



## کاربرد وارون‌سازی پیش از برانبارش<sup>۱</sup> هم‌زمان برای تعیین رخساره‌ی رسوبات کانالی در سازند سروک

ناصر کشاورز فرج‌خواه<sup>۱\*</sup> پژوهشگاه صنعت نفت

مویم‌سادات میرکمالی<sup>۲\*</sup>، نوید شاه‌منان<sup>۳</sup> دانشگاه صنعتی سهند  
حسین خوشدل<sup>۴</sup>، ایرج عبدالهی<sup>۵</sup> فراد<sup>۶</sup> مدیر پت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

چکیده

در این مقاله تعیین تغییرات رخساره‌ی رسوبات کانالی سازند سروک در جنوب غربی ایران مطالعه شده است. در تعیین رخساره‌ی رسوبات کانال‌های لایه‌ی مخزنی کربناته، ترسیم مقاطع نشانگرهای لایه LMR بررسی شده است. این روش بر اساس نشانگرهای مقاومت تراکمی و برشی، حاصل از وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان و محاسبه‌ی نشانگرهای لایه LMR از آنها و تهیه‌ی ترسیم مقاطع نشانگرهای LMR، رخساره‌ی رسوبات کانال‌ها را به دست می‌دهد. تمایز بین رخساره‌های سنگ آهک متخلخل و متراکم از رخساره‌های سنگ آهک رسی با استفاده از ترسیم مقاطع نشانگرهای LMR هم‌زمان با اثر تخلخل امکان پذیر شده است. تمایز رخساره‌ی کربناته‌ی نشانگرهای LMR، رخساره‌های متفاوتی از رسوبات کانالی را در سطوح مختلف چینه‌شناسی لایه‌ی مخزنی سروک نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی | رخساره‌ی رسوبات کانالی، سازند سروک، وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان، نشانگرهای LMR

مقدمه

که بین پاسخ‌های LR و MR برای شیل، ماسه و کربناته جدایش وجود دارد. در ترسیم مقاطع LR در مقابل MR رخساره‌های مختلفی قابل تشخیص هستند [۲]. اصول اولیه‌ی سنگ‌شناسی به کمک روش LMR و با توجه به نسبت بین تراکم‌ناپذیری  $\lambda$  و مدول برشی  $\mu$  انجام می‌شود [۶]. هر سنگ‌شناسی بسته به کانی‌شناسی و محتوای سیال داخل آن خواص فیزیکی متفاوتی دارد. مجموع تفاوت‌ها در تراکم‌پذیری سیال، خواص کانی‌ها و اندازه‌ی دانه‌ها، نتایج LMR متفاوتی به دست می‌دهد [۲]. در این مطالعه برای تعیین رخساره‌ی رسوبات کانالی، روند تغییرات آنها و همچنین بررسی خصوصیات مخزنی آنها از نشانگرهای LR و MR حاصل از وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان به منظور تهیه‌ی ترسیم مقاطع LR در مقابل MR جهت تمایز رخساره‌ی سنگ آهک متراکم، سنگ آهک متخلخل و سنگ آهک رسی در رسوبات داخل کانال‌های لایه‌ی مخزنی سروک در یکی از میادین جنوب غرب ایران استفاده شده است.

منطقه‌ی جنوب غرب ایران با توجه به ذخایر هیدروکربنی و وجود میادین نفتی با لایه‌ی مخزنی سروک در آن، از نظر اقتصادی اهمیت پیدا کرده است. پسروی دریا در زمان کرتاسه سبب شد کانال‌هایی در رسوبات کربناته‌ی لایه‌ی مخزنی سروک به وجود آیند. این کانال‌ها از نظر نحوه‌ی پر شدن توسط رسوبات حائز اهمیت هستند. در همین راستا یکی از اهداف این مطالعه تعیین تغییرات جانبی در رخساره‌ی رسوبات کانالی است [۳]. وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان داده‌های لرزه‌ای با هدف محاسبه‌ی مقاومت تراکمی  $I_p$ ، مقاومت برشی  $I_s$  و چگالی  $\rho$  برای تعیین روند تغییرات سنگ‌شناسی، تخلخل سنگ مخزن و نوع سیال انجام می‌شود [۴]. در ۱۹۹۷ گودوی با کاربرد نشانگرهای  $I_p$  و  $I_s$  و ارتباط آنها با ثابت‌های لایه، نشانگرهای LMR را معرفی کرد که ثابت‌های لایه‌ی مقیاس‌بندی شده با چگالی هستند و از جمله نشانگرهای کاربردی برای تفکیک سنگ‌شناسی به شمار می‌روند [۵]. کاربرد ترسیم مقاطع نشانگرهای لایه LR در مقابل MR در جدایش ماسه‌های گازدار از ماسه‌های سفت، شیل پراکنده و کربناته‌های متخلخل در مقایسه با ترسیم مقاطع نشانگرهای  $I_p$  در مقابل  $I_s$ ، بسیار بهتر انجام می‌شود [۱]. این امر از آنجا ناشی می‌شود

### ۱- وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان

در این مطالعه روش وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان بر اساس الگوریتم و بر پایه‌ی مدل با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری

\*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (m.s.mirkamali@aut.ac.ir)

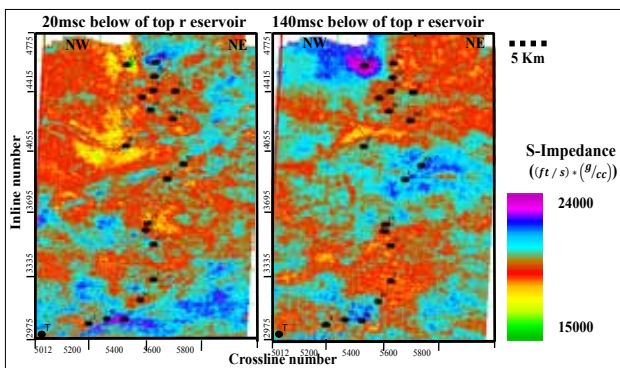
با روش قطعی استخراج شد. برای استخراج موجک‌های بهینه در هر بازه، از چاه‌های مختلفی استفاده شده که بهترین تطابق را در پی داشت. قابل ذکر است که موجک‌های دورتر نسبت به موجک‌های نزدیک‌تر، محتوای فرکانس پایین‌تری دارند.

گام مهم دیگر در وارون‌سازی لرزه‌ای، ساختن مدل‌های فرکانس پایین موج تراکمی، موج برشی و چگالی برای جبران فرکانس‌های پایین از دست‌رفته از داده‌های لرزه‌ای بازتابی است که به صورت کلان‌لایه<sup>۷</sup> و به‌عنوان یکی از ورودی‌های وارون‌سازی ساخته می‌شوند. مدل اولیه با استفاده از مؤلفه‌های فرکانس پایین چاه‌ها و افق‌های لرزه‌ای تفسیر شده توسط الگوریتم مدل‌سازی، مانند الگوریتم وزن‌دارشدگی معکوس<sup>۷</sup> فاصله تولید می‌شود. برای ساخت مدل‌های فرکانس پایین موج تراکمی و موج برشی و چگالی اولیه از نگارهای سرعت موج تراکمی P، سرعت موج برشی S و چگالی ρ در ۱۵ چاه و همچنین چهار افق تفسیر شده استفاده گردید.

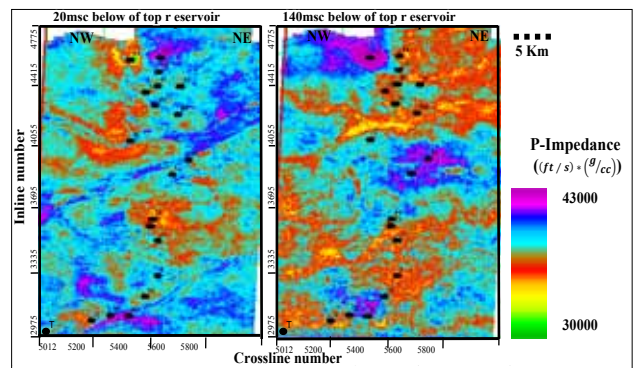
در مرحله‌ی آنالیز وارون‌سازی پیش از برانبارش هم‌زمان، وارون‌سازی در محل چاه‌ها انجام شد تا برای رابطه‌ی خطی بین  $\ln I_p$  و  $\ln I_s$  و همچنین رابطه‌ی خطی بین  $\ln \rho$  و  $\ln I_p$  در این وارون‌سازی، متغیرهای مناسبی انتخاب شود. در این مرحله با استفاده از نگارهای چاه مقادیر بهینه‌ای برای متغیرهای این دو رابطه محاسبه شد. پس از انجام وارون‌سازی در محل چاه‌ها و نهایی کردن متغیرهای وارون‌سازی از طریق آزمایش‌های گسترده، با انتخاب مقادیر بهینه برای متغیرها می‌توان وارون‌سازی را بر کل مکعب داده‌ها اعمال نمود. در نهایت مکعب‌های مقاومت تراکمی  $I_p$  و مقاومت برشی  $I_s$  به‌طور هم‌زمان به‌دست آمدند. شکل‌های (۱) و (۲) برش‌های افقی

سه‌بعدی پیش از برانبارش Pre-STM به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و تعداد ۱۵ چاه با هدف محاسبه‌ی مقاومت تراکمی  $I_p$ ، مقاومت برشی  $I_s$  و چگالی ρ جهت بررسی رخساره‌ی رسوبات کانال‌ها و تغییرات سنگ‌شناسی آنها انجام شده است. فرض اولیه برای انجام وارون‌سازی هم‌زمان آن است که باید زاویه‌ی فرود داده‌ها یکسان باشد؛ چراکه وارون‌سازی پیش از برانبارش در حوزه‌ی زاویه‌ی تابش عمل می‌کند. در این مطالعه با استفاده از مدل سرعتی موج P، چهار دسته زاویه در بازه‌های ۸ درجه‌ای (از ۵ تا ۳۷ درجه) حاصل از وارون‌سازی پس از برانبارش تولید شد تا داده‌ها به زاویه‌ی فرود یکسان تبدیل شوند.

جهت انجام وارون‌سازی پیش از برانبارش برای هر مجموعه ردلرزه در بازه‌های زاویه‌ای موجود باید یک موجک اختصاص داده شود. در این گام با ساخت ردلرزه‌ی مصنوعی و انطباق داده‌های لرزه‌ای با چاه، موجک‌های لرزه‌ای استخراج می‌شود. برای این منظور ابتدا باید انطباق مناسبی بین ردلرزه‌ی مصنوعی حاصل از نگارهای چاه و داده‌های لرزه‌ای پس از برانبارش ایجاد کرد که این انطباق از طریق جابجایی‌های زمانی بسیار کم، کشیدگی و فشردگی در محل ۱۵ چاه انجام شده است. برای ساختن ردلرزه‌ی مصنوعی ابتدا در محل ۱۵ چاه، موجک‌هایی از داده‌ی لرزه‌ای به‌روش آماری و سپس به‌روش قطعی از داده‌های چاه استخراج شد. پس از بررسی متغیرها و تأیید تطابق مناسب چاه‌ها (۸۸ درصد)، در نهایت ۸ چاه برای استخراج موجک‌های بهینه انتخاب شد. در ادامه چهار موجک بهینه (نزدیک در بازه‌ی ۵ تا ۱۳ درجه، میانی داخلی در بازه‌ی ۱۴ تا ۲۱ درجه، میانی خارجی در بازه‌ی ۲۲ تا ۲۹ درجه و دور در بازه‌ی ۲۹ تا ۳۷ درجه)



شکل ۲ | برش‌های مقاومت برشی در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک. مقاومت‌های برشی  $I_s$  رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهند



شکل ۱ | برش‌های مقاومت تراکمی در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک. مقاومت‌های تراکمی  $I_p$  رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهند

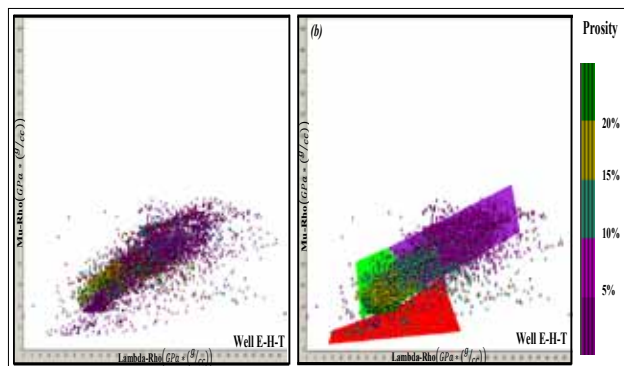
نشانه‌های مقاومت تراکمی  $I_p$ ، برشی  $I_s$  فراهم می‌شود. نشانه‌های LR و MR رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهند.

## ۲- بررسی ترسیم متقاطع در سه چاه E، H و T

مطالعات رسوب‌شناسی ماکروسکوپی و میکروسکوپی در فاصله‌ی سازند سروک در میدان مورد مطالعه بر اساس نمونه‌های مغزه و نگاره‌های چاه‌پیمایی نشان می‌دهد که سازند سروک از سه گروه اصلی رخساره‌ی رسوبی سنگ‌آهک کربناته با تخلخل و تراوایی متفاوت و همچنین درصد آلودگی به شیل مختلف تشکیل شده است [۳]. به‌منظور تمایز رخساره‌ها و تفکیک سنگ‌شناسی، نشانه‌های LR و MR در عمق مخزنی و در فاصله‌ی بین سروک تا وارا<sup>۱</sup> در سه چاه E، H و T که علاوه بر نگار موج تراکمی P نگار موج برشی S را نیز داشتند محاسبه شد.

سپس برای تهیه‌ی ترسیم متقاطع LR در مقابل MR، از این نشانه‌ها در فاصله‌ی مخزنی سروک تا وارا نمونه‌برداری شد. با استفاده از نگار سنگ‌شناسی حجم رس و همچنین نگار اشباع از آب و تخلخل که برای هر سه چاه در دست بود، در این ترسیم متقاطع تفکیک بین رخساره‌ها بررسی شد. با بررسی ترسیم متقاطع LR در مقابل MR، به‌نظر می‌رسد تشخیص بین رخساره‌های سنگ‌آهک متخلخل و متراکم از رخساره‌های سنگ‌آهک رسی با استفاده از ترسیم متقاطع LR-MR هم‌زمان با اثر تخلخل امکان‌پذیر است. شکل ۵- ترسیم متقاطع LR در مقابل MR و رخساره‌های جدا شده در این ترسیم متقاطع برای مقادیر تخلخل را نشان می‌دهد.

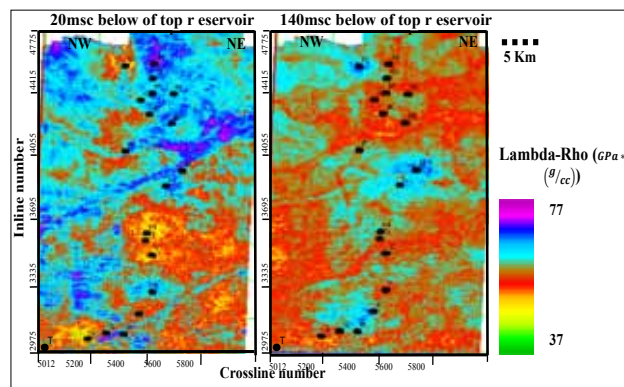
رخساره‌های سنگ‌آهک متراکم همراه با کاهش مقادیر تخلخل، بیشترین مقدار را برای LR و MR نشان می‌دهند که متناسب با کیفیت مخزنی ضعیف آنهاست. رخساره‌های سنگ‌آهک متخلخل و



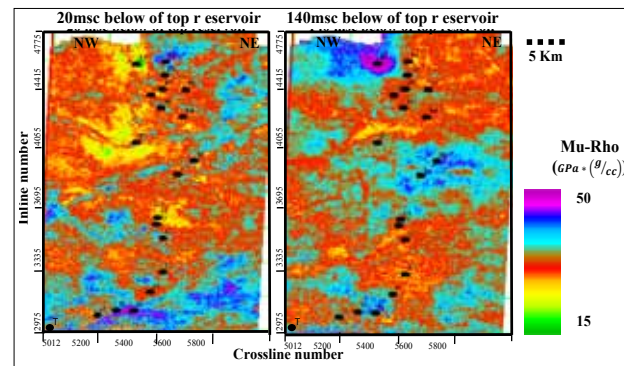
شکل ۵ (a) ترسیم متقاطع نگاره‌های LR در مقابل MR برای مقادیر تخلخل در هر سه چاه (b) همراه با رخساره‌های جدا شده با جدایش رخساره‌ای سنگ‌آهک متراکم (بنفش)، سنگ‌آهک متخلخل (سبز) و سنگ‌آهک رسی

از مقاومت تراکمی و برشی در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک را نشان می‌دهند. مقاومت‌های تراکمی  $I_p$ ، برشی  $I_s$  رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهند.

در ادامه برای تفکیک سنگ‌شناسی و بررسی رخساره‌ها، نشانه‌های LR و MR به‌عنوان نشانه‌های کاربردی از نشانه‌های حاصل از وارون‌سازی داده‌های پیش از برانبارش استخراج شد. با به‌کارگیری مکعب‌های  $I_p$  و  $I_s$  حاصل از وارون‌سازی مکعب‌های ضرایب لامه مقیاس شده با چگالی LR و MR محاسبه شدند. برش‌های افقی از مکعب‌های LR و MR در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در شکل‌های ۳- و ۴ نشان داده شده است. تعیین کیفیت مخزنی و سنگ‌شناسی رسوبات پرکننده‌ی کانال با استفاده از نشانه‌های LR و MR، با دقت و صحت بیشتری نسبت به



شکل ۳ برش‌های افقی LR در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک. نشانه‌های LR رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهند



شکل ۴ برش‌های MR در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک. نشانه‌های MR رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهند

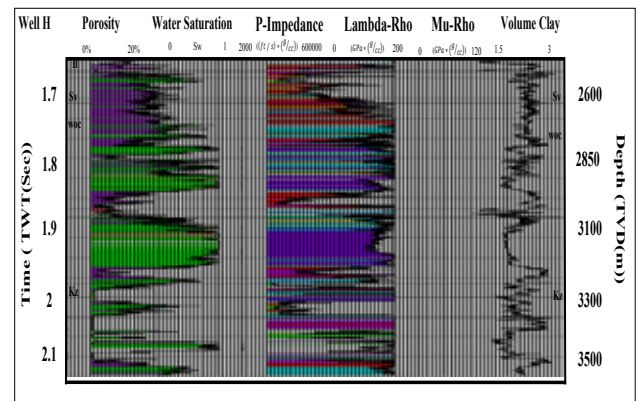
رخساره‌های سنگ آهک رسی همراه با افزایش مقادیر تخلخل، کمترین مقدار را برای LR و MR نشان می‌دهند که در رخساره‌ی سنگ آهک متخلخل متناسب با کیفیت مخزنی مناسب آنهاست. پس از جدا کردن چاه H- در شکل ۶- نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تمایز رخساره‌ای در ناحیه‌ی مخزنی تطابق زیادی را با نگار تخلخل نشان می‌دهد. در مرحله‌ی بعد برای ارزیابی رخساره‌های جدا شده در ترسیم مقاطع LR-MR، این ترسیم مقاطع در مقیاس زمانی روی کل داده‌های لرزه‌ای اعمال شد. شکل ۷- برش‌های افقی تمایز رخساره‌ای در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک را نشان می‌دهد. تمایز رخساره‌ای LR در مقابل MR رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهد.

#### نتیجه‌گیری

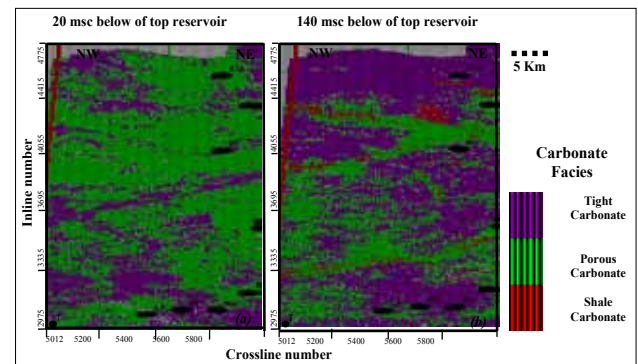
تمایز بین رخساره‌های سنگ آهک متخلخل و متراکم از رخساره‌های سنگ آهک رسی با استفاده از ترسیم مقاطع نشانگرهای LR در مقابل MR هم‌زمان با اثر تخلخل امکان‌پذیر شده است.

تمایز رخساره‌ای کربناته‌ی LR در مقابل MR، رخساره‌های متفاوتی از رسوبات کانالی را در بخش بالایی و پایینی سازند سروک نشان می‌دهد. کانال‌های سروک پایینی، رخساره‌ی سنگ آهک متخلخل و در برخی موقعیت‌ها رخساره‌ی سنگ آهک رسی را نشان می‌دهد که رخساره‌ی سنگ آهک متخلخل متناسب با کیفیت مخزنی مناسب این کانال‌هاست. کانال‌های سروک بالایی در برخی قسمت‌ها رخساره‌ی سنگ آهک متراکم و در مناطق دیگر سنگ آهک متخلخل را نشان می‌دهد که بر اساس مطالعات چاهی متناسب با کیفیت مخزنی، مناسب برخی از موقعیت‌ها و کیفیت مخزنی ضعیف برخی دیگر از موقعیت‌های کانالی است. ■

رخساره‌های سنگ آهک رسی همراه با افزایش مقادیر تخلخل، کمترین مقدار را برای LR و MR نشان می‌دهند که در رخساره‌ی سنگ آهک متخلخل متناسب با کیفیت مخزنی مناسب آنهاست. پس از جدا کردن



شکل ۶ کاربرد رخساره‌های کربناته‌ی جدا شده در نگار تخلخل در محل چاه H و کاربرد رخساره‌های کربناته‌ی جدا شده در نگار حجم رس به‌عنوان شاهده‌ی بر رسی بودن



شکل ۷ برش‌های رخساره‌های کربناته در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک. تمایز رخساره‌ی LR در مقابل MR رفتارهای متفاوتی از کانال‌ها را در سطوح مختلف چینه‌شناسی سازند سروک در مقایسه با پس‌زمینه نشان می‌دهد

#### پانویس‌ها

1. Simultaneous inversion
2. shmanaman@ut.ac.ir
3. hkhoshdel@yahoo.com
4. iabdollahie@yahoo.com

5. keshavarzn@ripi.ir
6. macro layers
7. inverse distance weighting algorithm
8. Wara

#### منابع

- [1] B. Goodway, T. Chen And J. Downton, "Improved Avo Fluid Detection And Lithology Discrimination Using Lamé Petrophysical Parameters; „Ap', „Mp', & „A/M Fluid Stack' From P And S Inversions", 67th Ann. Internat.Mtg: Soc. Of Expl. Geophys., 1997, 183186-.
- [2] F.D. Gray And E.C. Andersen, "Case Histories: Inversion For Rock Properties", Eage 62nd Conference And Technical Exposition, 2000.
- [3] Jnoc, "Sedimentology Of Channel-Shaped Signatures Of Sarvak Reservoir", Master Development Plan Of Azn Oil Field (Mdp), 2005.
- [4] P. C. H. Veeken, "Seismic Stratigraphy, Basin Analysis And Reservoir Characterization", 2006.
- [5] O. Yilmaz, "Seismic Data Analysis, Volume 1 And 2", Society Of Exploration Geophysicists, Investigations In Geophysics, 10, Tulsa, Seg, 2001, 2027.
- [6] J. Zhang And X.Y. Li, "Avo Fluid Discrimination With Weak Impedance Contrast, A Case Study From The Ordos Basin", 67th Eage Congress And Exhibition, 2005, 1316- June.