

تخمین مقدار تنش قائم با استفاده از اطلاعات لاگ‌های گرافیکی و پتروفیزیکی چاه در میدان نفتی منصوری و ارائه یک رابطه تجربی برای تخمین تنش افقی

پژوهش نفت

سال بیست و دوم

شماره ۷۰

صفحه ۱۱۶-۱۰۱، ۱۳۹۱

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۹/۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۱۰/۳

حمیدرضا زاهدی‌فرد* و کاوه آهنگری

دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی معدن،

hamidreza.zahedifard@gmail.com

تنش به‌دست آمده از آنها در مقایسه با یکدیگر تغییرات کمی دارد و مقدار متوسط آن می‌تواند به‌عنوان مرجع محاسبه تنش قائم در این میدان مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تنش قائم، لاگ‌های پتروفیزیکی، لاگ‌های گرافیکی، گرادیان تنش، میدان نفتی منصوری

مقدمه

معمول‌ترین روش برای برآورد تنش‌های قائم در مناطقی که از لحاظ تکنونیککی وضعیت عادی دارند، محاسبه وزن سنگ طبقات فوقانی است که معمولاً با دقت قابل قبولی با تنش اصلی حداکثر برابر است. روش‌های غیر مستقیم و روابط تجربی متعددی به‌منظور برآورد میزان تنش‌های درجای افقی وجود دارند، اما تنها استفاده از اطلاعات آزمون‌های شکستگی می‌تواند اطلاعات صحیحی را در این زمینه ارائه نماید. با در نظر گرفتن این فرض که سطوح بالایی لایه‌های تشکیل‌دهنده یک سازند رسوبی حالت صفحه‌ای داشته و امتدادی تقریباً افقی دارد، می‌توان

چکیده

مقدار تنش‌های اصلی درجا در یک چاه، بدون شک از اصلی‌ترین عواملی است که بر پایداری آن مؤثر است. عموماً در مناطقی که از لحاظ تکنونیککی وضعیت عادی دارند، تنش‌های اصلی غالباً شامل دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم هستند. در این تحقیق، تنش‌های درجا با استفاده از فرضیات و روابط موجود در چهار حلقه از چاه‌های میدان نفتی منصوری در جنوب غربی ایران محاسبه گردید. از آنجاکه مؤثرترین پارامتر در این فرآیند، چگالی سازند است، سازند قرارگرفته در مقطع چاه به سه زون دارای لاگ چگالی، بدون لاگ چگالی و دارای لاگ گرافیکی و بدون لاگ تقسیم شده و با استفاده از لاگ‌های مذکور در چاه‌های شماره ۱، ۴۸، ۴۷ و ۵۶ این میدان، مقدار چگالی سازند تخمین زده شده است. سپس با محاسبه تنش قائم در عمق‌نهایی این چاه‌ها، گرادیان تنش قائم به‌دست آمده و رابطه‌ای نیز با استفاده از روش‌های تئوریک موجود به‌منظور برآورد مقدار تنش افقی ارائه گردیده است. نتیجه محاسبات نشان داد با وجود اینکه چاه‌ها از پراکندگی نسبتاً مناسبی در محدوده میدان برخوردار هستند، گرادیان

گفت در یک مجموعه از سازندهای رسوبی، جهت مؤلفه‌های اصلی تنش‌های درجا در امتدادهای عمودی و افقی خواهد بود. مسلماً موارد متعددی وجود دارند مانند -مناطق همجوار زون‌های گسله که باعث منحرف‌شدن تنش‌ها می‌شوند، اطراف گنبد‌های نمکی و یا نواحی روران‌دگی^۱ که در آنها مؤلفه تنش عمودی وجود ندارد- که فرض عنوان شده را نمی‌توان در خصوص آنها به کار برد. تحلیل پایداری چاه، نیازمند آگاهی از جهت و مقدار سه مؤلفه اصلی تنش است که شش پارامتر مجهول را پیش روی ما قرار می‌دهد [۱]. طبق تعریف، یکی از مؤلفه‌های تنش، عمودی فرض می‌گردد و با توجه به اینکه تنش‌های اصلی افقی، عمود بر یکدیگر هستند، تعداد پارامترهای مجهول در فرآیند تخمین تنش‌های درجا به چهار پارامتر یعنی جهت یکی از تنش‌های اصلی افقی و مقدار تنش‌های اصلی سه‌گانه کاهش می‌یابد که با توجه به اطلاعات به دست آمده از چاه‌های نزدیک یا در ارتباط با چاه مورد مطالعه و اطلاعات حفاری قابل اندازه‌گیری هستند. اندازه‌گیری تنش‌های درجا در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که نسبت تنش اصلی متوسط (که در شرایط تکتونیکی آرام و عادی معادل تنش اصلی افقی حداقل است) به تنش عمودی، در عمق حدود ۳ کیلومتری بین ۰/۵ تا ۲/۲۵ است. دامنه تغییرات این نسبت با نزدیک شدن به سطح زمین، وسیع‌تر شده و به ۰/۳ تا ۷ می‌رسد [۲].

روش‌های غیر مستقیم متعددی به منظور برآورد جهت و میزان تنش‌های درجا مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما تنها استفاده از اطلاعات آزمون‌های شکستگی می‌تواند اطلاعات صحیحی را در این زمینه ارائه نماید. منابعی که اطلاعات لازم به منظور تخمین جهت و مقدار تنش‌های اصلی در چاه را می‌توان از آنها به دست آورد، به شرح زیر هستند [۳]:

الف) جهت و امتداد تنش‌های افقی حداقل و حداکثر:

- لاگ‌های تصویری^۲ چاه (جهت شکستگی‌ها)

- شیب‌سنج‌های چند بازو^۳ به منظور مشخص کردن جهت شکستگی‌های برشی

ب) مقدار تنش عمودی:

- لاگ‌های چگالی

- نمونه‌های سنگی

- توصیفات لیتولوژیکی

ج) مقدار تنش اصلی حداقل:

- آزمایش‌های شکستگی ریز^۴ و شکستگی کوچک^۵

- آزمایش نشت هیدرولیکی^۶

- آزمایش شکست هیدرولیکی^۷

د) مقدار تنش اصلی حداکثر:

- شبیه‌سازی ناپایداری چاه

- روابط ریاضی و تجربی موجود

- تکنیک‌های تعادل

در این میان، کنترل شکستگی‌های برشی احتمالی در دیواره چاه، روش ساده و بسیار کارآمدی در تشخیص جهت تنش افقی حداقل در چاه است. مطالعات تفصیلی به منظور تعیین جهت تنش‌های اصلی با این روش در میدان چشمه خوش در ایران انجام گرفته است [۴].

محاسبه تنش قائم

تنش قائم در یک عمق دلخواه از چاه برابر با وزن روباره‌ای^۸ است که بالای آن قرار گرفته است. بنابراین با جمع تنش‌های حاصل از وزن المان‌های بسیار نازک از مواد تشکیل‌دهنده بخش‌های بالایی چاه، می‌توان تنش قائم را طبق رابطه ۱ به دست آورد:

$$\sigma_v = \int_0^z \rho(z)gdz \approx \rho_{ave}gz \quad (1)$$

با توجه به هزینه بالایی که استفاده از ابزار چاه‌پیمایی به همراه دارد، معمولاً برداشت اطلاعات در محدوده سازند حاوی هیدروکربن انجام می‌گیرد. در نتیجه به‌طور معمول در همه چاه‌ها، مناطقی در بخش‌های بالایی وجود دارد که عمیات ثبت لاگ‌ها در آن صورت نگرفته است. چگالی سازندهای این بخش از چاه را می‌توان با درون‌یابی خطی داده‌های به دست آمده از لاگ‌های چاه در ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بالایی، تخمین زد [۵]. این تکنیک در شرایطی که سنگ‌های تشکیل‌دهنده فواصل بدون لاگ با سنگ‌های

1. Over Thrust

2. Image Logs

3. Multiarm Dipmeters

4. Micro Fracture Test

5. Mini Fracture Test

6. Leak Off Test

7. Hydraulic Fracturing

8. Over Burden

چنانچه منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال باشد، باید مؤلفه تکتونیکی را نیز در نظر گرفت. با این فرض

رابطه ۵ به صورت زیر بازنویسی می شود [۱]:

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu}(\sigma_v - \alpha P_p) + \alpha P_p + S_{tect} \quad (6)$$

آگاهی از این مؤلفه از طریق مقایسه میان مقادیر محاسبه شده برای تنش افقی اصلی حداقل با مقادیر به دست آمده از تست های میدانی، امکان پذیر است.

داده های مورد بررسی

میدان منصوری در فروافتادگی دزفول در جنوب غربی ایران در شصت کیلومتری جنوب شرق اهواز در استان خوزستان قرار گرفته است. این میدان از سمت شمال غرب به میدان اهواز محدود شده و از سمت غرب در مجاورت میدان آب تیمور و از شمال شرق در مجاورت میدان شادگان قرار دارد. ابعاد این میدان، ۴۱/۹ کیلومتر در ۵/۹ کیلومتر است و مانند سایر میدان های قرار گرفته در فروافتادگی دزفول، در امتداد شمال غرب به جنوب شرق کشیده شده است. از نظر چینه شناسی سازندهای پابده، آغاچاری، میشان، گچساران و آسماری در آن دیده شده و ترکیب سنگ های تشکیل دهنده آن نیز عمدتاً شامل مارن قرمز، مارن خاکستری، ماسه سنگ، انیدریت، ژپس، سنگ آهک، شیل و سنگ نمک است. در این تحقیق، به منظور برآورد گرادیان تنش قائم، بررسی ها بر روی چاه های شماره ۱، ۴۷، ۴۸ و ۵۶ این میدان انجام گرفته است. شکل ۱ نحوه پراکندگی و موقعیت قرارگیری محل چاه های مورد مطالعه را نشان می دهد [۶].

به منظور محاسبه تنش قائم در چاه، لازم است چگالی سنگ های تشکیل دهنده سازند تا عمق مورد نظر مشخص شود. با توجه به کیفیت و کمیت اطلاعات موجود، به منظور برآورد چگالی سازند، طول چاه های مورد مطالعه به سه بخش تقسیم شده است:

الف) بخش اول که در آن لاگ های چگالی^۱ موجود بوده و جنس سنگ ها از روی لاگ گرافیکی^۲ چاه تعیین می شود.
ب) بخش دوم که در آن لاگ های چگالی برداشت نشده، اما جنس سنگ ها از روی لاگ گرافیکی چاه تعیین می شود.

1. Poisson's Ratio
2. Density Log
3. Graphical Log

سازندهای دارای آن مشابه باشد، دقت قابل قبولی دارد و کنترل این شباهت با تحلیل خرده های حفاری انجام می شود. در صورت نیاز، چگالی این بخش ها را می توان با تحلیل اطلاعات لرزه ای نیز به دست آورد.

با استفاده از این روش، رابطه نمایی شماره ۲ از مدل سازی تنش ها در محدوده دارای هیدروکربن به ضخامت ۱۰۰۰ m از یک چاه نفت در غرب ایران به دست آمده است [۱]:

$$\sigma_v = 0.0194D^{1.0299} \quad (2)$$

چنانچه هیچ گونه لاگ مناسبی به منظور برآورد چگالی موجود نباشد، می توان از اطلاعات لیتولوژیکی و تحلیل خرده های حفاری استفاده کرد و در صورتی که فقط اطلاعات لیتولوژیکی موجود باشد، لازم است چگالی با توجه به مقادیر ارائه شده در مراجع مختلف، تخمین زده شود. در مواردی که هیچ گونه مرجع و یا اطلاعات مشخصی از چگالی سنگ های تشکیل دهنده لایه ها وجود ندارد، با توجه به اینکه بخش اعظم سنگ های رسوبی چگالی متوسطی در حدود ۲/۳ gr/cm³ دارند، می توان تخمین اولیه ای از تنش قائم را با گرادیان تنش ۲۳ MPa به ازای هر کیلومتر به دست آورد [۵].

محاسبه تنش های افقی

نسبت تنش های افقی به تنش اصلی قائم را عموماً با پارامتر K نمایش می دهند که طبق رابطه ۳ تعریف می شود.

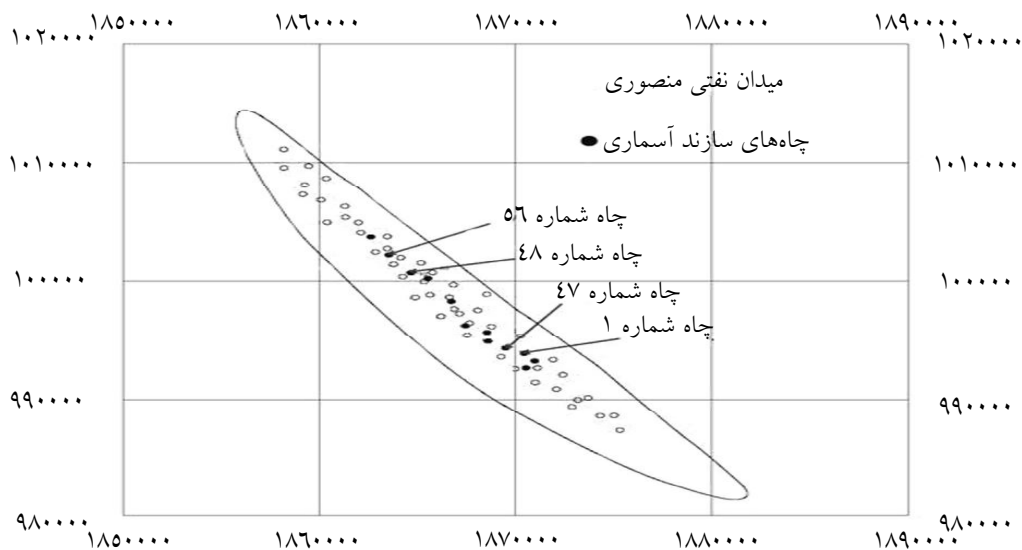
$$K = \frac{\sigma_{Horizontal}}{\sigma_{Vertical}} \quad (3)$$

در مناطقی از سنگ های رسوبی که از نظر زمین شناسی آرام و دست نخورده اند، بدین معنی که در طول زمان بدون تغییر شکل باقی مانده است و لایه ها به صورت افقی تشکیل شده اند، تنش های افقی حداقل و حداکثر با هم مساوی هستند. در این حالت می توان این نسبت را مستقل از عمق به صورت زیر محاسبه نمود:

$$k = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (4)$$

از آنجاکه ضریب پواسون^۱ سنگ، پارامتری بدون بعد است، در صورت استفاده از این رابطه، ارتباط میان تنش های افقی و قائم به صورت خطی خواهد بود. با در نظر گرفتن اثر فشار منفذی، برای تخمین تنش افقی رابطه ۵ به دست می آید [۱] که در این تحقیق از آن استفاده شده است:

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu}(\sigma_v - \alpha P_p) + \alpha P_p \quad (5)$$



شکل ۱- موقعیت قرارگیری محل چاه‌ها در میدان نفتی منصوری [۶]

لاگ گرافیکی مقطع چاه مورد استفاده قرار گرفته است. در این لاگ‌ها، تصویر سطح مقطع چاه در جهت عمودی در فواصل ۵۰ متری - به جز بازه‌هایی که به دلیل کمبود اطلاعات و یا رسیدن به عمق نهایی چاه طول کمتری دارند- و در جهت افقی همان گونه که در شکل‌های ۳ تا ۲۰ دیده می‌شود به ۱۰ بخش - هر کدام نشان دهنده ۱۰٪ از ترکیب سنگ در عمق مورد نظر می‌باشد- تقسیم شده است. با در نظر گرفتن سطح اشغال شده توسط هر کدام از انواع سنگ تشکیل دهنده سازند به عنوان عامل وزن دهی، چگالی متوسط وزن دار در بازه‌های مشخص شده در مقطع چاه برای سازند به دست آمده است. با توجه به عدم وجود لاگ در چاه‌های ۴۷، ۴۸ و ۵۶ از سطح زمین تا عمق حدود ۱۲۰۰ متری، از نوع سنگ‌های تشکیل دهنده چاه اطلاعات دقیقی در دست نبوده و صرفاً بررسی گزارشات زمین‌شناسی میدان نشان داد که این محدوده عمق در هر سه چاه، در سازند آغاچاری قرار دارد [۶]. به منظور برآورد چگالی سازند در این بازه‌ها از لاگ گرافیکی چاه شماره ۱ استفاده شد. همان گونه که در جدول ۱ نیز دیده می‌شود، این چاه در بازه بدون داده در سایر چاه‌ها دارای لاگ گرافیکی بوده و گزارش‌های زمین‌شناسی مؤید این مطلب است که سازند احاطه کننده چاه از سطح زمین تا عمق ۱۳۱۰ متری، سازند آغاچاری است. در نتیجه، چگالی متوسطی برای سازند آغاچاری محاسبه و به عنوان مرجع محاسبه تنش قائم در سایر چاه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

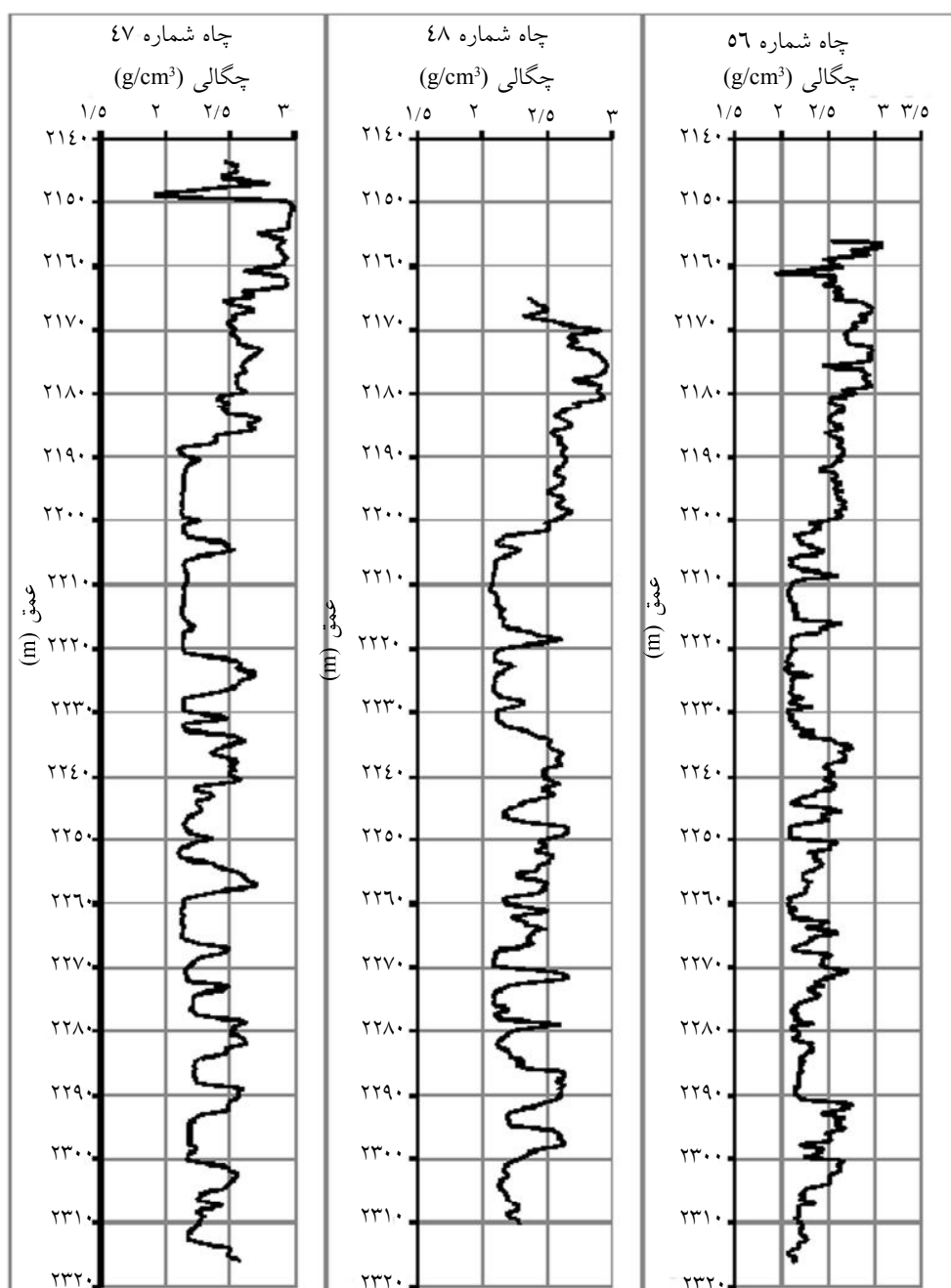
بخش سوم که در آن لاگ‌های چگالی و لاگ‌های گرافیکی چاه موجود نیست.

جدول ۱ نشان‌دهنده محدوده عمق هر کدام از زون‌های فوق در چاه‌های مورد مطالعه و شکل ۲ نشان‌دهنده نحوه تغییر چگالی بر حسب عمق در بخش دارای لاگ چگالی است.

از آنجاکه در لاگ گرافیکی چاه‌ها، جنس هر نوع سنگ با رنگ و یا طرح خاصی مشخص شده است، به منظور تخمین چگالی هر نوع سنگ در بخش‌های بدون لاگ چگالی، عمق یا محدوده عمقی که همان نوع سنگ در محدوده دارای لاگ چگالی دیده شده با استفاده از لاگ گرافیکی مشخص گردیده و چگالی متناظر با آن که با استفاده از لاگ پتروفیزیکی چاه قرائت شده، به سنگ مورد نظر در زون‌های بدون لاگ چگالی نسبت داده شده است. با توجه به عدم وجود لاگ چگالی در چاه شماره ۱، از مقادیر موجود در لاگ چگالی چاه شماره ۴۷ به واسطه نزدیک‌تر بودن استفاده شده است. در جدول ۲، چگالی محاسبه شده برای انواع مختلف سنگ به همراه مرجع محاسبه آنها ارائه شده است. شکل‌های ۳ تا ۲۰ نیز نشان‌دهنده بخشی از لاگ گرافیکی در محدوده‌های عمقی چاه‌ها است که به منظور تخمین چگالی سنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفته و در جدول ۲ به آنها اشاره شده است. به منظور محاسبه چگالی در بخش‌های دوم و سوم، با توجه به عدم برداشت لاگ چگالی در این بخش‌ها،

جدول ۱- محدوده عمق بخش‌های مختلف چاه‌های مورد مطالعه در ارتباط با زون‌های چگالی برحسب متر

محدوده‌های عمق در ارتباط با زون‌های سه‌گانه تعریف شده						طول چاه	شماره چاه
محدوده بدون لاگ		محدوده دارای لاگ گرافیکی بدون لاگ چگالی		محدوده دارای لاگ چگالی			
تا عمق (m)	از عمق (m)	تا عمق (m)	از عمق (m)	تا عمق (m)	از عمق (m)		
ندارد		۱۵۶۵	۰	ندارد		۱۵۶۵	۱
۱۱۶۰	۰	۲۱۴۳/۶	۱۱۶۰	۲۳۱۶	۲۱۴۳/۶	۲۳۱۶	۴۷
۱۰۰۰	۰	۲۱۶۵	۱۰۰۰	۲۳۱۰	۲۱۶۵	۲۳۱۰	۴۸
۱۱۰۰	۰	۲۱۵۶	۱۱۰۰	۲۳۱۶	۲۱۵۶	۲۳۱۶	۵۶

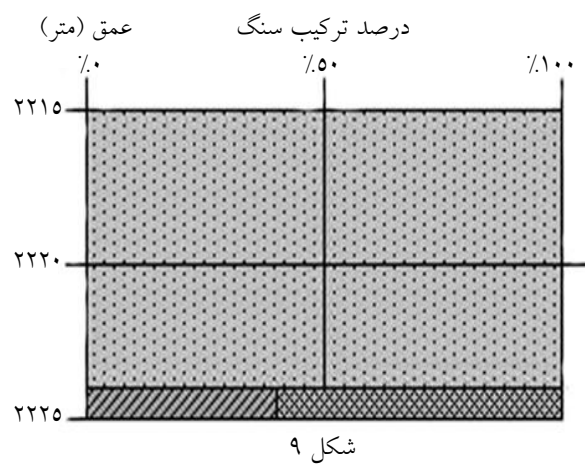
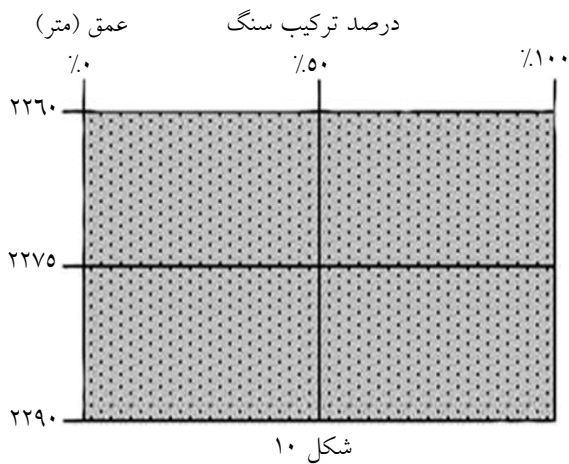
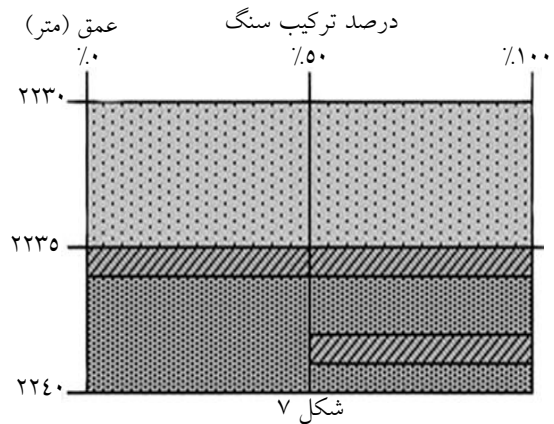
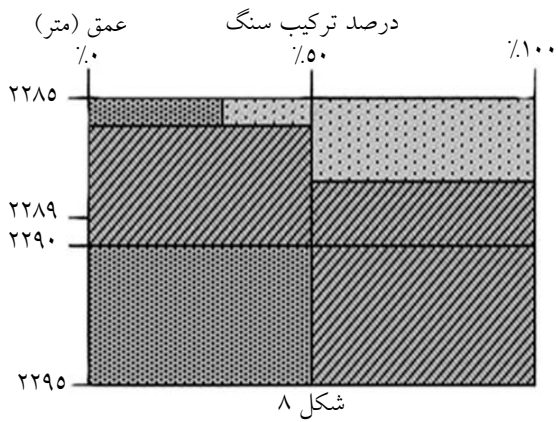
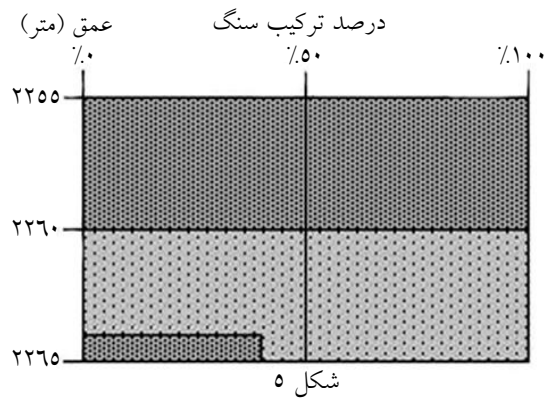
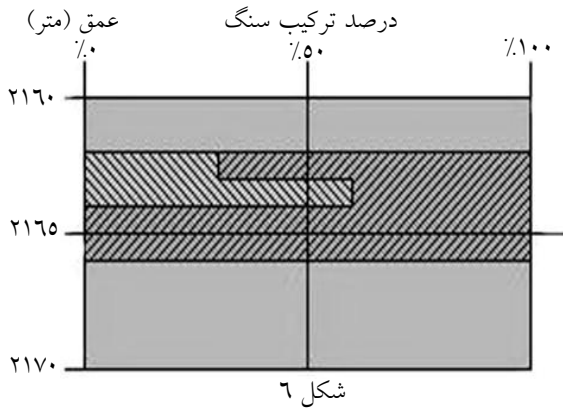
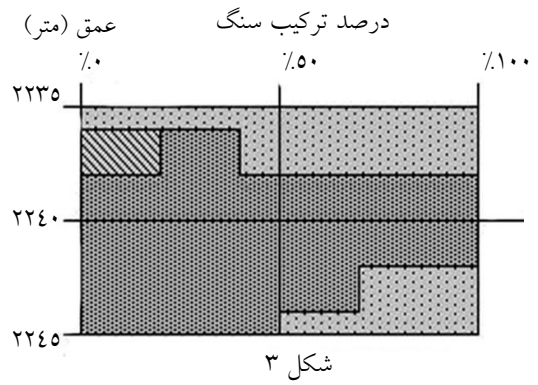
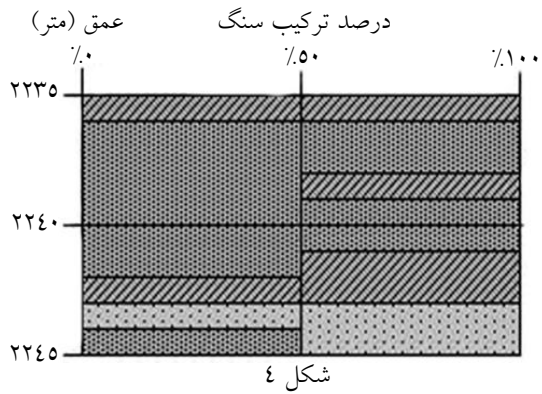


شکل ۲- نحوه تغییر چگالی در زون دارای هیدروکربن در چاه‌های مورد مطالعه برحسب عمق

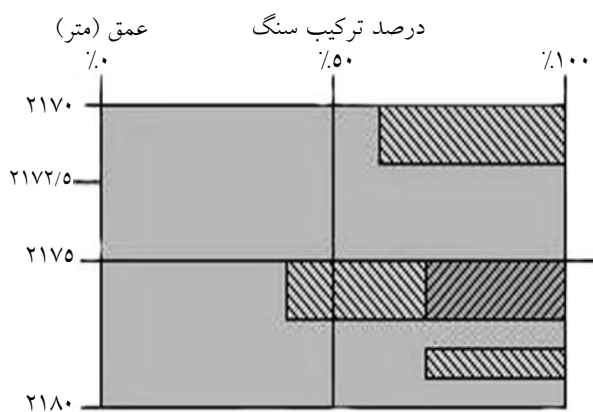
جدول ۲- مرجع تخمین چگالی سنگ‌ها از روی لاگ‌های گرافیکی با استفاده از داده‌های لاگ‌های چگالی

چگالی*	مرجع محاسبه	چاه	شکل	رنگ	نماد	سنگ
۲/۴۸۸	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۲۴۰ متری	۵۶	۳		RML	مارن قرمز
۲/۵۱۷	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۲۴۰ متری	۴۸	۴			
۲/۴۶۰	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۲۵۵ تا ۲۲۶۰ متری	۴۷	۵			
۲/۷۶۵	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۱۶۵ متری	۵۶	۶		GML	مارن خاکستری
۲/۵۳۱	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۲۳۵ متری	۴۸	۷			
۲/۵۷۶	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۲۸۹ متری	۴۷	۸			
۲/۱۲۵	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۲۲۰ متری	۵۶	۹		SST	ماسه سنگ
۲/۳۱۸	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۲۶۰ تا ۲۲۹۰ متری	۴۸	۱۰			
۲/۲۰۱	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۱۹۵ تا ۲۲۰۵ متری	۴۷	۱۱			
۲/۹۳۰	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۱۷۲/۵ متری	۵۶	۱۲		/AN	انیدریت / ژپس
۲/۹۱۳	سازند در عمق ۲۱۷۷/۵ متری چاه ۴۸ از ۶۰٪ انیدریت و ژپس به همراه ۴۰٪ مارن خاکستری تشکیل شده و چگالی آن ۲/۷۶۰ است. با جایگزینی عدد ۲/۵۳۱ به عنوان چگالی مارن، چگالی انیدریت محاسبه شده است.	۴۸	۱۳		GYPS	
۲/۷۸۳	سازند در عمق ۲۱۵۵ متری چاه ۴۷ از ۷۰٪ انیدریت و ژپس به همراه ۳۰٪ مارن خاکستری تشکیل شده و چگالی آن ۲/۷۲۱ است. با جایگزینی عدد ۲/۵۷۶ به عنوان چگالی مارن، چگالی انیدریت محاسبه شده است.	۴۷	۱۴			
۲/۵۹۳	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۱۸۰ تا ۲۲۰۰ متری	۵۶	۱۵		LST	سنگ آهک
۲/۶۰۴	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۱۹۰ تا ۲۱۹۵ متری	۴۸	۱۶			
۲/۵۷۶	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۱۷۰ تا ۲۱۸۵ متری	۴۷	۱۷			
۲/۳۰۴	میانگین چگالی اندازه‌گیری شده از عمق ۲۲۰۰ تا ۲۲۰۵ متری	۵۶	۱۸		QZSST	ماسه سنگ کوارتزی
-	این نوع از سنگ در محدوده چاه وجود ندارد.	۴۸	-			
-	این نوع از سنگ در محدوده چاه وجود ندارد.	۴۷	-			
۱/۸۲۵	سازند در عمق ۲۲۲۵ متری چاه ۵۶ از ۶۰٪ ماسه سنگ کوارتزی و ۴۰٪ شیل تشکیل شده و چگالی آن ۲/۱۱۲ است. با جایگزینی عدد ۲/۳۰۴ به عنوان چگالی ماسه سنگ، چگالی شیل محاسبه شده است.	۵۶	۱۹		SH	شیل
-	این نوع از سنگ در محدوده چاه وجود ندارد.	۴۸	-			
-	این نوع از سنگ در محدوده چاه وجود ندارد.	۴۷	-			
۲/۱۸۹	چگالی اندازه‌گیری شده در عمق ۲۱۵۶ متری	۵۶	۲۰		SALT	نمک

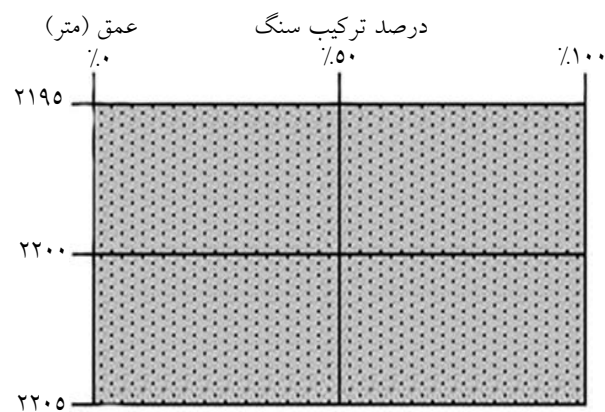
* واحد چگالی محاسبه شده گرم بر سانتی متر مکعب است.



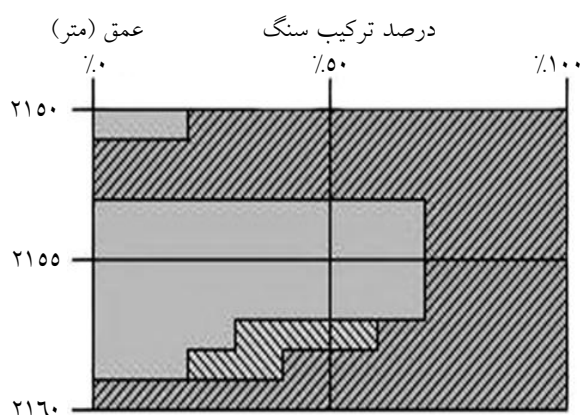
مقطع مورد استفاده از لاگ گرافیکی چاه به منظور تخمین چگالی سازند [۷] (ادامه دارد)



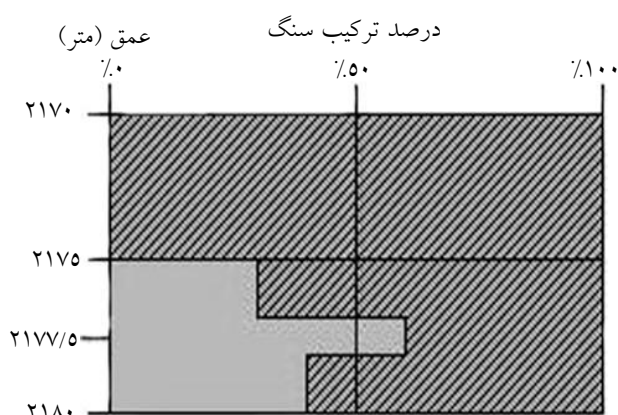
شکل ۱۲



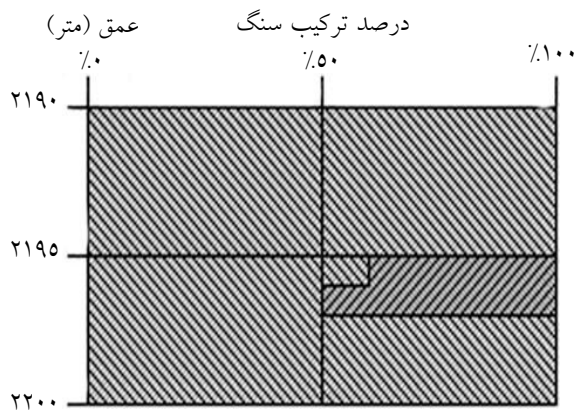
شکل ۱۱



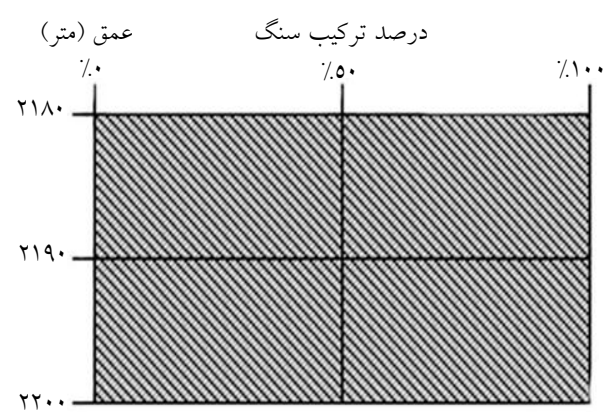
شکل ۱۴



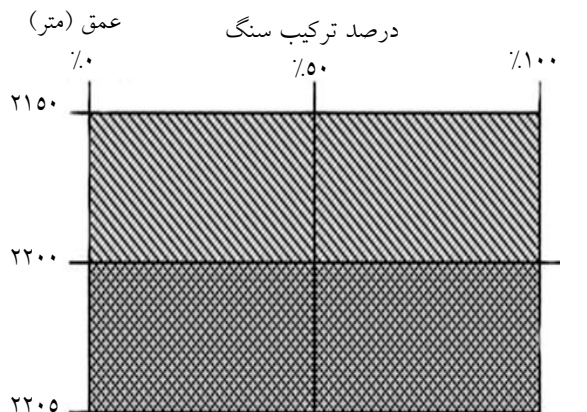
شکل ۱۳



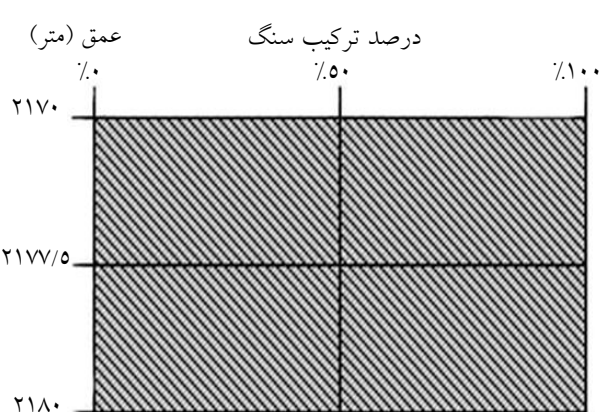
شکل ۱۶



شکل ۱۵

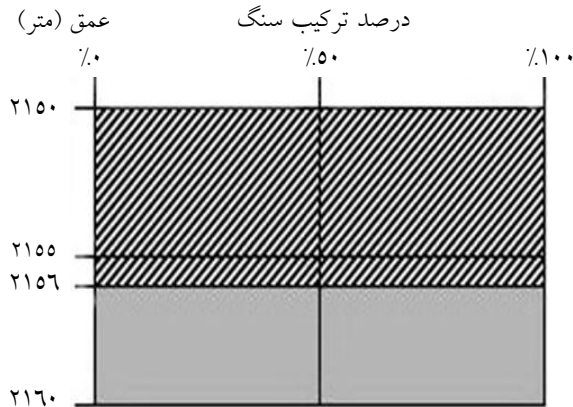


شکل ۱۸



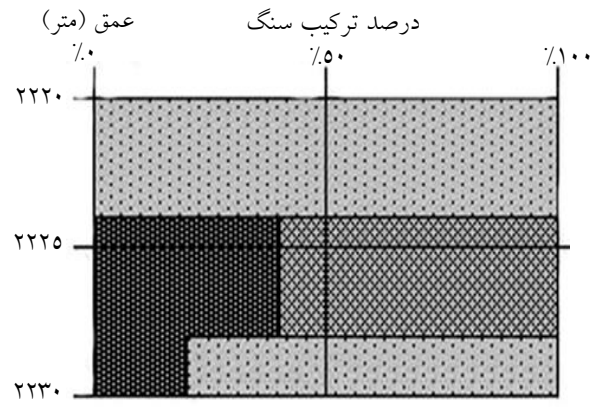
شکل ۱۷

مقطع مورد استفاده از لاگ گرافیکی چاه به منظور تخمین چگالی سازند [۷] (ادامه دارد)



شکل ۲۰

مقطع مورد استفاده از لاگ گرافیکی چاه به منظور تخمین چگالی سازند [۷]



شکل ۱۹

و تنش ناشی از وزن این فواصل محاسبه گردیده است. شکل ۲۱ نحوه تغییرات تنش قائم در این بخش را نشان می‌دهد.

محاسبه تنش قائم در بخش دوم چاه‌های ۴۷، ۴۸ و ۵۶

با توجه به توضیحات ارائه شده در داده‌های مورد بررسی، چگالی متوسط وزن دار در فواصل ۵۰ متری در لاگ‌های گرافیکی چاه و تنش قائم حاصل از آنها محاسبه گردیده و در نهایت تنش کل ناشی از بخش دوم به دست آمده است. جدول‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب نشان دهنده ترکیب سنگ‌ها، چگالی متوسط و تنش قائم در چاه‌های ۴۷، ۴۸ و ۵۶ هستند.

محاسبه تنش قائم در بخش سوم چاه‌های ۴۷، ۴۸ و ۵۶

با توجه به توضیحات قبلی، این بخش در کلیه چاه‌های مورد مطالعه در سازند آغاچاری قرار دارد و چگالی متوسط در این بخش با توجه به محاسبات انجام گرفته، معادل $2/457 \text{ gr/cm}^3$ است. در نتیجه تنش قائم حاصل از این بخش با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{V3} = \rho_{\text{Aghajari}} * g * h_{\text{zone3}} \quad (7)$$

بحث و تفسیر نتایج

با توجه به مقادیر محاسبه شده در بخش‌های اول، دوم و سوم، تنش قائم کل مطابق جدول ۷ به دست آمده است. با در نظر گرفتن عمق نهایی چاه طبق جدول ۱، گرادیان تنش قائم در چاه‌های مورد مطالعه به شرح جدول ۸ محاسبه گردیده است. گرادیان تنش و فشار منفذی در زون دارای هیدروکربن چاه‌های مورد مطالعه برحسب عمق در شکل ۲۱ رسم شده است.

محاسبه چگالی متوسط و تنش قائم در چاه‌های مورد مطالعه

محاسبه چگالی متوسط و تنش قائم در چاه شماره ۱

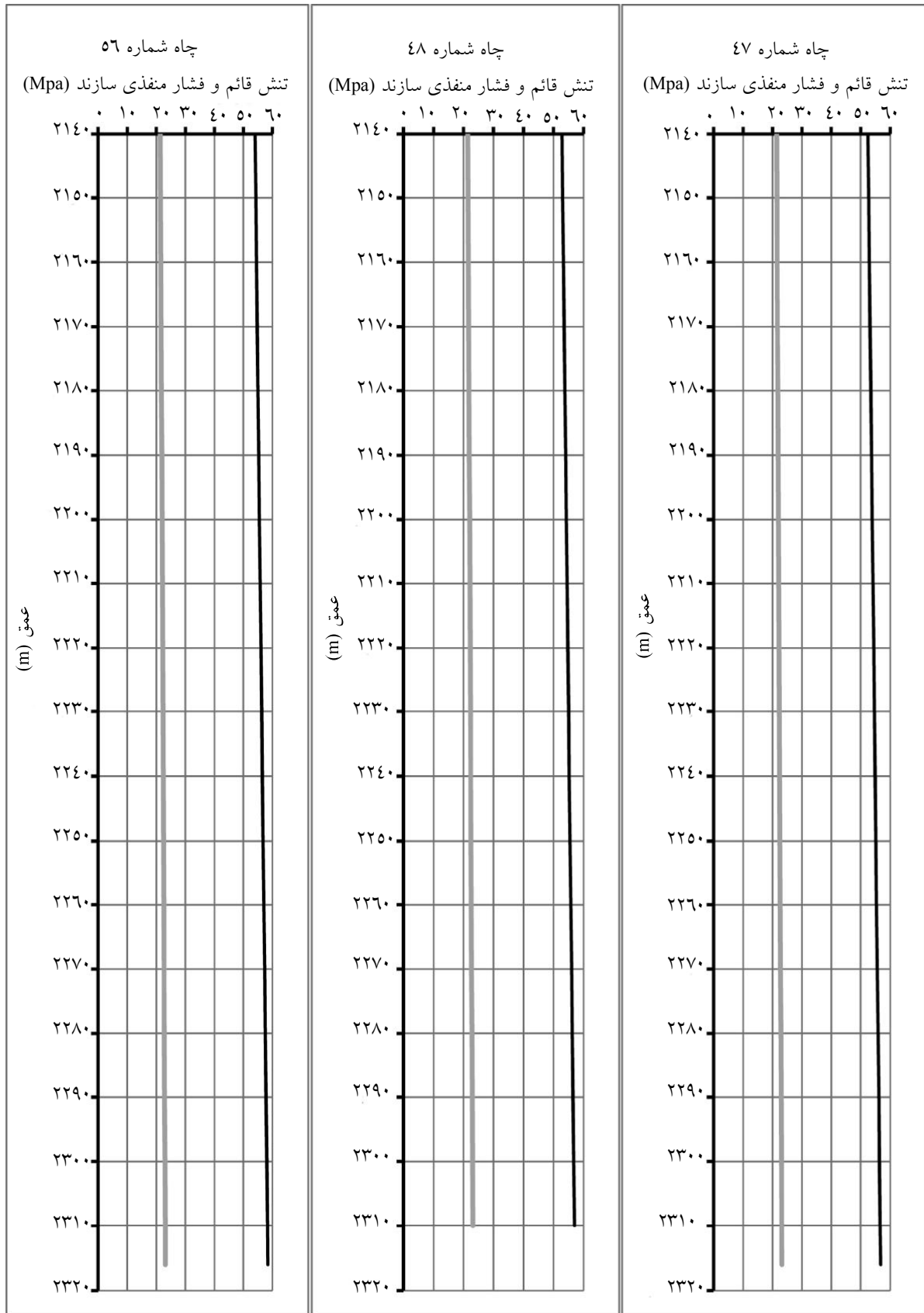
چگالی تخصیص داده شده به انواع مختلف سنگ‌ها در این چاه با توجه به نزدیک بودن آن به چاه شماره ۴۷، از بخش دارای لاگ چگالی این چاه استخراج گردید. جدول ۳، درصد موجود از هر نوع سنگ که از تقسیم سطح مربوطه به سطح کل در فواصل عمقی مشخص شده در لاگ گرافیکی چاه شماره ۱ به دست آمده را به همراه چگالی متوسط هر محدوده و تنش قائم نشان می‌دهد. چگالی متوسط سازند آغاچاری با توجه به داده‌های چاه تا عمق ۱۳۱۰ متری محاسبه گردیده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده، مقدار تنش قائم در عمق نهایی این چاه $37/92 \text{ MPa}$ به دست آمد. همچنین چگالی متوسط سازند آغاچاری نیز برابر با $2/456 \text{ gr/cm}^3$ محاسبه شده است.

محاسبه چگالی متوسط و تنش قائم در سایر چاه‌ها

همان گونه که گفته شد، چاه‌های شماره ۴۷، ۴۸ و ۵۶ این میدان از نظر کمیت و کیفیت اطلاعات مربوط به چگالی به سه بخش تقسیم گردید و تنش قائم چاه در عمق نهایی آن برابر با جمع تنش در این سه بخش در نظر گرفته شد.







محاسبه تنش قائم در بخش اول چاه‌های ۴۷، ۴۸ و ۵۶

در این بخش از اطلاعات مربوط به لاگ چگالی به‌منظور تخمین مقدار تنش استفاده شد. در لاگ مربوطه اندازه‌گیری مقدار چگالی سازند در فواصل ۱۰ سانتی‌متری انجام گرفته است. برای تعیین مقدار تنش قائم ناشی از این بخش، مقدار چگالی اندازه‌گیری شده در هر افق، به نصف فاصله آن تا افق بعدی تعمیم داده شد. بدین ترتیب فواصلی ۱۰ سانتی‌متری با چگالی مشخص به دست آمده









شکل ۲۱- نحوه تغییر تنش قائم و فشار منفذی در زون دارای هیدروکربن در چاه‌های مورد مطالعه بر حسب عمق

جدول ۵- درصد انواع مختلف سنگ‌های سازند، چگالی متوسط و تنش قائم در بخش دوم چاه شماره ۴۸

σ_v (MPa)	ρ (gr/cm ³)	چگالی مرجع (gr/cm ³)						جمع کل	ضخامت (متر)	عمق (متر)	
		۲/۱۸۹	۲/۶۰۴	۲/۹۱۳	۲/۳۱۸	۲/۵۳۱	۲/۵۱۷			تا	از
											
۱/۱۱۵	۲/۵۲۵	۰	۰	۲/۲۲	۰/۴۴	۰	۹۷/۳۳	۱۰۰	۴۵	۱۰۴۵	۱۰۰۰
۱/۲۲۸	۲/۵۰۴	۰	۰	۰	۶/۶۷	۰	۹۳/۳۳	۱۰۰	۵۰	۱۰۹۵	۱۰۴۵
۱/۲۳۴	۲/۵۱۵	۰	۰	۰/۸۷	۳/۰۷	۷/۶۰	۸۸/۴۷	۱۰۰	۵۰	۱۱۴۵	۱۰۹۵
۱/۲۲۸	۲/۵۰۳	۰	۰	۰	۷	۰	۹۳	۱۰۰	۵۰	۱۱۹۵	۱۱۴۵
۱/۲۳۳	۲/۵۱۴	۰	۰	۰/۲۰	۲/۱۳	۰/۴۰	۹۷/۲۷	۱۰۰	۵۰	۱۲۴۵	۱۱۹۵
۱/۲۳۵	۲/۵۱۸	۰	۱/۲۰	۰/۲۰	۱/۶۰	۱۶/۵۳	۸۰/۴۷	۱۰۰	۵۰	۱۲۹۵	۱۲۴۵
۱/۲۳۷	۲/۵۲۲	۰	۳	۰	۱/۸۰	۴۲/۲۰	۵۳	۱۰۰	۵۰	۱۳۴۵	۱۲۹۵
۱/۲۴۷	۲/۵۴۳	۰	۵/۳۳	۳/۶۷	۰	۴۹/۱۳	۴۱/۲۷	۱۰۰	۵۰	۱۳۹۵	۱۳۴۵
۱/۲۵۶	۲/۵۶۱	۰	۱۴/۶۷	۵/۶۰	۰	۶۳/۰۷	۱۶/۶۷	۱۰۰	۵۰	۱۴۴۵	۱۳۹۵
۱/۲۷۲	۲/۵۹۴	۰	۳۴/۹۳	۹/۸۰	۰	۵۵/۲۷	۰	۱۰۰	۵۰	۱۴۹۵	۱۴۴۵
۱/۳۰۹	۲/۶۶۸	۰	۴	۳۵/۶۰	۰	۴۸/۵۳	۱۱/۸۷	۱۰۰	۵۰	۱۵۴۵	۱۴۹۵
۱/۳۳۳	۲/۷۱۷	۰	۱/۱۳	۴۹	۰	۳۸/۲۰	۱۱/۶۷	۱۰۰	۵۰	۱۵۹۵	۱۵۴۵
۱/۳۱۶	۲/۶۸۳	۰	۰	۴۰/۸۰	۰	۳۰/۵۳	۲۸/۶۷	۱۰۰	۵۰	۱۶۴۵	۱۵۹۵
۱/۳۱۶	۲/۶۸۴	۰	۰	۴۰/۳۳	۰	۵۱/۲۰	۸/۴۷	۱۰۰	۵۰	۱۶۹۵	۱۶۴۵
۱/۳۱۱	۲/۶۷۳	۰	۶/۲۰	۳۶/۴۷	۰	۴۴/۸۷	۱۲/۴۷	۱۰۰	۵۰	۱۷۴۵	۱۶۹۵
۱/۳۱۵	۲/۶۸۲	۰	۱۶/۹۳	۳۶/۲۷	۰	۴۴/۱۳	۲/۶۷	۱۰۰	۵۰	۱۷۹۵	۱۷۴۵
۱/۳۲۴	۲/۶۹۹	۰	۷/۶۰	۴۲/۴۷	۰	۴۹/۹۳	۰	۱۰۰	۵۰	۱۸۴۵	۱۷۹۵
۱/۳۳۱	۲/۵۱۰	۳۴	۰	۲۵	۰	۴۱	۰	۱۰۰	۵۰	۱۸۹۵	۱۸۴۵
۱/۲۴۸	۲/۵۴۵	۲۸/۳۳	۰	۲۹	۰	۴۱/۶۷	۱	۱۰۰	۵۰	۱۹۴۵	۱۸۹۵
۱/۲۵۱	۲/۵۵۱	۲۸/۰۷	۱/۲۷	۳۰/۱۳	۰	۴۰/۵۳	۰	۱۰۰	۵۰	۱۹۹۵	۱۹۴۵
۱/۲۸۸	۲/۶۲۵	۱۸	۵	۳۹/۸۷	۰	۳۷/۱۳	۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۴۵	۱۹۹۵
۱/۲۹۲	۲/۶۳۵	۱۴/۷۳	۷/۸۷	۳۸/۹۳	۰	۳۸/۴۷	۰	۱۰۰	۵۰	۲۰۹۵	۲۰۴۵
۱/۲۲۳	۲/۴۹۳	۴۰/۸۰	۰/۴۰	۲۶/۴۰	۰	۳۲/۴۰	۰	۱۰۰	۵۰	۲۱۴۵	۲۰۹۵
۰/۴۵۹	۲/۳۴۱	۶۹/۶۷	۰	۱۲/۶۷	۰	۱۷/۶۷	۰	۱۰۰	۲۰	۲۱۶۵	۲۱۴۵
۲۹/۵۰۲										جمع کل	

جدول ۶- درصد انواع مختلف سنگ‌های سازند، چگالی متوسط و تنش قائم در بخش دوم چاه شماره ۵۶

σ_v (MPa)	ρ (g/cm ³)	چگالی مرجع (gr/cm ³)						جمع کل	ضخامت (متر)	عمق (متر)	
		۲/۱۸۹	۲/۵۹۳	۲/۹۳۰	۲/۱۲۵	۲/۸۶۸	۲/۴۸۸			از	تا
											
		SALT	LST	AN/GYPS	SST	GML	RML				
۱/۰۸۳	۲/۴۵۲	.	.	.	۹/۷۸	.	۹۰/۲۲	۱۰۰	۴۵	۱۱۴۵	۱۱۰۰
۱/۲۱۹	۲/۴۸۵	.	.	.	۳	۲	۹۵	۱۰۰	۵۰	۱۱۹۵	۱۱۴۵
۱/۲۱۷	۲/۴۸۱	.	.	.	۵/۱۰	۳	۹۱/۹۰	۱۰۰	۵۰	۱۲۴۵	۱۱۹۵
۱/۲۵۶	۲/۵۶۰	.	.	۰/۴۰	.	۱۸/۴۰	۸۱/۲۰	۱۰۰	۵۰	۱۲۹۵	۱۲۴۵
۱/۳۲۱	۲/۶۹۳	.	۹/۶۰	۰/۶۰	۳/۲۰	۵۳/۶۰	۳۳	۱۰۰	۵۰	۱۳۴۵	۱۲۹۵
۱/۲۹۳	۲/۶۳۷	.	۴/۴۰	۱/۳۰	.	۳۶/۴۰	۵۷/۹۰	۱۰۰	۵۰	۱۳۹۵	۱۳۴۵
۱/۳۵۴	۲/۷۶۱	.	۲۶	۲/۸۰	.	۶۱/۴۰	۹/۸۰	۱۰۰	۵۰	۱۴۴۵	۱۳۹۵
۱/۳۶۴	۲/۷۸۰	.	۳۱/۸۰	۱۱/۲۰	.	۵۵	۲	۱۰۰	۵۰	۱۴۹۵	۱۴۴۵
۱/۳۸۵	۲/۸۲۳	.	۳	۶۰	.	۱۷/۶۰	۱۹/۴۰	۱۰۰	۵۰	۱۵۴۵	۱۴۹۵
۱/۳۹۸	۲/۸۵۰	.	.	۵۱/۴۰	.	۳۵/۴۰	۱۳/۲۰	۱۰۰	۵۰	۱۵۹۵	۱۵۴۵
۱/۳۹۴	۲/۸۴۲	.	.	۵۰/۸۰	.	۳۴	۱۵/۲۰	۱۰۰	۵۰	۱۶۴۵	۱۵۹۵
۱/۴۱۱	۲/۸۷۶	.	.	۶۲	.	۳۰	۸	۱۰۰	۵۰	۱۶۹۵	۱۶۴۵
۱/۴۱۱	۲/۸۷۶	.	۲	۳۴	.	۶۲	۲	۱۰۰	۵۰	۱۷۴۵	۱۶۹۵
۱/۴۰۲	۲/۸۵۹	.	۴	۳۴	.	۵۷	۵	۱۰۰	۵۰	۱۷۹۵	۱۷۴۵
۱/۴۱۹	۲/۸۹۴	.	۲	۵۰	.	۴۸	.	۱۰۰	۵۰	۱۸۴۵	۱۷۹۵
۱/۲۹۴	۲/۶۳۸	۳۶	.	۲۲	.	۴۲	.	۱۰۰	۵۰	۱۸۹۵	۱۸۴۵
۱/۳۲۰	۲/۶۹۱	۲۷	.	۱۲/۸۰	.	۶۰	.	۱۰۰	۵۰	۱۹۴۵	۱۸۹۵
۱/۳۴۲	۲/۷۳۵	۱۶	.	۲۲	.	۵۲	۱۰	۱۰۰	۵۰	۱۹۹۵	۱۹۴۵
۱/۳۵۲	۲/۷۵۷	۲۰	.	۳۹/۲۰	.	۴۰/۸۰	.	۱۰۰	۵۰	۲۰۴۵	۱۹۹۵
۱/۳۷۰	۲/۷۹۴	۱۳/۲۰	۳/۸۰	۴۱	.	۴۲	.	۱۰۰	۵۰	۲۰۹۵	۲۰۴۵
۱/۳۱۷	۲/۶۸۴	۲۹/۶۰	۱	۳۲	.	۳۷/۴۰	.	۱۰۰	۵۰	۲۱۴۵	۲۰۹۵
۰/۲۳۶	۲/۱۸۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۱	۲۱۵۶	۲۱۴۵
۲۸/۱۵۶	جمع کل										

جدول ۷- تنش قائم کل در عمق نهایی چاه‌های مورد مطالعه

شماره چاه				شرح پارامترها
۵۶	۴۸	۴۷	۱	
۳/۸۱۶	۳/۴۰۶	۴/۰۳۸	-	تنش قائم در بخش اول (MPa)
۲۸/۱۵۶	۲۹/۵۰۲	۲۴/۷۵۷	۳۷/۹۲۱	تنش قائم در بخش دوم (MPa)
۲۶/۴۹۴	۲۴/۰۸۶	۲۷/۹۳۹	-	تنش قائم در بخش سوم (MPa)
۵۸/۴۶۶	۵۶/۹۹۳	۵۶/۷۳۴	۳۷/۹۲۱	تنش قائم کل (MPa)

جدول ۸- گرادیان تنش قائم در چاه‌های مورد مطالعه

شماره چاه				شرح پارامترها
۵۶	۴۸	۴۷	۱	
۲۳۱۶	۲۳۱۰	۲۳۱۶	۱۵۶۵	عمق نهایی چاه (m)
۰/۰۲۵۲	۰/۰۲۴۷	۰/۰۲۴۵	۰/۰۲۴۲	گرادیان تنش قائم (MPa/m)

محاسبه گردید که هدف اصلی آن ارائه راهکاری به منظور تخمین تنش‌های اصلی در شرایطی است که اطلاعات کافی در دست نیست. مقدار متوسط گرادیان تنش قائم متوسط در چاه‌های مورد مطالعه معادل 0.246 MPa/m به دست آمد که می‌تواند در تحقیقات آتی در این میدان ملاک عمل قرار گیرد. با توجه به پراکندگی چاه‌ها در محدوده میدان، گرادیان تنش محاسبه شده در چاه‌ها تفاوت کمی با هم دارند که نشان می‌دهد مقدار متوسط آن می‌تواند با دقت مطلوبی به کل میدان تعمیم یابد.

علائم و نشانه‌ها

$\rho(z)$: چگالی به‌عنوان تابعی از عمق (gr/cm^3)

g : شتاب جاذبه زمین (m/s^2)

ρ_{ave} : چگالی متوسط روباره در برآورد تنش قائم (gr/cm^3)

D : عمق واقعی چاه (m)

K : نسبت میان تنش‌های اصلی قائم و افقی درجا (-)

σ_h و $\sigma_{Horizontal}$: مؤلفه افقی تنش‌های درجا (MPa)

σ_v و $\sigma_{Vertical}$: تنش اصلی قائم (MPa)

P_p : فشار منفذی سازند (MPa)

v : ضریب پواسون سنگ (-)

α : ضریب بایوت سازند (-)

δ_{tect} : مؤلفه تکتونیکی تنش افقی (MPa)

$\rho_{Aghajari}$: چگالی متوسط سازند آغاچاری در میدان نفتی

منصوری (gr/cm^3)

h_{Zone3} : ضخامت بخش سوم در چاه‌های مورد مطالعه (m)

h : عمق مورد نظر (m)

مقادیر ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که حداکثر مقدار گرادیان تنش قائم، مربوط به چاه شماره ۵۶ و حداقل آن مربوط به چاه شماره ۱ بوده و متوسط مقدار گرادیان تنش قائم به دست آمده از چاه‌های مورد بررسی معادل 0.246 MPa/m است که می‌تواند به عنوان مرجعی برای محاسبه تنش قائم در این میدان در مطالعات آتی مورد استفاده قرار گیرد. با در نظر گرفتن شیب فشار هیدرواستاتیک معادل فشار آب، برابر با 10 kPa به ازای هر متر و ضریب بایوت^۱ معادل یک برای کل میدان، تنش افقی ایزوتروپ با استفاده از رابطه ۵، به صورت رابطه ۸ بر حسب مگاپاسکال به دست می‌آید.

$$\sigma_h = \left(\frac{0.0146v}{1-v} + 0.01 \right) h \quad (8)$$

تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از لاگ LFD^۲ و تست‌های مکانیک سنگی بر روی کربنات و ماسه‌سنگ در چاه‌های مورد مطالعه نشان داد که مقادیر ضریب بایوت و ضریب پواسون در این سنگ‌ها به ترتیب برابر 0.918 و 0.14 برای کربنات و 0.814 و 0.18 برای ماسه‌سنگ می‌باشد. با قراردادن این مقادیر در رابطه ۵، معادلات شماره ۹ و ۱۰ به ترتیب برای تخمین تنش افقی ایزوتروپیک در زون‌های کربنات و ماسه‌سنگی به صورت زیر پیشنهاد می‌گردد:

$$\sigma_h = 0.0114 h \quad (9)$$

$$\sigma_h = 0.0118 h \quad (10)$$

نتیجه‌گیری

با توجه به عدم انجام مطالعات جامع مکانیک سنگی و در دسترس نبودن اطلاعات مربوط به تست‌های شکستگی در اکثر چاه‌های نفتی، برآورد تنش‌های درجا که در فرآیند تحلیل پایداری چاه به‌عنوان اصلی‌ترین عامل مطرح است، در اغلب موارد به‌سختی انجام می‌گیرد. در این مقاله با استفاده از اطلاعات مربوط به لاگ‌های گرافیکی و پتروفیزیکی، گرادیان تنش قائم ۴ حلقه از چاه‌های میدان منصوری

1. Biot's Coefficient

2. Low Frequency Dipole Tool

مراجع

- [1] Sanaee R., Shadizadeh S. R. and Riahi M. A., "Determination of the stress profile in a deep borehole in a naturally fractured reservoir", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, vol. 47, pp. 599-605, 2010.
- [2] Song and Haimson B. C., "Poliaxial strength criteria and their use in estimating in-situ stress magnitudes from borehole breakout dimensions", Proc. 36th U.S. Rock Mech. Symp., Int. J., of Rock Mech. Min. Sci. 34:3-4, paper no.116, 1997.
- [3] Bell J. S., "Practical methods for estimating in situ stresses for borehole stability applications in sedimentary basins". Journal of petroleum science and engineering, vol. 38, pp.111-119, 2003.
- [4] Yaghoubi A. A. and Zeinali M., "Determination of magnitude and orientation of the in-situ stress from borehole breakout and effect of pore pressure on borehole stability – Case study in cheshmeh khush oil field of Iran". Journal of petroleum science and engineering, vol. 67, pp.116-126, 2009.
- [5] Zoback M. D., Barton C. A., Brudy M., Castillo D. A., Moos D. B., Peska P., Ward C. D. and et al. "Determination of stress orientation and magnitude in deep wells", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol. 40, pp. 1049-1076, 2003.
- ۶- شرکت مهندسی و توسعه نفت ایران، شرکت مهندسی نفت کیش، گزارش مطالعات زمین شناسی در میدان نفتی منصوری، ۱۳۸۴.
- ۷- شرکت مهندسی و توسعه نفت ایران، لاگ‌های گرافیکی و پتروفیزیکی چاه‌های شماره ۵۶، ۱، ۴۷ و ۴۸ میدان نفتی منصوری.