

# فرایندهای بروودی پالایشگاه گاز طبیعی

## (طراحی فرایند و تشریح ساختارهای فرایندی)

مؤلفان

مهدی مهرپویا

دانشیار دانشگاه تهران

بهرام قربانی

استادیار دانشگاه تخصصی فناوریهای نوین آمل

علی وطنی

استاد دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۱۰۷۰۲

شماره انتشار ۴۴۰۲

### انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: مهرپویا، مهدی، ۱۳۵۹-
عنوان و نام پدیدآور	: فرایندهای برودتی پالایشگاه گاز طبیعی (طراحی فرایند و تشریح ساختارهای فرایندی)/ مؤلفان مهدی مهرپویا، بهرام قربانی، علی وطنی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ض، ۴۱۴ص. مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۴۴۰۲.
شابک	: 978-964-03-0184-5
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: گاز طبیعی -- پالایش
موضوع	: Natural Gas - *Refining
موضوع	: گاز طبیعی مایع
موضوع	: Liquefied Natural Gas
شناسه افزوده	: قربانی، بهرام، ۱۳۵۶-
شناسه افزوده	: وطنی، علی، ۱۳۳۱-
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات. University of Tehran. Press
رده‌بندی کنگره	: ۱۴۰۰ TN۸۸۰
رده‌بندی دیویی	: ۶۶۵/۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۷۵۵۲۰۰۲

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.  
(این کتاب با کاغذ حمایتی به چاپ رسیده است.)



عنوان: فرایندهای برودتی پالایشگاه گاز طبیعی (طراحی فرایند و تشریح ساختارهای فرایند)  
تألیف: دکتر مهدی مهرپویا- دکتر بهرام قربانی- دکتر علی وطنی  
ویرایش ادبی: فرشاد رضوان  
نوبت چاپ: اول  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰  
شمارگان: ۲۰۰ نسخه  
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

بها: ۱۳۰۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران  
پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir  
پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

صفحه شناسنامه کتاب





## فهرست مطالب

پیشگفتار مولفان.....	ص
فصل اول - جداسازی مایعات گاز طبیعی.....	۱
۱ - ۱ - مقدمه.....	۱
۱ - ۲ - ویژگی‌ها و خصوصیات گاز طبیعی.....	۳
۱ - ۳ - فراوری و انتقال گاز طبیعی.....	۷
۱ - ۴ - مایعات گاز طبیعی.....	۹
۱ - ۵ - عوامل مؤثر در عملکرد بهینه چرخه‌های تبرید.....	۱۲
۱ - ۶ - واحد بازیابی اتان.....	۱۵
۱ - ۶ - ۱ - روش‌های جداسازی گاز اتان.....	۱۵
۱ - ۶ - ۲ - فرایندهای بازیابی اتان با توجه به نیازهای بازار.....	۱۶
۱ - ۶ - ۳ - اهمیت فرایندهای مدرن بازیابی اتان.....	۱۷
۱ - ۶ - ۳ - ۱ - فرایند انبساطی برودتی.....	۱۷
الف) فرایند برگشت گاز پسماند (RR).....	۱۷
۱ - ۶ - ۳ - ۲ - فرایند گاز فوق سرد شده (GSP).....	۱۸
۱ - ۶ - ۳ - ۳ - فرایند برگشت گاز سرد پسماند (CRR).....	۱۹
۱ - ۶ - ۳ - ۴ - فرایند جریان جانبی بازگشتی (SDR).....	۲۰
۱ - ۶ - ۴ - فرایندهای بازیابی حداکثری هیدروکربن‌های سنگین‌تر.....	۲۱
۱ - ۶ - ۴ - ۱ - طرح بازیابی پروپان (۹۹ درصد).....	۲۲
۱ - ۶ - ۴ - ۲ - طرح بازیابی اتان (۹۸ درصد).....	۲۲
۱ - ۶ - ۵ - استخراج اتان برای تنظیم ارزش حرارتی گاز طبیعی مایع شده.....	۲۴
۱ - ۶ - ۶ - روند بالا بردن بازیابی اتان.....	۲۵
۱ - ۶ - ۷ - واحد بازیابی مایعات گاز طبیعی انعطاف‌پذیر.....	۲۶
۱ - ۷ - انتخاب نوع ساختار.....	۲۷
۱ - ۷ - ۱ - بازده فرایند.....	۳۶

۳۷	۱-۷-۲- درجه یکپارچگی
۳۸	۱-۸- ساختارهای فرایندی که از سامانه تبرید خارجی بهره می گیرند
۳۸	۱-۸-۱- ارزیابی واحد بازیافت $C_2^+$ پتروشیمی مارون
۴۰	۱-۸-۲- ساختار فرایندی با سامانه تبرید خارجی (ERP)
۴۳	۱-۸-۳- فرایند با سامانه خودتبرید (SRP)
۴۵	۱-۹- ساختارهای فرایندی بدون استفاده از سامانه تبرید
۴۵	۱-۹-۱- محاسبه IDG در فرایند GSP
۴۷	۱-۹-۲- محاسبه IDG در فرایند CRR
۴۸	۱-۹-۳- اثر ترکیب خوراک بر روی مقدار IDG
۴۹	۱-۹-۴- اثر دبی مبرد بر روی IDG در فرایندهای ERP و SRP
۵۰	۱-۹-۵- اثر تغییر منبع سرما بر روی IDG
۵۱	۱-۹-۶- اثر توزیع جریانهای سرد فرایندی بر روی مقدار IDG در فرایند CRR
۵۲	۱-۱۰-۱- شرح فرایند
۵۲	۱-۱۰-۱-۱- فرایند با سامانه خودتبرید
۵۴	۱-۱۰-۲- فرایند با سامانه تبرید خارجی پروپان
۵۸	۱-۱۰-۳- تجزیه و تحلیل عملیات فرایند
۵۹	۱-۱۰-۴- سامانههای مبرد آمیخته
۶۰	۱-۱۰-۵- اثر افت فشار مبرد بر روی بازیافت اتان
۶۰	۱-۱۰-۶- اثر دبی مبرد بر روی بازیافت اتان
۶۱	۱-۱۰-۷- اثر دبی جریانهای جانبی برج متانزدا بر روی اتان
۶۲	۱-۱۰-۸- اثر ترکیب خوراک
۶۷	۱-۱۱- نتیجه گیری فصل اول
۶۸	مراجع

۷۱	فصل دوم- گاز طبیعی مایع شده
۷۱	۲-۱- مقدمه
۷۲	۲-۲- فرایندهای مایع سازی گاز طبیعی و تولید LNG
۷۴	۲-۲-۱- فرایند پیش سردساز پروپان و سرماساز آمیخته ( $C_3MR$ )
۷۸	۲-۲-۲- فرایند مایع سازی گاز طبیعی به روش APX
۷۸	۲-۲-۳- فرایند آبشاری بهینه فیلیپس (Cascade)

فهرست مطالب □ خ

۸۱	۲-۲-۴- فرایند سرماساز آمیخته دومرحله‌ای (DMR).....
۸۱	۲-۲-۵- فرایند آبشاری مخلوط سیال‌ها (MFC).....
۸۵	۲-۲-۶- فرایند مایع‌سازی اکسنس (Liquefin).....
۸۶	۲-۲-۷- فرایند تک‌مرحله‌ای PRICO.....
۸۷	۲-۳- انتخاب فرایندهای مورد مطالعه.....
۸۸	۲-۳-۱- شرح فرایندهای مورد مطالعه.....
۸۸	۲-۳-۱-۱- فرایند مبرد آمیخته تک‌مرحله‌ای (SMR) شرکت Linde.....
۹۱	۲-۳-۱-۲- فرایند مبرد آمیخته تک‌مرحله‌ای (SMR) شرکت APCI.....
۹۳	۲-۳-۱-۳- فرایند مبرد آمیخته با پیش‌سردکن پروپان (C <sub>3</sub> MR) شرکت Linde.....
۹۶	۲-۳-۱-۴- فرایند مبرد آمیخته دومرحله‌ای (DMR) شرکت APCI.....
۹۹	۲-۳-۱-۵- فرایند مبرد آمیخته پیاپی مخلوط سیال‌ها (MFC) شرکت Linde.....
۱۰۱	۲-۳-۲- شبیه‌سازی فرایندهای مورد مطالعه.....
۱۰۳	۲-۳-۳- نتایج شبیه‌سازی فرایندها.....
۱۰۴	۲-۳-۳-۱- فرایند SMR - Linde.....
۱۰۵	۲-۳-۳-۲- فرایند SMR - APCI.....
۱۰۶	۲-۳-۳-۳- فرایند C <sub>3</sub> MR - Linde.....
۱۰۷	۲-۳-۳-۴- فرایند DMR - APCI.....
۱۰۸	۲-۳-۳-۵- فرایند MFC - Linde.....
۱۰۹	۲-۳-۴- تحلیل انرژی.....
۱۰۹	۲-۳-۴-۱- مصرف ویژه انرژی (SEC).....
۱۱۰	۲-۳-۴-۲- ضریب عملکرد (COP).....
۱۱۲	۲-۳-۴-۳- نمودارهای دما - آنترופی (T-S) و فشار - آنتالپی (P-H).....
۱۱۷	۲-۳-۴-۴- منحنی‌های ترکیبی.....
۱۱۸	۲-۳-۵- تحلیل اگزرژی.....
۱۲۳	۲-۳-۵-۱- موازنه اگزرژی تجهیزات فرایندی.....
۱۲۳	۲-۳-۵-۱- الف) کمپرسورها.....
۱۲۴	۲-۳-۵-۱- ب) خنک‌کننده‌های هوایی.....
۱۲۴	۲-۳-۵-۱- ج) شیرهای انبساط.....
۱۲۵	۲-۳-۵-۱- د) مبدل‌های حرارتی.....

## د □ فرایندهای برودتی پالایشگاه گاز طبیعی

۱۲۶	۲-۳-۵-۱-ه) مخلوط‌کننده‌ها.....
۱۲۶	۲-۳-۵-۱-ی) چرخه‌ها.....
۱۲۷	۲-۳-۵-۲- نتایج تحلیل انرژی.....
۱۲۷	۲-۳-۵-۲-الف) فرایند SMR-Linde.....
۱۲۹	۲-۳-۵-۲-ب) فرایند SMR-APCI.....
۱۳۱	۲-۳-۵-۲-ج) فرایند C3MR-Linde.....
۱۳۴	۲-۳-۵-۲-ه) فرایندهای DMR-APCI و MFC-Linde.....
۱۳۹	مراجع.....

## ۱۴۱ فصل سوم- ساختارهای فرایندی یکپارچه.....

۱۴۱	۳-۱- مقدمه.....
۱۴۱	۳-۲- بررسی روش‌های جداسازی نیتروژن از گاز طبیعی.....
۱۴۲	۳-۲-۱- روش سردسازی در جداسازی نیتروژن از گاز طبیعی.....
۱۴۴	۳-۲-۲- بررسی فنی - اقتصادی در جداسازی نیتروژن از گاز طبیعی.....
۱۴۵	۳-۳- یکپارچه‌سازی فرایندهای مایع‌سازی گاز طبیعی و حذف نیتروژن.....
۱۴۷	۳-۴- یکپارچه‌سازی فرایندهای بازیافت مایعات گاز طبیعی و مایع‌سازی گاز طبیعی.....
۱۴۷	۳-۴-۱- طرح شرکت سیستم‌های سرمازای CH.IV.....
۱۴۸	۳-۴-۲- طرح شرکت Ortloff.....
۱۴۹	۳-۴-۳- طرح شرکت ConocoPhillips.....
۱۵۱	۳-۴-۴- طرح شرکت APCI.....
۱۵۱	۳-۴-۵- فرایندهای یکپارچه دیگر.....
۱۵۴	۳-۵- یکپارچه‌سازی فرایندهای مایع‌سازی گاز طبیعی، بازیافت مایعات گاز طبیعی و حذف نیتروژن.....
۱۵۶	۳-۶- موردپژوهی سه ساختار یکپارچه فرایندهای مایع‌سازی گاز طبیعی، بازیافت مایعات گاز طبیعی و حذف نیتروژن.....
۱۵۷	۳-۶-۱- یکپارچه‌سازی بر اساس چرخه آبشاری مبرد آمیخته (MFC).....
۱۵۷	۳-۶-۱-۱- واحد بازیابی NGL.....
۱۶۰	۳-۶-۱-۲- واحد جداسازی نیتروژن NRU.....
۱۶۰	۳-۶-۱-۳- بخش تولید LNG.....
۱۶۰	۳-۶-۱-۴- چرخه تبرید.....
۱۶۱	الف) چرخه ۴۰۰.....



۱۶۱.....	(ب) چرخه ۲۰۰.....
۱۶۲.....	(پ) چرخه ۳۰۰.....
۱۶۵.....	۳-۶-۱-۵- چرخه تبرید عملکرد تجهیزات ساختار یکپارچه بر اساس چرخه MFC.....
۱۷۱.....	۳-۶-۲- یکپارچه سازی بر پایه چرخه تبرید دوگانه مبرد آمیخته (DMR).....
۱۷۱.....	۳-۶-۲-۱- واحد بازیابی NGL.....
۱۷۱.....	۳-۶-۲-۲- واحد جداسازی نیتروژن NRU.....
۱۷۲.....	۳-۶-۲-۳- بخش تولید LNG.....
۱۷۳.....	۳-۶-۲-۴- چرخه سرمایش با دو چرخه مبرد چندجزیی.....
۱۷۳.....	الف) چرخه پیش سرمایش مبرد چندجزیی (چرخه ۲۰۰).....
۱۷۳.....	ب) چرخه مایع سازی مبرد چندجزیی (چرخه ۳۰۰).....
۱۷۴.....	۳-۶-۲-۵- عملکرد تجهیزات ساختار یکپارچه بر پایه چرخه تبرید DMR.....
۱۷۹.....	۳-۶-۳- یکپارچه سازی بر پایه چرخه تبرید پیش سرمایش پروپان و مایع سازی با مبرد آمیخته (C3MR).....
۱۸۱.....	۳-۶-۱- سیستم سرمایش.....
۱۸۱.....	الف) چرخه پیش سرمایش پروپان (چرخه ۲۰۰).....
۱۸۲.....	ب) چرخه مایع سازی مبرد چندجزیی (چرخه ۳۰۰).....
۱۸۳.....	۳-۶-۲- عملکرد تجهیزات ساختار یکپارچه بر پایه چرخه تبرید C3MR.....
۱۸۷.....	۳-۶-۴- تجزیه و تحلیل حساسیت ساختار یکپارچه فوق سرد گاز طبیعی ارائه شده.....
۱۹۳.....	مراجع.....
۱۹۵.....	<b>فصل چهارم- بازیابی هلیوم.....</b>
۱۹۵.....	۴-۱- مقدمه.....
۱۹۵.....	۴-۲- هلیوم.....
۱۹۶.....	۴-۲-۱- موارد استفاده.....
۱۹۷.....	۴-۲-۲- منابع اصلی هلیوم.....
۲۰۰.....	۴-۲-۳- نمایی کلی از فرایند تولید هلیوم.....
۲۰۴.....	۴-۲-۴- فرایندهای سرمایشی.....
۲۰۴.....	۴-۲-۱- فرایندهای بر اساس تبخیر ناگهانی.....
۲۰۷.....	۴-۲-۲- فرایند بر مبنای تقطیر.....
۲۱۱.....	۴-۲-۳- ادغام تبخیر ناگهانی و تقطیر.....

۲۱۴	۴-۴-۲-۴- فرایند PSA
۲۱۶	۴-۴-۲-۵- ترکیب فرایند PSA و غشایی
۲۱۶	۴-۳-۳- موردپژوهی یک ساختار بازیابی هلیوم
۲۱۶	۴-۳-۱- ویژگی‌های محصول
۲۱۷	۴-۳-۲- فرایند APCI بر پایه تبخیر ناگهانی
۲۲۲	۴-۳-۳- فرایند Linde بر پایه تبخیر ناگهانی
۲۲۵	۴-۳-۴- تحلیل انرژی
۲۲۵	۴-۳-۱- منحنی‌های ترکیبی
۲۲۸	۴-۳-۵- نتایج تحلیل انرژی
۲۲۸	۴-۳-۱- فرایند APCI
۲۲۹	۴-۳-۲- فرایند Linde
۲۳۱	۴-۳-۶- نتیجه‌گیری فصل چهارم
۲۳۳	مراجع

## فصل پنجم- به‌کارگیری سامانه سرمایه‌گذاری جذبی..... ۲۳۷

۲۳۷	۵-۱- مقدمه
۲۳۹	۵-۲- آرایش چرخه‌های تبرید تراکمی به‌منظور استفاده در فرایندهای فوق‌سرد گاز طبیعی
۲۴۲	۵-۲-۱- چرخه سرمازا با مبرد چندجزیی
۲۴۳	۵-۳- سامانه‌های سرمایه‌گذاری جذبی
۲۴۳	۵-۳-۱- سامانه سرمایه‌گذاری تک‌اثره
۲۴۴	۵-۳-۲- سامانه سرمایه‌گذاری دو‌اثره
۲۴۴	۵-۳-۳- سامانه‌های سرمایه‌گذاری چنداثره
۲۴۵	۵-۴- سیال کاری در سامانه‌های سرمایه‌گذاری جذبی
۲۴۷	۵-۴-۱- سامانه جذبی با محلول آب - آمونیاک
۲۴۸	۵-۴-۲- سامانه جذبی با محلول آب - لیتیم برماید
۲۵۰	۵-۵- مقایسه چرخه‌های سرمایه‌گذاری و تراکمی
۲۵۳	۵-۶- شبیه‌سازی چرخه سرماساز جذبی آب - آمونیاک در محیط نرم‌افزار Aspen HYSYS
۲۵۹	۵-۷- موردپژوهی: استفاده از سامانه پیش سرمایه‌گذاری در سه ساختار یکپارچه
۲۶۰	۵-۷-۱- شبیه‌سازی فرایند C <sub>3</sub> MR در محیط نرم‌افزار Aspen-HYSYS
۲۷۰	۵-۷-۲- شبیه‌سازی فرایند DMR در محیط نرم‌افزار Aspen-HYSYS

۲۷۴	۵-۷-۳- شبیه‌سازی فرایند MFC در محیط نرم‌افزار Aspen-HYSYS
۲۷۸	۵-۸- تصحیح و بهینه‌سازی چرخه آب - آمونیاک برای استفاده در سامانه‌های تولید LNG
۲۸۶	۵-۸-۱- ادغام چرخه آب - آمونیاک در فرایندهای C <sub>3</sub> MR و DMR
۲۹۰	۵-۸-۲- ادغام چرخه آب - آمونیاک در فرایند MFC
۲۹۳	مراجع
۲۹۵	<b>فصل ششم- کنترل فرایندها</b>
۲۹۵	۶-۱- مقدمه
۲۹۶	۶-۲- اصطلاحات کنترل فرایندی
۲۹۹	۶-۳- روش‌های متداول کنترل فرایند
۲۹۹	۶-۳-۱- کنترل پس‌خور یا مدار بسته
۳۰۰	۶-۳-۲- کنترل پیش‌خور یا مدار باز
۳۰۱	۶-۳-۳- کنترل آبخاری یا زنجیره‌ای
۳۰۲	۶-۴- انواع کنترلرها
۳۰۲	۶-۴-۱- کنترلرهای قطع و وصلی
۳۰۳	۶-۴-۲- کنترلرهای پیوسته
۳۰۳	۶-۴-۲-۱- کنترلر تناسبی
۳۰۴	۶-۴-۲-۲- کنترلر تناسبی - انتگرالی
۳۰۵	۶-۴-۲-۳- کنترلر تناسبی - انتگرالی - مشتقی
۳۰۶	۶-۵- انتخاب کنترلر مناسب
۳۰۷	۶-۶- ساختارهای کنترلی متداول تجهیزات مختلف
۳۰۷	۶-۶-۱- کمپرسورهای سانتریفیوژ
۳۰۸	۶-۶-۲- خنک‌کننده‌های هوایی
۳۰۹	۶-۶-۳- مبدل‌های حرارتی
۳۱۱	۶-۶-۴- جداکننده عمودی
۳۱۲	۶-۷- موردپژوهی: طراحی بهینه سامانه‌های کنترلی چرخه‌های تبرید فرایند MFC
۳۱۳	۶-۸- محدودیت‌های شبیه‌سازی
۳۱۵	۶-۸-۱- نتایج شبیه‌سازی فرایند MFC
۳۱۸	۶-۸-۲- تعیین اندازه تجهیزات موجود در فرایند MFC
۳۱۹	۶-۸-۲-۱- کمپرسورهای سانتریفیوژ

اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی .....	۳۱۹
۶-۸-۲- خنک‌کننده‌های هوایی .....	۳۲۲
اجزای خنک‌کننده‌های هوایی .....	۳۲۲
طراحی خنک‌کننده‌های هوایی .....	۳۲۵
۶-۸-۲-۳- مبدل‌های حرارتی LNG .....	۳۲۵
۶-۸-۳- شبیه‌سازی استاتیک فرایند MFC اصلاح‌شده و نتایج مربوط .....	۳۳۰
۶-۸-۴- طراحی سامانه‌های کنترلی فرایند MFC .....	۳۳۳
۶-۸-۵- مفاهیم پایه در شبیه‌سازی دینامیک .....	۳۳۹
۶-۸-۵-۱- مراحل انجام شبیه‌سازی دینامیک فرایندها با نرم‌افزار HYSYS .....	۳۴۳
۶-۸-۵-۲- تعیین مشخصات دینامیکی تجهیزات و جریان‌های موجود در فرایند MFC .....	۳۴۴
کمپرسورهای سانتریفیوژ .....	۳۴۴
خنک‌کننده‌های هوایی .....	۳۴۴
مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله، هیترها و خنک‌کننده‌ها .....	۳۴۵
جداکننده عمودی .....	۳۴۶
شیرها .....	۳۴۶
جریان‌های مرزی .....	۳۴۷
ارائه نتایج حاصل از شبیه‌سازی دینامیک فرایند MFC .....	۳۴۷
۶-۸-۵-۳- اغتشاش‌های مورد انتظار و تأثیر آنها .....	۳۵۵
مراجع .....	۳۶۰
<b>پیوست الف- معادلات حالت .....</b>	<b>۳۶۱</b>
معادله حالت پنگ - رابینسون .....	۳۶۱
معادله حالت لی - کسلر .....	۳۶۳
ارزیابی توابع انحراف خواص مبرد چندجزیی .....	۳۶۵
محاسبه فیوگاسیته، آنتالپی و آنتروپی مبرد چندجزیی .....	۳۷۰
فیوگاسیته .....	۳۷۰
آنتالپی .....	۳۷۳
آنتروپی .....	۳۷۵
محاسبات تعادل فازي .....	۳۷۶
شرط تعادل فازي .....	۳۷۷

۳۷۸	محاسبه نسبت تعادل و ترکیب فاز بخار و مایع مخلوط
۳۸۲	محاسبه دمای نقطه شبنم
۳۸۸	مراجع
۳۸۹	<b>پیوست ب- مدل سازی ترمودینامیکی تجهیزات</b>
۳۸۹	مدل سازی ترمودینامیکی یک برج تقطیر
۳۸۹	استخراج معادلات MESH
۳۹۱	فاصله میان دو سینی متوالی
۳۹۱	تعیین قطر برج
۳۹۲	تحلیل مبدل های حرارتی چندجریانه با جریان موازی
۳۹۲	۱. تجزیه و تحلیل مبدل های تک قسمتی
۳۹۲	مدل شماره ۱: تحلیل دقیق (انتگرالی)
۳۹۲	مدل شماره ۲: تحلیل تقریبی (دیفرانسیلی)
۳۹۳	تحلیل های دیگر
۳۹۴	۲) تجزیه و تحلیل مبدل های چندجریانی با روش افت فشار مجاز
۳۹۵	رسم نمودار ترکیبی و تعیین بازه های آنتالپی
۳۹۶	توزیع افت فشار و تقسیم جریان در هر بازه آنتالپی
۳۹۷	تعیین حجم مبدل حرارتی
۴۰۱	انتخاب مناسب سطوح انتقال حرارت ثانویه برای جریان ها
۴۰۲	تعیین ابعاد جدید کانال ها پس از اعمال اصلاحات مربوط به افت فشار جریان ها
۴۰۳	مدل سازی کمپرسور
۴۰۵	مدل سازی شیر خفگی
۴۰۷	مدل سازی مخلوط کننده
۴۰۸	مدل سازی جدا کننده
۴۰۹	مراجع
۴۱۱	<b>فهرست علائم و اختصارات</b>

## پیشگفتار مولفان

حمد و سپاس مخصوص خداوند باری تعالی است که بر بندگان خود منت نهاده و آنان را به زینت ایمان و معرفت آراسته و نعمت وجود علم را چونان نگینی درخشان سرلوحه وجودشان ساخته است.

افزایش توانایی‌های علمی و عملی همگام با عصر جدید برای حرکت به سمت پیشرفت و تعالی برای حل مشکلات علمی و صنعتی کشور و شناخت کمبودهای علمی و فنی از اهمیت بالایی برخوردار است. چنین امری، به ارائه منطقی نظریه‌های بنیادی مباحث مختلف بستگی دارد و بدون درک واقعی فرضیات موجود در یک موضوع، استفاده صحیح از آنها برای حل یک مسئله بسیار مشکل خواهد بود. یکی از عوامل مهم که نقش مؤثری در این پیشبرد دارد، تدوین و انتشار کتاب‌های علمی است که فرایندها و فناوری‌های مربوط و تجزیه و تحلیل آنها، در آن گنجانده شده باشد.

گاز طبیعی که امروزه از مهمترین منابع تأمین انرژی در جهان محسوب می‌شود، در واقع مخلوطی از ترکیبات هیدروکربنی سبک و گازی شکل می‌باشد که علاوه بر داشتن محتوای انرژی بالا و همچنین قابلیت تبدیل به ترکیبات شیمیایی دیگر، وجود میزان بالایی ذخایر و مزایای زیست محیطی آن، توجه ویژه کشورها و صاحبان صنایع را به خود جلب کرده است. گاز طبیعی بعد از استخراج از مخزن وارد مجموعه‌ای از فرایندهای پالایشی می‌شود. خروجی پالایشگاه گاز ممکن است محصولات متنوعی را شامل شود.

در این کتاب فرایندهای دما پایین پالایشگاه گاز معرفی و تشریح شده‌اند. این فرایندها عبارتند از: فرایند بازیافت مایعات گاز طبیعی، فرایند مایع‌سازی گاز طبیعی، فرایند حذف نیتروژن از گاز طبیعی و فرایند استخراج هلیوم از گاز طبیعی. ساختارهای فرایندی پایه و پیشرفته در زمینه‌های مورد بحث، ارائه اصول طراحی و شبیه‌سازی آنها تشریح شده‌اند. سامانه‌های تبرید به کار گرفته شده برای تأمین بار سرمایش مورد نیاز در فرایندهای مختلف معرفی و اصول طراحی آنها ارائه شده‌اند. برای به دست آوردن شرایط عملیاتی بهینه در فرایندهای مورد بحث، از تحلیل‌های انرژی و انرژی استفاده شده است. همچنین اثر شاخص‌های عملیاتی بر روی عملکرد فرایندها تحلیل شده‌اند. در نهایت نحوه طراحی سامانه‌های کنترلی فرایندهای دما پایین، با در نظر گرفتن فرایندهای مایع‌سازی گاز طبیعی به عنوان مورد پژوهی ارائه شده است.

در تالیف این کتاب نویسندگان تلاش زیادی به عمل آورده‌اند تا از واژه‌های فارسی مطابق با یافته‌ها و توصیه‌های فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده شود. در عین حال اعتقاد راسخ داریم که خوانندگان محترم نظرهای ارزشمندی دارند و می‌توانند با ارائه آنها ما را در تکمیل و بهبود این اثر علمی یاری کنند.

پیشگفتار مؤلفان □ ض

از این رو، از استادان محترم دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها، مؤسسات علمی و پژوهشی و دانشجویان عزیز و هم‌چنین مهندسان و متخصصان ارجمند صنعت نفت و گاز و خوانندگان بزرگوار صمیمانه درخواست می‌شود، با ارائه پیشنهادهای مفید و سازنده خود ما را یاری کنند تا در چاپ‌های بعد مورد استفاده قرار گیرد.

با احترام و سپاس

مهدی مهرپویا      بهرام قربانی      علی وطنی

ط □ فرایندهای برودتی پالایشگاه گاز طبیعی