**مهندسي گاز طبيعي پيشرفته**

**تأليف:**

**دکتر زوليو وانگ (ایکس گاز)**

**و پروفسور ميكائيل اكوناميدس(دانشگاه هوستون)**

**ترجمه:**

**دكتر علي وطني(استاد پردیس دانشکده‌های فنّی دانشگاه تهران)**

**و دکتر مجتبي رضائي(دانش‌آموخته پردیس دانشکده‌های فنّی دانشگاه تهران )**

فهرست

1- [مبانی گاز طبیعی 1](#_Toc334816695)

[1-1 مقدمه 1](#_Toc334816696)

[1-2 موقعيت‌های زمین شناسی 1](#_Toc334816697)

[1-3 پیدایش گاز طبیعی و تجمع آن 6](#_Toc334816698)

[1-4 منابع گاز طبیعی 7](#_Toc334816699)

[1-4-1 گازهای غیر‌همراه نفت 9](#_Toc334816700)

[1-4-2 گازهای همراه نفت 9](#_Toc334816701)

[1-4-3 گازهای آزاد (unconventional gas) 9](#_Toc334816702)

[1-5 ترکیب درصد و رفتار فازی گاز طبیعی 10](#_Toc334816703)

[1-5-1 رفتار فازی گاز خشک و تر](#_Toc334816704) 12

[1-5-2 رفتار فازی ناحیۀ وارونه 12](#_Toc334816705)

[1-5-3 رفتار فازی گاز همراه نفت 13](#_Toc334816706)

[1-6 ويژگي‌هاي گاز طبیعی 13](#_Toc334816707)

[1-6-1- وزن مخصوص گاز 14](#_Toc334816708)

[1-6-2 ضریب انحراف گاز از حالت ایده‌آل 15](#_Toc334816709)

[1-6-3 چگالی گاز 22](#_Toc334816710)

[1-6-4 ضریب حجمی گاز سازند 23](#_Toc334816711)

[1-6-5 تراکم پذیری گاز 24](#_Toc334816712)

[1-6-6 گرانروی گاز 25](#_Toc334816713)

[1-6-7 معادلات تجربی مفید 29](#_Toc334816714)

[1-7 تبدیلات و واحدها 31](#_Toc334816715)

[1-8 مراجع 32](#_Toc334816716)

2- [مباحثی منحصربه فرد](#_Toc334816717) در [اکتشاف، حفاری و تکمیل چاه گاز طبیعی](#_Toc334816718) 35

[2-1 مقدمه 35](#_Toc334816719)

[2-2 اکتشاف 35](#_Toc334816720)

[2-3 حفاری 41](#_Toc334816721)

[2-3-1 حفاری چاه گاز طبیعی 43](#_Toc334816722)

[2-3-2 حفاری چاه‌هاي عمیق 45](#_Toc334816723)

[2-3-3 آسیب حفاری 45](#_Toc334816724)

[2-3-4 ضربۀ گاز 47](#_Toc334816725)

[2-4 تکمیل چاه 49](#_Toc334816726)

[2-4-1 بار مایع در چاه‌هاي گازی 52](#_Toc334816727)

[2-4-2 فشار بالاسر لولۀ جداری 55](#_Toc334816728)

[2-5 مراجع 58](#_Toc334816729)

3- [تولید گاز طبیعی 59](#_Toc334816730)

[3-1 مقدمه 59](#_Toc334816731)

[3-2 معادلات دارسی و غیردارسی در محیط متخلخل 60](#_Toc334816732)

[3-3 جريان به داخل چاه گاز تحت جريان دارسی 62](#_Toc334816733)

[3-3-1 جريان حالت پایا و نیمه‌پایا 62](#_Toc334816734)

[3-3-2 جريان ناپایا 66](#_Toc334816735)

[3-4 جريان به درون چاه گاز تحت جريان غیردارسی 69](#_Toc334816736)

[3-4-1 جريان آشفته در چاه گاز 69](#_Toc334816737)

[3-4-2 معادلات تجربی آشفتگی در چاه گاز عمودی 71](#_Toc334816738)

[3-5 جريان به درون چاه گاز افقی 72](#_Toc334816739)

[3-6 شكاف‌دار کردن هیدرولیکی 79](#_Toc334816740)

[3-6-1 مروری بر شكاف‌دار کردن هیدرولیکی 79](#_Toc334816741)

[3-6-2 مفهوم شاخص بی بعد تولید 80](#_Toc334816742)

[3-6-3 طراحی شکاف یکپارچه شده (UFD) 81](#_Toc334816743)

[3-6-4 عملکرد چاه شكاف‌دار هیدرولیکی با آشفتگی 84](#_Toc334816744)

[3-6-5 شكاف‌دار کردن چاه‌هاي گازی افقی 88](#_Toc334816745)

[3-7 تحويل چاه 92](#_Toc334816746)

[3-8 پیش‌بینی عملکرد چاه و موازنۀ مواد 98](#_Toc334816747)

[3-9 مراجع 102](#_Toc334816748)

4- [فرآورش گاز طبیعی 105](#_Toc334816749)

[4-1مقدمه 105](#_Toc334816750)

[4-2 جداسازی گاز طبیعی و مایع 107](#_Toc334816751)

[4-2-1 سازوکار جداسازی ثقلی 108](#_Toc334816752)

[4-2-2 طراحی جداکنندۀ سه‌‌فازی 112](#_Toc334816753)

[4-3 نم‌زدایی گاز طبیعی- حذف آب 133](#_Toc334816754)

[4-3-1 محاسبۀ مقدار آب 133](#_Toc334816755)

[4-3-2. هيدرات‌هاي گاز طبيعي 138](#_Toc334816756)

[4-3-3 نم‌زدائي با جذب سطحي 140](#_Toc334816757)

[4-3-4 نم‌زدائي با جذب 140](#_Toc334816758)

[4-4 شيرين‌سازي گاز طبيعي ـ حذف گازهاي اسيدي 147](#_Toc334816759)

[4-5 مراجع 149](#_Toc334816760)

5- [انتقال گاز طبیعی-](#_Toc334816761)[خطوط لوله و گاز طبیعی فشرده شده 151](#_Toc334816762)

[5-1 مقدمه 151](#_Toc334816763)

[5-2 خطوط لوله 152](#_Toc334816764)

[5-2-1 اندازۀ خط لوله 154](#_Toc334816765)

[5-2-2 تراکم 159](#_Toc334816766)

[5-3 انتقال دریایی گاز طبیعی فشرده شده 164](#_Toc334816767)

[5-3-1 حامل‌های گاز طبیعی فشرده شده 166](#_Toc334816768)

[5-3-2 بهينه‌سازي ظرفيت مخازن ذخيره و خط سير آن‌ها در انتقال گاز طبیعی فشرده شده 170](#_Toc334816769)

[5-4 مراجع 183](#_Toc334816770)

6- [گاز طبیعی مایع شده (LNG) 185](#_Toc334816771)

[6-1 مقدمه 185](#_Toc334816772)

[6-2 فرآیند گاز طبیعی مایع شده 186](#_Toc334816773)

[6-3 مايع‌سازي گاز طبیعی مایع شده 188](#_Toc334816774)

[6-3-1 بررسی ترمودینامیکی فرآیندهای گاز طبیعی مایع شده 189](#_Toc334816775)

[6-3-2 فرآیند مبرد مخلوط با پیش سردکن پروپان C3MR/(PPMRTM) 202](#_Toc334816776)

[6-3-3 فرآیند آبشاری اصلاح شده 203](#_Toc334816777)

[6-3-4 فرآیند مبرد مخلوط تک حلقه 204](#_Toc334816778)

[6-3-5 فرآیند آبشاری سیال مخلوط 206](#_Toc334816779)

[6-3-6 فرآیند لیکوئیفین 206](#_Toc334816780)

[6-3-7 فرآیند مبرد مخلوط دوگانه (DMR) 209](#_Toc334816781)

[6-4 حامل‌های طبیعی مایع شده 210](#_Toc334816782)

[6-5 مراجع 215](#_Toc334816783)

7- تبديل [گاز به مایع (GTL) 217](#_Toc334816784)

[7-1 مقدمه 217](#_Toc334816785)

[7-2 چرا GTL؟ 218](#_Toc334816786)

[7-3 فرآیندهای GTL 219](#_Toc334816787)

[7-4 GTL براساس تبدیل مستقیم گاز طبیعی 221](#_Toc334816788)

[7-5 GTL براساس تبدیل غیرمستقیم گا زطبیعی 222](#_Toc334816789)

[7-5-1 مبانی 222](#_Toc334816790)

[7-5-2 گازسنتز و ريفرمينگ گاز طبیعی 224](#_Toc334816791)

[7-5-3 سنتز فیشر-تروپش 234](#_Toc334816792)

[7-5-4 بهبودفرآورده 249](#_Toc334816793)

[7-7 مراجع 253](#_Toc334816794)

[7-8 پیوست – کاتالیسیس 254](#_Toc334816795)

8- [مخازن گاز طبیعی زیرزمینی، UGS 257](#_Toc334816796)

[8-1 مقدمه](#_Toc334816797) 257

[8-2 انواع مخازن زیرزمینی 257](#_Toc334816798)

[8-3 پیش‌بینی‌های ذخيره‌سازي 259](#_Toc334816799)

[8-3-1 حجم کل گاز و حجم گاز تزریق شده در مخزن 261](#_Toc334816800)

[8-3-2 هدررفت در مخازن گاز 264](#_Toc334816801)

[8-3-3 قابلیت تزریق در چاه ذخيره‌سازي گاز 266](#_Toc334816802)

[8-4 بحث و نتیجه‌گیری 267](#_Toc334816803)

[8-5 مراجع 268](#_Toc334816804)

9- [عرضۀ گاز طبیعی، منابع انرژی جایگزین](#_Toc334816805) [و محیط زیست 269](#_Toc334816806)

[9-1 مقدمه 269](#_Toc334816807)

[9-2 وضعیت بسیار دشوار انرژی 270](#_Toc334816808)

[9-3 مزایای سوخت‌های فسیلی 271](#_Toc334816809)

[9-4 قابلت جایگزینی انرژی در برابر عدم انعطاف 271](#_Toc334816810)

[9-5 پتانسیل منطقه‌اي عرضۀ گاز 273](#_Toc334816811)

[9-6 جایگزین‌های گاز طبیعی در تولید الکتریسیته 274](#_Toc334816812)

[9-6-1 ذغال سنگ 274](#_Toc334816813)

[9-6-2 انرژی هسته‌اي 275](#_Toc334816814)

[9-6-3 انرژی باد 276](#_Toc334816815)

[9-6-4 انرژی خورشیدی 276](#_Toc334816816)

[9-7 مبانی تولید برق از منابع انرژی جایگزین 278](#_Toc334816817)

[9-7-1 ذغال سنگ 278](#_Toc334816818)

[9-7-2 انرژی باد 279](#_Toc334816819)

[9-7-3 هسته‌اي 280](#_Toc334816820)

[9-7-4 انرژی خورشیدی 282](#_Toc334816821)

[9-8 اقتصاد تولید برق از منابع مختلف انرژی 284](#_Toc334816822)

[9-9 اثرات زیست محیطی سوخت‌های فسیلی و منابع انرژی تجدیدپذیر 290](#_Toc334816823)

[9-9-1 اثرات زیست محیطی ذغال سنگ 290](#_Toc334816824)

[9-9-2 اثرات زیست محیطی نيروگاه‌های هسته‌اي 291](#_Toc334816825)

[9-9-3 اثرات زیست محیطی توربين‌های بادی 292](#_Toc334816826)

[9-9-4 اثرات زیست محیطی سامانه‌های PV 292](#_Toc334816827)

[9-10 مراجع 294](#_Toc334816828)