امکان‌سنجی استفاده از مطالعات ژئومکانیکی انجام گرفته در مخازن کشورهای حوزه خلیج‌فارس جهت ارتقای مطالعات مدلسازی ژئومکانیکی میادین هیدروکربنی ایران

شهرزاد سیدسجادی* • شرکت نفت‌وگاز اروندان | مسعود نعمت‌الهی • شرکت پالایش نفت آبادان |

چکیده

علم ژئومکانیک در صنعت نفت‌وگاز از اهمیت زیادی برخوردار است. در ایران علی‌رغم وجود مسائلی نظیر ریزش دیواره‌ی چاه، وجود مخازن شکافدار، تولید ماسه و ... مطالعات ژئومکانیکی اندکی انجام شده است. عوامل زمین‌شناسی و تکتونیکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار در روابط و پارامترهای ژئومکانیکی هستند و با توجه به شباهت‌های زمین‌شناسی، اطلاعات ژئومکانیکی موجود در مطالعات کشورهای حوزه خلیج‌فارس مناسب‌ترین گزینه‌هایی هستند که در صورت فقدان اطلاعات و یا برای برنامه‌ریزی می‌توان از آن‌ها در تکمیل اطلاعات مکانیک‌سنگ استفاده کرد. در این مطالعه، نتایج و روش‌های اتخاذ شده در زمینه‌ی تعیین پارامترهای مدل ژئومکانیکی در کشورهای حوزه خلیج‌فارس جمع‌آوری و تحلیل شده و امکان استفاده از این نتایج در تخمین پارامترهای مورد نیاز برای ساخت مدل ژئومکانیکی مخزن بنگستان در میدان کوپال مورد بحث قرار می‌گیرد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده:
۹۳/۷/۱۹

تاریخ ارسال به داور:
۹۳/۸/۹

تاریخ پذیرش داور:
۹۴/۱۲/۱۵

واژگان کلیدی:
مدل ژئومکانیکی، تنش برجا، مدول الاستیسیته، پارامترهای مقاومتی سنگ، مخزن بنگستان

مقدمه

کاربرد مکانیک‌سنگ 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. از طرف دیگر، مباحث مربوط به مکانیک‌سنگ در کشورهای حوزه خلیج‌فارس از جمله عربستان، عمان، عراق، امارات و... بیشتر مورد توجه بوده و مطالعات آنها نتایج خوبی در پیشرفت صنعت نفت این کشورها داشته است.

مدل ژئومکانیکی، پایه و اساس سایر مطالعات ژئومکانیکی به‌ویژه موضوع پایداری چاه است. با داشتن مدل ژئومکانیکی در چاه‌های ایران، می‌توان پنجره ایمن وزن گل برای حفاری را تخمین زد و از صرف زمان و هزینه‌های زیاد برای حفاری و بهره‌برداری صرفه‌جویی کرد. به‌همین دلیل، ساخت مدل ژئومکانیکی باید به‌عنوان یک اولویت در برنامه‌ی بخش‌های مختلف صنایع بالادستی نفت قرار گیرد. در مراحل بعدی نیز می‌توان با استفاده از چنین مدل‌هایی، مطالعات پایداری چاه، شکست هیدرولیکی، مدیریت تولید ماسه و... را برای مخازن متعدد نفتی و گازی موجود در ایران، گسترش داد. یک مدل جامع ژئومکانیکی مخزن شامل وضعیت تنش و فشار منفذی به‌صورت تابعی از عمق، خصوصیات سنگ از جمله پارامترهای مرتبط با تغییرشکل سنگ شامل مدول‌های الاستیسیته و پارامترهای مقاومتی سنگ مانند مقاومت فشاری تک‌محوره، مقاومت کششی و زاویه اصطکاک داخلی سنگ می‌باشد.

از آنجایی که شرایط زمین‌شناسی و حوزه‌های نفتی موجود در میادین ایران شباهت‌های زیادی با کشورهای حوزه‌ی خلیج‌فارس دارند، تا حدودی می‌توان از نتایج تحقیقات و روابط تجربی ژئومکانیکی موجود در میادین این کشورها برای بهبود بخشیدن به مطالعات مدل‌سازی ژئومکانیکی میادین ایران و گسترش بانک اطلاعاتی مربوط به آن استفاده کرد.

برای تحلیل و بررسی مطالعات ژئومکانیکی مخازن کشورهای حوزه خلیج‌فارس، از بین مقالات SPE موجود درباره مطالعات ژئومکانیکی در کشورهای مذکور، مقالاتی که از روش‌های خاص و جدیدتر برای تحلیل مسائل استفاده کرده بودند و میادین و سازندهای مورد مطالعه‌ی آنها از نظر مشکلات پیش‌رو یا خصوصیات زمین‌شناسی به میادین هیدروکربنی ایران نزدیک‌تر بودند، انتخاب شده و به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفتند. مقالات انتخاب شده دارای موضوعات مختلفی از جمله مدل‌سازی ژئومکانیکی، پایداری دیواره چاه، شکست هیدرولیکی و تولید ماسه بودند. [۷-۱]

۱- نزدیکی خصوصیات زمین‌شناسی و تکتونیکی میادین هیدروکربنی کشورهای حوزه خلیج‌فارس و میادین جنوب‌غرب ایران

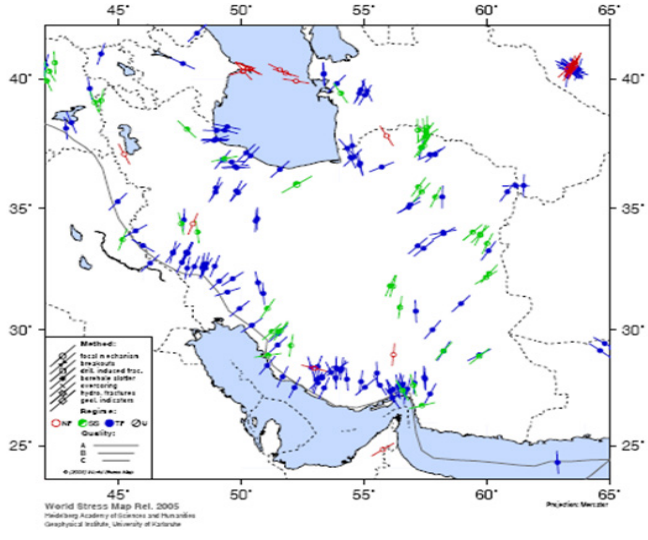
همان‌طور که در شکل-۱ دیده می‌شود، بخشی از کشور ایران به‌همراه تعدادی از کشورهای حوزه خلیج فارس در یک صفحه تکتونیکی به نام صفحه عربی[1] قرار گرفته‌اند. نزدیک بودن این کشورها به یکدیگر، باعث شده است که بین سازندهای موجود در میادین هیدروکربنی آنها از لحاظ چینه‌شناسی، زمین‌شناسی و تکتونیکی روابط و شباهت‌های فراوانی وجود داشته باشد.

عوامل زمین‌شناسی و تکتونیکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار روی

* Sh_sajadi66@yahoo.com

شکل ۱ | قرار گرفتن بخشی از ایران به همراه دیگر کشورهای حوزه خلیج‌فارس در یک صفحه‌ی تکتونیکی به نام Arabian Plate [۸]

روابط و پارامترهای ژئومکانیکی هستند. با توجه به این نکته، اطلاعات ژئومکانیکی موجود در مطالعات کشورهای حوزه خلیج‌فارس مناسب‌ترین گزینه‌هایی هستند که درصورت فقدان اطلاعات و نیز برای برنامه‌ریزی می‌توان از آنها برای تکمیل اطلاعات مکانیک‌سنگ در ایران استفاده کرد. شباهت‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی، سبب نزدیک شدن مقدار نسبی پارامترهای مکانیکی سنگ از جمله خواص الاستیسیته و پارامترهای مقاومتی سنگ و شباهت‌های تکتونیکی، سبب نزدیک شدن مقدار تنش‌های برجا و جهت‌های کلی تنش در این منطقه می‌شود به‌گونه‌ای که با لحاظ مفهوم "ایالت‌های تنش" می‌توان بخش عمده‌ای از کشورهای مزبور را همراه با میادین جنوب‌غرب ایران در یک ایالت قرار داد. برای مثال جهتِ تنش در مقیاس بزرگ برای این ناحیه، از تنش‌های وارد بر رشته کوه زاگرس پیروی کرده و شمال‌شرقی – جنوب‌غربی است (شکل-۲).



شکل ۲ | وضعیت ایالت‌های تنش در میادین هیدروکربنی ایران [۹]

۲-روش‌های تخمین اجزای مدل ژئومکانیکی در کشورهای حوزه خلیج‌فارس

در جدول‌های-۱ تا ۴ که در ادامه آورده شده، مطالعات انجام شده برای تخمین هریک از اجزای اصلیِ یک مدل ژئومکانیکی شامل مدول‌های الاستیسیته سنگ و پارامترهای مقاومتی سنگ در کشورهای حوزه خلیج‌فارس گردآوری شده است:

همان‌طور که در جدول-۱ دیده می‌شود طبق تعاریف مدول‌های الاستیسیته سنگ، مدول‌های الاستیسیته دینامیک با استفاده از داده‌های نمودارهای صوتی فشاری و برشی و نمودار چگالی به‌دست می‌آیند. مدول‌های الاستیسیته استاتیک نیز توسط روابط تجربی که از آزمایش روی مغزه‌ها حاصل می‌شوند(مانند تست فشار سه‌محوره)، تخمین زده

جدول ۱ | نتایج مطالعات انجام شده برای تخمین مدول‌های الاستیسیته سنگ در سازندهایی از میادین کشورهای حوزه خلیج‌فارس

پارامتر ژئومکانیکی	شماره مقاله SPE	سازند، میدان/ سنگ‌شناسی	کشور	روش به دست آوردن پارامتر	رابطه تجربی موجود برای تخمین پارامتر	حدود مقدار پارامتر	توضیحات
مدول یانگ	۱۳۸۲۱۴	سازند نهرعمر/ عمدتاً شیلی	عمان	مدول یانگ دینامیک از روی نمودار به دست می‌آید و توسط روابط تجربی تبدیل به خواص pseudo-static می‌شود.	$Ed = [\rho/(\Delta t_p)^2] \times [(3(\Delta t_p)^2 - 4(\Delta t_s)^2) / ((\Delta t_p)2-(\Delta t_s)2)]$	۱۰ GPa	
	۶۸۱۹۴	سازند خوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان		$E = 9G K_{bulk} / (3K_{bulk}+G)$ $Log E_{static} = 0.99 log E_{dynamic} - 0.15$		
	۸۱۴۷۶	سازند خوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان	نمودارهای صوتی و نمودار چگالی بالک	$E_d = 2\rho (1+\nu) v_s^2$ $Log E_{static} = A+B \times log E_{dynamic}$		
	۱۰۶۸۰	سازند Natih و/ کربناته Shuaiba	عمان	آزمایش‌های تست فشار سه‌محوره روی مغزه		Shuaiba =۴/۹GPa	برای سازند Natih مقادیر متفاوت است

ادامه جدول ۱

	۷۷۶۷۷	سازند Unayzah / میدان قوار/ عمدتاً ماسه‌سنگی	عربستان	نمودارگیری open hole و آنالیز مغزه، اجرای مدل Mecpero		۱۰ ^-۲۱GPa	
	۷۲۱۴۲	سازندخوف/میدان قوار/کربناته	عربستان			۱۲۱/۴۴GPa	
	۱۱۰۹۶۵	سازند Unayzah / میدان قوار/ عمدتاً ماسه‌سنگی	عربستان	تست‌های فشاری سه‌محوره چندمرحله‌ای multistage triaxial) (test			
نسبت پواسن	۱۳۸۲۱۴	سازندنهرعمر/ عمدتاً شیلی	عمان	نسبت‌پواسن دینامیک از نمودار صوتی به‌دست می‌آید و توسط روابط تجربی تبدیل به خواص pseudo–static می‌شود.	$\nu_d = ½ [((\Delta tp)^2-2(\Delta ts)^2) / ((\Delta tp)^2-(\Delta ts)^2)]$	۰/۲۲	
	۶۸۱۹۴	سازندخوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان		$\Delta= (3 K_{bulk} -2G)/(6 K_{bulk}+2G)$ $\nu_{static} = \nu_d$		نسبت پواسن همیشه مثبت و کمتر از ۰/۵ است
	۸۱۴۷۶	سازندخوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان	نمودارهای صوتی	$vd= [(v_p/ v_s)^2-2] /2[(v_p/ v_s)^2-1]$	حدودا ۰/۳	
	۱۰۶۸۰	سازند Natih و کربناته Shuaiba	عمان	آزمایش‌های تست فشار سه‌محوره روی مغزه		Shuaiba =۰/۲۲	برای سازند در Natih حدود ۰/۲ است
	۱۱۰۹۶۵	سازند Unayzah/ میدان قوار/ عمدتاً ماسه‌سنگی	عربستان	تست‌های فشاری سه‌محوره چندمرحله‌ای multistage triaxial) (test		۰/۲۵۸	
	۱۰۵۳۸۳	سازندنهرعمر/ عمدتاً شیلی	امارات			۰/۲۲	
مدول برشی	۶۸۱۹۴	سازندخوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان	نمودارگیری صوتی آرایه‌ای (Array) و دوقطبی (Dipole) که پروفایل پیوسته‌ای از موج فشاری و برشی را می‌دهند به‌علاوه نمودار چگالی بالک	$G= ۱۳۴۷۴/۴۵× (\rho b/\Delta t_{shear})$		
مدول بالک	۶۸۱۹۴	سازندخوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان	نمودارگیری صوتی آرایه‌ای (Array) و دوقطبی (Dipole) که پروفایل پیوسته‌ای از موج فشاری و برشی را می‌دهند به‌علاوه نمودار چگالی بالک	$K_{bulk}= ۱۳۴۷۴/۴۵×\rho_b [۱/ \Delta t_{compressional}]$		

می‌شوند. این روابط می‌توانند مدول‌های الاستیسیته استاتیک سنگ مانند مدول یانگ استاتیک را برحسب پارامترهایی نظیر تخلخل یا مدول یانگ دینامیک به‌دست آورند.

از روابط تجربی به‌دست آمده برای سازندها می‌توان در تخمین مدول‌های الاستیسیته استاتیک در سازندهایی که فاقد اطلاعات آزمایشگاهی ژئومکانیکی هستند و شرایط زمین‌شناسی و تکتونیکی نزدیک به سازند مذکور دارند، استفاده کرد. توجه به این نکته ضروری است که مقادیر به‌دست آمده از این روش دارای دقت زیادی نیستند و ممکن است با خطاهایی همراه باشند ولی به‌طور کلی استفاده از این روش، یکی از راه‌های متداول در تخمین پارامترهای مکانیک سنگ در دنیاست[۱۰].

مطابق نتایج به‌دست آمده از جدول-۲، متداول‌ترین روش برای

تخمین پارامترهای مقاومتی سنگ، تست فشار سه‌محوره در آزمایشگاه است.

برای به‌دست آوردن پروفایل پیوسته‌ای از پارامترهای مقاومتی سنگ مانند مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS)نیز باید از یک رابطه‌ی تجربی به‌دست آمده از آزمایشگاه استفاده کرد. این رابطه می‌تواند از رسم منحنی مربوط به داده‌های UCS در مقابل تخلخل یا مدول یانگ استاتیک ایجاد شده باشد. اگر این اطلاعات در دسترس نباشند، باید از روابط تجربی موجود در کتب و مقالات استفاده کرد.

۳-مطالعه موردی

در اینجا روش استفاده از مطالعات مدل‌سازی ژئومکانیکی انجام گرفته درعراق در تعیین پارامترهای ژئومکانیکی مخزن بنگستان میدان کوپال موردبررسی قرار می‌گیرد. در ایران به‌دلیل کمبود اطلاعات آزمایشگاهی و عدم راندن نمودار DSI و نیز فقدان اطلاعاتی نظیر آزمایش نشت در اکثر چاه‌ها، ساخت مدل ژئومکانیکی بسیار مشکل بوده و با عدم‌قطعیت همراه است. بنابراین، همان‌طور که گفته شد در چنین شرایطی، یکی از راه‌های پیش‌رو، استفاده از روابط تجربی ژئومکانیکی موجود در کتب و مقالات برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز است.

جدول ۲| نتایج مطالعات انجام شده برای تخمین پارامترهای مقاومتی سنگ در سازندهایی از میادین کشورهای حوزه خلیج‌فارس

پارامتر ژئومکانیکی	شماره مقاله SPE	سازند، میدان/ سنگ‌شناسی	کشور	روش به دست آوردن پارامتر	رابطه تجربی موجود برای تخمین پارامتر	مقدار پارامتر	توضیحات
مقاومت فشاری تک‌محوره	۱۳۸۲۱۴	سازندِ نهرعمر/ عمدتاً شیلی	عمان	هم از نمودارگیری به‌دست می‌آید و هم از تست آزمایشگاهی روی نمونه‌های مغزه با عنوان Scratch Test		۲۱۷۵/۸– ۳۶۲۶/۲۴ psi	
	۶۸۱۹۴	سازندِ خوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان	تست فشار سه‌محوره در آزمایشگاه	UCS= So /0.289		
	۸۱۴۷۶	سازندِ خوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان		UCS= 2600Estatic		Deere Miller equation واحد مدول یانگ Mpsi و واحد UCS است psi ،
	۷۸۴۹۴	سازندِ نهرعمر/ میدان Zakum/ عمدتاً شیلی	امارات/ ابوظبی	تست برش مستقیم روی مغزه‌های کوچک		UCS_1 = ۴۸۹۰ psi UCS_2= ۱۸۸۰ psi	۱: صفحه لایه‌بندی عمود برنیروی اعمال شده ۲: صفحه لایه‌بندی موازی با نیروی اعمال شده
	۱۱۰۹۶۵	سازندِ Unayzah / میدان قوار/ عمدتاً ماسه‌سنگی	عربستان	تست فشار سه‌محوره در آزمایشگاه		۱۲۵۰۰– ۲۷۰۰۰ میانگین: ۲۰۲۴۰ psi	
مقاومت چسبندگی	۶۸۱۹۴	سازندِ خوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان		$So=(0/025\times10^{-6}E_s/C_b)[(0/008\ V_{sh})+0/0045\ (1-V_{sh})]$		منظور Vsh حجم شیل است
	۱۰۵۳۸۳	سازندِ نهرعمر/ عمدتاً شیلی	امارات			۱۳/۱۰ MPa ۱۹۰۰ psi	
مقاومت کششی	۶۸۱۹۴	سازندِ خوف/میدان قوار/ عمدتاً کربناته	عربستان		T= UCS/12		
زاویه اصطکاک داخلی	۷۸۴۹۴	سازندِ نهرعمر/ میدان Zakum/ عمدتاً شیلی	امارات/ ابوظبی	آزمایش برش مستقیم روی پلاگ‌های به‌دست آمده از مغزه با صفحه لایه‌بندی در جهت موازی و عمود بر نیروی وارد شده		ϕ_1= ۴۰/۳ deg ϕ_2= ۴۸/۹ deg	ϕ_1: صفحه لایه‌بندی عمود ϕ_2: صفحه لایه‌بندی موازی
	۱۰۵۳۸۳	سازندِ نهرعمر/ عمدتاً شیلی	امارات			۲۰ deg	
ضریب اصطکاک داخلی	۱۱۰۹۶۵	سازندِ Unayzah/ میدان قوار/ عمدتاً ماسه‌سنگی	عربستان	تست‌های فشاری سه‌محوره چندمرحله‌ای (multistage triaxial test)		۱/۳۷–۰/۷۳ میانگین: ۱/۱۳	

در مورد مخزن بنگستان میدان کوپال نیز اطلاعات آزمایشگاهی موردنیازبرای تخمین مقدار مدول یانگ استاتیک (Es) و مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS) که از اجزای اصلی مدل ژئومکانیکی محسوب می‌شوند، موجود نیست و به همین دلیل در این مطالعه، پارامترهای مذکور با استفاده از اطلاعات ژئومکانیکی موجود در مطالعه آنالیز پایداری سازندی با شرایط تقریباً مشابه در میدانی در عراق، تخمین زده می‌شوند[۱۱]. به‌دلایل زیر از اطلاعات این میدان در کشور عراق استفاده شد:

۱- در سازند موردنظر برخی از مغزه‌هایی که تحت آزمایش‌های مکانیک سنگ قرار گرفته‌اند و از آنها اطلاعاتی موجود است، کربناته بوده و از این لحاظ مشابه با مخزن بنگستان هستند.

۲- میدان کوپال و میدان موردنظر در عراق، در صفحه تکتونیکی واحدی قرار دارند و به همین دلیل از نظر تنش‌های برجا (ایالت‌های تنشی) تا حدودی به یکدیگر نزدیک هستند.

۳- اطلاعات و داده‌های فراوانی در مورد خواص مکانیکی سنگ سازند موردنظر در عراق موجود است.

از اطلاعات مکانیک سنگی در این سازند روابطی به‌دست آمد(روابط تجربی برای تخمین مدول یانگ استاتیک و مقاومت فشاری تک‌محوره) که مدل ساخته شده بر اساس این روابط بیشترین سازگاری را با مشاهدات و گزارش‌های حفاری چاه شماره-۲۰ میدان کوپال داشت(برای ساخت مدل ژئومکانیکی از دیگر روابط تجربی موجود در مقالات و مطالعات ژئومکانیکی کشورهای حوزه خلیج‌فارس نیز استفاده شد که توسط آنها نتایج مطلوبی به‌دست نیامد).

۳-۱- استفاده از داده‌های آزمایشگاهی در تعیین رابطه تجربی برای تخمین مدول یانگ استاتیک

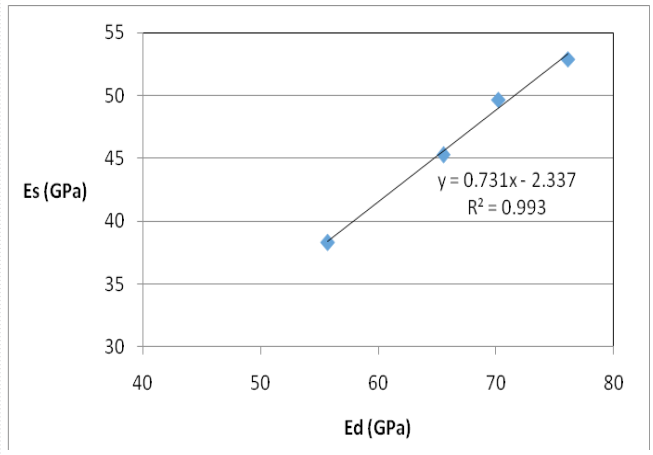
در جدول-۳ مقادیری که در آزمایشگاه برای مدول یانگ دینامیک و مدول یانگ استاتیک در سازند موردنظر در عراق به‌دست آمده، نشان داده شده است. با استفاده از این مقادیر می‌توان رابطه تجربی موجود بین این دو پارامتر را توسط رسم نمودار به‌دست آورد و از آن رابطه برای تخمین مقادیر مدول یانگ استاتیک در مخزن بنگستان استفاده کرد(شکل-۳).

۳-۲- استفاده از داده‌های آزمایشگاهی در تعیین رابطه تجربی برای تخمین مقاومت فشاری تک‌محوره

در مورد مخزن بنگستان همان‌طور که گفته شد به‌دلیل عدم وجود اطلاعات آزمایشگاهی مکانیک سنگ، خواص مقاومتی سنگ را نیز می توان با استفاده از اطلاعات ژئومکانیکی موجود در مطالعه آنالیز پایداری سازندی در عراق، تخمین زد. با استفاده از مقادیری که برای پارامترهای مدول یانگ استاتیک و مقاومت فشاریِ تک محوره در آزمایشگاه برای سازند مذکور به‌دست آمده است(جدول-۴)، می توان رابطه تجربی موجود بین این دو پارامتر را توسط رسم نمودار به‌دست آورد و از آن رابطه برای تخمین مقادیر UCS در مخزن بنگستان استفاده کرد(شکل-۴).

جدول ۲ | مقادیر به‌دست آمده برای مدول یانگ استاتیک و دینامیک در آزمایشگاه مربوط به سازندی در عراق

Edyn(GPa)	Es(GPa)
۵۵/۷	۳۸/۳
۶۵/۵	۴۵/۳
۷۰/۲	۴۹/۷
۷۶/۱	۵۲/۹



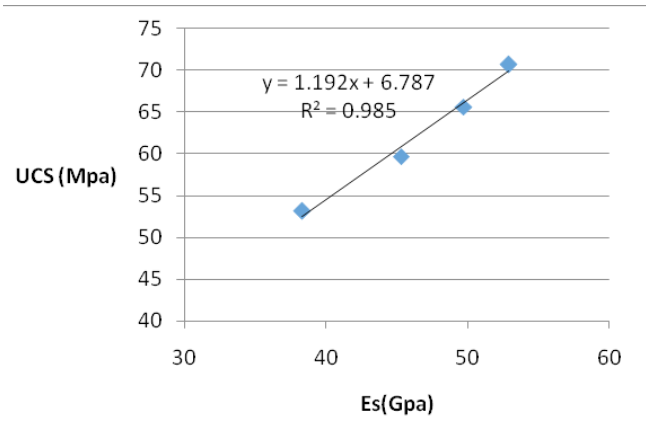
شکل ۳ | مودار ارتباط تجربی بین مدول یانگ دینامیک و استاتیک در سازندی در عراق

نتیجه‌گیری

- برای میادین هیدروکربنی ایران، روابط تجربی به‌دست آمده در کشورهای حوزه خلیج فارس با توجه به شباهت‌های زمین‌شناسی و تکتونیکی، بهترین گزینه برای جبران کمبود اطلاعات مکانیک سنگ

جدول ۲ | داده‌های آزمایشگاهی مربوط به مدول یانگ استاتیک و UCS در سازندی در عراق

Es(GPa)	UCS(MPa)
۳۸/۳	۵۳/۱
۴۵/۳	۵۹/۷
۴۹/۷	۶۵/۶
۵۲/۹	۷۰/۷



شکل ۴ | نمودار و فرمول تجربی به‌دست آمده برای مقاومت فشاری تک‌محوره در مقابل مدول یانگ استاتیک در سازندی در عراق

محسوب می‌شوند. با استفاده از اطلاعات موجود در کتب و مقالات می‌توان روابط تجربی مناسبی برای تخمین مدول‌های الاستیسیته استاتیک و پارامترهای مقاومتی سنگ در سازندهای مشابه در ایران به‌دست آورد.

• با مطالعه و گردآوری اطلاعات موجود در مقالات ژئومکانیکی مربوط به میادین هیدروکربنی کشورهای حوزه خلیج‌فارس، استفاده از داده‌های مربوط به سازندی در عراق(برای به‌دست آوردن روابط تجربی به‌منظور تخمین مدول یانگ استاتیک و مقاومت فشاری تک محوره) بهترین تطابق را با شرایط مخزن بنگستان در میدان کوپال ایجاد می کرد.

• با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی مکانیک سنگی سازند مذکور در عراق، رابطه‌های زیر به‌ترتیب برای تخمین مدول یانگ استاتیک و مقاومت فشاری تک‌محوره به دست می‌آیند که می‌توان از این روابط برای تخمین پارامترهای مذکوردر مخزن بنگستان میدان کوپال نیز استفاده کرد:

$$E_S = 0.731E_d - 2.3371$$

$$UCS = 1.192\ E_S + 6.7874$$

علائم اختصاری

اختلاف زمانی گذر موج فشاری (µs/ft)	ΔTp	اختلاف زمانی گذر موج برشی (µs/ft)	ΔTs
مدول بالک (GPa)	K	مدول برشی (GPa)	G
نسبت پواسون	ν	چگالی (g/cc)	ρ
مقاومت‌چسبندگی	S₀	مدول یانگ (GPa)	E
مقاومت کششی (psi)	T	Unconfined compressive strength (psi)	UCS

پانویس‌ها

1.Arabian plate

منابع

[1] Al-Qahtani, M.Y. and Rahim, Z. (2001) "A mathematical algorithm for modeling geomechanical rock properties of the Khuff and Pre- Khuff reservoirs in Ghawar field", SPE 68194.

[2] Ahmed, M.S., Finkbeiner, T. and Kannan, A.A (2007) "Using geomechanics to optimize field development strategy of deep gas reservoirs in Saudi Arabia", SPE 110965.

[3] Dudley, J.W., Van der Linden, A. and Muller, G.F. (2005) "Geomechanical modeling of a pore collapsing carbonate: compaction and subsidence of a field in Oman", IPTC 10680.

[4]Ameen, M. S., Smart, G. D., Hammilton, S. and Naji, N. A. (2009) "Predicting rock mechanical properties from wireline logs (A case study: Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia), marine & petroleum geology, vol.26, pp.430- 444.

[5] Al-Wardy, W. and Urdaneta, O. (2010) "Geomechanical modeling for wellbore stability during drilling NahrUmrshales in a field in petroleum development Oman", SPE 138214. پ

[6] Rahim, Z. , Bartko, K. and Al-Qahtani, M.Y. (2002) "Hydraulic fracturing case histories in the carbonate and sandstone reservoirs of Khuff and pre-Khuff formations, Ghwar field, Saudi Arabia", SPE 77677.

[7] Franquet, A., Stewart, G., Bolle, L. and Ong, S. (2005) "Log-Based Geomechanical Characterization and Sanding Potential Analysis on Several Wells Drilled in Southern Part of Oman", SPE/PAPG annual technical conference.

[8]Sharland, P.R., Archer, R. and Casey, D.M. (2001) Arabian plate sequence stratigraphy (2nd edn), GeoArabia publishing.

[9] http://www.NISOC.com (July, 2011)

[10]Zoback, M.D. (2007) Reservoir geomechanics, 1st Ed., Cambridge University Press.

[11]Abalioglu, I., Legarre, H. and Sallier, B. (2011) "The role of geomechanics in diagnosing hazards and providing solutions to the northern Iraq fields", SPE 142022.