تشریح کامل
مسایل طراحی اجزاء ماشین
شیگلی

ترجمه و تالیف: مجتبی شایسته
ابوذر ملکیان
احمد کیانوش

نشردانشگاهی کیان
Kian Publication

فهرست مطالب

سخن مولف ۵
سخنی با خوانندگان ۶

قسمت اول: مقدمات
فصل ۱: مقدمه‌ای بر طراحی در مهندسی مکانیک ۷
فصل ۲: مواد ۱۷
فصل ۳: نیرو و آنالیز تنش ۳۹
فصل ۴: تغییر شکل و سفتی ۱۳۱

قسمت دوم: پیشگیری از شکست
فصل ۵: شکست بر اثر بارهای استاتیک ۲۰۵
فصل ۶: شکست خستگی بر اثر بارهای متغیر ۲۵۵

قسمت سوم: طراحی اجزا ماشین
فصل ۷: شفت و اجزاء آن ۳۰۹
فصل ۸: پیچ و مهره و طراحی اتصالات موقت ۳۵۳
فصل ۹: جوشکاری، چسب‌کاری و طراحی اتصالات دائم ۴۲۳
فصل ۱۰: فنرهای مکانیکی ۴۵۷
فصل ۱۱: یاتاقان‌های غلتشی ۴۹۹
فصل ۱۲: روانکاری و یاتاقان‌های لغزشی ۵۳۱
فصل ۱۳: چرخدنده‌ها ۵۵۹
فصل ۱۴: چرخدنده‌های ساده و مارپیچ ۵۹۷
فصل ۱۵: چرخدنده‌های مخروطی و حلزونی ۶۳۷
فصل ۱۶: کلاچ‌ها، ترمزها، کوپلینگ‌ها و چرخ طیارها ۶۵۵
فصل ۱۷: اجزای مکانیکی انعطاف‌پذیر ۶۸۱

قسمت چهارم: ابزارهای تحلیل
فصل ۲۰: اندازه‌گیری و تلرانس هندسی ۷۱۷

اهداء به پیشگاه علی بن الحسین (زین العابدین) علیه السلام

تقدیم به:

برای تخریب کاخ فراموشی‌ها تقدیم به
پدر و مادر مهربان و همسر بزرگوارم که با صبر و شکیبایی خود زمینه مساعد را برای نگارش این کتاب فراهم نمودند و
تقدیم به فرزند دلبندم شروین

مجتبی شایسته

تقدیم به همسرم که سایه مهربانیش سایه سار زندگی‌ام می‌باشد
و فرزندم محمد حسین که شیرینی زندگی‌مان است

ابوذر ملکیان

همسر مهربانم که با صبر و فداکاری، تالیف این اثر را میسر نموده است.
پدر و مادر عزیزم که همواره دعای خیرشان بدرقه راهم بوده است.
فرزند دلبندم علی جان، که روشنی بخش خانه‌ام شده

احمد کیانوش

سخن مؤلف

درس طراحی اجزاء ماشین یکی از دروس مهم و اصلی رشته‌های مهندسی مکانیک به شمار می‌رود. کتاب طراحی اجزاء ماشین شیگلی، به عنوان اصلی‌ترین کتاب در این حوزه در اکثر دانشگاه‌های کشور و دنیا تدریس می‌شود. دلیل تدریس این کتاب در دانشگاه‌های ایران، را می‌توان تطابق سرفصل‌های این کتاب با سرفصل‌های نظام آموزش عالی کشور دانست. در یک نگاه کلی به این کتاب، باید اذعان کرد که مجموعه‌ای بی‌نقص و کامل و در هر ویرایش کاربردی‌تر شده است. معمولاً دانشجویانی که برای اولین بار این دروس را مطالعه می‌نمایند، نیاز به یک کتاب راهنما جهت تجزیه و تحلیل مسائل کتاب دارند. در کتاب تشریح مسایل پیش‌رو، به تجزیه و تحلیل تمامی مسائل کتاب فوق (به جز فصل ۱۸ که فعالیت پروژه ای بوده و فصل ۱۹ که مسائل آن بصورت نرم افزاری حل شده و با حل تحلیلی صحه گذاری می شود) پرداخته شده است. از ویژگی‌های این کتاب می‌توان به کامل بودن، حل تمامی مسائل، توضیحات کامل، اشاره به مراجع، منابع، جداول و استفاده از روش حل نویسنده کتاب اصلی اشاره کرد.

خرسندیم که خداوند این توانایی را به ما داد تا بتوانیم خدمتی ناچیز به دانشجویان این مرز و بوم نماییم. ان‌شاء ا... کتاب حاضر مورد استفاده دانشجویان عزیز قرار گرفته و این بزرگواران کلیه اشتباهات علمی و چاپی را بخشیده و با ارسال انتقادات و پیشنهادات خود در چاپ‌های بعدی ما را یاری نمایند.

در پایان فرصت را غنیمت شمرده و از کلیه عزیزانی که ما را در تهیه این کتاب همراهی نمودند، بخصوص از آقای مهندس امیری بهقدم و آقای تجملی مدیریت محترم نشر دانشگاهی کیان و خانم رضایی تشکر می‌نماییم.

همچنین از خانواده گرامی خود که در طول مدت تألیف این کتاب با صبر و شکیبایی فراوان و با فراهم آوردن محیطی آرام و مناسب، ادامه کار را برایمان امکان‌پذیر ساختند، صمیمانه سپاسگزاری و قدردانی می‌نماییم.

مجتبی شایسته - ابوذر ملکیان- احمد کیانوش

سخنی با خوانندگان

«سپس، به کاتبان و نویسندگانت بنگر و بهترین آن‌ها را بر کارهای خود بگمار...

کاتبان و نویسندگانی برگزین که قدر خود را بشناسند، چون کسی که به قدر خود شناخت ندارد، دیگران را هم نمی‌شناسد.»

برگرفته از نامه‌ی ۵۳ نهج‌البلاغه به مالک‌اشتر

اگرچه نوشتن و پرداختن زکات علم از توصیه‌های اکید بزرگان و گواه بر کرامت اهل دانش است، اما امروزه پرداختن به انگیزه‌ها و اهداف نوشتن بیشتر جلوه می‌کند. بی‌شک این‌که چه کسی می‌نویسد مهم نیست، اما این‌که چرا و به چه پشتوانه‌ای می‌نویسد، درخور تأمل است. ما معتقدیم که چاپ روزافزون کتاب‌های به اصطلاح «زرد» که خالی از هرگونه نوآوری و بی‌توجه به استانداردهای چاپ کتاب و نیازهای مخاطبان است، حاصل تفکر بازاری مستولی بر جامعه‌ی نشر است. بی‌پرده آن‌که عنوان پر زرق و برق، دستاویز قرار دادن مضمون‌های نو با هدف فروش بالا و طویل کردن سیاهه‌ی سابقه‌ی علمی، نمی‌تواند دلیل محکمی برای چاپ و نشر کتابی باشد که خواننده‌ی مشتاق با صرف هزینه‌های نه چندان کم آن را تهیه می‌کند؛ به امید آن که چیزی از آن بیاموزد.

باید پذیرفت که انگیزه‌ی نوشتن کم از محتوای نوشته نیست و بین این دو رابطه‌ای مستقیم برقرار است. اگر انگیزه از نوشتن، تولید دانش باشد، بی‌شک نویسنده از قلم بی‌محتوا وکم‌عمق پرهیز می‌کند و اگر دغدغه‌ی دانش و فرهنگ زخم‌خورده در میان باشد، ناشر تنها به عنوان پرطمطراق بسنده نمی‌کند.

و چقدر امروزه، فرهنگ و دانش این مرز بوم که گرفتار آفت بی‌انگیزگی و زخم هوس است، نیازمند ناشران و نویسندگانی است که نیت‌شان کمک به رشد دانش و ارتقای فرهنگ جامعه است و به راستی که التیامی بر این درد نیست مگر نویسندگانی که قدر خود و دیگران را می‌دانند و خوب می‌فهمند که کتاب، ابزار سودجویی‌های مغرضانه نیست و می‌کوشند تا خود را از هرگونه شهوت نام و رسم و ثروت تهی کنند.

انتشارات دانشگاهی کیان خود را بری از عیب و خطا نمی‌داند، اما همواره بیش از پیش می‌کوشیم تا در راستای تولید علم و نشر کتاب‌های پرمحتوا، دست نویسندگانی که انگیزه‌ی پاک دارند را فشرده و در کنارشان باشیم و از خداوند متعال می‌خواهیم که در این مسیر صعب و پرخطر در سایه‌ی لطف و عنایت خود از آن‌چه به عهده‌ی ما نهاده شده، سربلند و پیروز برآییم.

انتشارات دانشگاهی کیان

فصل ۱

مقدمه‌ای بر طراحی در مهندسی مکانیک

مسائل ۱-۱ تا ۱-۶- پاسخ استاندارد نداشته و به تحقیقات دانشجو برمی‌گردد.

☑ **حل:**

۱-۷- یک قطعه فولادی با تلرانس $\pm ۰/۰۰۰۵\,in$ را در نظر بگیرید. هزینه نسبی سنگ‌زنی این قطعه را با قطعه‌ای مشابه با تلرانس $\pm ۰/۰۰۰۳\,in$ مقایسه کنید.

☑ **حل:** از شکل ۱-۲، هزینه سنگ‌زنی قطعه‌ای با تلرانس $\pm ۰/۰۰۰۵\,in$ برابر ۲۷۰٪ می‌باشد و هزینه تغییر آن به $۰/۰۰۳\,in$ برابر ۶۰٪ می‌باشد. رابطه بین هزینه سنگ‌زنی و افزایش دقت آن برابر است با: $\frac{۲۷۰}{۶۰}=۴/۵$

۱-۸- هزینه ساخت دو قطعه A و B بصورت $C_A=۱۰+۰/۸P$ و $C_B=۶۰+۰/۸P-۰/۰۰۵P^۲$ داده شده است. با در نظر گرفتن این که C هزینه برحسب دلار و P تعداد قطعه باشد، نقطه سربسر را محاسبه کنید.

☑ **حل:**

$$C_A=C_B$$

$$۱۰+۰/۸P=۶۰+۰/۸P-۰/۰۰۵P^۲$$

$$P^۲=\frac{۵۰}{۰/۰۰۵}\Rightarrow P=۱۰۰ \quad \text{قطعه} \quad \text{(پاسخ)}$$

۱-۹- قطعه‌ای استوانه‌ای با قطر d تحت بار محوری P قرار دارد. این نیرو منجر به وارد آمدن تنش $\frac{P}{A}$ در قطعه می‌شود $\left(A=\frac{\pi d}{۴}\right)^۲$. اگر عدم قطعیت بار ± ۱۰٪، تلورانس قطر ± ۵٪ و تنش کششی شکست ± ۱۵٪ باشد، حداقل ضریب طراحی را برای جلوگیری از شکست تعیین کنید.

☑ **حل:**

$$P=۱/۱۰ \quad \text{بار ماکزیمم}$$

$$A=(۰/۹۵)^۲ \quad \text{مینیمم}$$

$$S=۰/۸۵ \quad \text{حداقل استحکام}$$

برای حساب کردن مقدار عدم قطعیت، ضریب اطمینان، از معادلهٔ ۱-۱ داریم: (پاسخ) $n_d=\frac{۱/۱۰}{۰/۸۵(۰/۹۵)^۲}=۱/۴۳$

۱-۱۰- هنگامیکه مقادیر صحیح $x_۱$ و $x_۲$ و مقادیر نسبی $X_۱$ و $X_۲$ را در اختیار داریم، می‌توانیم ببینیم که خطاها از کجا ناشی شده است. اگر e_i میزان خطا باشد، رابطه آن با مقادیر صحیح x_i و مقادیر دقیق x_i بصورت $x_i=X_i+e_i$ است.

(الف) نشان دهید که خطای مجموع $X_۱+X_۲$ برابر است با: $(x_۱+x_۲)-(X_۱+X_۲)=e_۱+e_۲$ (ب) نشان دهید که خطای تفاضل $X_۱-X_۲$ برابر است با: $(x_۱-x_۲)-(X_۱-X_۲)=e_۱-e_۲$ (پ) نشان دهید که خطای ضرب $X_۱X_۲$ برابر است با: $x_۱x_۲-X_۱X_۲=X_۱X_۲\left(\frac{e_۱}{X_۱}+\frac{e_۲}{X_۲}\right)$ (ت) نشان دهید که خطای خارج قسمت $\frac{X_۱}{X_۲}$ برابر است با: $\frac{x_۱}{x_۲}-\frac{X_۱}{X_۲}=\frac{X_۱}{X_۲}\left(\frac{e_۱}{X_۱}-\frac{e_۲}{X_۲}\right)$

☑ **حل:** الف)

$$X_۱+X_۲: x_۱+x_۲=X_۱+e_۱+X_۲+e_۲$$

$$\text{خطا}=e=(x_۱+x_۲)-(X_۱+X_۲)=e_۱+e_۲$$

ب)

$$X_۱-X_۲: x_۱-x_۲=X_۱+e_۱-(X_۲+e_۲) \quad \text{(پاسخ)}$$

$$e=(x_۱-x_۲)-(X_۱-X_۲)=e_۱-e_۲$$

پ)

$$X_۱X_۲: x_۱x_۲=(X_۱+e_۱)(X_۲+e_۲)$$

$$e=x_۱x_۲-X_۱X_۲=X_۱e_۲+X_۲e_۱+e_۱e_۲=X_۱e_۲+X_۲e_۱=X_۱X_۲\left(\frac{e_۱}{X_۱}+\frac{e_۲}{X_۲}\right) \quad \text{(پاسخ)}$$

ت) $X_1 / X_2 : \frac{x_1}{x_2} = \frac{X_1 + e_1}{X_2 + e_2} = \frac{X_1}{X_2}\left(\frac{1 + e_1 / X_1}{1 + e_2 / X_2}\right)$

$\left(1 + \frac{e_2}{X_2}\right)^{-1} = 1 - \frac{e_2}{X_2}$ $\qquad \left(\frac{1 + e_1 / X_1}{1 + e_2 / X_2}\right) = \left(1 + \frac{e_1}{X_1}\right)\left(1 - \frac{e_2}{X_2}\right) = 1 + \frac{e_1}{X_1} - \frac{e_2}{X_2}$

بنابراین: $e = \frac{x_1}{x_2} - \frac{X_1}{X_2} = \frac{X_1}{X_2}\left(\frac{e_1}{X_1} - \frac{e_2}{X_2}\right)$ (پاسخ)

۱-۱۱- بااستفاده از مقادیر $x_1 = \sqrt{7}$ و $x_2 = \sqrt{8}$ (الف) درستی معادله خطای مسئله ۱۰ را در حالت جمع نشان دهید. ۳ رقم صحیح برای x_1 و x_2 در نظر بگیرید. (ب) درستی معادله خطا مسئله ۱۰ را با در نظر گرفتن ۳ رقم صحیح برای X_1 و X_2 نشان دهید.

☑ **حل:** الف) $x_1 = \sqrt{7} = 2/64575131111$

(سه رقم صحیح) $X_1 = 2/64$

$x_2 = \sqrt{8} = 2/82842712247$

(سه رقم صحیح) $X_2 = 2/82$

$x_1 + x_2 = 5/47417843358$

$e_1 = x_1 - X_1 = 0/00575131111$

$e_2 = x_2 - X_2 = 0/00842712247$

$e = e_1 + e_2 = 0/01417843358$

بررسی شد. جمع $= x_1 = x_2 = X_1 + X_2 + e = 2/64 + 2/82 + 0/01417843358 = 5/47417843358$

ب) (سه رقم معنی‌دار) $e_1 = x_1 - X_1 = -0/00424886889$

$e_2 = x_2 - X_2 = -0/00157287553$

$e = e_1 + e_2 = -0/00582156442$

بررسی شد. جمع $= x_1 + x_2 = X_1 + X_2 + e = 2/65 + 2/83 - 0/00157287553 = 5/47417843358$

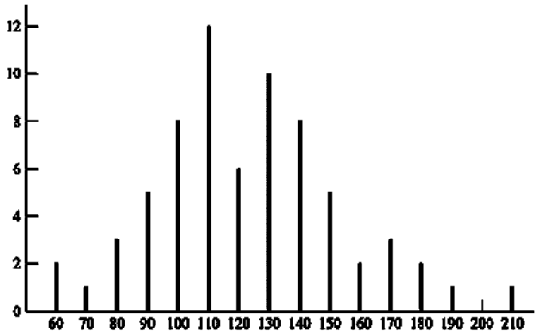
۱-۱۲- پاسخ استاندارد نداشته و به تحقیقات دانشجو برمی‌گردد.

۱-۱۳- ۱۶ نمونه از یک میله با سطح مقطع شش گوش که از جنس فولاد ۵۱۶۰H ساخته شده تحت آزمایش تست خستگی قرار گرفته و نتایج آن در جدول زیر ارائه شده است. به این قطعات تنش خمشی کاملاً معکوس‌شونده‌ای با دامنه ثابت اعمال شده و تا شکست ادامه یافته است. قطر میله را ۱/۲۵ in در نظر بگیرید.

L	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰
f	۲	۱	۳	۵	۸	۱۲	۶	۱۰	۸	۵	۲	۳	۲	۱	۰	۱

که در آن L بیانگر عمر قطعه برحسب هزار دور است و f بیانگر مقدار فراوانی در هر رده شکست می‌باشد. (الف) نمودار ستونی اطلاعات درج شده در جدول را برحسب مقدار فراوانی در هر رده شکست را رسم کنید. (ب) مقدار میانگین و انحراف استاندارد عمر را برای جمعیتی که نمونه‌های تستی از آنها انتخاب شده‌اند را بدست آورید.

☑ **حل:** الف)



ب)

$$\frac{f}{(N\Delta x)} = \frac{f}{[۶۹(۱۰)]} = \frac{f}{۶۹۰}$$

x	f	fx	fx^2	$f/(N\Delta x)$
60	2	120	7200	0.0029
70	1	70	4900	0.0015
80	3	240	19200	0.0043
90	5	450	40500	0.0072
100	8	800	80000	0.0116
110	12	1320	145200	0.0174
120	6	720	86400	0.0087
130	10	1300	169000	0.0145
140	8	1120	156800	0.0116
150	5	750	112500	0.0174
160	2	320	51200	0.0029
170	3	510	86700	0.0043
180	2	360	64800	0.0029
190	1	130	36100	0.0015
200	0	0	0	0
210	1	210	44100	0.0015
Σ	69	8480	1 104 600	

از معادله ۲۰–۹ داریم: $\bar{x} = \frac{۸۴۸۰}{۶۹} = ۱۲۲/۹ \times ۱۰^{۳}$ سیکل

از معادله ۲۰–۱۰ داریم: $s_x = \left[\frac{۱۱۰۴۶۰۰ - ۸۴۸۰^{۲}/۶۹}{۶۹-۱}\right]^{\frac{۱}{۲}} = ۳۰/۳ \times ۱۰^{۳}$ سیکل (پاسخ)

۱-۱٤- برای مشخص کردن استحکام کشش نهایی S_{ut} یک ورق از فولاد ضدزنگ (pH ۱۷–۷ ، شرایط TH ۱۰۵۰)، ۱۹۷ نمونه تستی با ابعاد ۰/۰۱۶ تا ۰/۰۶۲ in ساخته شد و مورد تست قرار گرفت. نتایج حاصله در هفت رده مختلف در جدول زیر ارائه شده است که f در آن فراوانی رده‌ها است. مقدار میانگین و انحراف استاندارد را بدست آورید.

S_{ut} kpsi	۱۷٤	۱۸۲	۱۹۰	۱۹۸	۲۰٦	۲۱٤	۲۲۲
f فراوانی	٦	۹	٤٤	٦۷	۵۳	۱۲	٦

☑ **حل:** داده‌ها، یک نمودار ستونی با ۷ دسته را با $N = ۱۹۷$ نشان می‌دهند.

x	f	fx	fx^2
174	6	1044	181 656
182	9	1638	298 116
190	44	8360	1 588 400
198	67	13 266	2 626 688
206	53	10 918	2 249 108
214	12	2568	549 552
220	6	1320	290 400
Σ	197	39 114	7 789 900

$$\bar{x}=\frac{۳۹۱۱۴}{۱۹۷}=۱۹۸/۵۵\ \text{kpsi}$$ (پاسخ)

$$s=\left[\frac{۷۷۸۳۹۰۰-۳۹۱۱۴^{۲}/۱۹۷}{۱۹۷-۱}\right]^{\frac{۱}{۲}}=۹/۵۵\ \text{kpsi}$$ (پاسخ)

۱-۱۵- عمر قطعات معمولاً با تعداد سیکل‌های کاری که درصد معینی از جمعیت قبل از شکست آزمایشی تحمل می‌کنند تعیین می‌شود. برای نشان دادن این عمر از نماد L استفاده می‌شود. برای مثال عمر $L_{۱۰}$، بیانگر تعداد سیکلی است که ۹۰ درصد از جمعیت این قطعه پیش از شکست تحمل کرده‌اند. با استفاده از میانگین و انحراف استاندارد مسئله ۲۰-۱ و مدل توزیع نرمال، عمر $L_{۰}$ متناظر را بدست آورید.

☑ **حل:** از مسئله ۲۰-۱ داریم: سیکل $\hat{\sigma}=۳۰/۳\times۱۰^{۳}$ و سیکل $\mu=۱۲۲/۹\times۱۰^{۳}$

$$z_{۱۰}=\frac{x_{۱۰}-\mu}{\hat{\sigma}}=\frac{x_{۱۰}-۱۲۲/۹}{۳۰/۳}$$

$$x_{۱۰}=۱۲۲/۹+۳۰/۳z_{۱۰}$$

از جدول الف-۱۰ برای ۱۰ درصد شکست داریم: $z_{۱۰}=-۱/۲۸۲$

$$x_{۱۰}=۱۲۲/۹+۳۰/۳(-۱/۲۸۲)=۸۴/۱\times۱۰^{۳}$$ سیکل (پاسخ)

۱-۱۶- از ۲۵ محموله از محصولات دو کارخانه تولیدکننده فولاد، نمونه‌هایی از فولاد سرد کشیده شده AISI۱۱۳۷ با قطر تقریبی ۱in تولید شده و تحت کشش قرار گرفته است. مقادیر استحکام تسلیم کششی ۰/۲ درصد آنها در جدول زیر نشان داده شده است.

S_y	۹۳	۹۵	۹۷	۹۹	۱۰۱	۱۰۳	۱۰۵	۱۰۷	۱۰۹	۱۱۱
f	۱۹	۲۵	۳۸	۱۷	۱۲	۱۰	۵	٤	٤	۲

که S_y میانه رده برحسب kpsi و f فراوانی هر رده می‌باشد. با فرض برقراری توزیع نرمال، کدام استحکام تسلیم است که کمتر از استحکام تسلیم ۹۹ درصد جمعیت است؟

☑ **حل:**

x	n	nx	nx^2
93	19	1767	164 311
95	25	2375	225 625
97	38	3686	357 542
99	17	1683	166 617
101	12	1212	122 412
103	10	1030	106 090
105	5	525	55 125
107	4	428	45 796
109	4	436	47 524
111	2	222	24 642
	136	13 364	1 315 704

$$\bar{x}=\frac{۱۳۳۶۴}{۱۳۶}=۹۸٫۲۶\ \text{kpsi}$$

$$s_x\left(\frac{۱۳۱۵۷۰۴-۱۳۳۶۴^{۲}/۱۳۶}{۱۳۶-۱}\right)^{\frac{۱}{۲}}=۴٫۳۰\ \text{kpsi}$$

با در نظر گرفتن فرضیه طبیعی: $z_{٪۱}=\left(x_{٪۱}-۹۸٫۲۶\right)/۴٫۳۰$

(پاسخ) $x_{٪۱}=۹۸٫۲۶+۴٫۳۰z_{٪۱}=۹۸٫۲۶+۴٫۳۰\left(-۲٫۳۲۶۷\right)=۸۸٫۲۶\doteq ۸۸٫۳\ \text{kpsi}$

۱-۱۷- یک سیستم مکانیکی از ۳ زیر سیستم که بصورت سری در کنار هم قرار دارند تشکیل شده است. در صورتیکه قابلیت اعتماد این سیستم‌ها ۹۸، ۹۶ و ۹٤ درصد باشد، قابلیت اعتماد کل سیستم را بدست آورید.

☑ **حل:** از معادله ۱-۵: $R=\sum_{i=۱}^{n}R_i=٪۹۸\left(٪۹۶\right)٪۹۴=٪۸۸$

۱-۱۸- تا ۱-۲۰-

☑ **حل:** حل از طریق توابع توزیع نمایی و به عهده دانشجو می‌باشد.

۱-۲۱- بلوک‌های A، B و C و بلوک شیاردار D با اندازه‌های a، b، c و d را در نظر بگیرید. با در نظر گرفتن اندازه‌های زیر (الف) میانگین فاصله $\overline{W}$ و تلرانس آن را بدست آورید. (ب) میانگین اندازه d که رابطه $W\geq ٪۰۱۰\ \text{in}$ را تضمین کند، بدست آورید.

☑ **حل:**

$a=۱٫۵۰۰\pm ٪۰۰۱\ \text{in}$

$b=۲٫۰۰۰\pm ٪۰۰۳\ \text{in}$

$c=۳٫۰۰۰\pm ٪۰۰۴\ \text{in}$

$d=۶٫۵۲۰\pm ٪۰۱۰\ \text{in}$

الف) $\bar{w}=\bar{d}-\bar{a}-\bar{b}-\bar{c}=۶٫۵۲۰-۱٫۵-۲-۳=٪۰۲۰\ \text{in}$

$t_w=\sum t_{all}=٪۰۰۱+٪۰۰۳+٪۰۰۴+٪۰۱۰=٪۰۱۸$

$W=٪۰۲۰\pm ٪۰۱۸\ \text{IN}$

ب) از قسمت الف $w_{min}=٪۰۰۲\ \text{in}$

بنابراین باید مقدار ۰٫۰۰۸ in را به $\bar{d}$ اضافه گردد و خواهیم داشت: (پاسخ) $\bar{d}=۶٫۵۲۰+٪۰۰۸=۶٫۵۲۸\ \text{in}$

۱-۲۲- حجم یک منشور متوازی‌السطوح توسط رابطه $V=xyz$ بدست می‌آید. در صورتیکه در این رابطه $x=a\pm\Delta a$، $y=b\pm\Delta b$ و $z=c\pm\Delta c$ باشد، نشان دهید که: $\frac{\Delta V}{\bar{V}}=\frac{\Delta a}{\bar{a}}+\frac{\Delta b}{\bar{b}}+\frac{\Delta c}{\bar{c}}$ از این نتیجه استفاده کرده و تلورانس دو طرفه منشوری با ابعاد زیر را تعیین کنید.

$a = ۱/۵۰۰ \pm ۰/۰۰۲\,in \qquad b = ۱/۸۷۵ \pm ۰/۰۰۳\,in \qquad c = ۳/۰۰۰ \pm ۰/۰۰۴\,in$

☑ **حل:**

$V = xyz,\ x = a \pm \Delta a,\ b \pm \Delta b,\ c \pm \Delta c$

$\bar{V} = abc$

$V = (a \pm \Delta a)(b \pm \Delta b)(c \pm \Delta c) = abc \pm bc\Delta a \pm ac\Delta b \pm ab\Delta c \pm a\Delta b\Delta c \pm b\Delta c\Delta a \pm c\Delta a\Delta b \pm \Delta a\Delta b\Delta c$

از پارامتر Δ با توان‌های بالا صرفنظر کنید بنابراین:

$$\Delta V = bc\Delta a + ac\Delta b + ab\Delta c$$

$$\frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{bc\Delta a + ac\Delta b + ab\Delta c}{abc} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta a}{\bar{a}} + \frac{\Delta b}{\bar{b}} + \frac{\Delta c}{\bar{c}}$$

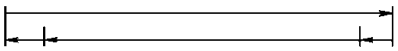
برای مقادیر عددی داده شده داریم: $\bar{V} = ۱/۵۰۰(۱/۸۷۵)۳/۰۰۰ = ۸/۴۳۷۵$

$$\frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{۰/۰۰۲}{۱/۵۰۰} + \frac{۰/۰۰۳}{۱/۸۷۵} + \frac{۰/۰۰۴}{۳/۰۰۰} = ۰/۰۰۴۲۷ \Rightarrow \Delta V = ۰/۰۰۴۲۷(۸/۴۳۷۵) = ۰/۰۳۶\,in^۳$$

$V = ۸/۴۳۸ \pm ۰/۰۳۶\,in^۳$ (پاسخ)

۱-۲۳- در اتصال پین و پنجه مفصلی شکل زیر می‌خواهیم اندازه پین $(a \pm ta)$ را تعیین کنیم. ضخامت قسمت مفصلی $۱/۵۰۰ \pm ۰/۰۰۵\,in$ می‌باشد. طراح به این نتیجه رسیده است که عملکرد مطلوب در محدوده تلرانسی $۰/۰۰۴\,in$ تا $۰/۰۵\,in$ بدست می‌آید. با در نظر گرفتن این شرایط اندازه a و تلرانس آن را تعیین کنید.

☑ **حل:**



$w_{max} = ۰/۰۵\,in,\ w_{min} = ۰/۰۰۴\,in$

$$\bar{w} = \frac{۰/۰۵ + ۰/۰۰۴}{۲} = ۰/۰۲۷\,in$$

بنابراین: $\Delta w = ۰/۰۵ - ۰/۰۲۷ = ۰/۰۲۳$

در نتیجه: $w = ۰/۰۲۷ \pm ۰/۰۲۳$

$$\bar{w} = \bar{a} - \bar{b} - \bar{c}$$

$$۰/۰۲۷ = \bar{a} - ۰/۰۴۲ - ۱/۵ \Rightarrow \bar{a} = ۱/۵۶۹\,in$$

$$t_w = \sum t_{all} \Rightarrow ۰/۰۲۳ = t_a + ۰/۰۰۲ + ۰/۰۰۵ \Rightarrow t_a = ۰/۰۱۶\,in$$

بنابراین: $a = ۱/۵۶۹ \pm ۰/۰۱۶\,in$ (پاسخ)

۱-۲۴- در شکل زیر یک اورینگ حلقوی را مشاهده می‌کنید. بطور مثال طبق استاندارد AS۵۸۶A شماره ۲۴۰ اورینگی با مشخصات می‌باشد:

$d = ۰/۱۳۹ \pm ۰/۰۰۴\,in$، $D_i = ۳.۷۳۴ \pm ۰/۰۲۸\,in$، میانگین قطر خارجی اورینگ .D و تلرانس دو طرفه مربوطه را محاسبه کنید.

☑ **حل:**

$$\bar{D}_o = \bar{D}_i + ۲\bar{d} = ۳/۷۳۴ + ۲(۰/۱۳۹) = ۴/۰۱۲$$

$$t_{D_o} = \sum t_{all} = ۰/۰۲۸ + ۲(۰/۰۰۴) = ۰/۰۳۶$$

$D_o = ۴/۰۱۲ \pm ۰/۰۳۶\,in$ (پاسخ)

۱-۲۵- مسئله ۱۷ را با در نظر گرفتن اورینگ شماره ۱۱۰ استاندارد AS۵۶۸A تکرار کنید. مسئله را در سیستم SI حل کنید. توجه: حل مسئله نیاز به تحقیق دارد.

☑ **حل:** از اورینگ‌های اخذ شده از یک شرکت (oringsusa.com)

$$D_i = ۹/۱۹ \pm ۰/۱۳\,mm,\ d = ۲/۶۲ \pm ۰/۰۸\,mm$$

$$\bar{D}_o = \bar{D}_i + ۲\bar{d} = ۹/۱۹ + ۲(۲/۶۲) = ۱۴/۴۳\,mm$$

$$t_{D_o} = \sum t_{all} = ۰/۱۳ + ۲(۰/۰۸) = ۰/۲۹\,mm$$

$D_o = ۱۴/۴۳ \pm ۰/۲۹\,mm$ (پاسخ)

۱-۲۶- مسئله ۱۷ را با در نظر گرفتن اورینگ شماره ۲۲۰ استاندارد AS۵۶۸A تکرار کنید. مسئله را

در سیستم SI حل کنید. توجه: حل مسئله نیاز به تحقیق دارد.

☑ **حل:** از اورینگ‌های اخذ شده از یک شرکت (oringsusa.com)

$$D_i = ۳۴/۵۲ \pm ۰/۳۰ \text{ mm}, \quad d = ۳/۵۳ \pm ۰/۱۰ \text{ mm}$$
$$\bar{D}_o = \bar{D}_i + ۲\bar{d} = ۳۴/۵۲ + ۲(۳/۵۳) = ۴۱/۵۸ \text{ mm}$$
$$t_{D_o} = \sum t_{all} = ۰/۳۰ + ۲(۰/۱۰) = ۰/۵۰ \text{ mm}$$
$$D_o = ۴۱/۵۸ \pm ۰/۵۰ \text{ mm} \quad \text{(پاسخ)}$$

۱-۲۷- مسئله ۱۷ را با در نظر گرفتن اورینگ شماره ۱۶۰ استاندارد AS۵۶۸A تکرار کنید. مسئله را در سیستم ips حل کنید. توجه: حل مسئله نیاز به تحقیق دارد.

☑ **حل:** از اورینگ‌های اخذ شده از یک شرکت (oringsusa.com)

$$D_i = ۵/۲۳۷ \pm ۰/۰۳۵ \text{ mm}, \quad d = ۰/۱۰۳ \pm ۰/۰۰۳ \text{ mm}$$
$$\bar{D}_o = \bar{D}_i + ۲\bar{d} = ۵/۲۳۷ + ۲(۰/۱۰۳) = ۵/۴۴۳$$
$$t_{D_o} = \sum t_{all} = ۰/۰۳۵ + ۲(۰/۰۰۳) = ۰/۰۴۱$$
$$D_o = ۵/۴۴۳ \pm ۰/۰۴۱ \text{ in} \quad \text{(پاسخ)}$$

۱-۲۸- مسئله ۱۷ را با در نظر گرفتن اورینگ شماره ۳۲۰ استاندارد AS۵۶۸A تکرار کنید. مسئله را در سیستم ips حل کنید. توجه: حل مسئله نیاز به تحقیق دارد.

☑ **حل:** از اورینگ‌های اخذ شده از یک شرکت (oringsusa.com)

$$D_i = ۱/۱۰۰ \pm ۰/۰۱۲ \text{ in}, \quad d = ۰/۲۱۰ \pm ۰/۰۰۵$$
$$\bar{D}_o = \bar{D}_i + ۲\bar{d} = ۱/۱۰۰ + ۲(۰/۲۱۰) = ۱/۵۲۰$$
$$t_{D_o} = \sum t_{all} = ۰/۰۱۲ + ۲(۰/۰۰۵) = ۰/۰۲۲$$
$$D_o = ۱/۵۲۰ \pm ۰/۰۲۲ \text{ in} \quad \text{(پاسخ)}$$

۱-۲۹- کمیت‌های داده شده را به واحدهای ips تبدیل کنید. (الف) تنش $\sigma = ۱۵۰ \text{ Mpa}$ (ب) نیرو $F = ۲ \text{ kN}$ (پ) گشتاور $M = ۱۵۰ \text{ N.m}$ (ت) سطح $A = ۱۵۰۰ \text{ mm}^۲$ (ث) گشتاور دوم سطح $I = ۷۵۰ \text{ cm}$ (ج) مدول الاتیسیته $E = ۱۴۵ \text{ Gpa}$ (چ) سرعت $\nu = ۷۵ \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (ح) حجم $V = ۱ \text{ lit}$

☑ **حل:** از جدول الف-۲ داریم:

الف) $\sigma = \frac{۱۵۰}{۶/۸۹} = ۲۱/۸ \text{ kpsi}$ (پاسخ)

ب) $F = \frac{۲}{۴/۴۵} = ۰/۴۴۹ \text{ kip} = ۴۴۹ \text{ lbf}$ (پاسخ)

پ) $M = \frac{۱۵۰}{۰/۱۱۳} = ۱۳۳۰ \text{ lbf.in} = ۱/۳۳ \text{ kip.in}$ (پاسخ)

ت) $A = \frac{۱۵۰۰}{۲۵/۴^۲} = ۲/۳۳ \text{ in}^۲$ (پاسخ)

ث) $I = \frac{۷۵۰}{۲/۵۴^۴} = ۱۸/۰ \text{ in}^۴$ (پاسخ)

ج) $E = \frac{۱۴۵}{۶/۸۹} = ۲۱/۰ \text{ Mpsi}$ (پاسخ)

چ) $\nu = \frac{۷۵}{۱/۶۱} = ۵۶/۶ \text{ mi/h}$ (پاسخ)

ح) $V = \frac{۱۰۰۰}{۹۴۶} = ۱/۰۶ \text{ qt}$ (پاسخ)

۱-۳۰- کمیت‌های داده شده را به واحدهای SI تبدیل کنید. (الف) طول $L=۵\ ft$ **(ب) تنش** $\sigma=۹۰\ kpsi$ **(پ) فشار** $P=۲۵\ psi$ **(ت) مدول سطح مقطع** $Z=۱۲\ in^۳$ **(ث) وزن گسترده** $W=۰/۲۰۸\ lbf/in$ **(ج) تغییر شکل** $\delta=۰/۰۰۱۸۹\ in$ **(چ) سرعت** $v=۰/۰\ ft/min$ **(ح) کرنش** $\Sigma=۰/۰۰۲۱۵\ \frac{in}{in}$ **(خ) حجم** $V=۱۸۳۰\ in^۳$

☑ **حل:** از جدول الف-۲ داریم:

الف) $l=۵(۰/۳۰۵)=۱/۵۳\ m$ (پاسخ)

ب) $\sigma=۹۰(۶/۸۹)=۶۲۰\ MPa$ (پاسخ)

پ) $p=۲۵(۶/۸۹)=۱۷۲\ kPa$ (پاسخ)

ت) $Z=۱۲(۱۶/۴)=۱۹۷\ cm^۳$ (پاسخ)

ث) $w=۰/۲۰۸(۱۷۵)=۳۶/۴\ N/m$ (پاسخ)

ج) $\delta=۰/۰۰۱۸۹(۲۵/۴)=۰/۰۴۸۰\ mm$ (پاسخ)

چ) $v=۱۲۰۰(۰/۰۰۵۱)=۶/۱۲\ m/s$ (پاسخ)

ح) $\varepsilon=۰/۰۰۲۱۵(۱)=۰/۰۰۲۱۵\ mm/mm$ (پاسخ)

خ) $V=۱۸۳۰\left(۲۵/۴^۳\right)=۳۰/۰\left(۱۰^۶\right)mm^۳$ (پاسخ)

۱-۳۱- معمولاً نتایج طراحی تا ۳ رقم اعشاری در نظر گرفته می‌شود، چرا که داده‌ها را نمی‌توان با دقتی بیش از این نمایش داد. ضمناً پیشوندها را بایستی به گونه‌ای انتخاب کرد که ارقام قبل از ممیز به ۴ رقم محدود گردد. با در نظر گرفتن این قواعد و قواعد انتخاب پیشوندها، روابط زیر را حل کنید: (الف) $\sigma=\frac{M}{Z}$ **که در آن** $M=۱۷۷۰\ lbf.in$ **و** $Z=۰/۰۹۳۴\ in^۳$ **است. (ب)** $\sigma=\frac{F}{A}$ **که در آن** $F=۹۹۴۰\ lbf$ **و** $A=۲۳/۸\ in^۲$ **است. (پ)** $y=\frac{FL^۳}{۳EI}$ **که در آن،** $F=۲۷۰\ lbf$ ، $L=۳۱/۵\ in$ **و** $I=۰/۱۵۴\ in^۴$ **است. (ت)** $\theta=TL/GJ$ **که در آن** $T=۹۷۴۰\ lbf.in$ ، $L=۹/۸۵\ in$ ، $G=۱۱/۳\ Mpsi$ **و** $d=۱/۰۰\ in$ **است.**

☑ **حل:** الف) $\sigma=\frac{M}{Z}=\frac{۱۷۷۰}{۰/۹۳۴}=۱۸۹۵\ psi=۱/۹۰\ kpsi$ (پاسخ)

ب) $\sigma=\frac{F}{A}=\frac{۹۴۴۰}{۲۳/۸}=۳۹۷\ psi$ (پاسخ)

پ) $y=\frac{Fl^۳}{۳EI}=\frac{۲۷۰(۳۱/۵)^۳}{[۳(۳۰)۱۰^۶(۰/۱۵۴)]}=۰/۶۰۹\ in$ (پاسخ)

ت) $\theta=\frac{Tl}{GJ}=\frac{۹۷۴۰(۹/۸۵)}{\left[۱۱/۳\left(۱۰^۶\right)\left(\frac{\pi}{۳۲}\right)۱/۰۰^۴\right]}=۶۲/۲\ MPa$ (پاسخ)

۱-۳۲- مسئله ۲۴ را برای روابط زیر تکرار کنید. (الف) $\sigma=F/Wt$ **که در آن** $F=۱\ kN$ ، $W=۲۵\ mm$ **و** $t=۵\ mm$ **است. (ب)** $I=bh^۳/۱۲$ **که در آن** $b=۱۰\ mm$ **و** $h=۲۵\ mm$ **است. (پ)** $I=\pi d^۴/۶۴$ **که در آن** $T=۲۵\ N.m$ **و** $d=۱۲/۷\ mm$ **است.**

☑ **حل:** الف) $\sigma=\frac{F}{wt}=\frac{۱۰۰۰}{[۲۵(۵)]}=۸\ MPa$ (پاسخ)

ب) $I=\frac{bh^۳}{۱۲}=\frac{۱۰(۲۵)^۳}{۱۲}=۱۳/۰\left(۱۰^۳\right)mm^۴$ (پاسخ)

پ) $I=\frac{\pi d^{۴}}{۶۴}=\frac{\pi(۲۵/۴)^{۴}}{۶۴}=۲۰/۴(۱۰^{۳})\ mm^{۴}$ (پاسخ)

ت) $\tau=\frac{۱۶T}{\pi d^{۳}}=\frac{۱۶(۲۵)۱۰^{۳}}{\left[\pi(۱۲/۷)^{۳}\right]}=۶۲/۲\ MPa$ (پاسخ)

۱-۳۳- مسئله ۲۴ را برای روابط زیر تکرار کنید. (الف) $\tau=\frac{F}{A}$ **که در آن** $A=\pi d^{۲}/۴$ ، $F=۲۷۰۰\ lbf$ **و** $d=۰/۷۵۰\ in$ **است. (ب)** $\sigma=Fa/\pi d^{۳}$ **که در آن** $F=۱۸۰\ lbf$ ، $a=۳۱/۵\ in$ **و** $d=۱/۲۵\ in$ **است. (پ)** $Z=\pi\left(d_o^{۴}-d_i^{۴}\right)/(۳۲d_o)$ **که در آن** $d_o=۱/۵۰\ in$ **و** $d_i=۱/۰۰\ in$ **است. (ت)** $k=\left(d^{۴}G\right)/\left(۸D^{۳}N\right)$ **که در آن** $d=۰/۰۶۲۵\ in$ **و** $G=۱۱/۳\ Mpsi$ ، $D=۰/۷۶۰\ in$ **و** $N=۳۲$ **است (N عددی بدون بعدی می‌باشد)**

☑ **حل:** الف) $\tau=\frac{F}{A}=\frac{۲۷۰۰}{\left[\frac{\pi(۰/۷۵۰)^{۲}}{۴}\right]}=۶۱۱۰\ psi=۶/۱۱\ kpsi$ (پاسخ)

ب) $\sigma=\frac{۳۲Fa}{\pi d^{۳}}=\frac{۳۲(۱۸۰)۳۱/۵}{\left[\pi(۱/۲۵)^{۳}\right]}=۲۹۵۷۰\ psi=۲۹/۶\ kpsi$ (پاسخ)

پ) $Z=\frac{\pi\left(d_o^{۴}-d_i^{۴}\right)}{(۳۲d_o)}=\frac{\pi\left(۱/۵۰^{۴}-۱/۰۰^{۴}\right)}{\left[۳۲(۱/۵۰)\right]}=۰/۲۶۶\ in^{۳}$ (پاسخ)

ت) $k=\frac{\left(d^{۴}G\right)}{\left(۸D^{۳}N\right)}=\frac{۰/۰۶۲۵^{۴}(۱۱/۳)۱۰^{۶}}{\left[۸(۰/۷۶۰)^{۳}۳۲\right]}=۱/۵۳\ lbf/in$ (پاسخ)

فصل ۲

مواد

۲-۱- برای مواد زیر استحکام کششی و تسلیم را تعیین کنید. (الف) فولاد نورد گرم شده UNSG ۱۰۲۰۰ (ب) فولاد سرد کشیده شده SAE۱۰۵۰ (پ) فولاد AISI۱۱۴۱ که آب‌دهی و در دمای ۵۴۰°C آبگیری شده است. (ت) آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴-T۴ (ث) آلیاژ تیتانیم باز پخت شده (آنیل) Ti-۶Al-۴V

☑ **حل:** از جداول الف-۲۰، الف-۲۱ و الف-۲۳ داریم:

الف) فولاد نورد گرم شده UNSG۱۰۲۰۰: $S_{ut}=۳۸۰(۵۵)MPa(kpsi)$, $S_{yt}=۲۱۰(۳۰)Mpa(kpsi)$

ب) فولاد سرد کشیده شده SAE۱۰۵۰: $S_{ut}=۶۹۰(۱۰۰)MPa(kpsi)$, $S_{yt}=۵۸۰(۸۴)Mpa(kpsi)$

پ) فولاد آب‌دهی شده AISI۱۱۴۱ که در دمای ۵۴۰°C آبگیری شده: $S_{ut}=۸۹۰(۱۳۰)MPa(kpsi)$

$S_{yt}=۷۶۵(۱۱۱)$

ت) آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴-T۴: $S_{ut}=۴۴۶(۶۴/۸)MPa(kpsi)$, $S_{yt}=۲۹۶(۴۳/۰)Mpa(kpsi)$

ث) آلیاژ تیتانیوم بازپخت شده: $S_{ut}=۹۰۰(۱۳۰)MPa(kpsi)$, $S_{yt}=۸۳۰(۱۲۰)Mpa(kpsi)$

۲-۲- فرض کنید که در یک کاربرد خاص می‌خواهیم از فولاد AISI۱۰۶۰ استفاده کنیم. بااستفاده از جدول الف- ۲۱، (الف) در صورتیکه نیاز به استحکام حداکثری داشته باشید چگونه این کار را انجام می‌دهید. (ب) در صورتیکه نیاز به شکل‌پذیری حداکثری داشته باشید چگونه این کار را انجام می‌دهید.

☑ **حل:** حداکثر استحکام تسلیم: آب‌دهی و آب‌گیری در دمای ۴۲۵°C (۸۰۰°F) (پاسخ)

حداکثر تغییر طول: آب‌دهی و آب‌گیری در دمای ۶۵۰°C (۱۲۰۰°F) (پاسخ)

۲-۳- نسبت استحکام به چگالی وزنی (استحکام ویژه) را در واحد kN.m/kg و برای فولاد سرد کشیده شده AISI۱۰۱۸ آلومینیوم ۲۰۱۱-T۶، آلیاژ تیتانیوم Ti-۶Al-۴V و چدن خاکستری ASTMNo.۴۰ بدست آورید.

☑ **حل:** با تبدیل $kN/m^۳$ به $kg/m^۳$ ضربدر $\frac{۱(۱۰^۳)}{۹/۸۱}=۱۰۲$

برای فولاد سرد کشیده شده AISI۱۰۸۰ از جداول الف-۲۰ و الف-۵ داریم:

$$\frac{S_y}{\rho}=\frac{۳۷۰(۱۰^۳)}{۷۶/۵(۱۰۲)}=۴۷/۴\ kN.m/kg \quad \text{(پاسخ)}$$

برای آلومینیوم ۲۰۱۱-T۶ از جداول الف-۲۲ و الف-۵ داریم:

$$\frac{S_y}{\rho}=\frac{۱۹۶(۱۰^۳)}{۲۶/۶(۱۰۲)}=۶۲/۳\ kN.m/kg \quad \text{(پاسخ)}$$

برای تیتانیوم Ti-۶A۱-۴V از جداول الف-۲۴ج و الف-۵ داریم:

$$\frac{S_y}{\rho}=\frac{۸۳۰(۱۰^۳)}{۴۳/۴(۱۰۲)}=۱۸۷\ kN.m/kg \quad \text{(پاسخ)}$$

چدن ASTM شماره ۴۰: جداول الف-۲۴ الف و الف-۵ مقادیر استحکام تسلیم را ندارد لذا از مقادیر استحکام نهایی در کشش استفاده می‌کنیم.

$$\frac{S_y}{\rho}=\frac{۴۲/۵(۶/۸۹)(۱۰^۳)}{۷۰/۶(۱۰۲)}=۴۰/۷\ kN.m/kg \quad \text{(پاسخ)}$$

۲-٤- نسبت سفتی به چگالی وزنی (مدول ویژه) را در واحدهای اینچی و برای فولاد سرد کشیده AISI۱۰۱۸ آلومینیوم ۲۰۱۱-T۶، آلیاژ تیتانیوم Ti-۶Al-۶V و چون خاکستری ASTMNo.۴۰ بدست آورید.

☑ **حل:** برای فولاد سرد کشیده شده AISI۱۰۱۸ از جدول الف–۵ داریم:

$$\frac{E}{\gamma}=\frac{۳۰/۰\left(۱۰^{۶}\right)}{۰/۲۸۲}=۱۰۶\left(۱۰^{۶}\right)\text{in}$$ (پاسخ)

برای آلومینیوم ۲۰۱۱–T۶ از جدول الف–۵ داریم:

$$\frac{E}{\gamma}=\frac{۱۰/۴\left(۱۰^{۶}\right)}{۰/۰۹۸}=۱۰۶\left(۱۰^{۶}\right)\text{in}$$ (پاسخ)

برای آلومینیوم Ti–۶AL–۶۷ از جدول الف–۵ داریم:

$$\frac{E}{\gamma}=\frac{۱۶/۵\left(۱۰^{۶}\right)}{۰/۱۶۰}=۱۰۳\left(۱۰^{۶}\right)$$ (پاسخ)

برای چدن شماره ۴۰ از جدول الف–۵ داریم:

$$\frac{E}{\gamma}=\frac{۱۴/۵\left(۱۰^{۶}\right)}{۰/۲۶۰}=۵۵/۸\left(۱۰^{۶}\right)$$ (پاسخ)

۲–۵– ضریب پواسون ν یکی از خصوصیات ماده است که بصورت نسبت کرنش عرضی به کرنش طولی در یک عضو تحت کشش تعریف می‌شود. در یک ماده همگن و ایزوتروپیک رابطه زیر بین مدول برشی G و مدول یانگ E برقرار است. $G=\frac{E}{۲(۱+\nu)}$ بااستفاده از جدول الف–۵ و مقادیر G و E، ضریب پواسون را برای فولاد، آلومینیوم، مس بریلیم‌دار و چدن خاکستری تعیین کنید. درصد اختلاف بین مقدار محاسبه شده و مقدار درج شده در جدول الف–۵ را حساب کنید.

☑ **حل:**

$$۲G(۱+\nu)=E\Rightarrow\nu=\frac{E-۲G}{۲G}$$

از جدول الف–۵ داریم:

فولاد: $\nu=\frac{۳۰/۰-۲(۱۱/۵)}{۲(۱۱/۵)}=۰/۳۰۴$ (پاسخ)

آلومینیوم: $\nu=\frac{۱۰/۴-۲(۳/۹۰)}{۲(۳/۹۰)}=۰/۳۳۳$ (پاسخ)

مس برلیم: $\nu=\frac{۱۸/۰-۲(۷/۰)}{۲(۷/۰)}=۰/۲۸۶$ (پاسخ)

چدن خاکستری: $\nu=\frac{۱۴/۵-۲(۶/۰)}{۲(۶/۰)}=۰/۲۰۸$ (پاسخ)

۲–۶– یک نمونه آزمایشگاهی از جنس فولاد با قطر ۰/۵۰۳ in و طول ۲ in تحت کشش قرار گرفته است. نتایج آزمایش در حالت الاستیک و پلاستیک بصورت زیر می‌باشد. توجه کنید که داده‌ها کمی همپوشانی دارند. (الف) نمودار تنش – کرنش مهندسی یا اسمی را با در نظر گرفتن دو مقیاس کرنش؛ یکی از صفر تا ۰/۰۲ in و دیگر از صفر تا بیشترین کرنش را رسم کنید. (ب) بااستفاده از نمودار مدول الاستیسیته، کرنش ۰/۲ درصد انحراف، استحکام نهایی و درصد کاهش سطح مقطع را بدست آورید. (پ) مشخص کنید که ماده شکل‌پذیر است یا شکننده، دلیل خود را شرح دهید. (ت) از جدول الف–۲۰ ماده‌ای را انتخاب کنید که انطباق منطقی با داده‌های بدست آمده داشته باشد.

Elastic State		Plastic State	
Load P lbf	Elongation in	Load P lbf	Area A_i in^2
1 000	0.0004	8 800	0.1984
2 000	0.0006	9 200	0.1978
3 000	0.0010	9 100	0.1963
4 000	0.0013	13 200	0.1924
7 000	0.0023	15 200	0.1875
8 400	0.0028	17 000	0.1563
8 800	0.0036	16 400	0.1307
9 200	0.0089	14 800	0.1077

☑ **حل:** الف) $A_. = \frac{\pi(۰/۵۰۳)^۲}{۴}$, $\sigma = \frac{P_i}{A_.}$

برای داده‌ها در بازه الاستیک: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_.} = \frac{\Delta l}{۲}$

برای داده‌ها در بازه پلاستیک: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_.} = \frac{l - l_.}{l_.} = \frac{l}{l_.} - ۱ = \frac{A_.}{A} - ۱$

در دو صفحهٔ بعد، اطلاعات و نمودارها توضیح داده شده است. شکل (الف) قطعهٔ خطی یک منحنی از داده‌های نقاط ۱–۷ را نشان می‌دهد. در شکل (ب) داده‌های نقاط ۱–۱۲ نشان داده شده است و در شکل (ج) تمامی بازه‌ها نشان داده شده است. توجه: مقدار دقیق پارامتر $A_.$ بدون گرد کردن استفاده شده است.

ب) از شکل الف: شیب برگشت خطی برابر است با: $E = ۳۰/۵\ Mpsi$ (پاسخ)

از شکل ب: معادله خط خمیده منقوط برابر است با: $\sigma = ۳۰/۵(۱۰^۶)\varepsilon - ۶۱۰۰۰$ (۱)

معادلهٔ خط بین نقاط داده‌های ۸ و ۹ برابر است با: $\sigma = ۷/۶۰(۱۰^۵)\varepsilon + ۴۲۹۰۰$ (۲)

معادله ۱و ۲ را بطور همزمان با استحکام تسلیم ۰/۲ درصد استحکام تسلیم $\sigma = ۴۵/۶\ kpsi$ و $S_y = ۴۵/۶$ حل کنید. مقدار استحکام نهایی از شکل ج برابر است با: $S_u = ۸۵/۶\ kpsi$ (پاسخ)

و کاهش در سطح توسط رابطه ۲–۱۲ داده شده برابر است با:

$R = \frac{A_. - A_f}{A_.}(۱۰۰) = \frac{۰/۱۹۸۷ - ۰/۱۰۷۷}{۰/۱۹۸۷}(۱۰۰) = ۴۵/۸\,\%$ (پاسخ)

ردیف داده‌ها	P_i	$\Delta l, A_i$	ε	σ
۱	۰	۰	۰	۰
۲	۱۰۰۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲۰	۵۰۳۲
۳	۲۰۰۰	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳۰	۱۰۰۶۵
۴	۳۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵۰	۱۵۰۹۷
۵	۴۰۰۰	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۶۵	۲۰۱۳۰
۶	۷۰۰۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۱۵	۳۵۲۲۷
۷	۸۴۰۰	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۴۰	۴۲۲۷۲
۸	۸۸۰۰	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۱۸۰	۴۴۲۸۵
۹	۹۲۰۰	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۴۴۵	۴۶۲۹۸
۱۰	۸۸۰۰	۰/۱۹۸۴	۰/۰۰۱۵۸	۴۴۲۸۵
۱۱	۹۲۰۰	۰/۱۹۷۸	۰/۰۰۴۶۱	۴۶۲۹۸
۱۲	۹۱۰۰	۰/۱۹۶۳	۰/۰۱۲۲۹	۴۵۷۹۵
۱۳	۱۳۲۰۰	۰/۱۹۲۴	۰/۰۳۲۸۱	۶۶۴۲۸
۱۴	۱۵۲۰۰	۰/۱۸۷۵	۰/۰۵۹۸۰	۷۶۴۹۲
۱۵	۱۷۰۰۰	۰/۱۵۶۳	۰/۲۷۱۳۶	۸۵۵۵۱
۱۶	۱۶۴۰۰	۰/۱۳۰۷	۰/۵۲۰۳۷	۸۲۵۳۱
۱۷	۱۴۸۰۰	۰/۱۰۷۷	۰/۸۴۵۰۶	۷۴۴۷۹