



بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹ The 23rd Symposium of Geological Society of Iran 10-11 November, 2020

ارزیابی استراتژیکی گاز شیل ها به عنوان یک منبع جایگزین

یوسف عابدی

دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی نفت ، دانشکده علوم زمین ، دانشگاه خوارزمی

std_yousef.abedi@khu.ac.ir

نتیجه گیری

از دیر باز کشورهای صنعتی با رشد تدریجی تقاضای انرژی بپه ویژه انرژی های فسیلی و محدودیت رو به اتمام بودن ذخایر هیدروکربوری مواجه بودند . نیاز رو به افزون به انرژی در جهان ، تمایل کشورها به سرمایه گذاری در انرژی های جایگزین را رو به افزایش قرار داده است. در همین راستا توسعه منابع نامتعارف از جمله گاز شیل ها و رقابت آن در بازارهای جهانی توجه بسیاری از فعالان و کارشناسان حوزه نفت را در دهه های اخیر به سمت این صنعت معطوف کرده است . افزایش منابع نفت و گاز جهان با کشف و امکان بهره برداری از منابع نامتعارف به افزایش اطمینان نسبت به تامین امنیت انرژی در جهان منجر شده است . ایران ، به عنوان یکی از کشورهای تولید کننده منابع سوخت فسیلی می بایست نگاه عمیق و منطقی به جریان منابع نامتعارف از جمله گاز شیل ها داشته باشد ، تا بتواند بر این اساس، جریان آینده انرژی در دنیا و رقابت در این عرصه را به درستی پیش بینی و برای آن برنامه ریزی نماید . عواملی همچون زمین شناسی تشکیل منابع گاز شیل ها ، عوامل اقتصادی از قبیل حفاری افقی ، پارامترهای شکست هیدرولیکی و مهم تر از همه نوسانات قیمت گاز در اثر عواملی همچون مناقشات سیاسی ، محیطی و غیره عناصر اصلی در سودآوری یک پروژه هستند . در پژوهش تلاش شد تا با معرفی مکانیسم تشکیل گاز شیل ها ، فضای مخزن ، فیزیک پیچیده این منابع و روش های مناسب در خصوص استحصال ، اطلاعاتی در خصوص زمینه مدل سازی و پیش بینی تولید در اختیار سرمایه گذاران اقتصادی و فعالان این حوزه قرار گیرد.

منابع

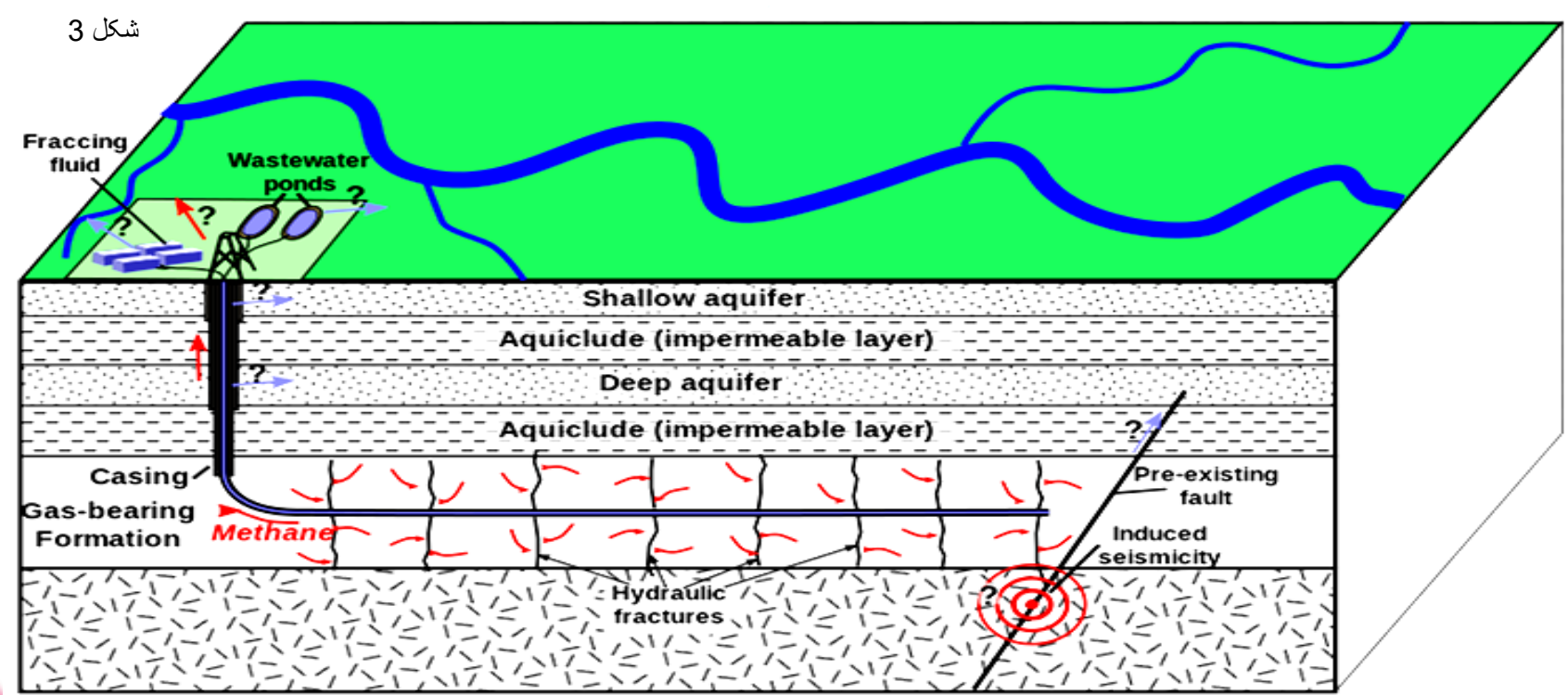
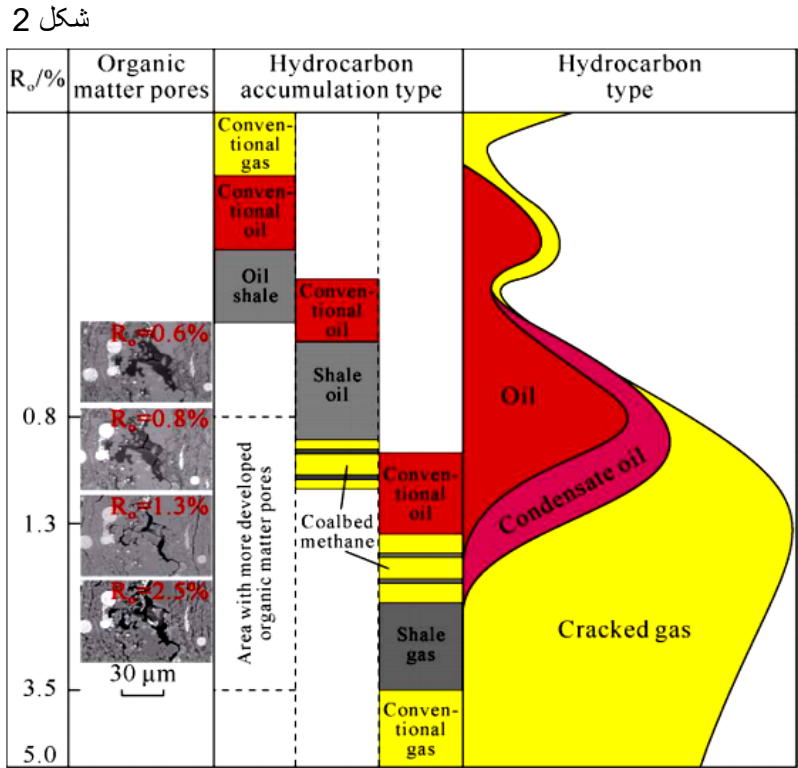
(۱) مطیعی ، ۱۳۹۲ ، زمین شناسی درون چاهی ، انتشارات آرین زمین ، ۸۱۰ ص.

- Rice University, News and Media Relations (2011) Shale Gas and U. S. National Security. Rice University News and Media Relations Team, Huston
- Brown, M.L. (2009) Analytical Trilinear Pressure Transient Model for Multiply Fractured Horizontal Wells in Tight Shale Reservoirs. M.Sc. Thesis, Colorado School of Mines, Golden
- Aybar, U., Eshkalak, M.O., Sepehrmoori, K. and Patzek, T.W. (2014) The Effect of Natural Fracture's Closure on Long-Term Gas Production from Unconventional Resources. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 21, 1205-1231
- Eshkalak, M.O., Mohaghegh, S.D. and Esmaili, S. (2013) Synthetic, Geomechanical Logs for Marcellus Shale. Digital Energy Conference and Exhibition, The Woodlands, 5-7 March 2013, SPE 163690.
- Heddeston, D. (2009) Horizontal Well Production Logging Deployment and Measurement Techniques for US Land Shale Hydrocarbon Plays. 2009 SPE Production and Operations Symposium, Oklahoma City, 4-8 April 2009, 1-9.
- ZHANG Houfu, FANG Chaoliang, GAO Xianzhi, et al. Petroleum geology. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.

تصاویر و جدول

جدول 1

Oil and gas -LATION type	Lithology	Hydrocarbon type	Pore throat size	Driving force	Knudsen number	Flow mechanism
Conventional oil and gas far from source	Carbonate ROCK , sandstone And conglomerate ETC.	Mainly conventional oil Mainly conventional gas	>100µm	Capillary force + buoyancy	<0.01	Darcy flow (pipe flow-seepage flow) Darcy flow (seepage flow)
Conventional oil and gas near source	Carbonate rock , sandstone, etc.	Tight oil and gas	0.5 µm	Capillary force + buoyancy	0.01-0.10	Mainly Darcy flow (seepage flow)
Unconventional oil and gas integrated source and reservoir	Organic-rich shale	Shale oil	20-50 nm	Overpress ure+ diffusion	0.10-10.00	Non-Darcy flow (transitional flow)
Unconventional oil and gas integrated source and reservoir	Organic – rich shale	Shale gas	5-20 nm	Overpress ure+ diffusion	>10.00	Non-Darcy flow (Knudsen flow)



توسعه منابع گاز شیل عمدتا بر اساس حفاری چاه های افقی است . بدلیل تمایز نیروی گرانشی و ویژگی های زمین شناسی متفاوت سازندهای مورد نظر الگوی جریان در امتداد جهت شعاعی لوله در نزدیک چاه های افقی ممکن است به صورت الگوهای متناوب رفتار کند . بنابراین مطالعه تجربی ، تجزیه و تحلیل نظیر شکاف هیدرولیکی ، الگو جریان های مختلف جهت پیشنهاد مدل های مختلف جهت ورود به سیستم تولید پایدار و در نزدیکی خطوط لوله افقی انجام شده است . در این مطالعه ارائه فهم جریان گاز در شیل همچنین اثر دفع گاز و لغزش برای گرفتن جریان واقعی گاز در شیل به مدل مورد نظر اعمال می شود . عملکرد این روش های پیشنهادی جهت دستیابی به مدل دینامیکی مناسب جهت توسعه میادین مورد نظر می باشد .

مواد و روش کار

۱- مکانیسم تشکیل گاز شیل ها

پس از رسوب گذاری ، شیل های غنی از مواد آلی تحت تراکم موجود ، تکامل حرارتی و تخلیه آب قرار می گیرد (شکل ۱) و به مرور زمان وارد فرایند تولید هیدروکربن می شود و بخشی از گاز تولید شده از کروژن مهاجرت می کند . این سیستم حمل و نقل وابسته به فضای مخزن و یا به عبارت دیگر تحت تاثیر گلوگاه های منفذی به ابعاد میکرون می باشد . بخشی دیگر از این گاز تحت تاثیر فشار بیش از حد و اتصال نیروهای مولکولی ومویینی باعث ایجاد تجمع درجا ، تحت تعادل (Hou lianhua,etal,۲۰۱۴) واقع می شود(

۲- فضای مخزن

مخازن متداول نفت و گاز عمدتا محیط های الاستیک هستند که منافذ موجود در فضای مخزن آن می تواند به منافذ اولیه ، منافذ ثانویه و یا شکستگی ها تقسیم شوند که خود منافذ اولیه به بخش های منافذ بین دانه ای و بین کریستالی و منافذ ثانویه نیز به بخش های منافذ انحالی ، قالبی و غیره تقسیم بندی می شود . اندازه منافذ موجود در شیل ها عمدتا اندازه بسیار کوچکی در حد نانومتر می باشد (جدول ۱) و ساختار منافذ آن ها نیز بسیار پیچیده می باشد که این فضای موجود در شیل ها در طول کل فرایند تکامل ، می تواند هیدرکربن های آلی تولید کند. علاوه بر این، درجه تکامل حرارتی نیز نقش بسزایی روی ضربه انعکاس وپتریانیت (RO) دارد (شکل ۲) که در گاز شیل ها با توجه به محیط عوامل دخالت کننده موجود برحسب زمان بازه ای بین ۱.۸ تا ۲.۱ ٪ را در پی خواهد داشت (Zou caineng,۲۰۱۵).

۳- فیزیک پیچیده منابع گاز شیل

۳.۱- دفع گاز : یخش عمده ای از مواد آلی موجود در شیل ها از محیط های کروژن دار تشکیل شده است . مولکول های گاز طبیعی همچون متان در لایه های غنی از مواد آلی جذب می شوند (همچنین در فضای منافذ و شکستگی های طبیعی نیز ذخیره می شوند) . بنابراین ، مقادیر گاز طبیعی می توانند از سطح کروژن تولید شود، که به عنوان Total organic carbon نیزشناخته می شود TOC ۲۰۱۴, Eshkalak,MO. از نظر ماهیت ، برای آزاد سازی متان ذخیره شده در شیل، لازم است شکستگی ایجاد کند تا فشار را تخلیه کند . با کاهش فشار به دلیل تولید بیشتر مقادیر بیشتری از گاز جذب شده از سطح ماتریکس آزاد می شود .بنابراین یک مدل جذب برای پیش بینی گاز دفع شده از ماتریکس شیل مورد نیاز استو مدل متداول ترین مدلی ریاضی تجربی است که برای تعیین مقدار گاز دفع شده به عنوان تابعی از فشار منافذ در دمای ثابت استفاده می شود .و باید توجه داشت که ویژگی های این مدل سازی ، لزوما ممکن است همانند خود مخزن واقعی نباشد (۲۰۱۴, Aybar, u.s, Sepehmoori, k. مدل Langmuir به سادگی نشان دهنده یک رابطه غیر خط بین مقدار بالقوه گاز قابل تخلیه است و فشار منافذ این معادله نشان می دهد که مقدار بالقوه گاز قابل تخلیه فقط تابعی از فشار مخزن است.

$$G = \frac{PV_L}{P + P_L}$$

حجم لانگمویر برحسب scf/ton

فشار لانگمویر برحسب psi

فشار منافذ بر حسب psi

محتوای احتمالی گاز قابل تخلیه

۳.۲- اثر کلینکنبرگ : برخلاف مخازن گازی متداول ، توزیع اندازه منافذ گاز شیل ها به ترتیب به اندازه میکرون تا نانومتر است و جریان گاز در بین منافذ به فشار بستگی دارد در واقع اثر کلینکنبرگ(اثر لغزش) یک رابطه غیر خطی بین نفوذ پذیری مطلق و فشار منافذ ارائه می دهد ونقش بسزایی در تعیین مدل سازی مطلوب دارد (Kilnkenberg,۱۹۴۱).

$$k_{stip} = k_{parcy} [1 + \frac{b_k}{P}]$$

ضربه لغزش

فشارمخزن بر حسب psi

نفوذ پذیری شیل برحسب میلی دارسی

نفوذ پذیری اصلاح شده برای لغزش

۳.۳- جریان غیر دارسی : رابطه بین افت و میزان جریان سیال از طریق محیط متخلخل مشخص می شود و تحت تاثیر میزان نوسانات جریان قرار می گیرد. در سرعت های پایین ، افت فشار به صورت خطی و با سرعتجریان متناسب است (تحت تاثیر جریان دارسی) در دبی بالاتر ، افت فشار بیش از حد پیش بینی می شود که رفتار جریان در چنین محیطی جریان غیر دارسی شناخته می شود (Forchheimer,P.H,۱۹۰۱) درسازندهای گاز شیل، سرعت گاز در شکستگی ها بسیار زیاد است و از روند محیط جریان دارسی منحرف می شود . معادله Forchheimer یک معادله مناسب برای محاسبه جریان غیر دارسی به منظور مدل سازی جریان گاز می باشد .

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\mu}{k} \frac{v}{n} + \frac{\beta}{n} v^2$$

ضربه غیر دارسی در یک فوت

دینامیک سیال

ویسکوزیته سیال بر حسب cp

نفوذ پذیری موثر سنگ

سرعت گاز

گراندین فشار

در آزمایشگاه تعیین می شود

$0.8 < b < 1.2 \times 10^9 < a < 10^{12}$

۳.۴- حفاری چاه افقی و ایجاد شکست هیدرولیکی : استفاده از چاه های افقی در سنگ مخزن گازی با تراوایی کم و یا با فشار تولیدی زیاد همچون منابع گاز شیل ها مرسوم ترین و بهترین روش جهت بهره برداری می باشد. یکی از اشکالات تولید گاز از مخازنی با تراوایی و فشار زیاد به وسیله چاه قائم، نفوذ گاز با سرعت زیاد به داخل چاه است که موجب جریان درهم و معشوش در اطراف چاه شده و مانع از رسیدن چاه به حد ظرفیت قابل بهره برداری از مخزن می گردد. در مقابل چاه افقی به علت داشتن سطح تماس طولانی باعث ایجاد جریان صفحه ای آرام می شود که می توان از حداکثر توان تولیدی در مخزن بهره برداری نمود (مطیعی ، ۱۳۹۲). برای استحصال گاز به دام افتاده در شیل ها باید سیالی (عموما آب حاوی ماسه و دیگر مواد سخت شده) با نرخ تزرفی نسبتا بالا درون چاه پمپ شود(شکل۳). عملیات پمپ کردن تا جایی ادامه می یابد که فشار به حدی برسد که باعث ایجاد گسترش شکست در دیواره شود.فشار لازم جهت شکستگی خود نیز به پارامترهایی همچون ، فشارجانبی، نوع سیال تزرفی،انبساط سنگ، زون چسبناک وابسته می باشد .

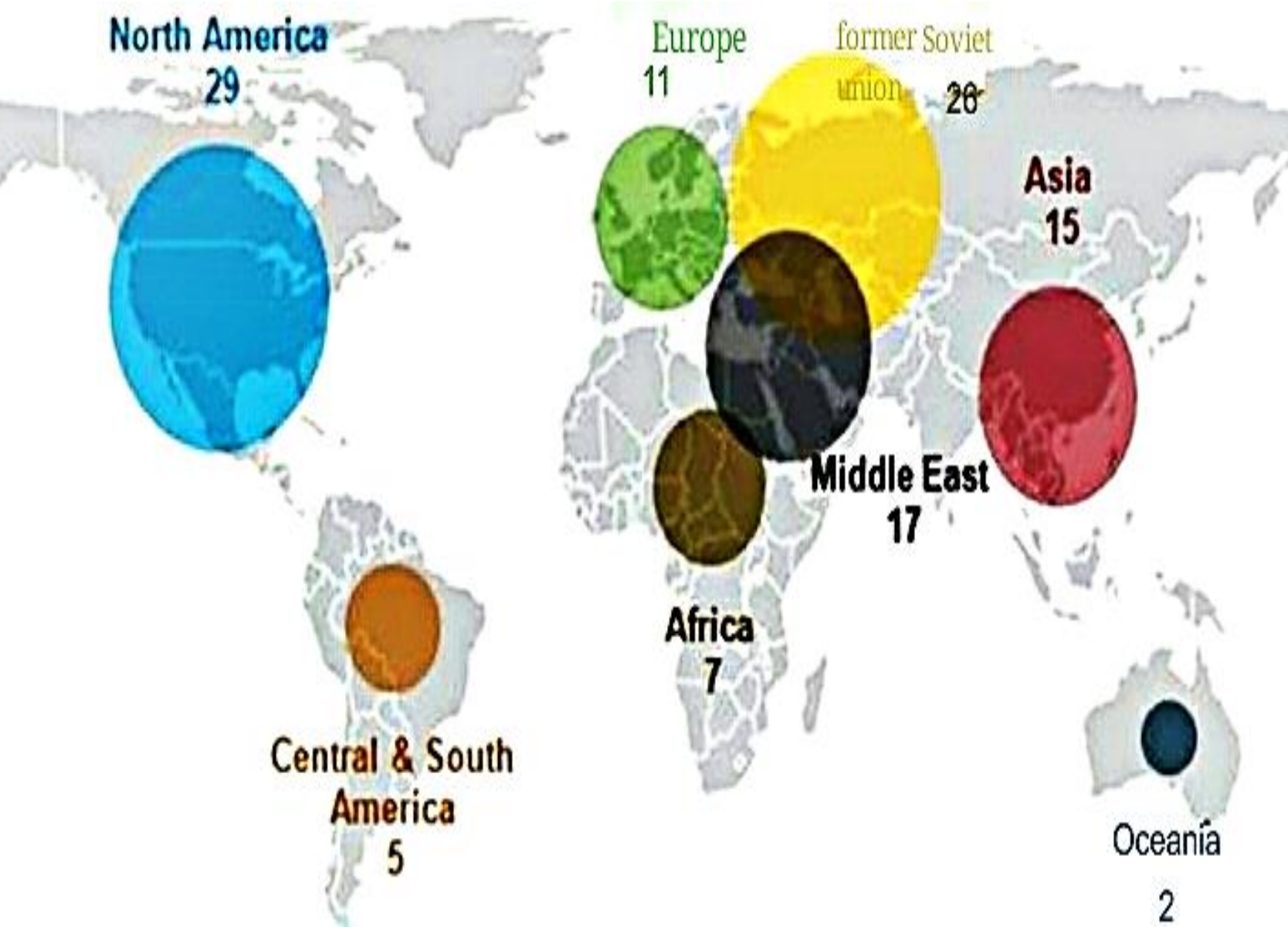
چکیده

طی چند سال گذشته ، تولید گاز طبیعی در شیل ها افزایش یافته و توجه بسیاری را در سراسر جهان به خود جلب کرده است دلیل این امر به خاطر نسبت میزان افزایش جمعیت و پیش بینی استفاده بیشتر از سوخت های فسیلی ، پیشرفت حاصل از استخراج منابع به دام افتاده در شیل همچون ایجاد حفاری چاه های افقی ، شکاف های هیدرولیکی و یا حرارت دادن (تقطیر) است که خود باعث ایجاد یک نگرش و رقابت در عرصه جهانی با عنوان ایجاد یک سوخت فسیلی(منبع نامتعارف) جایگزین ، نسبت به ذخائر متعارف در آینده ای نه چندان دور می باشد . ذخائر فراوان گاز شیل در جهان حدود ۴۰۰ تریلیون فوت مکعب تخمین زده می شود که در کل اروپا ، آمریکای لاتین و آسیا گسترده شده است . آمریکا از بزرگترین دارندگان ذخائر گاز شیل در جهان است ، براساس برآوردهای انجام گرفته بیش از ۲۳ درصد این ذخائر در آمریکا واقع شده است . هدف از ارائه این مقاله آشنایی بیشتر با فیزیک پیچیده منابع گاز شیل ، مدل سازی ، معادلات حاکم بر جریان موجود و همچنین پیش بینی تولید در این منابع می باشد.

کلمات کلیدی : فیزیک پیچید گاز شیل ، حفاری چاه افقی ، شکاف هیدرولیکی ، شبیه سازی

مقدمه

گاز شیل ، گازی است محصورشده بین سنگ های سخت رسی که آزاد سازی آن با استفاده از فناوری موسوم به شکست هیدرولیک صورت می گیرد که شامل تزریق آب فراوان حاوی مواد شیمیایی درون منابع گاز رسی با فشار بالاست . افزایش قیمت جهانی گاز در سال ۲۰۰۸ تا سقف ۱۲ دلار در هر میلیون بی تی یو باعث توسعه حفاری ها در کشور های مختلف از جمله آمریکا شد و موجب شد تکنیک های حفاری از جمله شکاف های هیدرولیکی و حفاری افقی در میادین توجیه اقتصادی پیدا کند (Vandebruck,2015). در کشوری همچون آمریکا تولید گاز از منبع نامتعارف از حدود ۵ دلار به ازای هر میلیون بی تی یو در سال ۱۹۹۰ به حدود ۳.۲ دلار میلیون بی تی یو در سال ۲۰۱۰ رسید و پیش بینی می شود این رقم در سال های آتی به کمتر از ۲ دلار در هر ملیون بی تی یو برسد . طی این قرن ، افزایش تصاعدی مصرف نفت و گاز در سراسر جهان روند کاملا واضعی است که صنایع نفت و گاز را مجبور کرده است تا به دنبال انواع روش های مختلف و جدیدی از منابع زیرزمینی برای تامین عرصه تقاضا باشند . بنا به نقل از آژانس بین المللی انرژی (EIA) افزایش مصرف روزانه نفت خام تا ۲۰۳۰ ، همگام با افزایش جمعیت و نیاز بشری به بیش از ۱۰۴ میلیون بشکه در روز خواهد رسید ، که این مطلب حاکی از اهمیت و شناخت هرچه بیشتر منابع نامتعارف از جمله گاز شیل ها در کشورهایی همچون ایران را در عرصه رقابت و فناوری را می طلبد . فناوری بدون شک مبنایی قابل اعتماد برای توسعه کار آمد را فراهم می کند ، که یکی از از موارد مهم در بهره برداری از گاز شیل ها ایجاد چاه های افقی ، شکاف هیدرولیکی و ... می باشد . اما قبل از انجام عملیات حفاری برآوردهای مورد نظر در جهت بهره برداری باید ، عملیات مورد نظر توجیه اقتصادی داشته باشد (BP Statistical Review of world energy,2016) بنابراین شناخت رفتارهای مختلف منابع گاز شیل در جهت تولید از اهمیت بالایی برخوردار می باشد .



شکل 1) درصد منابع گاز شیل در جهان