

بررسی اثر فشارهای بهره‌برداری و عمق احداث مغارهای نمکی بر ظرفیت ذخیره‌سازی گاز طبیعی با استفاده از نرم‌افزار Toolbox

امین عسگری^۱، شرکت مهندسی مکانیک سنگ نفت آسیا (مسا) ■ علی تیموری یادکوری، شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی ایران

چکیده

هدف از ذخیره‌سازی گاز طبیعی، استفاده از آن به‌عنوان یک تنظیم‌کننده در شبکه توزیع این ماده حامل انرژی است که طی آن گاز در ماه‌های کم‌مصرف سال (ماه‌های گرم) به مخازن تزریق شده و در هنگام افزایش تقاضا (ماه‌های سرد سال) برداشت می‌شود. یکی از روش‌های ذخیره‌سازی گاز طبیعی، استفاده از مغارهایی است که در سازندهای نمکی احداث می‌شوند. در پروژه‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در مغاره‌های نمکی، مقداری از گاز باید در مغار باقی بماند (متراصف با فشار کمینه) تا پایداری مغار حفظ شود. از طرفی حداکثر میزان گازی که می‌توان در مخزن ذخیره کرد (متراصف با فشار بیشینه) با استحکام دیواره مغار ارتباط دارد. ظرفیت ذخیره‌سازی عملیاتی مخزن میزان گازی است که ما بین این دو فشار می‌توان از مخزن استحصال نمود و از آن استفاده اقتصادی کرد. بنابراین ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن ارتباط مستقیمی با فشارهای بهره‌برداری مغار دارد. هدف از این تحقیق مطالعه تأثیرات فشارهای کمینه و بیشینه و عمق احداث مغار بر ظرفیت ذخیره‌سازی عملیاتی گاز طبیعی در مغاره‌های نمکی است. در این مطالعه از نرم‌افزار Toolbox که به‌منظور انجام تحلیل‌های مختلف در حوزه ذخیره‌سازی گاز در مغاره‌های نمکی توسعه داده شده است، استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که فشار کمینه مغار بیشترین تأثیر را بر ظرفیت ذخیره‌سازی عملیاتی مغار دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۱/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۱/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۲۸

واژگان کلیدی:

مغار نمکی، ظرفیت ذخیره‌سازی، فشارهای بهره‌برداری، عمق

مقدمه

شبکه، هدف ذخیره‌سازی و همچنین امکانات تجهیزاتی می‌تواند بخشی از یک روز، هفته، سال و نظایر اینها باشد. در صورتی که گاز در ماه‌های کم‌بار سال (یعنی ماه‌های گرم تابستان و بهار) به مخازن تزریق شده و در اوقات افزایش تقاضا و پربار (یعنی ماه‌های سرد زمستان و پاییز) برداشت می‌شود، نوع سیکل ذخیره‌سازی را سیکل ذخیره‌سازی فصلی گویند. استفاده از سیکل ذخیره‌سازی فصلی در بسیاری از کشورها که دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد هستند، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مغاره‌های نمکی، مقداری از گاز باید در مغار باقی بماند تا پایداری مغار حفظ شود. مقدار گاز باقی‌مانده که با نام گاز عملیاتی خوانده می‌شود، گازی است که می‌توان از آن استفاده اقتصادی نمود. نسبت حجم گاز عملیاتی به حجم کل گاز درون مغار پارامتر بسیار مهمی است که در بررسی فنی و اقتصادی پروژه‌های ذخیره‌سازی در نظر گرفته می‌شود. ظرفیت ذخیره‌سازی عملیاتی گاز درون مغاره‌های نمکی از دیدگاه اقتصادی اهمیت به‌سزایی دارد. تاکنون مطالعات زیادی بر روی فشارهای درونی مغاره‌های نمکی و تأثیرات آن بر سایر پارامترهای فنی مغار انجام گرفته است. در این میان مطالعات کمتری در ارتباط با تأثیر فشارهای بهره‌برداری بر ظرفیت ذخیره‌سازی مغار

پیش از آغاز بحث پارامترهای مربوط به احجام ذخیره‌سازی به شرح زیر معرفی شده‌اند:

- ظرفیت ذخیره‌سازی گاز: بیشترین مقدار گازی که می‌توان در مخزن ذخیره کرد.
- گاز پایه: حجمی از گاز که به‌عنوان ذخیره دائمی مخزن برای تامین حداقل فشار، حفظ آهنگ برداشت مناسب و اطمینان از پایداری فضا در نظر گرفته می‌شود.
- گاز عملیاتی (کاری): حجم گاز در دسترس برای برداشت در یک زمان مشخص و برابر تفاضل کل گاز موجود و گاز پایه است.
- نسبت گاز عملیاتی به ظرفیت ذخیره‌سازی (W/T): نسبت گاز عملیاتی به ظرفیت ذخیره‌سازی که بر حسب درصد بیان می‌شود. ظرفیت ذخیره‌سازی گاز طبیعی تابع فشار، دما و خواص گاز به‌ویژه فاکتور تراکم‌پذیری آن است. کمیت‌های بالا برای شرایط استاندارد گزارش می‌شوند.

هدف از ذخیره‌سازی گاز طبیعی در سازندهای نمکی، استفاده از آن به‌عنوان یک تنظیم‌کننده در شبکه توزیع این ماده حامل انرژی است؛ به‌گونه‌ای که در طی زمان‌های کم‌مصرف (کم‌بار)، گاز در مخازن ذخیره شده و در طی اوقات پرمصرف (پربار) در شبکه تزریق می‌شود. دوره‌های زمانی کم‌بار و پربار بسته به نیاز

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (AminAsgari2010@gmail.com)

گازهای حقیقی، بین فشار، دما و حجم یک گاز رابطه زیر برقرار است:

$$PV = Z \frac{m}{M} RT \quad (1)$$

که در آن m جرم گاز، M وزن ملکولی گاز، R ثابت جهانی گاز و $Z = Z(P, T)$ فاکتور تراکم‌پذیری گاز است که تابعی از فشار (P) و دما (T) است. برای گاز ایده‌آل مقدار $Z=1$ است.

در این تحقیق فاکتور تراکم‌پذیری گاز (Z)، با استفاده از روش Starling and Savidge (2003) محاسبه می‌شود (به پیوست مراجعه شود) [۷]. مقادیر فاکتور تراکم‌پذیری گاز متان بر حسب تابعی از دما و فشار با استفاده از این روش در شکل ۱- نشان داده شده است.

۱-۲- بیان مسأله

به‌منظور بررسی تاثیر عمق احداث و پارامترهای بهره‌برداری (شامل فشارهای بیشینه و کمینه)، بر ظرفیت ذخیره‌سازی (شامل

صورت پذیرفته است. در جدول ۱- به برخی از این مطالعات اشاره شده است. با افزایش عمق احداث مغار، امکان افزایش فشار بیشینه گاز درون مغار وجود دارد. از طرفی فشار کمینه نیز باید تا حدی افزایش داده شود تا پایداری و کارایی مغار حفظ شود. مقادیر فشار کمینه و بیشینه در هر مخزن ذخیره‌سازی با توجه به ملاحظات ژئومکانیکی و تجهیزات و فناوری در دسترس تعیین می‌گردند. هدف این مطالعه اثر تغییرات فشارهای بهره‌برداری و عمق احداث مغار بر ظرفیت ذخیره‌سازی عملیاتی گاز طبیعی در مغارهای نمکی است.

برای مطالعه، مغاری با ظرفیت ذخیره‌سازی کلی ۵ میلیارد فوت مکعب (5Bscf) در نظر گرفته شد. روش کلی انجام مطالعه به صورت تحلیل حساسیت است. بدین ترتیب هر کدام از پارامترهای موردنظر در محدوده ارایه شده تغییر داده می‌شوند. سپس نتایج آن بر ظرفیت ذخیره‌سازی عملیاتی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. ظرفیت ذخیره‌سازی کلی مغار در همه حالات ثابت در نظر گرفته شده است. معمولاً در مطالعات مرتبط با مبحث ذخیره‌سازی گاز در سازندهای نمکی از گرادیان فشار استفاده می‌شود.

در این پژوهش از نرم‌افزار Toolbox که توسط موسسه تحقیقاتی معدن کاری انحلالی (SMRI) توسعه یافته استفاده شده است. در تاسیسات ذخیره‌سازی فصلی گاز طبیعی عموماً تنها یک سیکل در سال اجرا می‌شود. بنابراین می‌توان وضعیت گاز را با تقریب نسبتاً مناسبی نزدیک به حالت استاتیکی در نظر گرفت و از انجام محاسبات دینامیکی صرف‌نظر کرد. نرم‌افزار Toolbox توانایی محاسبه ظرفیت ذخیره‌سازی گاز درون مغار در حالت استاتیکی را داراست [۶].

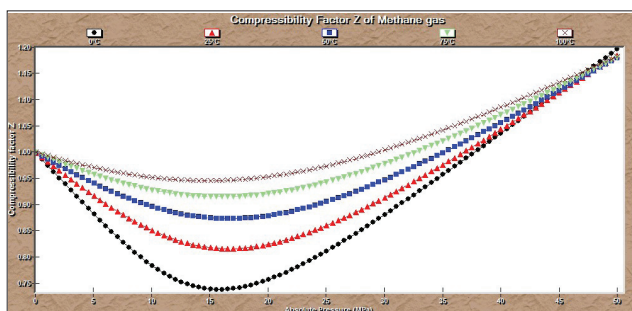
ظرفیت ذخیره‌سازی گاز طبیعی تابع فشار، دما و خواص گاز به‌ویژه فاکتور تراکم‌پذیری آن است. بنابراین کمیت بالا برای شرایط استاندارد گزارش می‌شود. در بخش بعدی به این موضوع پرداخته شده است.

۱- بحث و روش کار

۱-۱- رفتار گاز حقیقی

فاکتور تراکم‌پذیری گازهای حقیقی با گاز ایده‌آل متفاوت است. با توجه به فشار و دمای گاز موجود درون مغارهای نمک، رفتار گاز از حالت ایده‌آل خارج می‌شود و محاسبات ذخیره‌سازی باید با توجه به رفتار گازهای حقیقی انجام گیرد. در معادله حالت

شماره مرجع	محقق / سال	موضوع
[۱]	Allison ۱۹۹۲	بررسی تاثیر پارامترهای فشار کمینه و بیشینه و عمق بر حجم گاز عملیاتی و گاز پایه بر روی مغاری با ظرفیت ذخیره‌سازی ثابت
[۲]	Adams ۱۹۹۶	فشار کمینه و بیشینه
[۳]	Rokahr et al. ۱۹۹۷	امکان‌پذیری افزایش فشار بیشینه با ارایه مدل ژئومکانیکی جدید
[۴]	DeVries & Neiland ۱۹۹۹	امکان‌پذیری کاهش فشار کمینه با ارایه مدل ژئومکانیکی جدید
[۵]	Neiland ۲۰۰۸	بررسی تاثیر پارامترهای فشار کمینه و بیشینه و عمق بر حجم گاز عملیاتی و گاز پایه بر روی مغاری با حجم ثابت

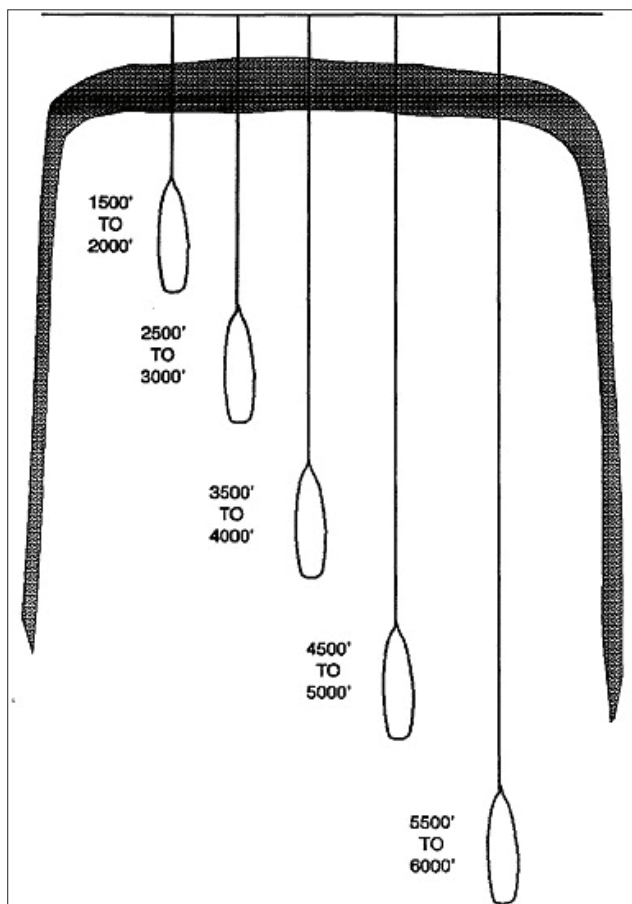


شکل ۱ | فاکتور تراکم‌پذیری گاز متان بر حسب تابعی از دما (۵ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد) و فشار (۰ تا ۵۰ مگاپاسکال)

مجدد قرار گرفت که همخوانی مناسبی با داده‌های واقعی پروژه داشت [۸].

تاسیسات ذخیره‌سازی Gateway در شرق دریای ایرلند واقع شده است. فاز اول پروژه شامل ۲۰ مغار نمکی است که قابلیت ذخیره‌سازی حدود ۱/۵ میلیارد متر مکعب گاز عملیاتی (working gas) را دارند (www.gatewaystorage.co.uk) هر کدام از مغارهای نمک حدود ۸۵ متر قطر دارند و ارتفاع آنها بین ۱۰۰ تا ۲۶۰ متر تغییر می‌کند. سقف مغار نیز در عمق حدود ۷۰۰ متری قرار دارد.

پارامتر	واحد	محدوده تغییرات
گرادین فشار بیشینه	Psi/ft	۰/۷۵ تا ۰/۹۰
گرادین فشار کمینه	Psi/ft	۰/۲ تا ۰/۳۵
عمق سقف مغار	ft	۱۵۰۰ تا ۵۵۰۰



شکله ۲ | شماتیک قرارگیری مغار نمکی در اعماق مورد نظر در سازند نمکی

ظرفیت کلی، حجم گاز عملیاتی و نسبت حجم گاز عملیاتی به حجم کل گاز)، مغاری با ظرفیت ذخیره‌سازی کلی ۵ میلیارد فوت مکعب (5Bscf) گاز طبیعی در نظر گرفته شده است.

به منظور بررسی اثر عمق بر ظرفیت ذخیره‌سازی، پنج عمق مختلف برای مغار از ۱۵۰۰ تا ۵۵۰۰ ft در نظر گرفته شده است (شکل-۲).

برای بررسی اثر فشار بیشینه، چهار گرادین فشار بیشینه از ۰/۷۵ psi/ft تا ۰/۹۰ و برای بررسی فشار کمینه، چهار گرادین فشار کمینه از ۰/۲ psi/ft تا ۰/۳۵ در نظر گرفته شده است. در جدول ۲- محدوده تغییر پارامترهای بهره‌برداری و عمق مغار ارائه شده است.

گرادین دمایی زمین برابر با ۰/۱۶۰ F/ft (یا ۰/۰۳۰ C/m) و فاصله پاشنه چاه از سقف مغار ثابت و برابر با ۱۰۰ ft فرض شده است.

۱-۳- روش حل مساله و معرفی نرم‌افزار

روش کلی انجام مطالعه به صورت تحلیل حساسیت است. بدین ترتیب هر کدام از پارامترهای مورد نظر در محدوده ارائه شده تغییر داده می‌شوند. سپس نتایج آن بر پارامترهای ذخیره‌سازی مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

نرم افزار مورد استفاده جهت انجام محاسبات از محصولات موسسه تحقیقاتی معدن کاری انحلالی با نام Toolbox می‌باشد که به عنوان مرجع عمومی انجام محاسبات مربوط به معدن کاری انحلالی و ذخیره‌سازی در مغار پذیرفته شده است. از جمله قابلیت‌های این نرم‌افزار محاسبه ظرفیت ذخیره‌سازی، گاز پایه و گاز عملیاتی بر مبنای نوع گاز، شرایط ترمودینامیکی و دمایی سازند، عمق مغار، حجم مغار و موارد دیگر در حالت استاتیکی می‌باشد.

با توجه به شرایط مساله، در تاسیسات ذخیره‌سازی فصلی گاز طبیعی که عموماً تنها یک سیکل در سال اجرا می‌شود، می‌توان وضعیت سیال را با تقریب خوبی نزدیک به حالت استاتیکی در نظر گرفت. در این شرایط می‌توان از نرم‌افزار Toolbox به منظور محاسبه ظرفیت‌های ذخیره سازی گاز استفاده نمود.

۲- اعتبارسنجی نرم‌افزار

به منظور اطمینان از دقت محاسبات نرم‌افزار، داده‌های پروژه ذخیره‌سازی گاز طبیعی در Gateway انگلستان مورد محاسبه

تغییرات گرادیان فشار بهره‌برداری بیشینه در مغارهای کم‌عمق تأثیر زیادی بر حجم مغار لازم برای ذخیره‌سازی دارد. با توجه شکل-۴ برای مغاری با ظرفیت کلی ثابت (در اینجا Bscf ۵)، می‌توان گفت:

■ با افزایش گرادیان فشار بیشینه و همچنین افزایش عمق مغار، میزان حجم گاز عملیاتی به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند. بدین معنی که مغارهای عمیق‌تر و دارای فشار بیشینه بالاتر، حجم گاز عملیاتی بیشتری خواهند داشت.

با توجه به شکل-۵ برای مغاری با ظرفیت کلی ثابت (در اینجا Bscf ۵) می‌توان بیان داشت:

■ با افزایش گرادیان فشار کمینه، حجم گاز عملیاتی تقریباً به صورت خطی کاهش پیدا می‌کند.

■ در مقام مقایسه میزان تأثیر گرادیان فشار بیشینه و گرادیان فشار کمینه بر حجم گاز عملیاتی مغاری با ظرفیت کلی ثابت، میزان تأثیر پارامتر گرادیان فشار کمینه تقریباً، دو برابر تأثیرگذاری گرادیان فشار بیشینه است. البته باید توجه داشت که افزایش گرادیان فشار بیشینه باعث افزایش گاز عملیاتی و افزایش گرادیان فشار کمینه باعث کاهش دو برابری حجم گاز عملیاتی می‌شود.

با توجه به شکل-۶ برای مغاری با ظرفیت کلی ثابت (در اینجا Bscf ۵) می‌توان گفت:

ظرفیت گاز عملیاتی فاز اول تاسیسات (با تعداد ۲۰ مغار) حدود ۱/۵ میلیارد متر مکعب می‌باشد. در محاسبات انجام گرفته با نرم‌افزار Toolbox این ظرفیت حدود ۱/۶ میلیارد متر مکعب محاسبه شد که همخوانی خوبی با واقعیت پروژه دارد.

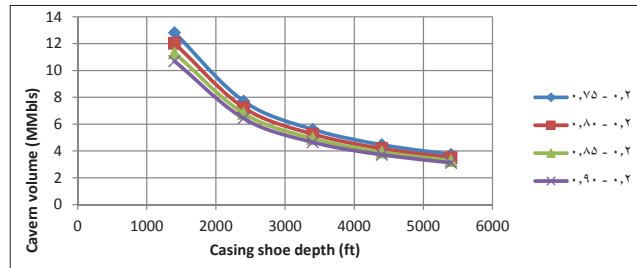
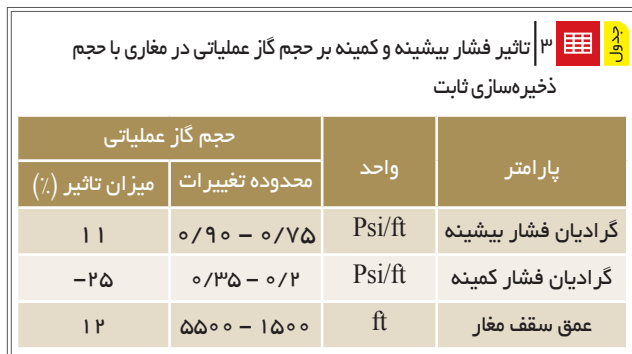
۳- نتایج

مفروضات مساله در نرم‌افزار پیاده‌سازی شد و تحلیل حساسیت برای سه پارامتر عمق مغار، فشار بهره‌برداری بیشینه و فشار بهره‌برداری کمینه انجام گرفت. در ادامه نتایج ارائه می‌شود.

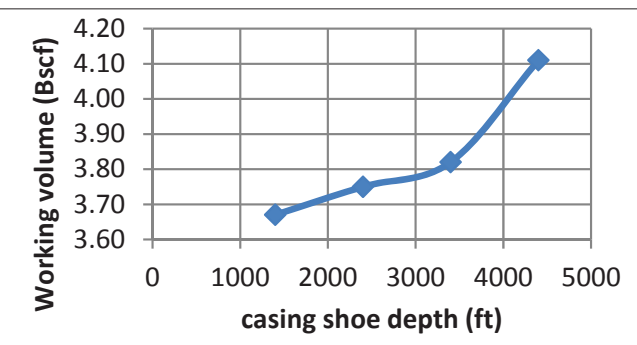
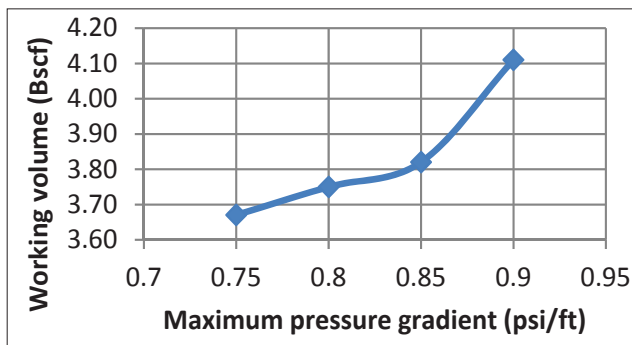
در شکل-۳ تأثیر پارامتر عمق و گرادیان فشار بیشینه بر حجم مغار نشان داده شده است. در اینجا میزان گرادیان فشار کمینه ثابت و برابر با ۰/۲ psi/ft در نظر گرفته شده و مقدار گرادیان فشار بیشینه مطابق جدول-۱ از ۰/۷۵ psi/ft تا ۰/۹ psi/ft تغییر یافته است. با توجه به این شکل می‌توان نکات زیر را در مورد حجم مغار نمکی مورد نیاز برای ذخیره‌سازی مقدار معینی گاز طبیعی (در اینجا Bscf ۵) استنتاج کرد:

■ برای هر گرادیان فشار بهره‌برداری، با افزایش عمق مغار، حجم مغار موردنیاز برای ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد.

■ میزان تأثیر تغییر پارامتر عمق بر مغارهای کم‌عمق، بیشتر از مغارهای عمیق است.



شکل ۳ | تأثیر پارامتر عمق و گرادیان فشار بیشینه بر حجم مورد نیاز مغار (بر حسب میلیون بشکه MMBbls) برای ذخیره‌سازی Bscf ۵ گاز طبیعی



شکل ۴ | تأثیر (الف) گرادیان فشار بیشینه، (ب) عمق مغار بر میزان حجم گاز عملیاتی برای مغاری با ظرفیت ذخیره‌سازی کلی Bscf ۵

■ با افزایش عمق نسبت حجم گاز عملیاتی به ظرفیت کلی مغار (W/T) افزایش می‌یابد. یعنی با ثابت بودن سایر شرایط، از مغارهای عمیق‌تر درصد بیشتری از گاز معینی را می‌توان بهره‌برداری کرد.

■ در مغارهای عمیق، میزان تأثیر افزایش گرادیان فشار بیشینه بر نسبت (W/T) بیشتر از مغارهای کم‌عمق است.

با توجه به شکل-۷ برای مغاری با ظرفیت کلی ثابت (در اینجا ۵ Bscf)، می‌توان اظهار داشت:

■ افزایش گرادیان فشار کمینه باعث کاهش نسبت (W/T) می‌گردد.

■ در مغارهای عمیق، میزان تأثیر افزایش گرادیان کمینه بر نسبت (W/T) بیشتر از مغارهای کم‌عمق است.

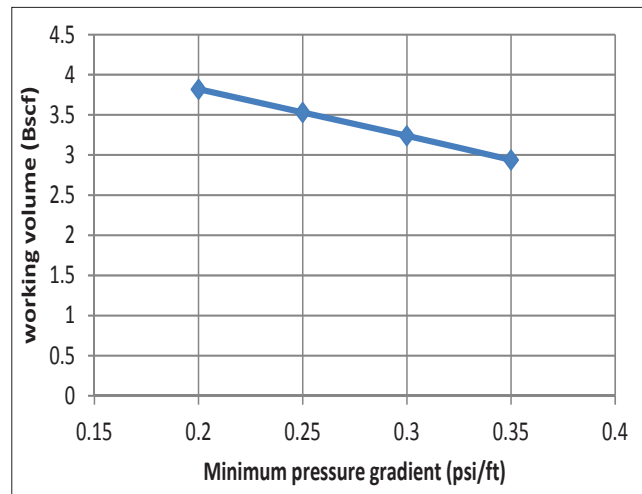
در جدول-۳ میزان تأثیر سه پارامتر گرادیان فشار بیشینه، گرادیان فشار کمینه و عمق مغار بر حجم گاز عملیاتی مغاری با ظرفیت ذخیره‌سازی کلی ثابت، به‌صورت خلاصه نشان داده شده است. همانطور که قبلاً اشاره شد، فشار کمینه بیشترین تأثیر را بر حجم عملیاتی گاز درون مغار دارد. با افزایش عمق مغار، حجم مغار کمتری برای ذخیره‌سازی مقدار معینی گاز لازم است. نسبت (W/T) در مغارهای نمکی با توجه به شرایط بهره‌برداری تغییر زیادی می‌کند.

۴- بر آورد تعداد مغارهای نمکی مورد نیاز به منظور پوشش نیاز ذخیره‌سازی گاز طبیعی کشور

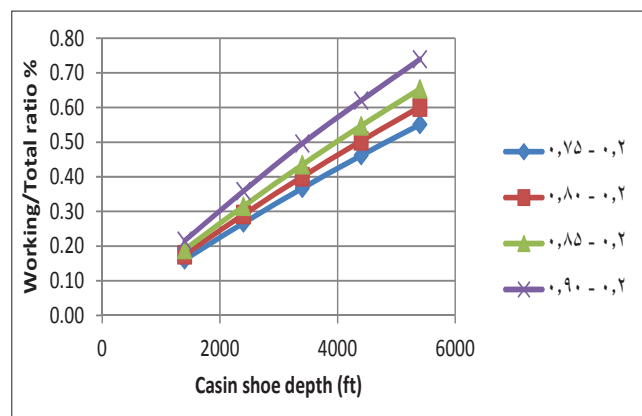
هدف از این محاسبات، تعیین تعداد مغار نمکی مورد نیاز به منظور پوشش نیاز ذخیره‌سازی گاز طبیعی کشور بر اساس سند چشم‌انداز است.

کشور ما یکی از کشورهای است که با وجود آنکه از ذخایر عظیم گاز طبیعی برخوردار است اما به سبب وسعت و پراکندگی زیاد نقاط مصرفی و همچنین اختلاف دمایی بسیار زیاد در تابستان و زمستان، در اوقات سرد سال برخی مناطق کشور با کمبود گاز مواجه می‌شوند. این وضعیت در سال‌های آینده و اضافه شدن میزان مصرف گاز کشور جدی‌تر خواهد شد.

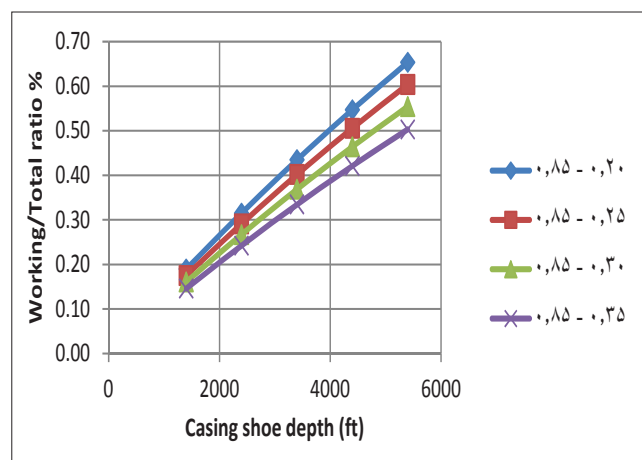
بر اساس سند چشم‌انداز ۲۰ ساله، حداقل میزان نیاز ذخیره‌سازی گاز طبیعی، معادل حداقل ۵ درصد مصرف گاز کشور در افق ۱۴۰۴، معادل ۱۶/۴ میلیارد متر مکعب در سال گاز عملیاتی (working gas) در نظر گرفته شده است [۹]. (تهرانی، نوروزی اصفهانی، ۱۳۸۴). از آنجایی که مخازن ذخیره‌سازی



شکل ۵ | اثر تغییر گرادیان فشار کمینه بر حجم گاز عملیاتی



شکل ۶ | اثر تغییر گرادیان فشار بیشینه و عمق مغار بر نسبت حجمی گاز عملیاتی به ظرفیت کلی مغار (W/T)



شکل ۷ | اثر تغییر گرادیان فشار کمینه و عمق مغار بر نسبت حجمی گاز عملیاتی به ظرفیت کلی مغار (W/T)

نتیجه‌گیری

■ با افزایش عمق، مقدار فشار روباره و دمای زمین افزایش می‌یابد و می‌توان گاز با فشار بیشتری در مغار ذخیره کرد. بنابراین برای حجم ثابتی از مغار، با افزایش عمق میزان گاز ذخیره شده افزایش می‌یابد. اما از طرفی همه‌ی گاز ذخیره شده نمی‌توان استفاده کرد و باید مقداری از گاز به‌عنوان گاز پایه در مخزن باقی بماند تا پایداری مغار حفظ شود و با افزایش عمق مقدار گاز پایه نیز افزایش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد افزایش عمق اثری دوگانه بر ظرفیت ذخیره‌سازی دارد.

■ همچنین برای یک مغار در عمق ثابت، با افزایش فشار بیشینه، گاز بیشتری را می‌توان ذخیره کرد. اما نحوه تاثیر آن بر مقدار گاز پایه و عملیاتی باید روشن شود.

■ علاوه بر آن، نسبت حجم گاز عملیاتی به حجم کل گاز درون مغار پارامتر بسیار مهمی است که در بررسی فنی و اقتصادی هر پروژه باید در نظر گرفته شود.

■ می‌دانیم با افزایش عمق و تبع آن افزایش تنش‌های تفاضلی و دما، آهنگ افت حجم مغار به صورت نمایی افزایش می‌یابد تا جایی که در برخی موارد بر جنبه اقتصادی پروژه بسیار تاثیر گذاشته است. در این بررسی از این فاکتور چشم پوشی شد.

■ هدف این تحقیق بررسی و درک چگونگی تأثیر پارامترهای بهره‌برداری و عمق مغار بر ظرفیت ذخیره‌سازی در حالت استاتیک است. نتایج این تحقیق متناسب با شرایط بهره‌برداری از مغارها با سیکل ذخیره‌سازی سالانه است. ■

زیرزمینی گاز طبیعی همواره نیاز به درصدی گاز پایه دارند (بسته به روش و شرایط ذخیره‌سازی حدوداً بین ۲۰ تا ۷۰ درصد)، بنابراین میزان ذخیره‌سازی کلی طبیعتاً مقداری بیشتر از ۱۶/۴ میلیارد متر مکعب است. محاسبات این بخش بر این فرض استوار است که اگر قرار باشد تمام گاز مورد نیاز برای ذخیره‌سازی کشور (یعنی ۱۶/۴ میلیارد متر مکعب، معادل ۵ درصد مصرف گاز سالانه کشور) در مغارهای نمکی ذخیره شود، آنگاه به چه تعداد مغار نیاز خواهد بود.

فرضیات زیر برای انجام محاسبات در نظر گرفته شدند:

- عمق متوسط سقف مغارها حدود ۱۰۰۰ متر
- حجم مغارها ۸۰۰ هزار متر مکعب
- گرادیان فشار کمینه و بیشینه بهره‌برداری به ترتیب 0.2 psi/ft و 0.8 psi/ft
- گرادیان دمای زمین $0.03 \text{ }^\circ\text{C/m}$

با توجه به فرضیات در نظر گرفته شده، ظرفیت گاز عملیاتی یک مغار نمکی حدود ۱۱۰ میلیون متر مکعب محاسبه شد. بنابراین به‌منظور پوشش نیاز ذخیره‌سازی ۱۶/۴ میلیارد متر مکعبی کشور حدوداً به ۱۵۰ مغار نمک با حجم ۸۰۰ هزار متر مکعب نیاز خواهد بود. همچنین میزان گاز پایه مورد نیاز حدود یک سوم گاز عملیاتی محاسبه شد. بنابراین میزان کل گاز مورد نیاز (یعنی مجموع گاز عملیاتی و گاز پایه) حدود ۲۲ میلیارد متر مکعب برآورد شد.

منابع

[1] ALLISON, H. (1992), "Conceptual Solutions to Reduce Base Gas Requirements in Salt Dome Caverns" Solution Mining Research Institute, Fall Meeting 1992, Houston, Texas

[2] J. B. Adams, (1997). Determination of Salt Cavern Operating Pressures Using Rock Mechanics and Finite Element Analysis. SMRI Fall 1996 Meeting. Cleveland, Ohio, USA

[3] R. B. Rokahr. K. Staudtmeister & D. Z. Schiebenhofer. (1997). Development of a New Criterion for the Determination of the Maximum Permissible Internal Pressure for Gas Storage in Caverns in Rock Salt. SMRI Research and Development Project Report. Hannover 1997

[4] K. L. DeVries. J. D. Nieland. (1999). Feasibility Study for Lowering the Minimum Gas Pressure in Solution-Mined Caverns Based on Geomechanical

Analyses of Creep-Induced Damage and Healing. SMRI Spring 1999 Meeting Las Vegas, Nevada, USA.

[5] Neiland J.D., (2008), "Salt Cavern Thermodynamics—Comparison Between Hydrogen, Natural Gas, and Air Storage", SMRI Fall 2008 Technical Conference, Galveston, Texas, USA.

[6] SOLUTION MINING AND HYDROCARBON STORAGE TOOLBOX, USER'S MANUAL, Version 1.1.24, Revision November 25, 2010

[7] Starling K.E. and Savidge J.L. (2003). Compressibility Factors of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases. American Gas Association, Catalog No. XQ9212, Second Edition (1992), 3rd Printing, November.

[8] <http://www.gatewaystorage.co.uk/>

[۹] تهرانی علی اکبر، نوروزی اصفهانی محمد، ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی و اوج زدایی مصرف، مجله فنی، شماره ۱۹، مهر ۱۳۹۴