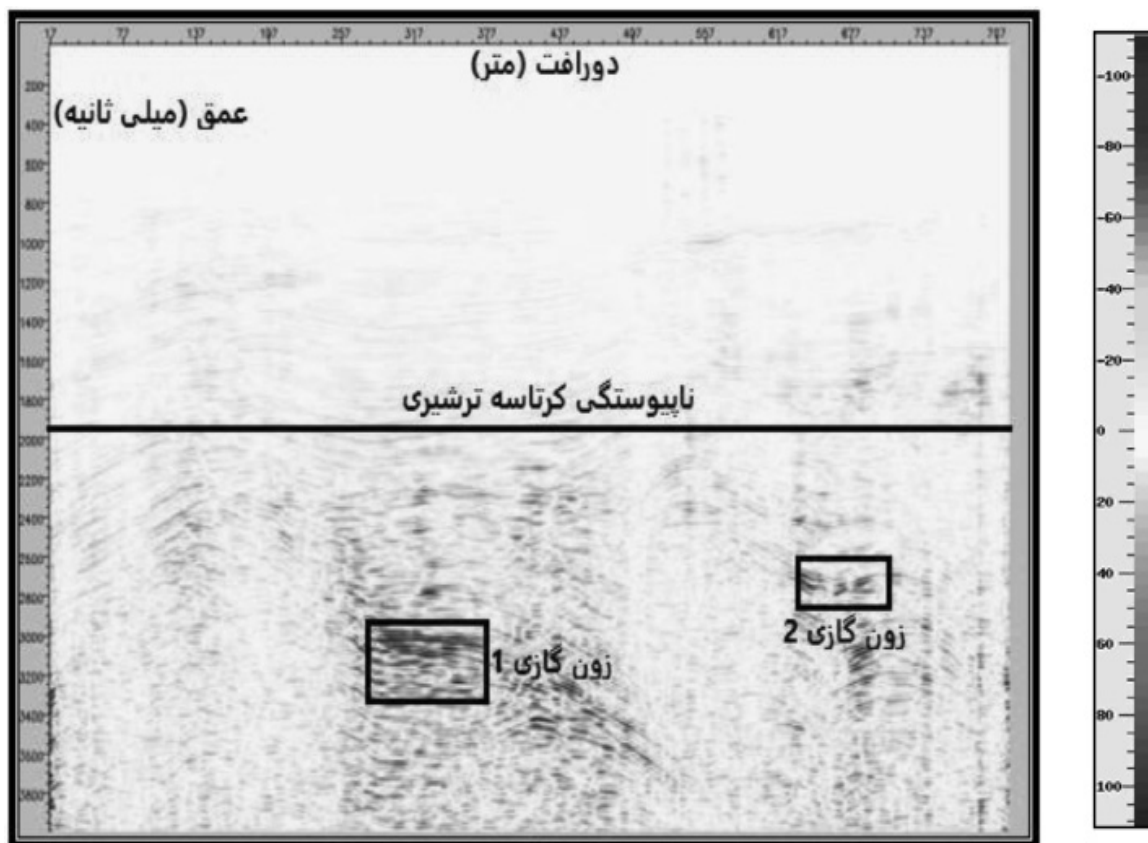
- ۱- تغییر نسبی در سرعت موج غیر تبدیلی P
  - ۲- تغییر نسبی در سرعت موج تبدیلی S
  - ۳- تغییر نسبی در دانسیته
- مراحل اساسی در روش مدل‌سازی معکوس AVO عبارتند از:
- الف- محاسبه زاویه فرودی: جهت اجرای مدل‌سازی معکوس AVO لازم است زاویه فرودی در ارتباط با همه CDPها، دورافت‌ها و نمونه‌های زمانی یا عمق معلوم باشد. با داشتن مدل سرعت و محل گیرنده - منبع، می‌توان زاویه فرودی را با به کارگیری روش رد لرزه پرتو<sup>۱</sup> تعیین نمود.
- ب- فرمولاسیون حداقل مربعات جهت مدل‌سازی معکوس AVO: گام دوم در مدل‌سازی معکوس AVO، مستلزم به کارگیری همه مقادیر دامنه‌ها در ارتباط با تمام دورافت‌های مرتبط با هر نمونه زمانی است.

آنالیز دامنه‌ها به عنوان تابعی از زاویه فرودی انجام می‌شود. لازم به ذکر است که هر یک از دورافت‌ها با استفاده از روش رد لرزه پرتو با پارامتر زاویه معادل‌سازی می‌شود. با به کارگیری روش حداقل مربعات، بهترین نمودار مرتبط با معادله زوپریتس که انطباق مناسب‌تری با داده‌ها دارد، رسم می‌شود. به کمک این نمودار می‌توان پارامترهای

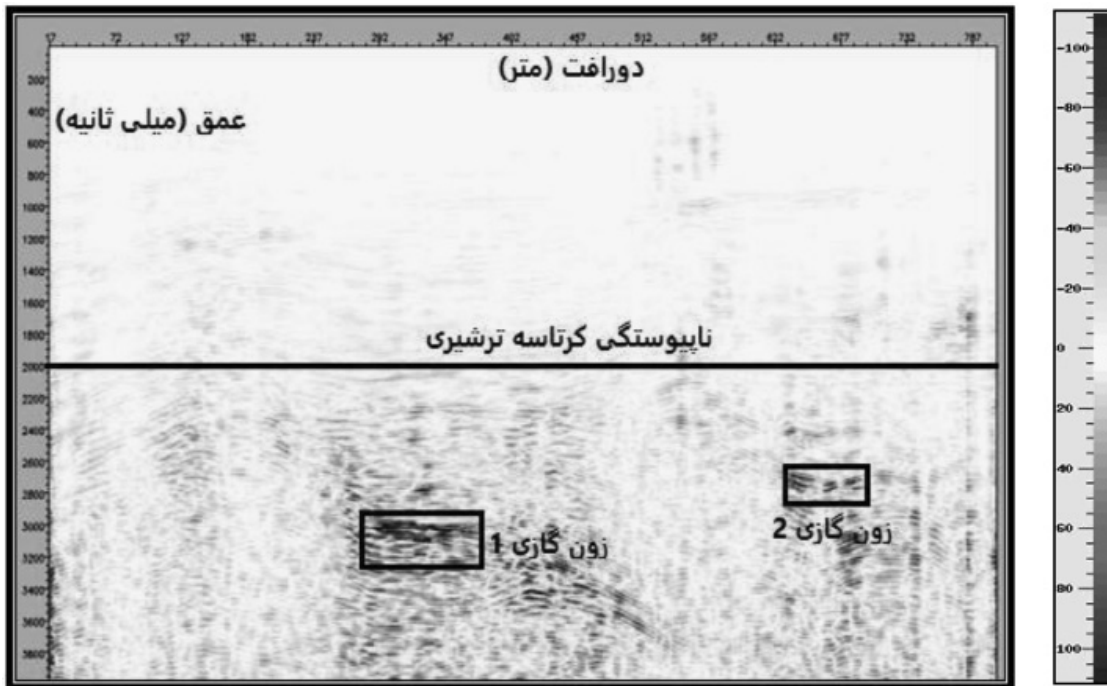




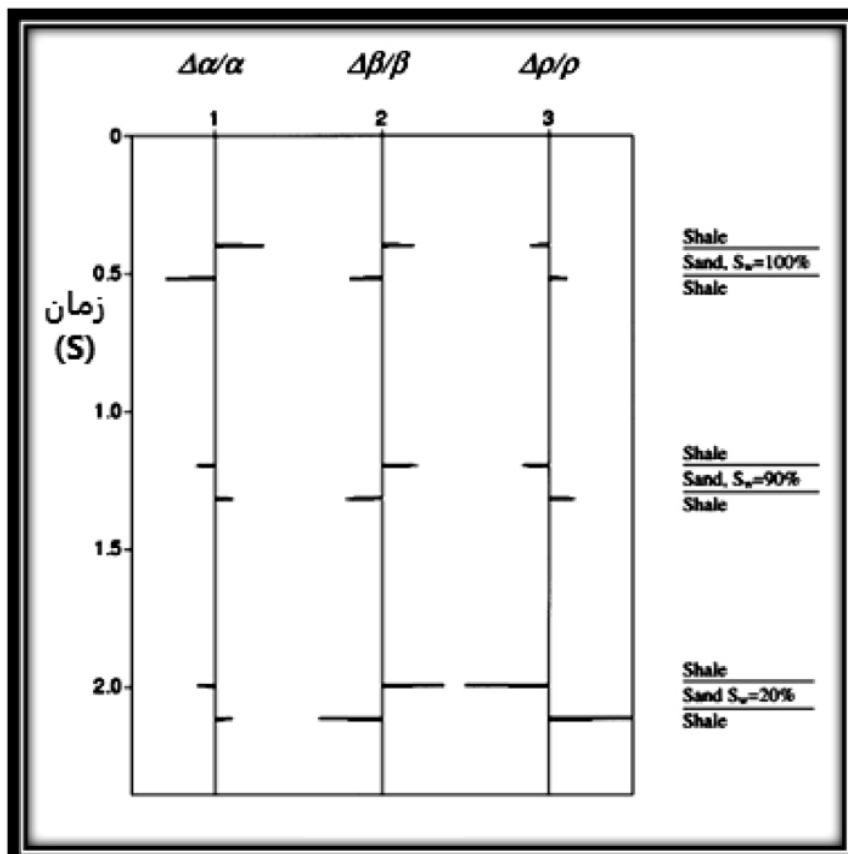
شکل ۵- مقطع برگردان شده نشان‌گر ضریب سیال و زون‌های احتمالی گازی ۱ و ۲



شکل ۶- مقطع برگردان شده نشان‌گر بازتابندگی شبه پواسون (در این شکل زون‌های گازی ۱ و ۲ نیز نشان داده شده است)



شکل ۷- مقطع برگردان شده نشان‌گر ضریب سیال و وزن‌های احتمالی گازی ۱ و ۲ است، در این شکل همچنین مسیر چاه گرگان ۳- الف و زون گازی کوچکی که چاه با آن مواجه گردیده نیز مشخص شده است.



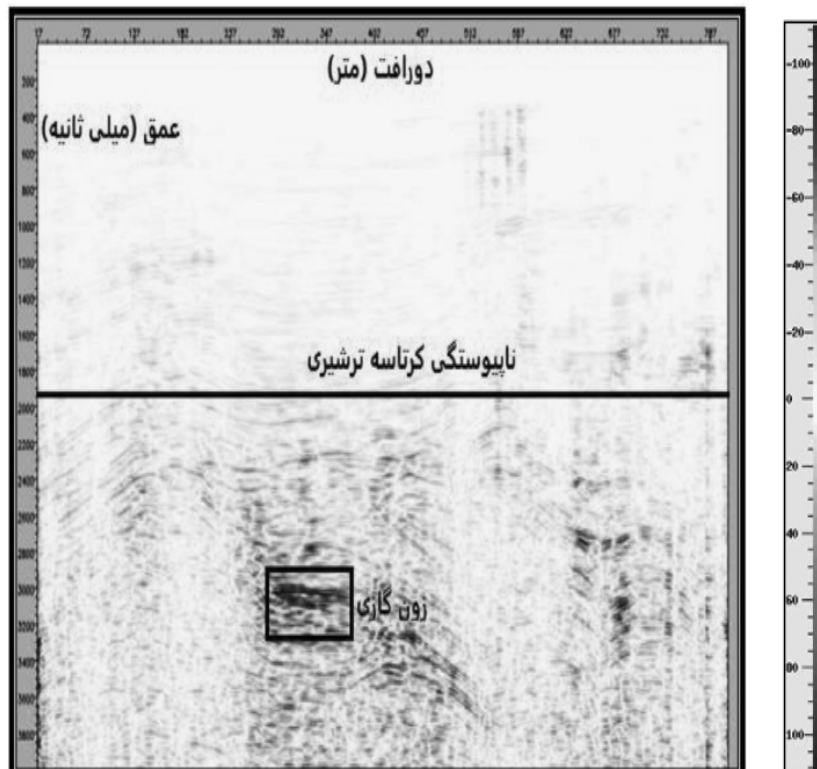
شکل ۸- مقطع برگردان شده نشان‌گر علامت (در این شکل زون‌های گازی ۱ و ۲ نیز نشان داده شده است)

داده شده است: الف) قدر مطلق مقدار تقابل دانسیته پایین است، قدر مطلق مقدار تقابل سرعت موج برشی متوسط و تقابل سرعت موج تراکمی بالاست. در این حالت میزان درجه اشباع آب مخازن ماسه سنگی احاطه شده به وسیله شیل ۱۰۰٪ می باشد. ب- چنانچه مقدار تقابل دانسیته پایین بوده و مقادیر تقابل سرعت های موج برشی و تراکمی به ترتیب خیلی کم و متوسط باشد، در این حالت میزان درجه اشباع آب مخازن مذکور ۹۰٪ و درجه اشباع هیدروکربوری ۱۰٪ خواهد بود. ج) در صورتی که مقدار تقابل سرعت موج برشی در مقایسه با سرعت موج تراکمی بیشتر بوده و میزان دانسیته نیز بالا باشد، درجه اشباع هیدروکربوری ۹۰٪ خواهد بود. در شکل ۱۰ مقطع برگردان شده از نشان گر تقابل (بازتابندگی) سرعت موج برشی نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، مقدار سرعت موج برشی در زون گازی نسبتا بالاست. در شکل ۱۱ مقطع برگردان شده از نشان گر بازتابندگی سرعت موج تراکمی نشان داده شده است، در زون گازی مقدار نشان گر مذکور کمتر از سرعت موج برشی می باشد. شکل ۱۲ نشان دهنده مقدار بسیار پایین پارامتر تقابل دانسیته است.

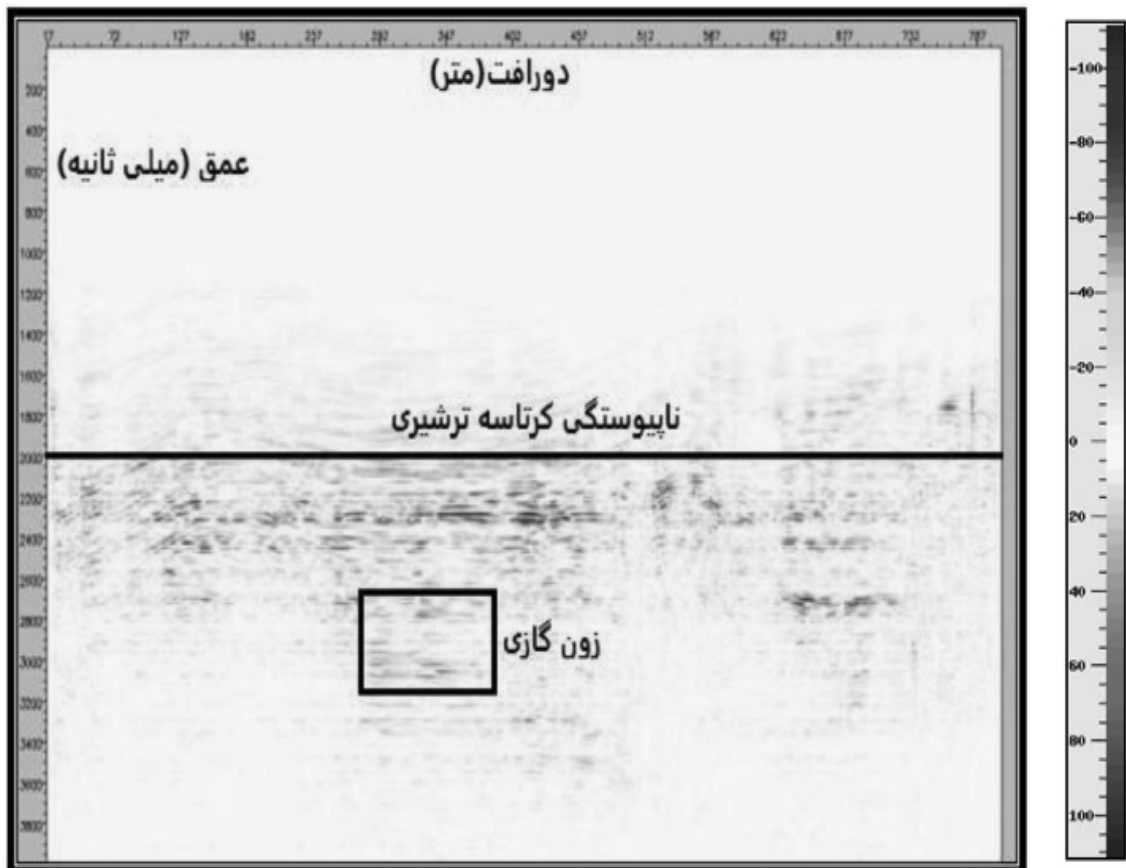
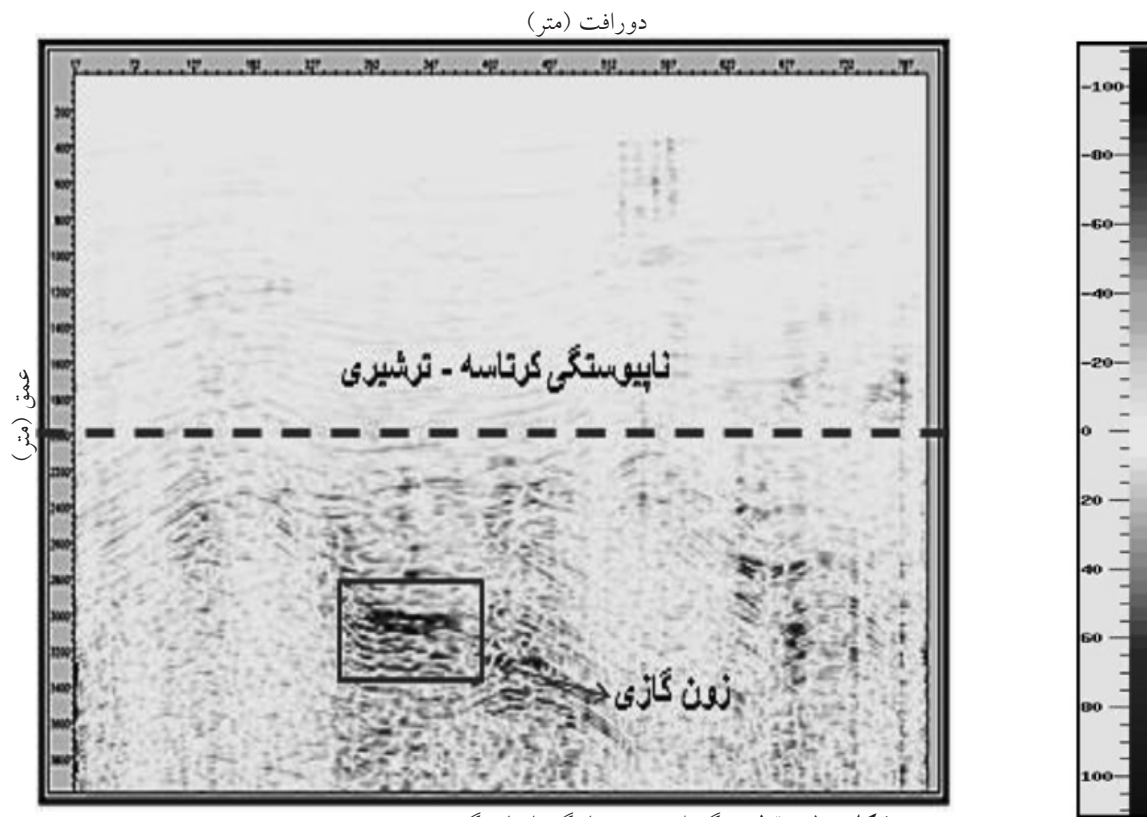
### تخمین درجه اشباع هیدروکربورهای گازی

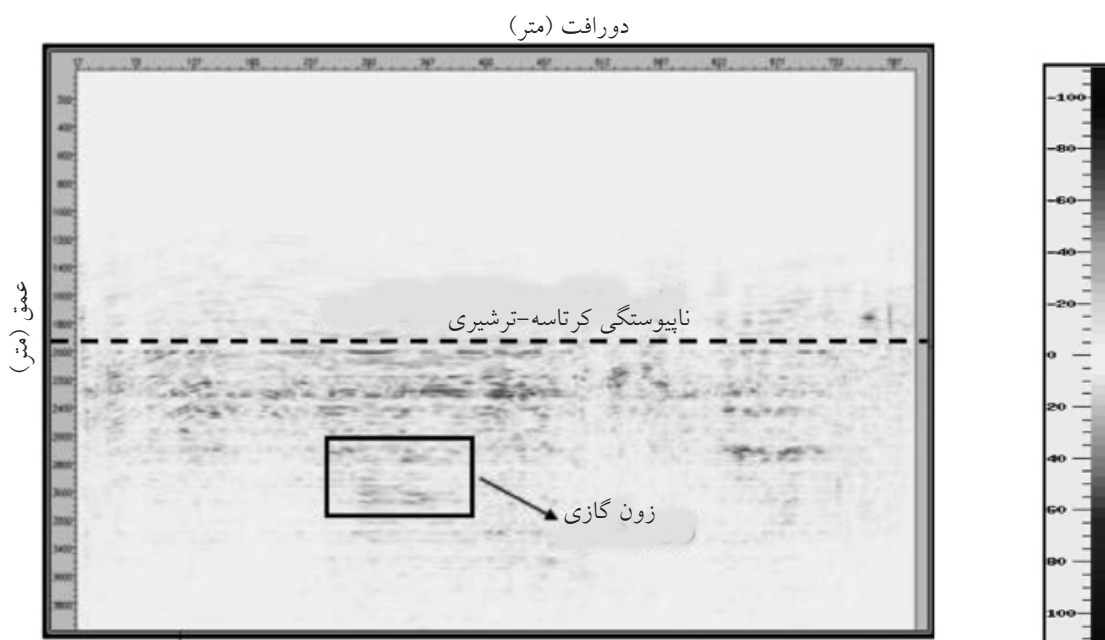
جهت تخمین درجه اشباع هیدروکربورهای گازی زون های مخزنی احتمالی از نمودار راموس - کاستاگنا استفاده می شود. در شکل ۹ پارامترهای تقابل دانسیته، تقابل سرعت موج برشی و تقابل سرعت موج تراکمی با استفاده از ویژگی های شیل - ماسه آبی مخازن کلاس ۳ شبیه سازی شده است. لازم به ذکر است که با در نظر گرفتن افزایش ضریب انعکاسی نسبت به زاویه فرودی طبق اشکال ۲ و ۳، مخزن احتمالی مورد بررسی در دشت گرگان نیز از همین کلاس است. پس از آن به کمک معادلات گاسمن می توان درجه اشباع آب را به مقدار ۹۰٪ و ۲۰٪ تغییر داد. در این حالت مقادیر  $\Delta\rho/\rho$  و  $\Delta\beta/\beta$  در نتیجه جایگزینی گاز به جای آب در ماسه به ترتیب، مثبت و منفی می شود. علت این است که حضور گاز منجر به کاهش دانسیته و افزایش سرعت موج برشی در ماسه می گردد، به عبارت دیگر حضور گاز ابتدا موجب افت شدید و تغییر علامت  $\Delta\alpha/\alpha$  شده و پس از آن با کاهش بیشتر درجه اشباع آب، تغییر قابل توجهی در مقدار  $\Delta\alpha/\alpha$  ایجاد نمی شود.

در شکل ۹ (نمودار راموس - کاستاگنا) سه حالت نشان



شکل ۹- نمودار راموس - کاستاگنا [۱۰].





شکل ۱۲- مقطع برگردان شده نشان‌گر بازتابندگی دانسیته

تحت تأثیر تغییرات لیتولوژی قرار می‌گیرند (مانند نشان‌گر بازتابندگی امیدانس موج تراکمی) یا همزمان متأثر از نوع سیال و لیتولوژی می‌باشند.

۲- با توجه به جداول ۱ و ۲ نشان‌گرهای تبدیلی شامل نشان‌گرهای بازتابندگی سرعت موج برشی و بازتابندگی امیدانس موج برشی نسبت به نشان‌گرهای غیر تبدیلی شامل بازتابندگی سرعت موج تراکمی و بازتابندگی امیدانس موج تراکمی قدرت بیشتری در تمایز سیال آبی از گازی دارند.

۳- با تشکیل مقطع برگردان شده از نشان‌گر ضریب سیال، می‌توان دو زون احتمالی گازی در زیر ناپوستگی کرتاسه - ترشیری شناسایی نمود که در بخش زیرین زون ۱، احتمالاً لایه آبی خواهیم داشت. با در نظر گرفتن نمودار راموس - کاستاگنا و بررسی مقادیر نشان‌گرهای تقابل دانسیته، سرعت موج برشی و تراکمی از روی مقاطع برگردان شده نشان‌گرهای مذکور می‌توان گفت که درجه اشباع زون‌های هیدروکربوری شناسایی شده در زیر ناپوستگی کرتاسه - ترشیری پایین بوده و در حدود ۱۰٪ است.

لازم به ذکر است که در تمام مقاطع برگردان شده رنگ خاکستری سیر، بیان‌گر مقادیر بالا و خاکستری روشن نمایان‌گر مقادیر کمتر از نشان‌گرهای مورد بررسی می‌باشد. با در نظر گرفتن اطلاعات لیتولوژی چاه قزل تپه ۲ که تا عمق ۵۸۲۷ m و زیر ناپوستگی کرتاسه - ترشیری حفاری شده است، می‌توان نتیجه گرفت که جنس لیتولوژی زون گازی در مقاطع برگردان شده از شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ احتمالاً شیل و ماسه است که با مدل شکل ۹ سازگاری دارد. به این ترتیب با توجه به توضیحات بالا می‌توان گفت که درجه اشباع زون‌های هیدروکربوری شناسایی شده در زیر ناپوستگی کرتاسه - ترشیری پایین بوده و در حدود ۱۰٪ است.

### نتیجه‌گیری

۱- همان‌گونه که از مدل‌سازی مستقیم نتیجه می‌شود، نشان‌گرهای بازتابندگی شبه پواسون و ضریب سیال پاسخ‌های مناسب‌تری در تمایز زون آبی از گازی به ویژه در بخش بالایی مخزن دارند و سایر نشان‌گرها یا تنها

## مراجع

- [1]. Poster C. K., "AVO Techniques for Carbonate reservoir Characterization", SPE, 21361 , 1-3 November, 1991.
- [2]. Robert R. and Kendall J. "Shear-wave amplitude anomalies in south-central Wyoming" Offshore Technology Conference, Houston, Texas, pp. 2-4, 2011.
- [3]. Neil P., Emma S. and Fiona S. "Aspects of Seismic Prospecting In Algeria", Society of Petroleum Engineers, Conference, Houston, Texas, pp. 3-5, 2011.
- [4]. Aki K., Richards P. G., *Quantitative seismology; theory and methods: W. H. Freeman and Company*, 1980.
- [5]. Smith G., and Gidlow P. M., "Weighted stacking for rock property estimation and detection of gas", *Geophys. Prosp.*, 35, 993–1014.1987.
- [6]. Fatti J. L., Vail P. J., Smith G. C., Strauss P. J., and Levitt P. R., "Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis", A3-D seismic case history using the geostack technique: *Geophysics*, 59, 1362–1376, 1994.
- [7]. فتوحی م.، گزارش تکمیل چاه گرگان ۳ الف، شرکت ملی نفت، ایران، ۱۳۶۲.
- [8]. Zoeppritz K. and Erdbebenwellen VII B., "On the reflection and penetration of seismic waves through unstable layers: *Göttinger Nachr*", Vol. 1, pp. 66-84,1919.
- [9]. Shuey R. T., "A simplification of the Zoeppritz equations", *Geophysics* 50, pp. 609-614.1985.
- [10]. Ramos A. and Castagna J. P., "Plane-wave reflection coefficients for gas sands at no normal angles of incidence", *GEOPHYSICS*, Vol. 49, No. 5, pp.1637-1648, 2001.