

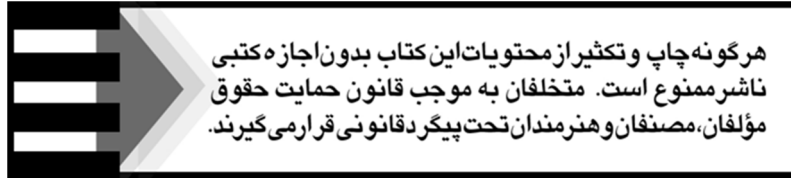
به نام خدا



# آنچه مهندسان ماشینری باید بدانند کمپرسورهای سانتریفیوژ (ویرایش اول)

مؤلف:

مهندس اصغر اسکندرلو



هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

## ◀ عنوان کتاب: آنچه مهندسان ماشینری باید بدانند کمپرسورهای سانتریفیوژ (ویرایش اول)

◀ مولف: مهندس اصغر اسکندرلو

◀ ناشر: موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران

◀ صفحه آرابی: فرنوش عبدالهی

◀ نوبت چاپ: اول

◀ تاریخ نشر: ۱۳۹۹

◀ چاپ و صحافی: درج عقیق

◀ تیراژ: ۱۰۰ جلد

◀ قیمت: ۷۳۰۰۰۰ ریال

◀ شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۲۱۸-۲۹۵-۳

نشانی واحد فروش: تهران، میدان انقلاب،

خ کارگر جنوبی، روبروی پاساژ مهستان،

پلاک ۱۲۵۱

تلفن: ۲۲۰۸۵۱۱۱-۶۶۴۱۰۰۴۶

فروشگاههای اینترنتی دیباگران تهران :

[WWW.MFTBOOK.IR](http://WWW.MFTBOOK.IR)

[www.dibbook.ir](http://www.dibbook.ir)

[www.dibagarantehran.com](http://www.dibagarantehran.com)

نشانی تلگرام: @mftbook

نشانی اینستاگرام دیبا [dibagaran\\_publishing](https://www.instagram.com/dibagaran_publishing)

هر کتاب دیباگران، یک فرصت جدید شغلی.

هر گوشه همراه، یک فروشگاه کتاب دیباگران تهران.

از طریق سایتها و اپ دیباگران، در هر جای ایران به کتابهای ما دسترسی دارید.

# فهرست مطالب

## فصل اول / معرفی انواع کمپرسورها، استانداردها و کتب مرجع..... ۱۱

- ۱-۱- اهمیت تجهیزات دوار..... ۱۲
- ۲-۱- تقسیم‌بندی کلی تجهیزات دوار..... ۱۳
- ۳-۱- دسته‌بندی کلی اجزای تشکیل دهنده کمپرسورها..... ۳۰
- ۴-۱- تقسیم‌بندی کمپرسورها..... ۳۱
- ۵-۱- معرفی استانداردها و کتب مرجع..... ۳۷
- ۶-۱- کدها و استانداردهای مرجع مورد استفاده برای کمپرسورها..... ۴۰
- ۷-۱- وجود یا عدم وجود سیستم..... ۴۷
- ۸-۱- کاربردهای صنعتی کمپرسورها..... ۴۸
- ۹-۱- راهنمای انتخاب اولیه کمپرسورهای رایج..... ۵۱
- ۱۰-۱- نگاه اجمالی به اجزای تشکیل دهنده کمپرسورهای سانتریفیوژ..... ۵۴

## فصل دوم / مفاهیم بنیادی..... ۵۷

- ۱-۲- نیروی جانب مرکز..... ۵۹

## فصل سوم / پدیده سرج و خفگی در کمپرسورهای سانتریفیوژ..... ۷۱

- ۱-۳- سرج در کمپرسور..... ۷۲
- ۲-۳- سرج در سیستم پایین دست..... ۷۴
- ۳-۳- روش‌های کنترل سرج..... ۷۵
- ۴-۳- پدیده خفگی..... ۷۹

## فصل چهارم / انواع تشابه و اعداد بی بعد..... ۸۲

- ۱-۴- اعداد بی بعد..... ۸۳

## فصل پنجم / آیرودینامیک، منحنی‌های عملکرد و ترمودینامیک کاربردی..... ۹۶

- ۱-۵- آیرودینامیک کمپرسورهای سانتریفیوژ..... ۹۷

**فصل ششم / شناخت اجزای تشکیل دهنده کمپرسورهای سانتریفیوژ ..... ۱۳۱**

۱-۶-۱- آشنایی با اجزای تشکیل دهنده ..... ۱۳۲

۲-۶-۲- چیدمان رایج و کاربردی سیل های گازی ..... ۱۵۳

۳-۶-۳- یاتاقان ها ..... ۱۵۸

۴-۶-۴- کوپلینگ ..... ۱۶۷

۵-۶-۵- محافظ کوپلینگ ..... ۱۷۴

۶-۶-۶- شاسی ..... ۱۷۵

**فصل هفتم / تست و بازرسی کمپرسورهای سانتریفیوژ ..... ۱۸۰**

۱-۷-۱- معرفی انواع تست های کمپرسورهای سانتریفیوژ ..... ۱۸۱

**فصل هشتم / سیستم های جانبی و ماژول های کاربردی ..... ۲۰۶**

۱-۸-۱- ماژول های کاربردی در کمپرسورهای سانتریفیوژ ..... ۲۰۷

**فصل نهم / متریال اجزای تشکیل دهنده کمپرسورهای سانتریفیوژ ..... ۲۳۵**

**فصل دهم / محاسبات، انتخاب کمپرسورهای سانتریفیوژ و اجزای وابسته ..... ۲۴۴**

فهرست منابع و مراجع: ..... ۲۵۴

خط مشی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب‌های است که بتواند  
خواسته‌های به روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد.  
هر کتاب دیباگران تهران، یک فرصت جدید شغلی و علمی

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بی‌کران خود این توفیق را به ما ارزانی داشت تا بتوانیم در راه ارتقای دانش عمومی و فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گام‌هایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی علوم و توسعه روزافزون آن، شرایطی را به وجود آورده که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی‌ترین و راحت‌ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع‌رسانی، بیش از پیش روشن می‌نماید.

در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری جمعی از اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران، محققان و نیز پرسنل ورزیده و ماهر در زمینه امور نشر درصدد هستند تا با تلاش‌های مستمر خود برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پُر بار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهند.

کتابی که در دست دارید با همت "مهندس اصغر اسکندرلو" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

**کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش**

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانش‌پژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس [dibagaran.mft.info](mailto:dibagaran.mft.info) (ارتباط با مشتری) فرم نظرسنجی را برای کتابی که در دست دارید تکمیل و ارسال نموده، انتشارات دیباگران تهران را که جلب رضایت و وفاداری مشتریان را هدف خود می‌داند، یاری فرمایید.

امیدواریم همواره بهتر از گذشته خدمات و محصولات خود را تقدیم حضورتان نماییم.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران  
[bookmarket@mft.info](mailto:bookmarket@mft.info)

”عالم و عالم“

بکست عهد صحبت اہل طریق را

صاحب دلی بہ مدرسہ آمد ز خانقاہ

تا اختیار کردی از آن این فریق را

کفتم میان عالم و عالم چہ فرق بود

وین جہمی کند کہ بگیرد غریق را

کفت آن کلیم خویش بہ درمی برد ز موج

گلستان سعدی

## ❖ مقدمه مولف

شعری هست پر مضمون که بر اساس معنای آن باید هر تکاملی را آهسته و پیوسته طی نمود. اما گاهی نیاز است تا حرکت انجام شده به سرعت و البته متصل انجام شود چون در غیر این صورت ممکن است دیگر نتوان به آن هدف (به دلیل محدودیت های بیرونی و یا درونی<sup>۱</sup>) دست یافت. به کلامی دیگر باید چابک<sup>۲</sup> عمل نمود تا فرصت در اختیار نیز از دست نرود.

در این راستا و در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ منطق یاد شده را مد نظر قرار دادم و تلاش کردم تا به دو مبحث از مهمترین و در عین حال پرکاربردترین تجهیزات دنیای ماشینری (یعنی پمپ ها و کمپرسورهای سانتریفیوژ) رسیدگی نموده و دو اثر را در زمینه های یاد شده به رشته تحریر درآورم. البته پس از گذشت کم تر از ده ماه و به علت استقبال بی شائبه شما خوانندگان گرانقدر تصمیم بر آن شد تا اولین بازنگری کتاب پمپ های سانتریفیوژ به حضور شما عزیزان تقدیم شود و این بار نیز نوبت بازآفرینی ویرایش اول کتاب کمپرسور فرا رسیده است.

قطعاً خلق هیچ کتابی (نه صرفاً گردآوری شده و بعضی وقت ها کپی شده!!) در حوزه مباحث علمی (آن هم در صنعت زیبا و جذاب اما شناخته نشده ماشینری!) بدون حمایت خوانندگان و دوستدارانش موفق نخواهد بود و بالطبع کتاب کمپرسورهای سانتریفیوژ نیز می توانست به سرنوشت همان کتاب هایی دچار شود که از روی کنجکاوی خریداری شده ولی به دلیل عدم پاسخگویی به پرسش ها و نیازهای علمی مخاطباننش ضخامت چند میلیمتری از گرد و خاک را در قفسه کتابخانه ها تجربه می نماید!! اما به لطف خداوند متعال و حمایت شما خوانندگان فرهیخته نه تنها این اتفاق حادث نشد بلکه پس از چندین مرتبه تجدید چاپ و دریافت نقطه نظرات ارزشمند شما عزیزان کتاب حاضر به درجه ای از بلوغ در محتوا دست یافت تا بتوان نسخه بازنگری شده آن را با حفظ موضوعات پیشین و استفاده بیش تر از دستاوردهای درس های آموخته در تجربیات میدانی (مخصوصاً داخلی و بومی!) با نگاه و بیانی جامع تر، ملموس تر و در عین حال ساده تر به محضر شما بزرگواران و جویندگان دانش، عرضه نمود. تلاش صورت گرفته در حذف تصاویر ناخوانا، استفاده از جایگزین هایی با کیفیت بهتر و بهره گیری از برخی علائم گرافیکی جهت تاکید بر اهمیت یک موضوع و یا نتیجه گیری حاصل از یک بحث، از تغییرات عمده ای است که امیدوارم نظر خوانندگان گرانقدر را تامین نماید. اما هر فصل نیز در جایگاه خود تحولاتی را تجربه کرده است که مهمترین آن ها را به شرح و تفکیک ذیل می توان توصیف نمود:

🔹 **فصل اول - معرفی انواع کمپرسورها، استانداردها و کتب مرجع:** تغییرات این فصل با تاکید بیش تر بر اهمیت تجهیزات دوار آغاز شده در کنار آن به برخی موارد مهم مانند تعاریف نواحی خطر و شاخص حفاظت ورود پرداخته شده است. همچنین بنابر درخواست خوانندگان گرانقدر پارامترهای مهم در انتخاب جرثقیل سقفی مناسب به هدف تعمیر کمپرسورها نیز ذکر گردیده اند.

<sup>1</sup> External&internal restrictions

<sup>2</sup> Agile

طرح چهار مورد مطالعاتی در خصوص اهمیت درک صحیح Scope، تبیین کاربردهای صنعتی، ارائه راهنمای عددی انتخاب و تشریح فاکتورهای بنیادی در انتخاب نهایی کمپرسورها پیکره اصلی تحولات این بخش را تشکیل می دهند. در نهایت نگاه اجمالی به اجزای تشکیل دهنده کمپرسورهای سانتریفیوژ و توضیح تفاوت میان مرحله و طبقه پایان بخش تغییرات فصل اول است.

🔗 **فصل دوم - مفاهیم بنیادی:** تشریح مسیر حرکت گاز در کمپرسور سانتریفیوژ، کاربرد معادله واحد و تبیین روش های مختلف محاسبه تغییرات پارامترهای فیزیکی فصل مفاهیم بنیادی را به تکامل بنیادی رسانیده است!

🔗 **فصل سوم - پدیده سرج و خفگی در کمپرسورهای سانتریفیوژ:** تمایز میان سرج در تجهیز و سرج در مدار، مکانیزم وقوع سرج و طرح یک نمونه مطالعاتی در راستای تاکید بر اهمیت پوشش حداقل دبی جرمی مورد نیاز فرآیند توسط کمپرسور این فصل را به یک جمع بندی قابل قبول رسانیده است!

🔗 **فصل چهارم - انواع تشابه و اعداد بی بعد:** همواره نوشته ام و می نویسم که شناخت و درک اصولی اعداد بی بعد شاه کلید حل مسائل توربوماشین و طراحی بهینه آن هاست. در این راستا، توضیح دقیق تر اعداد بی بعد، تعیین مقادیر بهینه و محدودیت های هر یک را می توان از تحولات موثر فصل چهارم برشمرد.

🔗 **فصل پنجم - آیرودینامیک، منحنی های عملکرد و ترمودینامیک کاربردی:** این فصل مهمترین مباحث کتاب کمپرسورهای سانتریفیوژ را پوشش می دهد. به همین علت، سعی شده است تا مطالب متناسب با این درجه اهمیت بازنگری گردند.

در بخش ابتدایی طبقه بندی، نتیجه گیری و جمع بندی سرفصل ها در کنار بهره برداری کاربردی از مفاهیم و تعاریف اعداد بی بعد آغاز می گردد. سپس، روش های کنترل ظرفیت به همراه پارامترهای اثر گذار بر انتخاب هر یک مورد واکاوی قرار می گیرند.

ناحیه مجاز کارکرد در کمپرسورهای سانتریفیوژ با استفاده میزان ارتعاشات و محاسبه مقادیر مجاز آن تعیین و در زمان تست عملکرد و کارکرد پایدار مکانیکی صحنه گذاری می شود. در بخش دوم به طرح روابط محاسبه حد مجاز ارتعاش دستگاه و ارائه شاخص کیفی و کمی در این زمینه اختصاص یافته است.

در نهایت، حضور معادلات ترمودینامیکی مطرح (و رایج) و ارائه جدول راهنما برای شناسایی جایگاه مناسب جهت استفاده از هر یک و در نهایت تشریح روش انجام تست عملکرد (بر اساس ASME PTC10) پایان بخش تغییرات فصل پنجم خواهد بود.

🔗 **فصل ششم - شناخت اجزای تشکیل دهنده کمپرسور های سانتریفیوژ:** پوسته کمپرسور به عنوان مهمترین عضو تحت فشار استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی بیش تر قرار گرفته و حداکثر مقدار بارهای مجاز وارد بر نازل های آن مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه تعاریف و محاسبات مرتبط با پروانه و شفت کمپرسور از توجه فنی در این فصل بی نصیب نمانده اند، شاید بتوان وزن بالاتر



را به تکمیل موضوعات فنی در موضوع نشت بند های گازی، انواع آن و استخراج مصارف جانبی نشت بند های گازی از نمودارهای تجربی دانست.

از آن جایی که عدم انتخاب مناسب روانکار (روغن و یا گریس) و یا روانکار مناسب (!) یکی از دلایل مهم در خرابی یاتاقان ها شناخته می شود، با بیانی متفاوت سعی شده است تا رویه انتخاب روغن و یا گریس مورد استفاده توسط سازندگان در یاتاقان های Anti-friction به صورت مرحله به مرحله توضیح داده شود. بخش دوم مفاهیم فصل ششم با توضیحاتی در خصوص محفظه یاتاقان، متریال مورد استفاده در ساخت آن، محافظ کویلینگ و استانداردهای مرتبط ادامه یافته و با ذکر هر آن چه که مهندسان ماشینری در خصوص شاسی استفاده شده در کمپرسورهای سانتریفیوژ (و شکل گیری یک پکیج) باید بدانند به پایان می رسد.

🔗 **فصل هفتم - تست و بازرسی کمپرسورهای سانتریفیوژ:** اضافه شدن سر فصل تست های غیر مخرب و انواع گواهینامه های صادره برای متریال بر اساس EN10204 مهمترین تغییر تجربه شده در این فصل خواهد بود. برخی درس های آموخته (به همراه کاربرد آن ها) نیز سعی شده است تا با ظرافت به متون پیشین اضافه شود.

🔗 **فصل هشتم و نهم:** استفاده از تصاویر با وضوح بالاتر و رفع برخی اشتباهات تایپی و نگارشی از تلاش های عمده ای است که در راستای افزایش کیفی مطالب ارائه شده در این فصول برداشته شده است.

🔗 **فصل دهم - محاسبات، انتخاب کمپرسورهای سانتریفیوژ و اجزای وابسته :** فصل دهم، هدف نهایی کتاب کمپرسور های سانتریفیوژ است تا قبل از آن که سازنده ای در کار باشد مهندسان ماشینری بتوانند صلاح کار و مشخصات فیزیکی مناسب برای کمپرسور مورد استفاده در سرویس فرآیندی مشخص را تشخیص دهند. در راستای تحقق هر چه بیش تر اهداف این فصل دو مورد مطالعاتی در آن با جزئیات بیش تری مورد بررسی قرار گرفته است.

این ها تمام اتفاقاتی بود که در بازنگری جدید شاهدش هستید و خواهید بود. امیدوارم رضایت شما را جلب نموده و متعاقباً خرسندی شما را برایم به ارمغان آورد!

همچنین فرصت را مغتنم شمرده و مجدداً یادآوری می نمایم که پشتیبانی فنی نهایی بر عهده مهندسی است که با تکیه بر دانش، تجربه و درس های آموخته خود تجهیز دوازی را طراحی، انتخاب، تست، نصب، راه اندازی، بهره برداری و یا تعمیر می نماید. یعنی ایشان تشخیص می دهد که بر اساس نظام علمی و فکری انتخاب شده اش (می تواند آن را «سیستم من» نیز خطاب کند!) چه کاری درست است و چه کاری نادرست و مسئولیتش را هم باید بپذیرد و در این راه البته نباید از شرایط حاکم بر پروژه و محیط کار که گاهی متاسفانه مطلوب هم نیست، تاثیر پذیرد. زیرا هر گونه اشکالی در فرآیند طراحی، ساخت، تست، بهره برداری و تعمیرات تجهیزات دوازی می تواند در بهترین حالت صدمات مالی و زیست محیطی سنگین بر واحد عملیاتی و تجهیزات پیرامون و در بدترین حالت صدمات جانبی جبران ناپذیری را برای پرسنل مشغول در سایت به وجود آورد.

به رسم گذشته، نخست این کتاب را به مادر مهربان، فرزانه، دانشمند و یگانه استاد اخلاقم تقدیم کنم که همواره و پیوسته در پرتو شمع وجودش ره جستم و می جویم. بدون شک سختی های طی نمودن این مسیر دشوار تنها با راهنمایی های ارزشمند ایشان آسان نمود و به راستی که کلام در سپاسگزاری از زحمات و صبر بی پایانش ناتوانند!

دوم به روح بزرگ پدرم که آرزوی خودباوری و خودکفایی کشور را داشت و در مسیر حرفه ای خود تمام تلاش خود را برای پیشرفت صنایع مختلف داخلی به کار بست تقدیم می کنم (روحش شاد..!) و در نهایت از یکایک اعضای جامعه بزرگ صنعت و دانشگاه که با حمایت های معنوی خود مرا در نیل به اهداف مجموعه حاضر یاری نمودند قدردانی می نمایم. شخصاً پیوند اصولی و ارتباط نزدیک این دو مجموعه را یکی از نیازهای پیوسته کشور در تمام صنایع می دانم که امید دارم روزی محقق شود. دیگر بر کسی پوشیده نیست که سری کتاب های « آنچه مهندسان ماشینری باید بدانند » بر اساس این هدف پایه ریزی شده و با یاری پروردگار متعال و همفکری ارزشمند فعالان صنعت ماشینری و صنایع وابسته به خصوص در کشور عزیزمان به تکامل و به روز رسانی خود ادامه خواهد داد. بدون تردید شما بزرگواران با ارسال نکات و نظرات گرانبهای خود از طریق پست الکترونیکی به آدرس [A.ESKANDARLU@GMAIL.COM](mailto:A.ESKANDARLU@GMAIL.COM) در لذت ناشی از این هم افزایی سهیم خواهید بود.

امیدوارم این کتاب نیز برای تمام دانش پژوهان و علاقه مندان به این صنعت پویا و هیجان انگیز، یک فرصت کوچک باشد برای ایجاد تغییرات بزرگ و از همه شما می خواهم تا با عشق و علاقه سیلابی بسازید که هیچ مانعی نتواند سد راه موفقیتتان شود.

دوستدار شما

اصغر اسکندرلو

تهران، ۱۳۹۸/۱۲/۱۲