

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اندازه‌گیری و محاسبه جریان سیالات

پایش، کنترل و اندازه‌گیری به قصد فروش،
سامانه‌های اندازه‌گیری،
محاسبات حجم در سامانه‌های صحت‌سنجی و
واسنجی صحت‌سنجی

محمدحسن موحدی

نویسندگان:

مرتضی محسنی هماگرانی

■ سرشناسه: موحدی، محمدحسن، ۱۳۳۹ - عنوان و نام پدیدآور: اندازه‌گیری و محاسبه جریان سیالات: پایش، کنترل و اندازه‌گیری به قصد فروش .../ پدیدآورنده: محمدحسن موحدی. ■ مشخصات نشر: تهران: نشر ایده‌نگار، ۱۳۹۴.
■ مشخصات ظاهری: ۶۳۶ ص: مصور، جدول، نمودار.

ISBN 978 - 600 - 95466 - 3 - 3

■ وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

■ یادداشت: کتابنامه.

■ موضوع: جریان‌سنج‌ها ■ موضوع: ابزار اندازه‌گیری

■ شناسه افزوده: محسنی همگرانی، مرتضی، ۱۳۴۶

■ رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۴ الف۸ م۸ ۹۳۵/م

■ رده‌بندی دویی: ۶۸۱/۲۸

■ شماره کتابخانه‌سی: ۳۷۲۸۶۱۵



..... نشر ایده‌نگار، www.iNegar.ir

اندازه‌گیری و محاسبه جریان سیالات

ا نویسندگان: محمدحسن موحدی، مرتضی محسنی همگرانی

ا ناظر چاپ: سعید غریبی | صفحه‌آرا و طراحی جلد: سیر غریبی |

ا نوبت چاپ: اول، زمستان ۱۳۹۴ | شمارگان: ۱۰۰۰

ا شابک: ۳-۳-۹۵۴۶۶-۶۰۰-۹۷۸

تکثیر تمام یا قسمتی از این اثر به هر شکل ممنوع است.

متخلفان بموجب قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

نشانی مرکز پخش: تهران، میدان فردوسی، خیابان ایرانشهر، پلاک ۱۶، طبقه سوم، واحد ۵

تلفن: ۲۱ و ۸۸ ۵۳ ۵۸ ۲۰ - کدپستی: ۱۵۸۱۶۱۷۷۳۵ - صندوق پستی: ۷۶۴۳-۱۴۱۵۵

مقدمه ناشر / ۱۱
دیباجه نویسنده / ۱۳



درباره این کتاب (About this Book)

درباره‌ی این کتاب / ۱۶



مقدمه / ۲۳



فصل اول

کلیات

۱.۱. تاریخچه اندازه‌گیری جریان سیالات / ۳۱

۲.۱. تعاریف / ۳۴

۳.۱. تکنیک‌های اندازه‌گیری جریان سیالات / ۵۵

۴.۱. ملاحظات و شرایط عمومی نصب / ۶۰

۵.۱. رویه‌های آزمایش و بازرسی فنی در خط تولید / ۷۰



فصل دوم

گزیده‌هایی از مباحث مکانیک سیالات / ۶۷



فصل سوم

اندازه‌گیری جریان به‌روش حجمی یا پیمانه‌ای

۱.۳. دستگاه‌های اندازه‌گیری پیمانه‌ای / ۹۱

۲.۳. استفاده از تکنیک حجمی در اندازه‌گیری جریان گازها / ۱۰۶

فصل چهارم

اندازه‌گیری جریان به روش اختلاف فشار

- ۱.۴. معرفی عناصر ایجاد اختلاف فشار / ۱۱۴
- ۲.۴. نحوه‌ی انشعاب گرفتن از طرفین عناصر اختلاف فشار / ۱۲۵
- ۳.۴. روش‌های مختلف نصب انشعابات ارفیس / ۱۲۹
- ۴.۴. تعیین اندازه‌ی روزنه‌ی ارفیس / ۱۳۲
- ۵.۴. جریان‌سازی سیگنال در اندازه‌گیری جریان گازها / ۱۳۶
- ۶.۴. درگیر و ضرورت استفاده از آن / ۱۳۹
- ۷.۴. طراحی‌های خاص / ۱۴۲

فصل پنجم

اندازه‌گیری جریان به کمک شاخص نیرو

- ۱.۵. Target Meter / ۱۵۷
- ۲.۵. Rotameter / ۱۵۸
- ۳.۵. دستگاه Rotameter با قابلیت نصب به صورت افقی / ۱۶۲

فصل ششم

اندازه‌گیری جریان به کمک شاخص سرعت سیال

- ۱.۶. اندازه‌گیری جریان سیال به کمک توربین / ۱۶۷
- ۲.۶. اندازه‌گیری جریان به روش الکترومغناطیسی / ۱۷۶
- ۳.۶. اندازه‌گیری جریان به روش گردابی / ۱۸۰
- ۴.۶. اندازه‌گیری جریان به کمک امواج ماوراء صوت / ۱۸۴

فصل هفتم

اندازه‌گیری جریان به کمک شاخص جرم سیال

- ۱.۷. اندازه‌گیری جرم سیالات به روش حرارتی / ۲۰۰
 ۲.۷. اندازه‌گیری جرم سیالات براساس پدیده‌ی پیچشی یا کوریولیس / ۲۰۴

فصل هشتم

انتخاب تکنیک اندازه‌گیری و نوع دستگاه

- ۱.۸. انتخاب دستگاه اندازه‌گیری بر اساس ویژگی‌های سیال / ۲۱۷
 ۲.۸. انتخاب دستگاه بر اساس شرایط نصب / ۲۱۹
 ۳.۸. انتخاب دستگاه با لحاظ کردن شرایط محیطی / ۲۲۰
 ۴.۸. انتخاب بر مبنای قابلیت‌ها و اندازه دستگاه / ۲۲۳
 ۵.۸. انتخاب بر مبنای نوع فناوری و روش اندازه‌گیری / ۲۲۸
 ۶.۸. روند انتخاب نوع فناوری / ۲۲۹
 ۷.۸. راهنمای انتخاب دستگاه اندازه‌گیری جریان / ۲۳۲

فصل نهم

اندازه‌گیری جریان سیال به قصد فروش

- ۱.۹. سامانه‌های اندازه‌گیری جریان / ۲۴۶
 ۲.۹. چیدمان اجزاء اصلی سامانه‌های اندازه‌گیری جریان سیالات به‌منظور فروش / ۲۴۸
 ۳.۹. Flow Computer / ۲۴۹
 ۴.۹. از "بلیت" یا "سند اندازه‌گیری" تا صورت‌حساب‌های بسیار دقیق / ۲۵۵
 ۵.۹. محاسبات حجم دقیق و واقعی مایعات منتقل شده / ۲۵۷
 ۶.۹. معرفی جداول پرکاربرد / ۲۷۷



فصل دهم

صحت سنج (عملیات صحت سنجی، واسنجی یک صحت سنج)

- ۱.۱.۱۰. مقدمه / ۲۸۱
- بخش اول: عملیات صحت سنجی / ۲۸۴
- ۲.۱.۰. شیوه‌های صحت سنجی / ۲۸۴
- ۳.۱.۰. تعاریف / ۲۸۷
- ۴.۱.۰. مراحل انجام صحت سنجی / ۲۹۲
- ۱.۰. انواع صحت سنج / ۲۹۳
- ۱.۵.۱.۰. صحت سنج‌های حجمی / ۲۹۵
- ۲.۵.۱.۰. صحت سنج‌های مخزنی / ۳۲۴
- بخش دوم: واسنجی صحت سنج‌ها / ۳۲۹
- ۶.۱.۰. واسنجی یک صحت سنج / ۳۲۹
- ۷.۱.۰. واسنجی صحت سنج‌ها به روش آبرانی / ۳۳۱
- ۱.۷.۱.۰. روش آبرانی حجمی / ۳۳۸
- ۲.۷.۱.۰. آبرانی به روش ثقیبی - وزنی / ۳۵۵
- ۳.۷.۱.۰. معرفی دو چیدمان ویژه در واسنجی صحت سنج‌ها / ۳۶۰
- ۸.۱.۰. نصب صحت سنج‌ها / ۳۸۳
- ۱.۸.۱.۰. کلیات / ۳۸۳
- ۲.۸.۱.۰. توصیه‌های کلی در مورد صحت سنج‌های آب / ۳۸۴
- ۳.۸.۱.۰. توصیه‌های کلی در مورد صحت سنج‌های قابل شناور / ۳۸۵
- ۴.۸.۱.۰. توصیه‌های لازم در مورد نصب تجهیزات و متعلقات الکتریکی / ۳۸۶
- ۵.۸.۱.۰. توصیه‌های عمومی نصب / ۳۸۶



فصل یازدهم

صحت سنجی در اندازه‌گیری جریان گازها

- ۱.۱.۱. آشنایی با انواع صحت سنج گازی / ۳۹۲
- ۲.۱.۱. انواع صحت سنج‌های گازی / ۳۹۴
- ۱.۲.۱.۱. صحت سنجی گازی به روش جابجایی مثبت / ۳۹۴



۲.۲.۱۱. صحت سنج پیستونی / ۳۹۵

۳.۲.۱۱. صحت سنج ناقوسی / ۳۹۹

۴.۲.۱۱. نازل صوتی / ۴۰۱

۳.۱۱. دستگاه‌های اندازه‌گیری مرجع / ۴۰۲



فصل دوازدهم

اندازه‌گیری جریان‌های دوفاز و چندقاز

۱.۱. روش‌های معمول در اندازه‌گیری جریان سیالات چندقاز / ۴۱۰

۱.۲. دستگاه‌ها، اندازه‌گیری هم‌راستا / ۴۱۱

۳.۱۲. دستگاه‌های اندازه‌گیری به روش جداسازی / ۴۱۳

۴.۱۲. کاربردهای اندازه‌گیری جریان گاز مرطوب / ۴۱۶

۵.۱۲. به کارگیری پدیده همبستگی با استفاده از پرتو گاما / ۴۱۷



فصل سیزدهم

استانداردهای کمی نفت و گاز

۱.۱.۳. تعریف استاندارد / ۴۲۵

۱.۱.۱۳. تاریخچه‌ی استاندارد / ۴۲۶

۲.۱.۱۳. انواع استانداردها از نظر نحوه‌ی شکل‌گیری و تشبیه / ۴۲۷

۳.۱.۱۳. تعاریف ویژه / ۴۲۸

۴.۱.۱۳. طبقه‌بندی استانداردها از نظر کاربرد و مراکز ذی‌صلاح در ایران / ۴۳۰

۵.۱.۱۳. فواید استانداردسازی / ۴۳۷

۶.۱.۱۳. معرفی اجمالی استانداردهای صنعت نفت ایران (IPS) / ۴۳۹

۲.۱.۱۳. استانداردهای کمی مورد تأیید صنعت نفت ایران / ۴۴۲

۱.۲.۱۳. معرفی کلی استانداردهای صنعت نفت آمریکا (API) / ۴۴۳

۲.۲.۱۳. معرفی فصل‌های مختلف استانداردهای کمی نفت (API MPMS) / ۴۴۴

۳.۲.۱۳. معرفی کلی استانداردهای صنعت گاز آمریکا (AGA) / ۴۵۰

۴.۲.۱۳. معرفی بعضی دیگر از استانداردهای اندازه‌گیری جریان / ۴۵۱

۵.۲.۱۳. فعالیت‌های باقیمانده در حوزه‌ی استانداردهای اندازه‌گیری جریان / ۴۵۲



فصل چهاردهم

آشنایی با داده‌برگ دستگاه‌های اندازه‌گیری جریان / ۴۵۴



فصل پانزدهم

نحوه‌ی تعیین «ارزش حرارتی» گاز

۱.۱۱. تاریف / ۴۸۱

۱.۱۵. روش اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت / ۴۹۶

۳.۱۵. معیار استاندارد AGA 5 / ۴۹۹

۴.۱۵. استاندارد GPA 817 / ۵۱۰



فصل شانزدهم

اندازه‌گیری جریان گازها

۱.۱۶. لزوم اندازه‌گیری جریان گازها / ۵۱۹

۲.۱۶. اندازه‌گیری جریان گازها / ۵۲۲

۳.۱۶. توصیه‌های لازم در اندازه‌گیری جریان گازها / ۵۲۴

۴.۱۶. سامانه‌های اندازه‌گیری جریان گازها / ۵۲۸



پیوست

پیوست ۱: آشنایی با مناطق مستعد خطر و الزامات مربوطه / ۵۳۱

پیوست ۲: تعیین تعداد اعشار لازم مربوط به ضرایب تصحیح (جدول ۶ از استاندارد API-MPMS-

12-2) / ۵۴۸

پیوست ۳: الزامات استاندارد ISO-17025 / ۵۵۰

پیوست ۴: مراحل محاسبه‌ی ارقام و حجم مبادلات به‌منظور درج در صورت‌حساب / ۵۵۴

پیوست ۵: چگونگی محاسبه‌ی CTDW و CTL / ۵۵۵

پیوست ۶: روش تبدیل واحدهای حجم پرکاربرد / ۵۵۶

پیوست ۷: ملاحظات نصب / ۵۵۸

پیوست ۸: داده‌برگ انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری بر مبنای ISA TR 20.00.01 / ۵۶۳

پیوست ۹: فهرست استانداردهای اندازه‌گیری کمی نفت، API MPMS / ۵۷۹

پیوست ۱۰: آشنایی با محاسبات اندازه‌ی روزنه ارفیس / ۵۹۶

پیوست ۱۱: جداول کاربردی استاندارد AGA 5 (محاسبات ارزش حرارتی) / ۶۰۵



واژه‌نامه

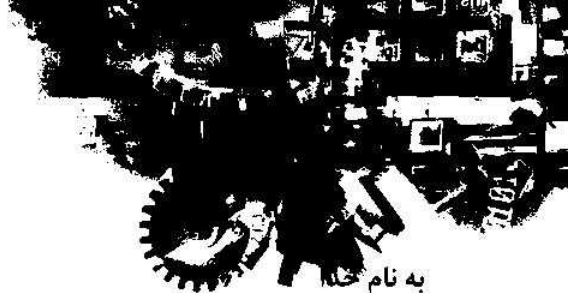
۱۶. واژه‌رینی / ۶۱۵

۲.۱۶. واژگان برگزیده / ۶۱۸



فهرست منابع / ۶۳۰

www.ketabipol.com



به نام خدا

مقدمه ناشر

ما معتقدیم با توجه به شرایط کنونی کشور عزیزمان، باید اولویت کارهای پژوهشی و انتشار مقالات و کتاب‌های علمی با موضوعاتی باشد که بتواند بخشی از نیازهای جامعه ایرانی را برطرف سازد و حاصل آن در نهایت به صورت عینی در جهت کاستن از حلقه‌های زنجیرهای کهنه و قطور وابستگی با بیگانگان باشد. در حالی که متأسفانه شاهدیم، در سال‌های گذشته بسیاری از کارهای پژوهشی انجام شده و مقالات منتشر شده در مجلات و سایت‌های خارجی به هیچ عنوان در این راستا نبوده‌اند. لذا این مجموعه همکارانمان در نشر ایده‌نگار، هدف خود را انتشار و حمایت از آثاری قرار داده‌اند که علاوه بر اینکه تلاشی در جهت بومی نمودن علوم و تکنولوژی‌های نوین باشد، با قرار گرفتن در زنجیره دانش، پاسخگوی بخشی از نیازهای علمی جامعه صنعتی کشور باشد تا افق استقلال میهن عزیزان را به پیشرفت‌های بنیادین علمی و صنعتی شاهد باشیم. لذا در راستای این هدف بلند، با شناسایی متخصصین طراز اول کشور اقدام به انتشار آثار ارزشمندی نموده‌ایم که در حوزه خود قابل ارجاء هستند. کتاب حاضر از جمله آثاری است که در این راستا تهیه و در اختیار شما سروران گرامی قرار داده است. ما و همکارانمان در نشر ایده‌نگار بسیار مفتخریم که پروژه آماده‌سازی و چاپ این کتاب وزین به ما واگذار گردید.

پدیدآورندگان کتاب، آقایان مهندس محمد حسن موحدی و مهندس مرتضی محسنی از کارشناسان و مدیران سابق وزارت نفت بوده و در حال حاضر در دو از اشتغال در واحدهای دولتی کاملاً منفک شده‌اند.

محمد حسن موحدی، دانش‌آموخته دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در رشته مهندسی الکترونیک است، که بالغ بر ۲۵ سال حضور در صنعت نفت را تجربه کرده است. ایشان، ۱۶ سال از این مدت را در شرکت ملی صنایع پتروشیمی (پتروشیمی بندر امام، پتروشیمی مارون و مدیریت طرح‌های پتروشیمی) و ۲ سال در امور مهندسی شرکت ملی گاز و ۵ سال در معاونت امور مهندسی وزارت نفت در تدوین استانداردهای برق و ابزار دقیق و به مدت سه در شرکت نفت و گاز پارس اشتغال داشته است. به علاوه، حدود ۵ سال نیز در سازمان صنایع دفاع و کارخانه بتوبافی خدمت کرده است. در حال حاضر نامبرده مدیرعامل «گروه صنعتی شاخص» بوده که در حوزه‌ی مهندسی کنترل، ابزار دقیق و اتوماسیون و در زمینه‌ی «طراحی و مهندسی»، «تأمین کالا»،

«آزمایشگاه اکریدیت کالیبراسیون» و آموزش فعالیت دارد. اولین سابقه جدی مطالعاتی ایشان در زمینه میترینگ مربوط به سال‌های اشتغال در مدیریت طرح‌های شرکت ملی صنایع پتروشیمی و به واسطه درگیری کاری با اسکله صادراتی پتروشیمی در عسلویه مربوط می‌شود. در آن زمان مهم‌ترین منابع مطالعاتی وی را استانداردهای موجود و مرتبط، از جمله فصل‌های ۲۲ گانه استاندارد API MPMS و نیز هندبوک‌ها و به ویژه کتابچه‌های راهنمای سازندگان مختلف تشکیل می‌داد. مطالعات یادشده، انگیزه تدریس و تهیه مقاله، جزوه آموزشی و در نهایت تألیف کتاب را در نگارنده به وجود آورد. در اینجا لازم می‌دانیم از این استاد گرانقدر و فرهیخته که با کار مستمر پژوهشی توانست، این پروژه بزرگ را به نحو شایسته‌ای به انجام برساند سپاسگزاری نماییم. بدون شک اگر پسونده، حوب علمی و تجارب بسیار گرانقدر ایشان در حوزه میترینگ نبود امکان تولید این اثر جامع وجود نداشت.

مرتضی محسنی، ماگانی، دانش‌آموخته دانشگاه صنعتی شریف در رشته مهندسی الکترونیک و کارشناسی ارشد EMBA، سالنامه ملگری، کانادا است، که ۲۱ سال حضور در صنعت نفت و در شرکت ملی صنایع پتروشیمی، پتروشیمی، بندر امام و مدیریت طرح‌های شرکت ملی صنایع پتروشیمی) را تجربه کرده است. همچنین ایشان ریاست کمیته فیلدباس و تکنولوژی‌های نوین، انجمن مهندسان کنترل و ابزار دقیق را نیز بر کارز به خرد دارد. نامبرده از سال ۱۳۹۱ تاکنون در شرکت پارس الکترونیک کیش، سازنده انواع ترانز میترهای دما، فشار و اختلاف فشار به عنوان مدیر عامل مشغول می‌باشد. ما از ابتدا یکی از اهداف اصلی خود را در نشر ایده‌نگار، معرفی تولیدات فاخر ایرانی و شرکت‌های برتر در زمینه ارائه خدمات نوین صنعتی، کتاب‌های مرتبط قرار دادیم تا ضمن آشنا نمودن متخصصین و دانشجویان عزیز با توانمندی‌های داخلی، جامعه صنعتی کشور را به استفاده هرچه بیشتر از خدمات و تولیدات ایرانی تشویق نماییم و در کنار این، پیر هم‌میهنان خود، نقشی شایسته در راه‌اندازی جنبش آرج نهادن به تولید، دانش و توانمندی‌های بومی کشور ایفا نماییم. لذا بدین‌وسیله از شرکت‌های برتر تولید کننده و ارائه دهنده خدمات نوین علمی و صنعتی دعوت می‌نماییم تا با حمایت از انتشار چنین آثاری ضمن معرفی برند خود به جامعه صنعتی کشور و سازمان‌های دولتی، بازار خود را نیز در رقابت با تولیدات خارجی به شکل پایداری توسعه دهند. همچنین مدیران گرانقدر سازمان‌های مختلف می‌توانند با حمایت از این گونه آثار، نیازهای آموزشی مجموعه تحت سرپرستی خود را به شکلی مناسب تأمین نمایند. نشر ایده‌نگار دست تمامی این عزیزان را برای همکاری می‌فشارد. جهت کسب اطلاعات بیشتر و اعلام آمادگی برای همکاری با ما تماس بگیرید. به امید سربلندی ایران و همه ایرانیان

سعید غربی - هادی غربی

نشر ایده‌نگار

ن والقلم و ما یسطرون

(سوگند به قلم و آن چه می نویسند، قرآن کریم)

مندلیف، شیمی دان بزرگ روسی بیان می دارد: «علم از آنجا شروع می شود که اندازه گیری شروع می شود». از طرفی می دانیم: ارزشیابی و قضاوت بشر هنگامی قابل اعتماد است که برای سنجش از شاخص معتبری استفاده شود. این موضوع مهم ما را بر آن می دارد تا برای انتخاب بهترین گزینه، با فناوری های مختلف در عرصه اندازه گیری آشنا شویم. یکی از متغیرهایی که عدم قطعیت و یا وجود خطای اندازه گیری در آن می تواند ارقام بسیار زیادی را در عرصه اقتصاد بین المللی جابجا نماید، ارقام منتسب به اندازه گیری جریان سیالات است. این اتفاق زمانی می افتد که هدف از اندازه گیری، دستیابی به ارقام مربوط به حامل های انرژی تبادل شده و یا فرآورده های نفتی باشد. لذا، وجود ده ها پروژه اندازه گیری جریان در سطح وزارت نفت، به ویژه طرح ملی و عظیم دیسپاچینگ نفت خود می تواند به تنهایی در مخاطبین این کتاب انگیزه مطالعه، تحقیق و جستجو را فراهم کند.

از طرفی، علاوه بر منابع و روش های متنوع، کتاب های متعدد و مقالات فراوانی که در زمینه اندازه گیری جریان سیالات وجود دارد، استانداردهای معتبر و قابل قبول صنعت نفت ایران (از جمله استانداردهای API، ISO، ASTM، AGA) خود به تنهایی منابع غنی و قابل اعتنایی در این زمینه است. خوشبختانه در نگارش کتاب، بارها و بارها با ذکر منبع از این مراجع استفاده شده است.

یکی از رویکردهای اندازه گیری جریان، دستیابی به محاسبات دقیق و قابل اعتماد حجم، جرم و یا ارزش حرارتی انرژی تبادل شده است. ضمن اعلام این موضوع که محاسبه قابل اعتماد زمانی محقق می شود که مراجع تولید ارقام اولیه دارای دقت و دقت مناسب و قابل قبول باشد، اعلام می دارد خوشبختانه این رویکرد به عنوان مهم ترین و اصلی ترین اندازه گیری نگارش این کتاب همواره مورد توجه نگارندگان بوده است. لذا در دو گروه مایعات و گازها، بررسی های محاسبات مربوطه به تفکیک تقدیم مخاطبین عزیز شده است.

در پایان، ضمن سپاس از خداوند متعال و تقدیم این اثر به تمامی عزیزانی که به خاطر اعتلای وطن جان خود را از دست دادند، جا دارد از همکاران و عزیزان گمنامی که به نحو شایسته پدیدآورندگان را یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری بشود. مزید امتنان خواهد بود چنانچه عزیزان نقطه نظرات خود را از طریق رایانامه های m.movahedi@smartspec.ir و mohseni@petroco.org به اطلاع پدیدآورندگان برسانند.

... قد افلح من زکیها ...

محمد حسن موحدی - مرتضی محسنی