

# تحلیل و طراحی یاتاقان‌ها و روانکاری

تألیف: منوچهر پناه

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

|                     |                                                          |
|---------------------|----------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : پناه، منوچهر، ۱۳۳۷ -                                   |
| عنوان و نام پدیدآور | : تحلیل و طراحی یاتاقان‌ها و روانکاری / مؤلف منوچهر پناه |
| مشخصات نشر          | : تهران: ماندگار، ۱۳۹۰.                                  |
| مشخصات ظاهری        | : ۵۴۷ ص.: مصور، جدول، نمودار.                            |
| شابک                | : ۱۷۰۰۰۰ ریال: 978-964-5778-55-0                         |
| وضعیت فهرست‌نویسی   | : فیپا                                                   |
| رده‌بندی کنگره      | : ۱۳۸۹ ی ۹ پ/۱۴۵/۲۸ QC                                   |
| رده‌بندی دیویی      | : ۵۳۲/۰۰۷                                                |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۲۱۶۷۸۲۷                                                |



تألیف: منوچهر پناه

تحلیل و طراحی یاتاقان‌ها و روانکاری

ناشر: انتشارات ماندگار

نوبت و تاریخ چاپ: اول، ۱۳۹۰

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

حروفچینی و صفحه‌آرایی: ۶۶۵۶۵۵۶۹

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۵۷۷۸-۵۵-۰

قیمت: ۱۷۰۰۰ تومان

مرکز پخش: تهران انتشارات ماندگار، صندوق پستی، ۱۵۴۳-۱۳۱۴۵

تلفن فاکس: ۶۶۴۲۳۳۹۸ - تلفن همراه: ۰۹۱۲۳۹۳۹۰۱۸

«حق چاپ برای ناشر محفوظ است.»

## پیشگفتار

اختراع یاتاقان‌ها به هزاران سال قبل برمی‌گردد، در آن زمان انسان اولیه جهت جابه‌جایی اجسام کُنه‌ام‌تکی به نیروی بازوان خود بود، با گذشت زمان او آموخت که حرکت لغزشی سطوحی که با یکدیگر تماس دارند به دلیل وجود اصطکاک نیاز به نیروی جابه‌جایی بالایی دارد. انگیزهٔ صیقلی نمودن سطوح در حال تماس و استفاده از مواد چربی‌زا در بین سطوح، جهت کاهش اصطکاک، تجربهٔ کاهش نیروی اصطکاک را به او آموخت. با گذشت زمان بشر دریافت که حرکت چرخشی به مراتب ساده‌تر از حرکت لغزشی صورت می‌گیرد، از این رو در وسایل اولیه نظیر چرخ ارابه یا سنگ‌های آسیاب، قطعاتی از سنگ یا چوب را به صورت گوه در آورد و به عنوان عناصر واسطه در بین سطوح در حال تماس قرار داد. که منجر به مصرف انرژی کمتر در به حرکت درآوردن وسایل اولیه شد.

در گذر زمان به تدریج گوه‌ها به صورت اجزای غلتکی درآمدند و با در نظر گرفتن حلقه‌های داخلی و خارجی که دربرگیرندهٔ اجزای غلتکی بودند شکل بیرینگ‌های امروزی را به خود گرفت و به کارگیری سطوح صیقلی در حال تماس و استفاده از مادهٔ روانکار منجر به انواع یاتاقان‌های هیدرودینامیکی امروزی شد.

امروزه با ساخت انواع موتورهای احتراق داخلی و خارجی و سایر تجهیزات دقیق مثل ژيروسکوپ‌ها، رادارها و تجهیزات فضایی به کارگیری انواع یاتاقان‌ها و استفاده از مواد کاهندهٔ اصطکاک اهمیت بسزایی پیدا نموده است.

کتاب حاضر تحت عنوان تحلیل و طراحی یاتاقان‌ها و روانکاری طیف وسیعی از انواع یاتاقان‌ها مخصوصاً یاتاقان‌های غلتشی، هیدرودینامیکی، آنرودینامیکی، هیدرواستاتیکی، آنرواستاتیکی گرد و کف‌گرد را تحت پوشش قرار داده است.

در تهیه مطالب این کتاب از سه مرجع مختلف، شامل: کتاب‌های معتبر دانشگاهی به زبان اصلی، استفاده از اطلاعات و داده‌های کارخانجات سازنده و همچنین تجربه سال‌ها تدریس و شرکت در پروژه‌ها استفاده شده است.

از صاحب‌نظران و خوانندگان ارجمندی که دارای تجارب علمی و عملی در این مقوله هستند تقاضا دارد بر نگارنده منت گذارده چنانچه لغزش‌هایی در این کتاب مشاهده کردند نظرات اصلاحی را به نشانی تهران، انتشارات ماندگار، صندوق پستی: ۱۵۴۳-۱۳۱۴۵ اعلام تا در چاپ‌های بعدی مدنظر قرار گیرند.

در پایان از دانشجویان فعال از جمله: آقایان سرافراز، زراعت‌کار و چنگی که در گردآوری بخشی از مطالب این کتاب تلاش نموده‌اند و همچنین از سرکار خانم نجمه بیات که حروف‌چینی و صفحه‌آرایی کتاب توسط ایشان انجام شده است تشکر و قدردانی می‌نمایم.

منوچهر پناه

۱۳۹۰

## فهرست

### بخش اول: روغن کاری

|                                            |      |
|--------------------------------------------|------|
| مقدمه                                      | هفده |
| فصل اول: وظایف روانکاری و انواع آن         | ۱    |
| ۱-۱ مقدمه                                  | ۱    |
| ۱-۲ خواص روانکارها                         | ۲    |
| ۱-۳ تقسیم بندی روانکارها                   | ۲    |
| ۱-۴ روانکاری های جامد                      | ۲    |
| ۱-۴-۱ روانکاری های جامد خاص                | ۶    |
| ۱-۵ روانکاری های نیمه جامد                 | ۶    |
| ۱-۵-۱ روش ساخت گریس ها                     | ۸    |
| ۱-۵-۲ ترکیب شیمیایی گریس ها                | ۱۰   |
| ۱-۵-۳ آزمایشات گریس ها                     | ۱۲   |
| ۱-۵-۴ تأثیر عوامل مختلف بر روی انتخاب گریس | ۱۶   |
| ۱-۵-۵ مزایا و معایب روانکاری گریس          | ۱۸   |
| ۱-۵-۶ خواص ضروری گریس ها                   | ۱۹   |
| ۱-۵-۷ آزمایشات ارزیابی و عملکرد گریس ها    | ۲۲   |
| ۱-۶ روانکاری های گازی                      | ۲۴   |
| ۱-۷ روانکاری های مایع فلز                  | ۲۵   |

|    |                                           |
|----|-------------------------------------------|
| ۲۵ | ۱-۸ روانکاری های مایع                     |
| ۲۵ | ۱-۸-۱ روغن معدنی                          |
| ۲۸ | هیدروکربن های پارافینیک                   |
| ۲۸ | هیدروکربن های نفتیک                       |
| ۲۹ | هیدروکربن های آتوماتیک                    |
| ۳۰ | ۱-۸-۲ روغن های مصنوعی                     |
| ۳۱ | ۱-۸-۳ روانکاری ثابت                       |
| ۳۱ | ۱-۹ وظایف و خواص ضروری روغن ها            |
| ۳۵ | ۱-۱۰ انواع افزوده ها و ملحقات کاربرد آنها |
| ۳۹ | ۱-۱۱ تست های روغن                         |
| ۵۲ | ۱-۱۲ خواص فیزیکی                          |
| ۵۲ | ۱-۱۲-۱ چسبندگی                            |
| ۵۳ | قانون چسبندگی نیوتن                       |
| ۵۸ | روش های اندازه گیری چسبندگی روغن          |
| ۶۵ | ۱-۱۲-۲ آزمایشات شیمیایی روغن              |
| ۷۱ | ۱-۱۳ آزمایشات شیمیایی روغن                |
| ۷۶ | ۱-۱۴ روغن های هیدرولیک و مشخصات آن        |
| ۷۷ | ۱-۱۵ مشکلات فساد در روانکاری های مایع     |
| ۷۹ | ۱-۱۵-۱ روش های تصفیه روغن های کارکرده     |

## ۸۵ فصل دوم: انتخاب نوع روغن

|    |                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------|
| ۸۵ | ۲-۱ مقدمه                                                   |
| ۹۱ | ۲-۲ طبقه بندی روغن ها بر حسب چسبندگی                        |
| ۹۱ | ۲-۲-۱ طبقه بندی روغن های موتور بر اساس چسبندگی در تقسیم SAE |
| ۹۴ | ۲-۲-۲ طبقه بندی روغن ها بر حسب چسبندگی در سیستم ISO         |
| ۹۶ | ۲-۲-۳ طبقه بندی روغن ها بر حسب چسبندگی در سیستم نظامی       |
| ۹۶ | ۲-۳ طبقه بندی روغن ها بر حسب سطح کیفیت آنها                 |

|     |                                                            |
|-----|------------------------------------------------------------|
| ۹۶  | ۲-۳-۱ طبقه‌بندی روغن‌ها بر حسب کیفیت بر اساس استاندارد API |
| ۱۰۰ | ۲-۴ انتخاب روغن برای مصارف مختلف                           |
| ۱۰۳ | ۲-۴-۱ روغن دنده‌ها                                         |
| ۱۰۴ | انواع روغن‌های دنده                                        |
| ۱۰۵ | طبقه‌بندی روغن‌های دنده                                    |
| ۱۰۹ | ۲-۴-۲ روغن‌های حصه دنده و دیفرانسیل                        |
| ۱۱۰ | ۲-۴-۳ روغن توربین                                          |
| ۱۱۳ | ۲-۴-۴ روغن‌های موتور                                       |
| ۱۱۴ | ۲-۴-۵ روغن‌های ماشین‌های تراش                              |
| ۱۱۴ | ۲-۴-۶ روغن‌های ترانسفورماتورها                             |
| ۱۱۵ | ۲-۵ منابع اصلی ذرات موجود در روغن                          |
| ۱۱۵ | ۲-۵-۱ فلزات فرسایشی موجود در روغن                          |
| ۱۱۸ | ۲-۵-۲ مشخصه‌های فیزیکی ذرات سائیده شده                     |
| ۱۱۹ | ۲-۶ نکات مهم در نمونه‌گیری روغن از ماشین‌آلات              |
| ۱۲۱ | فصل سوم: سیستم‌های روانکاو                                 |
| ۱۲۲ | ۳-۱ معادله‌ی پتروف                                         |
| ۱۲۵ | ۳-۲ روغنکاری پایدار                                        |
| ۱۲۷ | ۳-۳ روغنکاری هیدرودینامیکی یا تغذیه شونده فشاری            |
| ۱۲۷ | ۳-۳-۱ تئوری روغن‌کاری هیدرودینامیک                         |
| ۱۲۹ | ۳-۴ روغنکاری هیدرودینامیکی ارتجاعی                         |
| ۱۳۰ | ۳-۴-۱ روغنکاری هیدرودینامیکی ارتجاعی سخت                   |
| ۱۳۱ | ۳-۴-۲ روغن‌کاری هیدرودینامیکی ارتجاعی نرم                  |
| ۱۳۱ | ۳-۴-۳ نتایج هیدرودینامیکی ارتجاعی سخت                      |
| ۱۳۴ | ۳-۴-۴ نتایج هیدرودینامیکی ارتجاعی نرم                      |
| ۱۳۴ | ۳-۵ رژیم ایزو ویسکوز                                       |
| ۱۳۵ | ۳-۶ رژیم صلب پیزو ویسکوز                                   |

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۱۳۶ | ۳-۷ رژیم ایزو ویسکوز ارتجاعی نرم   |
| ۱۳۶ | ۳-۸ ارتجاعی سخت                    |
| ۱۳۷ | ۳-۹ روغن کاری هیدرواستاتیکی        |
| ۱۳۸ | ۳-۱۰ روغن کاری هیبریدی یا پیوندی   |
| ۱۳۸ | ۳-۱۱ روغن کاری مرزی                |
| ۱۳۹ | ۳-۱۲ روغن کاری توسط فیلم نازک جامد |

## بخش دوم: یاتاقان‌ها

|     |                                                 |
|-----|-------------------------------------------------|
| ۱۴۳ | فصل چهارم: یاتاقان‌ها و بررسی یاتاقان‌های غلتشی |
| ۱۴۳ | ۴-۱ معرفی یاتاقان‌ها                            |
| ۱۴۴ | ۴-۱-۱ ارتباط بار و حرکت نسبی در یاتاقان‌ها      |
| ۱۴۵ | ۴-۲ یاتاقان‌های لغزشی                           |
| ۱۴۵ | ۴-۳ یاتاقان‌های غلتشی                           |
| ۱۴۹ | ۴-۳-۱ دسته‌بندی انواع بیرینگ‌ها                 |
| ۱۴۹ | (a) دسته‌بندی بیرینگ از لحاظ وزن                |
| ۱۴۹ | (b) دسته‌بندی از لحاظ ابعاد                     |
| ۱۵۱ | (c) تقسیم‌بندی از لحاظ اجزای غلتنده             |
| ۱۵۱ | (d) تقسیم‌بندی یاتاقان‌ها بر اساس بار           |
| ۱۵۲ | ۴-۳-۲ یاتاقان‌های شعاعی                         |
| ۱۵۲ | (a) بال بیرینگ‌های شعاعی                        |
| ۱۵۵ | (b) رولر بیرینگ‌های شعاعی                       |
| ۱۶۰ | ۴-۳-۳ یاتاقان‌های کف گرد                        |
| ۱۶۲ | ۴-۳-۴ بیرینگ‌های لغزشی                          |
| ۱۶۲ | ۴-۳-۵ بیرینگ‌های مرکب                           |
| ۱۶۳ | ۴-۳-۶ طبقه‌بندی بیرینگ‌ها از لحاظ سرعت کار      |
| ۱۶۴ | ۴-۳-۷ طبقه‌بندی بیرینگ از لحاظ کاربردی          |



|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| فصل پنجم: یاتاقان‌های هیدرودینامیکی با تغذیه شونده فشاری                         | ۱۶۹ |
| ۵-۱ معادلات رینولدز در یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد                             | ۱۷۰ |
| ۵-۱-۱ استخراج معادله رینولدز                                                     | ۱۷۲ |
| (a) معادله رینولدز یاتاقان با سطح لغزشی (شفث و چرخه و ماسوره ثابت است).          | ۱۷۳ |
| (b) معادله رینولدز در شرایطی که شفث و ماسوره هر دو می‌چرخند                      | ۱۷۹ |
| (c) معادله رینولدز در شرایطی که شفث ثابت و ماسوره می‌چرخد (یاتاقان با سطح غلتکی) | ۱۸۱ |
| ۵-۱-۲ پدیده کاویتاسیون در یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد کامل                     | ۱۸۱ |
| ۵-۲ یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد با طول طویل                                    | ۱۸۲ |
| ۵-۲-۱ معادله دیفرانسیلی توزیع فشار در یاتاقان‌های گرد طویل                       | ۱۸۲ |
| ۵-۲-۲ استخراج توزیع فشار به روش سامرفیلد                                         | ۱۸۵ |
| ۵-۲-۳ ظرفیت بار یاتاقان گرد                                                      | ۱۸۷ |
| ۵-۲-۴ ظرفیت بار براساس شرایط سامرفیلد                                            | ۱۸۹ |
| ۵-۲-۵ اصطکاک در یاتاقان گرد طویل                                                 | ۱۹۱ |
| ۵-۲-۶ افت توان اصطکاکی                                                           | ۱۹۳ |
| ۵-۲-۷ عدد سامرفیلد                                                               | ۱۹۳ |
| ۵-۲-۸ شرایط مرزی فشار در حالت تجربی                                              | ۱۹۵ |
| ۵-۲-۹ متغیرهای عملکرد یاتاقان طویل براساس روش سامرفیلد و گامبل                   | ۲۰۵ |
| مسائل بخش ۵-۲                                                                    | ۲۰۶ |
| ۵-۳ یاتاقان‌های گرد کوتاه                                                        | ۲۰۸ |
| ۵-۳-۱ معادله رینولدز در یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد کوتاه                      | ۲۰۹ |
| ۵-۳-۲ عدد سامرفیلد در یاتاقان‌های کوتاه                                          | ۲۱۴ |
| ۵-۳-۳ پارامترهای عملکرد یاتاقان‌های کوتاه به روش گامبل                           | ۲۲۱ |
| ۵-۴ یاتاقان‌های گرد با طول محدود                                                 | ۲۲۳ |
| ۵-۴-۱ تحلیل یاتاقان با طول محدود به روش Narang / Reason                          | ۲۲۳ |
| ۵-۵ یاتاقان‌های گرد هیدرودینامیکی با ساختارهای هندسی مختلف                       | ۲۲۷ |
| ۵-۵-۱ شکل‌های هندسی مختلف پوسته                                                  | ۲۲۷ |
| ۵-۵-۲ شکل‌های هندسی مختلف شفث                                                    | ۲۲۸ |
| ۵-۵-۳ برخی از یاتاقان‌های کاربردی در صنعت                                        | ۲۲۹ |

## فصل ششم: محاسبات یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد با طول‌های مختلف به روش

ریموندی و بوید ..... ۲۴۱

۶-۱ مقدمه ..... ۲۴۱

۶-۲ فرایند طراحی ..... ۲۴۲

۶-۳ ضخامت حداقل پوسته ..... ۲۴۳

۶-۴ منحنی‌ها و جداول ریموندی و بوید ..... ۲۴۵

۶-۴-۱ یاتاقان‌های جزئی ..... ۲۴۵

۶-۴-۲ پارامترهای عملکرد بی‌بعد ..... ۲۴۵

۶-۵ دمای فیلم سیال ..... ۲۴۸

۶-۵-۱ تخمین افزایش دما ..... ۲۴۸

۶-۵-۲ افزایش دما براساس جداول ریموندی و بوید ..... ۲۵۳

۶-۵-۳ طراحی یاتاقان گرد ..... ۲۵۶

۶-۵-۴ راه‌حل‌های دقیق ..... ۲۵۷

۶-۶ دمای حداکثر در یاتاقان‌ها با بار زیاد ..... ۲۵۷

۶-۷ طراحی براساس منحنی‌های تجربی ..... ۲۶۰

۶-۷-۱ منحنی‌های اصطکاک ..... ۲۶۱

۶-۸ پهنه‌سازی ..... ۲۶۴

۶-۸ a جداول و منحنی‌های ریموندی و بوید برای یاتاقان‌های گرد کامل و جزئی به ازاء  $\frac{L}{D} = 1$  ..... ۲۷۱

۶-۸ b جداول و منحنی‌های ریموندی و بوید برای یاتاقان‌های گرد کامل و ازاء مقادیر مختلف  $\frac{L}{D}$  ..... ۲۸۰

۶-۸ c منحنی‌های تغییرات دما بر حسب چسبندگی مطلق برای انواع روغن‌ها ..... ۲۸۵

۶-۱۰ یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد غیر ساده ..... ۲۸۷

۶-۱۱ یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد لولادار ..... ۲۹۱

۶-۱۱-۱ نوع بارگذاری ..... ۲۹۳

۶-۱۱-۲ معرفی متغیرهای یاتاقان هیدرودینامیکی گرد لولادار ..... ۲۹۳

۶-۱۱-۳ منحنی‌های یاتاقان هیدرودینامیکی کامل با کفشک‌های لولادار ..... ۲۹۷

## فصل هفتم: یاتاقان‌های گرد گازی آنرودینامیکی ..... ۳۲۳

۷-۱ مقدمه ..... ۳۲۳

|     |                                                                                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|
| ۳۲۵ | ۷-۲ معادله رینولدز و راه حل های حدی در یاتاقان های آنرودینامیکی گرد گازی        |
| ۳۲۷ | ۷-۳ ملاحظات پایداری                                                             |
| ۳۲۷ | ۷-۳-۱ گردش همزمان                                                               |
| ۳۲۸ | ۷-۳-۲ گردش نیم فرکانس                                                           |
| ۳۲۹ | ۷-۴ یاتاقان آنرودینامیکی گرد منفذدار                                            |
| ۳۲۹ | ۷-۵ یاتاقان گرد گازی با شیار محوری                                              |
| ۳۳۵ | ۷-۶ یاتاقان های گرد گازی با کشک های لولادار                                     |
| ۳۴۱ | ۷-۷ یاتاقان های گرد گازی با شیارهای ماریچی دوجهته                               |
| ۳۴۸ | ۷-۸ یاتاقان های گرد گازی غیراستوانه ای                                          |
| ۳۵۳ | <b>فصل هشتم: یاتاقان های کف گرد هیدرودینامیکی با روانکار مایع</b>               |
| ۳۵۳ | ۸-۱ مقدمه                                                                       |
|     | ۸-۲ منحنی های طراحی و عملکرد کشک های لغزنده هیدرودینامیکی ثابت و لولادار به     |
| ۳۵۷ | روش ریموندی و بوید                                                              |
| ۳۵۷ | ۸-۲-۱ منحنی های عملکرد کشک مستطیلی لغزنده هیدرودینامیکی لولادار                 |
| ۳۶۸ | ۸-۳ تحلیل یاتاقان های هیدرودینامیکی کف گرد کامل به روش ریموندی و برید           |
| ۳۷۱ | ۸-۴ منحنی های طراحی یاتاقان های هیدرودینامیکی کف گرد کامل براساس نتایج سامرفیلد |
| ۳۷۲ | ۸-۴-۱ طراحی یاتاقان با کشک ثابت شیب دار                                         |
| ۳۷۲ | ۸-۴-۲ طراحی یاتاقان با کشک لولادار                                              |
| ۳۸۱ | ۸-۴-۳ یاتاقان های کف گرد هیدرودینامیکی حوضچه دار (قطاع پله ای)                  |
| ۳۹۱ | <b>فصل نهم: یاتاقان های کف گرد آنرودینامیکی</b>                                 |
| ۳۹۱ | ۹-۱ یاتاقان های کف گرد پله ای رایلی                                             |
| ۳۹۵ | ۹-۲ یاتاقان کف گرد شیاردار ماریچ                                                |
| ۴۰۱ | ۹-۳ معرفی یاتاقان های کف گرد کاربردی در صنایع                                   |
| ۴۰۹ | <b>فصل دهم: یاتاقان های هیدرودینامیکی ارتجاعی</b>                               |
| ۴۰۹ | ۱۰-۱ مقدمه                                                                      |

|     |                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۴۱۵ | ۱۰-۱-۲ تماس‌های مستطیلی                                                     |
| ۴۱۶ | ۱۰-۲ گروه‌بندی بدون بعد                                                     |
| ۴۱۷ | ۱۰-۳ نتایج هیدرودینامیکی ارتجاعی سخت                                        |
| ۴۱۹ | ۱۰-۴ نتایج هیدرودینامیکی ارتجاعی نرم                                        |
| ۴۱۹ | ۱۰-۵ ضخامت فیلم برای رژیم‌های مختلف روغن‌کاری فیلم سیال                     |
| ۴۲۰ | ۱۰-۵-۱ رژیم صلب ایزوویسکوز                                                  |
| ۴۲۱ | ۱۰-۵-۲ رژیم صلب پیروویسکوز                                                  |
| ۴۲۲ | ۱۰-۵-۳ رژیم ارتجاعی ایزوویسکوز                                              |
| ۴۲۲ | ۱۰-۵-۴ رژیم ارتجاعی پیروویسکوز                                              |
| ۴۲۳ | ۱۰-۶ ظرفیت تحمل بار عنصر غلتشی                                              |
| ۴۲۳ | ۱۰-۷ نمودارهای محاسباتی                                                     |
| ۴۲۹ | فصل یازدهم: یاتاقان‌های هیدرواستاتیکی                                       |
| ۴۲۹ | ۱۱-۱ مقدمه                                                                  |
| ۴۳۰ | ۱۱-۲ بررسی یاتاقان‌های هیدرواستاتیکی گرد                                    |
| ۴۳۴ | ۱۱-۳ تحلیل یاتاقان‌های گرد هیدرواستاتیکی حوضچه‌دار و بررسی منحنی‌های عملکرد |
| ۴۳۴ | ۱۱-۳-۱ انواع بارگذاری                                                       |
| ۴۳۶ | ۱۱-۳-۲ معرفی متغیرهای عملکرد یاتاقان گرد هیدرواستاتیکی حوضچه‌دار            |
| ۴۳۷ | ۱۱-۳-۳ منحنی‌های عملکرد یاتاقان                                             |
| ۴۴۴ | ۱۱-۴ طراحی یاتاقان گرد هیدرواستاتیکی                                        |
| ۴۴۴ | ۱۱-۴-۱ متغیرهای طراحی                                                       |
| ۴۴۵ | ۱۱-۴-۲ روش‌های طراحی                                                        |
| ۴۴۷ | ۱۱-۵ یاتاقان‌های کف گرد هیدرواستاتیکی                                       |
| ۴۴۸ | ۱۱-۵-۱ نحوه تشکیل فیلم سیال در یاتاقان کف گرد                               |
| ۴۴۹ | ۱۱-۶ تحلیل یاتاقان‌های هیدرواستاتیکی کف گرد به کمک روابط                    |
| ۴۴۹ | ۱۱-۶-۱ یاتاقان هیدرواستاتیکی کف گرد پله‌ای حوضچه‌گرد                        |
| ۴۵۵ | روش بهینه کردن یاتاقان                                                      |
| ۴۵۶ | ۱۱-۶-۲ یاتاقان‌های هیدرواستاتیکی کف گرد کره‌ای                              |

|     |        |                                                     |
|-----|--------|-----------------------------------------------------|
| ۴۵۸ | ۱۱-۶-۳ | یاتاقان هیدرواستاتیکی کف گرد با کفشک مخروطی         |
| ۴۵۹ | ۱۱-۶-۴ | یاتاقان هیدرواستاتیکی کف گرد با کفشک مربع           |
| ۵۶۱ | ۱۱-۷   | طراحی یاتاقان هیدرواستاتیکی کف گرد                  |
| ۴۶۲ | ۱۱-۷-۱ | ضرایب کفشک یاتاقان هیدرواستاتیکی در حالی کلی        |
| ۴۶۳ | ۱۱-۷-۲ | طراحی یاتاقان هیدرواستاتیکی با کفشک پله‌ای گرد      |
| ۴۶۵ | ۱۱-۷-۳ | یاتاقان هیدرواستاتیکی کف گرد حلقه‌دار               |
| ۴۶۷ | ۱۱-۸   | جبران‌کننده‌ها                                      |
| ۴۶۷ | ۱۱-۸-۱ | لوله موئین                                          |
| ۴۶۹ | ۱۱-۸-۲ | جبران‌کننده اوریفیس                                 |
| ۴۷۰ | ۱۱-۸-۳ | شیر جبران‌کننده با دبی ثابت                         |
| ۴۷۷ |        | <b>فصل دوازدهم: یاتاقان‌های هوایی آنرواستاتیکی</b>  |
| ۴۷۷ | ۱۲-۱   | مقدمه                                               |
| ۴۷۸ | ۱۲-۱-۱ | پیش‌بارهای یاتاقان‌های هوایی                        |
| ۴۷۹ | ۱۲-۲   | یاتاقان آنرواستاتیکی کف گرد گازی                    |
| ۴۸۳ | ۱۲-۲-۱ | یاتاقان آنرواستاتیکی کف گرد پله‌ای                  |
| ۴۸۴ | ۱۲-۲-۲ | یاتاقان آنرواستاتیکی کف گرد پله‌ای با چندین اوریفیس |
| ۴۸۶ | ۱۲-۲-۳ | یاتاقان آنرواستاتیکی کف گرد گازی منفذدار            |
| ۴۸۷ | ۱۲-۲-۴ | یاتاقان آنرواستاتیکی کف گرد کروی                    |
| ۴۸۸ | ۱۲-۳   | یاتاقان‌های آنرواستاتیکی گرد                        |
| ۴۹۳ |        | <b>فصل سیزدهم: یاتاقان‌ها با سطوح انعطاف‌پذیر</b>   |
| ۴۹۳ | ۱۳-۱   | مقدمه                                               |
| ۴۹۳ | ۱۳-۲   | یاتاقان‌های فویل‌دار                                |
| ۴۹۶ | ۱۳-۲-۱ | یاتاقان با فویل تحت کشش                             |
| ۴۹۶ | ۱۳-۲-۲ | یاتاقان با فویل‌های تکه‌ای تحت خمش                  |
| ۴۹۶ | ۱۳-۲-۳ | یاتاقان‌های فویل‌دار با خمش پیوسته                  |
| ۴۹۷ | ۱۳-۲-۴ | یاتاقان‌های اصلاح شده با فویل خمش                   |
| ۴۹۷ | ۱۳-۳   | یاتاقان‌ها با پوسته تحت فشار                        |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| فصل چهاردهم: یاتاقان‌های مغناطیسی.....                                      | ۵۰۳ |
| ۱۴-۱ مقدمه.....                                                             | ۵۰۳ |
| ۱۴-۲ اصول کار یاتاقان‌های مغناطیسی.....                                     | ۵۰۴ |
| ۱۴-۳ بیرینگ‌های شعاعی.....                                                  | ۵۰۶ |
| ۱۴-۴ انواع سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی.....                                  | ۵۰۷ |
| ۱۴-۵ ملاحظات طراحی.....                                                     | ۵۰۷ |
| ۱۴-۶ کاربردهای مختلف.....                                                   | ۵۰۸ |
| ۱۴-۷ مزیت یاتاقان مغناطیسی.....                                             | ۵۰۸ |
| فصل پانزدهم: انتخاب یاتاقان‌ها و مواد مربوطه.....                           | ۵۱۳ |
| مقدمه.....                                                                  | ۵۱۳ |
| ۱۵-۱ انتخاب یاتاقان‌ها.....                                                 | ۵۱۳ |
| ۱۵-۱-۱ عوامل مکانیکی.....                                                   | ۵۱۳ |
| ۱۵-۱-۲ مقایسه عوامل مکانیکی در یاتاقان‌های لغزشی و غلتشی.....               | ۵۱۴ |
| ۱۵-۱-۳ مزیت یاتاقان‌های غلتشی نسبت به یاتاقان‌های لغزشی.....                | ۵۱۵ |
| ۱۵-۱-۴ معایب یاتاقان‌های غلتشی نسبت به یاتاقان‌های لغزشی هیدرودینامیکی..... | ۵۱۵ |
| ۱۵-۱-۵ عوامل محیطی.....                                                     | ۵۱۵ |
| ۱۵-۱-۶ عوامل اقتصادی.....                                                   | ۵۱۶ |
| ۱۵-۱-۷ طبقه‌بندی انتخاب نوع یاتاقان براساس اطلاعات سرویس‌های مهندسی.....    | ۵۱۶ |
| ۱۵-۲ انتخاب مواد برای یاتاقان‌ها.....                                       | ۵۱۸ |
| ۱۵-۲-۱ خصوصیات مواد انتخابی در یاتاقان‌های لغزشی.....                       | ۵۱۸ |
| ۱۵-۲-۲ خصوصیات مواد انتخابی در یاتاقان‌های غلتشی.....                       | ۵۲۷ |
| ۱۵-۲-۳ اشکالات عمده یاتاقان‌ها.....                                         | ۵۲۸ |

## مقدمه

مطالب این کتاب به نحوی گردآوری شده است که علاوه بر اینکه سرفصل‌های موردنیاز مهندسی مکانیک را پوشش می‌دهد، می‌تواند به عنوان یک مرجع توسط مهندسين فعال در بخش‌های مختلف صنعت مورد استفاده قرار گیرد. سه فصل اول کتاب در مورد روانکارها نوشته شده است که دربرگیرنده وظایف روغنکاری، انتخاب نوع روغن و سیستم‌های روانکاری می‌باشد.

فصل چهارم نحوه گروه‌بندی یاتاقان‌ها براساس سیستم‌های روانکاری و امتداد بار و حرکت نسبی را مطرح کرده و بر این اساس گروه‌های مختلف یاتاقان‌های هیدرودینامیکی، آئروودینامیکی، الاستوهیدرودینامیکی، هیدرواستاتیکی و آئرواستاتیکی مشخص شده‌اند و همچنین یاتاقان‌های ضد اصطکاکی (غلشی) در این فصل مختصراً بررسی شده‌اند. در فصل‌های پنجم و ششم یاتاقان‌های هیدرودینامیکی گرد در سه گروه خیلی بلند، خیلی کوتاه و طول محدود بررسی شده و حالت‌های مختلف معادله رینولدز جهت توزیع فشار در فیلم سیال روانکار و همچنین منحنی‌ها و روابط عملکرد و طراحی یاتاقان‌های گرد توسط افراد مختلف ارائه شده است.

در فصل هفتم انواع یاتاقان‌های گرد گازی بررسی شده است. در فصل هشتم یاتاقان‌های کف گرد هیدرودینامیکی در حالت‌های کفشک ثابت، کفشک لولایی و حوضچه‌دار تشریح شده است. در فصل‌های هشتم و نهم انواع یاتاقان‌های هیدرودینامیکی و آئروودینامیکی کف گرد ارائه شده‌اند. در فصل دهم یاتاقان‌های هیدرودینامیکی ارتجاعی در رژیم‌های مختلف در حالت نرم و سخت آورده شده‌اند. در فصل یازدهم یاتاقان‌های هیدرواستاتیکی گرد و کف گرد و منحنی‌های عملکرد آنها برحسب نوع مقاومت هیدرولیکی ارائه شده‌اند.

در فصل دوازدهم یاتاقان‌های هوایی آئرواستاتیکی گرد و کف گرد مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در فصل‌های سیزدهم و چهاردهم یاتاقان‌های با سطوح انعطاف‌پذیر و مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در نهایت در فصل پانزدهم انتخاب یاتاقان‌ها و موارد کاربرد و همچنین مواد موردنیاز برای هر نوع یاتاقان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

جهت فراگیری بهتر دانشجویان در انتهای برخی از فصل‌ها مسائل متنوع با روش‌های حل آنها ارائه شده است که می‌تواند در تفهیم و درک بهتر مطالب سودمند باشد.

www.ketab.ir