



### تحلیل مدولهای الاستیک در مدلسازی تولید ماسه در چاه های حفاری نفت



#### چکیده:

مشکلاتی که در بحث حفاری چاه های نفت و گاز وجود دارند به ۲ گروه کلی تقسیم بندی می شوند: مشکل اول جلوگیری از ناپایداری قابل توجه در چاه در طی حفاری و شکسته شدن محدود سازندهای احاطه کننده چاه در طی تولید. مشکل دوم که اکثر اوقات تحت عنوان تولید ماسه (یا تولید جامدات) از آن یاد می شود از شکست قابل توجه سازند در طی تولید نتیجه می شود. تولید ماسه یک چالش مهم در صنعت نفت و گاز، عوامل عملیاتی و مشکلات امنیتی به حساب می آید (کفاش، ۲۰۱۲). این معضل بعنوان یکی از چالش های اساسی سالیان زیادی فکر و اندیشه افراد زیادی را به خود معطوف داشته است. این مشکل از دیرباز وجود داشته و باعث بروز مشکلاتی همچون انسداد چاه، آسیب جدی به تجهیزات درون چاهی و برون چاهی می شده است. در این مقاله سعی بر این است که تاثیر مدولهای الاستیک را در تحلیل تولید ماسه در چاه ها در کنار سایر عوامل مورد بررسی قرار دهیم. در این میان نرم افزار STABView برای انجام فعالیتهایی مانند حفاری تکنیکی، فعالیت های تکمیل چاه، همچنین تولید و اکتشاف و استخراج توسعه یافته است. الگوریتم های موثر، سریع، تحلیلی و نیمه تحلیلی برای حل کردن معادله های اساسی بکار برده شده اند که تنش ها، فشارهای حفره ای و دما را برای مشکلات نزدیک چاه حفاری توصیف می کند.

### Elastic modulus analysis in oil wells sand productions modeling

#### Abstract:

The problems that we encountered in the drilling of oil and gas wells are divided into 2 categories: First, prevention of significant instability in a well during drilling and formations breaking that are surrounding the well during production. Second, resulted from the remarkable failure of formation during production that most of the time is known as the sand production (or solids). In the oil and gas industry, especially oil well drilling, Sand production is an important challenge, which causes operational and safety problems (kaffash, 2012). Those issues that attract attention of many people as one of the main challenges for many years. This problem has existed since long time ago and cause problems such as blockage of the wells, serious damage to downhole and output equipment of the well. In this paper, we want to investigate the impact of elastic modulus with other factors on analysis of sand production in oil wells. Therefore, STABView software has developed for technical drilling, completion, production and exploration personnel to conduct rapid parametric analysis for a wide range of near-wellbore integrity problems. Efficient and faster algorithms and analytical and semi-analytical approaches are used to solve the fundamental equations that describe the stress, pore pressure, and temperature distributions for near-wellbore problems.



**مقدمه :**

تولید ماسه یک چالش مهم در صنعت نفت و گاز، عوامل عملیاتی و مشکلات امنیتی به حساب می‌آید. انتخاب یک معیار شکست مناسب در مطالعات پیشینه‌ای و تحلیلی ماسه، لازم و ضروری می‌باشد. معیارهای شکست مختلف در مرحله اول، در مدل سازی ماسه‌ای به کار برده شده‌اند. معیار مور - کولمب یکی از بیشترین معیارهای به کار برده شده می‌باشد اما در مورد پیش‌بینی شروع تولید ماسه بصورت محافظه کارانه بحث می‌شود. زیرا تاثیر تنش میانی اصلی در نظر نمی‌باشد. اخیراً آقایان al - ajmi و zimmerman (۲۰۰۶) معیار شکست سه‌بعدی mogi - columb را توسعه دادند و آن را در پایداری، در طی شرایط حفاری به کار بردند. بر اساس نتایج خوب از این معیار، در تحلیل پایداری، این محقق یک مدل پیش‌بینی تحلیل ماسه‌ای، برای کاربرد در معیار شکست mogi - columb برای تعیین حداکثر ماسه آزاد پایین آمده برای زمان اول را ارائه داده است. مدل توسعه یافته در حفره باز شده (Open hole) برای تعیین مسیر چاه حفاری بهینه به کار برده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در رژیم‌های تنش محل‌های مختلف، انحراف و آزمون یک نقش اساسی و قابل توجه در پایداری چاه در طی تولید ماسه را دارند. همچنین تخلیه منبع (Reservoir depletion) نیز در نظر گرفته می‌شود که باعث افزایش پتانسیل ماسه‌ای می‌شود. تحقیقاتی نیز در زمینه پیش‌بینی تولید ماسه در میادین مختلف نفتی و گازی جهان از جمله در جنوب ایران انجام یافته است.

**بحث و روش تحقیق:****۱- تولید ماسه**

مشکل ماسه عمدتاً در سازندهای سست ظاهر شده و همچنین در سازندهای عمیق‌تر از ۳۵۰۰ متر نیز محتمل است. محدوده ابعاد دانه‌های ماسه توسط انجمن‌های مختلف، بصورت مختلف ارائه شده است. در سیستم طبقه بندی متحد که مورد پذیرش استاندارد آمریکا (ASTM) نیز می‌باشد به دانه‌هایی ماسه گفته می‌شود که در محدوده  $4/76 - 0/074$  میلیمتر قرار دارند. این بدین معنی نیست که در مخزن فقط دانه‌هایی با این اندازه تولید می‌شود کلیه دانه‌هایی که در چاه تولید می‌شود از نظر دانه‌بندی عموماً در این محدوده قرار دارند.

**۲- مشکلاتی که تولید ماسه در چاه‌های حفاری ایجاد می‌کنند، عبارتند از:**

۱. کاهش نفوذ پذیری سازند که در پی آن منجر به کاهش راندمان بازیافت مخزن خواهد شد.
۲. از بین رفتن و تخریب تجهیزات مانند پمپ‌ها، لوله‌ها، شیر آلات و دریچه‌ها و ... و فروریزش چاه (Hole Collapse)
۳. نیاز به نیروی کار بیشتر برای تعویض و تعمیر وسایل و تمیز کردن چاه.
۴. مسدود شدن تجهیزات بیرونی و درونی چاه مثل لوله‌ها.

**۳- عوامل موثر در تولید ماسه:**

۱. ایجاد نیروهای حرکتی از طریق سیال متحرک (اگر سرعت حرکت سیال و گرانیروی آن بیشتر شود تولید ماسه نیز افزایش پیدا خواهد کرد).



# انجمن زمین ساخت و زمین شناسی ساختاری ایران

TECTONIC & STRUCTURAL GEOLOGY ASSOCIATION OF IRAN

۲. به دلیل تولید آب (آب سیمان را حل می کند) یا به دلیل کاهش نیروهای مویینگی.
۳. کاهش فشار مخزن که این امر باعث بالا رفتن نیروی فشرده‌گی خواهند شد و در پی آن تخریب سیمان بین دانه‌های ماسه را شاهد خواهیم بود.
۴. کاهش سختی یا سفتی سازند بر اثر تولید.
۵. کاهش تراوایی نسبی نفت به دلیل افزایش درجه اشباع آب، که این امر سبب افت بیشتر فشار می شود.

## ۲- نرم افزار STABView:

قابلیت‌ها و توانایی‌های منحصر به فرد در STABView به ما اجازه: کالیبره کردن (Calibration) مدل‌ها برای خنثی کردن و متعادل کردن مشاهدات چاه شامل؛ تمام فشارهای منفذی مهم، تاثیرات شیمیایی و دمایی، بکار بردن رفتارهای متفاوت سنگ‌ها، وارد کردن داده‌ها و اطلاعات و خارج کردن آنها در سایر نرم افزارها و... را می‌دهد. الگوریتم‌های با پردازش سریع در نرم افزار برای حل معادلات اساسی حاکم بر رفتار مکانیکی منطقه نزدیک چاه، بکار برده شده‌اند. از جمله مشکلاتی که می‌توانیم با نرم‌افزار تجزیه و تحلیل کنیم می‌توانیم به: ۱- فعالیت‌های حفاری از جمله انتخاب حفاری بهینه و سیال‌های مربوط به فعالیت تکمیل چاه، بهینه‌سازی گل حفاری از نظر ترکیب شیمیایی برای مهار متورم شدن رس، کاستن زمان مته‌زنی و تمیز کردن چاه، کاهش میزان ریسک Lost Circulation، بهبود کنترل مستقیم و پیش‌بینی تغییر شکل‌های حفره چاه. ۲- فعالیت‌های کنترل چاه از جمله ارزیابی تنش‌های نزدیک حفره چاه و شرایط فشار منفذی و ارزیابی جزئیات شکستن هیدرولیکی. ۳- فعالیت‌های تکمیل از جمله: تعیین کاندیدهای مناسب برای تکمیل چاه، جلوگیری از یکپارچه شدن سیمان ضعیف، از بین بردن ریسک شکستگی اطراف سیمان، افزایش نفوذ پذیری سوراخ، ارزیابی نیاز به یک گراول پک (Gravel pack) در ماسه سنگ‌های ضعیف و سست و در نهایت می‌توان به ۴- فعالیت‌های مهندسی تولید مانند کاهش تولید آب ناشی از شکستگی‌های هیدرولیکی، محاسبه فشار تزریق جریان آب حداکثر برای پیشگیری از شکستگی و ارزیابی شکستگی‌های ناشی از حرارت در طی جریان آب، اشاره نمود. از قابلیت‌های STABView می‌توان به بررسی و تحلیل در مورد انواع چاه‌ها، بررسی ناپایداری‌های حفاری، شناسایی وجود درزه و ترک و همچنین شناسایی احتمال فرار گل حفاری، تولید ماسه و فرآیند کنترل، تنش‌های برجا، شناسایی صفحات ضعیف، گسل‌ها و شکستگی‌های طبیعی، تحلیل فشار منفذی، بررسی مدل‌ها و معیارهای شکست سنگ، تنش‌ها و فشارهای اطراف حفره حفاری، تغییر شکل‌ها و کرنش‌های حفره حفاری، بررسی تاثیرات فیزیکی و شیمیایی، تاثیرات دمایی، ارائه گزارشات متنی و نمودارها جهت تحلیل نهایی، تجسم سه‌بعدی از چاه و مشخصات چاه، کالیبراسیون و ...، اشاره کرد.

پارامترهای مورد نیاز برای بررسی تولید ماسه و پیش بینی آن در نرم افزار به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ✓ دسته اول پارامترهای مربوط به سازند بوده که به دو دسته پارامترهای مکانیکی و پارامترهای فیزیکی تقسیم می‌شوند:
- پارامترهای مکانیکی (مقاومتی) شامل مدول‌های الاستیسیته (مدول یانگ، مدول برشی و مدول حجمی)، قابلیت تراکم پذیری، نسبت پواسون، مقاومت فشاری تک محوره، چسبندگی.



- پارامترهای فیزیکی شامل ضریب بایوت (Biot)، زاویه اصطکاک داخلی و ضریب شامل تخلخل، نفوذپذیری و چگالی می‌باشند.
- ✓ دسته دوم پارامترهای مربوط به سیال سازند هستند که شامل چگالی، دما، ویسکوزیته و قابلیت تراکم پذیری سیال می‌باشد.
- ✓ دسته سوم پارامترهای مربوط به تنش منطقه بوده که شامل مقدار تنش‌های عمودی و افقی حداکثر و حداقل و همچنین جهت آنها می‌باشند.

برای اینکه بتوانیم پارامترهای ذکر شده را محاسبه کنیم بایستی در ابتدا سرعت‌های موج برشی و فشارشی را از طریق اطلاعات لاگ صوتی در عمق‌های مختلف، محاسبه کنیم.

### ۲-۱ مدول الاستیسیته (E):

مدول الاستیسیته یا مدول یانگ عبارت است از شیب منحنی تنش - کرنش ( $\sigma - \epsilon$ ) در بخش الاستیک و با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$E_{(psi)} = \left( \frac{\rho_b}{\Delta t_s^2} \right) \left( \frac{3(\Delta t_s^2) - 4(\Delta t_p^2)}{\Delta t_s^2 - \Delta t_p^2} \right) \times 1.34 \times 10^{10} \quad (1)$$

که در آن  $\rho_b$  چگالی بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب و  $E$  مدول یانگ بر حسب پوند بر اینچ مربع می‌باشد.

### ۲-۲ مدول برشی:

مدول برشی یا مدول صلبیت که با  $G$  نمایش داده می‌شود برابر است با نسبت تنش برشی به کرنش برشی.

$$G_{(psi)} = \left( \frac{\rho_b}{\Delta t_s^2} \right) \times 1.34 \times 10^{10} \quad (2)$$

که در آن  $\rho_b$  چگالی بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب و  $G$  مدول برشی بر حسب پوند بر اینچ مربع می‌باشد.

### ۲-۳ مدول تراکم پذیری یا مدول حجمی:

ضریب کشسانی حجمی (Bulk modulus of elasticity) معیاری برای سنجش تراکم پذیری یک مایع است.

$$K_{(psi)} = \rho_b \left( \frac{1}{\Delta t_p^2} \right) - \left( \frac{4}{3 \Delta t_s^2} \right) \times 1.34 \times 10^{10} \quad (3)$$

### ۲-۴ نسبت پواسون:

این نسبت عبارت است از نسبت تغییر شکل جانبی به تغییر شکل طولی و با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\nu = 0.5 \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4)$$



### ۲-۵ مقاومت فشاری تک محوری (UCS):

بنا به تعریف، مقاومت فشاری برابر است با مقدار تنش فشاری تک محوری، هنگامی که المان مورد نظر کاملاً گسیخته می‌شود.

$$UCS = 9.95 V_p^{1.21} \quad (5)$$

این معادله را ترکان و همکارانش برای ماسه سنگ، ماد استون، سنگ آهک، و شیل ارائه دادند.

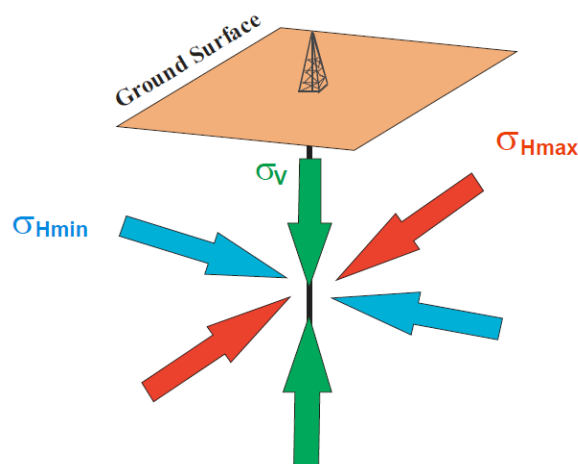
### ۳- تنش:

در بکارگیری این مفاهیم در پوسته زمین، در نظر گرفتن این موضوع که بزرگی تنش‌های اصلی حداقل، متوسط و حداکثر ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ) نیز می‌تواند بصورت  $S_v$ ,  $S_{Hmax}$  و  $S_{Hmin}$  بیان شود که توسط آقای اندرسون ارائه و مطرح شده است. طرح طبقه بندی اندرسون، بزرگی‌های تنش‌های اصلی افقی و در ارتباط با تنش عمودی را نیز تعیین می‌کند. تنش عمودی،  $S_v$ ، تنش اصلی حداکثر ( $S_1$ ) در رژیم‌های گسلی نرمال می‌باشد، همچنین به عنوان تنش اصلی متوسط ( $S_2$ ) در رژیم‌های گسلی امتداد لغز، و به عنوان تنش اصلی حداقل ( $S_3$ ) در رژیم‌های تنشی معکوس، به حساب می‌آید.

Regime	Stress		
	$S_1$	$S_2$	$S_3$
Normal	$S_v$	$S_{Hmax}$	$S_{Hmin}$
Strike-slip	$S_{Hmax}$	$S_v$	$S_{Hmin}$
Reverse	$S_{Hmax}$	$S_{Hmin}$	$S_v$

جدول ۱- بزرگی‌های تنشی و رژیم‌های گسلی طبق نظریه اندرسون

شکل شماره ۱، توزیع تنش قائم و تنش‌های افقی را در اطراف یک چاه نشان می‌دهد. البته در رژیم‌های تنشی مختلف، جهت‌های تنش‌ها طبق نظریه اندرسون، متفاوت خواهد بود.





شکل ۱- تنش های اصلی درجا در یک نقطه از زیر سطح زمین (بعد از آقای Bell و همکاران، ۱۹۹۴)

اما در مورد محاسبه تنش قائم و تنش های افقی بایستی به صورت زیر اقدام کنیم:

بزرگی  $Sv$  معادل انتگرال دانسیته سنگ از سطح تا یک عمق مشخص ( $Z$ ) می باشد، به عبارتی:

$$Sv = \int_0^z \rho(z)gdz \approx \bar{\rho}gz \quad (6)$$

جائیکه  $\rho(z)$ ، یک دانسیته و به عنوان یک تابع از عمق می باشد،  $g$  شتاب گرانشی و  $\bar{\rho}$  میانگین دانسیته دوباره می باشد (جیگر و کوک، ۱۹۷۱). در مناطق دور از ساحل، مولفه عمق آب را نیز اضافه می کنیم:

$$Sv = \rho_wgz_w + \int_{z_w}^z \rho(z)gdz \approx \rho_wgz_w + \bar{\rho}g(z - z_w) \quad (7)$$

جائیکه  $\rho_w$  دانسیته آب، و  $z_w$  عمق آب می باشد. اگر  $\rho_w \sim 1 \text{ g/cm}^3$  (1.0 SG) فشار آب (فشار هیدرواستاتیک) به مقدار  $10 \text{ MPa/km}$  (0.44 psi/ft)، افزایش می یابد. اکثر سنگ های رسوبی آواری دارای یک دانسیته میانگین در حدود  $2.3 \text{ g/cm}^3$  می باشند که مربوط به یک تخلخل به میزان ۱۵٪ هستند. جهت تحلیل تولید ماسه تعیین دقیق مقدار تنش های افقی ضروری خواهد بود. تعیین این تنش ها به ۲ روش مستقیم و غیر مستقیم امکان پذیر می باشد. در روش مستقیم، تنش های افقی از طریق آزمایش های مکانیک سنگ و در روش غیر مستقیم از طریق نگاره های حاصل از چاه نگاری محاسبه می شوند. روابط تجربی مختلفی جهت تعیین تنش افقی حداقل وجود دارد. اما برای تعیین تنش افقی حداکثر، ۲ روش وجود دارد. در عمومی ترین و رایج ترین روش برای تعیین تنش های افقی حداقل و حداکثر، تئوری پروالاستیک پیشنهاد شده است. در این رابطه از فشار روباره (Overburden Pressure)، فشار منفذی، نسبت پوآسون، و کرنش های تکتونیکی استفاده می شود (زوباک، ۲۰۰۷).

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_v + \frac{\nu}{1-\nu}\alpha P_p + \frac{E \varepsilon_h}{1-\nu^2} + \frac{\nu E \varepsilon_H}{1-\nu^2} \quad (8)$$

$$\sigma_H = \frac{\nu}{1-\nu}\sigma_v + \frac{\nu}{1-\nu}\alpha P_p + \alpha P_p + \frac{E \varepsilon_h}{1-\nu^2} + \frac{\nu E \varepsilon_H}{1-\nu^2} \quad (9)$$



# انجمن زمین ساخت و زمین شناسی ساختاری ایران

TECTONIC & STRUCTURAL GEOLOGY ASSOCIATION OF IRAN

که در رابطه فوق  $\alpha$  ضریب بایوت،  $\nu$  نسبت پواسون،  $P_p$  فشار منفذی،  $\epsilon_H$  و  $\epsilon_h$  کرنش در جهت تنش های افقی حداقل و حداکثر می باشد. مقدار فشار منفذی نیز از رابطه ایتون که بصورت معادله زیر است محاسبه می گردد. ایتون این رابطه را برای پیش بینی گرادیان فشار منفذی از طریق زمان عبور موج فشاری ارائه داد.

(ایتون، ۱۹۶۹)

$$P_{pg} = OBG - (OBG - P_{ng}) \left( \frac{\Delta_{tn}}{\Delta_t} \right) \quad (10)$$

در این رابطه  $\Delta_{tn}$  زمان عبور موج در فشار نرمال و  $\Delta_t$  زمان عبور موج بدست آمده از نگار صوتی چاه می باشد. خروجی های STABView می تواند بصورت گزارش های متنی تک عمقی یا چند عمقی باشند. همچنین می توانند شامل نمودار پروفیل چاه که بازدید چاه را در دو حالت Plan یا Profile نشان می دهد. خروجی دیگر نرم افزار نمودار پروفیل عمق می باشد. این نمودار یک نمایش تصویری را در طول چاه و بر اساس اندازه گیری های عمق بصورت عمودی صحیح (TVD) و عمق اندازه گیری شده (MD) نشان می دهد. از خروجی پروفیل چاه سه بعدی، می توان برای تجسم کردن چاه و سکشن چاه در یک نمای سه بعدی استفاده کرد. نمودارهای قطبی برای نمایش منحنی های رنگی داده های فشار یا نمایش ریسک محاسبه شده برای مسیرهای مختلف چاه و همچنین برای نمایش تصاویر استریوگرافیک بکار برده می شوند. نمودارهای Tornado و Spider هم از خروجی های نرم افزار محسوب می شوند و در انتها نمودارهای استاندارد یک بررسی مختصر و البته وسیع را از واحدهای چینه شناسی و لیتولوژی آنها ارائه می دهند. پیکان موجود روی این نمودار، نقطه محاسباتی کنونی را نشان می دهد و با جابجایی آن می توان نقطه محاسباتی را تغییر داد.



## نتیجه گیری :

تولید ماسه در چاه های نفتی در میادین مختلف با وجود سازندهای ماسه ای محتمل تر بوده و در حالت کلی تولید ماسه را می توان به ۳ حالت گذرا، پایدار و فاجعه آمیز تقسیم بندی کرد (ویکن و همکاران، ۱۹۹۱). بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، ابتدا بایستی پارامترهای مکانیکی و فیزیکی مربوط به سازند که شامل مدول های یانگ، برشی، حجمی، نسبت پواسون، قابلیت تراکم پذیری، مقاومت فشاری تک محوری و چسبندگی می باشند را محاسبه کرد و سپس اقدام به محاسبه و تعیین جهت تنش قائم و تنش های افقی حداقل و حداکثر نمود و همچنین تنش های اطراف حفره را نیز محاسبه نموده و با در دست داشتن ورودی های مربوط به STABView، آنرا اجرا کرده و به نمودارهای مربوطه دست یافت. در انتها، با توجه به رژیم تنشی موجود در منطقه بایستی جهت و مسیر بهینه حفر چاه بررسی و انتخاب شود. در حالت کلی، در رژیم تنشی گسل نرمال، حفاری در جهت تنش افقی حداقل، بهترین مسیر برای جلوگیری از تولید ماسه می باشد. در واقع چاه های نزدیک به شیب عمودی دارای پتانسیل کمتر برای تولید ماسه نسبت به چاه های افقی هستند. در رژیم های تنشی گسل های امتداد لغز و معکوس، جهت بهینه حفاری در جهت تنش افقی حداقل، حداکثر پتانسیل تولید ماسه را فراهم می کند. در واقع برای رژیم تنش امتداد لغز، چاه های نزدیک به شیب عمودی دارای پتانسیل



کمتر برای تولید ماسه نسبت به چاه‌های افقی هستند و برای رژیم تنش معکوس حفاری چاه‌های مایل نسبت به چاه‌های عمودی پایدارتر هستند.



### منابع فارسی :

ابراهیمی، م.، نبی بیدهدی، م.، صادق زاده، ف.، ۱۳۹۳، "استفاده از نگاره‌ها جهت تعیین تنش‌های برجا بر روی دیواره چاه‌های نفتی"، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، (۸۸-۹۴).

صالحی مورکانی، ر.، ۱۳۸۹، "بررسی عملکرد روش‌های مهار ماسه در مخازن ماسه سنگی مناطق نفت خیز جنوب"، اولین همایش ملی توسعه تکنولوژی در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی.

فرج زاده دهکردی، ع.، قربانی، ف.، شهبازی، خ.، ۱۳۹۱، "ارائه روشی نوین جهت تکمیل چاه‌های دارای مشکل تولید ماسه همراه با نفت تولیدی"، اولین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی.



### References:

- Chang, C., Zoback, M. D. et al. 2006. "Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks", Journal of Petroleum Science and Engineering, 51,p. 223-237.
- Jaeger, J. C., Cook, N. G. W., 1979. "Fundamentals of Rock Mechanics. Third Edition, Chapman & Hill.
- Moos, D., Zoback, M.D. 1990. "Utilization of observations of wellbore failure to constrain the orientation and magnitude of crustal stresses: application to continental, deep sea drilling project and ocean drilling program boreholes". J Geophys Res, 95: 9305-25.
- Tercan, A.E., Unver, B., Tiryaki, B., and Ozbilgin D.A., 2005., " Study of Relationships Among mechanical, index and petrographic properties of some sandstones using canonical correlation analysis, (in turkish)". Mining, vol. 44,p. 3-14.
- User's manual of STABView Software.
- Veeken, C. A. M., Davies, D. R., Kenter, C. J. and Kooijman T A.P. 1991. "Sand production prediction review: developing an integrated approach." 66th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, Dallas, TX, October 6-9.
- Zoback, M., 2007. "Reservoir Geomechanics", Cambridge University Press.
- Zoback, M.D., Barton C.A., Brudy, M., Castillo, D.A., Finkbeiner, T., Grollimund, B.R., Moos, D.B., Peska, P., Ward, C.D., Wiprut D.J. 2003. "Determination of stress orientation and magnitude in deep wells", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 40, 1049-1076.