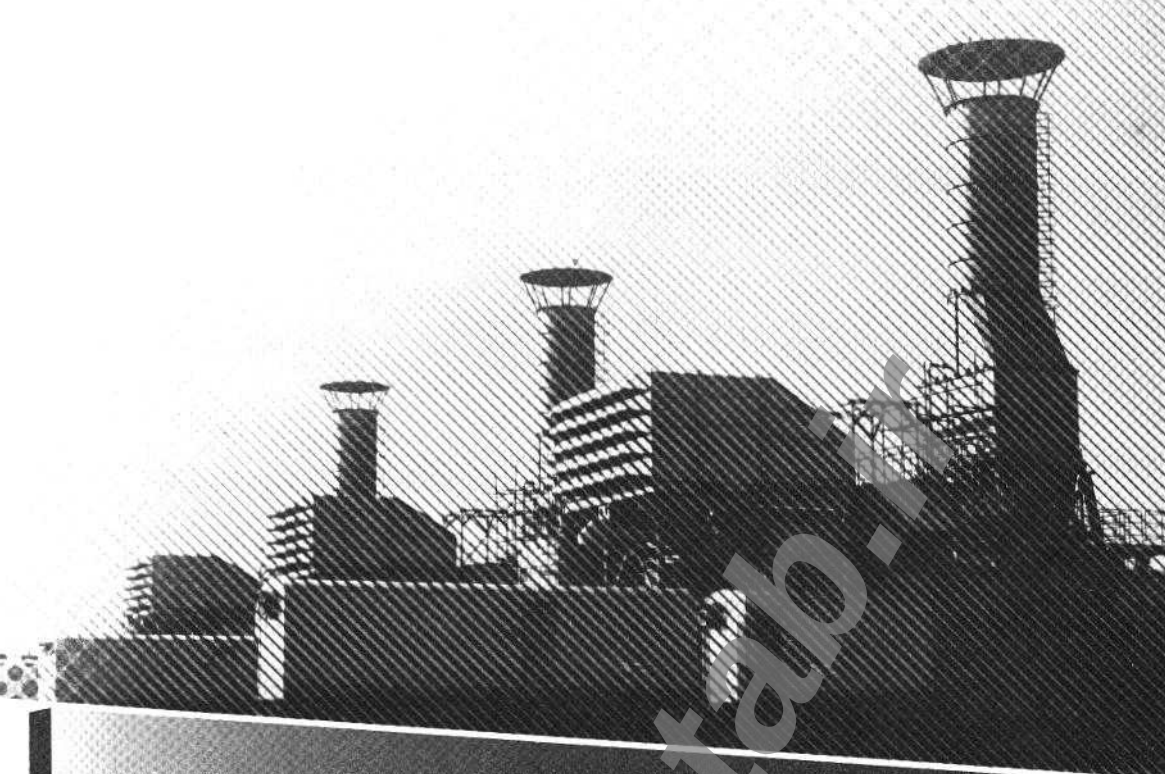




# روش‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی

Underground Natural Gas Storage Techniques & Strategies

# روش‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی



## شناسنامه

|                       |                                                                                                     |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| نام کتاب              | روش‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی                                                               |
| ناشر                  | روابط عمومی شرکت ملی گاز ایران                                                                      |
| گردآوری و تالیف       | مهندس علی تیموری یادگوری                                                                            |
| تهیه شده در           | شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی-مدیریت مهندسی و ساختمان                                                   |
| گرافیک                | استودیو کارنو   علیرضا کیایی                                                                        |
| شابک                  | رایگان ۳-۷-۹۳۴۶۰-۶۰۰-۹۷۸                                                                            |
| شمارگان               | ۱۲۰۰ جلد                                                                                            |
| چاپ اول               | زمستان ۱۳۹۲                                                                                         |
| چاپ و صحافی           | چاپخانه شرکت ملی گاز ایران                                                                          |
| نشانی                 | تهران، بلوار کریمخان زند، خیابان شهید عضدی (آبان جنوبی)، نبش سپند، ساختمان مرکزی شرکت ملی گاز ایران |
| صندوق پستی            | ۴۵۳۳-۵۸۷۵                                                                                           |
| تلفن و فاکس           | تلفن: ۸۴۸۷۰ - ۰۲۱ - فاکس: ۷۲۵۲ ۸۴۸۷ - ۰۲۱                                                           |
| وبسایت، پست الکترونیک | www.nigc.ir      info@nigc.ir                                                                       |

## فرست‌نویسی فیپا

|                     |                                                                                                    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عنوان و نام پدیدآور | روش‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی<br>Underground Natural Gas Storage Techniques & Strategies = |
| مشخصات نشر          | تهران: شرکت ملی گاز ایران، روابط عمومی، ۱۳۹۲.                                                      |
| مشخصات ظاهری        | ۲۴۸ص.: مصور (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی).                                                    |
| شابک                | رایگان ۳-۷-۹۳۴۶۰-۶۰۰-۹۷۸                                                                           |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | فیپا                                                                                               |
| موضوع               | گاز طبیعی -- ایران                                                                                 |
| موضوع               | ذخیره‌سازی -- روش‌های ذخیره‌سازی -- ایران                                                          |
| شناسه افزوده        | تیموری یادگوری، علی، ۱۳۵۱-                                                                         |
| شناسه افزوده        | شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی، مدیریت مهندسی و ساختمان                                                 |
| شناسه افزوده        | شرکت ملی گاز ایران، روابط عمومی                                                                    |
| رده‌بندی کنگره      | ت ۱۳۹۱ / ۲۲۸ / ۲۷۵۴ KMH                                                                            |
| رده‌بندی دیویی      | ۳۴۳ / ۵۵۰۲۳                                                                                        |
| شماره کتابشناسی ملی | ۳۰۳۷۵۵۷                                                                                            |

کلیه حقوق چاپ و نشر محفوظ و متعلق به شرکت ملی گاز ایران می‌باشد.

مقوله تامین انرژی مورد نیاز یک جامعه از مهمترین، کلیدی‌ترین و استراتژیک‌ترین مباحث مدیریت جامعه بشری می‌باشد بطوری‌که رهبران کشورهای غربی همواره به کشورهایی که از نظر منابع انرژی غنای کافی دارند توجه ویژه‌ای داشته‌اند. چه بسا اکثریت قریب به اتفاق جنگ‌ها، کشمکش‌ها و حتی لشکرکشی‌ها را وجود منابع بیکران انرژی در سرزمین‌های آرمانی رقم زده‌اند.

جهان صنعتی قرن ۲۱ با تمام پیشرفت‌هایی که در استفاده از منابع انرژی داشته است، با مسائل و معضلاتی همچون آلودگی زیست‌محیطی و گرمایش زمین که عمده‌تأ ناشی از افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و تجمع گازهای گلخانه‌ای مواجه شده است. همچنان که از بررسی منابع مصرفی انرژی کشورها بر می‌آید همگی با یک برنامه تدریجی مدیون از مصرف سوخت‌های فسیلی آلاینده همچون ذغال سنگ، نفت و غیره فاصله گرفته و به سوی مصرف گاز طبیعی که سوخت نسبتاً پاک‌تری است روی آورده‌اند.

بر اساس پیش‌بینی موسسه EIA در چشم‌انداز بین‌المللی انرژی میزان مصرف گاز طبیعی در اروپا طی دو دهه آینده در حدود ۲٪ در سال افزایش می‌یابد و دلیل آن چیزی به جز جایگزینی سوخت‌های فسیلی آلاینده با گاز طبیعی نمی‌باشد. از این رو سرمایه‌گذاری در جهت ایجاد و توسعه مخازن ذخیره‌سازی گاز طبیعی در جهان به طور چشمگیری در حال افزایش می‌باشد.

نویسنده اثر با این اندیشه دست به قلم گردید تا بتواند گوشه‌ای از دانش همواره در حال تکامل بشری را در این کتاب گرد آورد. پر واضح است بدلیل نو یا بودن صنعت ذخیره‌سازی گاز طبیعی در کشور ایران و عدم وجود اطلاعات و تجربیات کافی از عملکرد مخازن ذخیره‌سازی در ایران نگارنده کوشیده است در جهت روشن شدن ذهن کارشناسان و دانشجویان گرامی مطالبی هر چند کوتاه را از اقصی نقاط جهان از عملکرد، شرایط، پیشرفت‌ها، حوادث، تکنولوژی‌های نوین به رشته تحریر درآورد. لذا انتظار می‌رود دست‌اندرکاران مدیریت انرژی کشور علی‌الخصوص صنعت نفت و گاز ما را در بهبود کیفیت و نواقص این کتاب با ارسال نقطه نظرات خود به پست الکترونیک [teymouri@nigc.ir](mailto:teymouri@nigc.ir) یاری دهد.

در پایان بر خود لازم می‌دانم به خاطر حمایت‌های بی‌دریغ مدیر عامل محترم شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی جناب آقای مهندس مسعود سامی‌وند در راستای ارائه رهنمود، تکمیل این اثر صمیمانه تشکر نمایم. از همکار گرامی و دوست عزیزم، جناب آقای مهندس غلامعلی رجایی که نقش بسزایی در ویرایش اثر داشتند و سرکار خانم مهندس پاریس کشاورزی بخاطر زحماتی که در این راه متقبل شدند سپاسگزارم.

و من... التوفیق

علی تیموری یادگوری

بهمن ماه ۱۳۹۲ خورشیدی

|    |                                                    |
|----|----------------------------------------------------|
| ۲  | ۱. مقدمه                                           |
| ۳  | ۲. روند تولید گاز در مناطق مختلف                   |
| ۷  | ۳. متنوع سازی تولید                                |
| ۸  | ۴. سرمایه‌گذاری در تولید و انتقال گاز طبیعی        |
| ۱۰ | ۵. انتشار آلاینده‌های زیست محیطی                   |
| ۱۵ | ۶. انواع منابع گاز                                 |
| ۱۷ | ۷. هزینه‌های توسعه و تولید                         |
| ۱۹ | ۸. روند عرضه جهانی گاز                             |
| ۲۰ | ۹. پتانسیل جهانی منابع غیرمتعارف گاز               |
| ۲۲ | ۱۰. لهستان پیشنهاد عرضه شیل گاز در اروپا           |
| ۲۴ | ۱۱. اثرات زیست محیطی تولید و انتقال گاز            |
| ۲۶ | ۱۲. عواقب زیست محیطی تولید گاز از منابع غیر متعارف |
| ۲۹ | ۱۳. آیا تقاضا از عرضه پیشی خواهد گرفت؟             |
| ۲۹ | ۱۴. عوامل تعیین‌کننده تقاضای گاز طبیعی             |
| ۲۹ | ۱۴.۱. رشد اقتصادی                                  |
| ۳۱ | ۱۴.۲. رقابت پذیری با سایر منابع                    |
| ۳۱ | ۱۴.۳. آثار زیست محیطی مصرف انرژی                   |
| ۳۲ | ۱۴.۴. تغییرات در تکنولوژی                          |
| ۳۳ | ۱۴.۵. دسترسی به عرضه                               |
| ۳۴ | ۱۴.۶. سیاست‌های دولت                               |
| ۳۴ | ۱۵. تجزیه و تحلیل عدم قطعیت‌ها                     |

|    |                                                              |
|----|--------------------------------------------------------------|
| ۳۸ | ۱. مقدمه                                                     |
| ۳۹ | ۲. تقاضا برای گاز طبیعی                                      |
| ۴۵ | ۳. تاریخچه و اهمیت ذخیره‌سازی گاز در جهان                    |
| ۴۶ | ۳.۱. ذخیره‌سازی گاز در کشور انگلستان                         |
| ۴۷ | ۴. ارزش ذاتی ذخیره‌سازی در صنعت گاز                          |
| ۴۹ | ۵. نقش اساسی ذخیره‌سازی گاز در سرمای بی‌سابقه ژانویه ۱۹۹۴    |
| ۵۰ | ۶. ذخیره‌سازی گاز در جهان                                    |
| ۵۳ | ۷. ظرفیت ذخیره‌سازی گاز طبیعی در آمریکا                      |
| ۵۴ | ۸. بعد اقتصادی ذخیره‌سازی گاز طبیعی                          |
| ۵۶ | ۹. هزینه تبدیل مخزن تخلیه شده هیدروکربوری به مخزن ذخیره‌سازی |
| ۵۹ | ۱۰. تجزیه و تحلیل                                            |

|    |                                                            |
|----|------------------------------------------------------------|
| ۶۲ | ۱. مقدمه                                                   |
| ۶۲ | ۲. غربالگری و انتخاب مخازن جهت ذخیره‌سازی گاز طبیعی        |
| ۶۳ | ۲.۱. شرایط لازم جهت تبدیل یک ساختار به مخزن ذخیره‌سازی گاز |
| ۶۴ | ۲.۲. اندازه‌گیری نفوذپذیری مطلق مایعات                     |
| ۶۶ | ۳. آزمایش تعیین فشار آستانه گاز                            |
| ۶۷ | ۴. نفوذپذیری درجا و تغییرات نفوذپذیری با تنش               |
| ۶۹ | ۵. نقش اشباع مایعات متحرک و غیرمتحرک                       |
| ۷۱ | ۶. تثبیت تزریق‌پذیری و بهره‌دهی چاه                        |
| ۷۲ | ۷. تخریب سازند                                             |
| ۷۴ | ۸. تجزیه و تحلیل                                           |

|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| ۷۶ | ۱. مخازن تخلیه شده نفت و گاز                 |
| ۷۸ | ۲. سفره‌های عمیق آب زیرزمینی (آبخوان‌ها)     |
| ۷۹ | ۳. ذخیره‌سازی گاز طبیعی در آبخوان‌ها         |
| ۸۰ | ۴. زمین‌شناسی آبخوان‌ها                      |
| ۸۳ | ۵. مهندسی مخازن آبخوان‌ها                    |
| ۸۶ | ۶. رفتار سیالات در ذخیره‌سازی - رشد حباب گاز |
| ۹۰ | ۷. پایش هرزرفت گاز                           |
| ۹۰ | ۸. طراحی چاه                                 |
| ۹۱ | ۹. چاه آزمایشی                               |
| ۹۳ | ۱۰. تجزیه و تحلیل                            |

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۹۶  | ۱. زمین‌شناسی نمک                          |
| ۹۶  | ۲. رسوب‌گذاری نمک                          |
| ۹۷  | ۳. منشاء ترکیب نمک                         |
| ۱۰۱ | ۴. تاریخچه کشف و تولید نمک                 |
| ۱۰۲ | ۵. معدن‌کاری انحصاری                       |
| ۱۰۷ | ۶. تاریخچه استفاده از مغارهای نمکی         |
| ۱۱۰ | ۷. ذخیره‌سازی گاز در مغارهای نمکی          |
| ۱۱۱ | ۸. مراحل ذخیره‌سازی در مغارهای نمکی        |
| ۱۱۲ | ۸.۱. مطالعات اولیه                         |
| ۱۱۳ | ۸.۲. حفاری                                 |
| ۱۱۴ | ۸.۳. انتخاب ساختگاه (محل چاه)              |
| ۱۱۵ | ۸.۴. طراحی و ایجاد مغارهای نمکی            |
| ۱۱۸ | ۹. بهره‌برداری از مغارهای نمکی             |
| ۱۱۸ | ۹.۱. نمک‌زدایی                             |
| ۱۱۸ | ۹.۲. نم‌زدایی                              |
| ۱۱۹ | ۱۰. عملکرد مغارهای نمکی در ذخیره‌سازی      |
| ۱۲۰ | ۱۱. آنالیز پایداری مغار نمکی در ذخیره‌سازی |
| ۱۲۱ | ۱۲. عوامل تأثیرگذار بر پایداری مغار نمکی   |
| ۱۲۲ | ۱۲.۱. شکل هندسی و اندازه مغار              |
| ۱۲۴ | ۱۲.۲. ضخامت سقف مغار                       |
| ۱۲۶ | ۱۲.۳. سختی لایه روباره                     |
| ۱۲۸ | ۱۳. نتیجه‌گیری                             |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ۱۳۰ | ۱. پایش و کنترل ذخیره گاز موجود                           |
| ۱۳۲ | ۱.۱. انواع نشست ها                                        |
| ۱۳۳ | ۱.۲. تاریخچه فشار - حجم                                   |
| ۱۳۴ | ۲. مخازن حجمی                                             |
| ۱۳۴ | ۳. مخازن با پشتیبان آبخوان                                |
| ۱۳۷ | ۴. توسعه مخازن ذخیره سازی                                 |
| ۱۳۹ | ۵. مخازن نشست کننده                                       |
| ۱۴۳ | ۶. ایمنی مغارهای نمکی جهت ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی   |
| ۱۴۵ | ۷. توزیع فشار در مغارهای نمکی                             |
| ۱۴۷ | ۷.۱. حادثه در تاسیسات West Hackberry در لونیزانا          |
| ۱۴۷ | ۷.۲. آتالیو آزمایشی حادثه                                 |
| ۱۴۸ | ۷.۳. خیره بیش از حد در Brenham در تگزاس                   |
| ۱۴۹ | ۷.۴. حادثه Fort - Saskatchewan                            |
| ۱۵۰ | ۸. حادثه Mont Belvieu و آتالیو حادثه                      |
| ۱۵۱ | ۸.۱. حادثه Hutchinson و تجزیه و تحلیل حادثه               |
| ۱۵۳ | ۹. یکپارچگی و پایداری ذخیره سازی                          |
| ۱۵۴ | آزمایش عدم نشست                                           |
| ۱۵۴ | پایداری مغار                                              |
| ۱۵۷ | تأثیر دما و فشار                                          |
| ۱۵۸ | آزمایش یکپارچگی مکانیکی                                   |
| ۱۵۹ | خلاصه روش آزمایش مکانیکی تعیین فصل مشترک نیتروژن - آب نمک |
| ۱۵۹ | تمهیدات لازم جهت انجام آزمایش                             |
| ۱۵۹ | مرحله مقدماتی فشارافزایی در مغار نمکی                     |
| ۱۶۰ | مرحله قبل از تزریق نیتروژن                                |
| ۱۶۰ | تزریق نیتروژن به منظور آزمایش جداری چاه                   |
| ۱۶۳ | آزمایش مغار نمکی                                          |
| ۱۶۵ | تجزیه و تحلیل                                             |

|     |                                                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۶۸ | استفاده از گاز دی اکسید کربن به عنوان گاز بالشتکی در ذخیره سازی گاز طبیعی     |
| ۱۷۰ | ۱. مزیت اقتصادی روش                                                           |
| ۱۷۱ | ۲. خواص فیزیکی دی اکسید کربن و متان                                           |
| ۱۷۶ | ۳. رویکرد مدلی مسئله                                                          |
| ۱۸۰ | ۴. مقایسه عملکرد متان با گاز بالشتکی هیدروکربوری و گاز بالشتکی غیرهیدروکربوری |
| ۱۸۱ | ۵. تجربه کشور فرانسه در استفاده از گاز غیرهیدروکربوری به عنوان گاز بالشتکی    |
| ۱۸۳ | ۶. نتیجه گیری                                                                 |
| ۱۸۴ | تکنولوژی چاه هوشمند در ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی                          |
| ۱۸۶ | ۱. میزان هوشمندی چاه                                                          |
| ۱۹۰ | ۲. پیشرفت های عملیاتی عامل سوق به هوشمندی سطح دوم                             |
| ۱۹۱ | ۳. سطح سوم هوشمندی - نظارت خودکار مخزن                                        |
| ۱۹۱ | تجزیه و تحلیل                                                                 |

|     |                                                           |
|-----|-----------------------------------------------------------|
| ۱۹۴ | ۱. مقدمه                                                  |
| ۱۹۵ | ۲. مدیریت زیست محیطی، تحلیل سابقه مقررات                  |
| ۱۹۷ | ۳. تاثیر آلاینده ها بر روی اتمسفر هوا                     |
| ۱۹۷ | ۴. منابع انتشار آلاینده ها بدرون محیط زیست                |
| ۱۹۸ | ۵. ترکیب سوخت گازی                                        |
| ۲۰۰ | ۶. انتشارات سطحی و تجهیزات زیرزمینی                       |
| ۲۰۲ | ۷. انتشار گازهای گلخانه ای                                |
| ۲۰۴ | ۸. اثر زیاله و تصفیه فاضلاب بر محیط زیست                  |
| ۲۰۵ | ۹. مروری بر حوادث صنعت ذخیره سازی                         |
| ۲۰۷ | ۱۰. تحلیل و شناسایی ریسک در ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی |
| ۲۰۹ | ۱۱. تجزیه و تحلیل                                         |



|     |                                                      |
|-----|------------------------------------------------------|
| ۲۱۲ | ۱. مقدمه                                             |
| ۲۱۳ | ۲. تولید و مصرف گاز طبیعی در جهان                    |
| ۲۱۸ | ۳. جایگاه منابع گاز طبیعی ایران در منطقه             |
| ۲۲۰ | ۴. رشد دوبرابری مصرف جهانی گاز طبیعی از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ |
| ۲۲۳ | ۵. ذخیره‌سازی گاز طبیعی در ایران                     |
| ۲۲۵ | ۵.۱. ذخیره‌سازی گاز طبیعی در میدان سراج              |
| ۲۲۷ | ۵.۲. ذخیره‌سازی گاز طبیعی در آبخوان یورتشا           |
| ۲۲۸ | ۵.۳. ذخیره‌سازی گاز طبیعی در میدان شورچه             |
| ۲۲۹ | ۶. خلاصه و جمع‌بندی                                  |

| فصل اول                                                                                | فهرست اشکال |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| شکل ۱-۱: تغییرات در تولید منطقه‌ای گاز طبیعی در سناریوی گاز                            | ۳           |
| شکل ۱-۲: تولید گاز طبیعی از منابع متنوع در سناریوی گاز                                 | ۷           |
| شکل ۱-۳: تولید جهانی گاز طبیعی از منابع مختلف در سناریوی گاز                           | ۸           |
| شکل ۱-۴: توزیع سرمایه‌گذاری در تاسیسات زیربنایی تامین گاز در سناریوها                  | ۹           |
| شکل ۱-۵: مقایسه میزان انتشار CO <sub>2</sub> در سناریوها در انتهای دوره چشم‌انداز      | ۱۰          |
| شکل ۱-۶: میزان سرانه انتشار آلاینده‌ها در مناطق مصرف در سناریوی گاز                    | ۱۲          |
| شکل ۱-۷: میزان منابع قابل استحصال از بزرگترین میادین گاز طبیعی جهان و منابع غیر متعارف | ۱۶          |
| شکل ۱-۸: مقادیر تقریبی تولید گاز طبیعی به همراه میادی مصرف                             | ۱۹          |
| شکل ۱-۹: انتشار گازهای گلخانه‌ای منابع متعارف و غیرمتعارف                              | ۲۷          |
| شکل ۱-۱۰: تغییرات سالانه تقاضای جهانی گاز بر حسب تغییرات تولید ناخالص جهانی            | ۳۰          |

| فصل دوم                                                                  | فهرست اشکال |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| شکل ۲-۱: توزیع مصرف گاز طبیعی در مناطق مختلف در سالهای ۱۹۸۵، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ | ۴۱-۴۰       |
| شکل ۲-۲: پیش‌بینی عرضه و تقاضای جهانی گاز طبیعی طی سالهای آتی            | ۴۳          |
| شکل ۲-۳: تاریخچه مصرف جهانی انرژی                                        | ۴۴          |
| شکل ۲-۴: سهم مناطق مختلف در ذخیره سازی گاز طبیعی                         | ۴۵          |
| شکل ۲-۵: پیش‌بینی تقاضای گاز در انگلیس و روند نزولی مستمر تولید در آینده | ۴۶          |
| شکل ۲-۶: مواجهه با سرمای ژانویه ۱۹۹۴                                     | ۴۹          |
| شکل ۲-۷: انواع مخازن ذخیره سازی گاز در جهان                              | ۵۰          |
| شکل ۲-۸: مقایسه نرخ بازگشت سرمایه                                        | ۵۵          |

| فصل سوم                                                                               | فهرست اشکال |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| شکل ۳-۱: نمای کلی دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری                                        | ۶۴          |
| شکل ۳-۲: چگونگی تهیه نمونه مغزه در آزمایشات نفوذپذیری پوش سنگ                         | ۶۴          |
| شکل ۳-۳: اهمیت تعیین نوع رخساره‌های موجود در پوش سنگ و آزمایش تمامی رخساره‌ها         | ۶۵          |
| شکل ۳-۴: نمای کلی دستگاه تعیین فشارآستانه نفوذ گاز در پوش سنگ                         | ۶۶          |
| شکل ۳-۵: نمودار تغییرات نفوذپذیری گاز بر حسب اشباع آب                                 | ۶۷          |
| شکل ۳-۶: نمودار تغییرات نفوذپذیری گاز بر حسب فشار لایه روباره                         | ۶۸          |
| شکل ۳-۷: نمودار تاثیر تغییرات فشار ته چاهی بر نفوذپذیری گاز طی سیکل‌های تزریق و تولید | ۶۸          |
| شکل ۳-۸: چگونگی ایجاد اشباع گاز محبوس در منطقه تحت هجوم آب                            | ۶۹          |
| شکل ۳-۹: متورم شدن فاز مایع هیدروکربوری و کاهش نفوذپذیری گاز در اثر افزایش فشار       | ۷۰          |
| شکل ۳-۱۰: نمودار کاهش تزریق پذیری در اثر ورود روانسازهای مورد استفاده در کمپرسور      | ۷۱          |
| شکل ۳-۱۱: انسداد فضای متخلخل در اثر ورود ذرات جامد کل حفاری                           | ۷۲          |

## فصل چهارم

### فهرست اشکال

|    |                                                                     |
|----|---------------------------------------------------------------------|
| ۷۷ | شکل ۱ - ۴: ذخیره سازی گاز در مخازن حجمی بدون هرزرفت گاز             |
| ۷۹ | شکل ۲ - ۴: سهم هریک از ساختارها در ذخیره گاز عملیاتی در جهان        |
| ۸۲ | شکل ۳ - ۴: سهم رسوبات زمین شناسی در ذخیره سازی گاز در آمریکای شمالی |
| ۸۴ | شکل ۴ - ۴: تراکم پذیری موثر سنگ مخزن                                |
| ۸۷ | شکل ۵ - ۴: چگونگی تغییرات فشار مخزن در حین تشکیل حباب گاز           |
| ۹۱ | شکل ۶ - ۴: شماتیک چاههای مورد نیاز در مخزن ذخیره سازی گاز           |
| ۹۲ | شکل ۷ - ۴: چگونگی تشکیل حباب گاز در آبخوان به هنگام ذخیره سازی      |

## فصل پنجم

### فهرست اشکال

|     |                                                                                          |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۹۷  | شکل ۱ - ۵: انواع ساختارهای نمکی                                                          |
| ۹۸  | شکل ۲ - ۵: مدل ساختاری نمک و تحلیل جابجایی در اثر گسل خوردگی                             |
| ۹۹  | شکل ۳ - ۵: مقطعی از بالش نمکی Anloo در نمودارهای پتروفیزیکی                              |
| ۱۰۰ | شکل ۴ - ۵: کم عمق ترین گنبد نمکی zechstein در مقطع لوزه ای Zuidwending در هلند           |
| ۱۰۰ | شکل ۵ - ۵: مقطع لوزه ای از یک گنبد نمکی پیچیده در شمال هلند حاصل از چین خوردگی           |
| ۱۰۲ | شکل ۶ - ۵: روش مستقیم ایجاد مغار نمکی بواسطه انحلال                                      |
| ۱۰۳ | شکل ۷ - ۵: روش غیر مستقیم ایجاد مغار نمکی                                                |
| ۱۰۵ | شکل ۸ - ۵: برش مقطعی یک مغار در گنبد نمکی Winscheton                                     |
| ۱۰۷ | شکل ۹ - ۵: آمارهیدروکربنهای سبک ذخیره شده در مغارهای نمکی در آمریکا و کانادا             |
| ۱۰۸ | شکل ۱۰ - ۵: حجم گاز طبیعی ذخیره شده در مغارهای نمکی در آمریکا و کانادا                   |
| ۱۱۲ | شکل ۱۱ - ۵: مغار نمکی بزرگی که می توان بوج ابقل را در آن جای داد                         |
| ۱۱۳ | شکل ۱۲ - ۵: مشکلات عملیاتی حین حفاری نمک                                                 |
| ۱۱۵ | شکل ۱۳ - ۵: شبیه سازی آب شویی مغار نمکی و فرایند اجرایی آن                               |
| ۱۱۶ | شکل ۱۴ - ۵: برش مقطعی شبیه سازی شده از مغار نمکی بر اساس یافته های آزمایشگاهی            |
| ۱۲۱ | شکل ۱۵ - ۵: میزان جابجایی قائم سقف مغار طی ۱۵ سال                                        |
| ۱۲۲ | شکل ۱۶ - ۵: انتشار ریز شکافها در مغار یا گذشت یک سال                                     |
| ۱۲۳ | شکل ۱۷ - ۵: توزیع ریز شکافها اطراف مغار با $H/D = 2.5$ پس از یکسال سیکلهای متناوب فشاری  |
| ۱۲۳ | شکل ۱۸ - ۵: توزیع ریز شکافها اطراف مغار با $H/D = 1$ پس از یکسال سیکلهای فشاری           |
| ۱۲۴ | شکل ۱۹ - ۵: انتشار ریز شکافها اطراف مغار پس از یکسال تحمل سیکل های فشاری                 |
| ۱۲۵ | شکل ۲۰ - ۵: توزیع ریز شکافها اطراف مغار با ضخامت سقف دو برابر پس از سه سال سیکلهای فشاری |
| ۱۲۷ | شکل ۲۱ - ۵: تاثیر وجود سقف نمکی یا روباره مستحکم در تخریب مغار                           |
| ۱۲۷ | شکل ۲۲ - ۵: تاثیر سختی لایه روباره بر روی تخریب مغار پس از یکسال تحمل سیکل های فشاری     |

|     |                                                                                     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۳۳ | شکل ۱- ۶: سیکل تزریق و برداشت گاز در مخزن                                           |
| ۱۳۵ | شکل ۲- ۶: سیکل تزریق و برداشت گاز از یک مخزن حجمی                                   |
| ۱۳۶ | شکل ۳- ۶: روند افت فشار در مخازن ذخیره سازی با پشتیبانی آبخوان                      |
| ۱۳۶ | شکل ۴- ۶: سیکل تزریق و بازپس گیری گاز در مخازن با پشتیبان آبخوان                    |
| ۱۳۸ | شکل ۵- ۶: تاریخچه فشار - حجم در مخازن حجمی                                          |
| ۱۳۸ | شکل ۶- ۶: تاریخچه فشار - حجم مخازن با پشتیبان آبخوان                                |
| ۱۴۲ | شکل ۷- ۶: وقوع نشست گاز بدرون مخزن ذخیره                                            |
| ۱۴۲ | شکل ۸- ۶: وقوع نشست گاز به بیرون از مخزن ذخیره                                      |
| ۱۴۳ | شکل ۹- ۶: پروفایل عمقی از مغارهای نمکی                                              |
| ۱۴۵ | شکل ۱۰- ۶: توزیع فشار قبل و بعد از انفجار                                           |
| ۱۴۶ | شکل ۱۱- ۶: انفجار در West-Hakberry                                                  |
| ۱۵۰ | شکل ۱۲- ۶: نشی پشته آخرین چار سیمانکاری شده در مخزن Mont Belvieu                    |
| ۱۵۵ | شکل ۱۳- ۶: فرونشست در سایت Mont Belvieu بکراس                                       |
| ۱۵۵ | شکل ۱۴- ۶: آثار خزش در (Eminence (Mississippi, Keil (Germany) and Tersanne (France) |
| ۱۵۶ | شکل ۱۵- ۶: فشار و حجم برحسب زمان در مغار-۱ کتب Eminence                             |

|     |                                                                                        |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۶۸ | شکل ۱- ۷: مدل ایده آل تک چاهی و شماتیکی از کار عملیاتی و گاز بالشتکی                   |
| ۱۷۱ | شکل ۲- ۷: نمودار نیمه لگاریتمی از منحنی فازی دی اکسید کربن                             |
| ۱۷۲ | شکل ۳- ۷: چگالی و ضریب فشردگی (Z) ترکیب $CO_2-CH_4$ در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد          |
| ۱۷۳ | شکل ۴- ۷: مزیت استفاده از دی اکسید کربن به عنوان گاز بالشتکی در ذخیره سازی             |
| ۱۷۴ | شکل ۵- ۷: چگالی و گرانشی ترکیب $CO_2-CH_4$ در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و فشارهای مختلف   |
| ۱۷۶ | شکل ۶- ۷: شماتیکی از گستره دویعدی شبیه سازی                                            |
| ۱۷۷ | شکل ۷- ۷: کسر جرمی گاز دی اکسید کربن در گاز ۹۰، ۳۰ و ۱۸۰ روز پس از تزریق               |
| ۱۷۸ | شکل ۷- ۷: چگالی گاز ۹۰، ۳۰ و ۱۸۰ روز پس از تزریق                                       |
| ۱۷۹ | شکل ۹- ۷: فشار بر حسب زمان در استفاده از گاز متان و دی اکسید کربن به عنوان گاز بالشتکی |
| ۱۸۰ | شکل ۱۰- ۷: مقایسه عملکرد مغار نمکی با گاز بالشتکی غیر هیدروکربوری و طبیعی              |
| ۱۸۲ | شکل ۱۱- ۷: نقشه ساختمانی مخزن Saint - Clair - Sure - Epte و تجمع گازی اثر در یال ها    |
| ۱۸۵ | شکل ۱۲- ۷: نمودار گردش فعالیت ها در چاه هوشمند ذخیره سازی                              |
| ۱۸۶ | شکل ۱۳- ۷: سطوح مختلف هوشمندی                                                          |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۲۰۴ | شکل ۱- ۸: توزیع تولید زیاله ها در تاسیسات ذخیره سازی گازپروم در سال ۲۰۰۸ |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|

|     |                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۱۵ | شکل ۱- ۹: مقایسه تولید و مصرف گاز طبیعی در سه کشور روسیه، ایران و قطر (۱۹۸۵-۲۰۱۱) |
| ۲۱۶ | شکل ۲- ۹: تاریخچه مصرف روزانه گاز طبیعی در ایران (۱۳۹۲-۱۳۸۵)                      |
| ۲۱۸ | شکل ۳- ۹: نسبت ذخایر گاز طبیعی مناطق به تولید سال ۲۰۰۹                            |
| ۲۲۱ | شکل ۴- ۹: تغییرات تولید و مصرف سالانه گاز طبیعی در ایران                          |
| ۲۲۳ | شکل ۵- ۹: پیش بینی روند تولید گاز طبیعی در کشورهای اروپایی                        |
| ۲۲۶ | شکل ۶- ۹: نمایی از تاسیسات ذخیره سازی گاز طبیعی در میدان سراج                     |
| ۲۲۸ | شکل ۷- ۹: نمایی از تاسیسات ذخیره سازی گاز طبیعی در مخزن شورجه - D                 |

| فصل اول                                                                                 | فهرست جداول |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| جدول - ۱: تولید منطقه ای گاز طبیعی: در سناریوی گاز (میلیارد متر مکعب)                   | ۵           |
| جدول - ۲: انتشار اجزاء کلیدی آلاینده هوا به تفکیک مناطق و سناریوی تولید                 | ۱۳          |
| جدول - ۳: منابع قابل استحصال باقیمانده در جهان و شاخص هزینه تولید در آنها               | ۱۷          |
| جدول - ۴: تولید گاز و انتشار آلاینده ها (سال ۲۰۰۸)                                      | ۲۵          |
| فصل دوم                                                                                 | فهرست جداول |
| جدول - ۱: ویژگی مخازن ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی                                     | ۵۱          |
| جدول - ۲: مخازن ذخیره سازی گاز در جهان                                                  | ۵۲          |
| جدول - ۳: برآورد ظرفیت ذخیره گاز طبیعی و تاریخچه پیشینه احجام ذخیره ایالات متحده آمریکا | ۵۳          |
| فصل سوم                                                                                 | فهرست جداول |
| جدول - ۱: شرایط رضایت پخش و شرایط غیر مطلوب پوش سنگ                                     | ۶۵          |
| جدول - ۲: شرایط انجام Leak off Test                                                     | ۷۳          |
| جدول - ۳: نتایج آزمایش Leak off Test                                                    | ۷۳          |
| فصل چهارم                                                                               | فهرست جداول |
| جدول - ۱: مشخصات آبخوان های توسعه یافته در ایالت ایلینویر آمریکا در ذخیره سازی گاز      | ۸۱          |
| فصل پنجم                                                                                | فهرست جداول |
| جدول - ۱: خواص ژئومکانیکی برای سازندهای مختلف                                           | ۱۲۶         |
| فصل ششم                                                                                 | فهرست جداول |
| جدول - ۱: مزایای استفاده از گاز بالشتکی جایگزین در ذخیره سازی گاز در مقارن همی          | ۱۷۰         |
| جدول - ۲: خواص مدلی مخزن ذخیره سازی گاز                                                 | ۱۷۵         |
| جدول - ۳: اطلاعات ذخیره سازی گاز در میدان Saint-Clair-Sur-Epte                          | ۱۸۲         |
| فصل هفتم                                                                                | فهرست جداول |
| جدول - ۱: مستنداتی در خصوص کیفیت زیست محیطی، درجه خلوص گاز و سطح مجاز آلاینده ها        | ۱۹۶         |
| جدول - ۲: منابع انتشار آلاینده های زیست محیطی                                           | ۱۹۷         |
| جدول - ۳: محدوده استاندارد آلاینده های سوخت گازی                                        | ۱۹۸         |
| جدول - ۴: محدوده مجاز پارامترهای سوخت گازی در روسیه و آلمان                             | ۱۹۹         |
| جدول - ۵: انتشارات سمی زیست محیطی ناشی از احتراق سوخت گازی                              | ۲۰۰         |
| جدول - ۶: حد متوسط آلاینده ها در اگزوز توربین های گازی در کشورهای مختلف                 | ۲۰۱         |
| جدول - ۷: منابع تشکیل دهنده انتشارات متان و دی اکسید کربن در تاسیسات ذخیره سازی         | ۲۰۳         |

|     |                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|
| ۲۵۳ | جدول ۸- : اطلاعات دینامیک انتشار گازهای گلخانه ای حاصل از ذخیره سازی گاز |
| ۲۵۶ | جدول ۹- : آمار تلفات، مجروحین و آوارگان در بخشهای مختلف چرخه تامین انرژی |

|     |                                                                                  |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۱۲ | جدول ۱- : ده کشور اول دارنده ذخایر گازی جهان                                     |
| ۲۱۴ | جدول ۲- : جایگاه ایران در میان ده کشور اول مصرف کننده گاز طبیعی جهان در سال ۲۰۱۲ |
| ۲۱۴ | جدول ۳- : جایگاه ایران در میان ده کشور اول تولیدکننده گاز طبیعی جهان در سال ۲۰۱۲ |
| ۲۲۲ | جدول ۴- : مقایسه رشد مصرف کشورها و قاره ها در سه دهه اخیر                        |

www.ketab.ir