مدلسازی ${ m AVO}$ برای مخازن ماسهای گازدار

ژیلا نوبهاری کوزه کنان^۱ و دکتر عبدالرحیم جواهریان^۲

چکیدہ

تحلیل AVO از برآورد نشانگرها و ترسیم متقاطع آنها که به مقایسهٔ دو نشانگر بطور همزمان می پردازد به خوبی در تعیین سنگ تفسیر AVO از برآورد نشانگرها و ترسیم متقاطع آنها که به مقایسهٔ دو نشانگر بطور همزمان می پردازد به خوبی در تعیین سنگ شناسیها و محتوای سیالی مخازن استفاده می شود. در این راستا، در این مقاله، با بررسی یک مدل مصنوعی کلاس II که شامل ماسهٔ آبدار و ماسهٔ گازدار محصور در لایههای شیلی می باشد، دو نشانگر ضریب بازتاب پواسون (PR) و ضریب بازتاب نرمال (IN) به دو روش برای تشخیص و بررسی سنگ شناسیهای هیدرو کربوری و نوع محلول مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد. ابتدا با استفاده از یک کدگذاری رنگی در ترسیم متقاطع PR – IN یک مقطع لرزهای رنگی تولید شده است که درآن رنگها جایگرین اعداد شدهاند و از این طریق می توان به خوبی مقطع را با استفاده از رنگها بررسی کرد و به نوع کلاس OVA در هر نمونهٔ زمانی و در هر دورافت پی برد. این اروش به مفستر در تشخیص کلاس آنومالیهای OVA بطور مستقیم در زمان و مکان خاص روی مقطع لرزهای کمک میکند. همچنین ا آنجا که آنومالیهای کلاس II را نمی توان با استفاده از روش لکه ووشن یا لکهٔ تاریک درمقطع از می ای کم کمی کند. همچنین ا استفاده از نشانگر ترکیبی 2/⁽¹⁾ در آنگها بررسی کرد و به نوع کلاس OVA در هر نمونهٔ زمانی و در هر دورافت پی برد. این آنجا که آنومالیهای کلاس II را نمی توان با استفاده از روش لکه ووشن یا لکهٔ تاریک درمقطع از مای کمک میکند. همچنین از استفاده از نشانگر ترکیبی 2/⁽²⁾ حالا - IN یک مقطعی تولید می شود که آنومالیهای کلاس II را به کلاس III که غالباً بسورت الکه مای روشن قابل شناسایی هستند تبدیل می نماید.بنابراین استفاده از نشانگر RP در کنار نشانگر IN نه تنها می تواند به تشخیص کلاس آنومالیهای AVO کمک کند بلکه در تشخیص آنومالیهای کلاس II را به کلاس III می تواند به تشخیص

كليد واژه ها: نشانگر، ترسيم متقاطع، ضريب بازتاب نرمال، ضريب بازتاب پواسون، لكهٔ روشن.

AVO modeling for gas sand reservoir

Zh. Nobahary-Koozehkonan and Dr. A. Javaherian

Abstract

AVO analysis is a technique for studying on pre-stack seismic data. Today, estimation and crossplotting attributes can be used to identify lithologies and pore fluids. In this paper, we study the Poisson reflectivity (PR) and the normal incident reflectivity (NI) for identifying lithologies and pore fluids. Two models are considered as a class II AVO model. They are including water-saturated sand and gas-saturated sand fenced in shale layers. First, we generated a color-coded seismic section using color coding method in NI-PR cross-plot that colors replace the numbers. In this way, we can indicate that the AVO clustering in each time sample and each offset. This technique directly helps to commentator to distinct the AVO class anomalies in special time and location on a stack section. We noticed that the bright spot or the dim spot technique is not successful to infer the class II in NI or NI*PR section. But the (PR^2-NI^2)/2 attribute generates a section that class II AVO anomalies is mapped as class III AVO anomalies and class III will be associated with the bright spot. Therefore, PR attribute besides NI attribute can be useful to indicate class II AVO anomalies by mapping in class III and the bright spot in a seismic section.

Keywords: groundwater Attributes, Cross-plots, Normal reflection coefficient, Poisson reflection coefficient, Bright spot.

'- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال gninbox@yahoo.com

javaheri@ut.ac.ir استاد گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران

مقدمه

از سال ۱۹۳۰ اکتشاف هیدروکربورها بوسیله روش لرزهٔ بازتابی حکمفرما بوده است. قدرت تفکیک بالای دادهها، نمونهگیری پیوسته و هزینه پایین نسبت به حفاری، این روش را یک قسمت ضروری از اکتشاف نفت و گاز ساخته است. به دلیل متفاوت بودن خاصیت موج تراکمی از موج برشی و اثرات متفاوتی که این دو موج بر خواص کشسان سنگ دارند و همچنین به منظور کاهش هزینه ها محققین کوشش خود را بر آن داشتند که با استفاده از اطلاعات لرزه نگاری معمولی (لرزه نگاری ای که فقط موج تراکمی برداشت میشود) اطلاعات موج برشی را استخراج نمایند و آن را به صورت نشانگرهای جدید لرزهای بکار گیرند.

امروزه استفاده از نشانگرهای لرزهای متنوعی در تخمین خواص مخزنی و تفسیر لرزهای و بررسی تاریخ تولید و به تصویر کشیدن حرکت سیالات مخزنی مثداول گشتهاست و استفاده همزمان چند نشانگر لرزهای مناسب می تواند بسیار کارآمد باشد. نشانگرهای لرزمای توانمند می تواند به طور مستقیم به پدیده های زمین شناسی و خواص میدان حساسیت نشان دهد و دربازسازی ساختمان محيط رسوبي يک ميدان کمک نمايد. نشانگرهای لرزهای به دو گروه عمده تقسیم می شوند: نشانگرهای پیش از برانبارش و نشانگرهای پس از برانبارش. یک دسته از نشانگرهای پیش از برانبارش آنهایی هستند که با توجه به تغییرات دامنه و فاز بازتابهای لرزهای نسبت به فاصله فرستنده و گیرنده بدست میآیند. این روش که تحت عنوان تغییرات دامنه با دورافت معروف می باشد در ابتدا توسط استراندر (۱۹۸٤) ارائه شد. او نشان داد که حضور گاز در ماسه سنگ احاطه شده توسط شيل بدليل تغييرات نسبت پواسون موجب تغيير قابل ملاحظهٔ دامنهٔ موج بازتابیدهٔ لرزهای در داده های لرزهای پیش از برانبارش می گردد. در این مقاله، به معرفی نشانگر PR (ضریب بازتاب پواسون) پرداخته می شود و از آن به عنوان یک نشانگر ترکیبی در کنار نشانگر

NI (ضریب بازتاب نرمال) جهت تشخیص سنگشناسیها و آنومالیهای AVO مخصوصاً نوع کلاس II پرداخته میشود.

کوفود (۱۹۹۲) اولین کسی بود که تغییرات ضرایب بازتاب با زاویه فرود را ناشی از تفاوت نسبت پواسون در عرض یک بازتابنده دانست. اگرچه کوفود پیشبینی نمود که تغییرات ضرایب بازتاب با زاویه فرود ممکن است برای پیشگویی سنگ شناسی بکار رود ولی او پیشبینی نمی کرد که کار او رهیافتی برای اکتشاف مستقیم هیدروکربور باشد. شاید بخاطر اینکه اندازهگیریهای سرعت سنگ که تغییر نسبت پواسون را برای سنگهای یرشده از گاز نشان دادهاند، هنوز در دسترس نبود (دومنیکو ۱۹۷۲، ۱۹۷۲، ۱۹۷۷و گریگوری ۱۹۷۲). بیوت (۱۹۵٦) تئوری انتشار امواج کشسان در یک لایه متخلخل را بسط داد. با ترکیب این نتایج پیشگوئیهای مقدار سرعتهای موج تراکمی و موج برشی سنگهای متخلخل در مقادیر مختلف اشباع گاز امکانپذیر شد. وجود درصد کمی گاز در یک سنگ متخلخل مثل ماسه سنگ، سرعت موج تراکمی سنگ را کاهش میدهد، در حالیکه سرعت موج برشی در اشباع گاز بیشتر کمی افزایش مییابد. پیشگوئیهای نظری مقدار سرعت ها با کارهای آزمایشگاهی گریگوری (۱۹۷٦) و دومنیکو (۱۹۷٤، ۱۹۷٦، ۱۹۷۷) مطابقت داشت و نشان داد که سرعتهای موج تراکمی و موج برشی با تغییر در اشباع منفذی تأثيرات مختلفي مي پذيرد.

نشانگر PR

محققان توانستهاند تقریبهای متعددی را برای نشان دادن رابطهٔ ضریب بازتاب با زاویهٔ تابش بدست آورند، از جمله تقریب شوی (۱۹۸۵) که مطابق رابطهٔ (۱) می باشد.

(1)

$$RC(\theta) = \frac{1}{2} \left[1 - 4 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2 \theta \right] \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{1}{2} \sec^2 \theta \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2 \theta,$$

که $V_p e^{-1} V_s e^{-1} V_s$ به ترتیب میانگین سرعت موج تراکمی و میانگین سرعت موج برشی، θ زاویه تابش، ρ چگالی میانگین و $\Delta \rho$ تفاضل چگالیهای دو محیط طرفین سطح بازتابنده می باشد. تقریب شوی دارای این فایده است که یک رابطهٔ ساده بین خواص سنگ مثل میرات نسبت پواسون و زاویهٔ فرود و تغییرات ضرایب بازتاب را بدست می دهد و اهمیت نسبت پواسون به عنوان تعیین پاسخ AVO یک بازتاب را بیان می کند. این رابطه را با تعریف ضریب بازتاب نرمال به صورت رابطهٔ رابطه را با تعریف ضریب بازتاب نوست.

$$NI = \frac{\rho_2 V_{p_2} - \rho_1 V_{p_1}}{\rho_2 V_{p_2} + \rho_1 V_{p_p}},$$
 (1)

 V_{p_1} و ρ_2 به ترتیب چگالی محیط اول و دوم، ho_1 و ho_2 و ho_1 و ho_2 و ho_2 به ترتیب سرعت موج تراکمی محیط اول و دوم هستند.

$$\begin{split} RC(\theta) &= NI + \\ \left\{ \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{\Delta V_p}{V_p}\right) \left[1 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2\right] - 4Nl \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2 + \frac{\Delta \sigma}{(1 - \sigma_{avg})^2} \right\} \sin^2(\theta) \\ &+ \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma_{avg}}\right) (\tan^2(\theta) - \sin^2(\theta)), \\ (1 - \frac{1}{2}) \left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma_{avg}}\right) (\tan^2(\theta) - \sin^2(\theta)), \\ &+ \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\sigma_{avg} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}, \qquad (\varepsilon)$$

∆مطابق رابطهٔ (۵) تفاضل نسبتهای پواسون دو محیط می باشد.

$$\Delta \sigma = \sigma_2 - \sigma_1,$$
 (٥)
که σ_1 و σ_2 به ترتیب ضریب پواسون محیط اول و
وم میباشد.

ر رابطهٔ (۳) با جداسازی NI و Δσ بصورت رابطهٔ (٦) نوشته می شود.

(٦)

$$RC(\theta) \cong NI \left[1 - 4 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2(\theta) \right] + \left[\frac{\Delta \sigma}{\left(1 - \sigma_{avg} \right)^2} \right] \sin^2(\theta) + \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma_{avg}} \right) \left[\tan^2(\theta) - 4 \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^2 \sin^2(\theta) \right].$$

اگر نسبت سرعت موج برشی (V_s) به سرعت موج تراکمی (V_p) برابر ۰/۵ باشد، در زوایای کمتر از ۳۰ درجه، می توان از جملهٔ آخر صرفنظر کرد و رابطهٔ (۲) را بصورت رابطهٔ (۷) نوشت.

$$RC(\theta) = NI\cos^2\theta + PR\sin^2\theta, \quad (\forall)$$

$$PR = \frac{\Delta\sigma}{\left(1 - \sigma_{avg}\right)^2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\left(1 - \sigma_{avg}\right)^2}.$$
 (A)

زون بندی نمودار PR - NI و زون بندی نمودار PR و PR با ترسیم متقاطع مقادیر ردلرزه های NI و PR برای نمونههای زمانی مختلف همانطور که در ترسیم متقاطع شیو و عرض از مبدأ انجام می شود، می توان کلاسهای مختلف AVO را که مربوط به ار با محاسبهٔ ضریب بازتابندگی NI و PR برای هر ی یک از محیطها می توان نوشت: بین شیل / ماسه آبدار: $NI = + \cdot \cdot \cdot = NI$ و کل $m/\cdot - = PR$. ت شیل / ماسه گازدار : $2 \cdot \cdot - = NI$ و $PR = - \cdot \cdot \cdot \cdot = NI$.

با توجه به مقادیر این نقاط که در شکل ۱ به ترتیب بوسیله دو مربع کوچک به رنگ بنفش و زرد مشخص شده است، مشهود است که فاصلهٔ دامنهای *NI* بین دو نقطه ۸۰/۰۰ میباشد ، (۸۰/۰۰ – ٤۰/۰ – ۲۰/۰۰)، ولی فاصلهٔ *NI – PR* مربوط به دو نقطه فوق ۲۵/۰ است یعنی در حدود سه برابر فاصلهٔ عمودی آنها. بنابراین استفادهٔ ترکیبی دو نشانگر میتواند به تفکیک بهتر مرزهای سنگ شناسی کمک کند. حال سوال این است که پطور میتوان از این دو نشانگر برای تولید یک مقطع لرزهای مجرد استفاده کرد؟ چطور میتوان بوسیلهٔ این دو نشانگر کلاسهای مختلف را به راحتی در یک مقطع مجزا نشانگر کلاسهای مختلف را به راحتی در یک مقطع مجزا تعریف کرد؟ آیا هدف نهایی مقطع *NI* * *NR* میباشد



شکل ۱. ترسیم متقاطع NI – PR و زون بندی کلاسهای AVO بصورت محدوده های رنگی جداگانه مشخص شده است و نشان داده شده است که هر محدوده مربوط به کدام AVO کلاس می شود (ورم و هیلترمن، ۱۹۹۵).

ترسیم متقاطع نشانگرهای NI و PR و PR اصول استخراج نشانگرها از هر CDP توسط محققین زیادی بحث شده است. از جمله اسمیت و گیدلو (۱۹۸۷) که به بیان روش برانبارش وزنی که به معنی تبدیل اطلاعات پیش از برانبارش به ردلرزهٔ نشانگرهای سنگشناسی های مختلف می شوند، بدست آورد. نمودار NI – PR توسط هیلترمن (۱۹۸۷) برای کلاسهای مختلف آنومالیهای AVO زون بندی شده است. این نمودار در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل صفحهٔ نمودار PR – NI به سه منطقه تقسیم شده است که هر محدوده با یک رنگ خاص مشخص شده است. هر کدام از این سه محدوده مربوط به یک کلاس از آنومالیهای AVO می شود. در سمت چپ شکل ۱ تقسیم بندی راترفورد و ویلیام (۱۹۸۹) نشان داده شده است که نشان می دهد هر محدوده با کدام کلاس AVO مرتبط نشان می دهد هر محدوده با کدام کلاس کا از هم می باشد. خطوطی که محدودهٔ کلاسها را در شکل ۱ از هم جدا می کند توسط هیلترمن (۱۹۸۷) بصورت زیر مشخص شده است.

AVO Condition	Equation	Line
Constant amplitude		
with offset	$RC(0^\circ) = RC(30^\circ)$	NI = PR
Far trace changes phase	$RC(30^{\circ}) = 0$	NI = -PR/3
Magnitude increases with		
offset if PR $\neq 0$	NI=0	PR axis

غالباً آنومالیهای کلاس I مربوط به لکههای تاریک و آنومالیهای کلاس III مربوط به لکههای روشن میشود. همانطور که مشهود است با نفوذ گاز در فضاهای تخلخل ضریب بازتاب NI کاهش مییابد و بطور همزمان ضریب بازتاب RR هم کاهش مییابد. سمت راست شکل ۱ مربوط به توالیهای معکوس نسبت به سمت چپ نمودار میاشند. از مزایای این ترسیم، تفکیک بیشتر نقاط میباشد. برای روشن شدن مطلب دو ساختار سنگشناسی که یکی شامل شیل/ ماسهٔ آبدار و دیگری شامل شیل/ ماسهٔ گازدار میباشد، در نظر گرفته میشود. اگر سرعت موج تراکمی و چگالی و نسبت پواسون برای هر یک از محیطها به ترتیب بصورت زیر باشد،

شیل : (۰/۳۶ , ۲/۳۳ , ۲/۳۳ , ۲/۳۳). ماسهٔ آبدار: (۰/۳ , ۲/۲۶ , ۳/۰۳ , ۲/۲۹ , ۲/۱۲). ماسهٔ گازدار: (۲/۱۲ , ۲۹۹۰ , ۲۹۹۰ , ۲/۱۲ , ۲/۱۲ ,

AVO بر حسب زمان می باشد پرداخته است. بعد از اینکه ردلرزه NI و PR به ازای هر CDP بدست آمد، می توان با محاسبهٔ دامنهٔ این ردلرزه ها به ازای نمونه های زمانی مختلف، نقاط NI – PR مربوط به هر CDP را بدست آورد و در نمودار ترسیم متقاطع NI – PR مشخص کرد.

برای تشخیص زمانی نقاط در ترسیم متقاطع میبایست از روش مکملی برای تفکیک زمانی نقاط استفاده کرد، بهترین روش، استفاده از یک کلید رنگ در کنار نمودار میباشد، بطوریکه برای زمان، یک طیف رنگی اختصاص داده شود تا نقاط مربوط به هر زمان خاص با یک رنگ مجزا نمایش داده شوند. برای مثال در شکل ۲ نقطهٔ اوج موجک NI، مقداری مثبت و نقطهٔ اوج موجک PR، مقداری منفی دارد، بنابراین در ربع دوم نمودار علامت زده میشود. رنگی که هر نقطه با آن نمایش داده شده است نشانگر نمونهٔ زمانی مربوط به آن نقطه میباشد. نقطهٔ مرکز شکل ۲ مربوط به ضرایب بازتابندگی صفر یعنی نقاطی که در آن خصوصیات سنگشناسی تغییر نمیکند میباشد. با ترسیم متقاطع نشانگرهای مربوط به هر CDP می توان به ازای هر کدام یک نمودار ترسیم متقاطع داشت که اگر این نمودارها روی بعد سوم که دورافت میباشد روی هم سوار شوند مکعبی بدست میآید که هر برش عرضی آن مربوط به یک دورافت خاص میباشد.

کدگذاری رنگی در ترسیم متقاطع

PR در این نمودار مشخص می شوند بطوریکه زون مربوط به هر نقطه نشانگر نوع کلاس آن آنومالی خواهد بود. سپس با استفاده از یک الگوریتم برگشتی کد رنگ مربوط به آن زونی که هر نقطه در آن قرار گرفته به زمان و مکان آن نقطه روی مقطع برگردانده می شود و آن نقطه به رنگ زون مربوطه رنگ می شود. بنابراین در انتها یک مقطع

تمام رنگی بوجود خواهد آمد که به خوبی مرزهای سنگشناسی و کلاس مربوط به آن را بر حسب زمان و مکان نشان میدهد و بر مدل سنگ شناسی منطبق میباشد. از این روش برای شناسایی دادههای لرزهای از هر کلاسی می توان استفاده کرد.



شکل ۲. ترسیم متقاطع مقادیر نشانگرهای NI و PR که بوسیلهٔ یک کلید رنگ که نشان دهندهٔ زمان مربوط به هر نمونهٔ زمانی می باشد مشخص شده است (ورم و هیلترمن، ۱۹۹۵).

این مقاله روی یک مدل مصنوعی سه لایهای انجام شده است که در ادامه به توضیح تفصیلی آن پرداخته می شود. لازم به ذکر است که کلیهٔ مراحل کار، بوسیلهٔ نرم افزار Matlab کدنویسی شده است. مدل مصنوعیای که برای بررسی این روش درنظر گرفته شده است یک مدل سه لایه افقی مطابق شکل ۳ می باشد. لایهٔ بالایی و لایهٔ پایینی از شیل و لایهٔ میانی از ماسهٔ آبدار و ماسهٔ گازدار تشکیل شده است بطوریکه لایهٔ گازدار میان لایهٔ آبدار قرار گرفته است. از آنجا که شکل ۳ بر اساس زمان نشان داده شده است یک افتادگی در مرز پایینی ماسهٔ گازدار دیده می شود که به علت کمتر بودن سرعت موج هیدروکربورها بسیار کمک کند و تشخیص را برای مفسر آسان سازد. ترسیم متقاطع PR – NI مربوط به این مقطع، مطابق شکل ۵ میباشد. این ترسیم روی زون بندی هیلترمن انجام شده است. در این زون بندی کلاس I آنومالیهای AVO که مربوط به لکه های تاریک می شود با رنگ آبی مشخص شده است.کلاس III آنومالیهای رنگ زرد مشخص شده است و کلاس II آنومالیهای رنگ زرد مشخص شده است و کلاس II آنومالیهای رنگ ورد مشخص شده است و کلاس از آنومالیهای رنگ ورد مشخص شده است معکوس یعنی ماسهٔ گازدار/ شیل می باشد، در حالیکه رنگ قرمز مربوط به ساختارهای شیل/ ماسهٔ گازدار می باشد. در نهایت مقطع رنگی شکل 7 بدست آمده است.

نکتهٔ مهم در این است که در این مقطع رنگها مبیّن ضرایب بازتابندگی میباشد و همانطور که قابل مشاهده میباشد زمانها و مکانهایی که تغییر سنگشناسی یا به عبارتی مرز بین محیطها وجود ندارد به رنگ سبز درآمده که مربوط به ضریب بازتاب نرمال صفر و ضریب بازتاب پواسون صفر میشود. با مقایسهٔ شکل آ و مدل شکل ۳ و زونبندی شکل ۵ پیداست که مقطع رنگی کدگذاری شده کاملاً بر هم منطبقاند و رنگ قرمز وجود آنومالی کلاس *II* را دردورافت ۱۰ تا ۲۰ و نمونه زمانی ۳۰ و ۷۱ کلاس *I* را درنمونه زمانی ۳۰ و ۲۰ در دور افتهای صفر تا ۱۰ و ۲۰ تا ۳۰ نشان میدهد.

 $(PR^2 - NI^2)/2$ نشانگر

مطابق آنـچه که قـبلاً گفته شد شاخـصهٔ تشخـيـص کلاس II این است که افزایش دامنه قابل تشخیص نیست و نیز در مقاطع برانبارش با





شکل۳. مدل مصنوعی سه لایهٔ مورد بررسی در این مقاله (نوبهاری کوزه کنان، ۱۳۸۸).

با درنظر گرفتن یک سری مقادیر اولیه برای سرعت موج تراکمی و چگالی و ضریب پواسون برای سه محیط فوق که می تواند مربوط به هر کلاسی باشد یک مقطع لرزه ای مطابق آنچه که در شکل ٤ دیده می شود بدست آمده است. در اینجا سرعت موج تراکمی و چگالی و ضریب پواسون برای محیط شیل به ترتیب ۲۰۵۰، ۳۰۰ ضریب پواسون برای محیط شیل به ترتیب ۲۰۳۰ هر ترتیب ضریب پواسون برای محیط شیل ماسهٔ آبدار به ترتیب گازدار به ترتیب ۲۹۳۰، ۲۹۲۰، ۲۹۲۰، ۲/۱۲ و برای ماسهٔ نظر گرفته شده است.



شکل ٤. مقطع لرزه ای مربوط به ضریب بازتاب نرمال مدل مصنوعی مورد نظر.

همانطور که در شکل٤ مشاهده می شود دامنهٔ بازتاب در مرز ماسهٔ گازدار کمی کاهش می یابد اما این کاهش دامنه بسیار ناچیز می باشد و در مدلهای واقعی به دلیل ازدیاد نمونه های زمانی چندان قابل تشخیص نیست، به همین دلیل استفاده از رنگ می تواند به تشخیص مرزهای



شکل ۵. ترسیم متقاطع ضرایب بازتاب NI و PR مدل مصنوعی مورد نظر در زون بندی ورم و هیلترمن (۱۹۹۵).



رنگ در هر نمونهٔ زمانی و دورافت مربوط به آن نشان دهندهٔ این است که ضریب بازتاب NI و PR مربوط به آن نقطهٔ در کدام کلاس در زونبندی هیلترمن قرارگرفته است .

دامنهٔ بازتاب پایین دیده می شود. کلاس II شامل دو زیر مجموعه می باشد. یک دسته شامل آنهایی می شود که دچار تغییر فاز می شوند، بطوریکه ابتدا با افزایش دورافت، دامنهٔ بازتاب کاهش می یابد تا اینکه بعد از تغییر فاز دوباره مقادیردامنه با پلاریتهٔ منفی افزایش می یابد و دستهٔ دیگر مربوط به ضرایب بازتاب نرمال کوچک و منفی است که دامنه با افزایش دورافت بیشتر می شود.

لرزه نگاشتهای مصنوعی با فرود نرمال برای توصیف پاسخهای کلاس *II* در مقطع برانبارش مناسب نیستند چراکه اگر دورافت مناسبی وجود داشته باشد ممکن است در مقاطع برانبارش تغییرات غیر معمول کوچک دامنه دیده شود که با لکهٔ روشن یا تاریک قابل توجیه نباشند. برای نشان دادن این مطلب، یک مدل مصنوعی سه لایه ای نظیر آنچه که در شکل ۳ نشان داده شد، در نظر گرفته

می شود. مقطع ضریب بازتاب نرمال مربوط به این مدل، در شکل ۳ نشان داده شد. در برنامه نویسی مربوط به این مقطع ورودی های چگالی و سرعت موج تراکمی و نسبت پواسون به گونه ای در نظر گرفته شده است که آنومالی حاصله در کلاس *II می گ*نجد. همانطور که در مقطع پیداست تغییرات دامنهٔ مرز شیل/ ماسه آبدار و شیل/ ماسه گازدار چندان مشهود نیست و مرز نه به صورت لکهٔ تاریک و نه بصورت لکهٔ روشن قابل توجیه نیست.

غالباً روش معمول برای نشان دادن بازتابندگیها، استفاده از نشانگر ترکیبی حاصلضرب دو نشانگر میباشد. کاستاگنا و اسمیت (۱۹۹٤) نشان داد که چطور میتوان با استفاده از نشانگر ترکیبی NI * PR، کلاس II و کلاس I آنومالیهای AVO را از هم تفکیک کرد.

مقطع NI * PR مربوط به این مدل مصنوعی در شکل۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در این مقطع هم نمی توان مرزهای سنگشناسی هیدروکربوری کلاس II را به خوبی از هم تشخیص داد. دامنه بسیار ضعیف می باشد و چیزی به نفع لکهٔ روشن یا لکهٔ تاریک دیده نمی شود.

اما آنچه که مورد سوال قرار می گیرد، علت ناکارآمدی نشانگر NI * NI برای تشخیص آنومالیهای کلاس II میباشد که در ادامه توضیح داده میشود. غالباً اگر مقادیر معمول NI و R مربوط به شیل، ماسهٔآبدار و ماسهٔ گازدار بوسیلهٔ دادههای چاههای موجود در میدان بصورت ترسیم متقاطع رسم شود، زونهای این ساختارهای سنگ شناسی بصورت شکل ۸ قسمت سمت ساختارهای سنگ شناسی بصورت شکل ۸ قسمت سمت نشان داده شده است بطوریکه به اندازهٔ 20 درجه نسبت نشان داده شده است بطوریکه به اندازهٔ 20 درجه نسبت نشان میدهد دوران داده شده است.در شکل ۸ منحنی های IN * RP به ازای مقادیر مختلف رسم شده است. همانطورکه مشهود است که هر یک از این منحنیها که منحسراً مقدار ثابتی دارند از هر سه زون شیل، ماسهٔآبدار

۶۷

ماسهٔ آبدار را کوچک و دامنهٔ مربوط به مرز ماسهٔ گازدار را به شکلی تقویت میکند که بصورت لکهٔ روشن دیده میشود. به عبارتی این نشانگر توانسته است آنومالی کلاس II را به کلاس III تبدیل کند و نشانگر بسیار مناسبی برای تشخیص سنگشناسیهای هیدروکربوری کلاس II باشد. همچنین مرز پایینی یعنی مرز ماسهٔ گازدار/ شیل نیز به خوبی مشخص و تفکیک شده است. در زیر به آنچه که موجب رهیافتی به این نشانگر میشود توضیح داده میشود.

PR با رسم منحنی های مربوط به مقادیر ثابتی از PR ' NI' می توان دید که هر یک از منحنی ها از یک زون بخصوص عبور می کند، به عبارتی زونهای شیل، NI' PR' ' 2R' - 20 می توان مشاهده کرد که منحنی ای از ماسهٔ آبدار و ماسهٔ گازدار مقادیر مشترک ' PR' ' NI' ا ندارند، و البته باز می توان مشاهده کرد که منحنی ای از ' PR' ' 2R' - 20 می توان مشاهده کرد که منحنی ای از حاصل بیشتری از حاصل با PR' e' 1N می شود، از زون ماسهٔ گازدار عبور می کند. بنابراین در مقطع ' PR' ' 1N' * دامنهٔ مرز عبور می کند. بنابراین در مقطع ' PR' ' 1N' * دامنهٔ مرز ماسهٔ گازدار بزرگتر دیده می شود و در نتیجه این مقطع می تواند نشانگر ماسهٔ گازدار بصورت لکهٔ روشن باشد. اما ماسهٔ گازدار بزرگتر دیده می شود و در نتیجه این مقطع می تواند نشانگر ماسهٔ گازدار بصورت لکهٔ روشن باشد. اما ماسهٔ گازدار ماسهٔ گازدار بصورت لکهٔ روشن باشد. اما ماسهٔ گازدار ماسهٔ گازدار بصورت کهٔ روشن باشد. اما می تواند نشانگر ماسهٔ گازدار بصورت کهٔ روشن باشد. اما ماسهٔ گازدار ماسهٔ گازدار بصورت کهٔ روشن باشد. اما می تواند نشانگر ماسهٔ گازدار ماسهٔ گازدار بصورت کهٔ روشن باشد. اما ماسهٔ کازدار ایز این مقطع IN * ۹ مقطع می تواند ای روابط مثلثاتی به خوبی می توان اثبات کرد که می باشد. می باشد.



و ماسهٔ گازدار عبور میکند. بنابراین این مطلب می تواند نشان دهندهٔ این مهم باشد که هر سه ساختار می توانند مقادیر مشترک NI * PR داشته باشند و به همین دلیل است که مقطع نشانگر PR * NI نمی تواند به خوبی در تشخیص آنومالیهای کلاس II موثر باشد.



شکل ۷. مقطع مربوط به نشانگر ترکیبی *PR* * *NI* مدل مصنوعی مورد نظر. همانطور که مشهود است دامته بازتاب بسیار ضعیف می باشد و چیزی به نفع لکهٔ روشن یا لکهٔ تاریک در این مقطع قابل مشاهده نیست.



شکل ۸ (الف) زونهای مربوط به شیل و ماسهٔ آبدار و ماسهٔ گازدار نسبت به هم تقریباً اینگونه قرار میگیرد. (ب) زونهای مربوط به شیل و ماسهٔ آبدار و ماسهٔ گازدار بعد از دوران ٤٥ درجه را نشان می دهد (ورم و هیلترمن، ۱۹۹۵).

اما آنچه که در ادامهٔ این مقاله پیشنهاد می شود استفاده از نشانگر $2/(2 - NI^2)$ به جای نشانگر II نشانگر $2/(2 - NI^2)$ به جای نشانگر NI * NI برای تشخیص آنومالیهای کلاس IIمی باشد. مقطع نشانگر ترکیبی $2/(2 - NI^2)$ در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که در شکل فوق دیده می شود در مرز شیل/ ماسهٔ گازدار یک لکهٔ روشن دیده می شود بطوریکه کاملاً بر مدل سنگ شناسی شکل ۳ منطبق می شود. این نشانگر توانسته دامنهٔ مربوط به مرز

ارشد ژئوفیزیک (گرایش لرزه شناسی)، دانشگاه

منابع

```
- Biot, M.A., 1956. Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid, Parts I
```

آزاد اسلامي واحد تهران شمال.

- نوبهاری کوزه کنان، ژ.، ۱۳۸۸، مدلسازی AVO

برای مخازن ماسهای گازدار، پایان نامهٔ کارشناسی

and II: J. Acoust. Soc. Am., 28, 168-191.

- Castagna, J. P., and Smith, S.W., 1994, Comparison of AVO indicators: A modeling study: Geophysics, **59**, 1849–1855.
- Domenico, S. N., 1974, Effect of water saturation on seismic reflectivity of sand reservoirs encased in shale: Geophysics, **39**,759-769.
- Domenico. S. N., 1976. Effect of brine-gas mixture on velocity in an unconsolidated sand reservoir: Geophysics, **41**, 882-894.
- Domenico. S. N., 1977, Elastic properties of unconsolidated porous sand reservoirs: Geophysics, 42, 1339-1368.-Gregory, A. R., 1976. Fluid saturation effects on dynamic elastic properties of sedimentary rocks: Geophysics, 41, 895-921.
- -Hilterman, F., 1987, Seismic lithology: Unpublished course notes: Soc. Expl. Geophys.
- -Koefoed, O., 1962, Reflection and transmission coefficients for plane longitudinal incident waves: Geophys. Prosp., 10, 304-351.
- Ostrander, W. J., 1984, Plane-wave reflection coefficients for gas sands at non-normal angles of incident: Geophysics, 49, 1637-1648.
- -Rutherford, S. R., and Williams, R. H., 1989, Amplitude versus offset variation in gas sands: Geophysics, 54, 680-688.
- -Shuey, R. T., 1985, A simplification of the Zoeppritz equations: Geophysics, 50, 609-614.
- -Smith, ZG. C., and Gidlow, P. M., 1987, Weighted stacking from rock property estimation and detection of gas: Geophys. Prosp., 35, 993-1014.
- -Verm, R. y Hilterman, F., 1995, Lithology color-coded seismic sections the calibration of AVO crossplotting to rock properties, The Leading Edge, 14, 8, 847-853..

شکل ۹. مقطع مربوط به نشانگر ترکیبی 2 / (PR² – NI²) مدل مصنوعی مورد نظر. در این مقطع، به خوبی مرز محدوده گازدار بصورت یک لکهٔ روشن نمایان است.

نتيجه گيري

آنچه که از این بررسی حاصل می شود این است که با استفادهٔ همزمان نشانگرهای NI و PR بصورت ترسیم متقاطع، می توان به یک مقطع رنگی دست یافت که در آن رنگها جایگزین اعداد شده اند. رنگها در مقطع رنگی حاصله، نشان دهندهٔ ضرایب بازتاب نرمال و پواسون میباشند. از این طریق به خوبی میتوان مقطع را با استفاده از رنگها بررسی کرد و با دیدن رنگها به نوع آنومالی درهر نمونهٔ زمانی و در هر دورافت پی برد. این روش به مفسر درتشخیص نوع أنومالیهای AVO بطور مستقیم در زمان و مکان خاص روی مقطع، بسیار کمک مىكند. همچنين از أنجاكه عموماً أنوماليهاى كلاس I با استفاده از لکهٔ تاریک و آنومالیهای کلاس *III* با استفاده از لکهٔ روشن درمقاطع قابل شناسایی هستند ولی آنومالیهای کلاس *II* را نمی توان با استفاده از لکهٔ روشن یا لکهٔ تاریک درمقطع بررسی کرد می توان از نشانگر NI ترکیبی $2/(PR^2 - NI^2)$ حاصل از نشانگرهای و PR جهت تشخیص و بررسی آنومالیهای کلاس II استفاده کرد. این نشانگر می تواند آنومالیهای کلاس II را به کلاس *III* تبدیل کند بطوریکه در مقطع بصورت لکهٔ روشن قابل مشاهده باشند.