

اصول فراوری گاز طبیعی

دکتر سعید پاک سرشت

با همکاری انسیه ناظمی



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

اصول فراوری گاز طبیعی
تألیف: دکتر سعید پاک سرشت با همکاری انسیه ناظمی
ویراستار: مهندس مسعود رضا شاکری
مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۴۰۰

شمارگان: ۳۰۰

بها: ۱۵۰۰۰۰ تومان

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

آماده سازی کتاب را مؤلفان انجام داده اند.

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۴۵-۲

ISBN 978-964-208-245-2

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

فروش اینترنتی: book.sharif.ir

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف، موسسه انتشارات علمی

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

موضوع: natural gas

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.
Sharif University of Technology, Institute of
Scientific Publication

رده بندی کنگره: ۹/۴۸۰ TN

رده بندی دیویی: ۶۶۵/۷

شماره کتابشناسی ملی: ۷۶۱۴۰۳۸

وضعیت رکورد: فیبا

سرشناسه: پاک سرشت، سعید

عنوان و نام پدیدآور: اصول فراوری گاز طبیعی / سعید پاک سرشت، با همکاری انسیه ناظمی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۴۰۰.

مشخصات ظاهری: ۶۲۰ ص.

شابک: 978-964-208-245-2

وضعیت فهرست نویسی: فیبا.

یادداشت: کتابنامه

موضوع: گاز طبیعی

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل ۱. زنجیره گاز طبیعی از تولید تا مصرف

۱- ۱ مقدمه

۱- ۲ منابع گاز طبیعی

۱- ۳- ۱ اکتشاف مخزن های هیدروکربنی

۱- ۳- ۱- ۱ منابع اطلاعات

۱- ۳- ۱- ۲ لرزه نگاری در خشکی

۱- ۳- ۱- ۳ لرزه نگاری در فراساحل

۱- ۳- ۱- ۴ مغناطیس سنجی

۱- ۳- ۱- ۵ گرانش سنجی

۱- ۳- ۱- ۶ چاه های اکتشافی

۱- ۳- ۱- ۷ آزمون های عملیاتی

۱- ۳- ۱- ۸ تفسیر اطلاعات

۱- ۳- ۱- ۹ تفسیر لرزه نگاری دو بعدی

۱- ۳- ۱- ۱۰ به کار گیری رایانه در اکتشاف مخازن

۱- ۳- ۱- ۱۱ تصویربرداری لرزه نگاری سه بعدی

۱- ۳- ۱- ۱۲ تصویربرداری لرزه ای دو بعدی

۱- ۱۳- ۱۳ تصویربرداری لرزه ای چهار بعدی

۱- ۴- ۴ استخراج منابع هیدروکربنی

۱- ۴- ۱- ۱ استخراج منابع متعارف

۱- ۴- ۲- ۲ استخراج از منابع نامتعارف

۱- ۵- ۵ تولید و فراوری گاز طبیعی

۱- ۶- ۶ انتقال گاز طبیعی

۱- ۶- ۱ شبکه خطوط لوله اصلی

یازده

۱

۳

۴

۹

۹

۱۲

۱۴

۱۵

۱۵

۱۵

۱۶

۱۸

۱۸

۱۹

۲۰

۲۱

۲۲

۲۳

۲۵

۲۷

۲۸

۳۱

۳۱

۳۶	۱- ۶- ۲ احداث خطوط لوله
۳۸	۱- ۶- ۳ بازرسی خط لوله
۴۰	۱- ۷- ۷ ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی
۴۱	۱- ۷- ۱ اوج‌سایی
۴۲	۱- ۷- ۲ انواع مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی
۴۶	۱- ۸- ۸ شبکه توزیع گاز طبیعی
۵۰	۱- ۸- ۱ ایمنی در شبکه توزیع گاز
۵۰	۱- ۹- ۹ گاز طبیعی در ایران
۶۱	فصل ۲. خواص فیزیکی و مشخصه‌های گاز طبیعی
۶۳	۲- ۱ مقدمه
۶۴	۲- ۲ فراوری گاز طبیعی
۶۴	۲- ۲- ۱ تأسیسات سرچاهی
۶۶	۲- ۲- ۲ عملیات فراوری گاز در پالایشگاه گازی
۷۱	۲- ۳- ۳ مشخصه‌های گاز طبیعی
۷۴	۲- ۳- ۱ اجزای تشکیل دهنده گاز طبیعی
۷۷	۲- ۳- ۲ خواص فیزیکی گاز طبیعی
۱۱۱	۲- ۴- ۴ رفتار فازی گاز طبیعی
۱۱۲	۲- ۴- ۱ سامانه تعادلی تک جزیی و چند جزیی
۱۱۹	۲- ۴- ۲ سامانه تعادلی گاز - مایع
۱۳۰	۲- ۴- ۳ سامانه تعادلی آب و هیدروکربن
۱۴۰	۲- ۴- ۴ تشکیل هیدرات‌های گازی
۱۶۲	۲- ۵- ۵ کلیاتی درباره طراحی تأسیسات فراوری گاز طبیعی
۱۶۲	۲- ۵- ۱ اهداف فراوری گاز طبیعی
۱۶۴	۲- ۵- ۲ انواع گاز طبیعی و منابع آن
۱۶۵	۲- ۵- ۳ موقعیت میدان و اندازه آن
۱۶۷	فصل ۳. فرایندهای جداسازی در فراوری گاز طبیعی
۱۶۹	۳- ۱ مقدمه
۱۷۰	۳- ۲ اصول جداسازی
۱۷۱	۳- ۳ نام‌گذاری تجهیزات جداکننده

۱۷۳	۳-۴ بخش‌های اصلی تجهیزات جداسازی
۱۷۵	۳-۵ انواع جداکننده‌ها
۱۷۵	۳-۵-۱ جداکننده‌های افقی
۱۷۹	۳-۵-۲ جداکننده‌های عمودی
۱۸۰	۳-۵-۳ جداکننده‌های گریز از مرکز
۱۸۱	۳-۵-۴ جداکننده‌های چرخشی-گردابی
۱۸۲	۳-۵-۵ جداکننده‌های کروی
۱۸۳	۳-۶ اصول محاسبات جداسازی
۱۸۶	۳-۷ طراحی و تعیین مشخصه‌های جداکننده‌ها
۱۹۰	۳-۷-۱ ملاحظات طراحی
۱۹۳	۳-۷-۲ تعیین ابعاد جداکننده افقی
۱۹۷	۳-۷-۳ تعیین ابعاد جداکننده عمودی
۲۰۰	۳-۷-۴ طراحی جداکننده‌ها با استفاده از مدلسازی CFD
۲۰۲	۳-۸ عوامل مؤثر بر عملکرد جداکننده‌ها

فصل ۴. شیرین‌سازی گاز طبیعی

۲۰۹	۴-۱ مقدمه
۲۱۱	۴-۲ فرایندهای جذب با حلال
۲۱۶	۴-۲-۱ فرایند حلال‌های شیمیایی
۲۱۸	۴-۲-۲ فرایند حلال‌های فیزیکی
۲۴۴	۴-۲-۳ فرایندهای تلفیقی
۲۵۸	۴-۳ فرایندهای جذب در بسترهای جامد
۲۶۱	۴-۳-۱ فرایندهای جذب شیمیایی در بسترهای جامد
۲۶۲	۴-۳-۲ فرایندهای جذب فیزیکی با جاذب جامد
۲۶۷	۴-۴ فرایندهای تبدیل مستقیم (فاز مایع)
۲۷۰	۴-۴-۱ فرایند کیلات آهن
۲۷۱	۴-۵ فرایند تقطیر فوق سرد
۲۷۵	۴-۶ فرایندهای غشایی
۲۷۷	۴-۶-۱ جداسازی CO_2 از گاز طبیعی
۲۷۹	

زَكَاةُ الْعِلْمِ بِذَلِكَ لِمُسْتَحِقِّهِ وَاجْتِهَادُ النَّفْسِ فِي الْعَمَلِ بِهِ
زکات دانش، آموزش به کسانی که شایسته آنند و کوشش در عمل به آن است
غرر الحکم و درر الکلم، ص ۳۹۱

"حضرت علی (ع)"

پیشگفتار

با ورود به قرن بیست و یکم، گاز طبیعی جایگاه خودش را در کانون محافل و مباحث انرژی در جهان پیدا کرد. در دو دهه اول این قرن به دلایلی نظیر رشد جهش گونه برخی از قدرت‌های اقتصادی نوظهور و افزایش چشمگیر تقاضای انرژی، توسعه میادین گازی شیل به‌ویژه در آمریکای شمالی و در نتیجه آن ورود بازیگران جدید در عرضه گاز، شدت گرفتن نگرانی‌های زیست محیطی و ورود مجامع و سازمان‌های جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، و دورنمای امیدوارکننده اکتشاف میدان‌های گازی متعارف و نامتعارف در دوره‌ای که حجم میادین نفتی اثبات شده رو به افول گذاشته است، همگی باعث شد تا توجه به گاز طبیعی در تعاملات جهانی روز به روز فزونی یابد، تا جایی که کارشناسان حوزه انرژی، دوره حاضر را به عصر طلایی گاز طبیعی (The Golden Age of Natural Gas) بنامند. امروزه، گاز طبیعی که پیش‌بینی روند عرضه و تقاضای رو به رشد آن تا اواسط قرن حاضر نشانگر پشت‌سر گذاشتن دیگر حامل‌های انرژی فسیلی است، نه تنها به عنوان حامل انرژی در عرصه اقتصاد، بلکه به عنوان ابزاری راهبردی در مناسبات سیاسی، نقش مهمی را ایفا می‌کند. اما، گاز طبیعی در کشورمان قدمتی طولانی دارد. از اواسط دهه ۴۰ شمسی که استحصال گازهای همراه نفت و ساخت نخستین پالایشگاه گازی در استان خوزستان (پالایشگاه بیدبلند) گاز طبیعی را برای صادرات به همسایه شمالی آن روزگار، یعنی اتحاد جماهیر شوروی، از طریق نخستین خط لوله سراسری به جریان انداخت، شیرینی مصرف این حامل انرژی پاک و کم دردسر در برخی از شهرها و صنایع در مسیر آن خط لوله به کام مصرف کنندگان نشست.

با اتخاذ سیاست‌های گسترش مصرف گاز طبیعی و جایگزینی آن به جای فراورده‌های نفتی که از اوایل دهه ۶۰ صورت گرفت، سهم گاز طبیعی در سبد مصرف انرژی در کشورمان روندی شتابان پیدا کرد. این امر نه تنها باعث صرفه اقتصادی به واسطه به کارگیری سوختی ارزان‌تر به جای نفت سفید، LPG و گازوئیل شد، بلکه حجم زیادی از ظرفیت نفت خام تولیدی کشورمان را برای عرضه در بازارهای صادراتی آزاد کرد. با کشف و گسترش میدان گازی پارس جنوبی، که بزرگ‌ترین میدان گازی مستقل جهان است، و آغاز بهره‌برداری از آن از اوایل دهه ۷۰ و گسترش تدریجی آن تا سه دهه پس از آن، نقش گاز طبیعی در ایران از یک تأمین کننده انرژی صرف، فراتر رفت.

اینک نه تنها گاز طبیعی از طریق چندین خط لوله سراسری به اقصی نقاط کشور انتقال یافته و نزدیک به ۹۵٪ از خانوارهای شهری و روستایی را بهره‌مند کرده است و تقریباً همه نیاز نیروگاه‌های تولید برق کشور و صنایع عمده و کوچک را نیز تغذیه کرده، بلکه صادرات گاز به برخی از کشورهای همسایه همچون ترکیه و عراق به اجرا در آمده است و افزون بر آن امکان گسترش بیشتر آن نیز وجود دارد. بدون شک، برخورداری از این منابع سرشار و موقعیت راهبردی کشورمان، این امکان را فراهم کرده است که در عرصه تعاملات منطقه‌ای انرژی، بازیگر مهمی باشیم. به این ترتیب، گاز طبیعی در ایران به عنوان محور توسعه و مولد اقتصاد قلمداد می‌شود و باید برای بهره‌مندی و بهره‌گیری منافع ملی از این نعمت خدادادی، همه ابزارهای لازم و تدابیر سنجیده به کار گرفته شود. برای این کار، به تربیت متخصصان و کارشناسان آگاه در زمینه‌های گوناگون فنی، عملیاتی، فناوری و مدیریت راهبردی نیاز است.

برای اینجانب که از اوایل دهه ۷۰ افتخار حضور در صنعت عظیم نفت و گاز را در بخش‌های گوناگون کارشناسی و مدیریتی و عمدتاً در حوزه پژوهش و فناوری داشته‌ام، انتقال تجربیات و دانش انباشته شده به نسل جوان و متخصصان آینده این عرصه را وظیفه و تکلیفی برای خود می‌دانم. افتخار خدمت به عنوان مدیر پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران از سال ۱۳۸۵ به مدت ۱۳ سال و بهره‌مندی از فرصت کم‌نظیر برای اثربخشی و یادگیری و آموزش موضوع‌های گوناگون از مدیران، متخصصان و کارشناسان، دین بزرگی است که جز با نشر آن راهی برای جبران این الطاف الهی نیافتم. در این حال، فرصت حضور در ارائه دروس دانشگاهی مرتبط، به ویژه، ارائه درس فرایندهای پالایش نفت و گاز در دانشگاه صنعتی شریف از سال ۱۳۹۰، انگیزه‌ام

را برای گردآوری و انتشار بخش‌هایی از دانسته‌ها و مطالب مربوط به فرایندهای فراوری گاز فزونی بخشید.

در این کتاب کوشیده‌ایم با بهره‌گیری از مفاهیم پایه‌ای مهندسی شیمی، دانش مناسبی را از موضوعات فنی و فناوری در حوزه فراوری گاز طبیعی در اختیار خوانندگان قرار دهیم. تمرکز مطالب ارائه شده در این کتاب، پیرامون محورهای فنی و طراحی فرایندهایی است که در صنعت فراوری گاز طبیعی مهم و ضروری است.

در تدوین این کتاب تلاش شده با آمیختگی جنبه‌های علمی و صنعتی، مفاهیم اصلی و تا حدی موضوعات تکمیلی طراحی مهندسی و عملیاتی را با بهره‌گیری از منابع معتبر و روزآمد همراه با آموخته‌های نویسندگان گردآوری شود. از این‌رو، این اثر در افزایش دانش و آگاهی گروه‌های گوناگونی همچون دانشجویان مقاطع مختلف، کارشناسان طراحی مهندسی و کارکنان عملیاتی واحدهای صنعتی سودمند خواهد بود.

فصل نخست این کتاب به زنجیره تأمین گاز طبیعی از بخش‌های اکتشاف مخزن تا انتقال و توزیع آن به مصرف‌کنندگان اشاره دارد. در فصل دوم، مفاهیم اصلی فراوری گاز طبیعی و برخی از اصول پایه‌ای را که عمدتاً برگرفته از فرایندهای لازم برای فراوری گاز طبیعی و عرضه آن از طریق خطوط لوله و یا تولید LNG، که دو روش رایج برای تحویل گاز طبیعی به مصرف‌کنندگان است، توضیح داده‌ایم. در فصل‌های سوم تا ششم فرایندهای اصلی فراوری گاز طبیعی را که در پالایشگاه‌های گازی معمولاً ضروری است و برای تولید گاز قابل عرضه از طریق خطوط لوله به کار می‌رود، بیان شده است. فصل‌های هفتم و هشتم نیز با تمرکز بر تولید LNG، روش‌های پیش‌تصفیه خوراک، و فرایندهای مرسوم برای تولید، حمل و جا به جایی آن بیان شده است. در فصل نهم، به فرایندهای بازیافت گوگرد از گازهای پسماند، با هدف تولید فراورده جانبی گوگرد و رعایت ملاحظات زیست محیطی در تخلیه گازهای زائد اشاره شده است. در فصل پایانی کتاب نیز روش‌های تصفیه نهایی فراورده‌های مایعات گازی (NGL) که از فراورده‌های جانبی پالایشگاه‌ها هستند، بیان شده است. اگرچه برخی از واحدهای عملیاتی آورده شده در فصل‌های ششم به بعد ممکن است در زنجیره واحدهای فراوری قرار نگیرند، اما تلاش شده است برای کامل کردن مطالب، همه واحدهای مهم فرایندی این صنعت، در این کتاب آورده شود.