بسم الله الرحمن الرحیم

محاسبات فنی (۲)

رشتهٔ مکانیک خودرو

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۱۸۹۳

۶۲۰ تولّا، محمّدحسن
۰۰۴۲/ محاسبات فنی (۲)/ مؤلفان: محمّدحسن تولّا، اسدالله ملکی، حسن قاسمیه.ــ [ویرایش‌دوم]/
م ۸۶۶ ت/ بازسازی و تجدید نظر : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ مکانیک خودرو.
۱۳۹۴ ــ تهران : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.
۱۴۶ ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۱۸۹۳)
متون درسی رشتهٔ مکانیک خودرو، زمینهٔ صنعت.
۱. ریاضیات مهندسی. ۲. آنالیز عددی. الف. ملکی، اسدالله. ب. قاسمیه، حسن.
ج. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشتهٔ مکانیک خودرو. د. عنوان. هـ. فروست.

۱۳۹۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب بـه نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف‌کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) **info@tvoccd.sch.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.sch.ir**

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **محاسبات فنی(۲) ـ ۴۹۳/۶**

مؤلفان : **محمّدحسن تولّا، اسدالله ملکی و حسن قاسمیه**

اعضای کمیسیون تخصصی : **عزیزخوشینی، محمّدرضا اکتسابی، محسن حاج‌سیف‌اللهی، داود نجف‌زاده، عزیزالله اصغری و امیرهمایون چنگیزی**

بازسازی و تجدیدنظر : **کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشتهٔ مکانیک**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا : **صغریٰ عابدی**

طراح جلد : **علیرضا رضائی‌کُر**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش)**

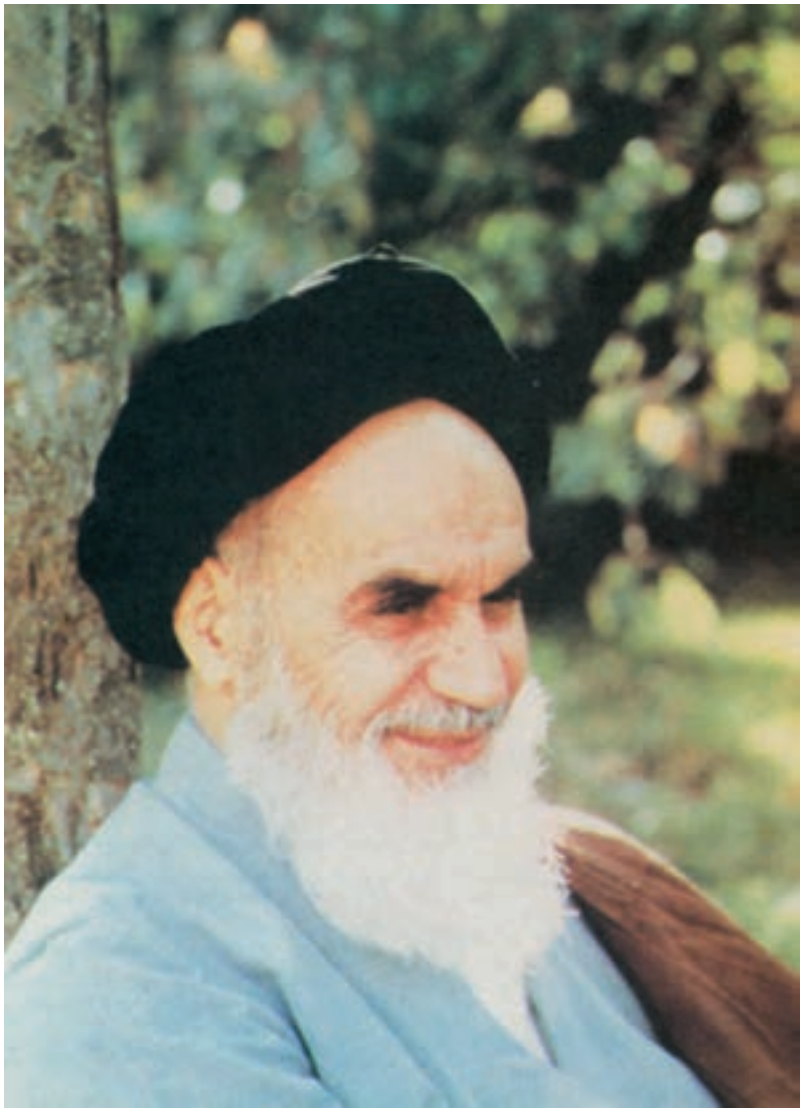
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران« سهامی خاص»**

سال انتشار : **۱۳۹۴**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۱-۱۹۲-۰۵-۹۶۴ **ISBN 964-05-0192-1**



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست مطالب

مقدّمه

فصل اوّل : محاسبات حجم سیلندر و نسبت تراکم ۱

هدف‌های رفتاری ۱

۱ـ۱ـ محاسبهٔ سطح پیستون ۱

۱ـ۲ـ محاسبات حجم سیلندر ۲

۱ـ۲ـ۱ـ حجم مفید سیلندر (V_s) ۲

۱ـ۲ـ۲ـ حجم کل (V_t) و حجم تراکم (V_c) سیلندر ۳

۱ـ۳ـ حجم مفید موتور (V_E) ۴

۱ـ۴ـ نسبت تراکم (R_c) ۵

۱ـ۴ـ۱ـ تغییرات نسبت تراکم ۶

۱ـ۴ـ۲ـ تراش سرسیلندر ۶

۱ـ۴ـ۳ـ تراش سیلندر ۷

۱ـ۴ـ۴ـ اگر سیلندر و سرسیلندر هر دو تراش بخورند ۸

تمرین ۹

فصل دوم : محاسبات سرعت، گشتاور و قدرت موتور ۱۲

هدف‌های رفتاری ۱۲

۱ـ۲ـ سرعت متوسّط پیستون و سرعت محیطی میل‌لنگ ۱۲
۱ـ۱ـ۲ـ سرعت متوسّط پیستون (V_m) ۱۲
۲ـ۱ـ۲ـ سرعت محیطی میل‌لنگ (V_t) ۱۳
۲ـ۲ـ محاسبهٔ کار تئوری و کار مفید ۱۶
۱ـ۲ـ۲ـ فشار متوسّط احتراق (p_m) ۱۶
۲ـ۲ـ۲ـ نیروی متوسّط احتراق (F_m) ۱۶
۳ـ۲ـ۲ـ نیروی مؤثّر یا نیروی کار یک پیستون (F_{1e}) ۱۶
۴ـ۲ـ۲ـ بازده مکانیکی موتور (η_m) ۱۶
۵ـ۲ـ۲ـ کار تئوری (w_{i1}) و کار مفید (w_{e1}) یک پیستون در یک کورس ۱۷
۶ـ۲ـ۲ـ کار تئوری (w_i) و کار مفید(w_e) موتور در یک دورگردش میل‌لنگ ۱۷
۳ـ۲ـ محاسبهٔ توان تئوری و توان مفید موتور ۱۹
۱ـ۳ـ۲ـ توان تئوری (p_i) ۱۹
۲ـ۳ـ۲ـ توان مفید موتور (p_e) ۱۹
۳ـ۳ـ۲ـ توان تئوری و مفید به‌کمک حجم مفید موتور ۲۳
۴ـ۲ـ افت توان در موتور (ΔP) ۲۵
۵ـ۲ـ گشتاور موتور (M_m) ۲۷
۱ـ۵ـ۲ـ نیروی مفید موتور ۲۷
۲ـ۵ـ۲ـ رابطهٔ بین گشتاور و توان مفید موتور ۲۷
۶ـ۲ـ توان حجمی موتور (P_V) ۲۹
۷ـ۲ـ توان وزنی موتور (P_G) ۲۹
تمرین ۳۴

فصل سوم : محاسبات کلاچ ۳۹
هدف‌های رفتاری ۳۹
۱ـ۳ـ محاسبهٔ نیروی آزادسازی صفحه کلاچ هنگام کلاچ گرفتن ۳۹
مقدّمه ۳۹
۱ـ۱ـ۳ـ کلاچ‌های مکانیکی ۳۹
۲ـ۱ـ۳ـ محاسبهٔ کلاچ‌های هیدرولیکی ۴۱
۲ـ۳ـ نیروی فشار وارد بر صفحه کلاچ ۴۳

۳ـ۳ـ فشار وارد بر صفحه کلاچ (P_c) ۴۶
۴ـ۳ـ نیرو و گشتاور اصطکاکی کلاچ ۴۷
۱ـ۴ـ۳ ـ نیروی اصطکاکی کلاچ (F_f) ۴۷
۲ـ۴ـ۳ـ گشتاور اصطکاکی کلاچ (M_f) ۴۸
تمرین ۵۱

فصل چهارم : محاسبات تغییر دور و گشتاور توسط گیربکس و دیفرانسیل ۵۴
هدف‌های رفتاری ۵۴
۱ـ۴ـ محاسبهٔ تغییر دور و گشتاور در گیربکس ۵۴
۲ـ۴ـ محاسبهٔ تغییر دور و گشتاور، در گیربکس (جعبه دنده) ۵۶
۳ـ۴ـ محاسبهٔ تغییر دور و گشتاور در دیفرانسیل ۵۸
۴ـ۴ـ محاسبهٔ نیروی محرکه در گیربکس و دیفرانسیل ۶۰
تمرین ۶۲

فصل پنجم : محاسبات حرارتی موتور ۶۵
هدف‌های رفتاری ۶۵
۱ـ۵ـ مراحل تبدیل انرژی در موتور ۶۵
۲ـ۵ـ محاسبهٔ کلّ حرارت حاصل از احتراق ۶۶
۳ـ۵ـ محاسبهٔ مقدار گرمای مفید و تلف شده ۶۹
۴ـ۵ـ محاسبهٔ توان مکانیکی از طریق گرمای مفید ۷۱
۵ـ۵ـ محاسبهٔ حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده ۷۳
۶ـ۵ـ محاسبهٔ حجم سوخت مصرفی موتور ۷۶
۷ـ۵ـ محاسبهٔ مصرف ویژهٔ سوخت ۷۷
۸ـ۵ـ محاسبهٔ مصرف سوخت به ازای یک‌صد کیلومتر ۷۸
تمرین ۸۳

فصل ششم : محاسبات سوپاپ ۸۷
هدف‌های رفتاری ۸۷

۱ـ۶ـ محاسبهٔ زمان باز و بسته بودن سوپاپ‌ها ۸۷
۲ـ۶ـ محاسبهٔ زاویهٔ باز یا بسته بودن‌دهانهٔ پلاتین‌های دلکو ۸۸
تمرین ۹۱

فصل هفتم : ترمزها ۹۴
هدف‌های رفتاری ۹۴
مقدمه ۹۴
۱ـ۷ـ محاسبهٔ نیروی اصطکاکی ترمز ۹۴
۲ـ۷ـ محاسبهٔ گشتاور ترمز ۹۷
۱ـ۲ـ۷ـ گشتاور اصطکاکی ترمز برای هرچرخ (M_B) ۹۷
۳ـ۷ـ محاسبهٔ سرعت اتومبیل ۱۰۴
۴ـ۷ـ محاسبهٔ خط ترمز ۱۰۸
۵ـ۷ـ محاسبهٔ کار ترمز ۱۱۰
۶ـ۷ـ محاسبهٔ توان ترمز ۱۱۱
۷ـ۷ـ محاسبهٔ نیروی محرّکهٔ تایر ۱۱۲
تمرین ۱۱۲

فصل هشتم : محاسبهٔ نیروی مقاوم سطح شیب‌دار و نیروهای مقاومتی که ضمن حرکت خودرو ظاهر می‌شوند ۱۱۷
هدف‌های رفتاری ۱۱۷
مقدمه ۱۱۷
۱ـ۸ـ محاسبهٔ نیروی مقاومت دنده‌ها ۱۱۷
۲ـ۸ـ محاسبهٔ نیروی شتاب‌دهندهٔ اتومبیل ۱۲۱
۳ـ۸ـ محاسبهٔ شتاب حرکت اتومبیل ۱۲۲
۴ـ۸ـ محاسبهٔ نیرو و توان مقاومت مسیر ۱۲۳
۱ـ۴ـ۸ـ محاسبهٔ نیروی مقاومت غلتیدن تایر ۱۲۴
۲ـ۴ـ۸ـ محاسبهٔ نیروی مقاومت سطح شیب‌دار ۱۲۶

۳ـ۴ـ۸ـ محاسبهٔ نیروی مقاومت هوا ۱۲۸
تمرین ۱۳۲

فصل نهم : محاسبهٔ نیروی گریز از مرکز و کاربرد آن ۱۳۴
هدف‌های رفتاری ۱۳۴
۱ـ ۹ـ محاسبهٔ نیرو و شتاب در حرکت دورانی ۱۳۴
۲ـ۹ـ کاربرد نیروی گریز از مرکز ۱۳۵
۳ـ۹ـ محاسبهٔ سرعت مجاز در پیچ ۱۳۶
تمرین ۱۳۷

دستگاه آحاد اندازه‌گیری ۱۴۰

اصطلاحات و علامت‌های اختصاری ۱۴۳

فهرست منابع و مآخذ ۱۴۶

مقدّمه

سپاس خداوند قادر متعال را که به ما توفیق ارزانی داشت تا با ارائهٔ خدمت کوچکی به جوانان برومند و آینده‌سازان کشور، سهمی در ساختن ایرانی آباد داشته باشیم.

در کتب تکنولوژی مولد قدرت، انتقال قدرت، شاسی و بدنه به کیفیّت و چگونگی کار قطعات مختلف خودرو آشنا می‌شوید.

در این کتاب با بخشی از محاسبات قسمت‌ها از مکانیزم خودرو مانند محاسبات سرعت قطعات متحرک، نسبت تراکم و تغییرات آن، محاسبهٔ قدرت و گشتاور تولید شده توسط موتور و نیز محاسبات مربوط به کلاچ و ترمز و محاسبات حرارتی موتور، سیستم‌های سوپاپ و دلکو، محاسبات مربوط به نیروهایی که ضمن حرکت به خودرو اعمال می‌شود و محاسبهٔ سرعت خودرو در مسیر حرکت آشنا می‌شوید.

از همکاران ارجمندی که تدریس این کتاب را برعهده خواهند گرفت تقاضا می‌شود، هنگام تدریس علاوه بر مسایل داده شده، خود نیز تمرینات مناسب را برای هر فصل، طرح کرده به‌هنرجویان ارائه دهند. در خاتمه از کلیه استادان و صاحب‌نظرانی که این کتاب را مطالعه نموده‌اند، استدعا داریم نارسایی‌های موجود را به دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش گزارش فرمایند تا در چاپ‌های آینده از آن‌ها استفاده نماییم.

به امید آن که با تلاش و نوآوری‌های شما هنرجویان عزیز، (که آینده‌سازان و صنعت‌گران آیندهٔ کشورمان خواهید بود) به مرحله‌ای برسیم که نیاز مملکت را در ساخت و تولید انواع خودرو در داخل کشور برآورده سازیم.

مؤلفان

هدف کلی کتاب

فراگیر در پایان این درس، محاسبات مربوط به موتور، کلاچ و ترمزها، محاسبات حرارتی موتور و بخشی از محاسبات انتقال قدرت را انجام می‌دهد.

فصل اوّل

محاسبات حجم سیلندر و نسبت تراکم

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

۱ــ محاسبه‌ی سطح پیستون را انجام دهد.

۲ــ محاسبه‌ی حجم سیلندر را انجام دهد.

۳ــ نسبت تراکم را محاسبه نماید.

۴ــ محاسبات نسبت تراکم بعد از تراش سیلندر و سرسیلندر را انجام دهد.

۱ــ محاسبات حجم سیلندر و نسبت تراکم موتور

۱ــ۱ــ محاسبه‌ی سطح پیستون

برای تبدیل گرمای حاصل از احتراق سوخت به نیروی فشاری، از موتورهای پیستونی استفاده می‌شود که قسمت اساسی آن‌ها را سیلندر و پیستون تشکیل می‌دهد. اغلب، سیلندر و پیستون به‌شکل استوانه ساخته می‌شود.

سطح مقطع یا کف پیستون‌های تخت، دایره‌ای شکل است که اگر قطر آن را با (D)، شعاعش را با (R) و سطح پیستون را با (A) نشان دهیم، رابطه‌ی :

(۱ــ۱)

به دست می‌آید.

$$A = R^2 \times \frac{D^2}{4}$$

مثال (۱): مساحت کف پیستونی با قطر (۱۰۰mm) چند سانتی‌متر مربع است؟

پاسخ: $A = \frac{D^2}{4} \times \frac{10^2 \times 3/14}{4}$ $\quad D = 100mm = 10cm$

(۱) $\quad A = 78/5\ cm^2$ $\quad A = ?\ cm^2$

۲ــ۱ــ محاسبات حجم سیلندر

۱ــ۲ــ۱ــ حجم مفید سیلندر (V_S)[1]: فضایی را که پیستون ضمن حرکت از نقطه‌ی مرگ پایین تا نقطه‌ی مرگ بالا در داخل سیلندر می‌پیماید، حجم جابه‌جایی یا حجم مفید سیلندر گویند. حجم مفید برابر حجم قسمتی از استوانه است که قطر آن همان قطر پیستون و ارتفاع آن، کورس پیستون (S) می‌باشد.

کورس پیستون عبارت است از فاصله‌ی بین نقطه‌ی مرگ بالا (ن. م، ب یا T.D.C) و نقطه‌ی مرگ پایین (ن. م. پ یا B.D.C). در شکل ۱ــ۱، حجم جابه‌جایی پیستون (V_S) دیده می‌شود که به‌کمک فرمول زیر محاسبه می‌گردد :

$$V_s = A.S = \frac{D^2}{4}.S \qquad (۱ــ۲)$$

پرسش: اگر کف پیستون تخت نباشد (A) یا (V_s) تغییر خواهد کرد؟

مثال (۲): اگر قطر سیلندر (۹۰mm) و کورس پیستون (۸۰mm) باشد، حجم مفید سیلندر چند سانتی‌متر مکعب می‌شود؟

پاسخ:

$D = ۹۰mm = ۹cm$ $\qquad V_s = \frac{D^2}{4}..S$

$S = ۸۰mm = ۸cm$ $\qquad V_s = \frac{۹^2}{4}.۳/۱۴.۸ = ۵۰۸/۴cm^3$ حجم مفید سیلندر

$V_s = ?cm^3$

۱ــ واحد اندازه‌گیری هر کمیت را «دیمانسیون» آن کمیت نامند. در یک فرمول باید دیمانسیون‌های دو طرف آن به حالت موازنه درآیند.

دیمانسیون‌های اصلی عبارت‌اند از : طول (L) ، جرم (M) و زمان (T) بقیه‌ی دیمانسیون‌ها ترکیبی از این‌هاست.

مثال (۱) : $F_{(kgm/s^2)} = m_{(kg)}.a_{(m/s^2)}$

و با دیمانسیون‌های اصلی می‌شود :

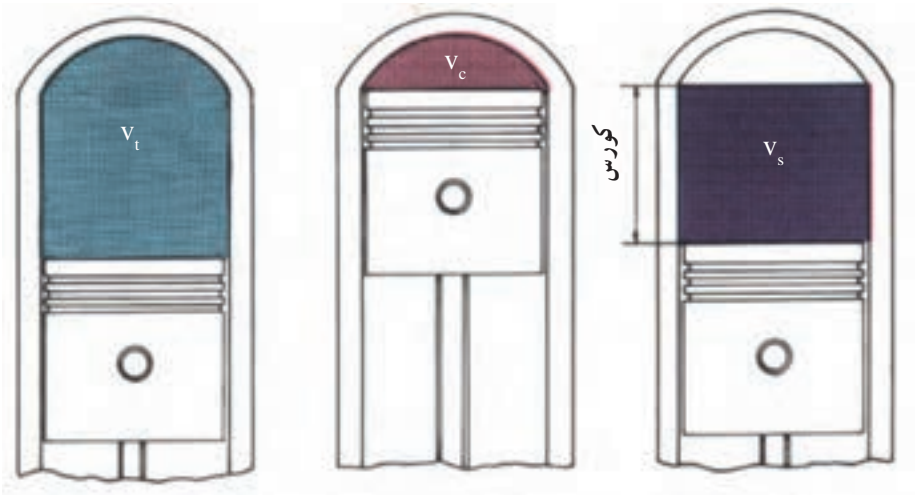
$F_{(MLT^{-2})} = m_{(M)}.a_{(LT^{-2})}$

مثال (۲) :

$V_{(cm^3)} = (R_{(cm)})^2..S_{(cm)}$

با دیمانسیون‌های اصلی می‌شود :

$V_{(L^3)} = (R_{(L)})^2..S_{(L)}$



V_s حجم مفید . V_c حجم تراکم – V_t حجم کل

شکل ۱ــ۱ــ حجم جابه‌جایی، حجم کل و حجم تراکم سیلندر[۱]

۲ــ۲ــ۱ــ حجم کل (V_t) و حجم تراکم (V_c) سیلندر: مطابق شکل (۱ــ۱) هنگامی که پیستون به پایین‌ترین حد خود، یعنی نقطه‌ی مرگ پایین (ن.م.پ) در داخل سیلندر می‌رسد، حجم بالای پیستون به بیش‌ترین مقدار (ماکزیمم) می‌رسد که با (V_t) نشان داده شده است و زمانی که پیستون به بالاترین حد خود، یعنی نقطه‌ی مرگ بالا (ن.م.ب) برسد، حجم بالای پیستون به کم‌ترین مقدار (مینیمم) کاهش می‌یابد که آن را حجم تراکم می‌نامند و با (V_c) نشان داده می‌شود. بدیهی است که تفاوت بین حجم کل و حجم تراکم، همان حجم مفید است. یعنی :

$$V_s \cdot V_t - V_c \qquad (۱ــ۳)$$

مثال (۳): اگر قطر سیلندر موتوری (۸۰mm)، کورس آن (۱۰۰mm) و حجم تراکم سیلندر ($۷۵cm^۳$) باشد، مطلوب است که :

۱ــ مساحت کف پیستون را بر حسب سانتی‌متر مربع به دست آورید.

۲ــ حجم مفید سیلندر را بر حسب سانتی‌متر مکعب محاسبه کنید.

۳ــ حجم کل سیلندر را بر حسب سانتی‌متر مکعب و لیتر حساب کنید.

۱ــ این شکل از کتاب درس فنی سال دوم کد ۵۰۶ تألیف آقای مهندس محمّد محمّدی بوساری انتخاب شده است (صفحه‌ی ۲۶ شکل ۱).

پاسخ:

$D = ۸۰mm = ۸cm$ $\quad (۱)A = \frac{D^۲}{۴} = \frac{۸^۲}{۴} = ۳/۱۴ \times ۵۰/۲۴cm^۲$

$S = ۱۰۰mm = ۱۰cm$ $\quad (۲)V_s = A.S = ۵۰/۲۴ \times ۱۰ = ۵۰۲/۴cm^۳$

$V_c = ۷۵cm^۳$ $\quad (۳)V_t = V_s + V_c = ۵۰۲/۴ + ۷۵ = ۵۷۷/۴cm^۳$

$(۱)A = ?cm^۲$ $\quad V_t = ۵۷۷/۴ \times ۱۰۰۰ = ۰/۵۷۷۴lit$

$(۲)V_s = ?cm^۳$

(۳): $V_t = ?cm^۳$

: $V_t = ?Lit$

مثال (۴): حجم کل سیلندر موتوری ($۶۰۰cm^۳$)، حجم تراکم آن ($۹۷/۶cm^۳$) و کورس پیستون ($۱۰cm$) می‌باشد.

۱ــ حجم مفید سیلندر را بر حسب سانتی‌متر مکعب حساب کنید.

۲ــ سطح پیستون را بر حسب سانتی‌متر مربع محاسبه کنید.

۳ــ قطر پیستون بر حسب میلی‌متر را به دست آورید.

پاسخ:

$V_t = ۶۰۰cm^۳$ $\quad (۱)V_s = V_t - V_c = ۶۰۰ - ۹۷/۶$

$V_c = ۹۷/۶cm^۳$ $\quad V_s = ۵۰۲/۴cm^۳$

$S = ۱۰cm$ $\quad (۲)V_s = A.S \quad A = \frac{V_s}{S} = \frac{۵۰۲/۴}{۱۰} = ۵۰/۲۴cm^۲$

$(۱)V_s = ?cm^۳$ $\quad (۳)A = \frac{D^۲}{۴} \quad D^۲ = \frac{۴A}{\pi}$

$(۲)A = ?cm^۲$ $\quad D = \sqrt{\frac{۴A}{\pi}} = \sqrt{\frac{۴ \times ۵۰/۲۴}{۳/۱۴}} = ۸cm$

$(۳)D = ?mm$ $\quad D = ۸ \times ۱۰ = ۸۰mm$

۳ــ۱ــ حجم مفید موتور (V_E)

حجم ناشی از جابه‌جایی کل پیستون‌ها را در سیلندرهای موتور، «حجم مفید» موتور گویند که اگر تعداد سیلندرهای موتور را به (K) نشان دهیم، خواهیم داشت :

$$V_E = V_s.K \quad I$$
$$= A.S.K \quad II \qquad (۱ـ۴)$$
$$= \frac{D^۲}{۴}S.K \quad III$$

اگر در مثال (۴)موتور ۶ سیلندر باشد، حجم مفید موتور به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$V_E = V_s.K = ۵۰۲/۴ . ۶ = ۳۰۱۴/۴cm^۳ = ۳/۰۱۴۴ lit$

تمرین: از دو صورت دیگر فرمول (۴ـ۱) حجم مفید موتور را به‌دست آورید.

۴ـ۱ـ نسبت تراکم (R_c)

ضمن حرکت پیستون از نقطه‌ی مرگ پایین به سمت نقطه‌ی مرگ بالا، در حالتی که راه ورود گاز و خروج دود بسته است، (سوپاپ دود و سوپاپ گاز بسته است) گاز داخل سیلندر تحت فشار قرار می‌گیرد و با کاهش حجم سیلندر، فشار گاز داخل آن افزایش می‌یابد تا اینکه پیستون به نقطه‌ی مرگ بالا می‌رسد ؛ در این حالت بیش‌ترین مقدار تراکم به‌وجود می‌آید.

بنابراین نسبت تراکم موتور عبارت است از :

$$R_c = \frac{V_t}{V_c}$$
$$= \frac{V_s + V_c}{V_c} \qquad (۱ـ۵)$$

از رابطه‌ی (۵ـ۱)، می‌توان دو رابطه‌ی زیر را نتیجه گرفت.

$$\boxed{V_c = \frac{V_s}{(R_c - ۱)}} \qquad (۱ـ۶) \qquad \text{و} \qquad \boxed{V_s = V_c(R_c - ۱)} \qquad (۱ـ۷)$$

مثال (۵): اگر حجم مفید سیلندر موتوری ($۷۰۵cm^۳$) و حجم تراکم آن ($۷۵cm^۳$) باشد، نسبت تراکم موتور چقدر است؟

پاسخ:

$V_s = ۷۰۵cm^۳$ $\qquad R_c = \frac{V_s + V_c}{V_c} = \frac{۷۰۵ + ۷۵}{۷۵} = \frac{۷۸۰}{۷۵}$

$V_c = ۷۵cm^۳$

$R_c = ?$ $\qquad R_c = ۱۰/۴$ یا $۱۰/۴:۱$

مثال (۶): حجم مفید سیلندر موتوری با نسبت تراکم (۱ : ۱۱) و حجم تراکم ($۵۰cm^۳$) چند سانتی‌متر مکعب است؟

پاسخ:

R_c . ۱۱:۱ V_s . $(R_c - ۱)$. ۵۰(۱۱−۱)

V_c . ۵۰cm^3 V_s . ۵۰۰cm^3

V_s . ?cm^3

مثال (۷): نسبت تراکم یک موتور که قطر هر سیلندر آن (۸۰mm) و کورس پیستون آن (۶۰mm) و حجم تراکم هر سیلندر (۴۹cm^3) باشد، چه‌قدر است؟

پاسخ:

D . ۸۰mm . ۸cm V_s . . $\frac{D^2}{۴}.S$. $\frac{۸^2 . ۳/۱۴}{۴}$. ۶ . ۳۰۱/۴۴cm^3

S . ۶۰mm . ۶cm

V_c . ۴۹cm^3 R_c . $\frac{V_s + V_c}{V_c}$. $\frac{۳۰۱/۴۴ + ۴۹}{۴۹}$. $\frac{۷/۱۵}{۱}$

R_c . ? R_c . ۷/۱۵:۱

۱ــ۴ــ۱ــ تغییرات نسبت تراکم: تراش سطح داخلی سیلندر یا سطح سر سیلندر و کربن گرفتگی محفظه‌ی احتراق، از جمله‌ی عواملی هستند که باعث افزایش نسبت تراکم می‌گردند.

۲ــ۴ــ۱ــ تراش سرسیلندر: در این تعمیر، حجم مفید (V_s) تغییر نمی‌کند، بلکه حجم تراکم کم می‌شود.

h . ضخامت سطح تراشیده شده

شکل ۲ــ۱ــ سطح تراش شده‌ی[1] سرسیلندر

اگر سرسیلندر به اندازه‌ی h میلی‌متر تراشیده شود، حجم تراکم به اندازه‌ی (A.h) کم خواهد شد.

اگر حجم تراکم قبل از تراش، (V_{c_1}) و بعد از تراش (V_{c_2}) باشد، می‌توان گفت :

۱ــ این شکل از کتاب تکنولوژی کارگاهی سال دوم هنرستان کد ۵۰۷/۱ تألیف آقای مهندس محمّد محمدّی بوساری انتخاب شده است (صفحه‌ی ۱۷۹ شکل ۳۰).

$$V_{c_1} - V_{c_2} . Ah$$

اگر نسبت تراکم اوّلیه (R_{c_1}) و نسبت تراکم بعد از تراش (R_{c_2}) باشد، خواهیم داشت :

$$V_{c_1} . \frac{V_s}{R_{c_1} - 1}$$

$$V_{c_2} . \frac{V_s}{R_{c_2} - 1}$$

از تفریق دو رابطه‌ی فوق، نتیجه می‌شود که :

$$V_{c_1} - V_{c_2} . \frac{V_s}{R_{c_1} - 1} - \frac{V_s}{R_{c_2} - 1}$$

و یا :

$$Ah . \frac{A.S}{R_{c_1} - 1} - \frac{A.S}{R_{c_2} - 1}$$

که پس از ساده کردن و حذف (A)، نتیجه می‌شود که :

$$h . \frac{S}{R_{c_1} - 1} - \frac{S}{R_{c_2} - 1} \qquad (۱ـ۸)$$

مثال (۸): در یک تعمیر اساسی موتور، سرسیلندر به اندازه‌ی (۰/۵mm) تراش خورده است. اگر نسبت تراکم قبل از تعمیر (۹ : ۱) و کورس پیستون (۸۰mm) باشد، نسبت تراکم بعد از تعمیر چه‌قدر خواهد بود؟

پاسخ:

$h . ۰/۵mm$

$R_{c_1} . ۹:۱$

$S . ۸۰mm$

$R_{c_2} . ?$

$$h . \frac{S}{R_{c_1} - 1} - \frac{S}{R_{c_2} - 1} . ۰/۵ . \frac{۸۰}{۹-۱} - \frac{۸۰}{R_{c_2} - ۱}$$

$$\frac{۸۰}{R_{c_2} - ۱} . \frac{۸۰}{۹-۱} - ۰/۵ . \frac{۸۰}{R_{c_2} - ۱} . ۹/۵$$

$$R_{c_2} - ۱ . \frac{۸۰}{۹/۵} . ۸/۴۲ . R_{c_2} . ۸/۴۲ + ۱$$

$$R_{c_2} . ۹/۴۲ : ۱$$

با حلّ مثال فوق، ملاحظه می‌شود که در اثر تراش خوردن سر سیلندر به اندازه‌ی (۰/۵mm)، نسبت تراکم به اندازه‌ی (۰/۴۲) افزایش می‌یابد.

۳ـ۴ـ۱ـ تراش سیلندر: در این تعمیر، (V_c) تغییر نکرده بلکه (V_s) افزایش می‌یابد.

یعنی اگر حجم مفید سیلندر قبل از تراش (V_s) و بعد از تراش (V_{S_2}) باشد، می‌توان گفت :

$V_{S_1} . V_c(R_{c_1}-1)$ و $V_{S_2} . V_c(R_{c_2}-1)$ از تقسیم این دو رابطه بر یک‌دیگر نتیجه می‌شود که :

$$\frac{\frac{1}{4}D_1^2..S}{\frac{1}{4}D_2^2..S}\cdot\frac{V_c(R_{c_1}-1)}{V_c(R_{c_2}-1)} \quad \text{و یا} \quad \frac{V_{S_1}}{V_{S_2}}\cdot\frac{V_c(R_{c_1}-1)}{V_c(R_{c_2}-1)}$$

و پس از ساده کردن، خواهیم داشت :

$$\boxed{\frac{D_1^2}{D_2^2}\cdot\frac{R_{c_1}-1}{R_{c_2}-1}} \qquad (۱-۹)$$

مثال (۹): هر یک از سیلندرهای موتوری به قطر (۸۵mm)، جهت تعمیر به اندازه‌ی (۰/۸mm) تراش و برقوخورده است. نسبت تراکم قبل از تعمیر (۱ : ۱۱) بوده، نسبت تراکم بعد از تعمیر را حساب کنید.

پاسخ:

$D_1 . ۸۵mm$ $\quad \frac{D_1^2}{D_2^2}\cdot\frac{R_{c_1}-1}{R_{c_2}-1}\cdot\frac{۸۵^2}{(۸۵/۸)^2}\cdot\frac{۱۱-۱}{R_{c_2}-1}$

$D_2 . ۸۵+۰/۸$ $\quad \frac{۷۲۲۵}{۷۳۶۱/۶۱}\cdot\frac{۱۰}{R_{c_2}-1}\cdot R_{c_2}-1.\frac{۷۳۶۱/۶۱.۱۰}{۷۲۲۵}.۱۰/۱۸$

$R_{c_1} . ۱۱:۱$ $\quad R_{c_2}-1.۱۰/۱۸. \quad R_{c_2} . ۱۰/۱۸+1.۱۱/۱۸$

$R_{c_2} . ?$

۴ــ۴ــ۱ــ اگر سیلندر و سرسیلندر هردو تراش بخورند، ابتدا نسبت تراکم جدید را برای یک حالت حساب می‌کنیم، سپس نسبت تراکم به دست آمده را برای حالت بعدی به جای (R_{c_1}) قرار می‌دهیم تا نسبت تراکم نهایی به دست آید.

مثال (۱۰): هر یک از سیلندرهای موتوری به قطر اوّلیه‌ی (۹۰mm) به اندازه‌ی یک میلی‌متر تراش و برقو خورده، سر سیلندر آن به اندازه‌ی (۰/۸mm) تراشیده شده است، اگر نسبت تراکم قبل از تعمیر (۱ : ۱۰) و کورس پیستون (۱۰۰mm) باشد، نسبت تراکم جدید موتور را حساب کنید.

پاسخ: ابتدا نسبت تراکم را بعد از تراش سیلندر حساب می‌کنیم.

$D_1 . ۹۰mm$ $\quad \frac{D_1^2}{D_2^2}\cdot\frac{R_{c_1}-1}{R_{c_2}-1}\cdot\frac{۹۰^2}{۹۱^2}\cdot\frac{۱۰-۱}{R_{c_2}-1}$

D_2 . (۹۰+۱)mm

h . ۰/۸mm $\quad \frac{۸۱۰۰}{۸۲۸۱} \cdot \frac{۹}{R_{c_2}-۱} \cdot \quad R_{c_2}-۱ . \frac{۸۲۸۱ . ۹}{۸۱۰۰}$

R_{c_1} . ۱۰:۱

S . ۱۰۰mm $\quad R_{c_2}$. ۹/۲+۱. ۱۰/۲. $\quad R_{c_2}$. ۱۰/۲:۱

R_{c_2} . ?

بنابراین نسبت تراکم بعد از تراش سیلندر (۰/۲) افزایش یافته است.

برای تراش سرسیلندر مقدار (R_{c_2}) را که محاسبه شده است، در فرمول (۲ــ۳) به جای (R_{c_1}) قرارمی‌دهیم و (R_{c_2}) را مجدداً از فرمول مذکور به دست می‌آوریم که نتیجه نسبت تراکم نهایی خواهد بود.

$$h . \frac{S}{R_{c_1}-۱} - \frac{S}{R_{c_2}-۱} . \quad ۰/۸ . \frac{۱۰۰}{۱۰/۲-۱} - \frac{۱۰۰}{R_{c_2}-۱}$$

$$\frac{۱۰۰}{۹/۲} - ۰/۸ . \frac{۱۰۰}{R_{c_2}-۱} . \quad ۱۰/۸۷ - ۰/۸ . \frac{۱۰۰}{R_{c_2}-۱}$$

$$۱۰/۰۷ . \frac{۱۰۰}{R_{c_2}-۱} . \quad R_{c_2}-۱ . \frac{۱۰۰}{۱۰/۰۷} . ۹/۹۳ . \quad R_{c_2} . ۱۰/۹۳:۱$$

بنابراین، پس از تعمیر سیلندر و سرسیلندر، در کل نسبت تراکم به اندازه‌ی (۰/۹۳) افزایش یافته است.

تمرین

مسأله‌ی (۱): قطر سیلندری با سطح مقطع ($۷۸/۵cm^2$) چند میلی‌متر است؟

۱۰۰mm(جواب

مسأله‌ی (۲): اگر حجم مفید سیلندر موتوری به قطر (۱۰۰mm) برابر ($۴۷۱cm^3$) باشد ؛ کورس پیستون چند میلی‌متر است؟

۶۰mm (جواب

مسأله‌ی (۳): اگر حجم کلّ سیلندر موتوری ($۶۰۰cm^3$) و حجم تراکم آن ($۹۷/۶cm^3$) و کورس پیستون (۱۰cm) باشد، حساب کنید که :

الف : نسبت تراکم موتور چه‌قدر است؟

ب : حجم مفید سیلندر چند سانتی‌متر مکعب است؟

ج : قطر پیستون چند میلی‌متر است؟

۸۰mm (ج　　۵۰۲/۴cm^3 (ب　　۶/۱۴ : ۱ (الف

مسأله‌ی (۴): اگر نسبت تراکم یک موتور (۴) سیلندر (۱ : ۱۱)، حجم تراکم آن (۷۰cm^3) و کورس پیستون (۱۰۰mm) باشد، موارد خواسته شده را به دست آورید :

الف : حجم مفید موتور بر حسب لیتر ؛

ب : قطر پیستون را بر حسب میلی‌متر.

۹۴/۴mm (ب　　۲/۸lit (الف

مسأله‌ی (۵): اگر در یک موتور بنزینی (۴) سیلندر، قطر پیستون (۱۰۰mm)، نسبت تراکم (۱ : ۹) و حجم مفید هر سیلندر (۶۰۰cm^3) باشد، به سؤالات زیر پاسخ دهید :

الف : حجم تراکم یک سیلندر بر حسب سانتی‌متر مکعب چه‌قدر است؟

ب : کورس پیستون چند میلی‌متر است؟

۷۶/۴mm (ب　　۷۵cm^3 (الف

مسأله‌ی (۶): حجم مفید یک موتور (۴) سیلندر (۱/۲۵۶lit)، حجم تراکم آن (۶۰cm^3) و کورس پیستون (۹۶mm) می‌باشد، حساب کنید که :

الف : نسبت تراکم موتور چه‌قدر است؟

ب : قطر پیستون چند میلی‌متر است؟

ج : اگر پس از مدتی کار در محفظه‌ی احتراق (۵cm^3) کربن رسوب کند، نسبت تراکم در این حالت چه‌قدر خواهد شد؟

۶/۷ : ۱ (ج　　۶۴/۵mm (ب　　۶/۲ : ۱ (الف

مسأله‌ی (۷): سرسیلندری به اندازه‌ی (۰/۶mm) تراش خورده، نسبت تراکم آن بعد از تراش (۱۰/۲ : ۱) شده است. کورس پیستون (۱۰۰mm) باشد، نسبت تراکم اولیه چه‌قدر بوده است؟

مسأله‌ی (۸): در یک موتور تعمیری، نسبت تراکم اوّلیه (۱ : ۱۰) است، پس از تراش و برقو خوردن سیلندر، نسبت تراکم آن به (۱ : ۱۰/۲) می‌رسد، اگر قطر اوّلیه‌ی سیلندر (۸۰mm) بوده باشد، مقدار تراش سیلندر را به میلی‌متر حساب کنید.

۰/۸۸mm (جواب

مسأله‌ی (۹): اگر بخواهیم نسبت تراکم یک موتور بنزینی را با تراش سرسیلندر، از (۱ : ۸) به (۱ : ۸/۵) برسانیم، در صورتی که کورس پیستون (۷۰mm) باشد. سرسیلندر چه‌قدر باید

تراش بخورد؟

۰/۶۷mm (جواب

مسأله‌ی (۱۰): قطر پیستون یک موتور بنزینی (۸۰mm)، کورس پیستون (۱۰۰mm) و حجم محفظه‌ی احتراق ($۷۰cm^3$) است ؛ هنگام تعمیر این موتور، سیلندر و سرسیلندر آن هر کدام به‌اندازه‌ی یک میلی‌متر تراش خورده‌اند، مطلوب است :

نسبت تراکم موتور پس از تعمیر را به دست آورید. ۸/۹۱ : ۱ (جواب

مسأله‌ی (۱۱): در یک موتور (۶) سیلندر، قطر هر پیستون (۴) اینچ، کورس پیستون (۳/۶) اینچ و نسبت تراکم (۱ :۸) است، حساب کنید که :

الف : حجم مفید موتور بر حسب لیتر چه‌قدر است؟

ب : حجم تراکم چند سانتی‌متر مکعب است؟

$۱۰۵/۸۵cm^3$(ب ۴/۴۴۶lit(الف

مسأله‌ی (۱۲): حجم مفید یک موتور (۴) سیلندر با نسبت تراکم (۱ : ۱۰) برابر ($۱۴۴in^3$) و کورس پیستون (۴in) می‌باشد، حساب کنید که :

الف : حجم تراکم بر حسب اینچ مکعب چه‌قدر است؟

ب : قطر سیلندر چند میلی‌متر است؟

۸۶mm (ب $۴in^3$ (الف

فصل دوم

محاسبات سرعت، گشتاور و قدرت موتور

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
۱ــ سرعت متوسّط پیستون و سرعت محیطی میل‌لنگ را حساب کند.
۲ــ کار تئوری و کار مفید را محاسبه کند.
۳ــ توان تئوری و توان مفید موتور رامحاسبه کند.
۴ــ افت توان در موتور را به‌دست آورد.
۵ ــ گشتاور، توان حجمی و توان وزنی موتور را محاسبه کند.

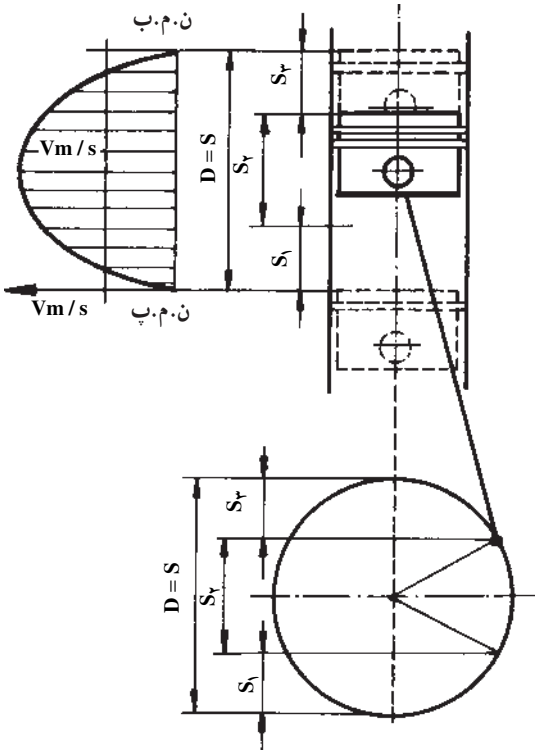
۲ــ محاسبات سرعت، گشتاور و قدرت موتور

۱ــ۲ــ سرعت متوسّط پیستون و سرعت محیطی میل‌لنگ

۱ــ۱ــ۲ــ سرعت متوسّط پیستون (V_m) : پیستون ضمن حرکت در داخل سیلندر از نقطه‌ی مرگ بالا به سمت نقطه‌ی مرگ پایین (کورس رفت) و برعکس (کورس برگشت) سرعت یک‌نواختی ندارد. در نقطه‌ی مرگ بالا (ن.م.ب) سرعت آن صفر است، سپس رفته‌رفته افزایش یافته، بین نقطه‌ی (۸۶°) تا (۹۰°) بعد از «ن.م.ب» به حداکثر خود می‌رسد ؛ بعد از آن روبه‌کاهش می‌گذارد تا در نقطه‌ی مرگ پایین، مجدّداً به صفر برسد. تغییرات سرعت در کورس برگشت، مانند کورس رفت است که نمودار آن در شکل (۱ــ۲) دیده می‌شود.

میانگین این سرعت را «سرعت متوسّط پیستون» می‌نامند که با (V_m) نشان داده شده است.

پیستون در هر دور میل‌لنگ، دو کورس(۲S) می‌پیماید. اگر میل‌لنگ در هر ثانیه (n) دور بزند، پیستون مسافتی برابر (۲S.n) را خواهد پیمود. پس می‌توان نتیجه گرفت :



شکل ۱ــ۲ [۱]

$$V_m = 2S.n \qquad (۱ــ۲)$$

در فرمول فوق اگر (V_m) سرعت متوسّط پیستون برحسب متر بر ثانیه باشد، باید (S) کورس پیستون برحسب متر و (n) تعداد دور میل‌لنگ در یک ثانیه باشد.

مثال(۱): سرعت متوسّط پیستون در دور (۲۴۰۰R.P.M)، با کورس (۱۲۰mm)، چند متر برثانیه می‌شود؟

پاسخ:

تعداد دور میل‌لنگ در ثانیه $n = \frac{۲۴۰۰}{۶۰} = ۴۰R.P.S$ $\qquad n = ۲۴۰۰R.P.M$

$S = ۱۲۰mm = ۰/۱۲m \qquad V_m = 2S.n = ۲ \times ۰/۱۲ \times ۴۰ = ۹/۶m/s$

$V_m = ?m/s$

۲ــ۱ــ۲ــ سرعت محیطی میل‌لنگ (V_t): در یک دور ثابت، سرعت محیطی میل‌لنگ

۱ــ این شکل ازکتاب حساب فنّی سال دوم کد ۵۰۷ صفحه ۵ انتخاب شده است.

مقدار ثابتی است ؛ یعنی اگر سرعت زاویه‌ای میل‌لنگ را با (ω) و شعاع آن را با (R) نشان دهیم، سرعت محیطی آن خواهد شد :

$$V_t = R\omega = \frac{D}{2}\omega [m/s]$$

می‌دانیم : $\omega = 2\pi n$ و $D = S$ پس : $V_t = \frac{S}{2}.2\pi n$ ، که برابر خواهد بود با :

$$\boxed{V_t = \pi .S.n} \qquad (۲_۲)$$

در لحظه‌ای که سرعت پیستون به حداکثر خود می‌رسد، مقدار آن برابر سرعت محیطی میل‌لنگ است ؛ لذا سرعت محیطی میل‌لنگ را «حداکثر سرعت پیستون» هم می‌گویند.

مثال (۲): سرعت محیطی میل‌لنگ موتوری را در دور ثابت (۲۱۰۰R.P.M) که قطر آن (۹۰mm) است، برحسب متر بر ثانیه حساب کنید.

پاسخ: $n = ۲۱۰۰R.P.M \qquad n = \frac{۲۱۰۰}{۶۰} = ۳۵R.P.S$

$D = ۹۰mm = ۰/۰۹m \qquad V_t = \pi .S.n = ۰/۰۹ \times ۳/۱۴ \times ۳۵ = ۹/۹m/s$

$V_t = ?m/s$

تمرین: ضریب بین دو سرعت مذکور را به دست آورده، آن را ρ بنامید.

مثال (۳): سرعت محیطی میل‌لنگ موتوری در یک دور ثابت ($۱۲/۵۶ m/s$) است، سرعت متوسّط پیستون را برحسب متر بر ثانیه حساب کنید.

پاسخ: $V_t = ۱۲/۵۶m/s \qquad \frac{V_t}{V_m} = \rho = \frac{\pi}{2}$

$V_m = ?m/s \qquad V_m = \frac{V_t}{\frac{\pi}{2}} = \frac{۱۲/۵۶}{\frac{۳/۱۴}{۲}} = ۸m/s$

مثال (۴): سرعت متوسّط پیستون در یک دور ثابت، با کورس (۱۰۰mm) برابر ($۷/۸۵$) متر بر ثانیه می‌باشد. مطلوب است که :

۱ــ سرعت محیطی میل‌لنگ برحسب متر بر ثانیه را به‌دست آورید.

۲ــ دور موتور برحسب دور بر دقیقه را حساب کنید.

پاسخ:

$S = ۱۰۰mm \ , \ V_m = ۷/۸۵m/s \ , \ (۱)V_t = ?m/s \ , \ (۲)n = ?R.P.M$

$(۱)\frac{V_t}{V_m} = ۱/۵۷ \Rightarrow V_t = V_m \times ۱/۵۷$

سرعت محیطی میل‌لنگ $V_t = ۷/۸۵ \times ۱/۵۷ = ۱۲/۳ m/s$

$(۲) V_m = ۲S.n \Rightarrow n = \frac{V_m}{۲.S} = \frac{۷/۸۵}{۲ \times ۰/۱} = ۳۹\frac{۱}{۴} R.P.S$

$n = ۳۹\frac{۱}{۴} \times ۶۰ = ۲۳۵۵ R.P.M$

مثال (۵): سرعت متوسّط پیستون در دور ثابت (۳۰۰۰R.P.M) برابر (۱۵۰۰ft/min) می‌باشد، حساب کنید که :

۱ــ سرعت محیطی میل‌لنگ چند متر بر ثانیه است؟

۲ــ کورس پیستون برحسب میلی‌متر چه‌قدر است؟

پاسخ: نخست، سرعت محیطی میل‌لنگ را حساب می‌کنیم :

$V_m = ۱۵۰۰ ft/min$

$n = ۳۰۰۰ R.P.M$ $\qquad (۱) V_m = \frac{۱۵۰۰}{۶۰} = ۲۵ ft/s$

$V_t = ? m/s$ $\qquad V_m = ۲۵ \times ۰/۳۰۵ = ۷/۶۲۵ m/s$

$S = ? mm$ $\qquad n = \frac{۳۰۰۰}{۶۰} = ۵۰ R.P.S$

$V_t = \Phi . V_m = ۷/۶۲۵ \times ۱/۵۷ = ۱۱/۹۷ m/s$

$(۲) V_M = ۲S.N \Rightarrow S = \frac{V_m}{۲n} = \frac{۷/۶۲۵}{۲ \times ۵۰} = ۰/۰۷۶ m \quad S = ۷۶ mm$

تمرین (۱): اگر سرعت محیطی میل‌لنگ (۱۲/۵m/s) و دور موتور (۲۰۰۰R.P.M) باشد، کورس پیستون چند میلی‌متر است؟

ج : ۱۲۰mm

تمرین (۲): حجم مفید موتور (۴) زمانه (۴) سیلندر (۱/۵Lit) است، اگر قطر سیلندر (۱۰۰mm) باشد، سرعت متوسط پیستون و سرعت محیطی میل‌لنگ برحسب متر بر ثانیه در دور (۲۴۰۰R.P.M) چه‌قدر می‌شود؟

ج : ۳/۸۲ m/s

ج : ۶ m/s

تمرین (۳): نسبت تراکم موتور تک‌سیلندری (۱۱:۱) حجم تراکم ($۶۸cm^۳$) و سطح مقطع سیلندر ($۷۵cm^۲$) است، سرعت محیطی میل‌لنگ را در دور (۳۰۰۰R.P.M) برحسب متر بر ثانیه به‌دست آورید.

ج : ۸/۵m/s

۲ــ۲ــ محاسبه‌ی کار تئوری و کار مفید

۱ــ۲ــ۲ــ فشار متوسّط احتراق (P_m): هم‌چنان که در کتاب مولّد قدرت تعریف شده؛ از لحظه‌ی شروع احتراق تا پایان احتراق، مقدار فشار داخل سیلندر ثابت نیست. از این‌رو برای سادگی در محاسبات، میانگین فشارها را درنظر گرفته، آن را «فشار متوسّط احتراق» می‌نامند که با (P_m) نشان داده می‌شود.

۲ــ۲ــ۲ــ نیروی متوسّط احتراق (F_m): دراثر فشار احتراق، نیرویی به کف پیستون وارد می‌شود که مقدار آن تابع مساحت کف پیستون و فشار وارد بر آن است. چون این فشار ثابت نیست، نیروی وارد بر کف پیستون هم ثابت نخواهد بود. نیروی متوسّط را ازطریق رابطه‌ی (۳ــ۲)

$$F_m = P_m . A$$

به‌دست می‌آوریم.

مثال (۶): اگر فشار متوسّط احتراق روی کف پیستون ($۸۰ N/cm^۲$) و قطر پیستون ($۷۰ mm$) باشد، نیروی متوسّط احتراق چند نیوتن است؟

پاسخ:

$$P_m = ۸۰ N/cm^۲ \qquad A = \frac{D^۲}{۴}\pi = \frac{۷^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۳۸/۴۶ cm^۲$$

$$D = ۷۰ mm = ۷ cm \qquad F_m = P_m . A = ۸۰ \times ۳۸/۴۶$$

$$F_m = ?N \qquad F_m = ۳۰۷۷ N$$

۳ــ۲ــ۲ــ نیروی مؤثّر یا نیروی کار یک پیستون ($F_{۱e}$): نیرویی که در فاصله‌ی زمان احتراق (از «ن.م.ب» تا باز شدن سوپاپ دود) به کف پیستون وارد می‌شود و باعث حرکت آن به‌سمت «ن.م.پ» می‌گردد، «نیروی مؤثّر احتراق» یا «نیروی کار پیستون» است و با ($F_{۱e}$) نشان داده می‌شود. مقدار ($F_{۱e}$) از (F_m) کم‌تر است، زیرا قسمتی از این نیرو که در موتورهای مختلف متفاوت است، صرف از بین بردن اصطکاک بین قطعات متحرّک موتور می‌شود. مقدار ($F_{۱e}$) به کمک دستگاه‌های سنجش موتور اندازه‌گیری می‌شود.

۴ــ۲ــ۲ــ بازده مکانیکی موتور (η_m): نسبت نیروی مؤثّر یک پیستون به نیروی متوسّط احتراق را، بازده مکانیکی موتور می‌نامند و با (η_m) نشان داده می‌شود، پس:

$$\frac{F_{۱e}}{F_m} = \eta_m \qquad (۴ــ۲)$$

(η_m) به‌صورت درصد بیان می‌شود و هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد، نشان دهنده‌ی طرّاحی بهتر موتوراست.

مثال (۷): فشار متوسّط احتراق در یک موتور بنزینی ($۷۵N/cm^۲$) و قطر پیستون ($۱۰۰mm$) و کارایی مکانیکی آن (٪۸۶) است ؛ نیروی کار وارد به کف پیستون چند نیوتن است؟

پاسخ:

$$P_m = ۷۵N/cm^۲ \qquad A = \frac{D^۲}{۴}\pi = \frac{۱۰^۲ \times ۳/۴}{۴} = ۷۸/۵cm^۲$$

$$D = ۱۰۰mm = ۱۰cm \qquad F_m = P_m \times A = ۷۵ \times ۷۸/۵ = ۵۸۸۷/۵N$$

نیروی متوسّط احتراق وارد بر کف پیستون

$$\eta_m = ٪۸۶$$

$$F_{۱e} = F_m . \eta_m = ۵۸۸۷/۵ \times ۰/۸۶ = ۵۰۶۳/۲۵N$$

$$F_{۱e} = ?N$$ نیروی مفید یک پیستون

۵ــ۲ــ۲ــ کار تئوری ($W_{i۱}$) و کار مفید ($W_{e۱}$) یک پیستون در یک کورس:

هم‌چنان‌که می‌دانید، کار برابر است با حاصل‌ضرب نیرو در فاصله‌ی جابه‌جایی آن ؛ که در این‌جا نیرو، همان نیروی مفید احتراق وارد به کف پیستون و فاصله‌ی جابه‌جایی پیستون همان کورس پیستون است. پس :

$$\boxed{W_{i۱} = F_m . S = P_m . A . S} \qquad (۲ــ۵)$$

کار مفید یک پیستون ($W_{e۱}$) از رابطه‌ی زیر، محاسبه می‌گردد :

$$\boxed{W_{e۱} = W_{i۱} . \eta_m = F_m . \eta_m . S = P_m . A . \eta_m . S} \qquad (۲ــ۶)$$

۶ــ۲ــ۲ــ کار تئوری (W_i) و کار مفید (W_e) موتور در یک دور گردش میل‌لنگ:

چنان‌که می‌دانید، در موتورهای دوزمانه در یک دورگردش میل‌لنگ، هر یک از پیستون‌ها یک‌دفعه کار تولید می‌کنند. حال اگر موتور (K) سیلندر داشته باشد، خواهیم داشت : $W_i = W_{i۱} . K$ و $W_e = W_{e۱} . K$ با توجّه به فرمول‌های (۳ــ۲) و (۴ــ۲) می‌توان گفت :

$$\boxed{W_e = \eta_m . K . P_m . A . S} \quad (۲ــ۸) \qquad \boxed{W_i = K . P_m . A . S} \quad (۲ــ۷) \quad W_e = W_i . \eta_m \text{ و یا}$$

امّا اگر موتور (۴)زمانه باشد، هریک از پیستون‌ها در دو دور گردش میل‌لنگ، یک دفعه تولید کار خواهند داشت. بنابراین از ضریب $\frac{۱}{۲}$ استفاده می‌نماییم.

$$\begin{cases} W_i = W_{i۱} \times \frac{K}{۲} \\ W_i = P_m . A . S . \frac{K}{۲} \end{cases} \qquad (۲ــ۹)$$

$$\begin{cases} W_e = W_i \cdot \eta_m \\ W_e = W_{e1} \dfrac{K}{2} \\ W_e = P_m \cdot A.S. \dfrac{K}{2} \cdot \eta_m \end{cases} \qquad (۲_۱۰)$$

مثال (۸): در یک موتور (۴)سیلندر (۲)زمانه، فشار متوسّط احتراق ($۱۰۰N/cm^2$)، قطر پیستون ($۸۰mm$) و کورس پیستون ($۱۰۰mm$) و بازدهی مکانیکی آن (٪۸۵) است ؛ کار تئوری و کار مفید موتور را در یک دور گردش میل‌لنگ برحسب ژول (j) حساب کنید.

پاسخ:

$K=۴, T=۲$ $\qquad A=\dfrac{\pi D^2}{۴}=\dfrac{۸^2\times ۳/۱۴}{۴}=۵۰/۲۴cm^2$

$P_m=۱۰۰N/cm^2$ $\qquad W_i=P_m.A.S.K=۱۰۰\times ۵۰/۲۴\times ۰/۱\times ۴$

$D=۸۰mm=۸cm$ $\qquad W_i=۲۰۰۹/۶j$ کار تئوری موتور در یک دور

$S=۱۰۰mm=۱۰cm$ گردش میل‌لنگ بر حسب ژول

$\eta_m=٪۸۵$ $\qquad W_e=W_i\times\eta_m=۲۰۰۹/۶\times ۰/۸۵$

$W_i=?j$ $\qquad W_e=۱۷۰۸j$

$W_e=?j$ کار مفید موتور در یک دور گردش میل‌لنگ

مثال (۹): در یک موتور (۶)سیلندر (۴)زمانه، فشار متوسّط احتراق وارد بر کف پیستون ($۱۰bar$)، مساحت پیستون ($۸۰cm^2$)، کورس پیستون ($۱۰۰mm$) و درصد بازدهی مکانیکی موتور (٪۸۲) است ؛ کار تئوری و کار مفید موتور را در یک دور گردش میل‌لنگ برحسب ژول حساب کنید.

پاسخ:

$K=۶$ $\qquad W_i=\dfrac{۱}{۲}P_{m\ N/cm^2}.A_{cm^2}.S_m.K$

$T=۴$ زمانه

$P_m=۱۰bar=۱۰۰N/cm^2$ $\qquad W_i=۱۰۰\times ۸۰\times ۰/۱\times\dfrac{۶}{۲}=۲۴۰۰j$

$A=۸۰cm^2$ کار تئوری موتور در یک دور گردش میل‌لنگ

$S=۱۰۰mm=۱۰cm$ $\qquad W_e=W_i.\eta_m=۲۴۰۰\times ۰/۸۲=۱۹۶۸j$

کار مفید موتور در یک دور گردش میل‌لنگ

$\eta_m = ٪۸۲$

$W_i = ?\,j$

$W_e = ?\,j$

۳ــ۲ــ محاسبه‌ی توان تئوری و توان مفید موتور

۱ــ۳ــ۲ــ توان تئوری (P_i): هم‌چنان که می‌دانید توان عبارت است از کار انجام شده در واحد زمان که برحسب وات یا کیلو وات محاسبه می‌شود.

اگر میل‌لنگ در هر ثانیه (n) دور بزند، توان تئوری برابر است با :

$$P_i = W_i . n \qquad (۲ــ۱۱)$$

با توجّه به رابطه‌ی (۲ــ۱۰) برای موتورهای دوزمانه می‌توان گفت :

$$P_i = P_m . A.S.k.n \qquad (۲ــ۱۲)$$

و برای موتورهای ۴زمانه می‌توان گفت :

$$P_i = \frac{۱}{۲} P_m . A.S.k.n \qquad (۲ــ۱۳)$$

۲ــ۳ــ۲ــ توان مفید موتور (P_e): هم‌چنان‌که قبلاً گفته شد، بخشی از نیروی احتراق، صرف خنثی کردن نیروهای اصطکاک بین قطعات متحرّک موتور می‌گردد ؛ لذا توان مفید به‌همان نسبت از توان تئوری کم‌تر می‌شود، یعنی :

$$P_e = P_i \eta_m = W_i \eta_m . n \qquad P_e = W_e . n \qquad (۲ــ۱۴)$$

که با توجّه به رابطه‌ی (۲ــ۱۳) برای موتورهای (۲)زمانه خواهیم داشت :

$$P_e = P_m . A.S. \eta_m . k.n \qquad (۲ــ۱۵)$$

و برای موتورهای (۴)زمانه با توجّه به رابطه‌ی (۲ــ۱۴) می‌توان گفت :

$$P_e = \frac{۱}{۲} P_m . A.S. \eta_m . k.n \qquad (۲ــ۱۶)$$

برای تبدیل توان به کیلووات، هریک از روابط (۱ــ۳) تا (۶ــ۳) را بر ۱۰۰۰ تقسیم می‌کنیم، برای مثال :

$$P_e = \frac{P_m . A.S.n.k.\eta_m}{۲\times۱۰۰۰} \quad (kW)$$

(۲ـ۱۷)

مثال (۱۰): توان مفید یک موتور (۴)زمانه (۵)سیلندر در دور (۲۷۰۰R.P.M) و درصد بازده مکانیکی (٪۸۵) برابر (۶۰PS) است، حساب کنید که :

۱ـ توان ظاهری موتور چند کیلووات است؟

۲ـ کار مفید یک پیستون در یک کورس چند ژول است؟

پاسخ:

$P_e = ۶۰PS \qquad P_e = ۶۰\times۷۳۶ = ۴۴۱۶۰W = ۴۴/۱۶kW$

$K = ۵\ ,\ T = ۴ \qquad n = \frac{۲۷۰۰}{۶۰} = ۴۵$ تعداد دور موتور در یک ثانیه

$n = ۲۷۰۰R.P.M \qquad (۱)P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۴۴/۱۶}{٪۸۵} = ۵۱/۹۵۳kW \cong ۵۲kW$

$\eta_m = ٪۸۵$ توان تئوری برحسب کیلووات

$(۱)P_i = ?kW \qquad (۲)P_e = W_{e۱}\times\frac{n}{۲}\times K \Rightarrow W_{e۱} = \frac{P_e}{\frac{n}{۲}\times k}$

$(۲)W_{e۱} = ?j \qquad W_{e۱} = \frac{۴۴۱۶۰}{۵\times\frac{۴۵}{۲}} = ۳۹۲/۵j$

کار مفید یک پیستون در یک دفعه

مثال (۱۱): توان اندی‌کاتوری یک موتور (۲) زمانه (۳) سیلندر در دور (۳۰۰۰R.P.M) برابر (۸۰hp) ، با بازده مکانیکی (٪۸۰) است، اگر کورس پیستون (۴/۵in) و قطر پیستون (۴in) باشد، حساب کنیدکه :

۱ـ قدرت مفید موتور چند کیلووات است؟

۲ـ فشار متوسّط احتراق برحسب بار چه‌قدر است؟

پاسخ: نخست، اندازه‌های اینچی را به (SI) تبدیل می‌کنیم.

$k = ۳ \qquad P_i = ۸۰\times۰/۷۴۶ = ۵۹/۶۸kW$

$P_i = ۸۰hp \qquad S = ۴/۵\times۰/۰۲۵۴ = ۰/۱۱۴۳m = ۱۱/۴۳cm$

$n = ۳۰۰۰R.P.M \qquad D = ۴\times۲/۵۴ = ۱۰/۱۶cm$

$S = ۴/۵in, D = ۴in$ $\quad n = \frac{۳۰۰۰}{۶۰} = ۵۰R.P.S$

$\eta = ٪۸۰$ $\quad A = \frac{D^۲\pi}{۴} = \frac{(۱۰/۱۶)^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۸cm^۲$

$(۱)P_e = ?kW$ $\quad P_e = P_i . \eta_m = ۵۹/۶۸ \times ٪۸۰ = ۴۷/۷۴۴kW$

$(۲)P_m = ?bar$ $\quad P_e = \frac{P_m . A.S.n.k.\eta_m}{۱۰۰۰} \Rightarrow P_m = \frac{۱۰۰۰ \times P_e}{A.S.n.k.\eta_m}$

$$P_m = \frac{۱۰۰۰ \times ۴۷/۷۴۴}{۸۱ \times ۰/۱۱۴ \times ۳ \times ۵۰ \times ٪۸۰} = ۴۳/۱N/cm^۲ = ۴/۳۱bar$$

مثال (۱۲): در یک موتور (۴)زمانه (۶)سیلندر، فشار متوسّط احتراق ($۱۰kg/cm^۲$) توان ظاهری با کارایی مکانیکی (٪۹۰) برابر (۱۳۶PS)، کورس پیستون (۷۵mm) و دور موتور (۲۷۰۰R.P.M) است، حساب کنید که :

۱ــ کار مفید موتور در یک دور گردش میل‌لنگ چند ژول است؟

۲ــ قطر پیستون برحسب میلی‌مترچه‌قدر است؟

پاسخ: ابتدا واحدها را تبدیل می‌کنیم.

$T = ۴$ زمانه

$k = ۶$

$\eta_m = ٪۹۰$ $\quad P_i = ۱۳۶ \div ۱/۳۶ = ۱۰۰kW$

$P_m = ۱۰kg/cm^۲$ $\quad n = \frac{۲۷۰۰}{۶۰} = ۴۵ R.P.S$

$P_i = ۱۳۶PS$ $\quad P_m = ۱۰ \times ۹/۸۱ = ۹۸/۱N/cm^۲$

$S = ۷۵mm = ۷/۵cm$ $\quad (۱)P_e = W_e . n \Rightarrow W_e = \frac{P_e}{n}$

$n = ۲۷۰۰R.P.M$ $\quad P_e = P_i . \eta_m = ۱۰۰ \times ٪۹۰ = ۹۰kW = ۹۰۰۰۰W$

$(۱)W_e = ?j$ $\quad W_e = \frac{۹۰۰۰۰}{۴۵} = ۲۰۰۰j$ کار مفید موتور

$(۲)D = ?mm$ در یک دور گردش میل‌لنگ

$$(۲)P_i = \frac{P_m . A.S.k.n}{۲ \times ۱۰۰۰} \Rightarrow A = \frac{P_i \times ۲۰۰۰}{P_m . S.k.n}$$

$$A = \frac{۱۰۰ \times ۲۰۰۰}{۹۸/۱ \times ۰/۰۷۵ \times ۴۵ \times ۶} = ۱۰۰/۷۸cm^۲$$ مساحت کف پیستون

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow D^2 = \frac{4A}{\pi} \quad \text{و یا} \quad D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 100/78}{3/14}} = 11/3\,cm = 113\,mm$$ قطر پیستون

مثال (۱۳): اگر فشار متوسّط احتراق روی پیستون در یک موتور (۴)سیلندر به‌قطر (۷۵mm)، کورس پیستون (۸۰mm) و کارایی مکانیکی (٪۸۰) برابر (۸bar) باشد و نیز دور موتور (۲۴۰۰R.P.M) فرض شود، حساب کنید که :

۱ــ کار تئوری و کار مفید یک پیستون در یک کورس برحسب ژول چه‌قدر خواهد بود؟

۲ــ هرگاه موتور (۲) زمانه باشد، کار تئوری و کار مفید موتور در یک دورگردش میل‌لنگ چند ژول است؟

۳ــ خواسته‌های قسمت دوم مسأله را برای یک موتور (۴)زمانه به‌دست آورید.

۴ــ توان تئوری و توان مفید موتور را درصورت (۲)زمانه‌بودن و (۴)زمانه‌بودن برحسب کیلووات محاسبه کنید.

پاسخ:

$$P_m = 8bar = 80N/cm^2 \qquad n = \frac{2400}{60} = 40R.P.S$$

$$D = 75mm = 7/5cm \qquad (1)W_i = P_m.A.S \text{ و } A = \frac{D^2}{4}.\pi = \frac{7/5^2 \times 3/14}{4}$$

$$S = 80mm = 8cm = 0/08m \quad A = 44/16cm^2$$

$$\eta_m = \%80$$

$$n = 2400R.P.M$$

$$(1)W_{1e}, W_{1i} = ?j$$

$$(2)W_i, W_e = ?j$$

برای (۲)زمانه

$$(3)W_i, W_e = ?j$$

برای (۴) زمانه

$$(4)P_e, P_i = ?kW$$

کار تئوری یک پیستون در یک کورس:

$$(1)W_{1i} = 80 \times 44/16 \times 0/08 = 282/6j$$

کار مفید یک پیستون در یک کورس:

$$W_{1e} = W_{1i}.\eta_m = 282/6 \times \%80 = 226j$$

کار تئوری موتور در یک دور گردش میل‌لنگ در موتور (۲)زمانه:

$$(2)W_i = W_{1i} \times k = 282/6 \times 4 = 1130/4j$$

کار مفید موتور در یک دور گردش میل‌لنگ برای موتور (۲)زمانه:

$$W_e = W_i . \eta_m = ۱۱۳۰/۴ \times ٪۸۰ = ۹۰۴j$$

کار تئوری موتور (۴)زمانه در یک دور گردش میل‌لنگ:

$$(۳)W_i = W_{۱i} \times \frac{k}{۲} = ۲۸۲/۶ \times \frac{۴}{۲} = ۵۶۵/۲j$$

کار مفید موتور (۴)زمانه در یک دور گردش میل‌لنگ:

$$W_e = W_i . \eta_m = ۵۶۵/۲ \times ٪۸۰ = ۴۵۲j$$

توان تئوری موتور (۲)زمانه:

$$(۴)P_i = W_i . n = ۱۱۳۰/۴ \times ۴۰ = ۴۵۲۱۶W = ۴۵/۲۱۶kW$$

توان مفید موتور (۲)زمانه:

$$P_e = P_i . \eta_m = ۴۵۲۱۶ \times ٪۸۰ = ۳۶۱۷۲W = ۳۶/۱۷۲kW$$

توان تئوری اگر موتور (۴)زمانه باشد:

$$P_i = P_m . A.S.k.n.\frac{۱}{۲} = ۸۰ \times ۴۴/۱۶ \times ۰/۰۸ \times \frac{۴}{۲} \times ۴۰ = ۲۲۶۰۸W$$

$$P_i = ۲۲/۶۰۸kW$$

توان مفید اگر موتور (۴)زمانه باشد:

$$P_e = P_i . \eta_m = ۲۲/۶۰۸ \times ٪۸۰ = ۱۸/۰۸kW$$

تمرین (۴): اگر در یک موتور تک‌سیلندر، نیروی متوسط احتراق (۶۲۸۰N)، قطر پیستون (۱۰۰mm) باشد، فشار متوسط احتراق چند بار است؟

ج : ۸ bar

تمرین (۵): کار مفید یک موتور (۴)زمانه تک‌سیلندر در یک دور گردش میل‌لنگ برابر (۴۵۰j) با سطح پیستون ($۸۰cm^۲$) و کورس پیستون (۹۵mm) و کارایی مکانیکی (٪۸۰) است، فشار متوسط احتراق چند نیوتن بر سانتی‌متر مربع می‌شود؟

ج :۷۴ $N/cm^۲$

تمرین (۶): اگر کار مفید یک موتور (۳)سیلندر (۲)زمانه در یکدور گردش میل‌لنگ با فشار متوسط احتراق (۷/۵bar) برابر (۱۸۹۰j)، سطح پیستون ($۱۰۰cm^۲$) و کارایی مکانیکی موتور (٪۸۴) باشد کورس پیستون چند میلی‌متر است؟

ج :۱۰۰ mm

۳ــ۳ــ۲ــ توان تئوری و مفید به کمک حجم مفید موتور: همچنان که قبلاً گفته شد

$V_s = A.S$ است، حال می‌توان در روابط مربوط به کار و توان به جای (A.S)، (V_s) حجم مفید یک سیلندر و نیز به‌جای (A.S.K)، حجم مفید موتور (V_E) را قرار داد. برای مثال رابطه‌ی (۱۷ــ۲) به‌صورت زیر درخواهد آمد.

$$P_e = \frac{P_m . V_s . k . n . \eta_m}{۲ \times ۱۰۰} \quad (kW) \qquad (۱۸ــ۲)$$

و یا

$$P_e = \frac{P_m . V_E . n . \eta_m}{۲ \times ۱۰۰} \quad (kW) \qquad (۱۹ــ۲)$$

که در روابط فوق (P_m) برحسب نیوتن بر سانتی‌متر مربع، (V_E) یا (V_s) برحسب لیتر و (n) برحسب دور بر ثانیه می‌باشد.

توجّه کنید: برای این‌که (V_s) یا (V_E) برحسب لیتر به‌دست آید، باید (A) برحسب دسی‌متر مربع و S برحسب دسی‌متر باشد.

تمرین (۷): در فرمول (۱۸ــ۲)، (A) را به دسی‌مترمربع و (S) را به دسی‌متر تبدیل کنید و روابط (۲۰ــ۲) یا (۱۹ــ۲) را به‌دست آورید.

تمرین (۸): در فرمول‌های (۶ــ۲) تا (۱۷ــ۲) به‌جای (A.S)، مقدار (V_E) یا (V_s) را برحسب لیتر قرار داده، ضریب ثابت هر فرمول را به‌دست آورید و به‌خاطر بسپارید.

مثال (۱۴): حجم مفید موتور (۴)زمانه‌ای (۲/۵lit)، فشار متوسّط احتراق (۹bar)، کارایی مکانیکی موتور (۸۷٪) و دور موتور (۳۰۰۰R.P.M) می‌باشد، مطلوب است که :

۱ــ توان مفید موتور برحسب کیلو وات را به‌دست آورید.

۲ــ اگر موتور (۲)زمانه باشد، توان مفید آن چند کیلووات خواهد بود؟

پاسخ:

$$V_E = ۲/۵ \, lit \qquad n = \frac{۳۰۰۰}{۶۰} = ۵۰ R.P.S$$

$$P_m = ۹ \ bar = ۹۰ N/cm^۲$$

$$(۱) P_e = \frac{P_m . V_E . n . \eta_m}{۲۰۰} = \frac{۹۰ \times ۲/۵ \times ۵۰ \times ۰/۸۷}{۲۰۰} = ۴۸/۹ kW$$

توان مفید اگر موتور (۴)زمانه باشد $\eta_m = ۰/۸۷$

$$n = ۳۰۰۰ R.P.M$$

$$(۲) P_e = \frac{P_m . V_E . n . \eta_m}{۱۰۰} = \frac{۹۰ \times ۲/۵ \times ۵۰ \times ۰/۸۷}{۱۰۰} = ۹۷/۸ kW$$

توان مفید اگر موتور (۲) زمانه باشد. $P_e = ? kW$

۴ــ۲ــ افت توان در موتور (ΔP)

براساس آن‌چه که گفته شد، قسمتی از نیروی احتراق، صرف ازبین‌بردن نیروهای اصطکاکی بین قطعات متحرّک موتور و اینرسی آن‌ها می‌گردد و نیز گفته شد $\eta_m = \frac{F_e}{F_i}$ و $\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$ است و تفاوت بین «F_e» و «F_i» یعنی $F_i - F_e = \Delta F$ (۲۰ــ۲) را افت نیروی موتور و تفاوت بین «P_e» و «P_i» یعنی $P_i - P_e = \Delta P = \Delta Q$ (۲۱ــ۲) را افت توان در موتور می‌نامند که به گرما تبدیل شده، تلف می‌گردد. مقدار «ΔF» معمولاً به نیوتن یا کیلونیوتن و مقدار «ΔP» برحسب ژول برثانیه یا کیلوژول بر ساعت محاسبه می‌شود. هرچه افت کم‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی طراحی بهتر موتور است.

درصد افت توان موتور (η'_m)، از رابطه‌ی $\eta'_m = ٪۱۰۰ - \eta_m$ (۲۲ــ۲) به‌دست می‌آید.

مثال (۱۵): توان مفید موتوری با کارایی مکانیکی (٪۸۰) برابر (۷۵kW) است، توان تلف‌شده را برحسب کیلوژول بر ساعت حساب کنید.

پاسخ:

$$\eta_m = ٪۸۰ \ , \ P_e = ۷۵kW \qquad P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۷۵}{۰/۸} = ۹۳/۷۵kW$$ توان ظاهری

$$\Delta P = ?kj/h$$

$$\Delta P = P_i - P_e = ۹۳/۷۵ - ۷۵ = ۱۸/۷۵kW$$ توان تلف‌شده به کیلووات

$$\Delta P = \Delta Q = ۱۸/۷۵ \times ۳۶۰۰ = ۶۷۵۰۰kj/h$$

یک کیلووات معادل ۳۶۰۰ کیلوژول بر ساعت است.

این مسأله را به‌روش زیر نیز می‌توان حل کرد :

$$\eta'_m = ٪۱۰۰ - ٪۸۰ = ٪۲۰$$ درصد افت توان

٪۸۰ ۷۵kW

$$\Delta P = \frac{۷۵ \times ٪۲۰}{٪۸۰} = ۱۸/۷۵kW$$ افت توان

٪۲۰ ΔP

$$\Delta P = \Delta Q = ۱۸/۷۵ \times ۳۶۰۰ = ۶۷۵۰۰kj/h$$

مثال (۱۶): در یک موتور (۲)زمانه (۲)سیلندر، حجم مفید هر سیلندر ($۷۵۰cm^۳$) دور موتور (۲۱۰۰R.P.M)، فشار متوسّط احتراق (۱۰bar) و کارایی مکانیکی موتور (٪۸۷) است، کار تلف‌شده در موتور را در زمان ۲۰ دقیقه حساب کنید.

پاسخ:

$$K=۲\ ,\ P_m=۱۰bar=۱۰۰N/cm^۲\ ,\ \eta_m=٪۸۷$$

$$V_S=۷۵۰cm^۳, t=۲۰min, \Delta W=?j$$

$$n=۲۱۰۰R.P.M$$

$$n=\frac{۲۱۰۰}{۶۰}=۳۵R.P.S\ ,\ V_E=V_s.K=۷۵۰\times۲=۱۵۰۰cm^۳=۱/۵lit$$

توان تئوری $$P_i=\frac{P_m.V_E.n}{۱۰۰}=\frac{۱۰۰\times۱/۵\times۳۵}{۱۰۰}=۵۲/۵kW$$

توان مفید $$P_e=P_i\times\eta_m=۵۲/۲\times٪۸۷=۴۵/۴۷۵kW$$

افت توان $$\Delta P=P_i-P_e=۵۲/۵-۴۵/۴۷۵=۶/۸۲۵kW$$

افت توان به کیلوژول بر ساعت $$\Delta P=Q=۶/۸۲۵\times۳۶۰۰=۲۴۵۷۰kj/h$$

کار تلف شده $$\Delta W=\Delta P.t=۲۴۵۷۰\times\frac{۲۰}{۶۰}=۸۱۹۰kj$$

تمرین (۹): افت قدرت موتوری با کارایی (٪۸۰) برابر (۲۷۰۰۰kj/h) می‌شود قدرت مفید موتور چند کیلووات است؟

ج: ۳۰ KW

تمرین (۱۰): قدرت مفید موتور (۴)زمانه در دور (۲۵۰۰R.P.M) با حجم مفید ۲/۴ لیتر و بازده مکانیکی آن (٪۸۵) برابر (۵۱kW) است. فشار متوسط احتراق موتور چند بار است؟

ج: ۱۲ bar

تمرین (۱۱): حجم مفید موتور (۴)زمانه‌ای که فشار متوسط احتراق آن (۱۰bar) با کارایی مکانیکی (٪۸۰) و دور (۲۵۰۰R.P.M) و قدرت مفید (۴۵kW)، چند لیتر است؟ هم‌چنین افت قدرت موتور را برحسب کیلوژول بر ساعت به‌دست آورید.

ج ۲/۷lit

ج: ۴۰۵۰۰ kj/h

تمرین (۱۲): موتور سیکلت (۲)سیلندر (۲)زمانه‌ای دارای نسبت تراکم (۶:۱) و قدرت مفید (۱۴/۴kW)، حجم تراکم ($۵۰cm^۳$)، دورموتور (۳۲۰۰R.P.M) و فشار تراکم (۶bar)

است، بازده مکانیکی موتور چه‌قدر است؟

ج: ٪۹۰

پرسش: حرکت اهرم‌ها و یا چرخ‌های طیار در اثر چیست؟

عاملی که باعث ایجاد چرخش جسم، به‌دور یک نقطه یا محور می گردد «گشتاور» نامیده می شود و مقدار آن به مقدار نیرو و فاصله‌ی آن نیرو تا مرکز یا محور دوران بستگی مستقیم دارد، یعنی مقدار گشتاور (M) برابر است با مقدارنیروی (F) ضرب‌در فاصله‌ی آن نیرو تا محور یا مرکز دوران (d)

و یا $M = F.d$

۵ ــ۲ــ گشتاور موتور (M_m)

۱ــ ۵ ــ۲ــ نیروی مفید موتور، توسط شاتون‌ها به بازوهای میل‌لنگ وارد شده، نیروی محیطی میل‌لنگ ایجاد می‌گردد و تولید گشتاور می‌نماید. مقدار گشتاور از حاصل‌ضرب نیروی محیطی میل‌لنگ (F_t) در طول یا شعاع آن (R) به‌دست می‌آید یعنی :

$$M_m = F_t . R = F_t . \frac{S}{۲} \qquad (۲ــ۲۳)$$

واحد گشتاور معمولاً برحسب متر نیوتن (m.N) یا (cm.N) محاسبه می‌گردد.

مثال (۱۷): نیروی محیطی میل‌لنگ (۲۰۰۰N) و کورس پیستون (۱۰۰mm) است، گشتاور میل‌لنگ را برحسب مترنیوتن حساب کنید.

پاسخ:

$F_t = ۲۰۰۰N$ $\qquad M_m = F_t . \frac{S}{۲} = ۲۰۰۰ \times \frac{۰/۱}{۲}$

$S = ۱۰۰mm = ۱۰cm = ۰/۱m$ $\qquad M_m = ۱۰۰m.N$

$M_m = ?m.N$ گشتاور میل‌لنگ برحسب مترنیوتن

۲ــ ۵ ــ۲ــ رابطه‌ی بین گشتاور و توان مفید موتور: هم‌چنان که می‌دانید توان مفید از رابطه‌ی $P_e = F_t . V_t$ [۱] هم به‌دست می‌آید که در این رابطه (P_e) توان مفید موتور، (F_t) نیروی محیطی میل‌لنگ و (V_t) سرعت محیطی میل‌لنگ است ؛ حال اگر به‌جای (V_t) مقدار آن را قرار

۱ــ در مبحث فیزیک گفته شد، کار برابر است با $W = F.d$ و توان برابر است با $P = \frac{W}{t} = \frac{F.d}{t}$ و نیز می‌دانید که سرعت $V_t = \frac{d}{t}$ ، پس توان برابر است با $P = F.V_t$ در رابطه‌ی فوق توان برحسب W و F بر حسب نیوتن و V_t برحسب متر بر ثانیه می‌باشد.

دهیم، نتیجه می‌شود : $P_e(kW)=\frac{F_t.۲R\pi.n}{۱۰۰۰}$ با توجه به رابطه‌ی (۲۳ــ۲) می‌توان گفت :

$P_e(kW)=\frac{۲M\pi.n}{۱۰۰۰}$ چنان‌چه صورت و مخرج را بر عدد (۲π) تقسیم نماییم خواهیم داشت :

$$\boxed{P_e(kW)=\frac{M_m.n_m}{۱۵۹}} \qquad (۲ــ۲۴)$$

که در رابطه‌ی فوق (M_m) برحسب $(m.N)$ و (n) برحسب $(R.P.S)$ است و چون معمولاً دور موتور برحسب $(R.P.M)$ سنجیده می‌شود، اگر در فرمول فوق (n) را برحسب $(R.P.M)$ قرار دهیم، می‌شود :

$$\boxed{P_{e\ kW}=\frac{M_m.n_m}{۹۵۵۰}} \qquad \boxed{P_{e\ kW}=\frac{M_m.n_m}{۱۵۹\times۶۰}} \qquad (۲ــ۲۵)$$

مثال (۱۸): گشتاور موتوری دردور $(۲۷۰۰R.P.M)$ با قدرت مفید $(۷۲kW)$، چند متر نیوتن است؟

پاسخ:

$$M_m=?mN \qquad P_e=\frac{M_m.n_m}{۹۵۵۰}\Rightarrow M_m=\frac{P_e\times۹۵۵۰}{n_m}$$

$$n=۲۷۰۰R.P.M$$

$$P_e=۷۲kW \qquad M_m=\frac{۷۲\times۹۵۵۰}{۲۷۰۰}=۲۶۵/۳m.N$$ گشتاور موتور

مثال (۱۹): توان مفید موتوری در دور $(۳۰۰۰R.P.M)$ برابر $(۶۰hP)$ و دور پیستون $(۸۰mm)$ است. نیروی محیطی میل‌لنگ را برحسب نیوتن حساب کنید.

پاسخ:

$$n_m=۳۰۰۰R.P.M \qquad P_e=۶۰\times۰/۷۴۶=۴۴/۷۶kW$$

قدرت مفید به کیلووات

$$S=۸۰mm=۰/۰۸m \qquad M_m=\frac{P_e\times۹۵۵۰}{n_m}=\frac{۴۴/۷۶\times۹۹۵۰}{۳۰۰۰}=۱۴۲/۵m.N$$

گشتاور میل‌لنگ

$$P_e=۶۰ph, F_t=?N \qquad M_m=F_t.\frac{S}{۲}\Rightarrow F_t=\frac{۲M_m}{S}=\frac{۲\times۱۴۲/۵}{۰/۰۸}=۳۵۶۲/۵N$$

نیروی محیطی میل‌لنگ

۶ــ۲ــ توان حجمی موتور (P_V)

توان حجمی معرف آن است که موتور به‌ازای یک لیتر از حجم مفیدش چه توان مفیدی تولید می‌کند. یعنی اگر حجم مفید موتور (V_E) لیتر و توان بازده آن (P_e) کیلووات باشد، چه توان حجمی خواهد داشت. مقدار توان حجمی از تقسیم (P_e) بر (V_E) به‌دست می‌آید :

$$P_V(kW/lit) = \frac{P_e}{V_E} \qquad (۲ــ۲۶)$$

واحد آن معمولاً کیلووات بر لیتر است.

۷ــ۲ــ توان وزنی موتور (P_G)

توان وزنی، معرف آن است که موتور به ازاء هر کیلووات از توان مفیدش چه مقدار از وزن موتور را تحمل می‌کند ؛ یعنی اگر وزن موتور (G) نیوتن و توان مفیدش (P_e) کیلووات باشد چه توان وزنی را داراست.

مقدار توان وزنی از تقسیم (G) بر (P_e) و واحد آن در سیستم (SI) نیوتن بر کیلووات به‌دست می‌آید.

$$P_G(N/kW) = \frac{G}{P_e} \qquad (۲ــ۲۷)$$

مثال (۲۰): توان حجمی موتوری با توان مفید(۹۰kW) و حجم مفید(۲/۲۵lit) چند کیلو وات بر لیتر است؟

پاسخ:

$$V_E = ۲/۲۵lit \ , \ P_e = ۹۰kW \ , \ P_V = ?kW/lit$$

توان حجمی موتور $$P_V = \frac{P_e}{V_E} = \frac{۹۰}{۲/۲۵} = ۴۰kw/lit$$

یعنی به‌ازای یک لیتر از حجم موتور (۴۰) کیلووات قدرت مفید تولید می‌کند.

مثال (۲۱): توان وزنی موتوری با توان بازده (۹۸kW) و وزن (۹۸۰۰N) چند نیوتن برکیلووات است؟

پاسخ:

$$G = ۹۸۰۰N \ , \ P_e = ۹۸kW \quad P_G = ?N/kW$$

قدرت وزنی موتور $$P_G = \frac{G}{P_e} = \frac{۹۸۰۰}{۹۸} = ۱۰۰N/kW$$

یعنی هر کیلووات از قدرت مفید موتور، در برابر (۱۰۰) نیوتن از وزن موتور قرار دارد.

مثال (۲۲): توان حجمی موتوری ($35\,kW/lit$) و حجم مفید آن ($2/4\,lit$) است، اگر وزن موتور ($1050N$) باشد توان وزنی آن چند نیوتن بر کیلووات است؟

پاسخ: برای محاسبه‌ی (P_G)، ابتدا باید قدرت مفید موتور را به کمک توان حجمی موتور به‌دست آوریم، یعنی :

$P_V = 35\,kW/lit$

$V_E = 2/4\,lit$ $\qquad P_V = \frac{P_e}{V_E} \Rightarrow P_e = P_V . V_E = 35 \times 2/4 = 84\,kW$

$G = 1050N$

$P_G = ?N/kW$ $\qquad P_G = \frac{G}{P_e} = \frac{1050}{84} = 12/5\,N/kW$

مثال (۲۳): قطر و کورس پیستون‌های یک موتور (۴)زمانه (۴)سیلندر ($80mm$)، نسبت تراکم آن(۹:۱)، فشار متوسط احتراق ($10bar$)، بازده مکانیکی موتور(٪۸۰)توان وزنی آن ($150N/kW$) و دور موتور ($3000R.P.M$) است، حساب کنید که :

۱ــ حجم تراکم موتور چند سانتی‌متر مکعب است؟

۲ــ توان مفید موتور چند کیلووات است؟

۳ــ افت توان موتور چند کیلوژول بر ساعت است؟

۴ــ توان حجمی موتور چند کیلووات برلیتر است؟

۵ ــ وزن موتور برحسب (N) چه اندازه است؟

پاسخ:

$T = 4$

$K = 4$ $\qquad V_s = \pi \frac{D^2}{4} . SV_s = \frac{8^2 \times 3/14}{4} \times 8 = 401/92$

$n = 3000R.P.M$ $\qquad \cong 402cm^3$

$D = S = 80mm = 8cm$ $\qquad V_c = \frac{V_s}{R_c - 1}$

$R_c = 9 \div 1$ ، $D = 100mm$

$\eta = \%80$ ، $P_m = 10bar$ $\qquad V_c = \frac{402}{9-1} = \frac{402}{8} = 50/25cm^3$

$P_G = 150N/kW$ $\qquad$ حجم تراکم

$V_c = ?cm^3$

$P_e = ?kW$ $\qquad (۲)P_e = \frac{P_m . V_E . n . \eta_m}{۲۰۰} \Rightarrow V_E = V_s . k$

$\Delta P = ?kj/h$

$P_v = ?kW/lit$ $\qquad V_E = ۴۰۲ \times ۴ = ۱۶۰۸cm^3 = ۱/۶۰۸lit$

$G = ?N$ $\qquad$ حجم مفید موتور

$P_m = ۱۰ \times ۱۰ = ۱۰۰N/cm^2$

$n = \frac{۳۰۰۰}{۶۰} = ۵۰R.P.S$

$P_e = \frac{۱۰۰ \times ۱/۶۰۸ \times ۵۰ \times ٪۸۰۰}{۲۰۰} = ۳۲/۱۶kW$ $\qquad$ قدرت مفید موتور

$P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۳۲/۱۶}{٪۸۰} = ۴۰/۲kW$ $\qquad \Delta P = P_i - P_e$

$\Delta P = ۴۰/۲ - ۳۲/۱۶ = ۸/۰۴۹kW$ $\qquad$ افت توان

$\Delta P = ۸/۰۴۹ \times ۳۶۰۰ = ۲۸۹۴۴kj/h$ $\qquad$ افت توان برحسب کیلوژول برساعت

$(۴)P_V = \frac{P_e}{V_E} = \frac{۳۲/۱۶}{۱/۶۰۸} = ۲۰kW/lit$ $\qquad$ توان حجمی موتور

$(۵)P_G = \frac{G}{P_e} \Rightarrow G = P_G . P_e = ۱۵۰ \times ۳۲ \times ۱۶ = ۴۸۲۴N$ $\qquad$ وزن موتور

مثال (۲۴): گشتاور یک موتور (۶)سیلندر (۴)زمانه، در دور $(۲۸۶۵R.P.N)$ برابر $(۱۲۰m.N)$ کارایی مکانیکی آن $(٪۹۰)$، فشار متوسط احتراق $(۸۰N/cm^2)$، قطر سیلندر $(۸۰mm)$ است، مطلوب است که :

۱ــ توان تئوری موتور برحسب (kW) را محاسبه کنید.

۲ــ حجم مفید موتور برحسب لیتر را به‌دست آورید.

۳ــ سرعت محیطی میل‌لنگ برحسب متربرثانیه را حساب کنید.

۴ــ نیروی محیطی میل‌لنگ برحسب نیوتن را به‌دست آورید.

پاسخ: $T = ۴$ زمانه

$k = ۶$ $\qquad (۱)P_e = \frac{M_m . n_m}{۹۵۵۰} = \frac{۱۲۰ \times ۲۸۶۵}{۹۵۵۰} = ۳۶kW$

$n = ۲۸۶۵R.P.M$

$M_m = ۱۲۰ m.N$ $\quad P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۳۶۰}{٪۹۰} = ۴۰ kW$ قدرت تئوری

$\eta_m = ٪۹۰$

$P_m = ۸۰ N/cm^۲$ $\quad (۲) P_i = \frac{P_m . V_E . n}{۲۰۰} \Rightarrow V_E = \frac{P_i \times ۲۰۰}{P_m . n}$

$D = ۸۰ mm = ۸ cm$

$P_i = ? kW$ $\quad n = \frac{۲۸۶۵}{۶۰} = ۴۷/۷۵ R.P.S$

$V_E = ? lit$

$V_t = ? m/s$ $\quad V_E = \frac{۴۰ \times ۲۰۰}{۸۰ \times ۴۷/۷۵} = ۲/۰۹۴ lit$ حجم مفید موتور

$F_t = ? N$

$$(۳) V_t = s.\pi.n \ , \ V_E = \pi \ \frac{D^۲}{۴}.s.k$$

$V_E = ۲/۰۹۴ \times ۱۰۰۰ = ۲۰۹۴ cm^۳$

$$S = \frac{V_E}{D^۲ \frac{\pi}{۴}.k} = \frac{۲۰۹۴}{۸^۲ \times \frac{۳/۱۴}{۴} \times ۶} = ۶/۹۴۶ cm \simeq ۰/۰۷ m$$

$V_t = ۰/۰۷ \times ۳/۱۴ \times ۴۷/۷۵ = ۱۰/۴۹۵ m/s \simeq ۱۰/۵ m/s$

سرعت محیطی میل‌لنگ

$$(۴) M_m = F_t . \frac{S}{۲} \Rightarrow F_t = \frac{۲M_m}{۶} = \frac{۱۲۰ \times ۲}{۰/۰۷} = ۳۴۲۸/۶ N$$

نیروی محیطی میل‌لنگ

مثال (۲۵): افت توان در یک موتور (۲) زمانه (۳) سیلندر ($۳۷۸۰۰ kj/h$) است، اگر سرعت متوسط پیستون در این موتور در دور ($۲۴۰۰ R.P.M$) برابر ($۸ m/s$)، فشار متوسط احتراق روی پیستون ($۹ bar$)، بازده مکانیکی (٪۸۶) باشد،

مطلوب است که :

۱ــ قدرت مفید موتور برحسب کیلووات محاسبه شود.

۲ــ حجم مفید موتور برحسب لیتر به‌دست آید.

۳ــ قطر پیستون برحسب میلی‌متر حساب شود.

۴ــ کار مفید یک پیستون برحسب ژول در یک کورس حساب شود.

۵ ــ گشتاور موتور برحسب متر نیوتن به‌دست آید.

پاسخ:

$T = ۲$ زمانه $\qquad \eta'_m = ۱۰۰ - \eta_m$

$k = ۳$ $\qquad (۱)\eta'_m = ٪۱۰۰ - ٪۸۶ = ٪۱۴$ درصد افت توان

$\Delta P = ۳۷۸۰۰ kj/hr$

$\eta_m = ۰/۸۶$ $\qquad \Delta P = \frac{۳۷۸۰۰}{۳۶۰۰} = ۱۰/۵ kW$ افت توان به کیلووات

$n = ۲۴۰۰ R.P.M$ $\qquad P_i = \frac{\Delta P}{\eta'_m} = \frac{۱۰/۵}{۰/۱۴} = ۷۵ kW$ توان تئوری

$P_m = ۹ bar = ۹۰ N/cm^۲$

$V_m = ۸ m/s$ $\qquad P_e = P_i . \eta_m = ۷۵ \times ۰/۸۶ = ۶۴/۵ kW$ توان مفید

$(۱)P_e = ? kW$

$(۲)V_E = ? lit$ $\qquad (۲)P_i = \frac{P_m . V_E . n}{۱۰۰} \Rightarrow V_E = \frac{P_i \times ۱۰۰}{P_m n}$

$(۳)D = ? mm$

$(۴)W_{۱e} = ? j$ $\qquad n = \frac{۲۴۰۰}{۶۰} = ۴۰ R.P.S$

$(۵)M_m = ? m.N$

$V_E = \frac{۷۵ \times ۱۰۰}{۹۰ \times ۴۰} = ۲/۰۸۳ lit$ حجم مفید موتور

$(۲)V_E = \pi \frac{D^۲}{۴} . S.k \Rightarrow D^۲ = \frac{۴V_E}{\pi . S.k}$

(S) را به‌کمک سرعت متوسط پیستون حساب می‌کنیم.

$V_m = ۲S.n \Rightarrow S = \frac{V_m}{۲n} = \frac{۸}{۲ \times ۴۰} = ۰/۱ m = ۱۰ cm$

پس $D^۲ = \frac{۴ \times ۲/۰۸۳ \times ۱۰۰۰}{۳/۱۴ \times ۱۰ \times ۳} = ۸۸/۴۵ cm^۲$

$D = \sqrt{۸۸/۴۵} = ۹/۴ cm = ۹۴ mm$

$(۴)P_e = W_e . n = W_{e۱} . k . n$ و $P_e = ۶۴/۵ \times ۱۰۰۰ = ۶۴۵۰۰ j/sec$

توان مفید برحسب ژول برثانیه

$$۶۴۵۰۰ = W_{e۱} \times ۳ \times ۴۰ \Rightarrow W_{e۱} = \frac{۶۴۵۰۰}{۳ \times ۴۰} = ۵۳۷/۵j$$

کار یک پیستون در یک کورس

$$(۵)M_m = \frac{P_e \times ۹۵۵۰}{n} = \frac{۶۴/۵ \times ۹۵۵۰}{۲۴۰۰} = ۲۵۶/۶m.N$$ گشتاور موتور

تمرین

مسأله‌ی (۱) : یک موتور دیزل دارای (۶) سیلندر، (۴) زمانه با دور (۳۶۰۰R.P.M)، قدرت بازده (۴۵kW) و بازده مکانیکی (۸۱٪) می‌باشد، اگر فشار متوسط احتراق روی پیستون (۸/۲bar) و وزن خالص موتور (۷۲۵۰N) باشد،

الف : توان تئوری موتور برحسب کیلووات را به‌دست آورید.

ب : گشتاور موتور برحسب مترنیوتن را محاسبه کنید.

ج : توان حجمی موتور برحسب کیلووات برلیتر چه‌قدر است؟

د : توان وزنی آن برحسب نیوتن برکیلووات را حساب کنید.

الف) ۵۵/۵kW ب) ۱۱۹/۶m.N ج) ۲۰kW/lit د) ۱۶۱N/kW

مسأله‌ی (۲): در یک موتور(۴) زمانه (۴)سیلندر در دور (۶۰۰۰R.P.M) با قطر پیستون (۸۰mm)، کورس پیستون (۸۰mm)، فشار متوسط احتراق روی پیستون (۱۰bar) می‌باشد، با توجه به این داده‌ها :

الف : توان ظاهری موتور برحسب کیلووات را به‌دست آورید.

ب : گشتاورموتور برحسب مترنیوتن را حساب کنید.

ج : قدرت حجمی چند کیلووات برلیتر است؟

د : افت توان برحسب کیلوژول بر ساعت با بازدهی مکانیکی (۸۸٪) را به‌دست آورید.

الف) ۸۰kW ب) ۱۱۲m.N ج) ۴۴kW/lit د) ۳۴۵۶۰kj/h

مسأله‌ی (۳): توان داخلی یک موتور بنزینی (۸۰kW)، دور موتور (۲۸۶۵R.P.M)، بازده مکانیکی آن (۹۰٪) و نیروی محیطی میل‌لنگ در این حالت (۴۰۰۰N) می‌باشد، حساب کنید که :

الف : گشتاور موتور چند مترنیوتن است؟

ب : سرعت متوسط پیستون چند متر برثانیه است؟

ج : افت توان چند کیلوژول برساعت است؟

الف) ۲۴۰m.N ب) ۱۱/۴۶m/s ج) ۲۸۸۰۰kj/h

مسأله‌ی (۴): اگر موتور (۶)سیلندر (۴)زمانه‌ای در دور (۳۸۲۰R.P.M) دارای گشتاور (۱۸۰m.N)، فشار متوسط احتراق روی پیستون ($۹۰N/cm^۲$) و کارایی مکانیکی (۹۰٪) باشد، به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف : توان داخلی موتور برحسب کیلو وات چه‌قدر است؟

ب : حجم مفید یک سیلندر را برحسب سانتی‌متر مکعب حساب کنید.

ج : کار مفید موتور در یک دور گردش میل‌لنگ چند ژول است؟

الف) ۸۰kW ب) $۴۶۵cm^۳$ ج) ۱۱۳۰j

مسأله‌ی (۵): اگر یک موتور دیزل (۴)زمانه (۸)سیلندر با دور (۱۵۰۰R.P.M)، حجم مفید هرسیلندر ($۱۸۴۰cm^۳$) و فشار متوسط احتراق روی پیستون (۱۴/۶۸bar) با بازدهی مکانیکی (۸۵٪) کار کند، خواسته‌های زیر را به‌دست آورید.

الف : توان تئوری موتور برحسب کیلووات.

ب : گشتاور موتور را برحسب مترنیوتون.

ج : کار مفید یک پیستون را در یک کورس برحسب ژول

د : توان حجمی موتور برحسب کیلووات برلیتر.

الف) ۲۷۰kW ب) ۱۴۶۱m.N ج) ۲۲۹۶j د) ۱۵/۵۹kW/lit

مسأله‌ی (۶): یک مولد الکتریکی با توان بازده (۸۱kW) و کارایی الکتریکی (۹۰٪)، توسط یک موتور (۶)سیلندر (۴)زمانه که قطر دهانه‌ی هر سیلندر آن (۴in)، فشار متوسط احتراق روی پیستون ($۱۲۰lb/in^۲$) و دور موتور (۳۰۰۰R.P.M) می‌باشد، کار می‌کند.

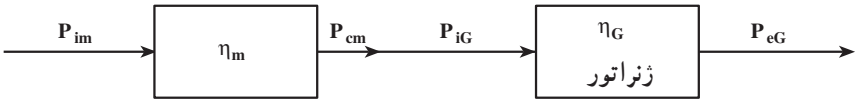
خواسته‌های زیر را حساب کنید.

الف : قدرت مفید موتور برحسب کیلووات $۱bar = ۱۰\frac{N}{cm^۲}$

ب : اگر بازده مکانیکی موتور (۸۵٪) باشد، سرعت محیطی میل‌لنگ برحسب متربرثانیه

ج : افت توان در مولد برحسب کیلوژول برساعت

د : گشتاور موتور برحسب مترنیوتن



الف) ۹۰kW ب) ۱۶/۵m/s ج) ۳۲۴۰۰kj/h د) ۲۸۶/۵m.N

مسأله‌ی (۷): یک موتور (۳)سیلندر (۲)زمانه با دور (۳۶۰۰R.P.M) دارای توان مفید (۶۳kW) با کارایی مکانیکی (۸۴٪) می‌باشد که قطر هر پیستون (۷۵mm) و کورس پیستون (۹۰mm) است بر این اساس :

الف : فشار متوسط احتراق روی پیستون چند bar است؟

ب : سرعت محیطی میل‌لنگ چند متر برثانیه است؟

ج : قدرت حجمی موتور، چند کیلووات برلیتر است؟

د : نیروی محیطی میل‌لنگ چند نیوتن است؟

الف) ۱۰/۴۷bar ب) ۱۷m/s ج) ۵۲/۸kW/lit د) ۳۷۱۴N

مسأله‌ی (۸): موتور (۴)زمانه‌ی (۶)سیلندری در دور (۳۰۰۰R.P.M) دارای قدرت مفید (۵۲kW)، سرعت متوسط پیستون (۱۰ m/s)، کارایی مکانیکی (۸۰٪) و فشار متوسط احتراق روی پیستون (۸bar) است، حساب کنید که :

الف : قطر سیلندر برحسب میلی‌متر چه‌قدر است؟

ب : گشتاور موتور چند مترنیوتن است؟

ج : حجم مفید موتور برحسب لیتر چه‌مقدار است؟

د : اگر وزن موتور (۱۵۶۰N) باشد، قدرت وزنی موتور برحسب نیوتن بر کیلووات چه‌قدر است؟

الف) ۸۳mm ب) ۱۶۵/۵m.N ج) ۳/۲۵lit د) ۳۰N/kW

مسأله‌ی (۹): اگر قدرت حجمی موتور (۴)زمانه‌ی (۴)سیلندری (۱۶kW/lit)، فشار متوسط احتراق (۸bar)، قطر و کورس پیستون هریک (۱۰۰mm) باشد،

خواسته‌های زیر را حساب کنید.

الف : توان تئوری موتور با کارایی (۷۸٪) برحسب کیلووات

ب : دور موتور برحسب دور بر دقیقه.

ج : گشتاور موتور برحسب مترنیوتن.

د : سرعت متوسط پیستون برحسب متربرثانیه

الف) ۶۴/۴kW ب) ۳۰۷۷R.P.M ج) ۱۵۶m.N د) ۱۰/۲۵m/s

مسأله‌ی (۱۰): گشتاور موتور (۴)زمانه‌ی (۴)سیلندری با قدرت مفید (۸۰kW) و بازده مکانیکی (۸۵٪) برابر (۱۳۸m.N) و فشار متوسط احتراق روی پیستون (۱۰bar) می‌باشد.

مطلوب است که :

الف : دور موتور برحسب دور بر دقیقه را به‌دست آورید.

ب : حجم مفید موتور برحسب لیتر را حساب کنید.

ج : قدرت لیتری موتور برحسب کیلووات برلیتر را اندازه‌گیری کنید.

د : اگر نیروی محیطی میل‌لنگ (۲۷۶۰N) نیوتن باشد، سرعت متوسط پیستون برحسب متربرثانیه را محاسبه کنید.

(الف ۵۵۳۶R.P.M (ب ۲/۰۴lit (ج ۳۹/۲kW/lit (د ۱۸/۴۵m/s

مسأله‌ی (۱۱): موتوری به وزن (۱۸۵۰N) دارای قدرت وزنی (۳۷۰N/kW)، گشتاور (۱۲۰m.N)، نسبت تراکم (۱۱:۱)، حجم تراکم ($۸۰cm^3$)، قطر سیلندر(۸۰mm) و کارایی مکانیکی (۸۰٪) است، حساب کنید که :

الف : دور موتور چند دور بر دقیقه است؟

ب : فشار متوسط احتراق وارد بر کف پیستون چند نیوتن بر سانتی‌متر مربع (موتور (۴)زمانه‌ی (۴)سیلندر است) است؟

ج : سرعت محیطی میل‌لنگ برحسب متربرثانیه چه‌مقدار است؟

د : قدرت حجمی موتور چند کیلووات برلیتر است؟

(الف ۳۹۸۰R.P.M (ب ۵۸/۸۸N/cm² (ج ۳۳/۳m/s (د ۱۵/۶۲۵kW/lit

مسأله‌ی (۱۲): در یک موتور بنزینی (۴)زمانه‌ی (۴)سیلندر که قطر هر پیستون آن (۴/۲in)، دور موتور (۲۴۰۰R.P.M)، نیروی محیطی میل‌لنگ (۹۰۰lb) سرعت محیطی میل‌لنگ (۳۱۴۰ft/min) و کارایی مکانیکی (۸۵٪) است ؛ براساس این داده‌ها :

الف : سرعت متوسط پیستون برحسب متربرثانیه را به‌دست آورید.

ب : گشتاور موتور برحسب مترنیوتن را محاسبه کنید.

ج : قدرت تئوری موتور برحسب کیلووات را بنویسید.

د : فشار متوسط احتراق روی پیستون برحسب نیوتن بر سانتی‌مترمربع چه‌قدر است؟

هـ : حجم مفید برحسب لیتر را به‌دست آورید.

(الف ۱۰/۱۶m/s (ب ۲۵۴m.N (ج ۷۵kW (د ۸۳/۷۶N/cm² (هـ ۴/۵۴lit

مسأله‌ی (۱۳): دینام اتومبیلی در دور ثابت دارای توان بازده (۳۷۳W) و کارایی الکتریکی (۹۶٪) است، اگر (۱٪) از توان مفید موتور صرف گرداندن دینام شود و دورموتور (۳۱۲۰R.P.M) باشد حساب کنید که :

الف : افت توان در دینام برحسب کیلوژول برساعت چه‌قدر است؟

ب : توانی که صرف گرداندن دینام شده چند وات است؟

ج : گشتاور موتور چند متر نیوتن است؟

الف) ۵۵/۸kj/h ب) ۳۸۸/۵W ج) ۱۱۸/۹N.m

مسأله‌ی (۱۴): موتور دیزلی با کارایی مکانیکی (۸۵٪) ژنراتوری را با بازده الکتریکی (۹۲٪) می‌چرخاند ؛ برق تولیدی ژنراتور صرف روشن‌کردن (۳۰۰) عدد لامپ (۲۰۰) واتی می‌شود. (شکل صفحه‌ی ۳۵)

مطلوب است که :

الف : توان مفید موتور دیزل برحسب کیلووات را به‌دست آورید.

ب : توان تلف‌شده در موتور برحسب کیلوژول برساعت را محاسبه کنید.

ج : توان تلف‌شده در ژنراتور برحسب کیلوژول برساعت را حساب کنید.

الف) ۶۵/۲kW ب) ۴۱۴۰۰kj/h ج) ۱۸۷۲۰kj/h

مسأله‌ی (۱۵): در یک موتور (۲)زمانه‌ی (۳)سیلندر، سطح دهانه‌ی سیلندر ($۸۰cm^2$)، کورس پیستون (۷۰mm)، دور موتور (۲۵۰۰R.P.M)، توان مفید موتور (۷۰PS) با کارایی مکانیکی (۸۰٪) می‌باشد حساب کنید :

الف : حجم مفید موتور چند لیتر است؟

ب : فشار متوسط احتراق روی پیستون چند بار است؟

ج : سرعت حداکثر پیستون برحسب متربرثانیه چه‌مقدار است؟

د : گشتاور موتور چند متر نیوتن است؟

هـ : نیروی محیطی میل‌لنگ برحسب نیوتن چه‌قدر است؟

الف) ۱/۶۸lit ب) ۹/۱۹bar ج) ۹/۱۵m/s د) ۱۹۶/۶mN

هـ) ۵۶۱۷N

فصل سوم

محاسبات کلاچ

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
۱ــ نیروی آزادسازی صفحه کلاچ در حالت کلاچ گرفتن را محاسبه کند.
۲ــ نیروی فشاری وارد بر صفحه کلاچ را حساب کند.
۳ــ میزان فشار وارد بر صفحه کلاچ را به‌دست آورد.
۴ــ نیرو و گشتاور اصطکاکی کلاچ را محاسبه کند.

۳ــ محاسبات کلاچ

۱ــ۳ــ محاسبه‌ی نیروی آزادسازی صفحه کلاچ هنگام کلاچ گرفتن

مقدّمه: هم‌چنان که می‌دانید، هنگام توقّف اتومبیل با موتور روشن و نیز در وقت تعویض دنده، باید ارتباط بین موتور و گیربکس قطع گردد. این عمل توسط سیستم کلاچ که از نظر ساختمان و سیستم راه‌اندازی به انواع مختلفی تقسیم می‌شود، انجام می‌گیرد ؛ روش محاسبات در دو نوع تشریح می‌گردد :

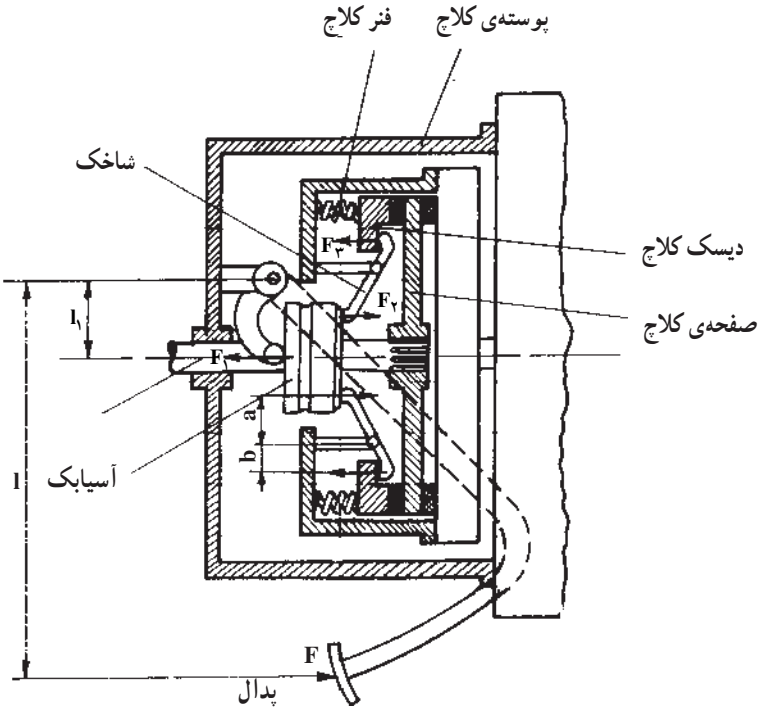
۱ــ۱ــ۳ــ کلاچ‌های مکانیکی: در این سیستم، نیروی پای راننده به پدال کلاچ وارد شده، از طریق یک سری اهرم‌بندی به آسیابک کلاچ منتقل می‌گردد و باعث عقب کشیده شدن دیسک کلاچ و حذف نیروی فنرهای آن از روی صفحه کلاچ می‌شود ؛ درنتیجه کلاچ آزاد شده، نیرویی از موتور به گیربکس منتقل نمی‌شود.

در شکل ۱ــ۳ نیروی (F) توسط پای راننده به پدال کلاچ وارد شده، از طریق اهرم‌های (l)، (l_1)، (a) و (b) به آسیابک و شاخک‌های کلاچ، به دیسک منتقل می‌شود. پس می‌توان گفت :

$$F.l = F_1 l_1 \qquad F_1 = \frac{F.l}{l_1}$$

$$F_1 a = F_2 . b \qquad F_2 = \frac{F_1 a}{b} = \frac{F.l.a}{b l_1}$$

$$\boxed{F_2 = \frac{F.l.a}{b.l_1}} \qquad (۳_۱)$$



شکل ۱ــ۳ــ سیستم کلاچ و اهرم‌بندی آن

(F_3) نیرویی است که دیسک را به عقب کشیده، صفحه کلاچ را آزاد و ارتباط بین کلاچ و گیربکس را قطع می‌نماید.

مثال (۱): در شکل (۱ــ۳)، $F = ۵۰N$ ، $l = ۳۵cm$ ، $l_1 = ۱۶cm$ ، $a = ۱۰cm$ ، $b = ۲cm$ می‌باشد. مطلوب است نیروی وارد به دیسک هنگام کلاچ گرفتن برحسب نیوتن را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$F = ۵۰N \ , \ l = ۳۵cm \qquad F_2 = \frac{F.l.a}{l_1 . b}$$

$l_1 = ۱۶cm, a = ۱۰cm$

$b = ۲cm$ $\qquad F_۲ = \frac{۵۰ \times ۳۵ \times ۱۰}{۱۶ \times ۲} = \frac{۱۷۵۰۰}{۳۲}$

$F_۲ = ?N$

نیروی وارد به دیسک $\qquad F_۲ \simeq ۵۴۷N$

۲ــ۱ــ۳ــ محاسبه‌ی کلاچ‌های هیدرولیکی: نیروی مؤثّر پدال از طریق اهرم متصل به آن، باعث اعمال نیرو به پیستون پمپ اصلی کلاچ (پمپ بالا) می‌گردد. درنتیجه، در مدار روغن فشار به‌وجود می‌آید ؛ سپس فشار ایجاد شده به پیستون پمپ فرعی (پمپ پایین) نیرو وارد می‌کند، این نیرو به دو شاخه‌ی کلاچ و نهایتاً به آسیابک منتقل و توسط انگشتی‌ها یا شاخک‌ها به دیسک می‌رسد (شکل ۲ــ۳).

با توجه به شکل ۲ــ۳ می‌توان گفت :

$$P = \frac{F_۱}{A_۱} = \frac{F_۲}{A_۲} \Rightarrow \boxed{F_۲ = \frac{F_۱ . A_۲}{A_۱} = \frac{F_۱ d_۲^{۲}}{d_۱^{۲}}} \qquad (۲ــ۳)$$

که مقدار $F_۱$ مطابق شکل (۲ــ۳)، می‌شود :

$$F_۱ = \frac{F.l}{l_۱}$$

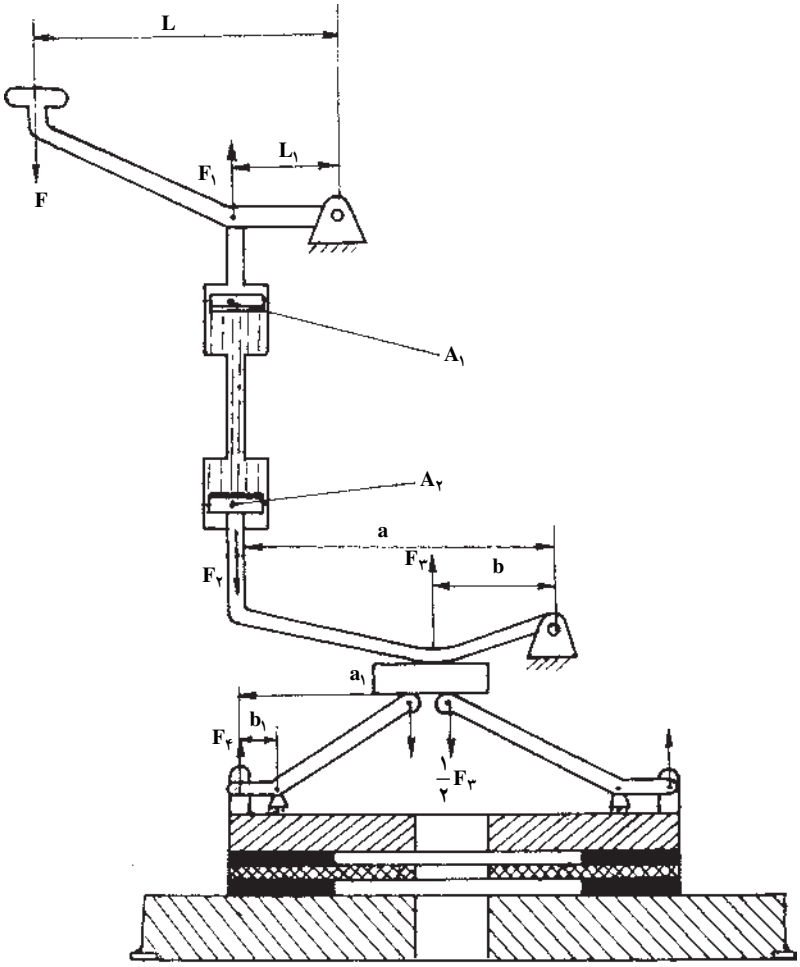
پس (۳ــ۳) $\qquad \boxed{F_۲ = \frac{F.l.d_۲^{۲}}{l_۱ . d_۱^{۲}}}$

«F» نیروی پای راننده، «$A_۱$» سطح پیستون پمپ بالا، «$A_۲$» سطح پیستون پمپ پایین، «$d_۱$» قطر پیستون سیلندر پمپ بالا، «$d_۲$» قطر پیستون پمپ پایین «l» و «$l_۱$» بازوهای اهرم پدال کلاچ، «$F_۱$» نیروی وارد به پیستون پمپ بالا، «$F_۲$» نیروی وارد به اهرم آسیابک و «P» فشار در مدار روغن کلاچ هنگام کلاچ گرفتن، «$F_۳$» نیروی وارد به شاخک‌ها، «a» و «b» بازوهای اهرم دو شاخه «$a_۱$» و «$b_۱$» بازوهای انگشتی‌ها می‌باشد. پس :

$$F_۲ . a = F_۳ . b \Rightarrow F_۳ = \frac{F_۲ . a}{b} \ , \ F_۴ . b_۱ = F_۳ . a_۱$$

$$F_۴ = \frac{F_۳ . a_۱}{b_۱} \Rightarrow F_۴ = \frac{F_۲ . a . a_۱}{b . b_۱} = \frac{F_۱ . d_۲^{۲} . a . a_۱}{d_۱^{۲} . b . b_۱}$$

$$\boxed{F_۴ = \frac{F.l.d_۲^{۲} . a . a_۱}{l_۱ . d_۱^{۲} . b . b_۱}} \qquad (۳ــ۴)$$



شکل ۲ــ۳ــ سیستم کلاچ هیدرولیکی

مثال (۲): اگر نیروی وارد به پدال کلاچ (۴۵N) مطابق شکل (۲ــ۳)، $l = ۲۰cm$ ، $l_۱ = ۱۵cm$ ، قطر پیستون پمپ بالا (۲۲mm)، قطر پیستون پمپ پایین (۳۵mm)، فاصله‌ی نقطه‌ی اثر نیرو بر دو شاخه‌ی کلاچ تا مرکز لولا (۱۲۰mm) و فاصله‌ی مرکز لولا تا مرکز آسیابک (۵۰mm) و ابعاد اهرم شاخک (۵۰mm) و (۱۲mm) باشد، حساب کنید که :

۱ــ نیروی وارد به پیستون پمپ بالای کلاچ برحسب (N) چه‌قدر است؟

۲ــ فشار روغن در مدار چند نیوتن بر سانتی‌مترمربع است؟

۳ــ نیروی مؤثّر بر آسیابک چند نیوتن است؟

۴ــ نیروی وارد به دیسک کلاچ جهت آزادسازی صفحه کلاچ برحسب نیوتن چه‌قدر است؟

پاسخ:

$F = ۴۵N \ , \ l = ۲۰cm \qquad (۱)F_۱ = \frac{F.l}{l_۱} = \frac{۴۵ \times ۲۰}{۱۵} = ۶۰N$

$l_۱ = ۱۵cm \ , \ d_۱ = ۲۲mm$

$d_۲ = ۳۵mm \ , \ a = ۱۲۰mm \quad (۲)P = \frac{F_۱}{A_۱} \Rightarrow A_۱ = \frac{d_۱^۲ \pi}{۴} = \frac{۲/۲^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۳/۸cm^۲$

$b = ۵۰mm, F_۱ = ?N$

$P = ?N/cm^۲, \ F_۳ = ?N \quad P = \frac{۶۰}{۳/۸} = ۱۵/۷۸N/cm^۲$ فشار در مدار روغن

$a_۱ = ۵۰mm, b = ۱۲mm$

$F_۴ = ?N \qquad (۳)F_۳ . b = F_۲ . a \ \Rightarrow \ F_۳ = \frac{F_۲ . a}{b}$

$F_۲ = P . A_۲ \ , \ A_۲ = \frac{(۳/۵)^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۹/۶cm^۲$

$F_۲ = ۹/۶ \times ۱۵/۷۸ = ۱۵۱/۵N \ \Rightarrow \ F_۳ = \frac{۱۵۱/۵ \times ۱۲۰}{۵۰} = ۳۶۳/۶N$

$(۴)F_۴ = \frac{F_۳ . a_۱}{b_۱} = \frac{۳۶۳/۶ \times ۵۰}{۱۲} = ۱۵۱۵N$

۲ــ۳ــ نیروی فشاری وارد بر صفحه کلاچ

نیروی فشاری وارد بر صفحه کلاچ عبارت است از مجموعه‌ی نیروهای پتانسیلی فنرهای فشاردهنده، یعنی :

$$\boxed{f_c = n . f_۱} \qquad (۳ــ۵)$$

(همواره باید $f_c \le F_۴$ باشد)

که «$f_۱$» نیروی پتانسیلی یکی از فنرها، «n» تعداد فنرها و «f_c» نیروی فشاردهنده است که باید ($F_۴ \ge f_c$) باشد.

مثال (۳): در یک سیستم کلاچ هیدرولیکی مطابق شکل (۲ــ۳) «$F_۱$» نیروی وارد بر پیستون پمپ بالا (۲۰kg)، قطر آن (۲۰mm)، قطر پیستون پمپ پایین (۲۸mm)، ابعاد اهرم دو شاخه (۱۴cm) و (۷cm) و نیز ابعاد هر یک از دو قسمت انگشتی‌ها (۱۰cm) و (۲cm) است، مطلوب است که :

۱ــ نیروی فشاری وارد به دیسک کلاچ برحسب نیوتن در هنگام کلاچ گرفتن را محاسبه کنید.

۲ــ نیروی فشاری هر یک از (۸) فنر فشاردهنده‌ی دیسک برحسب نیوتن در هنگام کلاچ گرفتن را به‌دست آورید.

۳ــ فشار روغن در مدار کلاچ برحسب بار، هنگام کلاچ گرفتن را حساب کنید.

پاسخ:

$g = ۱۰ m/s^۲$

$F_۱ = ۲۰ kg = ۲۰۰ N$ $\quad (۱) F_۴ = \frac{F_۱ . d_۲^۲ . a . a_۱}{d_۱^۲ . b . b_۱} = \frac{۲۰۰ \times ۲۸^۲ \times ۱۴ \times ۱۰}{۲۰^۲ \times ۷ \times ۲}$

$d_۱ = ۲۰ mm , d_۲ = ۲۸ mm$

$a = ۱۴ cm \ , \ b = ۷ cm$ $\quad (= ۳۹۲۰ N = f_c)$

$a_۱ = ۱۰ cm \ , \ b_۱ = ۲ cm$

$n = ۸$ $\quad (۲) f_۱ = \frac{f_c}{۸} = \frac{۳۹۲۰}{۸} = ۴۹۰ N$

$f_c = ? N \ , \ F_۴ = ? N$

$P = ? bar$ $\quad (۳) A_۱ = \frac{d_۱^۲ . \pi}{۴} = \frac{۲^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۳/۱۴ cm^۲$

$P = \frac{F_۱}{A_۱} = \frac{۲۰۰}{۳/۱۴} = ۶۳/۷ N/cm^۲ = ۶/۳۷ bar$

مثال (۴): در یک سیستم کلاچ مطابق شکل (۲ــ۳)، جهت آزادسازی صفحه کلاچ (۴۵۰kg) نیرو لازم است. اگر ابعاد اهرم دو شاخه‌ی کلاچ به‌ترتیب ($a = ۱۲۶ mm$)، ($b = ۲۱ mm$) و ابعاد اهرم انگشتی‌ها به‌ترتیب ($a_۱ = ۱۰۰ mm$)، ($b_۱ = ۵۰ mm$)، قطر سیلندر پمپ بالا (۲۰mm)، قطر سیلندر پمپ پایین (۲۵mm) و تعداد فنرهای دیسک (۱۲) عدد باشد، خواسته‌های زیر را حساب کنید.

۱ــ فشار روغن در مدار کلاچ برحسب بار در حالت کلاچ گرفتن.

۲ــ نیروی وارد بر پیستون پمپ بالا برحسب نیوتن در حالت کلاچ گرفتن.

۳ــ نیروی فشار یکی از فنرها برحسب نیوتن در حالت عادی.

پاسخ:

$F_۴ = ۴۵۰ kg_f = ۴۵۰۰ N$ $\quad (۱) F_۴ = \frac{F_۲ . a . a_۱}{b . b_۱} \Rightarrow F_۲ = \frac{F_۴ . b . b_۱}{a . a_۱}$

$a = ۱۲۶ mm \ , \ b = ۲۱ mm$ $\quad F_۲ = \frac{۴۵۰۰ \times ۲۱ \times ۵۰}{۱۲۶ \times ۱۰۰} = ۳۷۵ N \ , \ A_۲ = \frac{d_۲^۲ \pi}{۴}$

$a_۱ = ۱۰۰ mm \ , \ b_۱ = ۵۰ mm$ $\quad A_۲ = \frac{(۲/۵)^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۴/۹ cm^۲$

$d_1 = ۲۰mm \ , \ d_2 = ۲۵mm$ $\quad P = \frac{F_2}{A_2} = \frac{۳۷۵}{۴/۹} = ۷۶/۵N/cm^2 = ۷/۶۵bar$

فشار روغن در مدار

$f_c = ۲۴۰kg = ۲۴۰۰N$

$f_1 = ?N, n = ۱۲$ $\quad (۲)F_1 = P.A_1 \Rightarrow A_1 = \frac{d_1^2\pi}{۴} = \frac{۲^2}{۴} \times ۳/۱۴ = ۳/۱۴cm^2$

$P = ?bar \ , \ F_1 = ?N$ $\quad F_1 = ۳/۱۴ \times ۷۶/۵ = ۲۴۰N$

نیروی وارد بر پیستون پمپ بالا

نیروی فشاری یک فنر $\quad (۳)f_c = f_1.n \ \Rightarrow \ f_1 = \frac{f_c}{n} = \frac{۴۵۰۰}{۱۲} = ۳۷۵N$

مثال (۵): اگر فشار روغن در مدار کلاچ در حالت کلاچ گرفتن $(۷/۵bar)$، قطر سیلندر پمپ بالا $(۱۶mm)$، قطر سیلندر پایین $(۲۰mm)$، ابعاد اهرم دو شاخه‌ی کلاچ $(a = ۱۲۰mm)$، $(b = ۴۰mm)$ و نیز ابعاد هر یک از انگشتی‌ها $(a_1 = ۹۰mm)$ و $(b_1 = ۲۰mm)$ باشد، حساب کنید که :

۱ــ هرگاه ابعاد اهرم پدال $l = ۳۰۰mm$ و $l_1 = ۱۰۰mm$ باشد، نیروی وارد بر پدال کلاچ برحسب نیوتن چه‌قدر است؟

۲ــ نیروی وارد بر آسیابک کلاچ برحسب نیوتن در حالت کلاچ گرفتن به چه میزانی است؟

۳ــ نیروی یکی از (۶) فنر فشاردهنده‌ی صفحه کلاچ برحسب نیوتن در حالت عادی چه‌قدر است؟

پاسخ:

$P = ۷/۵bar = ۷۵N/cm^2$ $\quad (۱)F_1 = P.A_1 \ , \ A_1 = \frac{d_1^2\pi}{۴}$

$d_1 = ۱۶mm \ , \ d_2 = ۲۰mm$ $\quad A_1 = \frac{(۱/۶)^2}{۴} \times ۳/۱۴ = ۲cm^2$

$a = ۱۲۰mm \ , \ b = ۴۰mm$ $\quad F_1 = ۷۵ \times ۲ = ۱۵۰N$

نیروی وارد بر پیستون پمپ بالا

$a_1 = ۹۰mm$ $\quad F_1 = \frac{F.l}{l_1} \ \Rightarrow \ F = \frac{F_1.l_1}{l} = \frac{۱۵۰ \times ۱۰۰}{۳۰۰}$

$b_1 = ۲۰mm \ , \ l = ۳۰۰mm$ $\quad F = ۵۰N$ $\quad$ نیروی وارد بر پدال

$l_1 = ۱۰۰mm, n = ۶$ $\quad (۲)F_2 = P.A_2 \ , \ A_2 = \frac{۲^2}{۴} \times ۳/۱۴ = ۳/۱۴cm^2$

$F = ?N \ , \ F_۳ = ?N \ , \ f_۱ = ?N$ $\qquad F_۲ = ۷۵ \times ۳/۱۴ = ۲۳۵/۵N$

$$F_۳ = \frac{F_۲ . a}{b} = \frac{۲۳۵/۵ \times ۱۲۰}{۴۰} = ۷۰۶/۵N$$

نیروی وارد بر آسیابک

نیروی فشار صفحه کلاچ $(۳) f_c = F_۴ = \frac{F_۳ \times a_۱}{b_۱} = \frac{۷۰۶/۵ \times ۹۰}{۲۰} = ۳۱۷۹/۲۵N$

نیروی فشاری هر یک از (۶) فنر $\qquad f_۱ = \frac{f_c}{n} = \frac{۳۱۷۹/۲۵}{۶} = ۵۲۹/۸N$

۳ــ۳ــ فشار وارد بر صفحه کلاچ (P_c)

هم‌چنان که می‌دانید جنس لنت کلاچ از آسبست است که به شکل تاج دایره بریده شده، در دو طرف صفحه کلاچ با پرچ کوبیده می‌شود و نیروی چرخشی فلایویل توسط این لنت‌ها به صفحه کلاچ و از آن‌جا به «شافت» ورودی گیربکس منتقل می‌گردد.

فشار مؤثر بر لنت کلاچ از رابطه‌ی

$$P_c = \frac{f_c}{A} \quad \text{و یا} \quad f_c = P_c . A \qquad (۳ــ۶)$$

به‌دست می‌آید.

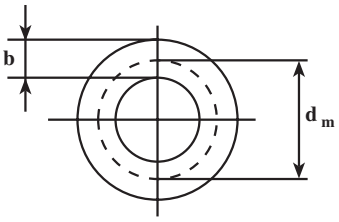
مقدار «A» از رابطه‌ی

$$A = \frac{۱}{۴}(D^۲ - d^۲)\pi \approx d_m . \pi . b \qquad (۳ــ۷)$$

محاسبه می‌شود که «A» مساحت لنت کلاچ، «D» قطر بزرگ لنت، «d» قطر کوچک آن، «d_m» قطر متوسط لنت $(d_m = \frac{D+d}{۲})$ و «b» عرض لنت $(b = \frac{D-d}{۲}$ و یا $d_m - d$ و یا $D - d_m)$ می باشد.

مقدار «A» را اگر در رابطه‌ی (۶ــ۳) قرار دهیم، نتیجه می‌شود که :

$$f_c = P_c \times \frac{۱}{۴}(D^۲ - d^۲)\pi \approx P_c . d_m . \pi . b \qquad (۳ــ۸)$$



مثال (۶): در یک سیستم کلاچ، قطر داخلی و خارجی لنت به‌ترتیب (۱۶) و (۲۱) سانتی‌متر و نیروی هر یک از (۸) فنر فشاردهنده (۲۰kg) می‌باشد. حساب کنید که :

فشار مؤثر بر سطح لنت کلاچ برحسب نیوتن بر سانتی‌مترمربع چه‌قدر است؟

پاسخ:

$d = ۱۶cm \ , \ D = ۲۱cm$

$f_۱ = ۲۰kg \ , \ n = ۸$

$P_c = ?N/cm^۲$

$f_c = f_۱ . n = ۲۰۰ \times ۸ = ۱۶۰۰N$

$A = \pi \ \frac{(D^۲ - d^۲)}{۴} = \frac{۳/۱۴(۲۱^۲ - ۱۶^۲)}{۴}$

$= ۱۴۵/۳cm^۲$

$P_c = \frac{f_c}{A} = \frac{۱۶۰۰}{۱۴۵/۳} = ۱۱N/cm^۲$

مثال (۷): قطر متوسط لنت در یک سیستم کلاچ (۱۸۰mm)، قطر بزرگ آن (۲۲۰mm) و فشار مؤثر بر سطح لنت (۱/۵bar) می‌باشد، مقدار نیروی فشار هر یک از (۱۲) فنر سیستم را حساب کنید.

پاسخ:

$d_m = ۱۸۰mm \ , \ D = ۲۲۰m$

$P_c = ۱/۵bar = ۱۵N/cm^۲$

$n = ۸ \ , \ f_۱ = ?N$

$f_c = P_c . d_m . \pi . b.$

$b = D - d_m = ۲۲ - ۱۸ = ۴cm$

$f_c = ۱۵ \times ۱۸ \times ۳/۱۴ \times ۴ = ۳۳۹۱/۲N$

نیروی فشار وارد بر لنت

نیروی وارد بر هر یک از فنرهای فشاردهنده $f_۱ = \frac{f_c}{n} = \frac{۳۳۹۱/۲}{۱۲} = ۲۸۲/۶N$

۴ــ۳ــ نیرو و گشتاور اصطکاکی کلاچ

۱ــ۴ــ۳ــ نیروی اصطکاکی کلاچ (F_f): می‌دانید که هرگاه دو جسم که با هم در تماس‌اند و نسبت به هم حرکت دارند، ضمن حرکت بین سطح تماسشان نیرویی ظاهر می‌شود که در جهت خلاف نیروی محرّک اثر می‌کند، این نیرو را «نیروی اصطکاک» می‌نامند و به عوامل زیر بستگی دارد :

ــ مقدار نیروی عمود مؤثّر بر سطوح تماس.

ــ زبری و نرمی دو سطح.

ــ جنس آن‌ها.

ـ حرارت مؤثّر بین آن‌ها.

برای محاسبه‌ی نیروی مالشی از فرمول تجربی ($F_f = f_c.\mu$) استفاده می‌شود. که «μ» ضریب اصطکاک است و به عوامل فوق بستگی دارد و از طریق آزمایش و تجربه برای هر مورد تعیین می‌گردد.

صفحه کلاچ از یک طرف با فلایویل و از طرف دیگر با دیسک تماس دارد علاوه بر این، دربعضی از سیستم‌ها از چند صفحه کلاچ استفاده شده است.

بنابراین مقدار نیروی اصطکاکی کلاچ از فرمول

$$F_f = f_c.2k.\mu \qquad (۳ـ۹)$$

محاسبه می‌گردد. «k» تعداد صفحه کلاچ به‌کار رفته در سیستم است.

مثال (۸): در یک سیستم کلاچ دو صفحه‌ای، عرض لنت (۴۸mm)، قطر کوچک لنت (۱۶۲mm)، فشار وارد بر لنت‌ها ($۱/۲ kg/cm^۲$) و ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۶) است، نیروی اصطکاکی کلاچ را برحسب نیوتن حساب کنید.

پاسخ:

$k = ۲\ ,\ b = ۴۸mm$ $\qquad$ $d_m = d + b = ۱۶۲ + ۴۸$

$d = ۱۶۲mm\ ,\ \mu = ۰/۶$ $\qquad$ $d_m = ۲۱۰mm = ۲۱cm$

$P_c = ۱/۲ kg/cm^۲ = ۱۲ N/cm^۲$ $\qquad$ $f_c = P_c.d_m.\pi.b$

$F_f = ?N, \mu = ۰/۶$ $\qquad$ $f_c = ۱۲ \times ۲۱ \times ۳/۱۴ \times ۴/۸ = ۳۷۹۸N$

$F_f = f_c.2k.\mu = ۳۷۹۸ \times ۲ \times ۲ \times ۰/۶$

$= ۹۱۱۵/۲N$

۲ـ۴ـ۳ـ گشتاور اصطکاکی کلاچ (M_f): نیروی اصطکاکی کلاچ، گشتاور اصطکاکی تولید می‌کند که از رابطه‌ی

$$M_f = F_f.R_m \qquad (۳ـ۱۰)$$

به‌دست می‌آید. در این رابطه «R_m» شعاع متوسط لنت کلاچ است. مقدار «M_f» تعیین‌کننده‌ی ظرفیت گشتاور قابل انتقال کلاچ است که معمولاً باید ۱/۵ تا ۲ برابر گشتاور حداکثر موتور باشد. اگر ظرفیت گشتاور کلاچ از این حد کم‌تر باشد، باعث لغزش صفحه کلاچ نسبت به دیسک و فلایویل می‌شود و درنتیجه لنت‌ها سوخته، مانع انتقال کامل گشتاور موتور به گیربکس می‌گردد.

مثال (۹): گشتاور اصطکاکی یک کلاچ دو صفحه‌ای که قطر داخلی آن (۱۷cm)، قطر

خارجی (۲۵cm)، نیروی فشار دیسک (۳۰۰۰N) و ضریب اصطکاک بین لنت و صفحات (۰/۷) باشد چند متر نیوتن می‌شود؟

پاسخ:

$D = ۲۵cm \ , \ d = ۱۷cm$ $\qquad F_f = f_c . ۲k.\mu = ۳۰۰۰ \times ۲ \times ۲ \times ۰/۷ = ۸۴۰۰N$

$f_c = ۳۰۰۰N \ , \ \mu = ۰/۷$ $\qquad M_f = F_f . R_m \ , \ R_m = \frac{D+d}{۴} = \frac{۱۷+۲۵}{۴}$

$M_f = ?m.N$ $\qquad = ۱۰/۵cm$

$$M_f = ۸۴۰۰ \times ۱۰/۵ = ۸۸۲۰۰cm.N = ۸۸۲m.N$$

مثال (۱۰): قدرت مفید موتوری در دور (۳۸۲۰R.P.M) برابر (۶۰kW) است، نسبت گشتاور موتور در این حالت به حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ (۱/۵ : ۱)، قطر بزرگ صفحه کلاچ (۲۴۰mm)، قطر کوچک آن (۱۸۰mm)، ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۷۵) و سیستم کلاچ یک صفحه‌ای است، حساب کنید که :

۱ــ گشتاور اصطکاکی قابل انتقال توسط کلاچ چند متر نیوتن است؟

۲ــ نیروی اصطکاکی برحسب نیوتن چه‌قدر است؟

۳ــ فشار وارد بر لنت چند نیوتن بر سانتی‌مترمربع است؟

پاسخ:

$P_e = ۶۰kW$ $\qquad (۱) M_m = \frac{P_e \times ۹۵۵۰}{n_m} = \frac{۶۰ \times ۹۵۵۰}{۳۸۲۰} = ۱۵۰mN$

$M_f = M_m \times ۱/۵$

$n_m = ۳۸۲۰R.P.M$ $\qquad M_f = ۱۵۰ \times ۱/۵ = ۲۲۵mN$

$R_m = \frac{D+d}{۴}$

$\frac{M_m}{M_f} = \frac{۱}{۱/۵} \ , \ \mu = ۰/۷۵$ $\qquad (۲) R_m = \frac{۱۸۰+۲۴۰}{۴} = ۱۰۵mm = ۰/۱۰۵m$

$D = ۲۴۰mm = ۲۴cm$ $\qquad M_f = F_f . R_m \Rightarrow F_f = \frac{M_f}{R_m} = \frac{۲۲۵}{۰/۱۰۵} = ۲۱۴۲/۸۶N$

$d = ۱۸۰mm = ۱۸cm$ $\qquad F_f = f_c . ۲k.\mu \Rightarrow f_c = \frac{F_f}{۲k\mu} = \frac{۲۱۴۲/۸۶}{۲ \times ۰/۷۵} = ۱۴۲۸/۵N$

$K = ۱$

$M_f = ?mN \ , \ F_f = ?N$ $\quad P_c = \frac{f_c}{A}, A = \frac{۱}{۴}\pi(D^۲ - d^۲) = ۳/۱۴ \frac{(۲۴^۲ - ۱۸^۲)}{۴}$

$P_c = ?N/cm^2$ $\qquad A = ۱۹۷/۸۲cm^2\ ,\ P_c = \frac{۱۴۲۸/۵}{۱۹۷/۸۲} = ۷/۲۲N/cm^2$

مثال (۱۱): قدرت مفید موتوری در دور (۲۸۶۵R.P.M) برابر (۸۰PS) است. این موتور دارای یک سیستم کلاچ تک‌صفحه‌ای است که نسبت ($\frac{b}{D} = \frac{۱}{۴}$)، ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۶)، فشار دیسک بر روی لنت ($۱۰N/cm^2$) و نسبت گشتاور موتور در این حالت به حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ (۱/۶ : ۱) است، حساب کنید که :

۱ــ گشتاور اصطکاکی قابل انتقال توسط کلاچ چند متر نیوتن است؟

۲ــ عرض لنت چند میلی‌متر است؟

۳ــ نیروی فشار دیسک برحسب نیوتن چه‌قدر است؟

پاسخ:

$K = ۱$

$n_m = ۲۸۶۵R.P.M$ $\qquad P_e = ۸۰ \div ۱/۳۶ = ۵۸/۸kW$

$P_e = ۸۰PS, \mu = ۰/۶$ $\qquad (۱)M_m = \frac{P_e \times ۹۵۵۰}{n_m} = \frac{۵۸/۸ \times ۹۵۵۰}{۲۸۶۵} = ۱۹۶mN$

$\frac{b}{D} = \frac{۱}{۴}, P_c = ۱۰N/cm^2$ $\qquad M_f = M_m \times ۱/۶ = ۱۹۶ \times ۱/۶ = ۳۱۳/۶m.N$

$\frac{M_m}{M_f} = \frac{۱}{۱/۶}\ ,\ M_f = ?mN$ $\qquad \frac{b}{D} = \frac{۱}{۴} \Rightarrow D = ۴b$

$b = ?mm\ ,\ F_c = N$ $\qquad (۲)d_m = D - b = ۴b - b = ۳b$

$F_f = P_c . d_m . \pi . b . ۲k . \mu = ۱۰ \times ۳b \times ۳/۱۴ \times b \times ۲ \times ۰/۶$

$F_f = ۱۱۳/۰۴b^2\ ,\ M_f = F_f . R_m = ۱۱۳/۰۴b^2 \times \frac{۳b}{۲}$

$M_f = ۱۶۹/۵۶b^3 \ \Rightarrow\ ۳۱۳/۶ = ۱۶۹/۵۶b^3$

$b^3 = \frac{۳۱۳/۶ \times ۱۰۰}{۱۶۹/۵۶} = ۱۸۴/۹۵cm^3 \ \Rightarrow\ b = \sqrt[3]{۱۸۴/۹۵} = ۵/۷cm$

$b = ۵۷mm \ \Rightarrow\ d_m = ۳b = ۵۷ \times ۳ = ۱۷۱mm = ۱۷/۱cm$

$(۳)f_c = P_c . d_m . \pi . b = ۱۰ \times ۱۷/۱ \times ۳/۱۴ \times ۵/۷ = ۳۰۶۰N$

تمرین

مسأله‌ی (۱): در یک سیستم کلاچ تک‌صفحه‌ای، فشار وارد بر دیسک (۷/۱psi)، ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۵)، قطر متوسط لنت (۲۰۰mm) و عرض لنت (5cm) است، حساب کنید که :

الف : حداکثر گشتاور اصطکاکی قابل انتقال توسط سیستم کلاچ چند متر نیوتن است؟

ب : نیروی فشاری دیسک چند نیوتن است؟

الف) ۱۵۷mN ب) ۱۵۷۰N

مسأله‌ی (۲): قدرت مفید یک موتور مجهز به سیستم کلاچ تک صفحه‌ای در دور (۳۸۲۰R.P.M) برابر (۷۵hp) است، قطر بزرگ لنت (۲۰۰mm)، عرض آن (۴۰mm)، نسبت گشتاور موتور در این حالت به حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ (۱/۵ : ۱) و ضریب اصطکاک بین لنت و فلایویل (۰/۴) می‌باشد، حساب کنید که :

الف : حداکثر گشتاور قابل انتقال سیستم کلاچ چند متر نیوتن است؟

ب : فشار وارد بر لنت برحسب psi چه‌قدر است؟

الف) ۲۱۰mN ب) ۲۳/۲psi

مسأله‌ی (۳): در یک سیستم کلاچ هیدرولیکی یک صفحه‌ای، نیروی اصطکاکی کلاچ (۶۶۰۰N)، ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۴)، قطر متوسط لنت (۲۲۰mm)، قطر کوچک (۱۷۵mm)، نسبت گشتاور موتور در این حالت به حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ (۲ : ۱) و دور موتور (۱۵۰۰R.P.M) می‌باشد، حساب کنید که :

الف : فشار وارد بر لنت چند نیوتن بر سانتی‌مترمربع است؟

ب : حداکثر گشتاور قابل انتقال توسط سیستم کلاچ چند متر نیوتن است؟

ج : قدرت مفید موتور برحسب کیلووات چه‌قدر است؟

الف) ۲۶/۵۲N/cm^2 ب) ۷۲۶N.m ج) ۵۷/۰۱kW

مسأله‌ی (۴): در یک سیستم کلاچ (۲) صفحه‌ای، قطر بزرگ لنت (۱۸۰mm)، قطر کوچک آن (۱۳۰m.m)، نیروی فشار هر یک از (۸) فنر لوله‌ای فشاردهنده (۲۰kg)، ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۵۶) می‌باشد، حساب کنید که :

الف : فشار وارد بر لنت چند بار است؟

ب : حداکثر گشتاور اصطکاکی قابل انتقال توسط سیستم کلاچ چند متر نیوتن است؟

الف) ۱/۳bar ب) ۲۷۷/۷۶mN

مسأله‌ی (۵): اگر نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ، در یک سیستم کلاچ تک صفحه‌ای $(\frac{۳}{۴})$، حداکثر گشتاور اصطکاکی قابل انتقال کلاچ (۱۸۰m.N)، ضریب اصطکاک بین لنت و صفحه‌ی فشاردهنده (دیسک) (۰/۵)، فشار وارد بر لنت (۸/۴۱p.s.i)، دور موتور (۲۰۰۰R.P.M) و نسبت گشتاور موتور در این حالت به حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ (۱/۴ : ۱) باشد، حساب کنید که :

الف : قطر بزرگ و قطر کوچک لنت چند میلی‌متر است؟

ب : قدرت مفید موتور برحسب کیلووات چه‌قدر است؟

ب) ۲۶/۹kW الف) ۲۷۳mm,۲۰۵mm

مسأله‌ی (۶): در یک سیستم کلاچ تک‌صفحه‌ای، گشتاور اصطکاکی قابل انتقال کلاچ (۳۲۰m.N)، نیروی اصطکاکی کلاچ (۱۶۰۰N)، عرض لنت ۴۰ میلی‌متر، ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۴)است. اندازه‌ی قطر کوچک و قطر بزرگ لنت برحسب میلی‌متر را حساب کنید.

(جواب ۴۴۰mm , ۳۶۰mm

مسأله‌ی (۷): قدرت مفید یک موتور در دور (۳۶۰۰R.P.M) برابر (۷۵PS)، نسبت گشتاور موتور در این حالت به حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ (۱/۶ : ۱)، قطر متوسط لنت (۱۶۰m.m)، عرض لنت ۴ سانتی‌متر (μ = ۰/۶)، قطر پیستون پمپ بالا (۲۲mm)، قطر پیستون پمپ پایین (۳۰mm)، ابعاد اهرم دوشاخه ($a = ۸۰mm$ و $b = ۴۰mm$)، ابعاد هر یک از شاخک‌های کلاچ ($a_۱ = ۶۰mm$) و ($b_۱ = ۲۰mm$) است، (شکل ۲ــ۳). مطلوب است که :

الف : نیروی اصطکاکی کلاچ برحسب نیوتن را حساب کنید.

ب : فشار در مدار روغن برحسب نیوتن به سانتی‌مترمربع را حساب کنید.

ج : نیروی مؤثر بر پیستون پمپ بالا برحسب نیوتن هنگام کلاچ گرفتن چه‌قدر است؟

ج) ۵۷/۵۶N ب) ۱۲N/cm² الف) ۲۹۲۸/۶۲N

مسأله‌ی (۸): فشار در مدار روغن یک سیستم کلاچ یک صفحه‌ای برابر (۷۲p.s.i)، قطر پمپ بالا (۲۵mm)، قطر پمپ پایین (۳۲m.m)، ابعاد اهرم دو شاخه ($a = ۸۰mm$ و $b = ۵۰mm$)، ابعاد هر یک از شاخک‌ها ($a_۱ = ۶۰mm$) و ($b_۱ = ۱۵mm$)، نسبت حداکثر گشتاور قابل انتقال کلاچ به گشتاور موتور در این حالت (۱ :۱/۵)، قطر متوسط لنت (۱۷۰mm) و ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۵) دور موتور در این وضعیت (۳۰۰۰R.P.M) می‌باشد حساب کنید که : (شکل ۲ــ۳)

الف : نیروی وارد بر پیستون پمپ بالا در حالت کلاچ گرفتن چند نیوتن است؟

ب : نیروی وارد بر دیسک هنگام کلاچ گرفتن چند نیوتن است؟

ج : قدرت مفید موتور برحسب کیلووات در صورتی که ضریب اصطکاکی بین لنت و دیسک ۰/۶ باشد چه‌قدر است؟

الف) ۲۴۸/۷۵N ب)۲۶۰۸/۳۳N ج) ۴۶/۴۳kW

فصل چهارم

محاسبات تغییر دور و گشتاور توسط گیربکس و دیفرانسیل

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

۱ــ تغییر دور و گشتاور در گیربکس را محاسبه کند.

۲ــ تغییر دور و گشتاور در دیفرانسیل را حساب کند.

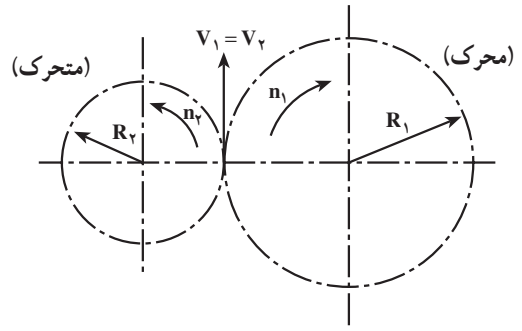
۴ــ مقدار نیروی محرکه در گیربکس و دیفرانسیل را تعیین کند.

۴ــ محاسبات تغییر دور و گشتاور

۱ــ۴ــ محاسبه‌ی تغییر دور و گشتاور در گیربکس

دو چرخ دنده‌ی درگیر با یک‌دیگر را که قطرهای متفاوتی دارند درنظر بگیرید. ملاحظه می‌شود که در محلّ تماس دو چرخ دنده، دندانه‌ها سرعت خطّی یکسانی دارند و مسافت پیموده شده توسط دندانه‌ها در یک زمان مساوی، با هم برابر است. چون سرعت خطّی نقاط واقع شده بر روی محیط دو چرخ دنده با هم مساوی هستند، بنابراین سرعت دورانی چرخ دنده‌ی کوچک‌تر باید بیش‌تر باشد تا امکان درگیری دو چرخ دنده فراهم شود، زیرا :

$$V_۱ = R_۱\omega_۱ = R_۱ \times ۲\pi \times n_۱$$



شکل ۱ــ۴

$V_۲ = R_۲\omega_۲ = R_۲ \times ۲\pi \times n_۲$

چون : $V_۱ = V_۲$

بنابراین : $۲\pi R_۱ n_۱ = ۲\pi R_۲ n_۲$

درنتیجه :

$$\boxed{R_۱ n_۱ = R_۲ n_۲} \qquad (۴\text{ـ}۱)$$

در این روابط :

«$V_۱$» و «$V_۲$» = سرعت خطی نقطه‌ی تماس دو چرخ دنده ؛

«$R_۱$» و «$R_۲$» = شعاع دو چرخ‌دنده ؛

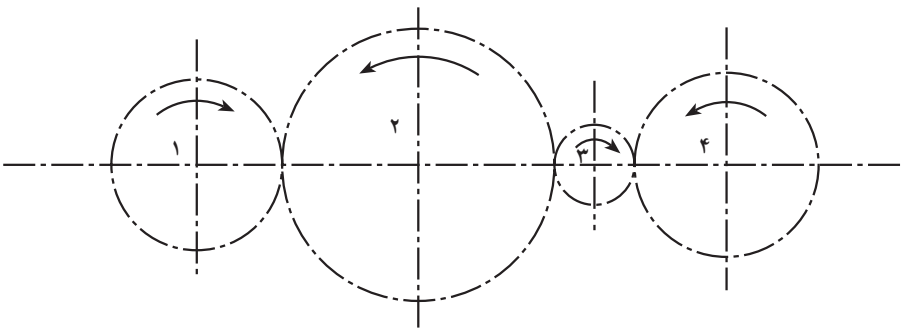
«$\omega_۱$» و «$\omega_۲$» = سرعت زاویه‌ای چرخ‌دنده‌ها ؛

«$n_۱$» و «$n_۲$» = تعداد دوران چرخ‌دنده‌ها است.

نسبت تعداد دوران چرخ‌دنده‌ی محرّک (گرداننده) به چرخ دنده‌ی متحرّک (گردنده) را «نسبت دور» می‌گویند و با علامت «i» نشان داده می‌شود.

$$\boxed{i = \frac{n_۱}{n_۲} = \frac{R_۲}{R_۱} = \frac{d_۲}{d_۱}} \qquad (۴\text{ـ}۲)$$

سؤال (۱): اگر (۴) عدد چرخ دنده با شعاعهای «$R_۱$» و «$R_۲$» و «$R_۳$» و «$R_۴$» مطابق شکل با هم درگیر باشند و چرخ دنده‌ی «$R_۱$» محرّک باشد، نسبت دورنهایی چگونه محاسبه می‌شود؟



شکل ۲ــ۴

چون از حاصل تقسیم محیط دایره گام، بر تعداد دندانه‌ی هر چرخ دنده، مقدار گام دندانه به‌دست می‌آید و دو چرخ‌دنده‌ی درگیر با هم، دارای گام دندانه‌ی مساوی هستند، بنابراین :

$$\frac{d_۱ \times \pi}{Z_۱} = \frac{d_۲ \times \pi}{Z_۲} \Rightarrow \boxed{\frac{d_۱}{d_۲} = \frac{Z_۱}{Z_۲}}$$

از ترکیب دو رابطه‌ی اخیر، نتیجه می‌گیریم که :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \qquad (۴ــ۳)$$

یعنی، نسبت دوران دو چرخ دنده، متناسب با عکس نسبت قطر و نسبت دندانه‌ی آن‌ها است. در این رابطه :

«Z_1» و «Z_2»، تعداد دندانه‌ی دو چرخ دنده هستند.

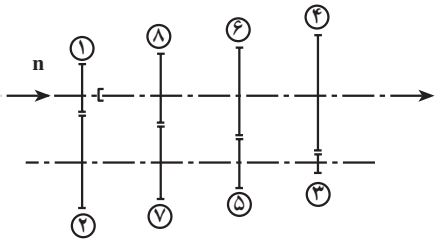
۲ــ۴ــ محاسبه‌ی تغییر دور و گشتاور، در گیربکس (جعبه‌دنده)

گیربکس اتومبیل مجموعه‌ای از چرخ‌دنده‌ها است که دور و گشتاور موتور را برحسب نیاز تغییر می‌دهد. در مواردی که نیاز به گشتاور زیادی جهت شتاب دادن به اتومبیل و یا عبور از یک سطح شیب‌دار به‌سمت بالا است، گیربکس گشتاور موتور را افزایش داده، تعداد دوران آن را کاهش می‌دهد و زمانی که اتومبیل در یک سطح افقی نیاز به سرعت زیادی دارد، دوران خروجی میل گاردان را افزایش می‌دهد و حتی در بعضی از موارد دوران میل‌گاردان را از تعداد دوران موتور نیز، زیادتر می‌کند.

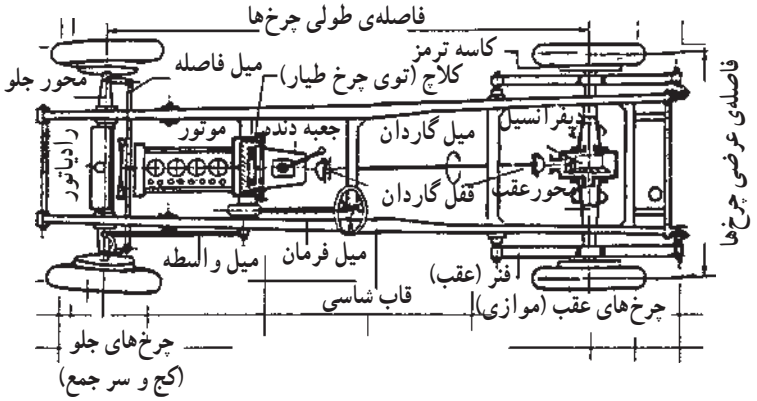
هم‌چنان که می‌دانید، نسبت دور در یک مجموعه‌ی چرخ دندانه، از حاصل‌ضرب نسبت دور زوج چرخ دندانه‌هایی که با هم درگیر هستند، به‌دست می‌آید.

«نسبت دور» عددی است که اگر در مقدار گشتاور ورودی ضرب شود ، مقدار گشتاور خروجی به‌دست می‌آید و اگر دوران ورودی را بر آن تقسیم کنیم، تعداد دوران خروجی به‌دست می‌آید.

شکل (۳ــ۴) را که مربوط به یک گیربکس چهار دنده (چهار سرعته) است، درنظر بگیرید :



شکل ۳ــ۴



شکل ۴ــ۴ــ شاسی یک اتومبیل با نوع معمولی حرکت

«نسبت دور» در دنده‌های مختلف برای این گیربکس، در صورتی که تعداد دندانه‌ی مربوط به‌هر چرخ دنده را با «Z» نشان دهیم، به ترتیب زیر محاسبه می‌شود :

$$i = \frac{\text{حاصل‌ضرب تعداد دندانه‌ی چرخ‌های متحرک}}{\text{حاصل‌ضرب تعداد دندانه‌ی چرخ‌های محرک}}$$

نسبت دور در دنده‌ی یک $i_1 = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{Z_4}{Z_3}$

نسبت دور در دنده‌ی دو $i_2 = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{Z_6}{Z_5}$

نسبت دور در دنده‌ی سه $i_3 = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{Z_8}{Z_7}$

نسبت دور در دنده‌ی چهار (زیرا هیچ چرخ دنده‌ای در انتقال قدرت دخالت ندارد) $i_4 = 1:1$

برای محاسبه‌ی گشتاور میل گاردان در هر دنده، کافی است که گشتاور موتور را در نسبت دور آن دنده ضرب کنیم. یعنی :

$$M_k = M_m \times i \qquad (۴ــ۴)$$

برای محاسبه‌ی تعداد دوران میل گاردان در هر دنده، کافی است که تعداد دوران موتور را بر نسبت دور آن دنده تقسیم کنیم، یعنی :

$$n_k = \frac{n_m}{i} \qquad (۴ــ۵)$$

مثال (۱): اتومبیل (BMW) مدل (۱۸۰۰) دارای جعبه دنده‌ای با این مشخّصات است :

$i_1 = ۳/۸۱۶$ و $i_2 = ۲/۰۷$ و $i_3 = ۱/۳۳$ و $i_4 = ۱$ و $i_R = ۴/۱۵۳$

اگر در دور ثابت(۲۸۶۰ R.P.M) قدرت مفید موتور (۴۴kW) باشد :
تعداد دوران و گشتاور میل گاردان در دنده‌های مختلف گیربکس را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$n_k = \frac{n_m}{i}$$

$$n_{k_۱} = \frac{n_m}{i_۱} = \frac{۲۸۶۰}{۳/۸۱۶} = ۷۴۹/۵ \qquad R.P.M$$

$$n_{k_۲} = \frac{n_m}{i_۲} = \frac{۲۸۶۰}{۲/۰۷} = ۱۳۸۱/۶ \qquad R.P.M$$

$$n_{k_۳} = \frac{n_m}{i_۳} = \frac{۲۸۶۰}{۱/۳۳} = ۲۱۵۰/۴ \qquad R.P.M$$

$$n_{k_۴} = \frac{n_m}{i_۴} = \frac{۲۸۶۰}{۱} = ۲۸۶۰ \qquad R.P.M$$

$$n_{kR} = \frac{n_m}{i_R} = \frac{۲۸۶۰}{۴/۱۵۳} = ۶۸۸/۶ \qquad R.P.M$$

$$M_k = M_m \times i$$

$$M_m = \frac{P_e \times ۹۵۵۰}{n_m} = \frac{۴۴ \times ۹۵۵۰}{۲۸۶۰} = ۱۴۶/۹ \ m.N$$

$$M_{k_۱} = M_m \times i_۱ = ۱۴۶/۹ \times ۳/۸۱۶ = ۵۶۰/۶ \ m.N$$

$$M_{k_۲} = M_m \times i_۲ = ۱۴۶/۹ \times ۲/۰۷ = ۳۰۴/۱ \ m.N$$

$$M_{k_۳} = M_m \times i_۳ = ۱۴۶/۹ \times ۱/۳۳ = ۱۹۵/۴ \ m.N$$

$$M_{k_۴} = M_m \times i_۴ = ۱۴۶/۹ \times ۱ = ۱۴۶/۹ \ m.N$$

$$M_{kR} = M_m \times i_R = ۱۴۶/۹ \times ۴/۱۵۳ = ۶۱۰/۱ \ m.N$$

۳ــ۴ــ محاسبه‌ی تغییر دور و گشتاور در دیفرانسیل

همه‌ی مواردی که درباره‌ی محاسبه‌ی تغییر دور و گشتاور در گیربکس گفته شد ، در مورد دیفرانسیل نیز صادق است. زیرا دیفرانسیل نیز صرف‌نظر از توانایی انتقال دوران از چرخ داخل پیچ به چرخ خارجی، مانند گیربکس عمل می‌نماید ؛ با این تفاوت که، استفاده از چرخ دنده های مخروطی باعث تغییر صفحه‌ی دوران به‌اندازه‌ی «۹۰°» می‌شود . بنابراین خواهیم داشت :

$$\boxed{n_p = \frac{n_k}{i_D}} \qquad (۴ــ۶)$$

$$M_p = M_k \times i_D \qquad (۴_۷)$$

در این روابط :

n_p = تعداد دوران پلوس یا تایر (R.P.M) ؛

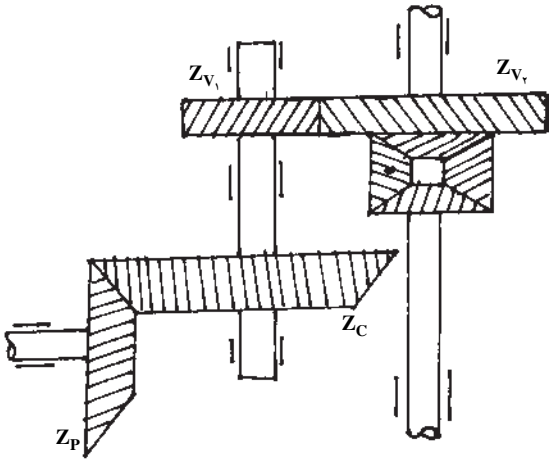
M_p = گشتاور پلوس یا تایر (متر ــ نیوتن) ؛

n_k = تعداد دوران میل گاردان (R.P.M) ؛

M_k = گشتاور میل گاردان (متر ــ نیوتن) ؛

i_D = نسبت دور در دیفرانسیل.

سؤال : نسبت دور در دیفرانسیل‌های دوبل چگونه محاسبه می‌شود؟



شکل ۵ــ۴ــ شماتیک دیفرانسیل دوبل

مثال (۲): اتومبیلی در دور ثابت موتور، دارای گشتاور چرخ (۳۷۰۰N.m) و توان مفید (۵۰kW) است. اگر نسبت دور در گیربکس (۱ :۳) و تعداد دندانه‌ی کرانویل (۴۶) و پینیون (۱۳) عدد باشد، مطلوب است :

الف ــ گشتاور موتور برحسب m.N حساب شود.

ب ــ تعداد دوران تایر در دقیقه حساب شود.

پاسخ :

$M_p = ۳۷۰۰$ m.N

$P_e = ۵۰$ kW

$i = ۳:۱$

$Z_p = ۱۳$

$Z_c = ۴۶$

$M_m = ?\ \ m.N$

$n_p = ?\ \ R.P.M$

$M_p = M_m \times i \times i_D$

$i_D = \frac{Z_c}{Z_p} = \frac{۴۶}{۱۳} = ۳/۵۳۸$

$M_m = \frac{M_p}{i \times i_D} = \frac{۳۷۰۰}{۳ \times ۳/۵۳۸} = ۳۴۸/۶ \quad m.N$

$n_p = \frac{n_m}{i \times i_D}$

$P_e = \frac{M_m \times n_m}{۹۵۵۰} \Rightarrow n_m = \frac{P_e \times ۹۵۵۰}{M_m} = \frac{۵۰ \times ۹۵۵۰}{۳۴۸/۶} = ۱۳۶۹/۷ \ R.P.M$

$n_p = \frac{n_m}{i \times i_D}\ ,\ n_p = \frac{۱۳۶۹/۷}{۳ \times ۳/۵۳۸} = ۱۲۹ \ R.P.M$

۴ــ۴ــ محاسبه‌ی نیروی محرکه در گیربکس و دیفرانسیل

به‌طور کلّی محاسبه‌ی نیروی محرکه در گیربکس و دیفرانسیل، برای محاسبه‌ی ابعاد چرخ‌دنده‌ها و محورهای موجود در گیربکس و دیفرانسیل و برای انتخاب موادّ لازم آن‌ها و هم‌چنین انتخاب بلبرینگ‌ها صورت می‌گیرد. محاسبه‌ی نیروی محرکه‌ی مؤثّر بر هر چرخ دنده و یا محور به سادگی و با استفاده از فرمول گشتاور انجام می‌شود . یعنی :

$$F = \frac{M}{R} \qquad (۴ــ۸)$$

در این رابطه

F = نیروی محرّکه‌ی مؤثّر بر چرخ دنده و یا محور (نیوتن) است ؛

M = گشتاور مؤثّر(مترــنیوتن) است ؛

R = شعاع دایره،گام چرخ دنده و یا شعاع محور است. (متر)

هم‌چنان که می‌دانید $d_o = Z.m$ (۴ــ۹)

که «d_o» قطر متوسط چرخ دنده، «Z» تعداد دنده و «m» مدول دنده می‌باشد.

مثال (۳): در شکل (۳ــ۴) مشخّصات جعبه دنده به‌شرح زیر است :

$Z_۱ = ۲۰ ، Z_۲ = ۲۴ ، Z_۳ = ۱۵ ، Z_۴ = ۲۹ ، Z_۵ = ۱۷ ، Z_۶ = ۲۷$

$Z_۷ = ۲۱ ، Z_۸ = ۲۳$

نیروی محیطی دنده‌های «$Z_۱$» و «$Z_۲$» برابر (۱۶۰۰N) و مدول دنده (۵mm) می‌باشد.

مطلوب است که :

الف ــ نسبت تغییر دور در دنده‌های مختلف را محاسبه کنید.

ب ــ اگر دور موتور (۳۰۰۰RPM) باشد، دور گاردان در دنده‌های مختلف را حساب کنید.

ج ــ گشتاور دنده‌های «$Z_۱$» و «$Z_۲$» و «$Z_۴$» چند نیوتن سانتی‌متر است؟

پاسخ:

$Z_۱ = ۲۰$ دنده (۱) $i_۱ = \frac{Z_۲}{Z_۱} \times \frac{Z_۴}{Z_۳} = \frac{۲۴ \times ۲۹}{۲۰ \times ۱۵} = ۲/۳۲ : ۱$

$Z_۲ = ۲۴$ دنده $i_۲ = \frac{Z_۲}{Z_۱} \times \frac{Z_۶}{Z_۵} = \frac{۲۴ \times ۲۷}{۲۰ \times ۱۷} = ۱/۹ : ۱$

$Z_۳ = ۱۵$ دنده $i_۳ = \frac{Z_۲}{Z_۱} \times \frac{Z_۸}{Z_۷} = \frac{۲۴ \times ۲۳}{۲۰ \times ۲۱} = ۱/۳۱ : ۱$

$Z_۴ = ۲۹$ دنده (۲) $n_{k_۱} = n_m \times \frac{۱}{i_۱} = ۳۰۰۰ \times \frac{۱}{۲/۳۲} = ۱۲۹۳$

$Z_۵ = ۱۷$ دنده $n_{k_۲} = ۳۰۰۰ \times \frac{۱}{i_۲} = ۳۰۰۰ \times \frac{۱}{۱/۹} \approx ۱۵۷۹$ R.P.M

$Z_۶ = ۲۷$ دنده $n_{k_۳} = ۳۰۰۰ \times \frac{۱}{i_۳} = ۳۰۰۰ \times \frac{۱}{۱/۳۱} \approx ۲۲۹۰$ R.P.M

$Z_۷ = ۲۱$ دنده (۳) $M_{Z_۱} = F_۱ . R_۱ ، d_{o_۱} = m . Z_۱ = ۵ \times ۲۰ = ۱۰۰$ mm

$Z_۸ = ۲۳$ دنده $M_{Z_۱} = ۱۶۰۰ \times \frac{۱۰}{۲} = ۸۰۰۰$ cm − N

$F_{Z_۱} = F_{Z_۲} = ۱۶۰۰N$

$m = ۵$

$n = ۳۰۰۰$ R.P.M $M_{Z_۲} = F_۱ \times \frac{d_{o_۲}}{۲}$, $d_{o_۲} = ۵ \times ۲۴ = ۱۲۰$ mm

$F_۱ = ۱۶۰۰$ N $M_{Z_۲} = ۱۶۰۰ \times \frac{۱۲}{۲} = ۹۶۰۰$ cm.N

$i_۱ ، i_۲ ، i_۳ = ?$ $M_{Z_۲} = M_{Z_۳}$ ، $d_{o_۳} = ۱۵ \times ۵ = ۷۵$ mm $= ۷/۵$ cm

$$F_{z_3} = \frac{M_{z_3}}{\frac{d_{o_3}}{2}} = \frac{۹۶۰۰}{۳/۷۵} = ۲۵۶۰N$$

n_{k_1} ، n_{k_2} ، n_{k_3} = ? R.P.M

$F_{z_3} = F_{z_4}$

M_{z_1} ، M_{z_2} ، M_{z_4} = ?N.cm $\qquad d_{o_4} = m \times Z_4 = ۵ \times ۲۹ = ۱۴۵mm = ۱۴/۵cm$

$$M_{z_4} = ۲۵۶۰ \times \frac{۱۴/۵}{۲} = ۱۸۵۶۰ \text{ cm.N}$$

تمرین

مسأله‌ی (۱): موتور اتومبیلی در دور (۲۵۰۰R.P.M) دارای گشتاور (۱۹۱m.N) است. مشخّصات جعبه دنده و دیفرانسیل به‌شرح زیر است :

$i_1 = ۳/۸:۱$ ، $i_2 = ۲/۰۶:۱$ ، $i_3 = ۱/۳۲:۱$ ، $i_4 = ۰/۸۹:۱$ ، $i_R = ۳/۸:۱$

$Z_p = ۹$ ، $Z_c = ۴۵$

مطلوب است که :

الف ــ دور گاردان و پولوس برحسب دور بر دقیقه در دنده‌ی (۳) و دنده‌ی معکوس را حساب کنید.

ب ــ گشتاور گاردان و پولوس در دنده‌ی (۲) و دنده‌ی یک برحسب مترــنیوتن را محاسبه کنید.

جواب (الف: $n_{k_3} = ۱۸۹۴$ R.P.M ، $n_{k_R} = ۶۵۸$ R.P.M

$n_{p_3} = ۳۷۹$ R.P.M ، $n_{p_{L_R}} = ۱۳۱$ R.P.M

جواب (ب: $M_{k_1} = ۷۲۵/۸$ m.N ، $M_{k_2} = ۳۹۳/۴۶$ m.N

$M_{p_{L_2}} = ۱۹۶۷/۳$m.N ، $M_{p_{L_1}} = ۳۶۲۹$ m.N

مسأله‌ی (۲) : جعبه دنده اتومبیلی دارای مشخّصات زیر است :

$Z_1 = ۱۵$ ، $Z_2 = ۲۱$ ، $Z_3 = ۱۷$ ، $Z_4 = ۳۰$ ، $Z_5 = ۲۱$ ، $Z_6 = ۳۲$

$Z_7 = ۱۹$ ، $Z_8 = ۲۷$

اگر دور موتور (۳۰۰۰R.P.M) و دارای گشتاور (۲۴۵/۶m.N) باشد

مطلوب است که :

الف ــ نسبت تغییر دور در جعبه دنده در دنده‌های مختلف را حساب کنید.

ب ــ دور خروجی جعبه دنده در دنده‌های مختلف برحسب دور به‌دقیقه را حساب کنید.

ج ــ گشتاور گاردان در دنده‌های مختلف برحسب مترــنیوتن را به‌دست آورید.

جواب (الف: $i_۱ = ۲/۴۷:۱$ ، $i_۲ = ۲/۱۳:۱$ ، $i_۳ = ۱/۹۹:۱$

ب) جواب: $n_{k_۱} = ۱۲۱۴$ R.P.M ، $n_{k_۲} = ۱۴۰۸$ R.P.M

$n_{k_۳} = ۱۵۰۸$ R.P.M

ج) جواب: $M_{k_۱} = ۶۰۶/۶$ m.N ، $M_{k_۲} = ۵۲۳$ m.N

$M_{k_۳} = ۴۸۸/۷$ m.N

مسأله‌ی (۳): یک موتور بنزینی در دور (۲۲۰۰R.P.M) دارای گشتاور (۱۷۹) مترــ نیوتن می‌باشد ، اگر اتومبیل در وضعیّت دنده‌ی یک با نسبت تغییر دور (۱ :۲/۹۵) و تعداد دنده‌های پی‌نیون (۹) و کرانویل (۴۲) و دنده‌های کمکی ($Z_{v_۱} = ۲۳$ و $Z_{v_۲} = ۳۵$) باشد، حساب کنید که :

الف ــ دور تایر در دنده‌ی یک چند دور بر دقیقه (R.P.M) است؟

ب ــ گشتاور تایر برحسب (m.N) در حالت دنده‌ی یک چه‌قدر است؟

ج ــ نیروی محرک تایر با قطر (۸۰۰mm) برحسب نیوتن در حالت دنده‌ی یک چه اندازه است؟

د ــ نیروی محیطی کرانویل هرگاه $d_{oc} = ۲۴۰$ mm باشد در حالت دنده‌ی یک چند نیوتن است؟

جواب (الف: ۱۰۵ R.P.M

جواب (ب: ۳۷۵۰ m.N

جواب (ج: ۹۳۷۵/۵N

جواب (د: ۳۱۲۵۰N

مسأله‌ی (۴): در یک اتومبیل دور چرخ در دنده (۲) برابر (۴۰۰R.P.M) و گشتاور چرخ در این وضعیّت (۳۸۴۷/۵) مترــ نیوتن است و مشخّصات گیربکس و دیفرانسیل به شرح زیر می‌باشد :

$i_۱ = ۳/۲۵:۱$ ، $i_۲ = ۲/۸۵:۱$ ، $i_۳ = ۱/۶۵:۱$ ، $i_۴ = ۱:۱$ ، $i_R = ۳/۸۵:۱$

$Z_c = ۳۵$ ، $Z_p = ۷$

مطلوب است که :

الف ــ گشتاور موتور برحسب مترــ نیوتن حساب شود.

ب ــ دور موتور برحسب دور به دقیقه به‌دست آید.

ج ــ دور چرخ در دنده‌های مختلف برحسب دور به دقیقه حساب شود.

الف) ۲۷۰ m.N

ب) ۵۷۰۰ R.P.M

ج) $n_{p_{L_1}} = ۳۵۰$ R.P.M $n_{p_{L_3}} = ۶۹۱$ R.P.M $n_{p_{LR}} = ۲۹۶$ R.P.M

$n_{p_{L_4}} = ۱۱۴۰$ R.P.M

مسأله‌ی(۵): براساس مشخّصات داده شده در مسأله‌ی (۴) جواب و پرسش‌های زیر را به‌دست آورید.

الف ــ گشتاور چرخ در دنده‌های مختلف را حساب کنید.

ب ــ نیروی محیطی چرخ در دنده‌های مختلف هرگاه قطر مؤثر چرخ (۹۰۰) میلی‌متر باشد، چه‌قدر است؟

الف) $M_{p_{L_1}} = ۴۳۸۷/۵$ m.N ، $M_{p_{L_3}} = ۲۲۲۷/۵$ m.N ،

$M_{p_{LR}} = ۵۱۹۷/۵$ m.N ، $M_{p_{L_4}} = ۱۳۵۰$ m.N

ب) $F_1 = ۹۷۵۰$ N ، $F_2 = ۸۵۵۰$ N ، $F_3 = ۴۹۵۰$ N ، $F_4 = ۳۰۰۰$ N ،

$F_R = ۱۱۵۵۰$ N

فصل پنجم

محاسبات حرارتی موتور

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

۱ــ مراحل تبدیل انرژی را تعریف کند.

۲ــ محاسبه‌ی کلّ حرارت حاصل از احتراق را انجام دهد.

۳ــ مقدار گرمای مفید و تلف شده را محاسبه کند.

۴ــ قدرت مکانیکی از طریق گرمای مفید را حساب کند.

۵ــ حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده را تعیین کند.

۶ــ سوخت مصرفی موتور را محاسبه کند.

۷ــ سوخت ویژه را اندازه‌گیری کند.

۸ ــ مصرف سوخت به ازای یکصدکیلومتر مسافت پیموده شده را مشخص کند.

۵ ــ محاسبات حرارتی موتور

۱ــ ۵ ــ مراحل تبدیل انرژی در موتور

به طور کلی دستگاه مبدّل انرژی ، دستگاهی است که انرژی را از یک شکل به شکل دیگری تبدیل نماید. برای مثال، «اتو برقی» دستگاهی است که انرژی الکتریکی را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند و «دینام اتومبیل» دستگاهی است که انرژی مکانیکی را به‌انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

موتور دستگاهی است که در کارهای مکانیکی برای تبدیل نوعی انرژی به نوع دیگر، طرّاحی شده است.

در موتورهای احتراق داخلی (درون سوز)، قبل از این‌که انرژی شیمیایی موجود در سوخت، به صورت انرژی مکانیکی ظاهر شود، چندین مرحله‌ی مختلف طی می‌شود .

با ایجاد جرقه در سوخت متراکم شده و اکسیداسیون آن، گرمای زیادی تولید می‌گردد. بخشی از این گرما (Q_e) باعث انبساط گازهای به‌دست آمده از احتراق شده ،درفضای بسته‌ی سیلندر، فشار زیادی به‌وجود می‌آورد، این فشار بر سطح پیستون اثر کرده، حرکت خطّی تولید می‌کند که پس از انتقال به میل‌لنگ، باعث ایجاد نیروی محیطی و نهایتاً گشتاور و توان تئوری مکانیکی موتور می‌شود، بخش کمی از این توان صرف گرداندن دینام، پمپ آب، میل بادامک و... شده و بقیّه‌ی آن به صورت توان مفید موتور (P_e) در اختیار سیستم انتقال قدرت قرار می‌گیرد.

جدول (۱ــ۵) ، این مراحل را به صورت ساده نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ ۵ مراحل تغییر شکل انرژی

تبدیل انرژی شیمیایی موجود در سوخت به گرما (Q)
گرمای مفید (Q_e) به فشار زیاد روی پیستون
فشار پیستون به حرکت خطی در پیستون
حرکت خطی و حرکت آونگی شاتون
حرکت آونگی شاتون به نیروی محیطی میل‌لنگ
نیروی محیط میل‌لنگ به گشتاور موتور (M)
تولید توان خروجی موتور

۲ــ ۵ ــ محاسبه‌ی کلّ حرارت حاصل از احتراق

هم‌چنان که گفته شد در اثر احتراق سوخت ، حرارت زیادی در سیلندر تولید می‌شودکه با انبساط مولکول‌های محصولات احتراق، فشار زیادی در سطح پیستون تولید می‌کند. هر چه حرارت

حاصل از احتراق بیش‌تر باشد، مقدار توان تولید شده در موتور بیش‌تر خواهد بود. کلّ حرارت حاصل از احتراق، به دو عامل وزنِ سوخت مصرف شده و ارزش حرارتی سوخت بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$m = V \not{\rho}$ $\qquad$ $Q = m \times CV$

$$\boxed{Q = V \not{\rho} \not{\times} \quad CV} \qquad (۵_۱)$$

در این رابطه :

Q = کلّ گرمای حاصل از احتراق kj/hr ؛

m = دبی جرمی kg/hr [۱] ؛

CV = ارزش حرارتی سوخت kj/kg (CALORIFIC VALUE) ؛

V = دبی حجمی m^3/hr ؛

ρ = جرم حجمی (kg/m^3) .

«ارزش حرارتی سوخت» مقدار حرارت تولید شده در اثر احتراق یک واحد از جرم یا حجم سوخت است که مقدار آن برای چند نوع سوخت به همراه بعضی از مشخّصات دیگر آن‌ها، در جدول (۲_ ۵) نشان داده شده است.

مثال (۱) : موتوری در ساعت (۱۲ kg) سوخت را با ارزش حرارتی (۴۲۰۰۰ kj/kg) مصرف می‌کند ؛ کلّ گرمای حاصل از احتراق چند (kj/hr) است؟

$m = ۱۲ \ kg/hr$

$CV = ۴۲۰۰۰ \ kj/kg$

$Q = ? \ kj/hr$

پاسخ:

$Q = m \times CV$

$Q = ۱۲ \times ۴۲۰۰۰ = ۵۰۴۰۰۰ \ kj/hr$

۱_ دبی عبارت است از مقدار جرم یا حجم و یا وزن سیالی که در واحد زمان از یک مقطع عبور می‌نماید.

جدول ۲ــ۵ ــ مشخّصات بعضی از انواع سوخت‌ها

ماده	چگالی نسبی	درصد عناصر تشکیل‌دهنده	نقطه‌ی جوش °C در فشار متعارفی	ارزش حرارتی kj/kg	درجه‌ی اشتعال °C در فشار متعارفی
بنزین معمولی	۰/۷۵ ــ ۰/۷۲	۱۴ H و ۸۶ C	۲۱۰ ــ ۲۵	۴۳۵۰۰	≈ ۲۲۰
بنزین مخصوص	۰/۷۸ ــ ۰/۷۳	۱۴ H و ۸۶ C	۲۱۰ ــ ۲۵	۴۲۷۰۰	≈ ۲۲۰
بنزین هواپیما	۰/۷۲	۱۵ H و ۸۵ C	۱۸۰ ــ ۴۰	۴۳۱۰۰ ــ ۴۱۹۰۰	≈ ۴۰۰
گازوئیل	۰/۸۵ ــ ۰/۸۱	۱۳ H و ۸۶ C	۳۶۰ ــ ۱۵۰	۴۴۴۰۰ ــ ۴۰۶۰۰	≈ ۲۲۰
ایزواکتان	۰/۶۹	۱۶ H و ۸۴ C	۹۹	۴۴۶۰۰	۴۱۰
تولوئن	۰/۸۷	۹ H و ۹۱ C	۱۱۰	۴۰۶۰۰	۵۳۰
اتر	۰/۷۲	۲۲ O و ۱۴ H و ۶۴ C	۳۵	۳۴۳۰۰	۱۷۰
آستون	۰/۷۹	۲۸ O و ۱۰ H و ۶۲ C	۵۶	۲۸۵۰۰	۵۴۰
اتانول	۰/۷۹	۳۵ O و ۱۳ H و ۵۲ C	۷۸	۲۶۸۰۰	۴۲۰
متانول	۰/۷۹	۵۰ O و ۱۲ H و ۳۸ C	۶۵	۱۹۷۰۰	۴۵۰

مأخذ : Automotive Hand Book صفحه ۲۱۶ از انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مثال (۲) : کلّ گرمای حاصل از احتراق (۳۵lit) سوخت با ارزش حرارتی (۱۰۰۰۰ kcal/kg) و جرم حجمی (۰/۷۵ gr/cm^3) چند کیلو ژول است ؟

$V = ۳۵$ lit

$CV = ۱۰۰۰۰$ kcal/kg

$\rho = ۰/۷۵$ gr/cm^3

$Q = ?$ kj

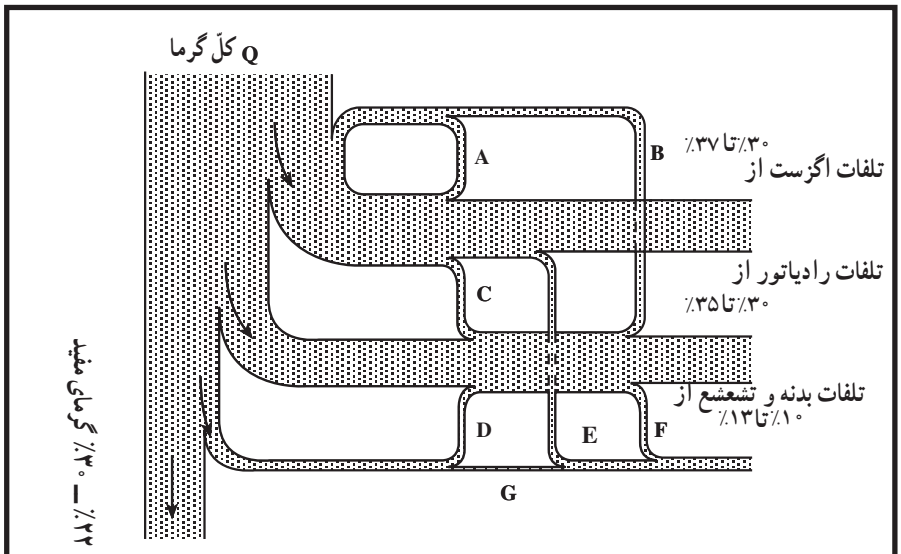
پاسخ :

$Q = V \rho \times CV = ۳۵ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۰۰۰ = ۲۶۲۵۰۰$ kcal

$Q = ۲۶۲۵۰۰ \times ۴/۲ = ۱۱۰۲۵۰۰$ kj

۳ــ ۵ ــ محاسبه‌ی مقدار گرمای مفید و تلف شده

هم‌چنان که گفته شد از کلّ گرمای حاصل از احتراق سوخت در درون محفظه‌ی احتراق موتورهای درون‌سوز (احتراق‌داخلی)، معمولاً ۲۲ تا ۳۰ درصد آن تبدیل به کار مکانیکی شده، باعث ایجاد حرکت دورانی میل لنگ می‌گردد . این مقدار گرما را «گرمای مفید موتور» می‌نامند، و بقیّه‌ی گرمای حاصل از احتراق ــ که در شکل (۱ــ۵) نشان داده شده است ــ به هوای آزاد منتقل شده، یا به عبارت دیگر تلف می‌گردد.



شکل ۱ــ۵ ــ توزیع گرمای حاصل از احتراق

بازده گرمای مفید حاصل از احتراق (η_e): گرمای حاصل از احتراق که به کار مکانیکی تبدیل می‌شود، حدوداً (۲۲ تا ۳۰) درصد است.

درصد تلفات تبادل حرارتی بدنه‌ی موتور (η_a): درصد انتقال گرما به هوای آزاد که از طریق انتشار گرما توسط بدنه و قطعات موتور مانند، سیلندر، سرسیلندر، کارتل و غیره صورت می‌گیرد بین (۱۰ تا ۱۳) درصد است.

درصد تلفات حرارتی اگزوز (η_{ex}): درصد انتقال گرما به هوای آزاد که از طریق گازهای خروجی اگزوز انجام می‌گیرد، بین ۳۰ تا ۳۷ درصد است.

درصد تلفات حرارتی در رادیاتور (η_w): درصد انتقال گرما به هوای آزاد که از طریق سیستم خنک کننده موتور صورت می‌پذیرد، حدود (۳۰ تا ۳۵) درصد است.

به‌طوری که اگر : $\eta_e + \eta_w + \eta_{ex} + \eta_a = ۱۰۰$ باشد :

سؤال: آیا در تمام موتورهای احتراق داخلی اتلاف گرما به همین طریق است؟

برای محاسبه‌ی گرمای مفید و یا تلف شده‌ی هریک از راه‌های یاد شده، کافی است که مقدار کلّ گرمای حاصل از احتراق را محاسبه نموده، آن را در ضریب یا درصد گرمای مورد نظر ضرب کنند. به عنوان مثال، مقدار گرمای مفید برابر است با :

$$Q_e = Q.\eta_e = m \times CV \times \eta_e = V \times \rho \times CV \times \eta_e \qquad (۵ــ۲)$$

و یا گرمای تلف شده توسّط سیستم خنک کننده، برابر است با :

$$Q_w = Q.\eta_w = \dot{m} \times CV \times \eta_w = \dot{V} \times \rho \times CV \times \eta_w \qquad (۵ــ۳)$$

مثال (۳) : کلّ حرارت حاصل از احتراق در یک موتور بنزین (۴۲۰,۰۰۰ kj/hr) است. اگر بازده حرارتی مفید موتور (۲۸٪) و درصد اتلاف حرارت از طریق انتشار در هوا (۱۰٪) و از طریق اگزوز (۳۳٪) باشد، مقدار گرمای مفید و تلف شده را از راه‌های دیگر به‌دست آورید.

پاسخ :

$\eta_e = ٪۲۸$

$Q = ۴۲۰,۰۰۰ \ kj/hr$

$\eta_a = ٪۱۰$

$\eta_{ex} = ٪۳۳$

$Q_e = ? \quad kj/hr$

$Q_a = ? \quad kj/hr$

$Q_{ex} = ?\ \ kj/hr$

$Q_w = ?\ \ kj/hr$

$Q_e = Q \times \eta_{\ e} = ۴۲۰۰۰۰ \times ۰/۲۸ = ۱۱۷۶۰۰\ \ kj/hr$

$Q_a = Q \times \eta_{\ a} = ۴۲۰۰۰۰ \times ۰/۱۰ = ۴۲۰۰۰\ \ kj/hr$

$Q_{ex} = Q \times \eta_{\ ex} = ۴۲۰۰۰۰ \times ۰/۳۳ = ۱۳۸۶۰۰\ \ kj/hr$

$Q_w = Q - (Q_e + Q_{ex} + Q_a) = ۴۲۰۰۰۰ - (۱۱۷۶۰۰ + ۱۳۸۶۰۰ + ۴۲۰۰۰) =$

$Q_w = ۴۲۰۰۰۰ - ۲۹۸۲۰۰ = ۱۲۱۸۰۰\ \ kj/hr$

۴ــ ۵ــ محاسبه‌ی توان مکانیکی از طریق گرمای مفید

با در نظر گرفتن مطالب گذشته، می‌دانیم که گرمای مفید حاصل از احتراق به توان مکانیکی تبدیل می‌شود. با توجه به این که $1kW = ۳۶۰۰ kj/hr$ است، می‌توان نتیجه گرفت :

$$Q_e = ۳۶۰۰ P_i \Rightarrow P_i = \frac{Q_e}{۳۶۰۰}$$

$$\boxed{Q_e = m \times CV \times \eta_{\ e}} \Rightarrow \boxed{P_i = \frac{m \times CV \times \eta_{\ e}}{۳۶۰۰}} \qquad (۵ _ ۴)$$

در رابطه‌ی فوق :

P_i = توان مکانیکی تئوری موتور برحسب kW ؛

m = سوخت مصرفی موتور برحسب kg/hr ؛

CV = ارزش حرارتی سوخت برحسب kj/kg ؛

$\eta_{\ e}$ = بازده حرارتی مفید موتور است.

مثال (۴) : مولّدی با توان بازده (۶۸ kW) و بازده الکتریکی (٪۸۵) به وسیله‌ی موتور دیزلی با کارایی حرارتی مفید (٪۳۰) به حرکت درمی‌آید. اگر سوخت بنزین معمولی و جرم حجمی آن ($۰/۸۵ gr/cm^۳$) و کارایی مکانیکی موتور (٪۹۱) باشد، مطلوب است که :

ــ توان بازده موتور برحسب kW حساب شود.

ــ مصرف سوخت موتور در یک ساعت برحسب لیتر محاسبه شود.

$P_{eG} = ۶۸\ \ kW$

$\eta_G = ٪۸۵$

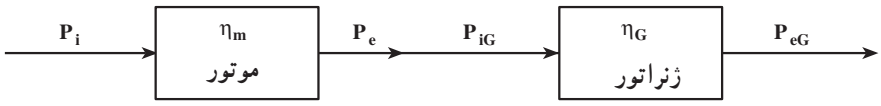
$\eta_e = ٪۳۰$

$CV = ۴۳۵۰۰ \ kj/kg$

$\rho = ۰/۸۵ \ gr/cm^۳$

$\eta_m = ٪۹۱$ $\qquad Pe = ?KW \quad , \quad V = ?lit/hr$

پاسخ:



$$P_{iG} = \frac{P_{eG}}{\eta_G} = \frac{۶۸}{۰/۸۵} = ۸۰kW$$

$$P_{em} = P_{iG} = ۸۰kW$$

$$P_{im} = \frac{m \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} \Rightarrow m = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{CV \times \eta_e}$$

$$P_{im} = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۸۰}{۰/۹۱} = ۸۷/۹ \ kW$$

$$\dot{m} = \frac{۸۷/۹ \times ۳۶۰۰}{۴۳۵۰۰ \times ۰/۳۰} = ۲۴/۲۵ \ kg/hr$$

$$m = V \times \rho \Rightarrow \quad V = \frac{m}{\rho} = \frac{۲۴/۲۵}{۰/۸۵} = ۲۸/۵ \ lit/hr$$

مثال (۵) : یک مولّد الکتریکی با توان بازده (۵۰ kW) و کارایی (٪۸۰) توسط یک موتور درون سوز که ارزش حرارتی سوخت آن (۱۰۰۰۰ kcal/kg) و جرم‌حجمی آن ($۰/۷۵ \ gr/cm^۳$) است کار می‌کند .اگر قیمت هر لیتر سوخت موتور ۴۰۰ ریال باشد و در هر ساعت ۴۰۰۰ ریال مزدکارگر و استهلاک موتور در نظر گرفته شود، تعیین کنید که :

الف ــ توان مفید موتور محرّک چند kW خواهد بود؟

ب ــ اگر کارایی مکانیکی موتور ٪۹۰ باشد، مصرف سوخت موتور برحسب lit/hr چه قدر است؟

ج ــ اگر بازده حرارتی موتور ٪۲۶ باشد، قیمت هر کیلووات ساعت برق مولّد به ریال را حساب کنید.

$P_{eG} = ۵۰ \ kW$

$\eta_G = ٪۸۰$

$CV = ۱۰۰۰۰ \ kcal/kg$

$\rho = ۰/۷۵ \ gr/cm^۳$

$C_۱ = ۵۰ \ ریال \ /lit$

$C_۲ = ۴۰۰۰ \ ریال \ /hr$

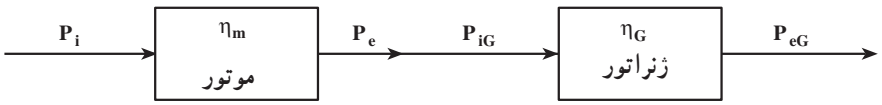
$P_e = ? \ kW$

$V = ? \ lit/h$

$\eta_m = ٪۹۰$

$C = ? \quad ریال \ /kW-hr$

$\eta_e = ٪۲۶$



$$P_{iG} = \frac{P_{eG}}{\eta_G} = \frac{۵۰}{۰/۸} = ۶۲/۵ \ kW$$

$$P_e = P_{iG} = ۶۲/۵ \ kW$$

$$P_{im} = \frac{V \times \rho \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} \Rightarrow V = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{V \times \rho \times \eta_e}$$

$$P_{im} = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۶۲/۵}{٪۹۰} = ۶۹/۴ \ kW$$

$$V = \frac{۶۹/۴ \times ۳۶۰۰}{۰/۷۵ \times (۱۰۰۰۰ \times ۴/۲) \times ۰/۲۶} = ۳۰/۵ \ lit/h$$

$$C = \frac{V \times C_۱ + C_۲}{P_{eG}} = \frac{۳۰/۵ \times ۴۰۰ + ۴۰۰۰}{۵۰} = ۳۲۴ \ ریال \ /kW-hr$$

۵ ــ ۵ ــ محاسبه‌ی حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده

برای محاسبه‌ی حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده که در موتور خودروها همان حجم آب موتور و رادیاتور و لوله‌های رابط است و نیز برای محاسبه‌ی میزان تغییر درجه‌ی حرارت آب در اثر

انتقال گرما به آن ، از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

$$Q_W = m_W \times C_P \times \Delta t$$

در این رابطه : (۵ ـ ۵)

Q_W = مقدار گرمای منتقل شده به آب kj/hr ؛

m_W = دبی جرم آب kg/hr ؛

C_p = گرمای ویژه‌ی آب در فشار ثابت kj/kg.°C ؛

Δt = اختلاف دمای ورودی و خروجی آب به رادیاتور ؛

$\Delta t = t_2 - t_1$

t_2 = درجه‌ی حرارت آب خروجی از موتور به رادیاتور °C ؛

t_1 = درجه‌ی حرارت آب خروجی از رادیاتور به موتور °C ؛

با توجه به فرمول یاد شده حجم آب موجود در موتور و رادیاتور را می‌توان به روش زیر به‌دست آورد .

$$m_W = V_W \times \rho \Rightarrow \quad V_W = \frac{m_W}{\rho}$$

از طرفی می‌دانیم :

$$m_W = \frac{Q_W}{C_P \times \Delta t} \Rightarrow V_W = \frac{Q_W}{\rho \times C_P \times \Delta t}$$

در این روابط : (۶ـ۵)

$$V_W = n \times V \Rightarrow \boxed{V = \frac{Q_W}{n \times \rho \times C_P \times \Delta t}}$$

m_W = دبی جرم آب مورد نیاز برای انتقال گرمای $(kg/hr)Q_W$ ؛

V_W = دبی حجم آب مورد نیاز برای انتقال گرمای $Q_W(m^3/hr)$ ؛

V = حجم آب موجود در سیستم خنک‌کننده (m^3) ؛

n = تعداد دوری که آب درون موتور رادیاتور گردش می‌کند تا گرمای «Q_W» را جذب کند ؛

ρ = جرم حجمی آب است که در سیستم بین‌المللی برابر با $(۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3})$ است و معادل با یک‌گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

$$۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3} = ۱ \frac{gr}{cm^3}$$

مثال (۶) : موتوری با دور ثابت در ساعت (۸) کیلوگرم بنزین با ارزش حرارتی (۴۲۰۰) کیلوژول بر نیوتن مصرف می‌کند. اگر (۳۳٪) از کلّ گرمای حاصل از احتراق از طریق آب خنک کننده به هوا منتقل شود، مطلوب است که :

ـ کلّ گرمای حاصل از احتراق برحسب kj/hr محاسبه شود.

ـ مقدار گرمای منتقل شده به هوا از طریق آب خنک کننده برحسب kj/h حساب شود.

$m = ۸۰ \ \ kg/hr$

$CV = ۴۲۰۰ \ \ kj/N$

$\eta_W = ٪۳۳$

$Q = ? \ \ kj/hr$

$Q_W = ? \ \ kj/hr$

$Q = m \times CV = ۸۰ \times ۴۲۰۰ = ۳۳۶۰۰۰ \ \ kj/hr$

$Q_W = Q \times \eta_W = ۳۳۶۰۰۰ \times ٪۳۳ = ۱۱۰۸۸۰ kj/hr$

مثال (۷) : موتوری در هر ساعت ۱۰ لیتر سوخت با جرم حجمی ($۰/۷۴ \ gr/cm^3$) مصرف می‌کند. اگر ارزش حرارتی سوخت مصرفی ($۱۰۴۰۰ \ kcal/kg$) و حجم آب موتور و رادیاتور ($۸ lit$) و درصد انتقال حرارت به آب (۳۳٪) باشد، مطلوب است که :

ـ اگر پمپ آب در هر ساعت ۱۵۰ دور آب را بچرخاند. مقدار اختلاف درجه‌ی حرارت آب موتور و رادیاتور برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد را حساب کنید.

$V = ۱۰ \ \ lit/hr$

$\rho = ۰/۷۴ \ \ gr/cm^3$

$CV = ۱۰۴۰۰ \ \ kcal/kg$

$v = ۸ \ \ lit$

$\eta_W = ٪۳۳$

$\Delta t = ? \ \ ^\circ C$

$n = ۱۵۰$ دور در ساعت

پاسخ:

$$Q_W = m_W \times C_P \times \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q_W}{m_W \times C_P}$$

$Q_W = m \times CV \times \eta_W = V \times \rho \times CV \times \eta_W$

$Q_W = ۱۰ \times ۰/۷۴ \times ۱۰۴۰۰ \times ۰/۳۳ = ۲۵۳۹۶/۸ \ \ kcal/hr$

$$m_W = V_W \times \rho = n \times v \times \rho = ۱۵۰ \times ۸ \times ۱ = ۱۲۰۰ \ kg/hr$$

$$\Delta t = \frac{۲۵۳۹۶/۸}{۱۲۰۰ \times ۱} = ۲۱/۲ \ ^\circ C$$

۶ــ ۵ ــ محاسبه‌ی حجم سوخت مصرفی موتور

برای محاسبه‌ی حجم سوخت مصرفی موتور به‌راحتی و با استفاده از رابطه‌ی موجود میان حجم، دبی جرمی، جرم حجمی و روابط قبلی، می‌توان به صورت زیر عمل نمود :

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$P_i = \frac{Q_e}{۳۶۰۰} = \frac{m \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} \Rightarrow m = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{CV \times \eta_e}$$

$$\boxed{V = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{\rho \times CV \times \eta_e}}$$ و در نتیجه : (۵ــ۷)

مثال (۸): اگر توان مفید موتوری (۵۰kW) و کارایی حرارتی (٪۲۷) و بازده مکانیکی (٪۹۰) باشد و سوخت مصرفی این موتور بنزین مخصوص با جرم‌حجمی ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) درنظر گرفته شود، حجم سوخت مصرفی این موتور درساعت چند لیتر است؟

$$P_e = ۵۰ kW$$

$$\eta_e = ٪۲۷$$

$$\eta_m = ٪۹۰$$

$$CV = ۴۲۷۰۰ \ kj/kg$$

$$\rho = ۰/۷۵ \ gr/cm^۳$$

$$V = ? \ lit/h$$

پاسخ :

$$V = \frac{۳۶۰۰ \times P_i}{\rho \times CV \times \eta_e}$$

$$P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۵۰}{۰/۹} = ۵۵/۵ \ kW$$

$$V = \frac{۳۶۰۰ \times ۵۵/۵}{۰/۷۵ \times ۴۲۷۰۰ \times ۰/۲۷} = ۲۳/۱ \ lit/hr$$

۷ــ ۵ ــ محاسبه‌ی مصرف ویژه‌ی سوخت

یکی از عوامل مشخّصه‌ی موتورهای درون سوز، میزان مصرف ویژه‌ی سوخت موتور است. زیرا ممکن است یک موتور، نسبت به موتور دیگر، سوخت کم‌تری در هر ساعت مصرف نماید امّا در مقابل آن توان کم‌تری نیز تولید کند. بنابراین، تنها کم‌تر بودن مصرف سوخت موتور در یک ساعت نمی‌تواند تعیین کننده‌ی بهتر و یا بدتر بودن یک موتور باشد. در این گونه موارد برای تعیین این‌که از میان چند موتور کدام یک بهتر است، میزان مصرف ویژه‌ی سوخت موتورها را اندازه‌گیری و با هم مقایسه می‌نمایند. هر موتوری که مصرف ویژه‌ی سوخت کم‌تری داشته باشد، بهتر است.

مصرف ویژه‌ی سوخت، به میزان مصرف سوخت موتور در برابر تولید یک واحد توان ، در واحدزمان می‌گویند و معمولاً برحسب کیلوگرم بر کیلووات ساعت (kg/kW.hr) اندازه‌گیری شده، با علامت (b_e) نشان داده می‌شود. با توجّه به تعریف فوق مصرف ویژه‌ی سوخت از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$b_e = \frac{m}{P_e} \qquad (۵ _ ۸)$$

در این رابطه :

b_e = میزان مصرف kg/hr.kW ؛

مثال (۹) : موتوری با توان مفید (۶۰ kW) در هر ساعت (۱۲) لیتر سوخت با جرم حجمی (۰/۷۵ kg/lit) مصرف می‌کند . مصرف ویژه‌ی سوخت این موتور چند kg/kW – hr و gr/kW – hr است ؟

$P_e = ۶۰ \quad kW$

$V = ۱۲ \quad lit/hr$

$\rho = ۰/۷۵ \quad gr/cm^۳$

$b_e = ? \quad kg/kW.hr$

پاسخ:

$m = V \times \rho = ۱۲ \times ۰/۷۵ = ۹ \quad kg/hr$

$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{۹}{۶۰} = ۰/۱۵ \quad kg/kW.hr$

$۰/۱۵ \times ۱۰۰۰ = ۱۵۰ \quad gr/kW.hr$

۸ ــ ۵ ــ محاسبه‌ی مصرف سوخت به ازای یک‌صد کیلومتر

یکی دیگر از عوامل مشخّصه‌ی موتورها، میزان مصرف سوخت موتور به ازای یک‌صدکیلومتر مسافت پیموده شده است. این میزان مصرف سوخت که به طور متوسط محاسبه می‌گردد،از رابطه‌ی زیر به‌دست‌می‌آید.

$$C = \frac{k \times ۱۰۰}{L} \quad (۵ _ ۹)$$

در این رابطه :

C = مقدار مصرف سوخت در یک‌صدکیلومتر برحسب لیتر[۱] ؛

k = کلّ سوخت مصرف شده (لیتر) ؛

L = مسافت طی شده (کیلومتر).

مثال (۱۰): فاصله‌ی تهران تا اصفهان (۴۸۰ km) است. اگر یک اتومبیل در طی این مسافت (۵۲/۸ lit) سوخت مصرف کرده باشد، مصرف سوخت آن به ازای یک‌صدکیلومتر چند لیتر است؟

$L = ۴۸۰ \quad km$

$k = ۵۲/۸ \quad lit$

$C = ? \quad lit/۱۰۰km$

پاسخ :

$$C = \frac{k \times ۱۰۰}{L} = \frac{۵۲/۸ \times ۱۰۰}{۴۸۰} = ۱۱ \quad lit/۱۰۰km$$

مثال (۱۱) : برای تعیین سوخت مصرفی یک موتور که توان مفید آن (۴۰ kW) است، این موتور را به مدّت (۲۵) ثانیه روی دستگاه آزمایش قرار داده، ($۱۲۰ cm^۳$) سوخت با جرم مخصوص ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) مصرف می‌نماید. مصرف ویژه‌ی سوخت این موتور چند ($kg/kW-hr$) است؟

$P_e = ۴۰ \quad kW$

$t = ۲۵$ ثانیه

$b = ۱۲۰ \quad cm^۳$

۱ــ Consumption

$\rho = ۰/۷۵ \quad gr/cm^۳$

$b_e = ? \quad kg/kW.hr$

$$\text{مصرف سوخت برحسب } gr/hr = \frac{\text{وزن مخصوص سوخت } (gr/cm^۳) \times \text{حجم سوخت مصرفی در «t» ثانیه برحسب } (cm^۳) \times ۳۶۰۰ \text{ sec/hr}}{\text{زمان اندازه‌گیری شده برحسب ثانیه}}$$

$$m = \frac{b \rho \times \quad ۳۶۰۰}{t} = \frac{۱۲۰(cm^۳) \times ۰/۷۵(gr/cm^۳) \times ۳۶۰۰}{۲۵ \quad sec} = ۱۲۹۶۰ \quad gr/hr$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{۱۲۹۶۰}{۴۰} = ۳۲۴ \quad gr/kW.hr$$

$$b_e = ۳۲۴ \div ۱۰۰۰ = ۰/۳۲۴ \quad kg/kW.hr$$

مثال (۱۲): پمپ آب یک موتور دیزل با دور ثابت در ساعت، (۱۳) لیتر آب موتور و رادیاتور را (۲۶۰) مرتبه به گردش در می‌آورد. اگر کاهش درجه‌ی حرارت آب در رادیاتور ($۲۲ \ ^\circ C$) و ارزش حرارتی سوخت $۸۷۸۰ kcal/lit$ با جرم حجمی ($۰/۸۶ kg/lit$) و کلّ حرارت حاصل از احتراق در موتور ($۲۲۹۵۰۰ kcal/hr$) باشد، تعیین کنید که:

الف ــ درصد انتقال حرارت به آب موتور چه قدر است؟

ب ــ اگر بازده‌ی حرارتی موتور (٪۲۶) و کارایی مکانیکی موتور (٪۸۰) باشد. مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب ($gr/kW.hr$) چه قدر است؟

$v = ۱۳ \quad lit$

$n = ۲۶۰$ چرخش آب در ساعت

$\Delta t = ۲۲ \quad ^\circ C$

$CV = ۸۷۸۰ \quad kcal/lit$

$\rho = ۰/۸۶ \quad kg/lit$

$Q = ۲۲۹۵۰۰ \quad kcal/h$

$\eta_W = ?$

$b_e = ? \quad gr/kW.hr$

$\eta_e = ٪۲۶$

$\eta_m = ٪۸۰$

$$\eta_W = \frac{Q_W}{Q} \qquad Q_W = m \times C_P \times \Delta t$$

$$m_W = V_W \times \rho = n \times v \times \rho = ۲۶۰ \times ۱۳ \times ۱ = ۳۳۸۰ \quad kg/hr$$

$$Q_W = ۳۳۸۰ \times ۱ \times ۲۲ = ۷۴۳۶۰ \quad kcal/hr$$

$$\eta_W = \frac{۷۴۳۶۰}{۲۲۹۵۰۰} = ۰/۳۲۴ \Rightarrow \eta_W = ٪۳۲/۴$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} \qquad Q = m \times CV$$

چون ارزش حرارتی برحسب واحد(kcal/lit) داده شده است، بنابراین :

$$Q = V \times CV \Rightarrow V = \frac{Q}{CV} = \frac{۲۲۹۵۰۰}{۸۷۸۰} = ۲۶/۱ \quad lit/hr$$

$$m = V \times \rho = ۲۶/۱ \times ۰/۸۶ = ۲۲/۴ \quad kg/hr$$

$$Q_e = ۳۶۰۰ \times P_i \qquad Q_e = Q \times \eta_e \times ۴/۲$$

$$P_i = \frac{Q \times \eta_e \times ۴/۲}{۳۶۰۰} = \frac{۲۲۹۵۰۰ \times ۰/۲۶ \times ۴/۲}{۳۶۰۰} = ۶۹/۶ \quad kW$$

$$P_e = P_i \times \eta_m = ۶۹/۶ \times ۰/۸۰ = ۵۵/۶۸ kW$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{۲۲/۴}{۵۵/۶۸} = ۰/۴۰۲ kg/kW.h = ۴۰۲ gr/kW.h$$

مثال (۱۳): در یک موتور بنزینی از کلّ حرارت حاصل از احتراق در سرسیلندر (٪۳۵) معادل (۳۲۴۴۵kcal/hr) از طریق اگزوز به خارج و (۲۹۶۶۴kcal/hr) به آب داده می‌شود. اگر ارزش حرارتی سوخت (۱۰۳۰۰kcal/kg) و وزن مخصوص سوخت ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) و بازده حرارتی موتور (٪۲۶) و کارایی مکانیکی آن (٪۹۰) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ سوخت مصرفی موتور برحسب lit/hr چه قدر است؟

ب ــ درصد حرارت منتقل شده به آب چه قدر است؟

ج ــ سوخت ویژه‌ی موتور چند gr/kW.hr است؟

د ــ افت انرژی حرارتی که به صورت دیگر از بین رفته است چند kj/hr است؟

$$\eta_{ex} = ٪۳۵$$

$$Q_{ex} = ۳۲۴۴۵ \quad kcal/hr$$

$Q_w = ۲۹۶۶۴$ kcal/hr

$CV = ۱۰۳۰۰$ kcal/kg

$\rho = ۰/۷۵$ gr/cm^۳

$\eta_e = ٪۲۶$

$\eta_m = ٪۹۰$

$V = ?$ lit/hr

$\eta_w = ?$

$b_e = ?$ gr/kW.hr

$Q_a = ?$ kj/hr

پاسخ :

$$Q_{ex} = V \times \rho \times CV \times \eta_{ex} \Rightarrow V = \frac{Q_{ex}}{\rho \times CV \times \eta_{ex}}$$

$$V = \frac{۳۲۴۴۵}{۰/۷۵ \times ۱۰۳۰۰ \times ۰/۳۵} = ۱۲ \quad \text{lit/hr}$$

$$\eta_w = \frac{Q_w}{V \times \rho \times CV} = \frac{۲۹۶۶۴}{۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۳۰۰} = ۰/۳۲ \Rightarrow \eta_w = ٪۳۲$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{V \times \rho}{P_e}$$

$$P_i = \frac{V \times \rho \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} = \frac{۱۲ \times ۰/۷۵ \times (۱۰۳۰۰ \times ۴/۲) \times ۰/۲۶}{۳۶۰۰} = ۲۸/۱ \quad kW$$

$$P_e = P_i \times \eta_m = ۲۸/۱ \times ۰/۹ = ۲۵/۳ \quad kW$$

$$b_e = \frac{۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۰۰}{۲۵/۳} = ۳۵۵/۷ \quad gr/kW.hr$$

$$Q_a = Q \times \eta_a$$

$$Q = V \times \rho \times CV = ۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۳۰۰ = ۹۲۷۰۰ \quad kcal/hr$$

$$\eta_a = ۱ - (\eta_w + \eta_{ex} + \eta_e) = ۱ - (۰/۳۲ + ۰/۳۵ + ۰/۲۶) = ۰/۰۷$$

$$Q_a = (۹۲۷۰۰ \times ۴/۲) \times ۰/۰۷ = ۲۷۲۵۳/۸ \quad kj/hr$$

مثال (۱۴): موتور چهار سیلندر چهار زمانه‌ای با دور ثابت (۳۶۰۰ RPM) دارای مصرف سوخت (۱۲) لیتر در ساعت با جرم حجمی ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) و ارزش حرارتی ($۴۲۰۰ kj/N$) است. اگر (٪۲۵) از کلّ انرژی حرارتی مفید واقع گردد و در این حالت فشار متوسط احتراق روی

پیستون (۱۰bar) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ انرژی حرارتی مفید برحسب kj/hr چه قدر است؟

ب ــ اگرکورس پیستون ۱۰۰ میلی‌متر باشد، نیروی متوسط احتراق چند N است؟

ج ــ قطر دهانه‌ی سیلندر چند cm است؟

$k = ۴$

$n = ۳۶۰۰ \quad RPM$

$V = ۱۲ \quad lit/hr$

$\rho = ۰/۷۵ \quad gr/cm^۳$

$CV = ۴۲۰۰ \quad kj/N = ۴۲۰۰ \quad kj/kg$

$\eta_e = ٪۲۵$

$P_m = ۱۰bar$

$Q_e = ? \quad kg/hr$

$F_m = ? \quad N$

$S = ۱۰۰ \quad mm$

$D = ? \quad cm$

$Q_e = V \times \rho \times CV \times \eta_e = ۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۴۲۰۰۰ \times ۰/۲۵ = ۹۴۵۰۰ \quad kj/hr$

برای محاسبه‌ی نیروی متوسط احتراق که به هر پیستون اثر می‌نماید، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم :

ابتدا تعداد جرقه‌ای که در موتور در یک ساعت زده می‌شود، محاسبه می‌کنیم.

تعداد جرقه در ساعت $N = \frac{n \times k \times ۶۰}{۲} = \frac{۳۶۰۰ \times ۴ \times ۶۰}{۲} = ۴۳۲۰۰۰$

از حاصل تقسیم انرژی حرارتی مفید در یک ساعت بر تعداد جرقه در یک ساعت، مقدار انرژی حرارتی مفید در اثر یک جرقه به‌دست می‌آید.

$Q_{e_۱} = \frac{Q_e}{N} = \frac{۹۴۵۰۰}{۴۳۲۰۰۰} = ۰/۲۱۸ \quad kj$

این مقدار انرژی تبدیل به کار مکانیکی می‌شود و چون ($۱kj = ۱۰۰۰ \quad N.m$) است، بنابراین کار مکانیکی انجام شده در اثر یک جرقه برابر است با :

$$W = ۰/۲۱۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۱۸ \ N.m$$

نیروی متوسط احتراق $$W = F_m \times S \ \Rightarrow \ F_m = \frac{W}{S} = \frac{۲۱۸ \times ۱۰۰۰}{۱۰۰} = ۲۱۸۰ \ N$$

سطح پیستون $$F_m = A \times P_m \ \Rightarrow \ A = \frac{F}{P_m} = \frac{۲۱۸۰}{۱۰ \times ۱۰} = ۲۱/۸ \ cm^۲$$

قطر پیستون $$A = \frac{D^۲ \times \pi}{۴} \ \Rightarrow \ D = \sqrt{\frac{۴ \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{۴ \times ۲۱/۸}{۳/۱۴}} = ۵/۳ \ cm$$

تمرین

مسأله‌ی(۱): یک وانت با توان مفید (۱۲۰kW) دارای سوخت مصرفی (۲۶/۷) کیلوگرم در ساعت است. مصرف ویژه‌ی سوخت موتور را برحسب (gr/kW.hr) حساب کنید.

جواب) ۲۲۲/۵ gr/kW.hr

مسأله‌ی (۲) : توان مفید موتوری که با سرعت (۱۲۰ km/hr) حرکت می‌کند (۴۰kW) و کارایی مکانیکی آن (۹۰٪) و سوخت آن تولوئن و بازده حرارتی آن (۲۵٪) است. مطلوب است که : سوخت اتومبیل در هرصد کیلومتر برحسب لیتر محاسبه شود.

جواب) C = ۱۵ lit/۱۰۰ km

مسأله‌ی (۳) : موتوری با توان مفید (۶۰kW) دارای مصرف سوخت ویژه‌ی (۱۵۰gr/kW.hr) با ارزش گرمایی(۴۲۰۰۰kj/kg) است . اگر افت درجه‌ی حرارت، توسط رادیاتور (۲۰) درجه کلوین و گنجایش آب موتور و رادیاتور (۸lit) باشد و (۳۰٪) از کل حرارت حاصل از احتراق به آب انتقال داده شود ، مطلوب است که :

الف ــ حرارت منتقل شده به آب برحسب kj/hr محاسبه شود.

ب ــ مقدار آب عبور داده شده از رادیاتور برحسب lit/min حساب شود.

ج ــ تعداد دوری که آب موتور و رادیاتور در هر دقیقه به‌گردش در می‌آید.

الف) ۱۱۳۴۰۰kj/hr ب) ۲۲/۵ lit/min ج) ۲/۸RPM

مسأله‌ی (۴) : یک موتور چهار زمانه‌ی چهار سیلندر با دور ثابت (۳۰۰۰ RPM) در هرساعت (۱۵) لیتر سوخت مصرف می‌کند . اگر سوخت بنزین مخصوص و جرم حجمی سوخت آن (۰/۷۵kg/lit) و کارایی حرارتی (۲۵٪) و فشار متوسط احتراق روی پیستون (۱۰bar) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ انرژی حرارتی مفید چند kj/h است؟

ب ــ نیروی متوسط احتراق چند N است؟

ج ــ در صورتی که دور پیستون (۹۰mm) باشد، قطر دهانه‌ی سیلندر چند cm است؟

الف) ۱۲۰۰۹۳/۷۵kj/hr ب) ۳۷۰۶/۵۹N ج) $D\Delta = ۶/۸۷$ cm

مسأله‌ی (۵) : موتوری در زمان (۲۰) ثانیه در یک دور ثابت ($۷۰cm^۳$) سوخت با وزن مخصوص ($۰/۷۳gr/cm^۳$) مصرف می‌کند . اگر در این حالت توان مفید موتور (۴۰kW) و (۳۵٪) از کلّ حرارتی که از طریق اگزوز به خارج می‌رود برابر با (۱۳۸۴۳۰kj/hr) باشد ، مطلوب است که :

الف ــ مصرف سوخت موتور برحسب lit/hr محاسبه شود.

ب ــ مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب gr/kW.hr به‌دست آید.

ج ــ کل حرارت حاصل از احتراق برحسب kj/hr حساب شود.

الف) ۱۲/۶lit/hr ب) ۲۳۰gr/kW.hr ج) ۳۹۵۵۱۴kj/hr

مسأله‌ی (۶) : موتوری با توان مفید (۷۰ kW) در دور ثابت دارای مصرف ویژه‌ی سوخت (۲۸۰gr/kW.hr) با ارزش حرارتی (۴۲۰۰۰kj/kgf) است، اگر درصد حرارت انتقالی به آب (۳۵٪) و تقلیل درجه‌ی حرارت آب توسط رادیاتور ($۱۵^\circ k$) و گنجایش آب موتور و رادیاتور (۱۰/۵) لیتر باشد، مطلوب است که :

الف ــ حرارت انتقال داده شده به آب برحسب kj/hr حساب شود.

ب ــ مقدار آب ارسالی توسط پمپ برحسب lit/hr محاسبه گردد.

ج ــ تعداد دوری‌که پمپ، حجم آب موتور و رادیاتور را در دقیقه می‌گرداند، تعیین شود.

الف) ۲۸۸۱۲۰kj/hr ب) ۴۵۷۳lit/hr ج) ۷/۲RPM

مسأله‌ی (۷) : یک موتور دیزل با سرعت ثابت (۸۰km/hr) در هرصد کیلومتر مسافت (۲۵lit) سوخت با وزن ($۰/۷۲gr/cm^۳$) مصرف می‌کند. اگر ارزش حرارتی سوخت (۴۲۳۰۰kj/kg) و کارایی گرمایی(۲۸٪) و بازده مکانیکی آن (۹۲٪) باشد ، تعیین کنید که :

الف ــ سوخت موتور برحسب lit/hr چه قدر است؟

ب ــ توان بازده موتور برحسب kW چه اندازه است؟

الف) ۲۰lit/hr ب) ۴۳/۵۸kW

مسأله‌ی (۸): مولّدی با توان بازده (۶۸kW) و کارایی (۸۵٪) به وسیله‌ی موتوری با بازده حرارتی (۳۰٪) و کارایی مکانیکی (۸۸٪) به حرکت در می‌آید. اگر ارزش حرارتی سوخت (۴۲۳۰۰kj/kg) و وزن مخصوص ($۰/۸۵gr/cm^۳$) باشد. مطلوب است که :

الف ــ توان بازده موتور برحسب kW حساب شود.

ب ــ سوختی که در (۲۵) ثانیه مصرف می‌کند برحسب cm^3 حساب شود.

ج ــ مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب gr/kW.hr محاسبه گردد.

الف) ۸۰kW ب) ۲۱۰/۴cm^3 ج) ۳۲۱/۹gr/kW.hr

مسأله‌ی (۹) : مصرف سوخت یک موتور بنزینی که یک مولّد الکتریکی را به‌حرکت درمـی‌آورد (۱۳kg/hr) با ارزش حـرارتی (۷۶۵۰kcal/lit) و وزن مخصوص (۰/۷۱ gr/cm^3) است. اگر کارایی حرارتی موتور (۲۸٪) و بازده مکانیکی آن (۹۰٪) و بازده مولّد (۸۰٪) باشد، به‌سؤالات زیر جواب دهید :

الف ــ کلّ انرژی تلف شده از طریق آب، اگزوز و انتشار در هوا چندkj/hr است؟

ب ــ اگر برق مولّد برای روشنایی به کار رود، چه تعداد لامپ (۱۰۰) واتی را می‌تواند روشن نماید؟

ج ــ اتلاف انرژی مولد برحسبkj/hr را محاسبه کنید.

الف) ۴۲۳۵۷۳kj/hr ب) تعداد لامپ ۳۳۰ ج) ۲۹۶۲۸kj/hr

مسأله‌ی (۱۰) : گشتاور موتوری در دور ثابت (۱۷۹۰) در دقیقه (۲۲۰N.m) است. اگر بازده مفید موتور (۲۶٪) و ارزش حرارتی سوخت (۴۶۲۰۰kj/kg) و جرم حجمی (۰/۷۵ gr/cm^3) و کارایی مکانیکی موتور (۹۰٪) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ حرارت مفید موتور برحسب kj/hr چه‌قدر است؟

ب ــ مصرف ویژه‌ی سوخت موتور چند gr/kW.hr است؟

ج ــ سوخت مصرفی در ساعت چند لیتر است؟

د ــ اتلاف حرارت در موتور چند kj/hr است؟

الف) ۱۶۴۹۵۲kj/hr ب) ۳۳۳/۱gr/kW.hr ج) ۱۸/۳lit/hr

د) ۴۶۹۴۷۸kj/hr

مسأله‌ی (۱۱) : موتور چهار زمانه‌ی شش سیلندری با دور ثابت (۲۸۰۰RPM) دارای مصرف سوخت (۲۴lit/hr) با ارزش حرارتی (۸۵۰۰kcal/lit) است. اگر بازده حرارتی موتور (۲۸٪) باشد. تعیین کنید که :

الف ــ درصورتی که بازده مکانیکی موتور (۹۰٪) باشد، گشتاور موتور چند kg.m است؟

ب ــ اگر اتومبیلی با سرعت ثابت (۸۰km/hr) حرکت کند، سوخت مصرفی در یک‌صد کیلومتر چند لیتر است ؟

ج ـ کار یک پیستون برحسب kg.m چگونه است؟

الف) ۲۰/۸۸m.kg　　ب) ۳۰lit/۱۰۰ km　　ج) ۴۳/۶kg.m

فصل ششم

محاسبات سوپاپ

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

۱ــ زاویه‌ی باز و بسته بودن سوپاپ‌های موتور و پلاتین‌های دلکو را محاسبه کند.

۲ــ زمان باز و بسته بودن سوپاپ‌ها و پلاتین‌ها را حساب کند.

۳ــ دیاگرام زوایای باز و بسته بودن سوپاپ‌ها را رسم کند.

۶ ــ محاسبات سوپاپ

۱ــ۶ــ محاسبه‌ی زمان باز و بسته بودن سوپاپ‌ها

یکی از عوامل مؤثر در بازده حجمی موتور، زمان بازبودن سوپاپ‌های ورودی و خروجی موتور است. این فاصله‌ی زمانی با زاویه‌ی بادامک‌های روی میل‌بادامک بستگی مستقیم دارد. در نتیجه زاویه باز بودن سوپاپ‌ها نسبت به دوران میل لنگ همواره ثابت، ولی زمان باز بودن آن‌ها به نسبت عکس سرعت دورانی موتور تغییر می‌کند.

برای محاسبه‌ی زمان باز و بسته بودن سوپاپ‌ها با استفاده از یک تناسب ساده به ترتیب زیر عمل می‌شود :

ثانیه	درجه
۶۰	$n \times ۳۶۰$
t	$\alpha^\circ \Rightarrow t = \frac{۶۰ \times \alpha}{۳۶۰ \times n} \Rightarrow \boxed{t = \frac{\alpha}{۶ \times n}}$

در این رابطه :

α = زاویه‌ی باز یا بسته بودن سوپاپ‌ها نسبت به دوران میل‌لنگ برحسب درجه ؛

n = تعداد دوران موتور برحسب دور به دقیقه ؛

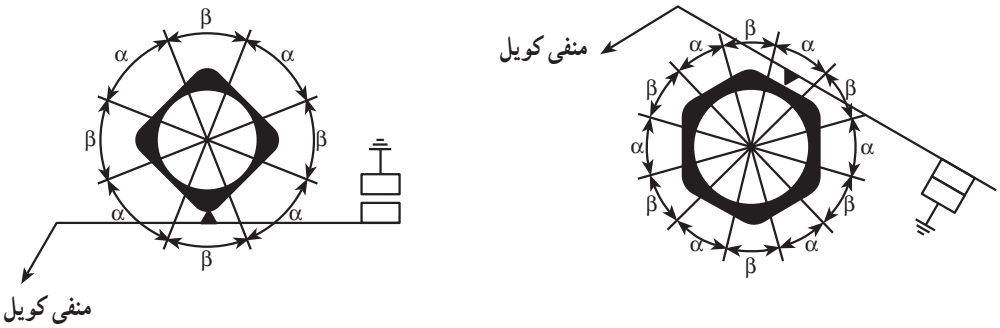
t = زمان باز یا بسته بودن سوپاپ‌ها برحسب ثانیه.

۲ــ۶ــ محاسبه‌ی زاویه‌ی باز یا بسته بودن دهانه‌ی پلاتین‌های دلکو

هم‌چنان که می‌دانید در یک دور چرخش، محور دلکو باید به تعداد سیلندرهای موتور دهانه‌ی پلاتین‌ها باز و بسته شود. پس : یک بار باز و بسته شدن دهانه‌ی پلاتین‌ها برابر است با :

$\gamma = \frac{۳۶۰}{K}$ که γ ، β زاویه‌ی باز بودن دهانه‌ی پلاتین ، α زاویه‌ی بسته بودن یا زاویه‌ی داول پلاتین و K تعداد سیلندرهای موتور است.

در حدود (۶۰٪) مقدار γ زاویه‌ی داول است که در خودروهای مختلف چند درجه‌ی تلرانس حد بالا و پایین دارد برای مثال موتور (۴) سیلندر با داول (۵۰°) مانند یک نوع فولکس و موتور (۴)سیلندر با داول (۶۰°) مانند پژو است. داول پیکان (۵۷°) است.



$۶\alpha + ۶\beta = ۳۶۰°$

کلی γ = درجه $\alpha + \beta = ۶۰$

داول $\alpha = ۰/۶۰ \times ۶۰ = ۳۶°$

باز بودن $\beta = ۶۰° - ۳۶° = ۲۴°$

$۴\alpha + ۴\beta = ۳۶۰°$

کلی (درجه) $\gamma = \alpha + \beta = ۹۰°$

داول $\alpha = ٪۶۰ \times ۹۰ = ۵۴°$

باز بودن $\beta = ۹۰° - ۵۴° = ۳۶°$

شکل ۱ــ۶

تمرین ۱ ــ رابطه‌ی زمان باز بودن پلاتین‌های دلکو را به‌دست آورید.

مثال (۱): زوایای باز و بسته شدن سوپاپ‌های یک موتور چهار زمانه‌ی بنزینی، که دارای دور ثابت (۴۶۰۰RPM) است، به شرح زیر است :

ــ سوپاپ گاز (۱۰°) قبل از نقطه‌ی مرگ بالا باز و (۴۰°) بعد از نقطه‌ی مرگ پایین، بسته می‌شود.

ــ سوپاپ دود (۵۰°) قبل از نقطه‌ی مرگ پایین باز و (۲۰°) بعد از نقطه‌ی مرگ بالا، بسته می‌شود.

مطلوب است که :

الف ــ مقدار زاویه‌ی باز بودن و بسته بودن سوپاپ‌های گاز و دود برحسب درجه محاسبه شود.

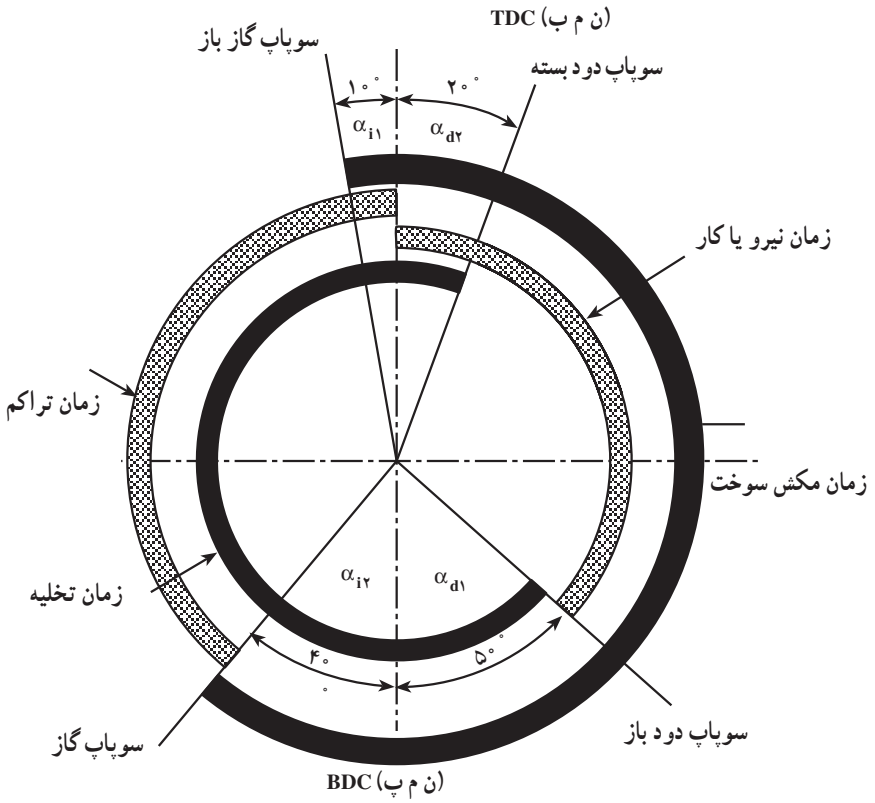
ب ــ زمان باز بودن سوپاپ‌های گاز و دود را برحسب ثانیه حساب کنید.

ج ــ زمانی که هر دو سوپاپ باهم باز هستند چه‌قدر است؟

پاسخ :

زاویه‌ی باز بودن سوپاپ‌های ورودی	درجه	$\alpha_{io} = ?$
زاویه‌ی بسته بودن سوپاپ‌های ورودی	درجه	$\alpha_{ic} = ?$
زاویه‌ی باز بودن سوپاپ‌های خروجی	درجه	$\alpha_{do} = ?$
زاویه‌ی بسته بودن سوپاپ‌های خروجی	درجه	$\alpha_{dc} = ?$
زمان باز بودن سوپاپ‌های ورودی	ثانیه	$t_i = ?$
زاویه‌ی باز بودن سوپاپ‌های خروجی	ثانیه	$t_d = ?$
زمانی که هر دو سوپاپ باهم باز هستند (قیچی کردن سوپاپ‌ها)	ثانیه	$t = ?$

با توجه به زوایای باز و بسته بودن سوپاپ‌های ورودی و خروجی نمودار باز بودن سوپاپ‌ها در شکل (۲ــ۶) نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۶

$$\alpha_{io} = \alpha_{i_1} + ۱۸۰^\circ + \alpha_{ic} = ۱۰^\circ + ۱۸۰^\circ + ۴۰^\circ = ۲۳۰^\circ$$

$$\alpha_{ic} = ۷۲۰^\circ - \alpha_{io} = ۷۲۰^\circ - ۲۳۰^\circ = ۴۹۰^\circ$$

$$\alpha_{do} = \alpha_{d_1} + ۱۸۰^\circ + \alpha_{d_2} = ۵۰^\circ + ۱۸۰^\circ + ۲۰^\circ = ۲۵۰^\circ$$

$$\alpha_{dc} = ۷۲۰^\circ - \alpha_{do} = ۷۲۰^\circ - ۲۵۰^\circ = ۴۷۰^\circ$$

$$t_i = \frac{\alpha_{io}}{۶ \times n} = \frac{۲۳۰^\circ}{۶ \times ۴۶۰۰} = ۰/۰۰۸ \text{ ثانیه}$$

$$t_d = \frac{\alpha_{do}}{۶ \times n} = \frac{۲۵۰^\circ}{۶ \times ۴۶۰۰} = ۰/۰۰۹ \text{ ثانیه}$$

$$t = \frac{\alpha}{۶ \times n} \quad \alpha = \alpha_{i_1} + \alpha_{d_2} = ۱۰^\circ + ۲۰^\circ = ۳۰^\circ$$

زمان بازبودن مشترک سوپاپ‌ها در ثانیه $t = \frac{۳۰}{۶ \times ۴۶۰۰} = ۰/۰۰۱$

(قیچی‌کردن سوپاپ‌ها)

تمرین

مسأله‌ی (۱): موتوری با دور (۳۰۰۰R.P.M)، دارای مشخّصات منحنی سوپاپ به‌شرح زیر می‌باشد :

ـ سوپاپ گاز (°۱۴) قبل از (T.D.C) باز و (°۳۸) بعد از (B.D.C) بسته می‌شود.

ـ سوپاپ دود (°۵۲) قبل از (B.D.C) باز و (°۷) بعد از (T.D.C) بسته می‌شود.

حساب کنید که :

الف ـ زاویه‌ی باز بودن سوپاپ‌های گاز و دود برحسب درجه چه‌قدر است؟

ب ـ زمان بازبودن سوپاپ‌های گاز و دود چه اندازه است؟

ج ـ اگر زاویه‌ی داول (°۵۴) باشد، زمان باز بودن دهانه‌ی پلاتین‌ها چند ثانیه است؟

د ـ اگر موتور(۴) زمانه باشد دیاگرام باز و بسته بودن سوپاپ‌ها را رسم کنید.

هـ ـ موتور چند سیلندر داشته است؟

الف) گاز °۲۳۲ دود °۲۳۹ ب) $t_۱ = ۰/۰۱۲۹S$ گاز $t_۲ = ۰/۰۱۳۲S$

هـ) $k = ۴$ ج) $t = ۰/۰۰۴S$

مسأله‌ی (۲): مشخّصات منحنی سوپاپ‌های یک موتور(۴) زمانه بنزینی در دور (۲۵۰۰R.P.M) به‌شرح زیر است :

ـ سوپاپ گاز (°۱۰) قبل از (T.D.C) باز و (°۴۵) بعد از (B.D.C) بسته می‌شود.

ـ سوپاپ دود (°۵۰) قبل از (B.D.C) باز و (°۱۵) بعد از (T.D.C) بسته می‌شود.

ـ زاویه‌ی داول (°۵۳) می‌باشد، حساب کنید که :

الف ـ زاویه‌ی باز بودن سوپاپ دود و گاز چند درجه است؟

ب ـ زمان باز بودن سوپاپ گاز و دود چند ثانیه است؟

ج ـ زمانی که هردوسوپاپ با هم باز هستند چند ثانیه است؟

د ـ زمان باز و بسته بودن دهانه‌ی پلاتین‌ها چه‌قدر است؟

هـ ـ دیاگرام باز و بسته بودن سوپاپ‌ها را رسم کنید.

الف) دود °۲۴۵ و گاز °۲۳۵ ب) $t_۱ = ۰/۰۱۵S$ $t_۲ = ۰/۰۱۶S$

ج) $t_3 = ۰/۰۰۱۶S$ د) $t_4 = ۰/۰۰۷S \quad t_5 = ۰/۰۰۵S$

مسأله‌ی (۳): زمان باز بودن سوپاپ گاز (۰/۰۱۸ S) و سوپاپ دود (۰/۰۲ S) ثانیه است، اگر دور موتور (۲۰۰۰R.PM) و زمان بسته بودن دهانه‌ی پلاتین (۰/۰۰۶ S) باشد، مطلوب است که :

الف ــ زاویه‌ی باز و بسته بودن دهانه‌ی پلاتین برحسب درجه را محاسبه کنید.

ب ــ زاویه‌ی باز بودن سوپاپ دود و گاز را برحسب درجه حساب کنید.

ج ــ تعداد سیلندرهای موتور اگر (۴) زمانه باشد، چه‌قدر است؟

د ــ در صورتی که قطر فلایویل (۴۰۰mm) باشد، طول کمانی از فلایویل که سوپاپ دود و سوپاپ گاز باز است.

الف) $\beta = ۲۴^\circ$ و $\alpha = ۳۶^\circ$ ب) دود ۲۴۰° گاز ۲۱۶°

ج) $K = ۶$ د) دود ۸۳۷/۳mm گاز ۷۵۳/۶mm

مسأله‌ی (۴): سوپاپ گاز موتور (۴) زمانه‌ای (۱۰°) قبل از (T.D.C) باز و کلاً (۲۲۵°) مکش می‌کند. سوپاپ دود هم (۱۵°) بعد از (T.D.C) بسته می‌شود. اگر زمان باز بودن سوپاپ گاز (۰/۰۱۵S) و دود (۰/۰۱۶S) باشد، مطلوب است که :

الف ــ زاویه‌ای که سوپاپ گاز بعد از (B.D.C) بسته می‌شود برحسب درجه حساب شود.

ب ــ دور موتور در این حالت برحسب دور در دقیقه چه‌قدر است؟

ج ــ زاویه‌ی باز بودن سوپاپ دود چند درجه است؟

د ــ دیاگرام باز و بسته بودن سوپاپ‌ها را رسم کنید.

۲۴۰° (ج ۲۵۰۰R.P.M ب) ۳۵° (الف

مسأله‌ی (۵): دیاگرام سوپاپ‌های یک موتور (۴) زمانه (۴) سیلندر مطابق شکل (۲ــ۲) دور موتور (۳۰۰۰R.P.M) و زاویه‌ی داول پلاتین (۵۲°) می‌باشد، بر این اساس به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف ــ زاویه‌ی باز بودن سوپاپ گاز و دود چه‌قدر است؟

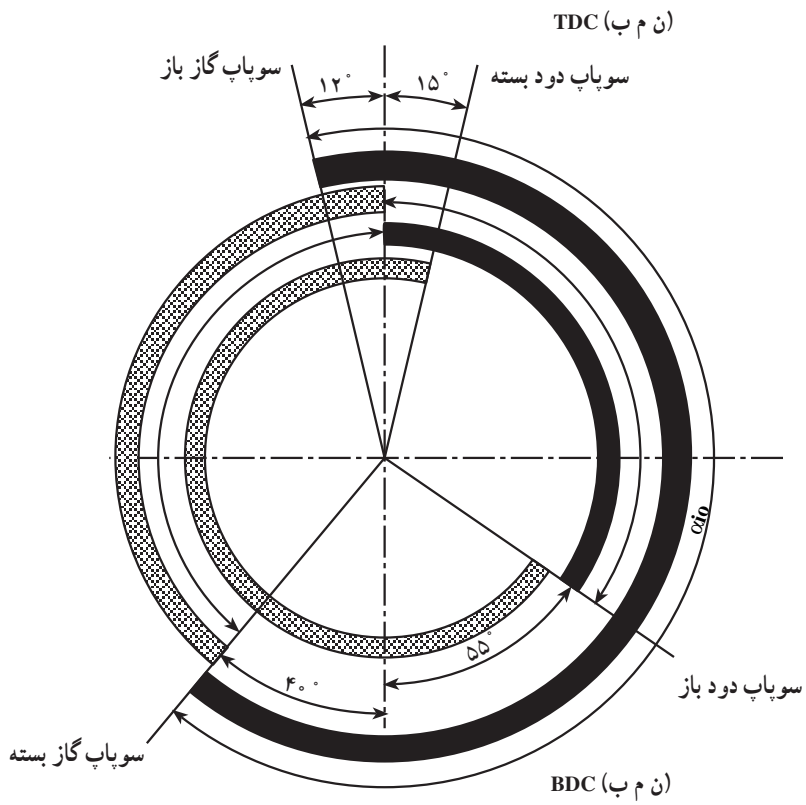
ب ــ زمان باز بودن سوپاپ دود و گاز چه‌قدر است؟

ج ــ زمان باز بودن هردو سوپاپ را تعیین کنید.

د ــ زمان تراکم و زمان کار را محاسبه کنید.

هـ ــ زمان باز و بسته بودن دهانه‌ی پلاتین‌ها چند درجه است؟

وـ زاویه‌ی بسته بودن سوپاپ گاز و دود چه‌قدر است؟



شکل ۳ـ۶

الف) گاز ۲۳۲°
دود ۲۵۰°

ب) گاز $t_1 = ۰/۰۱۲۸S$
$t_2 = ۰/۰۱۳۸$

ج) $t_3 = ۰/۰۰۱۵S$

د) تراکم $t_4 = ۰/۰۰۷۷S$
کار $t_5 = ۰/۰۰۶۹S$

و) گاز ۴۸۸°
دود ۴۷۰°

هـ) بسته بودن ۰/۰۰۵۸S
باز بودن ۰/۰۰۴۲S

فصل هفتم

ترمزها

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

۱ــ نیروی اصطکاک ترمز را محاسبه کند.

۲ــ گشتاور اصطکاکی ترمز را حساب کند.

۳ــ سرعت اتومبیل را اندازه‌گیری کند.

۴ــ خط ترمز را حساب کند.

۵ــ کار ترمز را تعیین کند.

۶ــ قدرت ترمز را مشخص کند.

۷ــ نیروی محرکه‌ی چرخ را محاسبه کند.

مقدمه

به‌طور کلی ترمز در وسایل نقلیه به‌منظور کاهش سرعت و یا متوقف کردن وسیله‌ی نقلیه به‌کار می‌رود. سیستم ترمز باید حساس، سبک و سریع عمل کند. برای جلوگیری از انحراف وسیله‌ی نقلیه هنگام ترمز، باید ترمز در یک زمان و متناسب با نیروی وارد بر چرخ‌ها اعمال شود.

در طراحی سیستم ترمز نکات زیر باید مورد توجه باشد.

ــ وزن مؤثر بر هر چرخ که مجموعاً وزن کل وسیله‌ی نقلیه است.

ــ نیروی حاصل از فشار روغن یا بوستر که به کفشک‌ها یا دیسک‌های ترمز اعمال می‌شود.

ــ جنس لنت‌ها

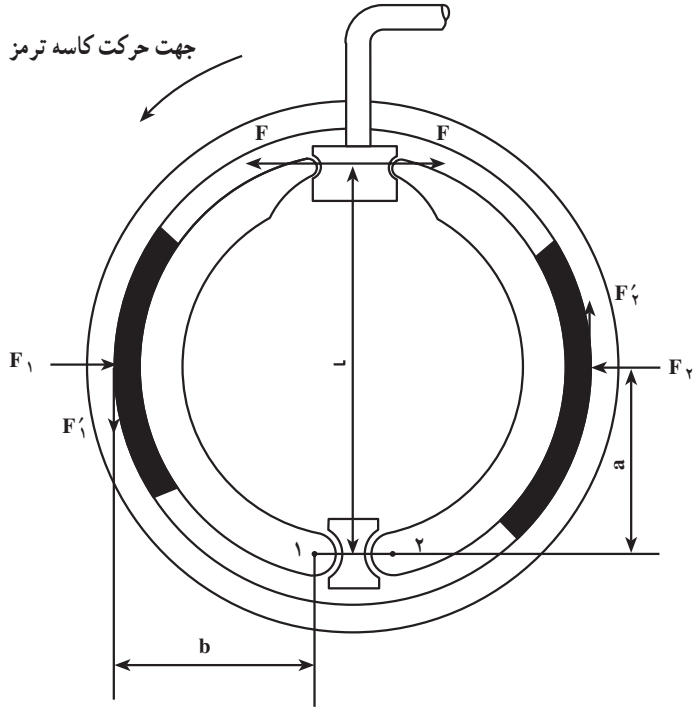
ــ سبک بودن و کم‌حجم‌بودن سیستم.

۱ــ۷ــ محاسبه‌ی نیروی اصطکاکی ترمز

نیروی پای راننده به پیستون سیلندر اصلی ترمز وارد می‌شود، فشار وارد به روغن ترمز به

سیلندرهای چرخ منتقل شده، توسط پیستون سیلندر چرخ، نیرو به کفشک‌ها منتقل می‌گردد که تا این‌جا محاسبات مانند سیستم کلاچ است.

نیروی مؤثر به کفشک‌ها در انواع مختلف سیستم کفشک‌بندی ترمز (۱) با تفاوت‌های جزئی یکسان است برای مثال نیروی مؤثر بر یک سیستم را که در شکل (۱ــ۷) مشاهده می‌شود، محاسبه می‌کنیم. (نوع سیمپلکس)[1]



شکل ۱ــ۷ــ کفشک‌بندی نوع سیمپلکس

با توجه به شکل (۱ــ۷) نیروهای« F'_1 » و «F'_2» نیروهای اصطکاکی هستند که با استفاده از قانون اهرم‌ها و گشتاور، برای لنت‌های سمت چپ و راست می‌توان گفت :

لنت سمت راست متحرک

۲ گشتاور حاصل را حول نقطه‌ی (۲) حساب می‌کنیم.

$$F.l = F_2.a + F'_2.b$$

لنت سمت چپ محرک

۱ گشتاور حاصل را حول نقطه‌ی (۱) حساب می‌کنیم.

$$F.l + F'_1 b = F_1 a$$

۱ــ الف ــ سیمپلکس ب ــ دوپلکس ساده و دوبل ج ــ سروی ساده و دوبل

$$F'_1 = F_1 . \mu \qquad F'_2 = F_2 . \mu$$

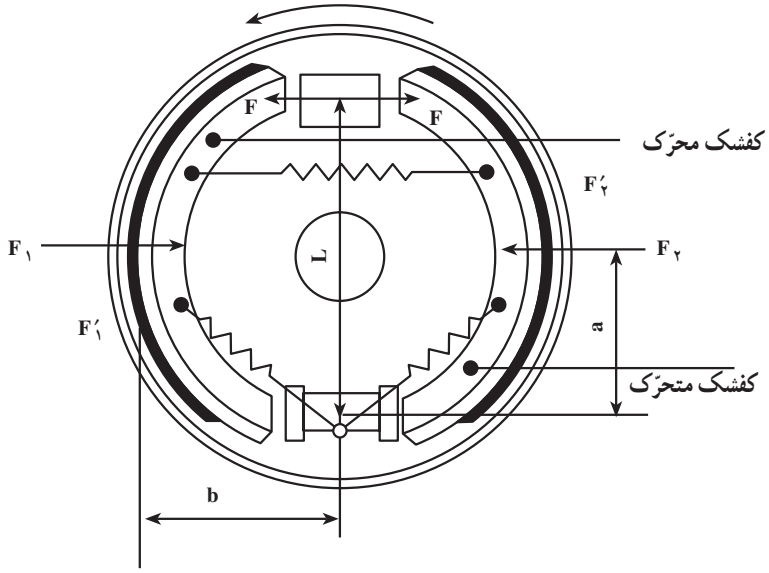
$$F.l = F_1 a - F_1 . \mu b \qquad F.l = F_2 \mu b + F_2 . a$$

$$F.l = F_1 (a - \mu b) \qquad F.l = F_2 (\mu b + a)$$

$$F_1 = \left(\frac{F.l}{a - \mu b} \right) \qquad (۷_۱) \qquad F_2 = \left(\frac{F.l}{a + \mu b} \right) \qquad (۷_۲)$$

در فرمول‌های فوق و شکل (۱ــ۷)، F نیروی وارد به کفشک‌ها از طریق پیستون سیلندر چرخ، «F_1» و «F_2» نیروی عکس‌العمل عمود بر لنت‌ها، «F'_1» و «F'_2» نیروی اصطکاکی بین لنت و کاسه چرخ، « a» فاصله‌ی نیروی «F'_1» یا «F'_2» تا نقطه‌ی تکیه‌گاه (۱) یا (۲)، « b»فاصله‌ی نیروی اصطکاکی «F'_1» یا «F'_2» تا نقطه‌ی تکیه‌گاه (۱) یا (۲) و «l »فاصله‌ی نیروی « F» با تکیه‌گاه‌های (۱) یا (۲) و «μ» ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه چرخ است.

هم‌چنان که در فرمول‌های (۱ــ۷) و (۲ــ۷) مشاهده می‌شود ($F_1 > F_2$) است. علّت آن وجود اثر قلاب شوندگی در کفشک سمت چپ است. در نتیجه، میزان ساییدگی لنت سمت چپ بیش‌تر از لنت سمت راست است. برای رفع این عیب از طرح‌های دیگری موسوم به «دوپلکس» و «سرو» استفاده می‌شود (شکل ۲ــ۷).



شکل ۲ــ۷ــ الف ــ ترمز سرو

مثال (۱): اگر در شکل (۱ــ۷) نیروی وارد به کفشک‌ها از پیستون سیلندر چرخ ($F=۱۵۰N$) و فاصله‌ی این نیرو تا تکیه گاه‌های (۱) و (۲) ($l=۲۵۰mm$)، ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه چرخ (۰/۷)، فاصله‌ی هریک از نیروهای «$F'_۱$» یا «$F'_۲$» تا تکیه‌گاه‌های (۱) یا (۲) ($a=۱۱۵mm$) و فاصله‌ی هریک از نیروهای«$F'_۱$» و «$F'_۲$» تا تکیه‌گاه‌های مذکور ($b=۱۰۰mm$) باشد، مقدار هریک از نیروهای اصطکاکی «$F'_۱$» و «$F'_۲$» را برحسب نیوتن حساب کنید.

پاسخ:

$F=۱۵۰N\ ,\ l=۲۵۰mm$ $\qquad F_۱=\dfrac{F.l}{a-\mu b}=\dfrac{۱۵۰\times۲۵۰}{۱۱۵-۰/۷\times۱۰۰}$

$a=۱۱۵mm\ ,\ b=۱۰۰mm$ $\qquad =\dfrac{۳۷۵۰۰}{۴۵}=۸۳۳N$

$\mu=۰/۷$ $\qquad F_۲=\dfrac{F.l}{a+\mu b}=\dfrac{۳۷۵۰۰}{۱۸۵}=۲۰۲N$

$F'_۱\ ,\ F'_۲=?N$ $\qquad F'_۱=F_۱.\mu=۸۳۳\times۰/۷=۵۸۳/۱N$

نیروی اصطکاکی کفشک سمت چپ

$F'_۲=F_۲.\mu=۲۰۲\times۰/۷=۱۴۱/۴N$

نیروی اصطکاکی کفشک سمت راست

(در ترمزهای دیسکی نیروی هیدرولیک توسط پیستون‌های سیلندر چرخ به دیسک منتقل می‌شود.)

۲ــ۷ــ محاسبه‌ی گشتاور ترمز

۱ــ۲ــ۷ــ گشتاور اصطکاکی ترمز برای هر چرخ (M_B): عبارت است از مجموع گشتاورهای حاصل از نیروهای اصطکاکی مؤثر بر کفشک‌ها، حول مرکز کاسه چرخ، یعنی :

$$M_B=F'_۱.R+F'_۲.R$$

$$M_B=F_۱.\mu.R+F_۲.\mu.R\Rightarrow \boxed{M_B=\mu.R.(F_۱+F_۲)} \qquad (۷ــ۳)$$

در فرمول فوق«R » شعاع کاسه چرخ است.

تمرین: در شکل (۲ــ۷) سیستم ترمز از نوع دوپلکس است. فرمول (۳ــ۷) به چه صورت درخواهد آمد؟

مثال (۲): در یک سیستم ترمز کفشکی، موقع ترمز، نیروی عمودی مؤثّر بر یک کفشک (۳۰۰N) و بر کفشک دیگر (۱۰۰N) می‌باشد. اگر فاصله‌ی مرکز سطح لنت تا مرکز کاسه چرخ

(۱۲۰mm) و ضریب‌اصطکاک بین لنت و کاسه چرخ (۰/۸) باشد، گشتاور اصطکاکی چرخ را برحسب متر نیوتن حساب کنید :

پاسخ:

$F_۱ = ۳۰۰N \ , \ F_۲ = ۱۰۰N \qquad M_B = \mu.R.(F_۱ + F_۲) = ۰/۸ \times ۰/۱۲(۳۰۰+۱۰۰)$

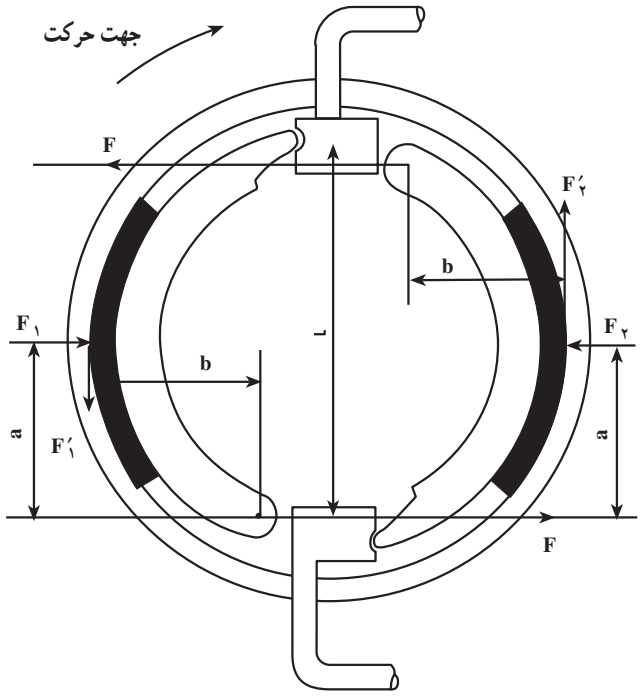
$R = ۱۲۰mm \ , \ \mu = ۰/۸ \qquad M_B = ۳۸/۴m.N$

$M_B = ?m.N$

مثال (۳): در شکل (۲ــ۷) اگر فشار روغن در مدار ترمز $(۲۰N/cm^۲)$، قطر پیستون سیلندر چرخ (۳۰mm)، فاصله‌ی لنت تا مرکز کاسه چرخ (۱۰۰mm)، ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه چرخ (۰/۷ , $a = ۸۰mm$)، $(b = ۶۰mm)$، $(l = ۱۸۰mm)$ و نوع سیستم ترمز دوپلکس باشد، حساب کنید که :

۱ــ نیروی اصطکاکی وارد به هر کفشک چند نیوتن است؟

۲ــ گشتاور اصطکاکی ترمز در چرخ چند متر نیوتن است؟



شکل ۲ــ۷ــ ب ــ کفشک‌های نوع دوپلکس

پاسخ:

$P = ۲۰ N/cm^۲$ $\quad F = P.A = ۲۰ \times \frac{۳^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۱۴۱/۳ N$

$d = ۳۰ mm$

$\mu = ۰/۷$ $\quad F_۱ = \frac{F.l}{a - \mu b} = \frac{۱۴۱/۳ \times ۱۸۰}{۸۰ - ۰/۷ \times ۶۰} = ۶۶۹/۳ N \ , \ F_۱ = F$

چون سیستم دوپلکس است.

$R = ۱۰۰ mm$

$a = ۸۰ mm$ $\quad F'_۱ = F'_۲ = F_۱ \mu = ۶۶۹/۳ \times ۰/۷ = ۴۶۸/۵ N$

$b = ۶۰ mm$ نیروی اصطکاکی هر لنت

$l = ۱۸۰ mm$ $\quad M_B = ۲F'_۱.R = ۲ \times ۴۶۸/۵ \times ۰/۱ = ۹۳/۷ N.m$

$F_۱ \ , \ F_۲ = ?N$ گشتاور اصطکاکی یک چرخ

$M_B = ?m.N$

مثال ۴: در یک سیستم ترمز ازنوع سرو، نیروی مؤثر بر پیستون پمپ اصلی ترمز $(۱۰۰N)$، قطر آن $(۱۵mm)$، قطر هر پیستون از سیلندر چرخ‌های عقب $(۳۰mm)$، شعاع مؤثر کاسه چرخ $(۱۲۰mm)$، ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه چرخ $(۰/۸)$، $(l = ۲۱۰mm)$، $(a = ۹۰mm)$، $(b = ۷۵mm)$، می‌باشد. گشتاور اصطکاکی ترمز در هریک از چرخ‌های عقب چند متر نیوتن است.

پاسخ:

$F' = ۱۰۰ N$ $\quad P = \frac{F'}{A_۱} \ , \ A_۱ = \frac{(۱/۵)^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۱/۷۶۶ cm^۲$

$d_۱ = ۱۵ mm$

$d_۲ = ۳۰ mm$ $\quad P = \frac{۱۰۰}{۱/۷۶۶} = ۵۶/۶۲ N/cm^۲$

$R = ۱۲۰ mm$ فشار در مدار روغن ترمز

$\mu = ۰/۸$ $\quad F = P.A_۲ \ , \ A_۲ = \frac{۳^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۷/۰۶۵$

$l = ۲۱۰ mm$ سطح پیستون سیلندر چرخ

$a = ۹۰mm$ $F = ۵۶/۶۲ \times ۷/۰۶۵ = ۴۰۰N$

$b = ۷۵mm$ نیروی وارد بر کفشک

$M_B = ?m.N$ $F_۱ = F_۲ = \frac{F.l}{a - \mu b} = \frac{۴۰۰ \times ۲۱۰}{۹۰ - ۰/۸ \times ۷۵} = ۲۸۰۰N$

$M_B = ۲F_۱\mu.R = ۲ \times ۲۸۰۰ \times ۰/۸ \times ۰/۱۲$

$= ۵۳۷/۶m.N$

برای محاسبه‌ی گشتاور، در ترمزهای دیسکی، نیروی اصطکاکی دیسک، در شعاع مؤثر دیسک ضرب می‌شود. $M_B = F_B \times R_m$

مثال (۵): اتومبیلی با قدرت (۵۰kW) در حرکت است. ناگهان ترمز می‌کند. اگر چرخ‌های جلو مجهز به ترمز دیسکی باشند و شعاع مؤثر دیسک (۶۰mm)، فشار روغن در مدار ترمز ($۲۰۰N/cm^۲$) و قطر پیستون در هریک از سیلندرهای چرخ جلو (۴۰mm) باشد و هم‌چنین چرخ‌های عقب مجهز به ترمز از نوع دوپلکس باشند که قطر هریک از سیلندرهای چرخ (۳۰mm)، ($a = ۵۰mm$)، ($b = ۴۰mm$)، ($l = ۱۰۰mm$)، « R » شعاع کاسه چرخ (۱۲۰mm) و ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه و دیسک (۰/۴) باشد. حساب کنید که :

۱ــ نیروی فشار ترمز (۴) چرخ روی هم چند نیوتن است؟

۲ــ گشتاور کل (۴) چرخ چند متر نیوتن است؟

۳ــ دورتایر چند دور بر دقیقه است؟

پاسخ: ابتدا نیروی فشار وارد بر چرخ‌های جلو که دیسکی هستند. حساب می‌کنیم :

$P_e = ۵۰kW$

$R_m = ۶۰mm$ $F_۱ = F_۲ = ۲۰۰ \times \frac{۴^۲}{۴} \times ۳/۱۴ = ۲۵۱۲N$

$P = ۲۰۰N/cm^۲$ نیروی یک پیستون

$d_۱ = ۴۰mm$ $F = ۲۵۱۲ \times ۴ = ۱۰۰۴۸N$

$d_۲ = ۳۰mm$ نیروی فشار در چرخ‌های جلو

$a = ۵۰mm$ حال نیروی فشار وارد بر چرخ‌های عقب که از نوع

$b = ۴۰mm$ دوپلکس است حساب می‌کنیم.

$l = ۱۰۰mm$

$$F_1 = F_2 = \frac{200 \times \frac{3^2}{4} \times 3/14 \times 100}{50 - 40 \times 0/4} = 4156N \qquad R_2 = 120mm$$

نیروی فشاری بر یک کفشک $\mu = 0/4$

$$F = 4516 \times 4 = 18064N \qquad F_{کل} = ?N$$

نیروی فشار در چرخ‌های عقب $M_{کل} = ?m,N$

$$100 48 + 18064 = 28112N \qquad n_R = ?R.P.M$$

نیروی فشار وارد بر (۴) چرخ

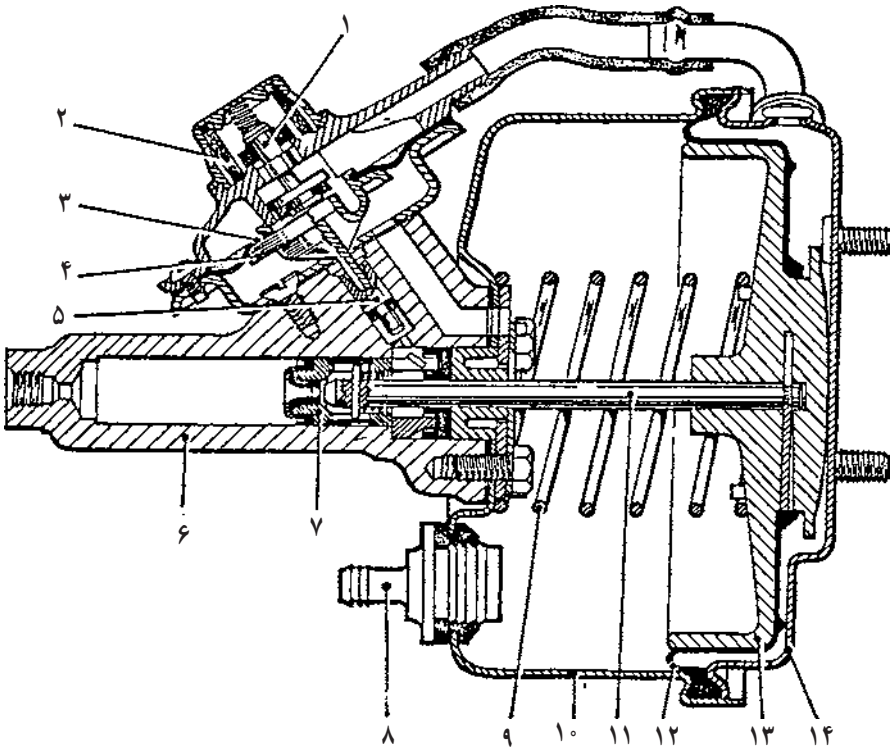
$$M_{B_1} = F.\mu R_m = 100 48 \times 0/4 \times 0/06 = 241m.N$$

گشتاور اصطکاکی چرخ‌های جلو

گشتاور اصطکاکی چرخ‌های عقب $M_{B_2} = 18064 \times 0/4 \times 0/12 = 867m.N$

گشتاور اصطکاکی (۴) چرخ $M_B = 241 + 867mN = 1108mN$

تذکّر: هرگاه سیستم ترمز به بوستر مجهز باشد، نیروی پدال و نیروی بوستر باهم بر سیلندر پمپ اصلی ترمز اثر می‌کند.



شکل ۳ــ۷ــ بوستر پیکان

مشخصات

۱ــ سوپاپ هوا ۲ــ فیلتر هوا ۳ــ دیافراگم هوا ۴ــ تکیه‌گاه دیافراگم هوا ۵ــ پیستون سوپاپ هوا ۶ــ سیلندر ثانویه‌ی ترمز ۷ــ پیستون سیلندر ثانویه ۸ــ اتّصال لوله‌ی خلایی و سوپاپ یک‌طرفه ۹ــ فنر برگردان پیستون بوستر ۱۰ــ بدنه‌ی بوستر ۱۱ــ میله‌ی فشاری ۱۲ــ دیافراگم پیستون ۱۳ــ پیستون بوستر ۱۴ ــ درپوش

مثال (۶): چرخ‌های جلو و عقب اتومبیلی دارای ترمز دیسکی مجهز به پوستر است، قطر دهانه‌ی سیلندر دیافراگم بوستر (۲۳۰mm) ، اختلاف فشار هوای پشت دیافراگم در حالت ترمز (۰/۷۵bar) ، قطر داخلی سیلندر اصلی (۲۴mm) ، قطر داخلی هریک از سیلندرهای چرخ‌های جلو (۶۰mm) ، قطر داخلی هریک از سیلندرهای چرخ‌های عقب (۴۰mm) ، نیروی وارده از طریق اهرم پدال ترمز (۱۲۰۰N) ، قطر متوسط هر دیسک جلو (۱۲۰mm) و هر دیسک از چرخ‌های عقب (۱۰۰mm) است ضریب اصطکاک بین لنت و دیسک (۰/۴) است. حساب کنید که :

۱ــ کل نیروی وارد به سیلندر اصلی ترمز چند نیوتن است؟

۲ــ فشار روغن در مدار ترمز چند نیوتن بر سانتی‌متر مربع است؟

۳ــ کل نیروی فشار وارد بر دیسک‌های (۴) چرخ چند نیوتن است؟

۴ــ کل گشتاور ترمز در (۴) چرخ چند متر نیوتن است؟

پاسخ:

$d_B = ۲۳mm$ $\quad (۱)F_B = P_B.A_B \Rightarrow F_B = ۷/۵ \times \frac{۲۳^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۳۱۱۴/۵$

$P_B = ۰/۷۵bar$ نیروی بوستر

$d = ۲۴mm$ $\quad F_۱ = F_B + F_P = ۳۱۱۴/۵ + ۱۲۰۰ = ۴۳۱۴/۵N$

$d_۱ = ۶۰mm$ کل نیروی وارد بر سیلندر اصلی ترمز

$d_۲ = ۴۰mm$

$F_۱ = ۲۰۰N$ $\quad (۲)P = \frac{F_۱}{A} = \frac{۴۳۱۴/۵}{\frac{۲/۴^۲ \times ۳/۱۴}{۴}} = ۹۵۴/۵N/cm^۲$

$D_۱m = ۱۲۰mm$ فشار در مدار روغن ترمز

$D_۲m = ۱۰۰mm$ $\quad F_۱ = P \times ۴A = ۹۵۴/۵ \times ۴ \times \frac{۶^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۱۰۷۸۹۶$

$F_{۱\,کل} = ?$ نیروی فشار وارد بر دیسک‌ها و چرخ‌های جلو.

$P = ?N/cm^۲$ $\quad F_۲ ۹۵۴/۵ \times ۴ \times \frac{۴^۲ \times ۳/۱۴}{۴} = ۴۷۹۵۴$

$F_{کل} = ?N$ نیروی فشار وارد بر دیسک‌ها و چرخ‌های عقب.

$M_{کل} = ?m.N$ $\quad F = ۴۷۹۵۴ + ۱۰۷۸۹۶ = ۱۵۵۸۵۰N$

$\mu = ۰/۴$ نیروی فشار وارد بر (۴) چرخ.

$M_{B۱} = F_۱ R_{۱m}.\mu = ۱۰۷۸۹۶ \times ۰/۰۶ \times ۰/۴ = ۲۵۸۹/۵mN$

$M_{B۲} = F_۲.R_{۲m}.\mu$ گشتاور اصطکاکی ترمز چرخ‌های جلو

گشتاور اصطکاکی ترمز چرخ‌های عقب

$M_{B۲} = ۴۷۹۵۴ \times ۰/۰۵ \times ۰/۴ = ۹۵۹mN$

$M_B = ۲۵۸۹/۵ + ۹۵۹ = ۳۵۴۸/۵mN$ گشتاور اصطکاکی ترمز (۴) چرخ

۳ــ۷ــ محاسبه‌ی سرعت اتومبیل

دوران میل‌لنگ پس از تبدیل و عبور از گیربکس و دیفرانسیل به پلوس‌ها و نهایتاً به چرخ‌ها می‌رسد، و در اثر دوران چرخ‌ها، اتومبیل به حرکت درمی‌آید. اگر فرض کنیم که هیچ‌گونه لغزشی بین تایر و زمین وجود نداشته باشد، سرعت اتومبیل از حاصل‌ضرب محیط تایر در تعداد دوران تایر در واحد زمان به‌دست می‌آید. یعنی :

تعداد دوران تایر در واحد زمان × محیط چرخ = سرعت اتومبیل

$$V = u \times n$$

$$u = 2R_s \times \pi \Rightarrow \boxed{V = 2R_s \times \pi \times np} \qquad (۷ــ۴)$$

در این رابطه :

V = سرعت اتومبیل ؛

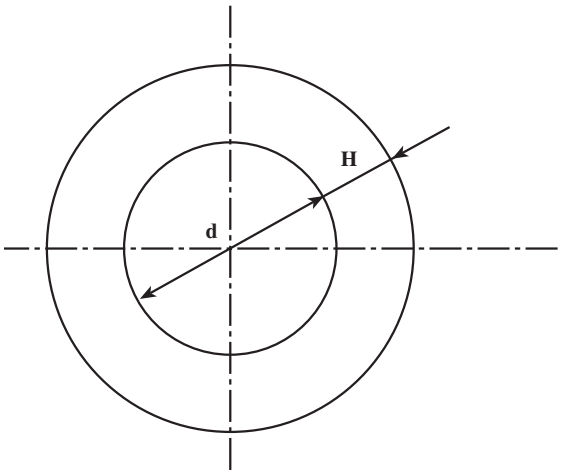
np = تعداد دوران چرخ R.p.m ؛

R_s = شعاع تایر (به عبارت صحیح‌تر شعاع دینامیکی تایر است که با شعاع استاتیکی آن تقریباً برابر است. شعاع استاتیکی تایر به عوامل زیادی از جمله فشار باد داخل تایر و جنس تایر و نیروی وزن اعمال شده به آن بستگی دارد و معمولاً از نصف قطر تایر کوچک‌تر است.).

پرسش: فرمول سرعت اتومبیل برحسب متر بر ثانیه را به دست‌آورید.

برای محاسبه‌ی قطر تایر با توجه به شکل (۷ــ۴) از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود :

$$D = d + 2H$$



شکل ۷ــ۴

در این رابطه :

D = قطر اسمی تایر، متر ؛

d = قطر رینگ، متر ؛

H = ارتفاع تایر، متر.

با توجه به این که در هنگام ارائه‌ی مشخّصات تایر معمولاً قطر رینگ و پهنای تایر (B) داده می‌شود، و از طرفی برای تایرهای معمولی نسبت ارتفاع به عرض یا پهنای تایر ($\frac{H}{B} \approx ۰/۸$) است، بنابراین رابطه‌ی قبل به صورت زیر نوشته می‌شود :

$$\frac{H}{B} \approx ۰/۸ \qquad D = d + ۲ \times (۰/۸B) \Rightarrow \boxed{D = d + ۱/۶B} \qquad (۷_۵)$$

معمولاً کارخانه‌های سازنده‌ی تایر مشخصات نسبتاً کاملی از تایر را روی آن می‌نویسند.

به‌عنوان مثال :

(۱۴ SR ۳۵/۸۰ ــ ۷) که :

۷ــ۳۵ : پهنای تایر برحسب اینچ

$\frac{H}{B}$: ۰/۸

SR : تایر مخصوص رادیال

۱۴ : قطر رینگ برحسب اینچ و یا :

(۱۴ : VR ۲۰۶/۷۰) که :

۲۰۶ : پهنای تایر برحسب میلی‌متر

$\frac{H}{B}$: ۰/۷۷۰

VR : تایر مخصوص سرعت خیلی زیاد رادیال

۱۴ : قطر رینگ برحسب اینچ

در جدول زیر اندازه‌ی برخی از تایرها با علامت مخصوص نوشته شده است.

سرعت مجاز	اندازه‌ی تایر	علامت مشخصه	وضعیت تایر و نوع آن
	۵۶, S ۱۳	S	تایر اسپرت برای اتومبیل اسپرتی
	۶,۰۰ S ۱۴		
۱۷۵ km/h			
	۶,۴۵/۱۶۵ S۱۳		
	۷,۲۵ H ۱۳	H	برای سرعت زیاد
۲۰۰km/h	۶,۹۵/۱۷۵ H ۱۴		
	۶۵, – ۱۴		
	۶,۰۰ – ۱۴		
	M&S	M&S	تایر نرمال یخ‌شکن
۱۶۰km/h	۱۶۰ R ۱۳	R	نوع رادیال معمولی
	۱۷۵ R ۱۳		
	۶,۷۰ R ۱۵ C	RC	رادیال اسپرت
	۱۶۵ S ۱۴ C		
	۱۶۵ SR ۱۴	SR	رادیال با سرعت
۱۸۰km/h	۷۳۵ SR ۱۴		
	۱۸۵/۷۰ SR ۱۳		
	۱۶۵ HR ۱۳	HR	رادیال با سرعت زیاد
۲۱۰km/h			
	۱۹۵ HR ۱۴		
	۱۸۵ VR ۱۴	VR	رادیال با سرعت خیلی زیاد
۲۱۰km/h	۱۹۵ VR ۱۴		
	۲,۶ VR ۱۴		

البته اطّلاعات دیگری شامل تعداد لایه‌های تایر، فشار ترکیدن تایر، نوع تایر، سال ساخت آن و علامت تجارتی کارخانه‌ی سازنده نیز روی بسیاری از تایرها نوشته شده است. نکته‌ی قابل ذکر این که، همیشه قطر رینگ برحسب اینچ نوشته می‌شود.

مثال (۷): اتومبیلی با سرعت ثابت در حال حرکت است. اگر دور موتور (۴۰۰۰RPM) و نسبت دور در گیربکس و دیفرانسیل (۳/۸) و اندازه‌ی تایر (۱۳ــ۵۶۰) و قطر استاتیکی تایر (۹۲٪) قطر اسمی آن باشد، مطلوب است که :

الف ــ سرعت اتومبیل برحسب km/hr محاسبه شود.

ب ــ اگر تایرهای این اتومبیل با تایرهایی از نوع (۱۳ــ۱۷۵) و با همان نسبت قطر استاتیکی تعویض شود، سرعت اتومبیل چند کیلومتر در ساعت خواهد شد؟

$n_m = ۴۰۰۰RPM$

$i = ۳/۸$

۱۳−۵۶۰ مشخّصات فنی تایر

$D_s = ۰/۹۲D$

$V = ?km/hr$

۱۳−۱۷۵

$V = ?km/hr$ **پاسخ:**

$$V = \frac{R_s \times \pi \times n_{PL}}{۳۰} \times ۳/۶$$

$n_{PL} = \frac{n_m}{i} = \frac{۴۰۰۰}{۳/۸} = ۱۰۵۲/۶$ RPM تعداد دور پلوس

$D = d + ۱/۶ \times B = ۱۳ + ۱/۶ \times ۵/۶ = ۲۱/۹۶$ اینچ قطر تایر اوّل

$R_s = ۰/۹۲ \times \frac{D}{۲} = ۰/۹۲ \times \frac{۲۱/۹۶}{۲} = ۱۰/۱$ اینچ

$R_s = ۱۰/۱ \times ۲۵/۴ = ۲۵۶/۵$ mm شعاع تایر اوّل

سرعت اتومبیل با تایر اوّل

$$V = \frac{۲۵۶/۵ \times ۳/۱۴ \times ۱۰۵۲/۶ \times ۳/۶}{۱۰۰۰ \times ۳۰} = ۱۰۱/۷ km/hr$$

$D = d + ۱/۶ \times B = (۱۳ \times ۲۵/۴) + ۱/۶ \times ۱۷۵ = ۶۱۰/۲mm$ قطر تایر دوم

$R_s = ۰/۹۲ \times \frac{D}{۲} = ۰/۹۲ \times \frac{۶۱۰/۲}{۲} = ۲۸۰/۷mm$ شعاع تایر دوم

$$V = \frac{۲۸۰/۷ \times ۳/۱۴ \times ۱۰۵۲/۶ \times ۳/۶}{۱۰۰۰ \times ۳۰} = ۱۱۱/۳ \text{km/hr}$$

سرعت اتومبیل با تایر دوم

۴ــ۷ــ محاسبه‌ی خط ترمز

خط ترمز مسافتی است که اتومبیل از لحظه‌ی وارد شدن نیروی ترمز تا لحظه‌ی توقف کامل، طی می‌نماید. چون اتومبیل در زمان گرفتن ترمز دارای، حرکت کُندشونده و شتاب منفی است، بنابراین با داشتن مقدار شتاب ترمز، می‌توان راه ترمز را به‌صورت زیر محاسبه نمود :

$$S = \frac{۱}{۲} a t^۲$$

و چون :

$$V = at \Rightarrow t = \frac{V}{a}$$

بنابراین :

$$S = \frac{۱}{۲} a \times \left(\frac{V}{a}\right)^۲ \Rightarrow \boxed{S = \frac{V^۲}{۲a}} \qquad (۷ــ۶)$$

در این روابط :

S = راه ترمز یا مسافت پیموده شده (متر) ؛

a = شتاب ترمز $(m/s^۲)$ ؛

t = مدّت زمان اعمال ترمز (t) ؛

V = سرعت اوّلیه‌ی اتومبیل در شروع ترمز (m/s) .

اگر بخواهیم مسافت واقعی پیموده شده را از لحظه‌ی دیدن یک مانع توسط راننده، تا لحظه‌ی توقف کامل اتومبیل به‌دست آوریم، باید مسافت پیموده شده درمدّت زمان عکس‌العمل راننده را (که اتومبیل با سرعت اوّلیه طی نموده است)، محاسبه کنیم و به مسافت ترمز اضافه نماییم. زمان عکس‌العمل راننده، فاصله‌ی زمانی بین دیدن مانع توسط راننده تا لحظه‌ی اعمال فشار بر پدال ترمز است که به سرعت عمل راننده بستگی کامل دارد و در این مدّت، اتومبیل با سرعت ثابت به حرکت خود ادامه می‌دهد. بنابراین :

$$S_T = S + S_R$$

و چون :

$$S_R = V \times t_R$$

بنابراین :

$$\boxed{S_T = \frac{V^۲}{۲a} + V \times t_R} \qquad (۷ــ۷)$$

در این روابط :

S_T = مسافت کل پیموده شده (متر) ؛

S_R = مسافت پیموده شده در زمان عکس‌العمل راننده (متر) ؛

t_R = زمان عکس‌العمل راننده (ثانیه).

مثال (۸): اتومبیلی با سرعت (۹۰km/hr) حرکت می‌کند و در فاصله‌ی (۱۱۰) متری مانعی ظاهر می‌شود. زمانی که راننده پدال گاز را رها و ترمز را فشار می‌دهد، (۰/۴) ثانیه طول می‌کشد. اگر در انتهای زمان ترمز اتومبیل به مانع برسد (برخورد نکند) تعیین کنید که :

الف ــ مسافت طی شده در زمان عکس‌العمل راننده چند m بوده است؟

ب ــ مسافت طی شده از لحظه‌ی ترمز تا توقّف کامل چند m بوده است؟

ج ــ شتاب ترمز چند m/s^2 بوده است؟

د ــ مدّت زمان از لحظه دیدن مانع تا توقّف کامل چند ثانیه بوده است؟

$V = ۹۰ km/hr$

$S_T = ۱۱۰ m$

$t_R = ۰/۴$

$S_R = ?$ متر

$S = ?$ متر

$a = ? m/s^2$

$t_T = ?$ ثانیه

$V = \frac{۹۰}{۳/۶} = ۲۵ m/s$

پاسخ:

$S_R = V \times t_R = ۲۵ \times ۰/۴ = ۱۰ m$

$S_T = S + S_R \Rightarrow S = S_T - S_R = ۱۱۰ - ۱۰ = ۱۰۰ m$

$S = \frac{V^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{V^2}{2S} = \frac{(۲۵)^2}{۲ \times ۱۰۰} = ۳/۱۲۵ m/s^2$

$t_T = t + t_R$

$t = \frac{V}{a} = \frac{(۲۵)}{۳/۱۲۵} = ۸$ ثانیه

$t_T = ۸ + ۰/۴ = ۸/۴$ ثانیه

۵ــ۷ــ محاسبه‌ی کار ترمز

منظور از کارترمز، میزان کار انجام شده جهت کاهش سرعت خودرو و یا توقّف کامل آن است. به‌طور کلی کار از حاصل‌ضرب نیروی انجام‌دهنده‌ی کار در مقدار جابه‌جایی آن نیرو به‌دست می‌آید. در سیستم ترمز اتومبیل نیروی انجام‌دهنده‌ی کار، همان نیروی اصطکاک بین لنت‌ها و کاسه چرخ‌ها و دیسک‌ها است. بنابراین اگر نقطه‌ی تماس اوّلیه‌ی لنت به کاسه چرخ و یا دیسک را درنظر بگیریم، تعداد دوران چرخ‌ها تا توقّف کامل و یا تا لحظه‌ای که ترمز را رها کنیم، میزان جابه‌جایی نیروی اصطکاک لنت‌ها را مشخص می‌نماید. تعداد دوران چرخ‌ها را می‌توانیم به‌راحتی از روی راه ترمز و با داشتن قطر استاتیکی تایر به‌دست آوریم. با توجّه به مطالب گفته شده، کار نیروی ترمز برابر است با :

$$W_{Br} = F_{fr} \times d \times \pi \times n \qquad (۷ــ۸)$$

در این رابطه :

W_{Br} = کار نیروی ترمز (نیوتن ــ متر) ؛

F_{fr} = مجموع نیروی اصطکاک لنت‌ها در کلّ چرخ‌ها (نیوتن) ؛

d = قطر کاسه چرخ‌ها و یا قطر متوسط دیسک‌ها به شرط مساوی بودن آن‌ها (متر) ؛

n = تعداد دوران چرخ (از لحظه ترمز تا توقف).

در صورتی که قطر کاسه چرخ با دیسک مساوی نباشد و هم‌چنین در صورتی که قطر تایرهای جلو و عقب یکسان نباشد، رابطه‌ی فوق به این صورت نوشته می‌شود :

$$W_{Br} = F_{fr۱} \times d_۱ \times \pi \times n_۱ + F_{fr۲} \times d_۲ \times \pi \times n_۲$$

در این رابطه :

$F_{fr۱}$ = مجموع نیروی اصطکاک لنت‌های چرخ‌های عقب (نیوتن) ؛

$d_۱$ = قطر کاسه چرخ عقب (متر) ؛

$n_۱$ = تعداد دوران چرخ عقب در زمان ترمز ؛

$F_{fr۲}$ = مجموع نیروی اصطکاک لنت‌های چرخ‌های جلو (نیوتن) ؛

$d_۲$ = قطر متوسط دیسک چرخ‌های جلو ؛

$n_۲$ = تعداد دوران چرخ‌های جلو در زمان ترمز.

کار حاصل از نیروی ترمزهای اتومبیل را از روش دیگری نیز، می‌توان محاسبه کرد. به این ترتیب که می‌دانیم کار نیروی اصطکاک ترمز باعث کاهش سرعت خودرو و درنتیجه کاستن از انرژی جنبشی خودرو می‌شود. پس کار نیروی ترمز برابر با تغییرات انرژی جنبشی جرم اتومبیل است.

یعنی :

$$W_{Br} = \frac{1}{2} m\left(V_1^2 - V_2^2\right) \qquad (۷_۹)$$

در این رابطه :

چون «V_2» در انتهای ترمز برابر صفر است، بنابراین : $W_{Br} = \frac{1}{2} m V_1^2$

«V_1» = سرعت اتومبیل در لحظه‌ی شروع ترمز (متر بر ثانیه) ؛

m = جرم اتومبیل (کیلوگرم) ؛

«V_2» = سرعت اتومبیل در پایان ترمز.

۶ــ۷ــ محاسبه‌ی توان ترمز

برای به‌دست آوردن توان ترمز، باید کار ترمز را بر مدّت زمان انجام عمل ترمز تقسیم کنیم، یعنی :

$$P_{Br} = \frac{W_{Br}}{t} \qquad (۷_۱۰)$$

در این رابطه :

P_{Br} = توان یا قدرت ترمز (W) ؛

t= مدّت زمان ترمز (ثانیه).

مثال (۹): سرعت اتومبیلی (۶۶ km/hr) است. این اتومبیل ناگهان ترمز می‌کند و با شتاب ($۴ m/s^2$) سرعتش به صفر می‌رسد. اگر کارترمز در این وضعیّت (۱۸۳۲۰۰N.m) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ خط ترمز چند m است؟

ب ــ توان ترمز چند kW است؟

ج ــ نیروی اصطکاک تایر با زمین چند N است؟

$V = ۶۶ km/hr$

$a = ۴ m/s^2$

$W_{Br} = ۱۸۳۲۰۰ N - m$

$S = ? m$

$P_{Br} = ?\ kW$

$F_{fr} = ?N$

پاسخ:

$$S = \frac{V^2}{2a} = \frac{(\frac{66}{3/6})^2}{2 \times 4} = 42 \ m$$ خط ترمز

$$P_{Br} = \frac{W_{Br}}{t}$$

$$V = at \ \Rightarrow \ t = \frac{V}{a} = \frac{(\frac{66}{3/6})}{4} = 4/6$$ ثانیه زمان ترمز

$$P_{Br} = \frac{183200}{4/6} = 39826 \ N - m/s$$

$$P_{Br} = 39826 \div 1000 = 39/8 \ kW$$ توان ترمز

$$W_{Br} = F_{fr} \times S \ \Rightarrow \ F_{fr} = \frac{W_{Br}}{S} = \frac{183200}{42} = 4361/9 \ N$$

نیروی اصطکاک

۷ــ۷ــ محاسبه‌ی نیروی محرّکه‌ی تایر

نیروی محرّکه‌ی تایر، نیرویی است که به‌وسیله‌ی سیستم انتقال قدرت از طریق پلوس‌ها به چرخ وارد شده، پس از غلبه بر مجموع نیروهای مقاوم، باعث حرکت اتومبیل می‌گردد. این نیرو را با داشتن مقدار گشتاور پلوس و شعاع استاتیکی تایر از فرمول زیر محاسبه می‌کنند.

$$F_{PL} = \frac{M_{PL}}{R_S}$$ (۷ــ۱۱)

در این رابطه :

F_{PL} = نیروی محرکه‌ی تایر (نیوتن) ؛

M_{PL} = گشتاور پلوس (متر ــ نیوتن) ؛

R_S = شعاع استاتیکی تایر (متر).

تمرین

مسأله‌ی (۱): در یک سیستم ترمز دوپلکس، قطر دهانه‌ی سیلندر اصلی (۱۹mm) و قطر دهانه‌ی هر سیلندر از چرخ‌های جلو (۴۵mm) و عقب (۲۵mm) و نیروی وارد به پیستون سیلندر

اصلی (۱۵۰N) است، حساب کنید که :

الف ــ فشار روغن در مدار ترمز چند بار است؟

ب ــ نیروی فشار هر یک از سیلندرها بر چرخ‌های جلو و عقب چند نیوتن است؟

۵/۲۹bar (الف ۸۴۰/۹N , ۲۶۰N (ب

مسأله‌ی (۲): در یک دستگاه ترمز، قطر سیلندر اصلی (۲۳/۸mm)، چرخ‌های جلو دیسکی با قطر دهانه‌ی سیلندر (۵۷mm) و نیروی وارد بر پیستون این سیلندر (۴۰۸۰N) و قطر دهانه‌ی سیلندر ترمز چرخ عقب (۴۲mm) است حساب کنید که :

الف ــ فشار روغن در مدار ترمز چند نیوتن بر سانتی‌مترمربع است؟

ب ــ نیروی فشار وارد بر هر یک از پیستون‌ها و چرخ‌های عقب چند نیوتن است؟

ج ــ نیروی وارد بر سیلندر اصلی ترمز چند نیوتن است؟

۷۱۱/۴N (ج ۲۲۱۵/۵N (ب ۱۶۰N/cm^2 (الف

مسأله‌ی (۳): ترمز کامیونی با قطر دهانه‌ی سیلندر بوستر (۱۰۰mm)، قطر دهانه‌ی سیلندر اصلی ترمز (۲۸mm)، قطر دهانه‌ی هر سیلندر از چرخ‌های جلو (۴۱mm) و چرخ‌های عقب (۲۵/۴mm)، نیروی وارد به سیلندر اصلی از پدال (۲۵۰N) و فشار هوای پشت دیافراگم بوستر (5bar) می‌باشد، حساب کنید که :

الف ــ نیروی وارد بر پیستون سیلندر اصلی چند نیوتن است؟

ب ــ فشار در مدار روغن چند بار است؟

ج ــ نیروی فشار توسط پیستون‌های هر یک از چرخ‌ها چند نیوتن است؟

۸۹۵۷N , ۳۴۳۷/۷N (ج ۶۷/۸۸bar (ب ۴۱۷۵N (الف

مسأله‌ی (۴): نیروی محرکه‌ی تایرهای اتومبیلی (۳۲۰۰N) و قطر هر تایر (۶۰۰mm)، ضریب اصطکاک بین لنت‌های ترمز با کاسه چرخ (۰/۵)، هر (۴) چرخ دارای ترمز کاسه‌ای با قطر داخلی (۲۵۹mm) می‌باشد. کل نیروی فشاری وارد به کاسه چرخ‌ها را حساب کنید.

۱۴۸۲۶/۴۵N (جواب

مسأله‌ی (۵): اتومبیلی مجهز به ترمز از نوع کفشکی شکل (۲ــ۳) است اگر فشار لنت بر کاسه چرخ جلو (۵) بار و ابعاد هر لنت (۵۰×۲۰۰mm) قطر کاسه چرخ (۳۶۰mm) و قطر هر سیلندر از چرخ‌های جلو (۲۹mm) و از چرخ‌های عقب (۲۲mm)، قطر سیلندر اصلی (۱۸mm)، ($l = ۲۰۰mm$)، ($a = ۹۰mm$)، ($b = ۷۰mm$) و ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه (۰/۶) باشد مطلوب است که :

الف ــ نیروی وارد بر هر یک از پیستون‌های چرخ جلو و عقب را برحسب نیوتن حساب کنید.
ب ــ فشار روغن در مدار برحسب نیوتن بر سانتی‌مترمربع محاسبه شود.
ج ــ گشتاور اصطکاکی ترمز هر (۴) چرخ برحسب نیوتن به‌دست آید.
د ــ هرگاه قطر مؤثر هر چرخ (۶۵۰mm) باشد، نیروی اصطکاکی چرخ‌ها را برحسب نیوتن محاسبه کنید.

پیستون چرخ عقب ۶۹۱N پیستون چرخ جلو ۱۲۰۰N (الف
۱۰۴۸۴N (د ۳۴۰۴mN (ج ۱۸۱/۷N/cm^2 (ب

مسأله‌ی (۶): اگر فشار در مدار روغن ترمز (۴۰bar)، نیروی پدال وارد بر سیلندر اصلی (۲۰۰N)، قطر آن (۲۰mm) و قطر دیافراگم بوستر (۱۵۰mm) باشد، مطلوب است که فشار هوای پشت دیافراگم برحسب نیوتن بر سانتی‌مترمربع حساب شود.

۵/۹N/cm^2 (جواب

مسأله‌ی (۷): گشتاور اصطکاکی ترمز (۴) چرخ اتومبیلی (۲۵۳/۵) متر نیوتن و شعاع کاسه چرخ (۱۳۰mm)، و ضریب اصطکاک بین لنت و کاسه (۰/۴۵) می‌باشد، مطلوب است که :
الف ــ نیروی اصطکاکی ترمز کلاً برحسب نیوتن به‌دست آید.
ب ــ نیروی عمودی وارد بر لنت‌ها برحسب نیوتن محاسبه شود.

۴۳۳۳N (ب ۱۹۵۰N (الف

مسأله‌ی (۸): اتومبیلی با سرعت (۱۲۰km/h) حرکت می‌کند، در فاصله‌ی (۱۸۰) متری مانعی ظاهر می‌شود، راننده ترمز می‌کند و با شتاب (۵m/s^2) متوقف می‌شود ؛ اگر سرعت کُندشونده یک‌نواخت باشد، حساب کنید که :
الف ــ مسافت طی شده از لحظه‌ی ترمز تا توقّف کامل چند متر بوده است؟
ب ــ مسافت طی شده در زمان عکس‌العمل چند متر بوده است؟
ج ــ زمان عکس‌العمل راننده چند ثانیه بوده است؟
د ــ زمان کلّ از دیدن مانع تا توقف کامل برحسب ثانیه چه‌قدر بوده است؟

جواب (الف : ۱۱۱m جواب (ب : ۶۹m
جواب (ج : ۲/۰۷ s جواب (د : ۸/۷۳ s

مسأله‌ی (۹): اتومبیلی از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از (۵) ثانیه سرعتش به(۹۰km/hr) می‌رسد، اگر حرکت اتومبیل تندشونده یک‌نواخت باشد، حساب کنید که :
الف ــ مسافت پیموده شده در این مدت چند متر است؟

ب ــ شتاب حرکت برحسب متر بر مجذور ثانیه چه‌قدر است؟

ج ــ پس از چه مدّت سرعتش به (۱۰۸km/hr) خواهد رسید؟

جواب (الف : ۶۲/۵m جواب (ب : ۵m/s^2 جواب (ج : ۶ s

مسأله‌ی (۱۰): راننده‌ای که اتومبیلش با سرعت (۷۲km/hr) حرکت می‌کند ناگهان پا را از روی پدال گاز برداشته، روی پدال ترمز می‌گذارد در این فاصله (۱۰) متر راه را طی می‌کند، سپس ترمز می‌نماید و پس از (۵) ثانیه متوقف می‌شود. مطلوب است که :

الف ــ شتاب ترمز برحسب m/s^2 حساب شود.

ب ــ کلّ مسافت طی شده برحسب متر محاسبه شود.

ج ــ زمان از لحظه‌ی دیدن مانع تا توقف برحسب ثانیه اندازه‌گیری شود.

جواب (الف : ۴m/s^2 جواب (ب : ۶۰m جواب (ج : ۵/۵s

مسأله‌ی (۱۱): دور موتور اتومبیلی (۳۰۰۰RPM) نسبت، تبدیل دور در گیربکس (۱ :۲/۴) و دیفرانسیل (۱ :۴/۲) می‌باشد مشخّصات فنی تایر (۱۴ــ۶۵۰) قطر استاتیکی (۰/۹۴) قطر اسمی تایر است. در این حالت مانعی سر راه ظاهر می‌شود و راننده ترمز می‌کند، اگر زمان عکس‌العمل ترمز (۰/۲s) باشد و اتومبیل از لحظه‌ی دیدن مانع تا توقف (۵۰) متر پیموده باشد، حساب کنید که :

الف ــ سرعت اتومبیل چند کیلومتر به ساعت است؟

ب ــ شتاب ترمز چند m/s^2 است؟

ج ــ زمان ترمز از لحظه‌ی دیدن مانع تا توقّف کامل چه‌قدر است؟

جواب (الف : ۳۲/۶km/hr جواب (ب : ۰/۸۱m/s^2 جواب (ج : ۱۰/۸۱ s

مسأله‌ی (۱۲): کامیونی با قدرت ترمز (۹۰kW)، با شتاب (۵m/s^2) ترمز می‌کند. اگر زمان خط ترمز (۶) ثانیه باشد، خواسته‌های زیر حساب شود :

الف ــ کار ترمز برحسب نیوتن ــ متر

ب ــ سرعت اوّلیه‌ی اتومبیل برحسب کیلومتر به ساعت

ج ــ راه ترمز برحسب متر

د ــ نیروی ترمز برحسب نیوتن

هـ ــ جرم کامیون برحسب کیلوگرم

جواب (الف : ۵۴۰۰۰۰N.m جواب (ب : ۱۰۸km/hr جواب (ج : ۹۰m

جواب (د : ۶۰۰۰N جواب (هـ : ۱۲۰۰kg

مسأله‌ی (۱۳): اتومبیلی به وزن (۱۸۰۰۰N) با نیروی (۹۰۰۰N) ترمز می‌کند، پس از طی

مسافت (۱۵) متر می‌ایستد، حساب کنید که :

الف ــ کار ترمز (نیوتن متر) چه‌قدر است؟

ب ــ سرعت اتومبیل قبل از ترمز کردن (کیلومتر به ساعت) چه‌قدر بوده است؟

ج ــ زمان ترمز چند ثانیه است؟

د ــ شتاب ترمز چند متر بر مجذور ثانیه است؟

هـ ــ قدرت ترمز چند کیلووات است؟

جواب (الف : ۱۳۵۰۰۰N.m جواب (ب : ۴۴km/hr جواب (ج : ۲/۴۴ s

جواب (د : ۵ m/s^2 جواب (هـ : ۵۵kW

فصل هشتم

محاسبه‌ی نیروی مقاوم سطح شیب‌دار و نیروهای مقاومتی که ضمن حرکت خودرو ظاهر می‌شوند

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

۱ــ نیروی مقاوم دنده‌ها را محاسبه کند.

۲ــ نیروی شتاب دهنده را محاسبه کند.

۳ــ شتاب حرکت اتومبیل را حساب کند.

۴ــ نیرو و مقاومت مسیر را محاسبه کند.

۸ ــ محاسبه‌ی نیروی مقاوم سطح شیب‌دار و نیروهای مقاومتی که ضمن حرکت خودرو ظاهر می‌شوند

مقدمه

نیروی تولیدی موتور صرف از بین بردن نیروهایی می‌شود که در ضمن حرکت خودرو ظاهر می‌شوند ؛ این نیروها عبارت‌اند از :

نیروی مقاوم دنده‌های گیربکس و دیفرانسیل، نیروی شتاب دهنده درصورت وجود شتاب حرکت ؛ نیروی مقاومتی هوا، نیروی اصطکاک و نیروی مقاومتی شیب که در این فصل چگونگی محاسبه‌ی آن‌ها بیان می‌شود.

۱ــ۸ــ محاسبه‌ی نیروی مقاومت دنده‌ها

این نیرو شامل کلیه‌ی نیروهای تلف شده در اثر اصطکاک چرخ دنده‌ها، یاتاقان‌ها و حرکت روغن، در طول مسیر انتقال قدرت است و از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$F_G = \frac{10 \times p_G \times V_E \times i}{\pi \times D_S \times Z} \qquad (۸_۱)$$

در این رابطه :

F_G = نیروی مقاومت دنده‌ها (نیوتن) ؛

p_G = فشار احتراق مصرف شده برای برطرف کردن نیروی مقاومت دنده‌ها و یاتاقان‌ها برحسب N/cm^2 ؛

V_E = حجم مفید کل سیلندرهای موتور بر حسب lit ؛

i = نسبت دور در گیربکس و دیفرانسیل ؛

Z = ضریب ثابت برای موتورهای دو زمانه‌ی (۱) و چهار زمانه‌ی (۲) می‌باشد.[۱]

«توان مقاوم دنده‌ها» به آن بخش از توان تولیدی موتور می‌گویند که صرف برطرف کردن نیروی مقاومت دنده‌ها می‌شود و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$$P_G = F_G \times V \qquad (۸_۲)$$

در این رابطه :

P_G = توان مقاومت دنده‌ها ؛

V = سرعت اتومبیل (متر در ثانیه).

۱ــ مقداری از قدرت موتور را که صرف از بین بردن مقاومت دنده‌ها می‌گردد، از دو راه می‌توان به دست آورد.

راه اوّل :

$$P_{G(Nm/S)} = P_{G(N/cm^2)} \cdot A_{(cm^2)} \cdot S_{(m)} \cdot n_{m(R.P.S)} \times \frac{1}{2} \times K$$

$$V_{E(lit)} = A_{(dm^2)} \cdot S_{(dm)} \cdot K$$

از دو رابطه‌ی فوق می‌توان نتیجه گرفت که :

$$P_{G(Nm/S)} = 10 P_{G(N/cm^2)} \cdot V_{E(lit)} \cdot n_{m(R.P.S)}$$

(۱)

راه دوم :

$$P_{G(Nm/S)} = F_{G(N)} \cdot V_{(m/S)}$$

چون داریم : $V_{(m/S)} = D_{S(m)} \cdot \pi \cdot n_{Pl(R.P.S)}$ پس :

$$P_{G(Nm/S)} = F_{G(N)} \cdot D_{S(m)} \cdot \pi \cdot n_{Pl(R.P.S)}$$

(۲)

از مقایسه‌ی روابط (۱) و (۲) می‌توان نتیجه گرفت که :

$$F_{G(N)} = \frac{10 p_{G(N/cm^2)} \cdot V_{E(lit)} \cdot I}{D_{S(m)} \cdot \pi \cdot 2}$$

اگر بخواهیم توانی را که صرف به حرکت درآوردن اتومبیل می‌شود (توان پلوس) محاسبه کنیم، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم :

$$P_{pL} = P_e - P_G \qquad (۳ـ ۸)$$

در این رابطه :

P_{pL} = توان پلوس یا قدرتی است که در اختیار چرخ‌ها برای حرکت اتومبیل قرار گرفته است ؛

P_e = توان مفید موتور ؛

P_G = توان مقاومت دنده‌ها.

این نیرو هنگام حرکت اتومبیل ظاهر می‌شود و جزء نیروهای مقاومت مسیر محسوب نمی‌گردد.

مثال (۱): یک موتور بنزینی (۴) زمانه‌ی چهار سیلندر با دور ثابت (۲۷۵۰RPM) و دور چرخ (۵۰۰RPM) که حجم مفید هر سیلندر آن ($۴۵۰cm^۳$) است. اگر فشار احتراق مصرف شده برای نیروی مقاوم دنده‌ها (۰/۸bar) و اندازه‌ی تایر (۱۳ـ ۵۶۰) و قطر استاتیکی (۰/۹۵) قطر اسمی تایر باشد، تعیین کنید که :

الف ـ نسبت کلّی دور در گیربکس و دیفرانسیل چه‌قدر است؟

ب ـ نیروی مقاوم دنده‌ها چند N است؟

ج ـ سرعت اتومبیل چند km/hr است؟

د ـ توان مقاوم دنده‌ها چند kW است؟

$K = ۴$

$Z = ۴$ (موتور چهار زمانه)

$n_m = ۲۷۵۰$ RPM

$n_{pL} = ۵۰۰$ RPM

$V_S = ۴۵$ $cm^۳$

$p_G = ۰/۸$ bar

۵۶۰–۱۳ مشخّصات فنّی تایر

$D_S = ۰/۹۵$ D

$i = ?$

$F_G = ?N$

$V = ?\,km/hr$

$P_G = ?\ \ kW$

پاسخ:

$$i = \frac{n_m}{n_{pL}} = \frac{۲۷۵۰}{۵۰۰} = ۵/۵$$

$$F_G = \frac{۱۰ \times p_G \times V_E \times i}{\pi \times D_S \times Z}$$

$V_E = V_S \times K = ۴۵۰ \times ۴ = ۱۸۰۰\ cm^۳$

$V_E = ۱۸۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۱/۸$ lit حجم کلّ موتور

$R = \frac{d + ۱/۶B}{۲} = \frac{۱۳ + ۱/۶ \times ۵/۶}{۲} = ۱۰/۹۸$ اینچ

$۱۰/۹۸ \times ۰/۰۲۵۴ = ۰/۲۸$ m شعاع اسمی تایر

$R_S = ۰/۹۵ \times R = ۰/۹۵ \times ۰/۲۸ = ۰/۲۶۶$ m شعاع استاتیکی تایر

$P_G = ۰/۸ \times ۱۰ = ۸\ N/cm^۲$ فشار صرف شده برای از بین بردن اصطکاک

$$F_G = \frac{۱۰ \times ۸ \times ۱/۸ \times ۵/۵}{۳/۱۴ \times ۰/۲۶۶ \times ۲ \times ۲} = ۲۳۷\ N$$ نیروی مقاوم دنده‌ها

$$V = \frac{R_S \times \pi \times n_P}{۳۰}$$

$$V = \frac{۰/۲۶۶ \times ۳/۱۴ \times ۵۰۰}{۳۰} = ۱۳/۹\ \ m/s$$

$V = ۱۳/۹ \times ۳/۶ = ۵۰\ \ km/hr$ سرعت اتومبیل

$P_G = F_G \times V = ۲۳۷ \times ۱۳/۹ = ۳۳۹۳\ \ W$

$P_G = ۳۳۹۳ \div ۱۰۰۰ = ۳/۲۹۳\ \ kW$ توان مقاومت دنده‌ها

مثال (۲): در مسأله‌ی قبل، اگر توان مفید موتور برابر با (۵۰kW) باشد، نیروی محرّکه‌ی تایر چند نیوتن است؟

$P_e = ۵۰\ \ kW$

$F_{pL} = ?\ N$

پاسخ:

$P_{pL} = P_e - P_G = ۵۰ - ۳/۲۹۳ = ۴۶/۷۰۷\ \ kW$ توان پلوس

$$M_{pL} = \frac{P_{pl} \times ۹۵۵۰}{n_{pl}} = \frac{۴۶/۷۰۷ \times ۹۵۵۰}{۵۰۰} = ۸۹/۲۱\ \ m.N$$ گشتاور پلوس

$$F_{pL} = \frac{M_{pL}}{R_S} = \frac{۸۹/۲۱}{۰/۲۶۶} = ۳۳۵/۳ \quad N$$ نیروی محرّکه‌ی تایر

۲ــ ۸ــ محاسبه‌ی نیروی شتاب‌دهنده‌ی اتومبیل

هم‌چنان که گفته شد، نیروی محرّکه‌ی تایر باعث حرکت اتومبیل می‌شود. ولی برای این که اتومبیل حرکت کند، لازم است که نیروی محرکه‌ی تایر، بر کلیّه‌ی نیروهای مقاوم در مقابل حرکت، غلبه کند. پس اگر مجموعه‌ی نیروهای مقاوم در مقابل حرکت را با «F_R» نمایش دهیم، شرط حرکت اتومبیل این است که مقدار «F_{pL}» بیش‌تر یا مساوی با «F_R» باشد. یعنی :

$$F_{pL} \geq F_R$$

اگر مقدار «F_{pL}» مساوی «F_R» باشد، اتومبیل حالت موجود خود را حفظ خواهد کرد. یعنی اگر در حال حرکت باشد، به حرکت خود با همان سرعت ادامه می‌دهد و اگر در حالت سکون باشد، در همان حالت باقی می‌ماند. اگر مقدار «F_{pL}» بیش‌تر از «F_R» باشد، اتومبیل می‌تواند با شتاب حرکت کند.

لازم به ذکر است که بعضی از نیروهای مقاوم گاهی اوقات به نیروی موافق حرکت تبدیل می‌شوند. بنابراین جمع جبری دو نیروی محرکه‌ی تایر و مجموعه‌ی نیروهای مقاوم در مقابل حرکت را نیروی «شتاب‌دهنده» می‌گویند و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$F_a = F_{pL} \pm F_R \qquad (۸ــ۴)$$

در این رابطه :

F_a = نیروی شتاب‌دهنده (نیوتن) ؛

F_{pL} = نیروی محرّکه‌ی تایر (نیوتن) ؛

F_R = جمع نیروهای مقاوم در مقابل حرکت (نیوتن).

در رابطه‌ی بالا علامت مثبت زمانی استفاده می‌شود که نیروهای مقاوم به نیروی محرک تبدیل می‌شوند و علامت منفی هنگامی به‌کار می‌رود که نیروهای مقاوم با حرکت اتومبیل مخالفت کنند.

به‌عبارت دیگر اگر F_a مثبت باشد حرکت شتابدار، اگر برابر صفر باشد سرعت ثابت، چنانچه منفی باشد حرکت ممکن نیست.

۳ــ ۸ــ محاسبه‌ی شتاب حرکت اتومبیل

شتاب حرکت از حاصل تقسیم نیروی شتاب‌دهنده به جرم اتومبیل به دست‌می‌آید. یعنی :

$$a = \frac{F_a}{m} \qquad (۸ــ۵)$$

در این رابطه :

a = شتاب حرکت اتومبیل (متر بر مجذور ثانیه) ؛

m = جرم اتومبیل.

چون جرم از حاصل تقسیم وزن به مقدار شتاب جاذبه به‌دست می‌آید، بنابراین :

$$m = \frac{G}{g} \Rightarrow a = \frac{F_a \times g}{G} \qquad (۸ــ۶)$$

در این رابطه :

g = شتاب جاذبه‌ی زمین است که برابر است با ($۹/۸ \approx ۱۰ m/s^۲$) ؛

G = وزن اتومبیل بر حسب نیوتن.

مثال (۳): گشتاور محرک چرخ‌های اتومبیلی در دنده‌ی یک (۲۲۵۰) متر ــ نیوتن و در دنده‌ی دو (۱۵۰۰) متر ــ نیوتن است ؛ اگر وزن اتومبیل (۱۲۰۰۰) نیوتن و جمع نیروهای مقاوم (۵۰٪) وزن اتومبیل و شعاع استاتیکی تایر (۳۰) سانتی‌متر و شتاب جاذبه (۹/۸) متر بر مجذور ثانیه باشد، تعیین کنید که :

الف ــ شتاب حرکت اتومبیل در دنده‌ی یک چند $m/s^۲$ است؟

ب ــ آیا اتومبیل می‌تواند با دنده‌ی دو حرکت کند یا خیر؟

$M_{pL_۱} = ۲۲۵۰ m - N$

$M_{pL_۲} = ۱۵۰۰ m - N$

$G = ۱۲۰۰۰ \ N$

$F_R = ٪۵۰ \ G$

$R_S = ۳۰ \ cm$

$g = ۹/۸ \ m/s^۲$

$a = ? \ m/s^۲$

پاسخ:

$$a = \frac{F \times g}{G} \qquad F_{a1} = F_{pL_1} \pm F_R$$

$$F_{pL_1} = \frac{M_{pL_2}}{R_S} = \frac{۲۲۵۰}{۰/۳} = ۷۵۰۰ \text{ N}$$ نیروی محرکه‌ی تایر در دنده‌ی یک

$$F_R = ۰/۵ \times G = ۰/۵ \times ۱۲۰۰۰ = ۶۰۰۰ \text{ N}$$ نیروی مقاوم

$$F_{a1} = ۷۵۰۰ - ۶۰۰۰ = ۱۵۰۰ \text{ N}$$ نیروی شتاب‌دهنده در دنده‌ی یک

$$a_1 = \frac{۱۵۰۰ \times ۹/۸}{۱۲۰۰۰} = ۱/۲۲۵ \text{ m/s}^2$$ شتاب حرکت در دنده‌ی یک

$$F_{pL_2} = \frac{M_{pL_2}}{R_S} = \frac{۱۵۰۰}{۰/۳} = ۵۰۰۰ \text{ N}$$ نیروی محرکه‌ی تایر در دنده‌ی دو

$$F_{a2} = ۵۰۰۰ - ۶۰۰۰ = -۱۰۰۰ \text{ N}$$ نیروی شتاب‌دهنده در دنده‌ی دو

چون نیروی شتاب‌دهنده منفی است، بنابراین امکان حرکت با دنده‌ی (۲) وجود ندارد.

۴ــ ۸ــ محاسبه‌ی نیرو و توان مقاومت مسیر

هم‌چنان که می‌دانید توان تولید شده توسط موتور، پس از عبور از سیستم انتقال قدرت و کاهش مختصری در اثر مقاومت دنده‌ها و یاتاقان‌ها در اختیار چرخ‌ها قرار گرفته، باعث حرکت اتومبیل می‌شود. اگر جمع نیروهای مقاوم در مقابل حرکت اتومبیل را با «F_R» و نیروی محرکه‌ی تایر را با «F_{pL}» نمایش دهیم، شرط حرکت اتومبیل این است که مقدار «F_{pL}» بیش‌تر و یا مساوی مقدار «F_R» باشد، یعنی :

$$F_{pL} \geq F_R$$

در صورتی که مقدار «F_{pL}» با مقدار «F_R» مساوی باشد، اتومبیل با سرعت ثابت حرکت می‌کند و در صورتی که مقدار «F_{pL}» بیش‌تر از مقدار «F_R» باشد، اتومبیل دارای حرکت شتاب‌دار مثبت خواهد بود. در این صورت اختلاف بین این دو نیرو، نیروی «شتاب‌دهنده» نامیده می‌شود. نیروی مقاومت مسیر یا جمع نیروهای مقاوم عبارت‌اند از مجموعه‌ی نیروهایی که در مقابل حرکت اتومبیل مقاومت می‌نمایند و از سه نیروی مقاومت هوا «F_W»، مقاومت غلتیدن تایر بر روی جادّه «F_{fr}» و مقاومت سطح شیب‌دار «F_{SL}» تشکیل می‌شود. اگر اتومبیل روی سطح شیب‌دار به سمت بالا حرکت کند، نیروی «F_{SL}» مقاوم در مقابل حرکت است و اگر به سمت پایین حرکت کند، این نیرو عامل حرکت خواهد بود. هم‌چنین نیروی مقاومت هوا نیز با توجه به جهت وزش باد و سرعت آن، ممکن است عامل حرکت و یا مقاوم در مقابل حرکت اتومبیل باشد. به همین دلیل رابطه‌ی محاسبه‌ی

جمع نیروهای مقاومت مسیر چنین نوشته می‌شود :

$$F_R = F_{fr} \pm F_W \pm F_{SL} \qquad (۸ــ۷)$$

در این رابطه اگر نیروهای «F_W» و «F_{SL}» مخالف حرکت باشند، با علامت مثبت و اگر عامل حرکت باشند، با علامت منفی نشان داده می‌شوند.

توان مقاومت مسیر از حاصل ضرب نیروی مقاومت مسیر در سرعت اتومبیل محاسبه می‌شود ؛ در این رابطه :

$$P_R = F_R \times V$$

P_R = توان مقاومت مسیر ؛

V = سرعت اتومبیل.

۱ــ۴ــ۸ــ محاسبه‌ی نیروی مقاومت غلتیدن تایر: این نیرو به جنس تایر، نوع سطح جادّه و نیروی اعمال شده به تایر بستگی دارد و مقدار آن را برای یک تایر می‌توان با توجه به شکل (۱ــ۸) و نوشتن شرط تعادل، (نسبت به اثر نیروی «F_{fr}» در حالتی که تایر در آستانه‌ی شروع غلتیدن قرار دارد) محاسبه نمود. برای این کار گشتاور حول نقطه‌ی «O» را می‌گیریم و خواهیم داشت :

$$F_{fr} \times R_S = F \times a$$

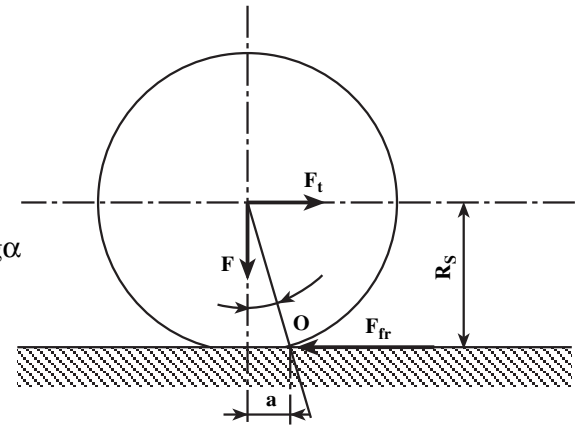
$$F_{fr} = F \times \frac{a}{R_S}$$

$$\frac{a}{R_S} = tg\alpha$$

$$F_{fr} = F \times tg\alpha$$

$$F = mg$$

$$F_{fr} = m \times g \times tg\alpha = G.tg\alpha$$



شکل ۱ــ۸

مقدار «$tg\alpha$» را طبق تعریف، ضریب اصطکاک غلتیدن تایر با زمین نامیده‌اند و با «μ» نشان داده می‌شود. بنابراین :

$$F_{fr} = F \times \mu$$

در صورتی که بخواهیم مقدار کلّ نیروی مقاومت غلتیدن تایرها را محاسبه کنیم، کافی است

به‌جای «F» (مجموعه نیروهای اعمال شده به تایرها)، «G» یعنی وزن اتومبیل را قرار دهیم ؛ یعنی :

$$F_{fr} = G \times \mu$$

در صورتی که اتومبیل روی سطح شیب‌دار حرکت کند، مقدار این نیرو در ($\cos\alpha$) ضرب خواهد شد ؛ یعنی :

در این رابطه : (۸ــ۸) $F_{fr} = G \times \mu \times \cos\alpha$

F_{fr} = نیروی مقاومت اصطکاک غلتیدن تایرها ؛

G = وزن کلّ اتومبیل ؛

μ = ضریب اصطکاک غلتیدن تایر با زمین می‌باشد که مقدار تجربی آن برای جادّه‌هایی با شرایط مختلف در جدول (۱) آورده شده است.

α = زاویه‌ی سطح شیب‌دار بر حسب درجه است.

توجه: بعضی از رانندگان با این تصوّر که تایرهای پهن‌تر دارای ضریب اصطکاک بیش‌تری هستند، از این نوع تایرها استفاده می‌کنند. در حالی که تنها در صورتی مقدار ضریب اصطکاک غلتیدن تایر افزایش پیدا می‌کند که با توجه به شکل (۱ــ۸)، یا مقدار «R_S» کم شود و یا مقدار «a» اضافه شود. به همین دلیل است که رانندگان با تجربه در مواقع اضطراری، برای حرکت بهتر خودرو در سطح لغزنده، مقدار فشار باد داخل تایر را کم می‌کنند ؛ زیرا با این عمل هر دو شرط یاد شده ایجاد می‌شود. یعنی هم مقدار «a» زیاد می‌شود و هم مقدار «R_S» کم می‌گردد و در نتیجه مقدار ضریب اصطکاک غلتیدن تایر به مقدار زیادی افزایش می‌یابد.

جدول ۱ــ۸ــ ضریب اصطکاک در جادّه‌های مختلف

شماره ردیف	نوع سطح جاده	ضریب اصطکاک غلتیدن
۱	سنگ فرش درشت	۰/۰۱۵
۲	سنگ فرش ریز	۰/۰۱۵
۳	بتن و آسفالت	۰/۰۱۵
۴	شن غلتک خورده	۰/۰۲
۵	سنگ فرش با مخلوطی از ماده tar	۰/۰۲۵
۶	جاده‌ی خاکی	۰/۰۵
۷	خاک نرم چرخ‌های غیر جادّه‌ای	۰/۱ ــ ۰/۳۵
۸	خاک نرم	۰/۱۴ ــ ۰/۲۴
۹	خاک نرم و شنی	۰/۰۷ ــ ۰/۲
۱۰	چرخ روی ریل	۰/۰۰۱ ــ ۰/۰۰۲

مثال (۴): اتومبیلی با سرعت ثابت (۸۰km/hr) روی یک جادّه‌ی افقی سنگ فرش حرکت می‌کند، اگر توان مقاومت مسیر در اثر نیروی مقاومت غلتیدن تایر (۳kW) باشد،

مطلوب‌است که :

ـ نیروی اصطکاک غلتیدن تایر بر حسب نیوتن محاسبه شود.

ـ نیروی وزن اتومبیل بر حسب نیوتن به دست آید.

$V = ۸۰ km/hr$

$\mu = ۰/۰۱۵$

$P_{fr} = ۳\ kW$

$P_{fr} = F_{fr} \times V \Rightarrow F_{fr} = \frac{P_{fr}}{V}$

$P_{fr} = ۳ \times ۱۰۰۰ = ۳۰۰۰\ w$

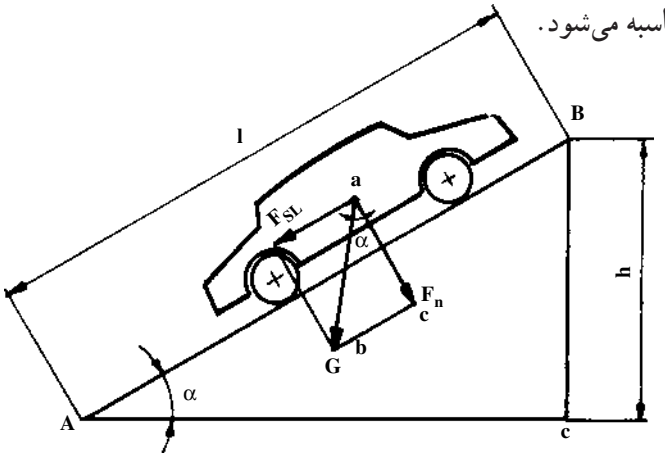
$V = ۸۰ \div ۳/۶ = ۲۲/۲۲ m/s$

$F_{fr} = \frac{۳۰۰۰}{۲۲/۲۲} = ۱۳۵\ N$

$F_{fr} = G \times \cos\alpha\mu$ چون جاده افقی است، بنابراین $\cos\alpha = ۱$ است.

$G = \frac{F_{fr}}{\mu} = \frac{۱۳۵}{۰/۰۱۵} = ۹۰۰۰\ N$

۲ــ۴ــ۸ــ محاسبه‌ی نیروی مقاومت سطح شیب‌دار: نیروی مقاومت سطح شیب‌دار، نیرویی است که تمایل دارد اتومبیل را به سمت پایین حرکت دهد. حال اگر جهت حرکت اتومبیل روبه بالا باشد، نیروی مقاومت شیب مخالف با حرکت اتومبیل است و در صورتی که به سمت پایین باشد، این نیرو موافق با حرکت اتومبیل خواهد بود. با توجّه به شکل (۲ــ۸) نیروی مقاومت شیب جادّه به این ترتیب محاسبه می‌شود.



شکل ۲ــ۸

با توجّه به تشابه دو مثلث (abc) و (ABC) می‌توان نوشت :

$$\frac{bc}{ab} = \frac{h}{l}$$

چون : $bc = F_{SL} \quad ab = G$

بنابراین : $\frac{h}{l} = \frac{F_{SL}}{G} \Rightarrow F_{SL} = G \times \frac{h}{l}$

$$\frac{h}{l} = \sin\alpha \Rightarrow \boxed{F_{SL} = G \times \sin\alpha} \qquad (۸_۹)$$

توجّه: چون معمولاً زاویه‌ی شیب جادّه‌ها کم است، در بیش‌تر مواقع برای مشخّص کردن شیب جادّه از درصد شیب استفاده می‌کنند و از طرفی برای زوایایی با اندازه‌ی کوچک تانژانت زاویه با مقدار سینوس آن تقریباً مساوی است، بنابراین رابطه‌ی فوق را می‌توان در مواردی که زاویه‌ی جادّه کم‌تر از (۷°) است به صورت زیر بیان کرد :

$$\boxed{F_{SL} = G \times \rho} \qquad (۸_۱۰)$$

در روابط فوق :

F_{SL} = نیروی مقاومت سطح شیب‌دار (نیوتن) ؛

G = وزن کلّ اتومبیل (نیوتن) ؛

α = زاویه‌ی شیب جادّه ؛

ρ = درصد شیب جادّه.

توجّه: توان مقاومت سطح شیب‌دار نیز از حاصل ضرب نیروی سطح شیب‌دار در سرعت اتومبیل محاسبه می‌شود.

سؤال (۱) ــ نیروی مقاومت سطح شیب‌دار در چه صورت مثبت و در چه صورت منفی می‌شود؟

مثال (۵): اتومبیلی به وزن (۶۸۰۰kgf) باید (۴۱) نفر مسافر را که متوسط وزن هر یک از آن‌ها (۷۵kgf) است، با سرعت (۲۰km/hr) از خیابان با شیب (۲۰٪) بالا ببرد،

مطلوب است :

ــ نیروی مقاومت سطح شیب‌دار بر حسب N حساب شود.

ــ توان مقاومت سطح شیب‌دار بر حسب kW محاسبه گردد.

$G_۱ = ۶۸۰۰ \quad kgf$

$G_۲ = ۷۵ \quad kgf$

$n = ۴۱$ نفر

$V = ۲۰$ km/hr

$tg\alpha = ٪۲۰$

$F_{SL} = ?$ N

$P_{SL} = ?$ kW **پاسخ:**

$F_{SL} = G \times \sin\alpha$

$G = G_۱ + nG_۲ = ۶۸۰۰ + ۴۱ \times ۷۵ = ۹۸۷۵$ kgf وزن کل

با استفاده از مقدار ($tg\alpha$) و با دانستن این که در مثلث قائم‌الزاویه، تانژانت زاویه برابر با حاصل تقسیم ضلع روبرو به ضلع مجاور زاویه است، بنابراین اندازه‌ی وتر برابر است با :

$L = \sqrt{۲۰^۲ + ۱۰۰^۲} \approx ۱۰۲$ متر $\Rightarrow \sin\alpha = \frac{۲۰}{۱۰۲} = ۰/۱۹۶$

$F_{SL} = ۹۸۷۵ \times ۰/۱۹۶ = ۱۹۳۵/۵$ kgf

$F_{SL} = ۱۹۳۵/۵ \times ۱۰ = ۱۹۳۵۵$ N نیروی مقاومت شیب

$P_{SL} = F_G \times V = ۱۹۳۵۵ \times \frac{۲۰}{۳/۶} = ۱۰۷۵۲۷/۸$ W

$P_{SL} = ۱۰۷/۵$ kW توان مقاومت شیب

راه دوم با تقریب :

$F_{SL} = G \times tg\alpha = ۹۸۷۵ \times ۰/۲ = ۱۹۷۵$ kgf

$F_{SL} = ۱۹۷۵ \times ۱۰ = ۱۹۷۵۰$ N

$P_{SL} = F_{SL} \times V = ۱۹۷۵۰ \times \frac{۲۰}{۳/۶} = ۱۰۹۷۲۲$ wat

$P_{SL} = ۱۰۹/۷$ kW

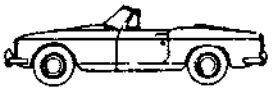
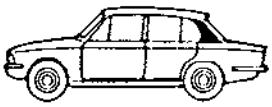
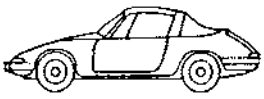
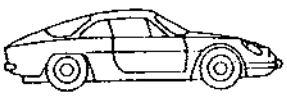
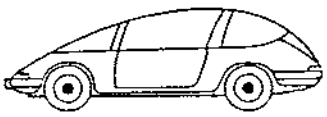
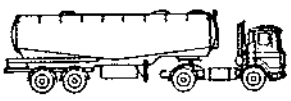
۳ــ۴ــ۸ــ محاسبه‌ی نیروی مقاومت هوا: نیروی مقاومت هوا که در بیش‌تر مواقع مخالف با نیروی محرک اتومبیل است، به عوامل زیر بستگی دارد :

ــ اندازه‌ی سطح مقطع عرضی اتومبیل، یا سطح پیشانی اتومبیل که عمود بر جهت حرکت اتومبیل است.

ــ ضریب مقاومت هوا که به فرم بدنه‌ی اتومبیل و خصوصیات و شرایط هوا بستگی دارد. مقدار ضریب مقاومت هوا برای فرم‌های مختلف بدنه‌ی اتومبیل در شرایط هوای استاندارد، در جدول (۲ــ۸) آمده است.

ــ سرعت نسبی اتومبیل عبارت است از برآیند سرعت باد و سرعت خودرو

جدول ۲ــ۸ــ ضریب مقاومت هوا برای خودروهای مختلف

ردیف	شکل بدنه	ضریب مقاومت هوا
۱		۰/۵ ــ ۰/۷
۲		۰/۵ ــ ۰/۶
۳		۰/۵ ــ ۰/۵۵
۴		۰/۳ ــ ۰/۴
۵		۰/۲ ــ ۰/۲۵
۶		۰/۲۳
۷		۰/۱۵ ــ ۰/۲
۸		۰/۸ ــ ۱/۵
۹		۰/۶ ــ ۰/۷
۱۰		۰/۶ ــ ۰/۷
۱۱		۰/۳ ــ ۰/۴

نیروی مقاومت هوا از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$$F_W = ۰/۰۴۸ \times C_W \times A \times V'^{۲} \quad (۸_۱۱)$$ [۱]

در این رابطه :

F_W = نیروی مقاومت هوا بر حسب (نیوتن) ؛

C_W = ضریب مقاومت هوا ؛

A = سطح پیشانی اتومبیل بر حسب (متر مربع) ؛

V' = سرعت نسبی حرکت اتومبیل نسبت به هوا بر حسب km/hr .

سرعت نسبی هوا نسبت به اتومبیل از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$$V' = V \pm V_۰ \quad (۸_۱۲)$$

در این رابطه :

V = سرعت اتومبیل (کیلومتر در ساعت) ؛

$V_۰$ = سرعت باد (کیلومتر در ساعت).

از علامت مثبت زمانی استفاده می‌شود که جهت وزش باد در جهت خلاف اتومبیل باشد و از علامت منفی زمانی استفاده می‌شود که جهت وزش باد، با جهت حرکت اتومبیل یکی باشد.

محاسبه‌ی سطح پیشانی اتومبیل به دلیل این که شکل سطح اتومبیل یک شکل ساده‌ی هندسی نیست، کار بسیار مشکلی است و به همین دلیل سطح پیشانی اتومبیل را از رابطه‌ی تجربی زیر محاسبه می‌نمایند :

$$A \approx ۰/۸ \times B \times H \quad (۸_۱۳)$$

در این رابطه :

۱ــ محاسبه‌ی ضریب (۰/۴۸) ــ فرمول تجربی مقاومت هوا به شکل زیر است :

$$F_{W(N)} = \frac{\gamma_۰(N/m^۳)}{۲g_{(m/S^۲)}} \times C_W \times A_{(m^۲)} \times \left[V_{(m/S)}\right]^۲$$

که $\gamma_۰ = ۱۲/۲(N/m^۳)$ وزن مخصوص هواست. اگر در فرمول فوق سرعت خودرو بر حسب km/h حساب شود، یک ضریب $(۳/۶)^۲$ به منظور تبدیل سرعت از km/h به m/s در مخرج کسر اضافه می‌گردد، بنابراین :

$$\frac{۱۲/۲_{(N/m^۳)}}{۲ \times ۹/۸_{(m/S^۲)} \times (۳/۶)^۲} = ۰/۰۴۸(Ns^۲/m^۴)$$

B= عرض اتومبیل (متر) ؛

H = ارتفاع اتومبیل (متر).

توان مقاومت هوا از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$$P_W = F_W \times V \qquad (۸ـ۱۴)$$

سؤال (۲) ــ ضریب آئرودینامیکی چرا به فرم بدنه‌ی خارجی ارتباط دارد؟

سؤال (۳) ــ نیروی مقاومت هوا در چه صورت مثبت و در چه صورت منفی خواهد شد؟

مثال (۶): یک اتوبوس با پهنای (۲/۲m) و ارتفاع (۳/۱m) با سرعت (۱۰km/hr) حرکت می‌کند. اگر ضریب مقاومت هوا (۰/۶) و سرعت باد مخالف جهت حرکت و (۱۰km/hr) باشد، خواسته می‌شود که :

ــ سطح مقاوم هوا بر حسب m^2 محاسبه می‌شود.

ــ نیروی مقاوم هوا بر حسب N حساب شود.

ــ توان مقاوم هوا بر حسب kW به دست آید.

پاسخ:

$B = ۲/۲ \ m$

$H = ۳/۱ \ m$

$V = ۶۰ \ km/hr$

$C_W = ۰/۶$

$V_\circ = ۱۰ \ km/hr$

$A = ? \ m^2$

$F_W = ? \ N$

$P_W = ? \ kW$

سطح پیشانی اتوبوس $A \approx ۰/۸ \times B \times H = ۰/۸ \times ۲/۲ \times ۳/۱ = ۵/۵ \ m^2$

$F_W = ۰/۰۴۸ \times C_W \times A \times V'^2$

چون جهت وزش باد مخالف است، $V' = V + V_\circ = ۶۰ + ۱۰ = ۷۰ \ km/hr$

پس :

نیروی مقاوم باد $F_W = ۰/۰۴۸ \times ۰/۶ \times ۵/۵ \times ۷۰^2 = ۷۷۶/۲ \ N$

توان مقاوم باد $P_W = F_W \times V = ۷۷۶/۲ \times \frac{۶۰}{۳/۶} = ۱۲۹۳۶/۶ \ W \Rightarrow P_W \approx ۱۳ \ kW$

سؤال (۴) ــ اگر اتومبیلی روی یک جاده‌ی افقی متوقف شده باشد و موتور آن خاموش باشد، هم‌چنین ترمز دستی نیز آزاد باشد و هوا هیچ‌گونه حرکتی نداشته باشد، برای این که اتومبیل در آستانه‌ی حرکت کردن قرار گیرد، چه مقدار نیرو لازم است؟

سؤال (۵) ــ اگر اتومبیلی روی یک سطح شیب‌دار قرار داشته باشد و هوا نیز هیچ‌گونه حرکتی نداشته باشد، نیروی ترمزدستی باید چه‌قدر باشد تا اتومبیل در آستانه‌ی حرکت به سمت پایین قرار گیرد؟

توجّه: در حلّ مسائل مربوط به این فضا باید به صورت مسأله، دقّت شود، زیرا اگر گفته شود که اتومبیل روی یک سطح افقی حرکت می‌کند، یعنی : ($F_{SL} = ۰$) است و اگر گفته شود اتومبیل با سرعت ثابت حرکت می‌کند، یعنی : ($F_R = F_{PL}$) است و یا به عبارت دیگر، جمع نیروهای مقاوم مساوی با نیروی محرکه‌ی تایر است و نیروی شتاب‌دهنده نیز مساوی صفر است. اگر گفته شود که سرعت اتومبیل و سرعت وزش باد مساوی و هم‌جهت هستند، یعنی ($F_W = ۰$) است.

تمرین

مسأله‌ی (۱): اتومبیلی با سرعت ثابت (۷۲ km/hr) از جادّه‌ای با شیب (۸٪) بالا می‌رود، ضریب اصطکاک تایر با جادّه (۰/۳) می‌باشد، باد با سرعت (۸ km/hr) در خلاف جهت حرکت اتومبیل می‌وزد، ارتفاع اتومبیل (۱۳۵۰mm) و عرض آن (۱۲۰۰mm) است، ضریب مقاومت هوا (۰/۲۵) و وزن اتومبیل (۲۵kN) است حساب کنید که : $\cos\alpha \simeq ۱$

الف ــ نیروی مقاومت مسیر بر حسب نیوتن چه‌قدر است؟

ب ــ قدرت مقاومتی مسیر بر حسب کیلووات چه‌قدر است؟

جواب (الف : ۹۶۰۰N جواب (ب : ۱۹۲kW

مسأله‌ی (۲): قدرت مقاومتی مسیر برای یک اتومبیل (۵۶kW) و نیروی محرک تایر ۹۵۰۰N است ؛ اتومبیل از جادّه‌ی خاکی نرمی با شیب (۱۰٪) و حداکثر ضریب اصطکاک بالا می‌رود، و وزن اتومبیل (۲۰KN) است حساب کنید که : $g = ۱۰ m/s^۲$ ، $\cos\alpha \simeq ۱$

الف ــ در صورتی که از مقاومت هوا صرف‌نظر شود. نیروی مقاومتی مسیر چند نیوتن است؟

ب ــ آیا اتومبیل شتاب دارد؟ چه مقدار؟

ج ــ سرعت اتومبیل چند کیلومتر به ساعت است؟

جواب (الف : ۹۰۰۰N، جواب (ب : $۰/۲۵ m/s^۲$، جواب (ج : ۲۲/۴ km/hr

مسأله‌ی (۳): نیروی وارد بر پلوس‌های خودرویی (۲۸۰۰N) است، خودرو در جاده‌ای آسفالته با شیب (۱۰٪) با سرعت لحظه‌ای (۹۰ km/h) پایین می‌رود، باد با سرعت (۱۰ km/h) در جهت مخالف حرکت می‌وزد و ضریب آئرودینامیکی خودرو (۰/۲۵) و سطح مقطع عرضی مؤثر ($۲m^۲$) و وزن آن (۲۰kN) است، آیا اتومبیل با شتاب حرکت می‌کند؟ در صورت وجود شتاب مقدار آن چقدر است؟

$\cos\alpha \simeq ۱$ ، $g = ۱۰ m/s^۲$

جواب : $۲/۱۳ m/s^۲$

مسأله‌ی (۴): اتومبیلی به جرم (۲۵۰۰kg) از جاده‌ی شنی غلتک خورده و مسطحی با سرعت ثابت در حرکت است ؛ باد با سرعت (۵/۲ km/h) در جهت حرکت می‌وزد، ضریب آئرودینامیکی (۰/۳)، ارتفاع خودرو (۱/۵m) و عرض آن (۱/۲m) است، اگر نیروی محرک تایر (۷۵۰N) باشد، مطلوب است که :

$\cos\alpha \simeq ۱$ ، $g = ۱۰ m/s^۲$

الف ــ سرعت اتومبیلی بر حسب کیلومتر بر ساعت محاسبه شود.

ب ــ قدرت مقاومتی مسیر بر حسب کیلووات حساب شود.

الف : ۱۱۵ km/h ب : ۲۴kW

مسأله‌ی (۵): اتوبوسی با شتاب ($۲ m/s^۲$) و با سرعت لحظه‌ای (۷۲ km/h) از جاده‌ی آسفالته‌ای با شیب (۱۵٪) بالا می‌رود ؛ باد با سرعت (۱۲ km/h) در جهت حرکت می‌وزد، قدرت مقاومتی مسیر (۶۰kW) است، ضریب آئرودینامیکی (۰/۵) و سطح هواخور ($۵m^۲$) می‌باشد. خواسته می‌شود که :

$\cos\alpha \simeq ۱$ ، $g = ۱۰ m/s^۲$

الف ــ وزن خودرو محاسبه شود.

ب ــ نیروی شتاب‌دهنده حساب شود.

ج ــ نیروی وارد بر پلوس اندازه‌گیری شود.

الف : ۱۵۵۶۰N ب : ۳۱۱۲N ج : ۶۱۱۲N

مسأله‌ی (۶): خودرویی با سرعت ثابت (۱۲۰ km/h) در جاده‌ی آسفالته‌ای با شیب (۱۲٪) پایین می‌رود ؛ نیروی وارد بر پلوس‌ها (۱۰۰۰N)، ضریب آئرودینامیکی (۰/۶)، سطح هواخور ($۴m^۲$) و وزن خودرو (۱۵۰۰۰N) است، آیا باد می‌وزد؟ در چه جهتی و با چه سرعتی؟

جواب : باد با سرعت (۲۹/۵ km/h) در جهت مخالف حرکت می‌وزد. $\cos\alpha \simeq ۱$

فصل نهم

محاسبه‌ی نیروی گریز از مرکز و کاربرد آن

هدف‌های رفتاری :از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
۱ــ نیروی گریز از مرکز در حرکت دورانی را محاسبه کند.
۲ــ کاربرد نیروی گریز از مرکز را توضیح دهد.
۳ــ سرعت مجاز خودرو در پیچ جادّه را حساب کند.

۹ــ محاسبه‌ی نیروی گریز از مرکز و کاربرد آن

۱ــ۹ــ محاسبه‌ی نیرو و شتاب در حرکت دورانی

هنگامی که جسمی با سرعت ثابت روی یک مسیر دایره‌ای در سطح افقی حرکت می‌کند، در اثر ایجاد شتاب در شعاعی نیروی گریز از مرکز ($F = ma$) بوجود می‌آید که نیروی عکس‌العمل آن‌را نیروی جذب به مرکز نامند.

به‌عنوان مثال اگر جسمی را به نخ محکمی بسته، آن‌را به چرخش درآورید از طریق نخ نیرویی به دستتان وارد می‌شود که نیروی جذب به مرکز هم جزو آن است، اگر نخ پاره شود، جسم تحت تأثیر مؤلفه‌ی مماسی نیروی گریز از مرکز، مسیر حرکت پرتابی را طی خواهد کرد.

حال اگر جسم دارای حرکت شتاب‌دار باشد، علاوه بر نیروی جذب، به مرکز به آن نیروی دیگری نیز اعمال خواهد شد.

حرکت اتومبیل در پیچ جادّه‌ها نیز درست شبیه حرکت جسم روی مسیر دایره‌ای است. با کمی دقّت به شکل (۱ــ۹)، ملاحظه می‌کنید که یکی از عوامل نگه‌داری اتومبیل روی مسیر دایره‌ای، نیروی اصطکاک لغزشی بین تایرها و جادّه است که به کلیه‌ی تایرها اعمال می‌شود. مقدار نیروی گریز از مرکز اعمال شده به اتومبیل از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد :

$$F = m\frac{V^2}{R} \quad [1]$$

(۹ــ۱)

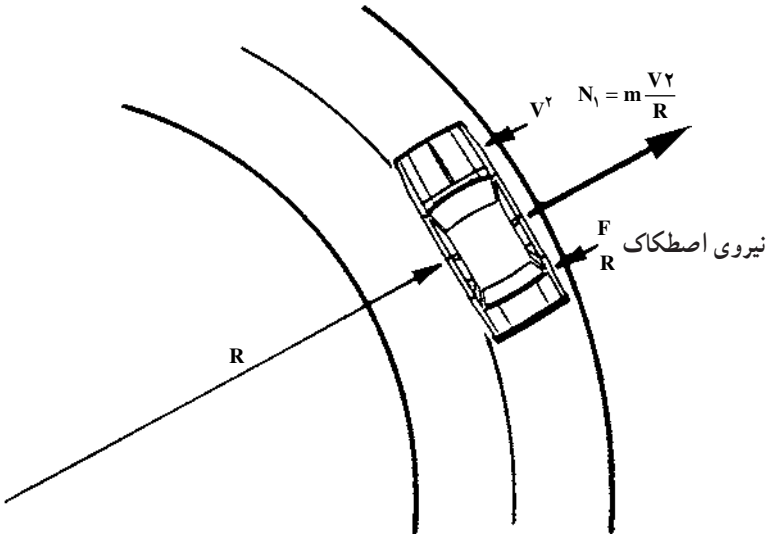
در این رابطه :

F = نیروی گریز از مرکز (نیوتن) ؛

m = جرم خودرو (کیلوگرم) ؛

V = سرعت خودرو (متر به ثانیه) ؛

R = شعاع پیچ جادّه (متر).



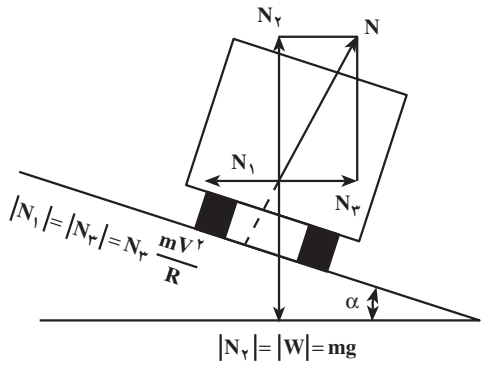
شکل ۱ــ۹

۲ــ۹ــ کاربرد نیروی گریز از مرکز

از این نیرو برای محاسبه‌ی حداکثر سرعت خودرو در پیچ جادّه‌ها استفاده می‌شود. معمولاً به‌منظور کاهش حوادث رانندگی و نیز برای افزایش سرعت در پیچ جادّه‌ها، سطح جادّه را به صورت شیب‌دار به سمت داخل پیچ می‌سازند.

۱ــ هم‌چنان که در فیزیک گفته شد، شتاب خطی در حرکت دورانی ($a = R\omega^2$)، و نیروی حاصل از آن ($F = mR\omega^2$) می‌شود. با توجه به این‌که سرعت خطی در این نوع حرکت ($V = R\omega$) است، پس ($V^2 = R^2\omega^2$ و $R\omega^2 = \frac{V^2}{R}$)، بنابراین نیروی گریز از مرکز و یا جانب مرکز ($F = m\frac{V^2}{R}$) خواهد شد.

اصولاً وقتی خودرو با سرعت معینی وارد پیچ می‌شود، با توجّه به شیب عرضی جادّه، نیروهای نشان داده شده در شکل ۲ــ۹ عبارت‌اند از : ($mg = w$) وزن جسم، (N) عکس‌العمل عمود بر سطح، ($N_۲$) عکس‌العمل نیروی وزن، ($N_۱$) نیروی گریز از مرکز و ($N_۳$) نیروی جذب به مرکز. (به‌منظور بالا بردن ضریب اطمینان از نیروی اصطکاک صرف نظر شد)



شکل ۲ــ۹

۳ــ۹ــ محاسبه‌ی سرعت مجاز در پیچ

با توجه به شکل ۲ــ۹ مؤلفه‌های عمود بر سطح به قرار زیر می‌باشند :

$$N_۲ = mg = N\cos\alpha$$

$$N_۱ = m\frac{V^۲}{R} = N\sin\alpha$$

از تقسیم دو رابطه‌ی فوق نتیجه می‌شود که :

$$\frac{\frac{mv^۲}{R}}{mg} = \frac{N\sin\alpha}{N\cos\alpha} \Rightarrow \frac{V^۲}{Rg} = tg\alpha$$

$$V^۲ = Rgtg\alpha$$

$$V = \sqrt{Rgtg\alpha}$$

mg = وزن خودرو (نیوتن) ؛

N = نیروی عکس‌العمل سطح (نیوتن) ؛

$N_۱$ = نیروی گریز از مرکز (نیوتن) ؛

V = سرعت مجاز در پیچ جادّه.

لازم به تذکّر است که چون سطح جادّه دارای اصطکاک است، سرعت خودرو تا حدی می‌تواند از این مقدار نیز بیش‌تر گردد.

مثال (۱): در پیچ جادّه‌ای با شعاع انحنای ($۲۰۰\,m$) و شیب عرضی (۰/۱۸) سرعت مجاز

چند کیلومتر در ساعت است. $g = ۱۰\ m/s^۲$

پاسخ:

$$R = ۲۰۰m \qquad V = \sqrt{R.g.tg\alpha} = \sqrt{۲۰۰\times۱۰\times۰/۱۸}$$

$$tg\alpha = ۰/۱۸ \qquad V = ۱۸/۹\ m/s = ۶۸/۳\ km/hr$$

$$V = ?\ km/hr$$

مثال (۲): در پیچ جادّه روی تابلو حداکثر سرعت (۶۳km) تعیین شده، اگر شعاع انحنای مسیر (۱۰۰m) باشد، شیب عرضی جادّه چه‌قدر است؟

پاسخ:

$$R = ۱۰۰m \qquad V = \frac{۶۳}{۳/۶} = ۱۷/۵\ m/s$$

$$V = ۶۳km/hr \quad ۱۷/۵^۲ = R.g.tg\alpha \Rightarrow \quad tg\alpha = \frac{۱۷/۵^۲}{۱۰۰\times۱۰}$$

$$tg\alpha = ? \qquad tg\alpha = ۰/۳۰۶۲۵$$

مثال (۳): برای بالانس‌نمودن چرخ اتومبیلی در دور (۳۰۰RPM) یک وزنه‌ی (۱۰۰) گرمی لازم است. اگر مشخصات تایر (۱۸۵/۷۰SR۱۳) باشد، نیروی گریز از مرکز وارد به چرخ قبل از بالانس چند نیوتن بوده است؟

پاسخ:

$$D = ۱۳\times۰/۰۲۵۴ = ۰/۳۳$$

$$V = \frac{D\pi n}{۶۰} = \frac{۰/۳۳\times۳/۱۴\times۳۰۰}{۶۰} = ۵/۱۸m/s$$

$$۱۰۰g = ۱N$$

$$F = m\frac{V^۲}{R} = \frac{۱}{۱۰}\times\frac{(۵/۱۸)^۲}{\frac{۰/۳۳}{۲}} \simeq ۱۶/۲N$$

تمرین

مسأله‌ی (۱) : موتورسیکلتی به جرم (۱۰۰) کیلوگرم، موتورسواری به جرم (۷۰) کیلوگرم را دورمیدانی به شعاع (۲۰) متر با سرعت (۷۲) کیلومتر در ساعت حرکت می‌دهد، نیروی گریز از مرکزی که به موتور و موتورسوار وارد می‌شود چند نیوتن است؟

نیروی وارد به موتورسوار ($F_1 = ۱۴۰۰$ N)، نیروی وارد به موتور ($F_2 = ۲۰۰۰$ N)

مسأله‌ی (۲) : برای بالانس نمودن، میل‌لنگی به مقدار (۴۰) گرم به‌فاصله‌ی (۱۰) سانتی‌متری از محور دوران تراشیده شده است ؛ تعیین کنید که :

الف ــ نیروی گریز از مرکز قبل از بالانس در دور (۲۰۰۰ R.P.M) برحسب نیوتن چه‌قدر بوده است؟

ب ــ اگر دور میل‌لنگ به (۲۵۰۰ R.P.M) برسد، نیروی گریز از مرکز چه قدر افزایش می‌یابد؟

الف ــ ۱۷۵/۵N ، ب ــ ۹۵N

مسأله‌ی (۳) : دور چرخ اتومبیلی (۴۰۰ R.P.M) است یکی از لاستیک‌های این اتومبیل به (۱۰۰ gr) وزنه‌ی سربی جهت بالانس احتیاج دارد، حساب کنید که :

نیروی گریز از مرکزی که قبل از بالانس به چرخ وارد می‌شود برحسب نیوتن چه‌قدر بوده است؟ مشخصات تایر (۱۳ــ۶۰۰) جواب : ۲۸۹/۵N

مسأله‌ی (۴): کامیونی با سرعت (۹۰ km/hr) حرکت می‌کند، وزنه‌ی سربی (۶۰) گرمی که روی لبه‌ی رینگ به اشتباه نصب شده، چه نیروی گریز از مرکزی را ایجاد می‌نماید؟ مشخّصات تایر (۱۶ــ۶۵۰) $R \simeq R_S$ جواب : ۳۱۲/۴N

مسأله‌ی (۵) : یک وزنه‌ی (۲۰) گرمی جهت بالانس تایر با مشخّصات (۱۳ــ۶۵۰) به‌کار رفته است ، اگر اتومبیلی با سرعت (۵۰ km/hr) حرکت کند، چه نیروی گریز از مرکزی قبل از بالانس به محور چرخ برحسب نیوتن وارد می‌شود؟ $R \simeq R_S$ جواب : ۷۳/۲N

مسأله‌ی (۶) : شعاع انحنای مسیر قطاری (۹۰) متر است اگر وزن واگن (۳۰۰۰۰۰N) و نیروی گریز از مرکز در انحنای پیچ (۲۷۰۰۰N) باشد، تعیین کنید که : $g = ۱۰ m/s^2$

الف ــ سرعت قطار در انحنای مسیر چند کیلومتر به ساعت است؟

ب ــ اگر عرض مسیر قطار (۱۶۰cm) باشد، ارتفاع شیب ریل چند میلی‌متر است؟

جواب (الف : ۳۲/۴ km/hr جواب (ب : ۱۴/۳cm

مسأله‌ی (۷) : اتومبیلی بر روی مسیری منحنی حرکت می‌کند که شعاع انحنای آن(۷۹m)، شیب عرضی جاده (۰/۲۰) و جرم خودرو (۴۵۰۰kg) است، حساب کنید که :

الف ــ سرعت اتومبیل چند کیلومتر بر ساعت است؟ $g = ۹/۸ m/s^2$

ب ــ نیروی گریز از مرکز چند نیوتن است؟

جواب (الف : ۴۴/۸ km/hr جواب (ب : ۸۸۱۵N

مسأله‌ی (۸) : اتومبیلی به جرم (۱۲۰۰kg) در انحنای پیست مسابقه‌ای به شعاع (۴۰) متر

حرکت می‌کند، اگر نیروی گریز از مرکز در حین گردش در پیچ (N ۱۵۰۰) نیوتن باشد، حساب کنید که :

الف ــ سرعت حرکت چند کیلومتر در ساعت است؟

ب ــ شیب عرضی جادّه چه‌قدر است؟

جواب (الف : ۲۵/۲ km/hr جواب (ب : ۰/۱۲ = tgα

دستگاه آحاد اندازه‌گیری

در پایان کتاب لازم است دستگاه آحاد اندازه‌گیر و تبدیل آحاد به دستگاه‌های دیگر اندازه‌گیری، یادآوری گردد.

جدول شماره ۱ــ دستگاه آحاد اندازه‌گیری در سیستم S.I و M.K.S

کمیت	طول	جرم	نیرو	زمان	کار
نام واحد اندازه‌گیری	متر	کیلوگرم جرم	نیوتن	ثانیه	نیوتن متر
علامت اختصاری	m	Kg	N	S	N.m

M.K.S و S.I

کمیت	توان	سرعت	شتاب	گشتاور	فشار	گرما
نام واحد اندازه‌گیری	نیوتن متر بر ثانیه	متر بر ثانیه	متر بر مجذور ثانیه	متر نیوتن	نیوتن بر مترمربع	ژول
علامت اختصاری	N.m/s	m/s	m/s^2	m.N	N/m^2 یا Pa	j

$1Nm/s = 1W$ و $1N.m = 1j$

جدول شماره ۲ــ تبدیل آحاد طول به یک‌دیگر

	M.K.S و S.I					F.P.S	
نام واحد	متر	دسی‌متر	سانتی‌متر	میلی‌متر	یارد	فوت	اینچ
علامت اختصاری	m	d.m	c.m	m.m	yard	ft	in
۱m	۱	۱۰	۱۰۰	۱۰۰۰	۱/۰۹۴	۳/۲۸۱	۳۹/۳۷

جدول شماره ۳ــ تبدیل آحاد سطح به یک‌دیگر

M.K.S و S.I						F.P.S		
نام واحد	متر مربع	دسی‌متر مربع	سانتی‌متر مربع	میلی‌متر مربع	یارد مربع	فوت مربع	اینچ مربع
علامت اختصاری	m^2	$d.m^2$	$c.m^2$	$m.m^2$	$yard^2$	ft^2	in^2
$1m^2$	۱	۱۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱/۱۹۶	۱۰/۷۶	۱۵۵۰

جدول شماره ۴ــ تبدیل آحاد حجم به یک‌دیگر

M.K.S و S.I						F.P.S		
نام واحد	متر مکعب	دسی‌متر مکعب	سانتی‌متر مکعب	میلی‌متر مکعب	یارد مکعب	فوت مکعب	اینچ مکعب
علامت اختصاری	m^3	$d.m^3$	$c.m^3$	$m.m^3$	$yard^3$	ft^3	in^3
$1\ m^3$	۱	۱۰۰۰	$۱۰^۶$	$۱۰^۹$	۱/۳۰۷	۳۵/۳۲	۶۱۰۲۳

گنجایش یک دسی‌مترمکعب را یک لیتر هم می‌گویند.

جدول شماره ۵ــ تبدیل آحاد نیرو به یک‌دیگر

	S.I	M.K.S	F.P.S
نام واحد	نیوتن	کیلوگرم نیرو	پوند
علامت اختصاری	N	Kgf	lb
۱N	۱	۰/۱۰۲	۰/۲۲۵

جدول شماره ۶ــ تبدیل آحاد فشار به یک‌دیگر

S.I			F.P.S	M.K.S		
نام واحد	بار	نیوتن بر سانتی‌متر مربع	نیوتن بر متر مربع	پوند بر اینچ مربع	میلی‌متر جیوه	میلی‌متر آب	کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع
علامت اختصاری	bar	N/cm^2	N/m^2	P.S.I	mm.Hg	mmH_2O	Kg/cm^2
۱bar	۱	۱۰	$۱۰^۵$	۱۴/۲	۷۵۰	۱۰۲۰۰	۱/۰۲

جدول شماره ۷ــ تبدیل آحاد کار به یک‌دیگر

S.I		M.K.S		F.P.S	
نام واحد	نیوتن متر	نیوتن سانتی‌متر	کیلوگرم سانتی‌متر	کیلوگرم متر	پوند فوت	پوند اینچ
علامت اختصاری	N.m	N.cm	$kg_f.cm$	kg.m	lb.ft	lb.in
۱N.m	۱	۱۰۰	۱۰/۲	$\frac{۱}{۹/۸۱} = ۰/۱۰۲$	۰/۷۳۸	۸/۸۵۸

جدول شماره ۸ــ تبدیل آحاد توان به یک‌دیگر

S.I			M.K.S		F.P.S	
نام واحد	کیلووات	وات	کیلوژول بر ساعت	کیلوگرم متر بر ثانیه	کیلوکالری بر ساعت	اسب بخار متریک	اسب بخار انگلیسی	فوت پوند بر دقیقه
علامت اختصاری	kw	w	kj/h	kg.m/s	kcal/h	PS	h.p	Lb.ft/min
۱kW	۱	۱۰۰۰	۳۶۰۰	۱۰۲	۸۶۰	۱/۳۶	۱/۳۴	۴۴۲۲۰

جدول شماره ۹ــ تبدیل آحاد گشتاور به یک‌دیگر

S.I		M.K.S		F.P.S	
نام واحد	متر نیوتن	سانتی‌متر نیوتن	مترکیلوگرم	سانتی‌متر کیلوگرم	فوت پوند	اینچ پوند
علامت اختصاری	m.N	cm.N	m.kg	cm.kg	ft.lb	in.lb
۱m.N	۱	۱۰۰	$\frac{۱}{۹/۸۱} = ۰/۱۰۲$	۱۰/۲	۰/۷۳۸	۸/۸۵۸

اصطلاحات وعلامت‌های اختصاری

شماره ردیف	نام	علامت اختصاری	واژه‌ی انگلیسی
۱	دبی جرمی	m°	quantity of mass
۲	دبی حجمی	V°	quantity of volume
۳	ارزش حرارتی	C.V	specific heat at constant volume
۴	جرم حجمی	ρ	mass of volume
۵	توان گرمایی	Q	Heat content
۶	گرمای ویژه	C_p	specific heat at constant pressure
۷	درجه‌ی حرارت	t	temperature
۸	مصرف ویژه سوخت	be	specific fule consiuming
۹	دور بر دقیقه	R.P.M	Round Per Minute
۱۰	دور بر ثانیه	R.P.S	Round Per Secend
۱۱	شتاب	α	Accelration
۱۲	مسافت	S	Distance
۱۳	مسافت کل	S_T	total Distance
۱۴	مسافت عکس‌العمل	S_R	Re action Distance
۱۵	کار ترمز	W_{Br}	Brake work
۱۶	نیروی اصطکاک لنت	F_{fr}	Fraction lent power
۱۷	وزن	G	Gravity

اصطلاحات و علامتهای اختصاری

شماره ردیف	نام	علامت اختصاری	واژه‌ی انگلیسی
۱	سطح مقطع	A	Section Area
۲	قطر	D	Diameter
۳	شعاع	R	Radius
۴	کورس	S	Stroke
۵	حجم	V	Volume
۶	حجم کل	V_t	Total Volume
۷	حجم تراکم	V_c	Campression Volume
۸	حجم مفید	V_e	Effective Volume
۹	نسبت تراکم	R_e	Compression Ratio
۱۰	سرعت متوسط	V_m	Mean Velocity
۱۱	سرعت محیطی	V_t	Circumferential Velocity
۱۲	فشار متوسط	P_m	Mean Pressure
۱۳	نیروی متوسط	F_m	Mean Force
۱۴	بازده مکانیکی	η_m	Mechanical Efficiency
۱۵	قدرت تئوری	P_i	Indicator Power
۱۶	قدرت مفید	P_e	Effective Power
۱۷	کار تئوری	W_i	Indicator Work
۱۸	کار مفید	W_e	Effective Work
۱۹	قدرت وزنی	P_G	Gravity Power
۲۰	قدرت حجمی	P_H	Volume Power
۲۱	جرم	m	Mass
۲۲	وزن	W	Weight
۲۳	گشتاور	M	Momentum
۲۴	نیروی فشاری	F_c	Compressive Force
۲۵	نیروی اصطکاک	f_f	Friction Force
۲۶	گشتاور اصطکاکی	M_f	Friction Momentum
۲۷	تعداد دندانه‌ها	Z	Number of teeth

Angle	Sine	Cosine	Tangent	Angle	Sine	Cosine	Tangent
1°	.0175	.9998	.0175	46°	.7193	.6947	1.0355
2°	.0349	.9994	.0349	47°	.7314	.6820	1.0724
3°	.0523	.9986	.0524	48°	.7431	.6691	1.1106
4°	.0698	.9976	.0699	49°	.7547	.6561	1.1504
5°	.0872	.9962	.0875	50°	.7660	.6428	1.1918
6°	.1045	.9945	.1051	51°	.7771	.6293	1.2349
7°	.1219	.9925	.1228	52°	.7880	.6157	1.2799
8°	.1392	.9903	.1405	53°	.7986	.6018	1.3270
9°	.1564	.9877	.1584	54°	.8090	.5878	1.3764
10°	.1736	.9848	.1763	55°	.8192	.5736	1.4281
11°	.1908	.9816	.1944	56°	.8290	.5592	1.4826
12°	.2079	.9781	.2126	57°	.8387	.5446	1.5399
13°	.2250	.9744	.2309	58°	.8480	.5299	1.6003
14°	.2419	.9703	.2493	59°	.8572	.5150	1.6643
15°	.2588	.9659	.2679	60°	.8660	.5000	1.7321
16°	.2756	.9613	.2867	61°	.8746	.4848	1.8040
17°	.2924	.9563	.3057	62°	.8829	.4695	1.8807
18°	.3090	.9511	.3249	63°	.8910	.4540	1.9626
19°	.3256	.9455	.3443	64°	.8988	.4384	2.0503
20°	.3420	.9397	.3640	65°	.9063	.4226	2.1445
21°	.3584	.9336	.3839	66°	.9135	.4067	2.2460
22°	.3746	.9272	.4040	67°	.9205	.3907	2.3559
23°	.3907	.9205	.4245	68°	.9272	.3746	2.4751
24°	.4067	.9135	.4452	69°	.9336	.3584	2.6051
25°	.4226	.9063	.4663	70°	.9397	.3420	2.7475
26°	.4384	.8988	.4877	71°	.9455	.3256	2.9042
27°	.4540	.8910	.5095	72°	.9511	.3090	3.0777
28°	.4695	.8829	.5317	73°	.9563	.2924	3.2709
29°	.4848	.8746	.5543	74°	.9613	.2756	3.4874
30°	.5000	.8660	.5774	75°	.9659	.2588	3.7321
31°	.5150	.8572	.6009	76°	.9703	.2419	4.0108
32°	.5299	.8480	.6249	77°	.9744	.2250	4.3315
33°	.5446	.8387	.6494	78°	.9781	.2079	4.7046
34°	.5592	.8290	.6745	79°	.9816	.1908	5.1446
35°	.5736	.8192	.7002	80°	.9848	.1736	5.6713
36°	.5878	.8090	.7265	81°	.9877	.1564	6.3138
37°	.6018	.7986	.7536	82°	.9903	.1392	7.1154
38°	.6157	.7880	.7813	83°	.9925	.1219	8.1443
39°	.6293	.7771	.8098	84°	.9945	.1045	9.5144
40°	.6428	.7660	.8391	85°	.9962	.0872	11.4301
41°	.6561	.7547	.8693	86°	.9976	.0698	14.3007
42°	.6691	.7431	.9004	87°	.9986	.0523	19.0811
43°	.6820	.7314	.9325	88°	.9994	.0349	28.6363
44°	.6947	.7193	.9657	89°	.9998	.0175	57.2900
45°	.7071	.7071	1.0000	90°	1.0000	.0000	

فهرست منابع و مآخذ

1) Internal Cambustion Enqine in Theory and Prarctic By C.F.Taylor Vol , 1.2 , M.IT.PUBLLCATION 1966

2) Croore , W.H ".Small Enqrines , Operation Maintenance . New York Mc Graw Hill 1974

3) Automotive Hand book -1 از انتشارات دانشگاه امیرکبیر (بدون تاریخ)

۴ــ کتاب حساب فنی سال چهارم کد ۸۲۸ وزارت آموزش و پرورش

۵ــ کتاب حساب فنی سال سوم کد ۶۲۷ وزارت آموزش و پرورش