

# محاسبه مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ و بررسی رابطه آنها با میزان تخلخل در سازندهای کنگان و دالان در یکی از چاه‌های میدان گازی

## پارس جنوبی

رضا خوشنویس زاده<sup>۱\*</sup>، علیرضا حاجیان<sup>۲</sup>، احسان لرکی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد زمین شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران،

۲- استادیار گروه فیزیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- کارشناس ارشد ژئوفیزیک، اداره نمودارگیری شرکت ملی حفاری ایران، ایران

\*rezakhoshnevispg@gmail.com

دریافت: دی ماه ۱۳۹۶، پذیرش اردیبهشت ۱۳۹۷

## چکیده

پارامترهای الاستیک سنگ را می‌توان شامل مدول یانگ، نسبت پواسون، مدول بالک و مدول برشی دانست. هدف از این مطالعه، تعیین مدولهای کشسان و پارامترهای مقاومتی سنگ و بررسی تأثیر تخلخل بر مدولهای کشسان و پارامترهای مقاومتی سنگ در سازند دالان در میدان گازی پارس جنوبی است. با توجه به در دسترس نبودن و گران بودن داده‌های مغزه، و همچنین توجه به این مسئله که داده‌های حاصل از مغزه به صورت پیوسته نبوده و در تمام نقاط چاه در دسترس نیستند، استفاده از لاگ  $DSI$  برای محاسبه مدول‌های الاستیک یکی از بهترین روش‌ها برای محاسبه این پارامترها است. همچنین با استفاده از این لاگ می‌توان مدول‌های الاستیک را به طور پیوسته در چاه، مورد مطالعه قرارداد. در این مطالعه پارامترهای الاستیک دینامیک با استفاده از نمودار چاه پیمایی  $DSI$ ، و نمودار چگالی برای سازند دالان محاسبه شد. با توجه به اینکه پارامترهای محاسبه شده با استفاده از سرعت امواج صوتی از نوع پارامترهای دینامیکی هستند، لذا این پارامترها با استفاده از روابط تجربی مناسب به مدول‌های استاتیک تبدیل شدند. پارامترهای مقاومت سنگ با استفاده از روابط تجربی که به طور متداول در صنعت نفت برای تعیین پارامترهای مقاومت سنگ استفاده می‌شوند، محاسبه شدند. این پارامترهای با توجه به مدول‌های الاستیک استاتیک و همچنین مقادیر تخلخل و حجم شیل محاسبه شد. مقایسه مقادیر مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ با میزان تخلخل نشان داد که میزان تخلخل با مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ رابطه عکس دارد، به طوری که با افزایش تخلخل میزان مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ کاهش یافته است. در میان مدول‌های الاستیک، مدول بالک بیشترین همبستگی با میزان تخلخل و ضریب پواسون کمترین میزان همبستگی با میزان تخلخل را دارا هستند. از میان پارامترهای مقاومتی سنگ مقاومت فشاری تک محوره بیشترین همبستگی با میزان تخلخل و زاویه اصطکاک داخلی کمترین میزان همبستگی با میزان تخلخل را داراست. همچنین سرعت امواج  $S, P$  و نسبت  $Vp/Vs$  با افزایش تخلخل کاهش یافته است.

کلیدواژه: مدول‌های الاستیک، پارامترهای مقاومتی سنگ، ابزار  $DSI$ ، سازند دالان، سازند کنگان.

....

## ۱- مقدمه

کاربرد مکانیک سنگ از دهه‌های پیش در بخش‌های مختلف صنعت نفت دنیا مطرح شده و پروژه‌های زیادی در ارتباط با آن تعریف گردیده است. ولی متأسفانه در ایران مطالعات ژئومکانیکی مورد توجه جدی قرار نگرفته است و اطلاعات ناچیزی در مورد خواص ژئومکانیکی میادین هیدروکربوری ایران موجود است. علیرغم کاربردهای وسیع مطالعات ژئومکانیکی همچون پایداری دیواره چاه، شکافت هیدرولیکی، ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز، ماسه دهی چاه‌ها، نشست سطح زمین یا کف دریا، فعال شدن گسل‌ها، تغییر تراوایی، بهره‌دهی چاه‌ها، ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین مطالعات ژئومکانیکی در ایران به‌طور جدی مورد توجه قرار نگرفته‌اند (علی پور و بهلولی، ۱۳۸۹).

تیزر و همکاران (Tixier, Loveless et al. 1975) مقاومت سازند را با استفاده از ویژگی‌های مکانیکی لاگ تخمین زدند. لشکرپور (Lashkaripour 2002) ویژگی‌های مکانیکی گل سنگ‌ها را از طریق پارامترهای شاخص آنها پیش‌بینی کرد. لشکرپور رابطه میان تخلخل، مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ و میزان آب موجود در گل سنگ‌ها را بررسی کرد. نتیجه بررسی‌های آن نشان داد که میان پارامترهای مقاومتی سنگ، مدول‌های الاستیک، محتوای آب موجود در سنگ و تخلخل همبستگی خوبی موجود است نجیبی و همکاران (Najibi, Ghafoori et al. 2015) روابط تجربی بین ویژگی‌های الاستیک استاتیک و دینامیک را در سازند های آهکی آسماری و سروک مورد بررسی قرار دادند.

روابط تجربی مورد استفاده در این مقاله بر اساس آزمایشات مغزه که در یکی از کشورهای همسایه در سازند مشابه انجام شده بود، ارائه گردیده است. به‌طور کلی پارامترهای محاسبه شده در این مقاله شامل مدول یانگ دینامیک ( $E_{dyn}$ )، مدول یانگ استاتیک ( $E_{sta}$ )، ضریب پواسون دینامیک ( $\nu_{dyn}$ )، ضریب پواسون استاتیک ( $\nu_{sta}$ )، مدول بالک دینامیک ( $K_{dyn}$ )، مدول بالک استاتیک ( $K_{sta}$ )، مدول برشی دینامیک ( $G_{dyn}$ )، مدول برشی استاتیک ( $G_{sta}$ )، مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS)، زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) و مقاومت کششی سنگ (TSTR) می‌باشد.

برای تبدیل مدول‌های الاستیک دینامیک به استاتیک روابط متعددی ارائه شده است. در جدول ۱ برخی از روابط موجود برای محاسبه مدول‌های الاستیک استاتیک آورده شده است.

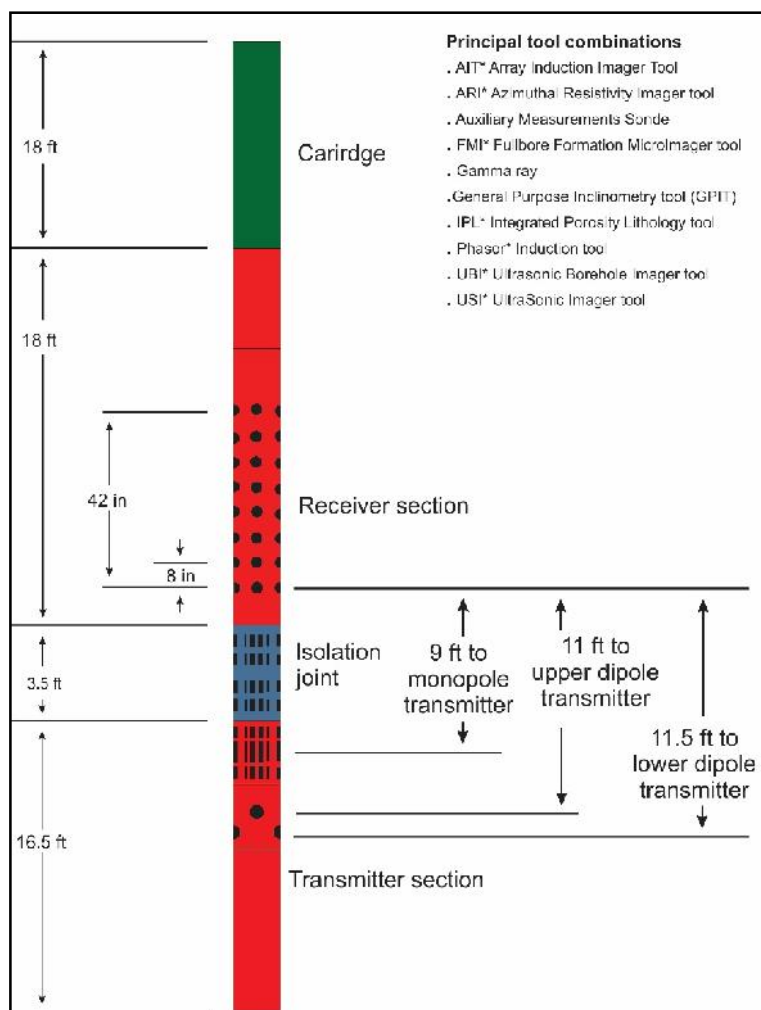
جدول ۱- روابط تجربی برای تبدیل مدول‌های الاستیک دینامیک به استاتیک.

نام پژوهشگران (سال)	رابطه مورد استفاده	نوع سنگ
Eissa and Kazi (1988)	$E_s = 0.74E_d - 0.82$	سنگ‌های رسوبی
Laskarpor, (2002)	$E_s = 0.103\sigma_c^{1.086}$	گل سنگ‌ها
Ameen et. al. (2009)	$E_s = 0.541E_d + 12.852$	سنگ آهک

## ۲- موقعیت و زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه

میدان گازی پارس جنوبی، یکی از میادین جنوب ایران و شامل دو مخزن کنگان و قسمت بالایی سازند دالان در حوضه رسوبی زاگرس است (Rahimpour-Bonab, 2007). میدان گازی پارس جنوبی در موقعیت ۵۲ تا ۵۲٫۵ درجه





شکل ۲- شکل شماتیک ابزار DSI و نمودارهای مورد استفاده با آن. (schlumberger, 1995)

## ۴- روش کار

### ۴-۱- محاسبه مدول‌های الاستیک دینامیک

پارامترهای الاستیک سنگ را می‌توان شامل مدول یانگ، نسبت پواسون، مدول بالک و مدول برشی دانست. مدول یانگ سنگ همراه میزان مقاومت تک‌محوری، دو پارامتر کلیدی در تعریف سنگ بکر هستند (Hudson, Cornet et al., 2003). در این مقاله مدول‌های الاستیک سنگ با استفاده از سرعت موج  $P$  و سرعت موج  $S$  که با استفاده از نمودار DSI حاصل شده، محاسبه شده‌اند.

### ۴-۲- مدول یانگ (Young's modulus)

مدول یانگ یا مدول الاستیسیته به نسبت تنش به کرنش مواد جامد خطی در پایین‌تر از استحکام تسلیم گفته می‌شود. مدول یانگ سنگ همانند مقاومت با توجه به نرخ بار وارده می‌تواند از نوع استاتیکی یا دینامیکی باشد. مدول الاستیسیته دینامیکی بیشتر از استاتیکی است ولی هرچه سنگ مقاومت بیشتری داشته باشد این دو مقدار به هم نزدیک‌ترند. مدول الاستیسیته

دینامیکی به سرعت انتشار امواج و در نتیجه به نوع سنگ، بافت، چگالی، روزنه داری، میزان تنش وارده و مقدار آب و غیره بستگی دارد. واحد اندازه‌گیری آن واحد فشار است. مدول یانگ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود ( Goodman, 1989).

$$E_{dyn} = \frac{\rho}{(v_p^2 - v_s^2)} \left( \frac{3v_p^4 - 4v_s^4}{2} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله مدول یانگ دینامیک،  $\rho$  دانسیته،  $V_p$  سرعت موج P و  $V_s$  سرعت موج S است.

### ۳-۴- ضریب پواسون (Poisson ratio)

نسبت کرنش جانبی (عرضی) به کرنش محوری (طولی) را نسبت یا ضریب پواسون گویند. ضریب پواسون با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Goodman, 1989).

$$\nu = \frac{(v_p^2 - 2v_s^2)}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادله  $\nu_{dyn}$ ،  $V_p$  و  $V_s$  به ترتیب ضریب پواسون دینامیک، سرعت موج P و سرعت موج S هستند. ضریب پواسون بدون واحد است.

### ۴-۴- مدول برشی (Shear Modulus)

به نسبت تنش برشی به کرنش برشی مدول برشی گویند. یکای مدول برشی گیگاپاسکال (GPa) و یا هزار پوند بر اینچ مربع (ksi) است. مدول برشی همواره مثبت است. مدول برشی واحدی برای سنجش مقاومت سنگ در برابر برش است. مدول برشی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Goodman, 1989).

$$G_{dyn} = \rho \frac{v_s^2}{2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این معادله  $G_{dyn}$ ،  $V_s$  و  $\rho$  به ترتیب مدول برشی دینامیک، سرعت موج S و چگالی هستند.

### ۵-۴- مدول بالک (Bulk Modulus)

مدول بالک با عنوان نسبت تنش‌های همه‌جانبه به کرنش حجمی تعریف می‌گردد و معیاری برای سنجش تراکم ناپذیری یک ماده است. واحد آن بر حسب فشار بیان می‌شود. مدول بالک با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود ( Goodman, 1989).

$$K_{dyn} = \rho \left( v_p^2 - \frac{4}{3}v_s^2 \right) \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این معادله  $K_{dyn}$ ،  $\rho$ ،  $V_p$  و  $V_s$  به ترتیب مدول بالک دینامیک، چگالی، سرعت موج P و سرعت موج S است.

### ۵- محاسبه پارامترهای الاستیک استاتیک

پارامترهای محاسبه با استفاده از سرعت امواج P و S، پارامترهای دینامیکی هستند. به علت اینکه زمان گذر موج از سنگ بسیار کوتاه است، لذا پارامترهای دینامیکی بزرگتر از پارامترهای استاتیکی هستند. دلیل این تفاوت می‌تواند وجود سیال منفذی باشد. موج صوتی در شرایط وجود فشار منفذی برداشت می‌گردد. درحالی‌که نتایج آزمایشگاهی در شرایط زهکش حاصل می‌شوند. اگرچه سیال منفذی به‌تنهایی نمی‌تواند دلیل تفاوت زیاد میان دو مقدار استاتیک و دینامیک باشد (King, 1983). لذا می‌بایست با معادلات مناسب مقادیر استاتیک را محاسبه نمود (Zoback, 2007). در این مقاله با استفاده از روابط تجربی ارائه‌شده در کشور همسایه، که با استفاده از داده‌های مغزه روابط تجربی را برای تبدیل مدول‌های دینامیک به استاتیک در سازند معادل با سازندهای مورد مطالعه معرفی نموده‌اند، استفاده شد.

#### ۱-۵- مدول یانگ استاتیک (Static Young's modulus)

افسری و همکاران (Afsari et al., 2010) با استفاده از آزمایش بر روی مغزه، مدول یانگ استاتیک را بر اساس مدول یانگ دینامیک محاسبه کردند. آن‌ها با استفاده از آزمایش به این نتیجه رسیدند که معادله ارائه‌شده توسط وانگ (Wang, 2000) بهترین تطابق را برای تبدیل مدول یانگ دینامیک به استاتیک داراست. بنابراین طبق روابط ارائه‌شده توسط وانگ و افسری و همکاران مدول یانگ و ضرب پواسون دینامیک طبق روابط زیر به مقادیر استاتیک تبدیل شد.

$$E_s = 0.4145E_d - 1.0593 \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\nu_{sta} = 0.4 - \nu_{dyn} \quad (\text{رابطه ۶})$$

#### ۲-۵- مدول بالک و برشی استاتیک (Static Bulk & Shear modulus)

مدول بالک و مدول برشی دینامیک با استفاده از معادله امین و همکاران (Ameen et al., 2009) طبق معادله زیر به مدول بالک و برشی استاتیک تبدیل شد.

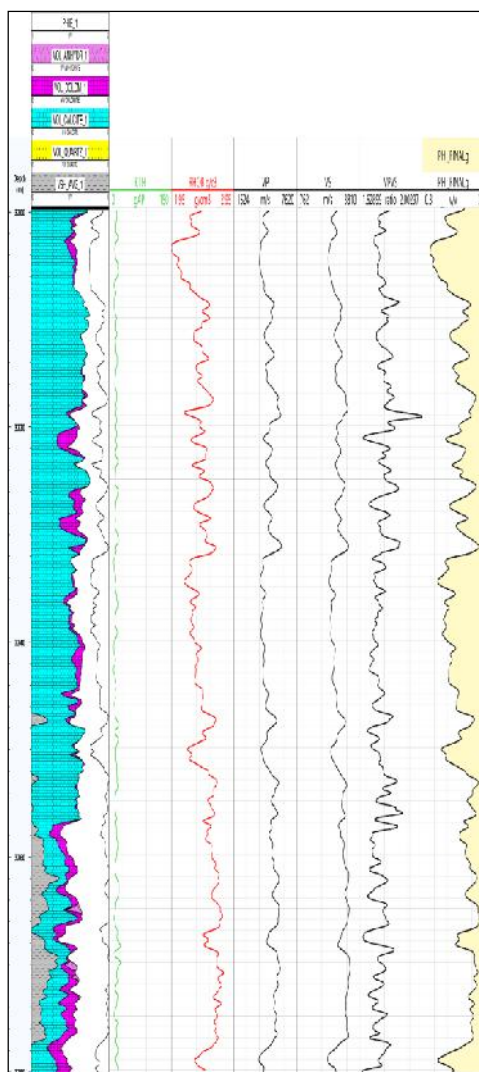
$$K_s = E_s / (3(1-2\nu_s)) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$G_s = E_s / (2(1+\nu_s)) \quad (\text{رابطه ۸})$$

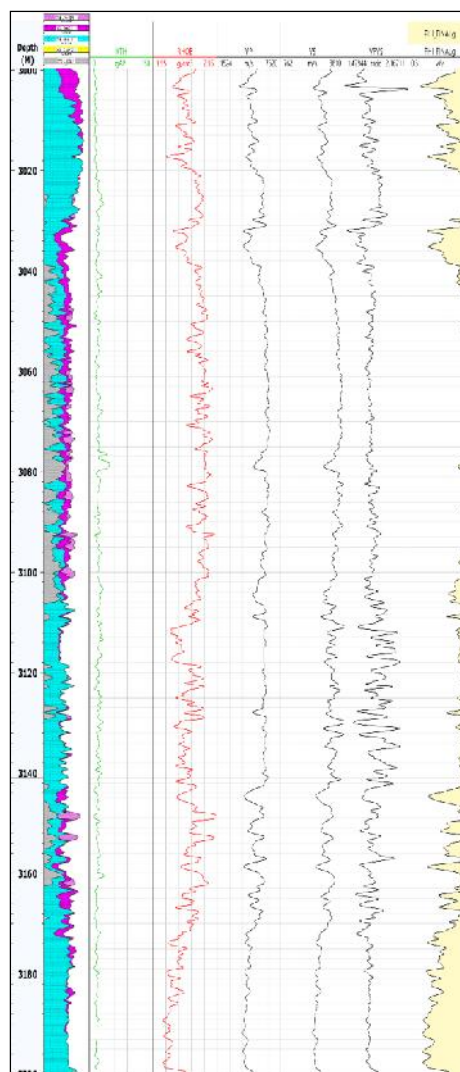
شکل ۳ نمودارهای چاه شامل  $V_p/V_s$ ،  $V_s$ ،  $V_p$ ، چگالی، گاما و لیتولوژی نشان داده شده است. شکل ۴ مقادیر مدول‌های الاستیک دینامیک، استاتیک و تخلخل‌های محاسبه‌شده را برای سازندهای دالان و کنگان نشان می‌دهد. در جدول ۲ می‌توان مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مدول‌های الاستیک استاتیک و دینامیک را مشاهده نمود.

جدول ۲- مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه مدول‌های الاستیک.

سازند	مدول یانگ دینامیک (GPa)	مدول یانگ استاتیک (GPa)	ضریب پوآسون دینامیک	ضریب پوآسون استاتیک	مدول بالک دینامیک (GPa)	مدول بالک استاتیک (GPa)	مدول برشی دینامیک (GPa)	مدول برشی استاتیک (GPa)
سازند دالان	کمینه	۲۶،۵۳۱	۰/۱۹۷۶	۰/۱۳۸۴	۱۸/۱۷۶۶	۰/۷۵۰۱	۱۰/۵۵۰۷	۰/۶۱۰۶
	بیشینه	۷۸/۶۵۴	۰/۳۳۳۹	۰/۲۳۳۷	۶۱/۳۴۶۱	۲/۴۶۸۰	۳۱/۰۵۰۴	۱/۹۲۷۱
	میانگین	۵۱/۶۹۹	۰/۲۵۹۹	۰/۱۸۱۹	۳۶/۳۸۶۶	۱/۵۵۶۸	۲۰/۴۹۶۴	۱/۲۴۸۷
سازند کنگان	کمینه	۲۸/۳۷	۰/۰۷۹	۰/۰۵۵	۱۲/۵۵۸	۴/۴۹۱	۱۱/۳۰۸	۴/۵۴۱
	بیشینه	۱۰۰/۹۳۳	۰/۳۶۴	۰/۲۵۵	۷۱/۳۴۸	۲۱/۲۶۷	۴۰/۴۱۹	۱۷/۳۶۴
	میانگین	۶۵/۱۵۲	۰/۲۶۳	۰/۱۸۴	۵۰/۲۰۷	۱۴/۴۷۸	۲۵/۵۴۱	۱۰/۸۶۵



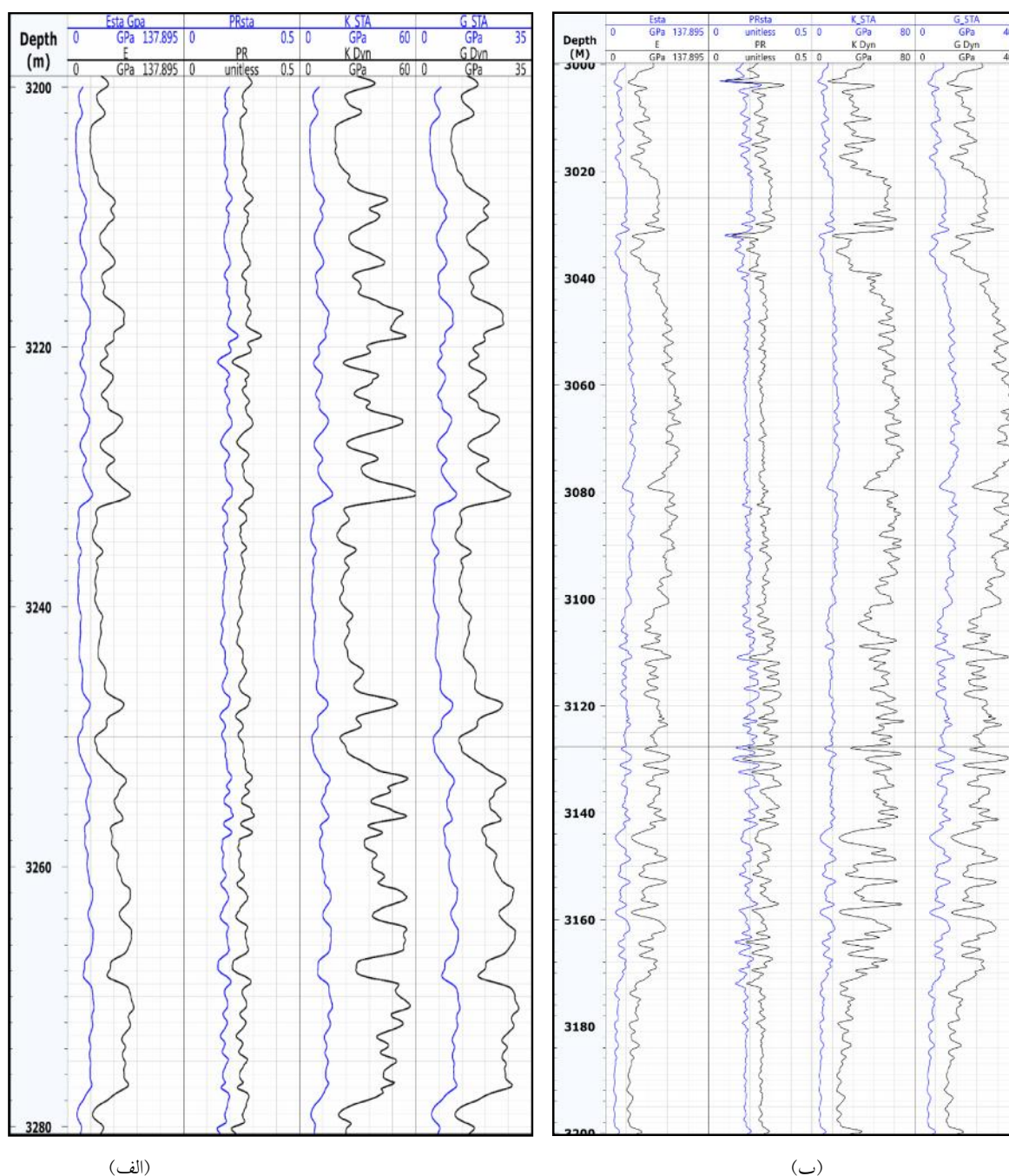
(الف)



(ب)



شکل ۳- نمودارهای چاه (الف) سازند دالان و (ب) سازند کنگان. از چپ به راست شامل ستون لیتولوژی، نگار پرتو گاما، چگالی،  $V_p$ ،  $V_s$ ، نسبت  $V_p/V_s$  و میزان تخلخل.



شکل ۴- نمایش مدول‌های الاستیک دینامیک و استاتیک (الف) سازند دالان و (ب) سازند کنگان، از چپ به راست شامل مدول یانگ استاتیک و دینامیک ( $E_{sta}$  و  $E_{dyn}$ )، ضریب پواسون استاتیک و دینامیک ( $PR_{sta}$  و  $PR_{dyn}$ )، مدول بالک استاتیک و دینامیک ( $K_{sta}$  و  $K_{dyn}$ ) و مدول برشی استاتیک و دینامیک ( $G_{sta}$  و  $G_{dyn}$ ) می‌باشد.

## ۶- پارامترهای مقاومتی سنگ

### ۶-۱- مقاومت فشاری تک‌محوره (Unconfined compressive strength)



در این مقاله، مقاومت فشاری تک‌محوره با استفاده از رابطه تجربی بین مقاومت فشاری تک‌محوره و مدول یانگ استاتیک محاسبه شده است. این رابطه توسط نجیبی و همکاران (Nabaei et al., 2010) برای سنگ‌های کربناته ارائه شده است.

$$UCS = 11.05E_s^{0.66} \quad (\text{رابطه ۹})$$

در این رابطه UCS مقاومت فشاری تک‌محوره و  $E_s$  مدول یانگ استاتیک می‌باشد.

## ۲-۶- زاویه اصطکاک داخلی (Internal Friction angle)

برای محاسبه زاویه اصطکاک داخلی سنگ از یک رابطه تجربی متداول در مکانیک سنگ که برای ماسه‌سنگ‌ها و کربنات‌ها به کار می‌رود و توسط پلامب و همکاران (Plumb et al., 2000) به دست آمده است، استفاده می‌شود.

$$\varphi = 26.5 - 37.4(1 - NPHI - V_{shale}) + 62.1(1 - NPHI - V_{shale})^2 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

متغیرهای موجود در این معادله، مقدار تخلخل خوانده شده توسط نمودار نوترون و همچنین حجم شیل می‌باشند. حجم شیل نیز با استفاده از نمودار پرتوگاما و طبق رابطه به دست می‌آید.

$$V_{shale} = \frac{GR_{max} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

در این معادله  $GR_{min}$  برابر با حداقل مقدار اشعه گاما و  $GR_{max}$  برابر با حداکثر مقدار اشعه گاما می‌باشد.

## ۳-۶- مقاومت کششی (Tensile strength)

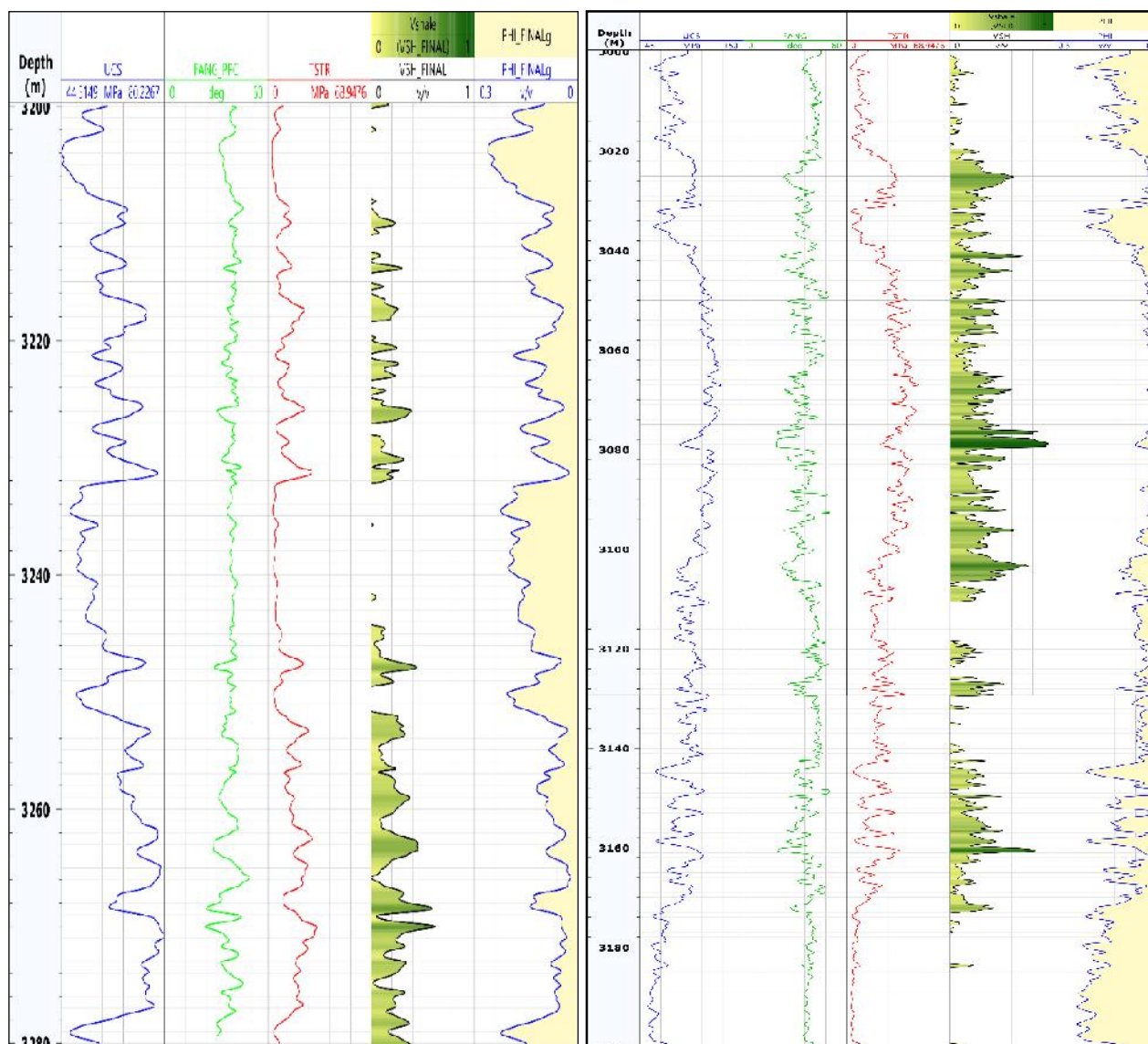
مقاومت کششی سنگ نیز بر اساس نوع سازند از  $\frac{UCS}{12}$  تا  $\frac{UCS}{8}$  تغییرپذیر است که برای سازندهای کربناته شکافدار از کمترین مقدار استفاده می‌شود.

$$T_0 = \frac{UCS}{12} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

شکل ۵ مقادیر پارامترهای مقاومتی سنگ در سازند دالان را نشان می‌دهد. در جدول ۳ مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین مقاومت فشاری تک‌محوره، زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت کششی سنگ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین پارامترهای مقاومتی سنگ.

مقاومت کششی (MPa)	زاویه اصطکاک داخلی (deg)	مقاومت فشاری تک‌محوره (MPa)	سازند
۲/۷۲	۲۳/۴۹	۴۴/۵۱	کمینه
۳۲/۸۳	۴۹/۳۲	۸۰/۲۲	بیشینه
۱۰/۸۴	۳۸/۵۹	۶۲/۳۶	میانگین
۲/۲۹	۱۹/۰۵	۵۲/۸۱	کمینه
۴۷/۸۷	۵۰/۱۷	۱۱۰	بیشینه
۲۰/۷۱	۳۷/۶۶	۹۴/۷۶	میانگین

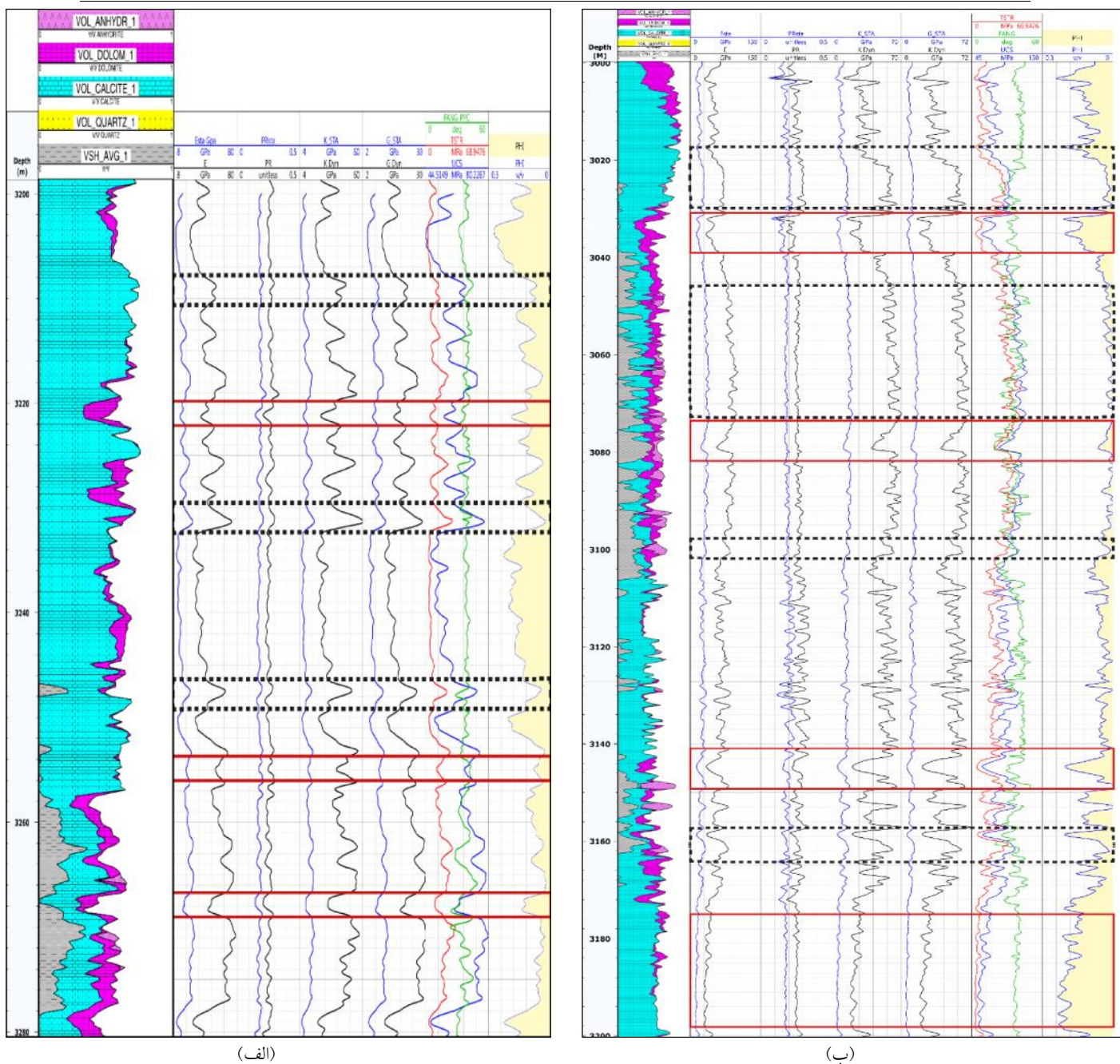


(الف)

(ب)

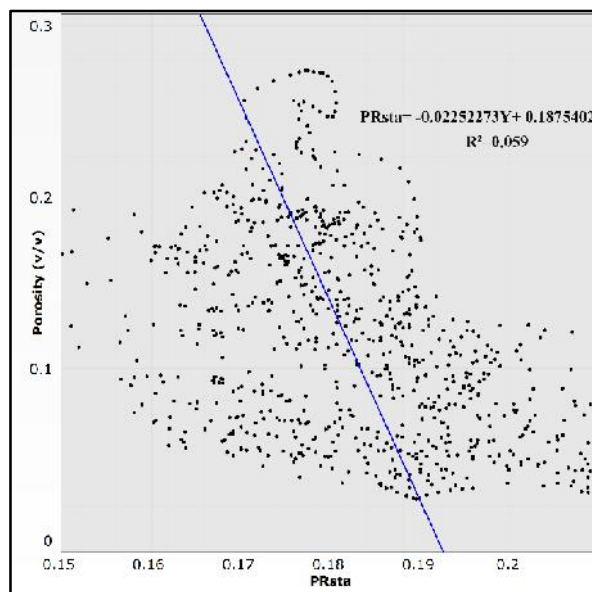
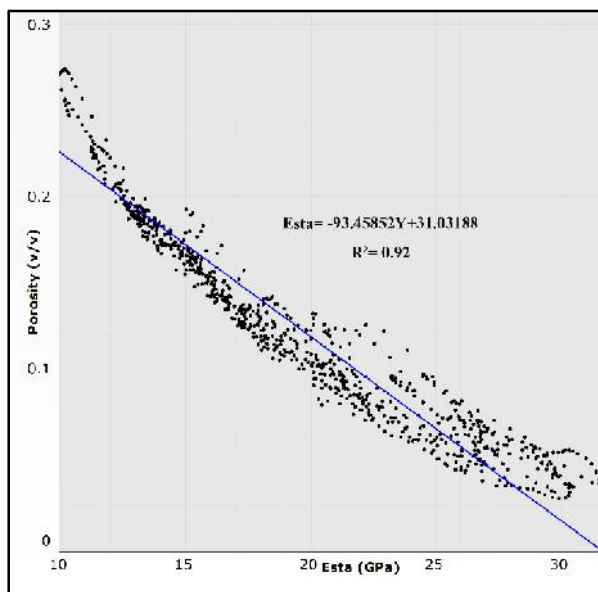
شکل ۵- نمایش پارامترهای مقاومتی سنگ (الف) سازند دالان و (ب) سازند کنگان. از چپ به راست شامل مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS)، زاویه اصطکاک داخلی (FANG) و مقاومت کششی سنگ (TSTR) می‌باشد.

در شکل ۶ تأثیر میزان تخلخل بر مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ با کادر مشخص شده است. همان‌طور که در شکل مشخص شده است، با افزایش میزان تخلخل مقادیر مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ کاهش یافته است. همچنین با کاهش میزان تخلخل این مقادیر افزایش یافته‌اند.



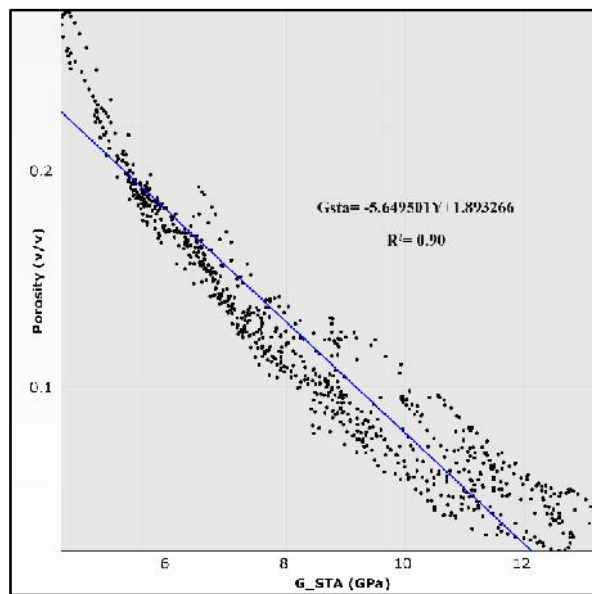
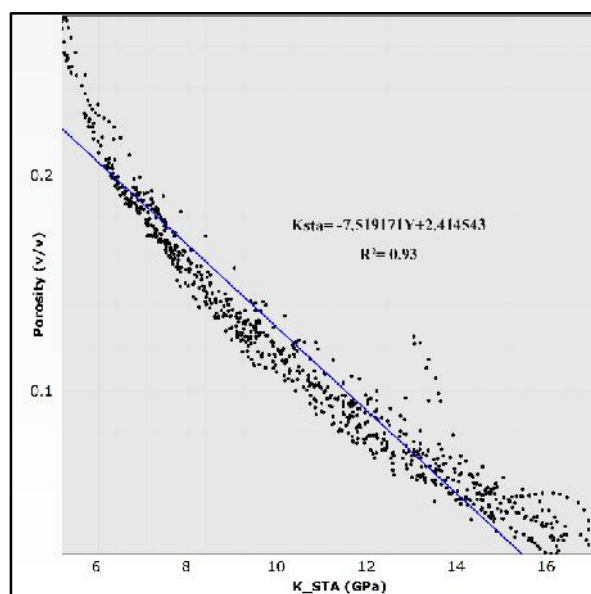
شکل ۶- نمایش لیتولوژی، مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ در مقابل میزان تخلخل. (الف) سازند دالان و (ب) سازند کنگان. نواحی که با خطچین مشخص شده نشان‌دهنده افزایش مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ با کاهش تخلخل و نواحی که با کادر قرمز مشخص شده‌اند نشان‌دهنده کاهش این پارامترها با افزایش تخلخل است. با توجه به میزان همبستگی مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ در مقابل تخلخل، که در اشکال ۶ و ۷ نشان داده شده‌اند، مشخص شد که از میان مدول‌های الاستیک مدول بالک و از میان پارامترهای مقاومتی سنگ، مقاومت فشاری تک محوره بیشترین میزان همبستگی را میزان تخلخل دارند. همچنین ضریب پواسون و زاویه اصطکاک داخلی، کمترین میزان همبستگی را با میزان تخلخل دارا هستند.





۱-۷ مدول یانگ استاتیک در مقابل تخلخل در سازند دالان

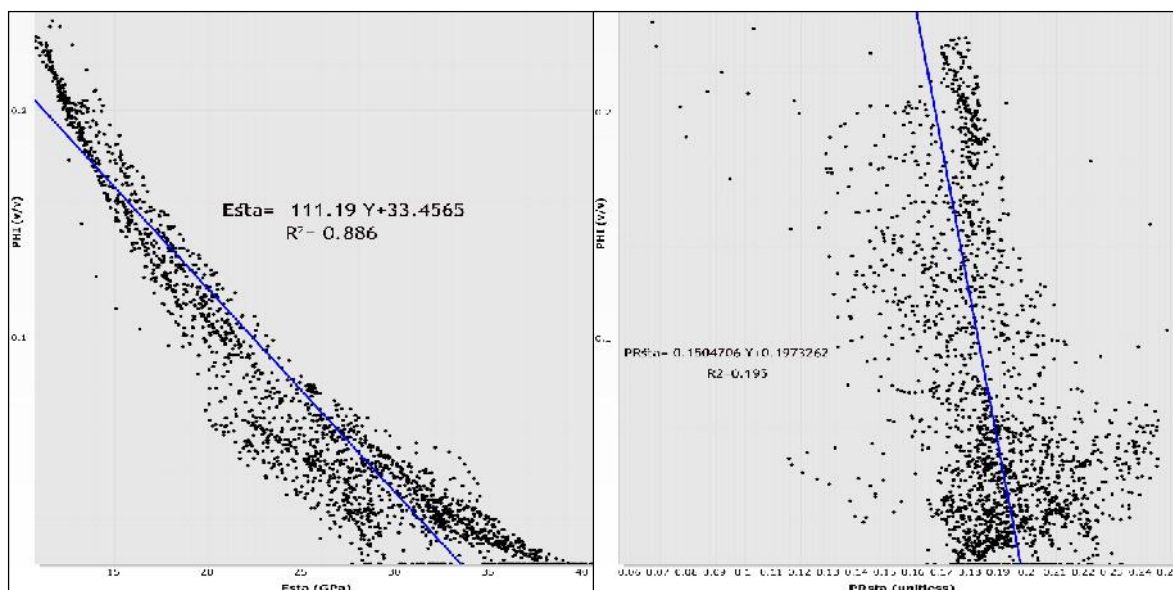
۲-۷ ضریب پواسون استاتیک در مقابل تخلخل در سازند دالان



۳-۷ مدول بالک استاتیک در مقابل تخلخل در سازند دالان

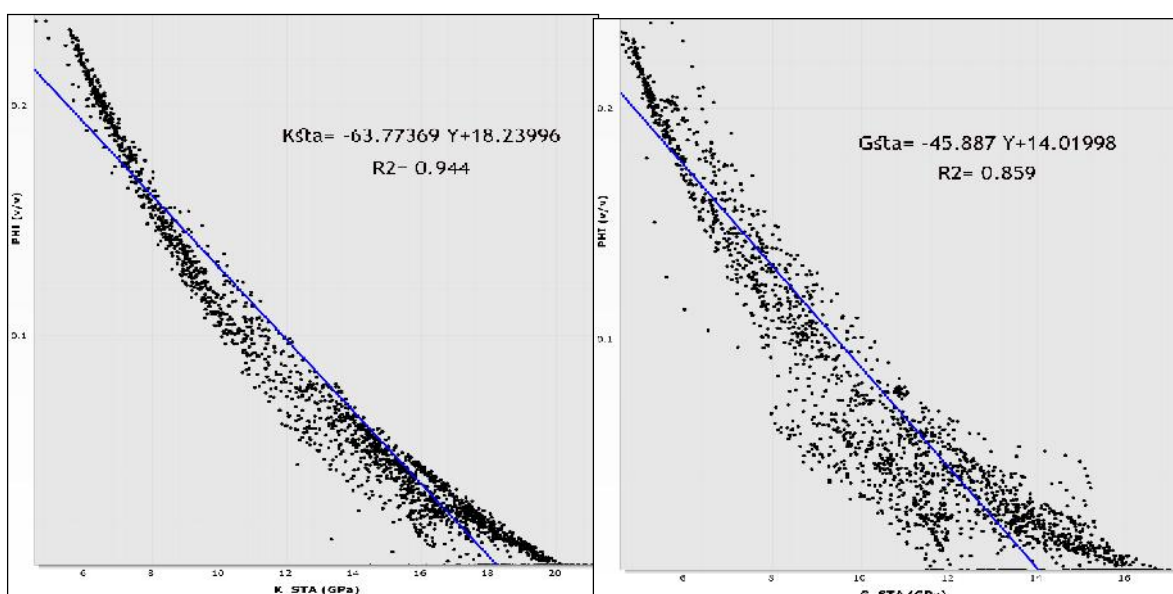
۴-۷ مدول برشی استاتیک در مقابل تخلخل در سازند دالان

اشکال ۱-۷ تا ۴-۷ نمایش مقادیر مدول‌های استاتیک در مقابل تخلخل که به ترتیب شامل مدول یانگ استاتیک ( $E_{sta}$ ), ضریب پواسون استاتیک ( $PR_{sta}$ ), مدول بالک استاتیک ( $K_{sta}$ ) و مدول برشی استاتیک ( $G_{sta}$ ) در سازند دالان می‌باشد.



۱-۸ مدول یانگ استاتیک در مقابل تخلخل در سازند کنگان

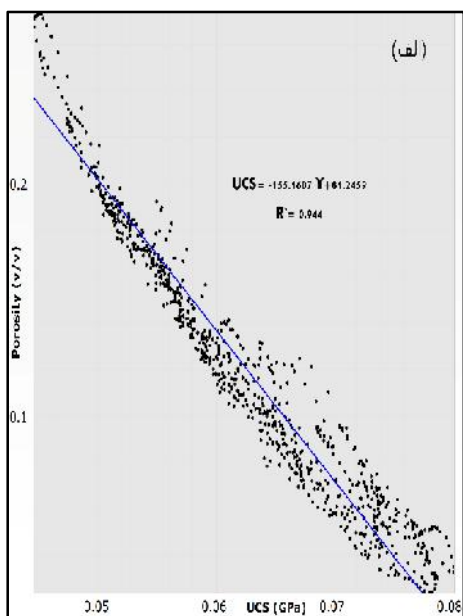
۲-۸ ضریب پواسون استاتیک در مقابل تخلخل در سازند



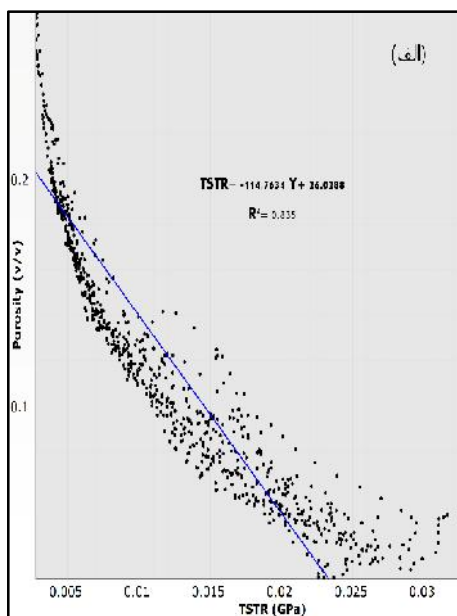
۳-۸ مدول بالک استاتیک در مقابل تخلخل در سازند کنگان

۴-۸ مدول برشی استاتیک در مقابل تخلخل در سازند کنگان

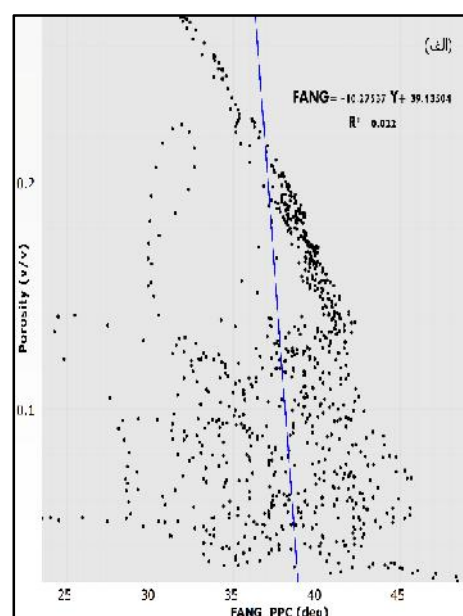
اشکال ۱-۸ تا ۴-۸- نمایش مقادیر مدول‌های استاتیک در مقابل تخلخل که به ترتیب شامل مدول یانگ استاتیک ( $E_{sta}$ )، ضریب پواسون استاتیک ( $PR_{sta}$ )، مدول بالک استاتیک ( $K_{sta}$ ) و مدول برشی استاتیک ( $G_{sta}$ ) در سازند کنگان می‌باشد.



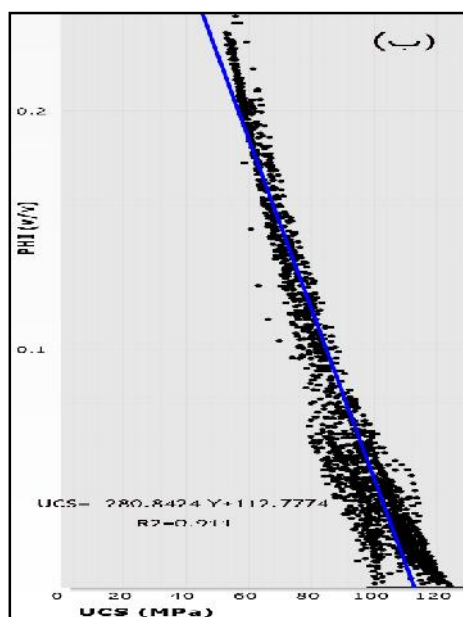
۹-۱- مقاومت فشاری تک محوره در مقابل تخلخل در سازند دالان



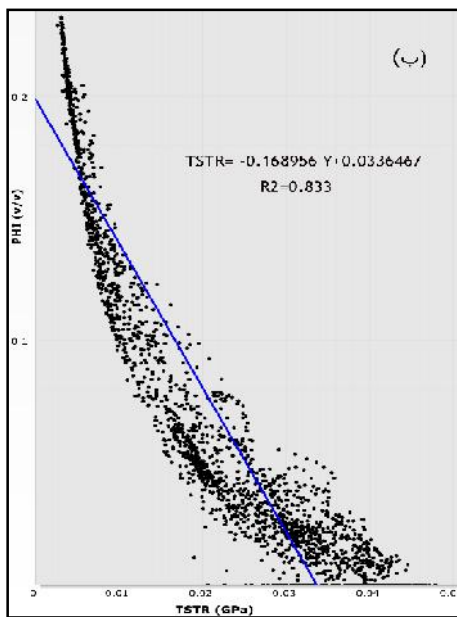
۹-۲- مقاومت کششی در مقابل تخلخل در سازند دالان



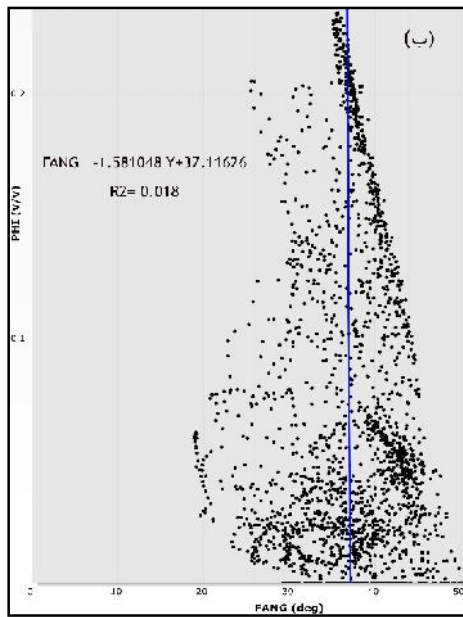
۹-۳- زاویه اصطکاک داخلی در مقابل تخلخل در سازند دالان



۹-۴- مقاومت فشاری تک محوره در مقابل تخلخل در سازند کنگان



۹-۵- مقاومت کششی در مقابل تخلخل در سازند کنگان



۹-۶- زاویه اصطکاک داخلی در مقابل تخلخل در سازند کنگان

اشکال ۹-۱ تا ۹-۶- نمایش پارامترهای مقاومتی سنگ در مقابل تخلخل برای سازندهای دالان (الف) و کنگان (ب) که به ترتیب شامل مقاومت فشاری تک محوره (UCS)، مقاومت کششی (TSTR) و زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi$ ) می باشد.



## ۷- نتیجه گیری

با توجه به پارامترهای محاسبه شده و مقایسه آنها با میزان تخلخل مشخص شد که: مقدار مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ با افزایش میزان تخلخل کاهش یافته، و این مقادیر با کاهش میزان تخلخل افزایش یافته‌اند. این تغییرات هم در قسمت فوقانی مخزن و هم در قسمت انتهایی آن قابل مشاهده است. در میان مدول‌های الاستیک مدول بالک بیشترین میزان تطابق را با میزان تخلخل داشته و ضریب پواسون کمترین میزان تطابق را با میزان تخلخل دارد، به طوری که با افزایش میزان تخلخل، مدول بالک در میان سایر مدول‌ها به میزان بیشتری کاهش یافته است.

از میان پارامترهای مقاومتی سنگ، مقاومت فشاری تک‌محوره بیشترین تطابق را با میزان تخلخل داشته و زاویه اصطکاک داخلی کمترین میزان تطابق را مقادیر تخلخل دارد، به طوری که با افزایش میزان تخلخل مقاومت فشاری تک‌محوره در مقایسه با دیگر پارامترهای مقاومتی سنگ بیشتر کاهش یافته است.

قسمت پایینی مخزن به طور میانگین دارای تخلخل کمتری در مقایسه با قسمت‌های فوقانی آن است، در نتیجه میزان مدول‌های الاستیک و پارامترهای مقاومتی سنگ در قسمت پایینی مخزن بیشتر از قسمت فوقانی آن می‌باشد. سرعت موج P و S ( $V_p$  و  $V_s$ ) و نسبت  $V_p/V_s$  با افزایش تخلخل به شدت کاهش پیدا کرده‌اند.

## سپاس و قدر دانی

با تشکر از اداره نمودارگیری شرکت ملی حفاری ایران که داده‌های مورد نیاز برای انجام این پژوهش را در اختیار ما قرار دادند. همچنین از داوران مقاله سرکار خانم دکتر بیتا ارباب و آقایان دکتر محمد مختاری، دکتر عزت اله کاظم زاده تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

- [۱] - علی پور، م.، بهلولی، ب.، ۱۳۸۹. ژئومکانیک در مهندسی نفت، کاربردها، بررسی شکاف هیدرولیکی و مدل‌سازی ژئومکانیکی: اکتشاف و تولید، شماره ۷۶، صفحه ۳۳-۲۷.
- [2]- AFSARI, M., AMANI, M., RAZMGIR, S. A. M., KARIMI, H., and YOUSEFI, S. (2010). Using Drilling and Logging Data for Developing 1D Mechanical Earth Model for a Mature Oil Field to Predict and Mitigate Wellbore Stability Challenges. International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, Society of Petroleum Engineers
- [3]- AMEEN.M., SMART.B., SOMERVILLE.J., HAMMILTON.S., and NAJL.N (2009). Predicting Rock Mechanical Properties of Carbonates From Wireline Logs (A Case Study: Arab-D Reservoir, Ghawar Field, Saudi Arabia)." Marine and Petroleum Geology 26(4): 430-444

- [4]- EDGELL, H. (1977). The Permian System as an Oil and Gas Reservoir in Iran, Iraq and Arabia. Proc. Second Iranian Geological Symposium, Tehran.
- [5]- GOODMAN, R. E. (1989). Introduction to Rock Mechanics, Wiley New York.
- [6]- HUDSON, J., CORNET, F.H., CHRISTIANSSON, R. "ISRM Suggested Methods for Rock Stress Estimation—Part 1: Strategy for Rock stress Estimation. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 40(7): 991-998.
- [7]- KING, M. S. (1983). Static and Dynamic Elastic Properties of Rocks From the Canadian Shield. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Elsevier.
- [8]- LASHKARIPOUR, G. R. (2002). Predicting Mechanical Properties of Mudrock from Index Parameters. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 61(1): 73-77.
- [9]- NABAEI, M., SHAHBAZI, KH., SHADRAVAN, A., AND AMANI, M (2010). Uncertainty Analysis in Unconfined Rock Compressive Strength Prediction. SPE Deep Gas Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers.
- [10]- NAJIBI, A. R., GHAFOORI, M., LASHKARIPOUR, G., ASEF, M (2015). Empirical Relations Between Strength and Static and Dynamic Elastic Properties of Asmari and Sarvak Limestones, Two Main Oil Reservoirs in Iran. Journal of Petroleum Science and Engineering 126: 78-82.
- [11]- PLUMB, R., EDWARDS, S., PIDCOCK, G., AND LEE, D (2000). The Mechanical Earth Model Concept and Its Application to High-Risk Well Construction Projects. IADC/SPE Drilling Conference, Society of Petroleum Engineers.
- [12]- RAHIMPOUR BONAB, H., ENAYATI-BIDGOLI, A.H., NAVIDTALAB, A., AND MEHRABI, H (2014). Appraisal of Intra Reservoir Barriers in The Permo-Triassic Successions of The Central Persian Gulf, Offshore Iran. Geologica Acta: an International Earth Science Journal 12(1).
- [13]- RAHIMPOUR-BONAB, H. (2007). A Procedure for Appraisal of a Hydrocarbon Reservoir Continuity and Quantification of its Heterogeneity. Journal of Petroleum Science and Engineering 58(1): 1-12.
- [14]- SCHLUMBERGER (1995). DSI\*Dipole Shear Sonic Imager. 41.
- [15]- TIXIER, M., LOVELESS, GW., ANDERSON, RA. (1975). Estimation of Formation Strength from the Mechanical-Properties Log (includes associated paper 6400). Journal of Petroleum Technology 27(03): 283-293.
- [16]- WANG, Z. (2000). Dynamic Versus Static Elastic Properties of Reservoir Rocks. Seismic and Acoustic Velocities in Reservoir Rocks 3: 531-539.
- [17]- ZOBACK, M. D. (2007). Reservoir Geomechanics, Cambridge University Press.

## Calculation of elasticity modulus and rock strength parameters and their relationship with porosity in Kangan and Dalan formations in one of the well in south pars gas field

R. Khoshnevis Zadeh, A. Hajian, E. Larki

\*rezakhoshnevispg@gmail.com

Received: January 2018, Accepted: May 2018

### Abstract

The elastic parameters of the rock include the Young modulus, the Poisson ratio, the bulk modulus and the shear modulus. Young modulus with the unconfined compressive strength of rock, are two key parameters in the definition of intact rock. Elastic modulus represents the amount of rock rigidity and is known as the stress-strain chart slope. These parameters represent of rock strength to failure, are important parameters for the stability analysis of wellbore stability. According to the unavailability and cost of core data, and also attended to this fact that the data from the core are not continuous and not available at all points in the well, the uses of DSI logs is one of the best methods for calculating elastic modules. Using these logs, you can also study elastic moduli continuously in a well. In this study, elastic dynamic parameters were calculated using the DSI and density logs for the Dalan Formation. Attention to the fact that the calculated parameters using the velocity of the sound waves are of the type of dynamic parameters, these parameters were have converted to the static modules using appropriate empirical relationships. The rock strength Parameters were calculated using the experimental relationships commonly used in the oil industry to determine rock strength parameters. These parameters were calculated according to static elastic modulus as well as porosity and shale volume. Comparing the values of elastic modulus and rock strength parameters with porosity showed that porosity with elastic modulus and rock strength parameters has an inverse relationship, so that with increases the porosity, the elastic modulus and rock strength parameters have been reduced.

**Keywords:** Elastic modulus, Rock strength parameters, DSI tool, Dalan formation.

....