

## بررسی و تعیین ناحیه‌ی مناسب جهت عملیات سوراخکاری در ماسه سنگ‌های مخزن نفتی آسماری

سید فخرالدین طاهرزاده موسویان<sup>۱</sup>، محمدمبین غلامزاده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران  
taherzadeh\_res@yahoo.com

<sup>۲</sup>عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران m.a.gholamzadeh@iauo.ac.ir

### چکیده :

در این مقاله انتخاب ناحیه‌ی مناسب جهت عملیات سوراخکاری در مخزن نفتی آسماری انجام شده است. میزان اشباع آب، تخلخل، تراوایی و تعیین پنجره ایمن و پایدار گل حفاری از پارامترهای بسیار مهم در این انتخاب است. تخلخل و تراوایی از خصوصیات سنگ مخزن است. تخلخل با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی به دست می‌آید و تراوایی براساس داده‌های تست چاه آزمایشی محاسبه می‌شود. به منظور محاسبه‌ی مناسب میزان اشباع آب در سازند مورد نظر، مدل‌های آرچی، حسین، سیمان‌دوکس، دال، جوهاز، شلومبرژه و اندونزی استفاده شده و نتایج آن با مدل‌های دولایه‌ای محاسبه اشباع آب که توسط داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده‌اند مقایسه می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مدل اندونزی بهترین مدل پیشنهادی برای محاسبه اشباع آب است. در ادامه محاسبه خواص ژئومکانیکی سنگ مخزن به وسیله‌ی اطلاعات بدست آمده از نمودارهای پتروفیزیکی انجام می‌گردد. با توجه به خواص بدست آمده، ارزیابی ژئومکانیکی و تحلیل نتایج بر اساس معیار شکست موگی-کلمب انجام می‌شود. با استفاده از این ارزیابی نوع شکست در سازند تعیین می‌شود. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که رژیم تنش در ناحیه مورد مطالعه از نوع تنش نرمال است. پایین‌ترین حد مجاز فشار گل منطبق بر مدل گسیختگی برشی عمیق و بالاترین حد مجاز فشار گل منطبق با مدل شکستگی برشی عمیق ضربه‌ای است. پس از تعیین حد مجاز فشار گل، پنجره‌ی ایمن و پایدار گل نیز تعیین می‌گردد.

کلید واژه‌ها: عملیات سوراخکاری، اشباع آب، پنجره ایمن و پایدار گل، تخلخل، سازند آسماری

### Abstract:

In this paper, selecting the best location for perforation operation in Asmari formation. Water saturation, porosity, permeability, and the safe and stable mud window are very important parameters in the selection. Porosity and permeability of the physical properties of reservoir rocks. porosity and permeability are calculated based on using wireline Logs and well test data. for selected the best model for water saturation, initially Archie, Hossin, Simandoux, Doll, Juhasz, Schlumberger, and Indonesia Equations were used for calculating the water saturation for Asmari formation. The results were compared with double-layer models (developed by lab data) used for measuring water saturation. According to the results, the Indonesia model is the best one for measuring the water saturation. Then, the geomechanical properties of the reservoir were analyzed using the information gained from the petrophysical logs. By using the measured properties, both geomechanical evaluation and analysis results were carried out based on Mogi - Coulomb Failure Criterion. The evaluation showed the failure type of the formation. According to the results, the stress regime of the Asmari formation in Ahwaz oilfield is normal stress regime. The minimum and maximum allowable mud weight pressures are based on shear wide break out model and shear deep knock out model, respectively. When the allowable limits of the mud pressure were set, then the stable mud weight window was determined.

Keywords : Operation Perforation, Water Saturation, Safe And Stable Mud Window, Porosity, Asmari Formation

## مقدمه :

یکی از مهمترین اهداف در علم مهندسی نفت، بهبود و افزایش تولید است. عواملی که می‌تواند باعث کاهش تولید شود انتخاب نامناسب محل سوراخکاری است. این انتخاب نامناسب شامل تخمین نادرست اشباع آب، تعیین نادرست پنجره ایمن و پایدار گل حفاری و بروز اشتباه در تعیین تخلخل و تراوایی سازند تولیدی است. تعیین مناسب این پارامترها در افزایش تولید نقش بسزایی دارند. میزان اشباع آب در تعیین حجم و ستون مفید هیدروکربور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای تخمین اشباع آب می‌توان از مدل‌های پتروفیزیکی اشباع آب که در صنعت کاربرد زیادی دارند استفاده نمود. همچنین با ارزیابی ژئومکانیکی و تعیین معیار شکست مناسب برای سنگ مخزن می‌توان پنجره ایمن و پایدار گل و محل مناسب محل سوراخکاری را انتخاب نمود.

آرچی [۱] مدل اشباع آب خود را براساس سازندهای تمیز و عاری از شیل ارائه کرد که این مدل در سازندهای شیلی به خوبی پاسخگوی تخمین اشباع آب نبود. حسین [۲] اشباع آب را به صورت تابعی از تخلخل، ضریب سیمان شدگی، ضریب پیچاپیچی، مقاوت شیل، مقاوت کل سازند و مقاوت آب سازند بیان کرد. سیماندوکس [۳] مدل پیشنهادی خود را بر پایه‌ی آزمایش بر روی مخلوطی از ماسه و مونت‌موریلونیت بیان کرد. پوپان و لیواکس [۴] فرمولی که به نام اندونزی مشهور است را ارائه کردند. آنها اشباع آب را به صورت تابعی از حجم شیل، مقاوت شیل، مقاوت کل سازند و مقاوت آب سازند بیان کرد. جوهاز [۵] اشباع آب را به صورت تابعی از حجم شیل، تخلخل شیل، رسانایی شیل، تخلخل سازند و رسانایی آب سازند، بیان کرد. رضایی و لمون [۶] توانستند روش جدیدی را برای محاسبه آب اشباع شدگی مفید در سازندهای شیلی حاوی رس‌های با ظرفیت تبادل کاتیونی کم ارائه کنند. آنها این مدل را با در نظر گرفتن مقدار ریز تخلخل‌ها در رس‌ها معرفی کردند و روایی [۷] با استفاده از نمودارهای NMR و ECS محاسبه حجم شیل را بهبود بخشید. در نتیجه مدل‌های حجم شیل میزان اشباع آب را با دقت بیشتری محاسبه کرد. آبانگوا و همکاران [۸] توانستند با استفاده از مدل آب دوگانه و مدل وکسمن- اسمیتس میزان اشباع آب را در میدان نفتی دلتای نیجر محاسبه کنند. آنها میزان اشباع آب تخمین زده شده توسط مدل آب دوگانه را با مدل وکسمن- اسمیتس مقایسه کردند. علیمرادی [۹] تمامی مدل‌های محاسبه اشباع آب را بررسی و میزان دقت آنها را با یکدیگر مقایسه نمود. ورنیک و زویاک [۱۰] دریافتند که استفاده از معیار مور- کلمب نمی‌تواند تنش‌های برچای موثر در شکست سازند را به خوبی تخمین نمی‌زند. بنابراین آنها از معیاری استفاده نمودند که تأثیر  $\sigma_2$  را بر مقاوت سازند در نظر می‌گرفت. العجمی و زیمرمن [۱۱] یک معیار شکست سه بعدی را به نام موگی- کلمب معرفی کردند. العجمی و زیمرمن [۱۲] معیار شکست موگی- کلمب را توسعه داده و نشان دادند که برای سنگ‌های متعددی داده‌های شکست، از دقت خوبی برخوردار است.



**بحث :**

با توجه به داده‌های پتروفیزیکی در دسترس ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین تخلخل و لیتولوژی در سازند آسماری میدان اهواز انجام می‌گیرد. به منظور تعیین اشباع آب مدل‌های آرچی، حسین، سیماندوکس، دال، جوهاز، شلومبرژه و اندونزی استفاده می‌شود و نتایج آن با مدل‌های دولایه‌ای محاسبه اشباع آب که توسط داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده‌اند مقایسه می‌گردد. سپس بهترین مدل اشباع آب انتخاب می‌شود. با محاسبه خواص ژئومکانیکی سنگ مخزن توسط نمودارهای پتروفیزیکی صوتی، معیار مناسب برای شکست سازند انتخاب می‌شود. همچنین بر اساس این معیار شکست، مدل مکانیکی شکست دیواره چاه و پنجره‌ی ایمن و پایدار گل تعیین می‌گردد. میزان تراوایی نیز براساس اطلاعات اداره ارزیابی مخازن شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب بدست آمده است. با استفاده از داده ها و محاسبات یاد شده در بالا محل مناسب برای عملیات سوراخکاری تعیین می‌شود.

**۱- تعیین مقادیر تخلخل و اشباع آب**

نمودارهای تخلخل نوترون و دانسیته برای پیدا کردن تخلخل تصحیح شده و لیتولوژی سازند هستند. برای بدست آوردن تخلخل و لیتولوژی، لازم است که نمودار متقاطع مناسب از نمودارهای متقاطع شلومبرژه انتخاب شود. دو عامل اساسی در انتخاب نمودار متقاطع، نوع سیال حفاری مورد استفاده شده در عملیات حفاری و ابزارهای اندازه‌گیری نوترون و دانسیته هستند. به دلیل استفاده از ابزار محاسبه تخلخل نوترون و استفاده از ابزار لیتودانسیته در اندازه‌گیری چگالی سازند از نمودار متقاطع CP-1f استفاده شده است

**۱-۱ بررسی مدل اشباع آب آرچی و مدل‌های حجم شیل****۱-۱-۱ مدل اشباع آب آرچی**

آرچی کار خود را بر روی نمونه‌های زیادی از مغزه‌های سازندهای تمیز در گلف کاست متمرکز کرد. او تخلخل، تراوایی و مقاومت ویژه‌ی نمونه‌ها را که با شوری‌های مختلف از ۲۰ ppm تا ۱۰۰۰ ppm اشباع شده بودند اندازه‌گیری کرد. آرچی فرمول معروف خود را به صورت رابطه‌ی (۱) بیان کرد.

$$S_w^n = \frac{R_w}{\phi^m R_t} \quad (1)$$

در این معادله  $R_w$  مقاومت آب سازندی  $\phi$  تخلخل و  $m$  ضریب سیمان‌شدگی است و مقدار آن برابر ۱/۸ تا ۲ است.  $R_t$  مقاومت واقعی سازند  $S_w$  اشباع آب و  $n$  توان اشباع‌شدگی است که آرچی آن را برابر ۲ ثابت فرض کرد

**۱-۱-۲ مدل اشباع آب اندونزی**

پوپان و لیواکس مدل اشباع آب خود را به صورت تابعی از حجم شیل، مقاومت شیل، مقاومت کل سازند و مقاومت آب سازند بیان کردند. آن‌ها مقاومت حقیقی سازند و اشباع آب را توسط رابطه‌ی (۲) به یکدیگر مرتبط کردند.

$$S_w = \left[ \frac{1}{R_t \left[ \frac{\phi^m}{aR_w} + 2 \left( \frac{\phi^m V_{caly}^{(2-V_{caly})}}{aR_w R_{caly}} + \frac{V_{caly}^{(2-V_{caly})}}{R_{caly}} \right)^2 \right]} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

در این رابطه  $c$  که معمولا برابر ۱ در نظر گرفته شده و  $R_{clay}$  مقاومت ویژه شیل است. روابط مدل‌های اشباع آب حسین، سیماندوکس و جوهاز در مراجع [۲]، [۳]، [۵] و مدل‌های دال و شلومبرژه در مرجع [۱۴] موجود هستند.

**۲- تنش‌های اطراف دیواره چاه****۲-۱ محاسبه خواص ژئومکانیکی و تعیین تنش‌های برجا و القایی در سازند آسماری**

در ابتدا خصوصیات الاستیک مخزن درحالت دینامیکی محاسبه می‌شود. محاسبه‌ی خصوصیات الاستیک مخزن در حالت دینامیکی با رابطه (۳) بدست می‌آید. روابط (۳) تا (۷) از مرجع [۱۳] آورده شده‌اند.

$$\nu_d = \frac{0.5 \times \left(\frac{\Delta t_s}{\Delta t_c}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\Delta t_s}{\Delta t_c}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

$$G_d = \frac{92915.71429 \times \rho}{\Delta t_s^2}$$

$$E_d = 2 \times G_d \times (1 + \nu_d)$$

که در آن  $E_d$  (Gpa) مدول یانگ دینامیکی،  $G_d$  (Gpa) مدول برشی دینامیکی،  $\rho$  ( $\frac{g}{cm^3}$ ) چگالی سازند،  $\Delta t_c$  ( $\frac{\mu sec}{ft}$ ) زمان عبور موج فشاری،  $\Delta t_s$  ( $\frac{\mu sec}{ft}$ ) زمان عبور موج برشی و  $\nu_d$  ضریب پواسون دینامیکی هستند. از داده‌های دینامیکی نمی‌توان به طور مستقیم در ساخت مدل‌های مکانیکی استفاده کرد. بنابراین باید خصوصیات دینامیکی را به استاتیکی تبدیل نمود. معادله (4) خصوصیات الاستیک دینامیکی را به استاتیکی تبدیل می‌کند.

$$E_s = 0.4145E_d - 1.0593 \quad (4)$$

$$\nu_s = \nu_d$$

در این رابطه  $E_s$  (Gpa) مدول یانگ استاتیکی و  $\nu_s$  ضریب پواسون استاتیکی هستند. برای بدست آوردن تنش‌های برجا ابتدا باید فشار سیال منفذی محاسبه شود. جهت محاسبه فشار سیال منفذی به گرادیان فشار سازند نیاز است. فشار سیال منفذی با استفاده از معادله (5) بدست می‌آید.

$$P_p = PG \times Z \quad (5)$$

در این رابطه  $PG$  گرادیان فشار سیال منفذی و  $Z$  عمق سازند است. تنش‌های برجا یکی از پارامترهای مهم ورودی در معیارهای شکست است. تنش عمودی و تنش‌های افقی حداکثر و حداقل سه تنش اصلی هستند. تنش عمودی  $\sigma_v$  (Mpa) از سطح تا عمق توسط رابطه (6) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_v = \int_0^z \rho(z) \times g \times dz = \bar{\rho}gz \quad (6)$$

که در این رابطه  $\rho(z)$  دانسیته سنگ و تابعی از عمق است،  $g$  ثابت شتاب گرانشی و  $\bar{\rho}$  دانسیته متوسط هستند. مقدار تنش افقی حداقل و حداکثر توسط روابط پروالاستیک با رابطه (7) تعیین می‌گردد.

$$\sigma_h = \frac{\nu_s}{1-\nu_s} \sigma_v - \frac{\nu_s}{1-\nu_s} \alpha P_p + \alpha P_p + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \varepsilon_y + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \varepsilon_x$$

$$\sigma_H = \frac{\nu_s}{1-\nu_s} \sigma_v - \frac{\nu_s}{1-\nu_s} \alpha P_p + \alpha P_p + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \varepsilon_x + \frac{E_s}{1-\nu_s^2} \varepsilon_y \quad (7)$$

$$\alpha = 1, \varepsilon_x = 1.5, \varepsilon_y = 0.5$$

که در این روابط  $\sigma_h$  (Mpa) تنش افقی حداقل،  $\sigma_H$  (Mpa) تنش افقی حداکثر،  $\alpha$  ضریب بایوت،  $\varepsilon_x$  و  $\varepsilon_y$  کرنش در جهت تنش افقی حداقل و حداکثر هستند. براساس معادلات کرنش تنش‌های القایی موجود در دیواره چاه عمودی در حالت حداکثر و حداقل مقدار خود توسط رابطه (8) بیان می‌شوند [12].

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta_{\max}} &= A - P_w, \quad \sigma_{\theta_{\min}} = D - P_w \\ \sigma_{z_{\max}} &= B, \quad \sigma_{z_{\min}} = E \\ \sigma_r &= \sigma_3 = P_w - P_p \\ A &= 3\sigma_H - \sigma_h + P_p, \quad B = \sigma_v + 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) - P_p \\ D &= 3\sigma_h - \sigma_H + P_p, \quad E = \sigma_v - 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) - P_p \\ a' &= 2c \times \cos \varphi, \quad b' = \sin \varphi \end{aligned} \quad (8)$$

که در این روابط  $\sigma_{\theta}$  (Mpa) تنش مماسی،  $\sigma_z$  (Mpa) تنش محوری،  $\sigma_r$  (Mpa) تنش شعاعی و  $c$  چسبندگی و  $\varphi$  زاویه اصطکاک داخلی است هستند

### ۲-۲ معیار شکست موگی-کلمب

به دلیل آنکه معیار موگی-کلمب تأثیر تنش میانی را در نظر می‌گیرد برای تحلیل پایداری چاه مناسب‌تر است. نتایج محدوده‌ی مجاز بالاترین و کمترین فشار گل در جدول زیر برای انواع مدل‌های شکست برشی نشان داده شده است.

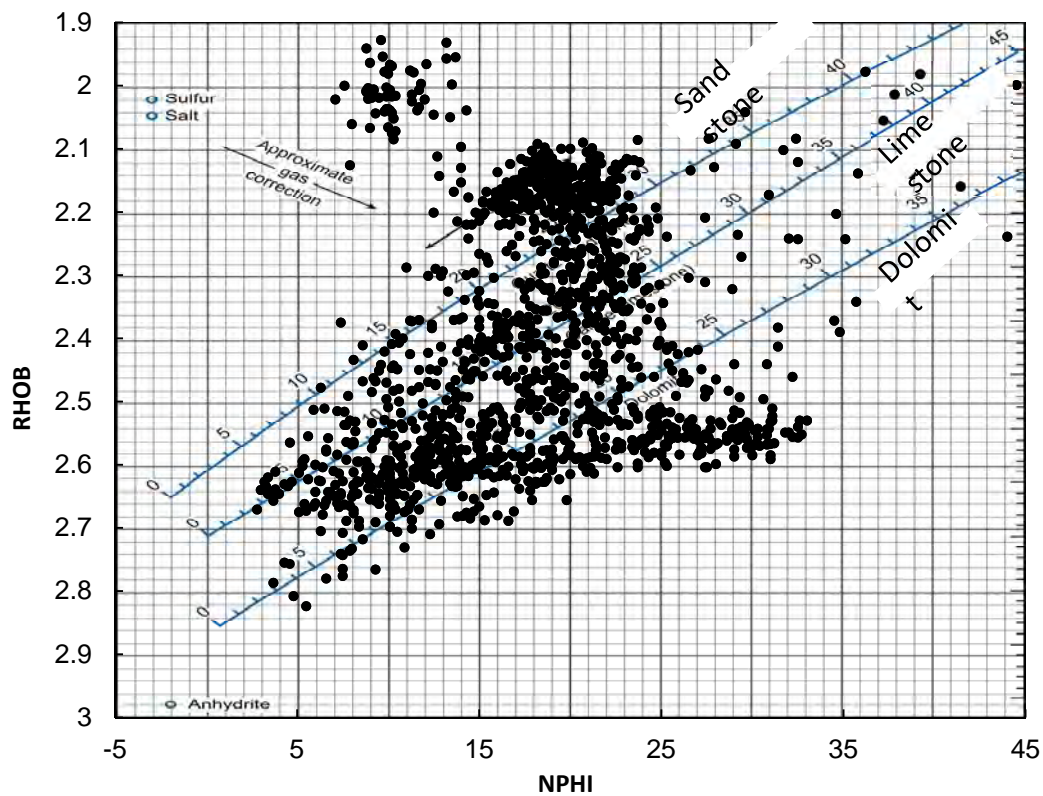
جدول (۱) انواع مدل‌های شکست برشی براساس معیار موگی-کلمب [۱۲]

مدل شکست های برشی	$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	شکست رخ می دهد اگر
گسیختگی برشی عمیق SWBO	$\sigma_{\theta\theta} \geq \sigma_{zz} \geq \sigma_{rr}$	$P_w \leq 1/2A - 1/6 \sqrt{12 [a' + b'(A - 2P_p)]^2 - 3(A - 2B)^2}$
گسیختگی برشی ضربه ای کم عمق SSKO	$\sigma_{zz} \geq \sigma_{\theta\theta} \geq \sigma_{rr}$	$P_w \leq [1/(6 - 2b'^2)] [(3A + 2b'K) - \sqrt{H + 12(K^2 + b'AK)}]$
گسیختگی برشی پله ای با زاویه زیاد SHAE	$\sigma_{zz} \geq \sigma_{rr} \geq \sigma_{\theta\theta}$	$P_w \geq [1/(6 - 2b'^2)] [(3D + 2b'M) - \sqrt{J + 12(M^2 + b'DM)}]$
گسیختگی برشی باریک SNBO	$\sigma_{rr} \geq \sigma_{zz} \geq \sigma_{\theta\theta}$	$P_w \geq 1/2D - 1/6 \sqrt{12 [a' + b'(D - 2P_p)]^2 - 3(D - 2E)^2}$
گسیختگی برشی ضربه ای عمیق SDKO	$\sigma_{rr} \geq \sigma_{\theta\theta} \geq \sigma_{zz}$	$P_w \geq [1/(6 - 2b'^2)] [(3D + 2b'N) - \sqrt{J + 12(N^2 + b'DN)}]$
گسیختگی برشی پله ای با زاویه کم SLAE	$\sigma_{\theta\theta} \geq \sigma_{rr} \geq \sigma_{zz}$	$P_w \leq [1/(6 - 2b'^2)] [(3A + 2b'G) - \sqrt{H + 12(G^2 + b'AG)}]$

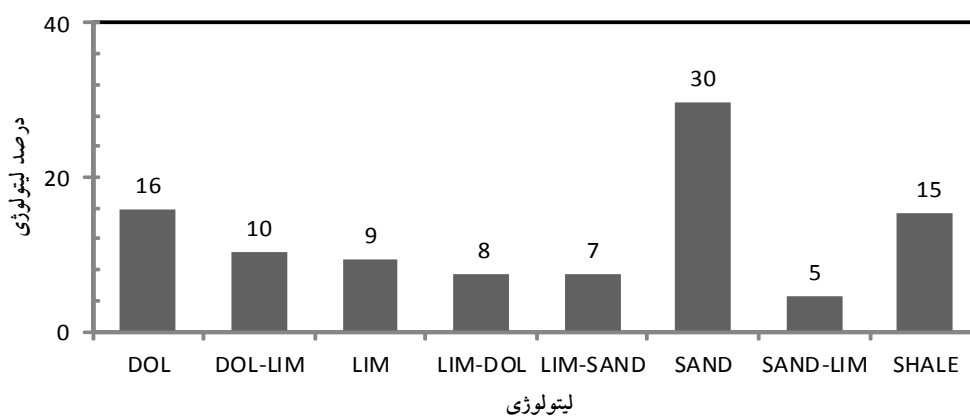
در این جدول  $J$  و  $H$  با رابطه (۹) تعریف می‌شود [۱۲].

$$\begin{aligned} J &= D^2(4b'^2 - 3) + (E^2 - DE)(4b'^2 - 12), \quad N = a' + b'(E - 2P_p), \quad M = N + b'D \\ H &= A^2(4b'^2 - 3) + (B^2 - AB)(4b'^2 - 12), \quad K = a' + b'(B - 2P_p), \quad G = K + b'A \end{aligned} \quad (9)$$

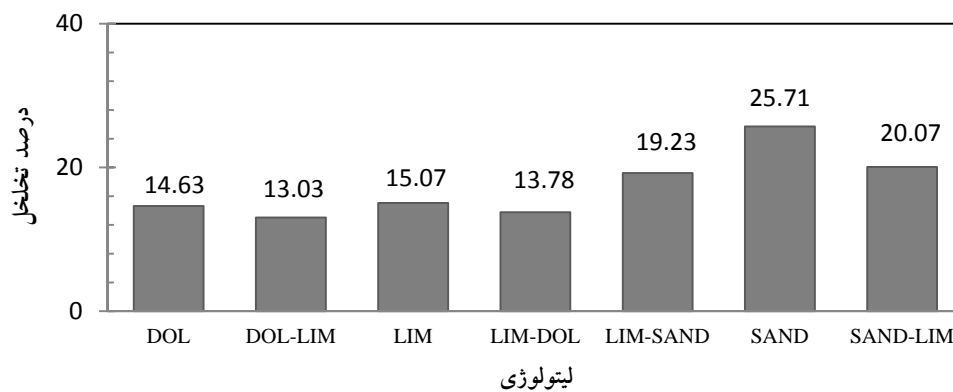
شکل ۱ توزیع تخلخل و لیتولوژی را نیز نشان می‌دهد. برای نمایش این توزیع از کراس پلات نوترون-دانسیتته cp-1f استفاده می‌شود. این کراس پلات بر اساس نمودارهای نوترون، دانسیته، دانسیته الکترونی سازند و نمودارهای الکتریکی می‌گردد. شکل ۲ توزیع لیتولوژی در سازند مورد نظر را برحسب درصد نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است ماسه سنگ، دولومیت و شیل بیشترین درصد از حجم لیتولوژی سازند را تشکیل می‌دهند. شکل ۳ میزان تخلخل هر یک از لیتولوژی‌های سازند برحسب درصد را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود کمترین و بیشترین میزان تخلخل، به ترتیب در سنگ‌های دولومیت آهکی و ماسه سنگ‌های خالص ظاهر شده است.



شکل ۱ توزیع تخلخل و لیتولوژی بر اساس نمودار مقاطع نوترون-دانسیته CP-1f



شکل ۲ توزیع لیتولوژی در سازند مورد نظر



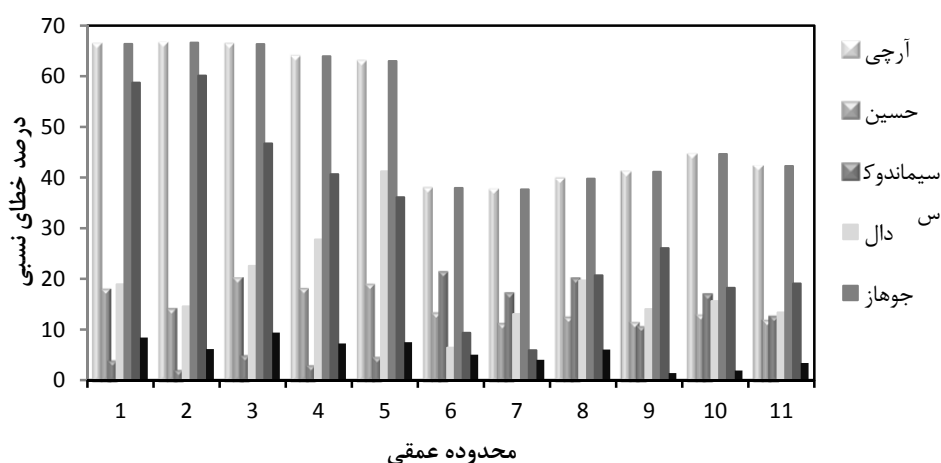
شکل ۳ توزیع تخلخل در سازند مورد نظر

### ۲-انتخاب مدل اشباع آب

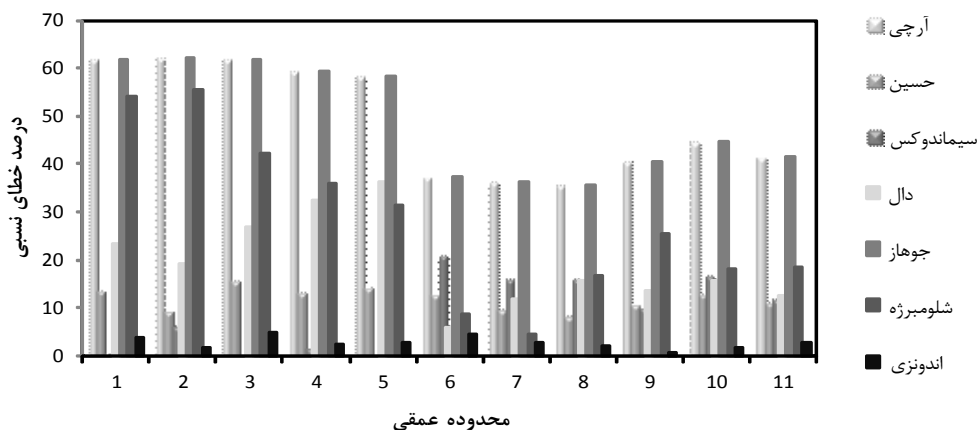
به منظور اطمینان از روش ارائه شده و همچنین انتخاب مدل اشباع آب مناسب، مقادیر محاسبه شده اشباع آب توسط مدل‌های مختلف با دو روش آب دوگانه و وکسمن- اسمیتس که با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده‌اند مقایسه می‌شوند. جدول ۲ میزان اشباع آب توسط مدل‌های آرچی، حسین، سیماندوکس، دال، جوهاز، شلومبرژه، اندونزی، آب دوگانه و وکسمن- اسمیتس را در عمق‌های مشخص نشان می‌دهد. به منظور انتخاب مدل مناسب مقدار خطای هر یک از مدل‌ها با مدل آب دوگانه و وکسمن- اسمیتس محاسبه می‌گردد. شکل ۴ و شکل ۵ مقدار خطای مدل‌های مختلف اشباع آب را به ترتیب با مدل وکسمن- اسمیتس و آب دوگانه نشان می‌دهد.

جدول ۲ میزان اشباع آب در مدل‌های مختلف حجم شیل

محدوده عمقی	آرچی	حسین	سیماندوکس	دال	جوهاز	شلومبرژه	اندونزی	آب دوگانه	وکسمن- اسمیتس
۱	۱	۰/۵۱۵۸	۰/۳۷۴۰	۰/۱۴۶۷	۱	۰/۹۲۳۵	۰/۴۲۰۲	۰/۳۸۱۰	۰/۳۳۶۰
۲	۱	۰/۴۷۴۳	۰/۳۱۴۲	۰/۱۸۷۸	۱	۰/۹۳۴۷	۰/۳۹۴۸	۰/۳۷۸۶	۰/۳۳۲۵
۳	۱	۰/۵۳۸۶	۰/۳۸۴۹	۰/۱۱۰۸	۱	۰/۸۰۳۸	۰/۴۳۰۲	۰/۳۸۱۱	۰/۳۳۶۴
۴	۱	۰/۵۴۱۴	۰/۳۹۰۰	۰/۰۸۲۷	۱	۰/۷۶۷۰	۰/۴۳۲۸	۰/۴۰۶۹	۰/۳۶۰۴
۵	۱	۰/۵۵۹۸	۰/۴۱۵۹	۰/۷۸۲۳	۱	۰/۷۳۱۱	۰/۴۴۵۰	۰/۴۱۷۳	۰/۳۷۰۰
۶	۱	۰/۷۵۳۴	۰/۸۳۵۲	۰/۶۸۴۸	۱	۰/۷۱۴۲	۰/۶۷۰۹	۰/۶۲۵۰	۰/۶۲۰۵
۷	۱	۰/۷۳۴۷	۰/۷۹۵۸	۰/۷۵۳۸	۱	۰/۶۸۲۳	۰/۶۶۳۴	۰/۶۳۵۲	۰/۶۳۳۲
۸	۱	۰/۷۲۶۲	۰/۸۰۳۲	۰/۷۹۸۹	۱	۰/۸۰۹۱	۰/۶۶۳۳	۰/۶۴۲۵	۰/۶۰۲۰
۹	۱	۰/۷۰۳۲	۰/۶۹۵۲	۰/۷۳۹۱	۱	۰/۸۴۹۵	۰/۶۰۲۶	۰/۵۹۳۷	۰/۵۸۸۷
۱۰	۱	۰/۶۸۲۹	۰/۷۳۲۲	۰/۷۰۹۷	۱	۰/۷۳۵۹	۰/۵۷۲۵	۰/۵۵۳۷	۰/۵۵۳۶
۱۱	۱	۰/۶۹۵۶	۰/۷۰۳۲	۰/۷۱۰۸	۱	۰/۷۶۸۱	۰/۶۱۱۲	۰/۵۸۳۲	۰/۵۷۷۲



شکل ۴ درصد خطای مدل‌های مختلف اشباع آب با مدل وکسمن- اسمیتس

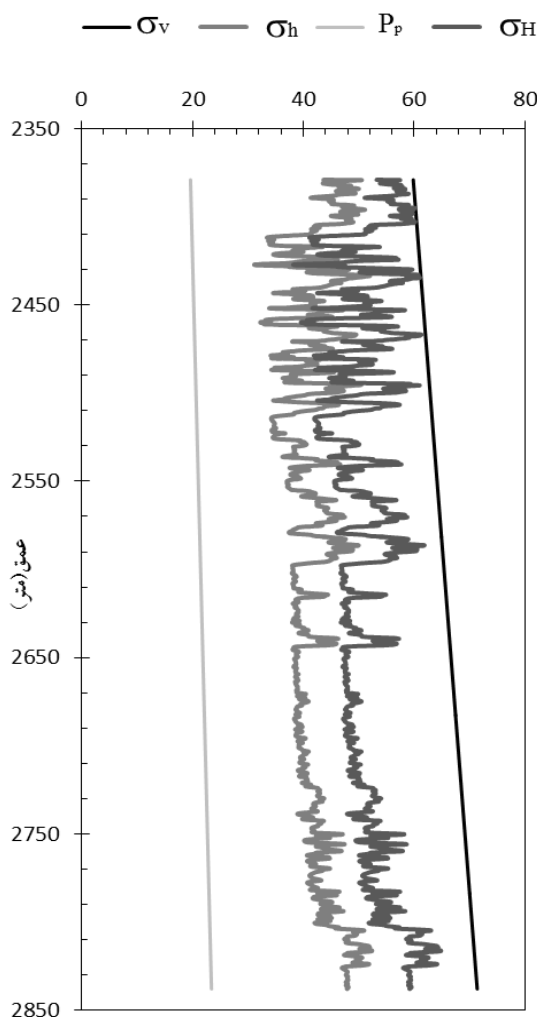


شکل ۵ درصد خطای مدل‌های مختلف اشباع آب با مدل آب دوگانه

همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشخص است مدل اندونزی کمترین میزان خطا را با مدل‌های وکسمن- اسمیتس و آب دوگانه دارد. بیشترین مقدار خطای مدل اندونزی با مدل وکسمن- اسمیتس و آب دوگانه به ترتیب ۹/۳۸ و ۴/۹۱ درصد است. همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود مدل اندونزی بهترین مدل از مدل‌های حجم شیل است که می‌تواند میزان اشباع آب را در این سازند با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کند.

#### ۴- تعیین پنجره ایمن و پایدار گل و انتخاب مکان مناسب برای عملیات سوراخکاری

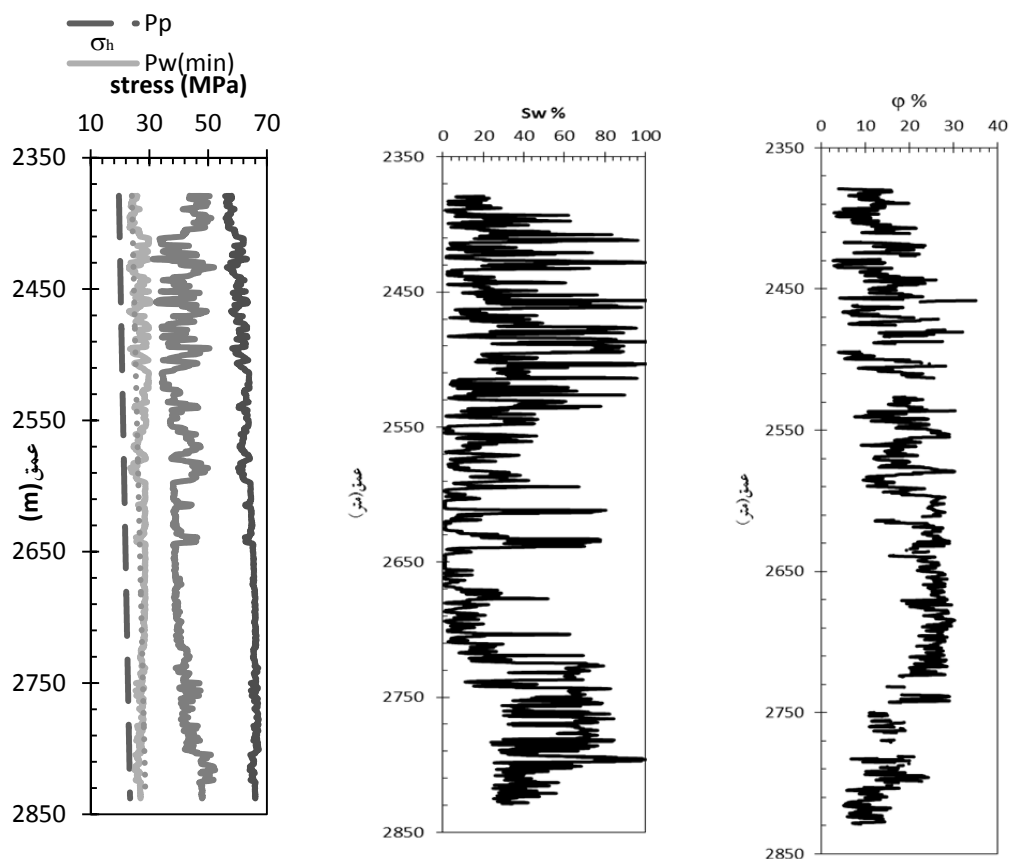
پنجره وزنی گل ایمن به گونه‌ای است که فشار گل، میان فشار سیال منفذی و تنش افقی حداقل قرار گیرد. هنگامی که فشار گل کمتر از فشار سیال منفذی باشد سیال از سازند به درون چاه جریان می‌یابد. اگر فشار گل از تنش افقی حداقل بیشتر شود شکستگی‌های القایی در سازند ایجاد شده و هرزروی گل به صورت جزئی اتفاق می‌افتد. پنجره وزنی گل پایدار محدوده‌ای میان پایین‌ترین حد مجاز فشار گل و تنش افقی حداقل است. پنجره گل پایدار سبب می‌شود که چاه از شکستگی کششی و یا گیر لوله که توسط وزن زیاد گل و همچنین شکستگی برشی که توسط وزن کم گل صورت می‌گیرد ایمن باشد. شکل ۶ رژیم تنش را در سازند آسماری میدان نفتی اهواز نشان می‌دهد.



شکل ۶ رژیم تنش در سازند آسماری میدان اهواز

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود به دلیل آنکه  $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$  بوده رژیم تنش در ناحیه مورد مطالعه نرمال است. تعیین رژیم تنش برای رسم پنجره‌ی ایمن و پایدار گل ضروری است. شکل ۷-۱، شکل ۷-۱۱ و شکل ۷-۱۱۱ به ترتیب تخلخل، درصد اشباع آب مدل اندونزی و پنجره ایمن و پایدار گل را نشان می‌دهد. در این نمودار فشار سیال منفذی، کمترین میزان مجاز برای فشار گل منطبق بر گسیختگی برشی عمیق، کمترین تنش افقی و بیشترین میزان مجاز برای فشار گل منطبق بر گسیختگی برشی ضربه‌ای عمیق را بر حسب عمق سازند نشان می‌دهد.





شکل ۱-۷ تخلخل شکل ۲-۷ درصد اشباع آب مدل اندونزی شکل ۳-۷ پنجره ایمن و پایدار گل

با توجه به نمودار شکل ۱-۷- III محدوده میان فشار سیال منفذی تا تنش افقی حداقل به عنوان پنجره ایمن گل در نظر گرفته می‌شود. همچنین محدوده میان حداقل میزان مجاز برای فشار گل و تنش افقی حداقل به عنوان پنجره پایدار گل در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که فشار بزرگ‌تر از تنش افقی حداقل باشد امکان هرزروی گل وجود دارد. با توجه به شکل ۱-۷ و شکل ۲-۷، در فاصله ۲۳۹۰ عمقی تا ۲۴۷۰ متری میزان تخلخل پایین و میزان اشباع آب بالا است. همچنین مشاهده می‌شود که نمودارهای پنجره ایمن و پایدار گل کمترین فاصله را نسبت به یکدیگر دارند به همین دلیل این فاصله عمقی محل مناسبی جهت انجام عملیات سوراخکاری نیست. در فاصله عمقی ۲۴۳۰ تا ۲۷۳۰ متری میزان تخلخل بالا و میزان اشباع آب پایین است. در ناحیه انتخاب شده بالاترین حد مجاز فشار گل و حداقل تنش بر جای افقی مقدار ثابتی دارد. این پیوستگی در ثابت بودن میزان حد بالای فشار گل و حداقل تنش بر جای افقی، در عملیات سوراخکاری و کنترل جهت این عملیات تاثیر بسزایی دارد. مقدار فشار انتخاب شده برای گل حفاری ( $P_w$ ) در محدوده میان فشار سیال منفذی و حداقل فشار مجاز وزن گل قرار دارد. این فشار در محدوده پنجره ایمن گل قرار دارد. این فاصله عمقی مکان مناسبی برای عملیات سوراخکاری است. جدول ۳ و ۴ به ترتیب خصوصیات پتروفیزیکی و ژئومکانیکی ناحیه مناسب جهت عملیات سوراخکاری را نشان می‌دهد.

جدول ۳ متوسط خصوصیات پتروفیزیکی ناحیه مناسب جهت عملیات سوراخکاری

فاصله عمقی (m)	درصد تخلخل	درصد اشباع آب	پرتو گاما (API)	تراوایی (md)
۲۴۳۰-۲۷۳۰	۲۳/۳۴	۱۷/۷۳	۳۰/۷۵	۶۵۰۰

جدول ۴ متوسط خصوصیات ژئومکانیکی ناحیه مناسب جهت عملیات سوراخکاری

فاصله عمقی (m)	فشار وزن گل (Mpa)	فشار سیال منفذی (Mpa)	تنش عمودی (Mpa)	تنش افقی حداقل (Mpa)	تنش افقی حداکثر (Mpa)	فشار مجاز وزن گل (Mpa)	فشار مجاز وزن گل (Mpa)
۲۴۳۰-۲۷۳۰	۲۷/۰۸	۲۲/۱۲	۶۷/۴۰	۳۹/۸۴	۴۹/۰۹	۲۸/۱۶	۶۵/۵۱



## نتیجه گیری :

با توجه به داده‌های پتروفیزیکی در دسترس ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین تخلخل و لیتولوژی در سازند آسماری میدان اهواز انجام شد. به منظور تعیین اشباع آب مدل‌های آرچی، پوپان، حسین، سیمانوکس، دال، جوهاز، شلومبرژه و اندونزی استفاده شد و نتایج آن با مدل‌های دولایه‌ای محاسبه اشباع آب که توسط داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده‌اند مقایسه گردید. سپس بر این اساس بهترین مدل اشباع آب اشباع آب اندونزی انتخاب شد. با محاسبه خواص ژئومکانیکی سنگ مخزن توسط نمودارهای پتروفیزیکی صوتی، معیار مناسب برای شکست سازند انتخاب می‌شود. همچنین بر اساس این معیار شکست، مدل مکانیکی شکست دیواره چاه و پنجره‌ی ایمن و پایدار گل تعیین می‌گردد. میزان تراوایی نیز براساس اطلاعات اداره ارزیابی مخازن شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب بدست آمد. با استفاده از داده‌ها و محاسبات یاد شده در بالا محل مناسب برای عملیات سوراخکاری تعیین گردید.



## منابع فارسی :

[۱۴] رضایی محمدرضا اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی انتشارات دانشگاه تهران ۶۹۹ صفحه ۱۳۸۵



## References:

- [۱] Archie, G.E., 1941. "The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics". *Transactions of AIME*, 146, 54–62
- [۲] Hossin, A., 1960, Calculé Des Saturation En Eau Por L Methode Du Ciment Argileux (Formule The Archi Generalisee), Bull.Assoc.Francaise Tech.Pet., 140, 31 March
- [۳] Simandoux, P., 1963. Dielectric measurements on porous media, application to the measurements of water saturation: study of behavior of argillaceous formations. *Revue de l'Institut Francaise du Petrol* 18, 193–215 (Translated in shaly sands reprint volume, SPWLA, Houston, pp. 97–124).
- [۴] Poupon, A., Leveaux, J., 1971. Evaluation of water saturation in shaly formation. *Proceeding of SPWLA 12th Annual Logging Symposium*.
- [۵] Juhaz, I., 1981, Normalized  $Q_v$ , The Key To Shaly Sand Evaluation Using The Waxman-Smits Equation in The Absence Of Core Data, SPWLA 22 Annual Logging Symposium, June 23-26
- [۶] Rezaee, M.R., Lemon, N.M., 1996. Petrophysical evaluation of kaolinite-bearing sandstones: water saturation ( $S_w$ ), an example of the Tirrawarra sandstone reservoir, copper basin, Australia. *Proceeding of SPE Asia Pacific Oil & Gas conference*. Paper SPE, 37023
- [۷] Al-Ruwaili, S.B., Al-Waheed, H.H., 2004. Improved petrophysical methods and techniques for shaly sands evaluation. *Proceeding of SPE International Petroleum Conference, Mexico*. Paper SPE, 89735
- [۸] Abangwu, O., Suleiman, A., Nwosu, C., 2010, The Impact of Different Shaly Sand Models on In Place Volumes and Reservoir Producibility in Niger Delta Reservoirs - The Dual Water and Normalized Waxman-Smits Saturation Models. *Society of Petroleum Engineers. Nigeria Annual International Conference and Exhibition*, 31 July

- [<sup>۹</sup>] Alimoradi, A., Moradzadeh, A and Bakhtiari, M. R., “Methods of water saturation estimation: Historical perspective”, *Journal of Petroleum and Gas Engineering*, 2011, Vol. 2, pp. 45-53.
- [<sup>۱۰</sup>] Vernik, L. and Zoback, M. D., “Estimation of maximum horizontal principal stress magnitude from stress-induced well bore breakouts in the Cajon Pass scientific research borehole”, *J Geophys Res*, 1992, Vol. 97, pp. 5109–19
- [<sup>۱۱</sup>] Al-Ajmi AM, Zimmerman RW. Relationship between the parameters of the Mogi and Coulomb failure criterion. *Int J Rock Mech Min Sci* 2005;42(3):431–9.
- [<sup>۱۲</sup>] Al-Ajmi AM, Zimmerman RW. Stability analysis of vertical boreholes using the Mogi–Coulomb failure criterion. *Int J Rock Mech Min Sci* 2006;43(3):1200–11.
- [<sup>۱۳</sup>] M. Afsari, M.R. Ghafoori, M. Roostaeian, and A. Haghshenas, A. Ataei and R. Masoudi “Mechanical earth model (mem): an effective tool for borehole stability analysis and managed pressure drilling (case study)” 2009; SPE 118780