



# طراحی اجزاء ماشین

## جلد اول: انتقال نیرو

تألیف:

دکتر مهدی اخلاقی

استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)

با همکاری:

دکتر محسن خواجه‌زاده

تابستان ۱۳۹۸

سروشناسه	۱۳۲۶	اخلاقی، مهدی
عنوان و نام پدیدآور		طراحی اجزاء ماشین/دکتر مهدی اخلاقی با همکاری دکتر محسن خواجهزاده
مشخصات نشر		تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، سال ۱۳۹۱
مشخصات ظاهری		۱۳۴۳ ص.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۳-۲	شابک دوره: ۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۵-۶
وضعیت فهرست نویسی		فیپا
موضوع		قطعات ماشین - طراحی
موضوع		ماشین آلات - طراحی
شناسه افزوده		خواجهزاده، محسن، ۱۳۶۲
شناسه افزوده		دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
رده بندی کنگره	TJ ۲۲۰/۴۴۴۶۴	TJ ۱۳۹۱:
رده بندی دیجیتال	۶۲۱/۸۱۵	
شماره کتابشناسی ملی	۲۹۷۶۱۱۲	

عنوان کتاب	طراحی اجزاء ماشین - جلد اول: انتقال نیرو
تألیف	دکتر مهدی اخلاقی با همکاری دکتر محسن خواجهزاده
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	زمستان ۱۳۹۱
تاریخ نشر الکترونیکی	تابستان ۱۳۹۸
قیمت	۱۵,۰۰۰ تومان
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۳-۲
شابک دوره	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۴۹۵-۶

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وب سایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.



إِيَّاكَ نَعْبُدُ وَإِيَّاكَ نَسْتَعِينُ

#### مقدمه

مجموعه‌ای که پیش رو دارید، دومین مجموعه از دور جدید طراحی اجزای ماشین است که تقدیم جامعه علمی و صنعتی کشور می‌شود.

تحلیل‌های دقیق و طراحی بهینه قطعات ماشین با درنظر گرفتن مواردی چون کیفیت بالا، ضریب اطمینان مناسب و شکل مطلوب، تنها با تسلط بر علم طراحی قطعات و اجزای مکانیکی میسر است و به همین منظور فرآگیری دقیق آن بخصوص برای دانشجویان رشته‌های مهندسی مکانیک، هوا فضا، صنایع، عمران و کشتی‌سازی، مفید خواهد بود.

پیشرفت علوم رایانه‌ای و تدوین نرم‌افزارهای مختلف برای طراحی قطعات مکانیکی بر پایه اصول طراحی اجزای ماشین، اهمیت کاربردی این علم مهندسی را دوچندان نموده است.

محتویات این کتاب حاصل بیش از ۳۰ سال تجربه آموزشی، تحقیقات دانشگاهی و صنعتی، بهره‌گیری از مباحث منتخب کتب علمی و استفاده از آخرین دستاوردهای علمی و تحقیقاتی است. فصل اول به مروری گذرا بر مفاهیم تُرانس‌های هندسی و همچنین نحوه نمایش و تفسیر پارامترهای بافت سطح اختصاص یافته است. فصل دوم اختصاص به انتقال گشتوار از (و یا به) شفت، از طریق اتصال اصطکاکی و اتصال محکم – مطمئن دارد. فصل سوم به مطالعه چرخ دنده‌ها می‌پردازد. چرخدنده‌ها گردش یک شفت را به شفت دیگر و از طریق درگیری دنده‌ها با هم (دنده‌ها در شکل فرورفتگی و برآمدگی روی سطح سیلندر و یا مخروط تماس) منتقل می‌سازند. در فصل چهارم محور و یا شفت مورد بررسی قرار می‌گیرند. یاتاقان‌ها به عنوان تکیه گاههای شفت و محور، حرکت مابین اجزای ماشین، معمولاً شفت یا محور گردشی و بدنه ساکن را در کنار انتقال بار میسر می‌سازند و در دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند؛ یاتاقان‌های غلتشی در فصل پنجم و یاتاقان‌های لغزشی در فصل ششم معرفی خواهند شد.

به منظور تسهیل در جستجوی کلمات و واژه‌های فنی از منابع بین‌المللی، معادل انگلیسی (وبعضاً امریکائی) آن‌ها آورده شده است. همچنین به منظور آشنایی با نظرات و جمع‌بندی دیگر مولفین، جملات کوتاهی از منابع مربوط استخراج و در متن گنجانیده شده است.

با این که دقت و تلاش زیادی در تهیه این مجموعه صرف شده است، اما وجود پاره‌ای نواقص و نارسائی‌ها در آن را نمی‌توان انکار نمود، لذا از هر گونه نظرات و پیشنهادات اصلاحی و سازنده اساتید، صاحبنظران، محققین و دانشجویان عزیز استقبال می‌شود.

مهdi اخلاقی

استاد دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تابستان ۱۳۹۱

## فهرست

فصل ۱ : تلرانس و انطباق.....	۱
۱-۱- تلرانس های ابعادی.....	۲
۲-۱- ارتباط تلرانس و هزینه .....	۶
۳-۱- تلرانس عمومی .....	۶
۴-۱- تلرانس گذاری ابعادی .....	۷
۵-۱- حدود و انطباقات .....	۸
۶-۱- تلرانس های هندسی .....	۱۴
۶-۱-۱- تلرانس هندسی فرم.....	۱۵
۶-۱-۲- تلرانس های هندسی شکل.....	۱۶
۶-۱-۳- تلرانس های هندسی وضعیت .....	۱۶
۶-۱-۴- تلرانس های هندسی موقعیت .....	۱۶
۶-۱-۵- تلرانس های هندسی لنگی .....	۱۸
۷-۱- بافت سطح .....	۱۸
۸-۱- مثال های حل شده .....	۲۴
۹-۱- مسائل تکمیلی.....	۲۸
فصل ۲ : انتقال گشتاور.....	۲۹
۱-۱- اتصال اصطکاکی .....	۲۹
۱-۱-۱- گشتاور و نیروی انتقالی .....	۳۰
۱-۱-۲- اتصال پرسی سیلندری .....	۳۴
۱-۱-۲-۱- مقدار تداخل قطری در اتصالات الاستیک .....	۳۶
۱-۱-۲-۲- بارهای واردہ در اتصالات الاستیک .....	۴۳
۱-۱-۳- اتصال پرسی مخروطی .....	۵۴
۱-۱-۴- اتصال پرسی به کمک المان فنری پیش تنیده .....	۵۷
۲-۱- اتصال محکم مطمئن .....	۶۱

۸۷ .....	<b>فصل ۳: چرخدنده و سامانه چرخدنده‌ای</b>
۸۹ .....	۳-۱- اصول اولیه و قانون دندانه
۹۳ .....	۳-۲- دندانه سیکلوئید
۹۵ .....	۳-۳- دندانه اولونت (اینولوت)
۱۰۰ .....	۳-۴- دندانه خارجی صفر
۱۰۳ .....	۳-۵- دندانه مسطح یا دندانه شانه‌ای
۱۰۴ .....	۳-۶- دندانه داخلی صفر
۱۰۴ .....	۳-۷- دندانه مایل
۱۰۸ .....	۳-۸- تصحیح دندانه و یا انحراف پروفیل
۱۱۷ .....	۳-۹- تداخل
۱۲۰ .....	۳-۱۰- هم پوشانی یا پوشش
۱۲۲ .....	۳-۱۱- کوتاه کردن سر دندانه
۱۲۴ .....	۳-۱۲- تُرانس دندانه
۱۲۸ .....	۳-۱۲-۱- لقی بین گردها
۱۳۰ .....	۳-۱۲-۲- تُرانس و انطباق در دستگاه‌های چرخ دنده‌ای
۱۳۳ .....	۳-۱۲-۳- دقت و تُرانس توبی (هاب یا فلنچ)
۱۳۴ .....	۳-۱۲-۴- تعیین ضخامت دندانه
۱۳۷ .....	۳-۱۳- چرخدنده‌های استوانه‌ای
۱۴۴ .....	۳-۱۴- تعیین ابعاد اصلی
۱۵۰ .....	۳-۱۵- نیرو بر دندانه چرخ سیلندری
۱۵۱ .....	۳-۱۵-۱- چرخ دندانه صاف
۱۵۳ .....	۳-۱۵-۲- چرخ دنده مایل
۱۵۶ .....	۳-۱۶- چرخ‌های مخروطی
۱۶۲ .....	۳-۱۷- نیرو بر دندانه چرخ مخروطی

۱۶۲	۱-۱۷-۳- چرخ دندانه صاف
۱۶۴	۲-۱۷-۳- چرخ دندانه مایل
۱۶۵	۳- ۱۸-۳- مجموعه‌های افزاینده و کاهنده سرعت
۱۶۷	۳- ۱۹-۳- تنش در دندانه
۱۸۱	۳- ۲۰-۳- مسایل تکمیلی

۱۸۵	<b>فصل ۴: محور و شفت</b>
۱۸۷	۱-۴- ملاحظات در طراحی
۱۸۹	۱-۱-۴- محاسبه تخمینی برای تعیین قطر و طراحی مقدماتی
۱۹۵	۱-۲-۴- طراحی نهائی و محاسبات دقیق و کنترل استحکام نقاط بحرانی
۲۰۶	۱-۳-۴- طراحی فرم
۲۱۰	۲-۴- کنترل تغییرات الاستیک
۲۱۱	۱-۲-۴- خیز و شب
۲۱۶	۲-۲-۴- پیچش
۲۱۶	۳-۲-۴- رفتار نوسانی
۲۱۷	۴-۳-۴- دور بحرانی
۲۱۷	۱-۳-۴- دور بحرانی خمی
۲۱۸	۲-۳-۴- دور بحرانی پیچشی
۲۲۱	۴-۴- مسایل تکمیلی

۲۲۵	<b>فصل ۵: یاتاقان غلتشی</b>
۲۳۱	۱-۵- نصب (مونتاژ) یاتاقان
۲۳۶	۲-۵- انتخاب یاتاقان
۲۴۳	۱-۲-۵- گذاری و ابعاد ساختمانی یاتاقان غلتشی
۲۴۸	۲-۲-۵- فرآیند انتخاب یاتاقان
۲۴۸	۳-۱-۲-۵- بار پایدار

۲۵۶	- حمل بار محوری توسط یاتاقان غلتان سیلندری شعاعی.....
۲۵۷	- بار ناپایدار.....
۲۵۹	- روانکاری.....
۲۶۰	- حفاظتها (نشت بند).....
۲۶۱	- نشت بندهای تماسی .....
۲۶۴	- نشت بندهای بدون تماس .....
۲۷۱	- مثالهای حل شده.....
۲۷۹	- مسایل تکمیلی.....

## فصل ۶: یاتاقان لغزشی.....

۲۸۲	.....
۲۸۵	- بار، اصطکاک و عدد سامر فلد.....
۲۸۹	- متغیرهای تأثیرگذار بر عدد سامر فلد و ضریب اصطکاک .....
۲۹۴	- مقادیر هندسی یاتاقان.....
۲۹۶	- گرما و مقدار روانساز مورد نیاز.....
۳۰۴	- انواع یاتاقانهای لغزشی هیدرودینامیکی رادیال.....
۳۰۷	- یاتاقان لغزشی هیدرودینامیکی رادیال (بار متغیر).....
۳۰۸	- یاتاقان لغزشی هیدرودینامیکی آکسیال (کف گرد).....
۳۱۰	- ۱- قابلیت حمل و ضریب اصطکاک.....
۳۱۱	- ۲- افت توان، تعداد و هندسه بالشتک .....
۳۱۲	- ۳- بیلان گرما و جریان روانساز.....
۳۱۴	- ۴- یاتاقان لغزشی هیدررواستاتیکی .....
۳۱۶	- ۵- مواد .....
۳۱۸	- ۶- مسایل تکمیلی .....

## فصل ۷: جفتگر، کلاچ و ترمز .....

۳۲۰	- ۱- جفتگر .....
-----	------------------

۳۲۱	۱-۱-۷- جُفتگر ساکن .....
۳۲۳	۲-۱-۷- جُفتگرهاي تعادلي .....
۳۳۴	۲-۲-۷- کلاچها و ترمزها .....
۳۳۶	۲-۲-۷- روابط کلی کلاچهاي سايشي .....
۳۴۳	۲-۲-۷- روابط کلی ترمزهاي سايشي .....
۳۴۵	۳-۲-۷- کلاچ و ترمز ديسكى .....
۳۴۹	۴-۲-۷- کلاچ و ترمز از داخل بازشونده .....
۳۵۳	۵-۲-۷- کلاچ و ترمز از بیرون جمع شونده .....
۳۵۸	۶-۲-۷- افزایش دما .....
۳۵۹	۷-۲-۷- ترمز (و کلاچ) نواری .....
۳۶۲	۸-۲-۷- کلاچ و ترمز محروم طی .....
۳۶۷	۹-۲-۷- مواد ساييش .....
۳۷۲	۱۰-۲-۷- ابعاد کلاچ و ترمز .....
۳۷۶	۱۱-۲-۷- ملاحظات انرژي و افزایش دما .....
۳۸۱	۱۲-۲-۷- مسایل تكميلي .....

۳۸۲	<b>فصل ۸: طراحی اجزاء انعطاف پذیر (تسمه)</b> .....
۳۸۶	۱-۸- مکانیک تسمه های اصطکاکی .....
۳۹۸	۲-۸- پیش بار (پیش تبیدگی) تسمه .....
۴۰۲	۳-۸- تسمه تخت .....
۴۱۰	۴-۸- تسمه جناغی و گرد .....
۴۱۸	۵-۸- تسمه دندانه دار (تسمه تایمینگ) .....
۴۲۵	۶-۸- مسایل تكميلي .....

## مقدمه

توصیف ویژگی های هندسی و ابعادی هر قطعه به واسطه نقشه آن صورت می گیرد؛ به بیان دیگر نقشه قطعه کار وسیله‌ای است برای بیان آنچه طراح در ذهن می‌پروراند و این اطلاعات را بی هیچ ابهامی در اختیار مهندس فرایند و دیگر کسانی که به نحوی در تولید قطعه نقش دارند، قرار می‌دهد. در این میان طراح برای بیان ریزه‌کاری‌های طرح خود از ابزاری نیرومند با عنوان اندازه‌گذاری و تلرانس دهی بهره می‌جوید.

عملکرد بدون عیب و نقص قطعه‌ای از یک مجموعه مکانیکی و همچنین فرارگیری مطمئن آن در کنار اجزای دیگر، ابعاد مشخص و دقیق را می‌طلبد. اصولاً تولید یک قطعه با ابعاد دقیقاً منطبق با ابعاد نقشه غیر ممکن است و از این رو محدوده‌ای برای تغییرات مجاز<sup>۱</sup> هر بعد، شکل، موقعیت و کیفیت سطح<sup>۲</sup> پذیرفته می‌شود، این تغییرات مجاز تلرانس (رواداری) نامیده می‌شود، شکل (۱-۱). بنابراین قطعات می‌توانند خطای ابعادی داشته باشند اما، این خطای زمانی قابل قبول است که بُعد مورد نظر همچنان در محدوده مجاز قرار داشته باشد. این محدوده مجاز باند تلرانسی نامیده می‌شود.

---

<sup>۱</sup> -Tolerances and Fits

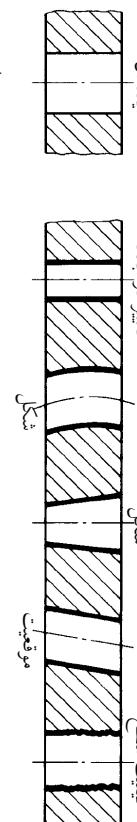
<sup>۲</sup> -Allowable Variation

<sup>۳</sup> -Surface Texture and Condition

## فصل ۱

### تلرانس و انطباق<sup>۱</sup>

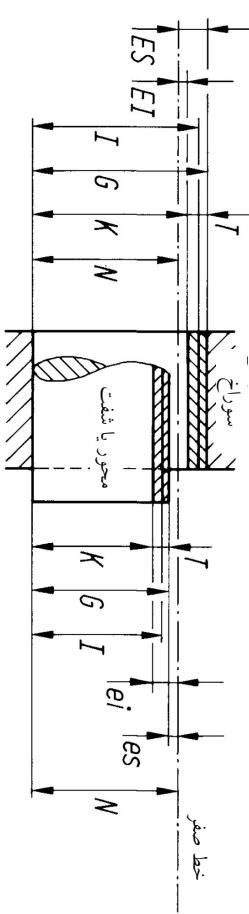
بنابراین با توجه به اهمیت و جایگاه ترانس گذاری در زمینه تدوین صحیح تفاصیلهای مهندسی، این فصل به مروری گذرا بر مفاهیم ترانس های ابعادی، ترانس های هندسی و همچنین نحوه نمایش و تفسیر پارامترهای بافت سطح اختصاص یافته است.



شکل (۱-۱) نمایهای از تغییرات ابعاد، شکل، موقعیت و گفایت سطح یک سوراخ<sup>۱</sup>

### ۱-۱- ترانس های ابعادی<sup>۲</sup>

کشورهای مختلف برای ترانس گذاری از سیستم<sup>۳</sup> متفاوتی استفاده می کنند. در حالی که در اروپا درین خصیصه DIN<sup>۴</sup> بهتر استاندارد CEN<sup>۵</sup> بهتر توصیه های موردن استفاده قرار می گیرد، در برخی دیگر استاندارد اروپائی ISO<sup>۶</sup> موردن توجه است. در امریکا نیز بر اساس استاندارد ANSI<sup>۷</sup> در سیستم اینچی و بسا بر ISO<sup>۶</sup> در سیستم میلی متری عمل می کنند. شکل (۱-۱) ابعاد سوراخ و شفت یا محور را نشان می دهد.



شکل (۱-۲) ابعاد کمینه، بینیه و انحراف سوراخ و شفت یا محور<sup>۸</sup>

<sup>۱</sup>-Macro geometry failure of a hole as an example for tolerances

<sup>۲</sup>-Dimensional Tolerances

<sup>۳</sup>-Deutsches Institut fuer Normung

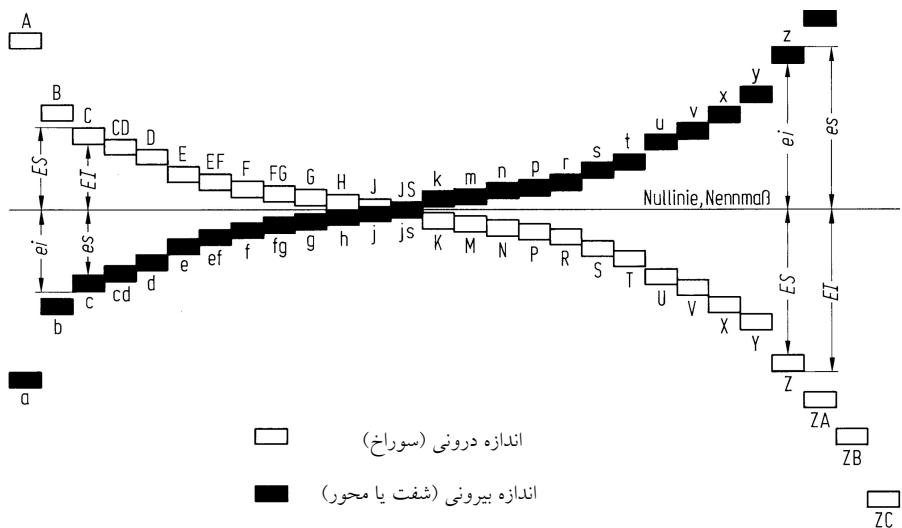
<sup>۴</sup>-International Organization for Standardisation

<sup>۵</sup>-Comite European de Normalisation

<sup>۶</sup>-American National Standards Institute

<sup>۷</sup>-Sketch showing maximum and minimum dimensions and deviation of hole and shaft.

تلرانس می‌تواند مستقیماً بر اندازه اسمی و یا با کدگذاری مشخص شود. در علامت‌گذاری بر اساس استاندارد ایزو تلرانس نسبت به خط صفر (اندازه اسمی) به کمک یک حرف از حروف الفبای لاتین مشخص می‌شود. حروف بزرگ  $A-Z$  برای سوراخ و همچنین سطوح درونی و حروف کوچک  $a-z$  برای شفت یا محور و سطوح بیرونی معروفی شده‌اند. شکل (۳-۱) محدوده (باند) تلرانس سوراخ و شفت نسبت به خط صفر (اندازه اسمی) را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) محدوده (باند) تلرانس سوراخ و شفت در سیستم ISO

در نمونه‌های زیر محدوده تل انسی به دو صورت آمده است:

محدوده تل انس ۲۵ میلیمتر

25 محدوده تل انس ۱۰٪ میلیمتر

## ٢٥f7 محدوده تلرانس ٠٠٢١ میلیمتر طبق جدول ١-٣

## ۲۵H8 محدوده ترانس ۰۰۳۳ میلیمتر طبق جدول ۱-۳

### جدول (۱-۱) ردیف تلرانس و بزرگی محدوده (عرض باند) تلرانس.

اندازه اسمی (میلی متر)	ردیف تلرانس																		
	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18	
تایش از	تلرانس پایه (نتایج بر حسب میکرون)																		
-	500	-	-	-	-	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	1600i	2500i
500	3150	2I	2,7I	3,7I	5I	7I	10I	16I	25I	40I	64I	100I	160I	250I	400I	640I	1000I	1600I	2500I