بسمه تعالی

دانشکده مهندسی مکانیک

دستور کار آزمایشگاه ترمودینامیک

پائیز ۱۴۰۲

آزمایش اول: تست نازل

هدف:

آشنایی با رفتار جریان قابل تراکم در یک نازل

شکل ۱: دستگاه نازل

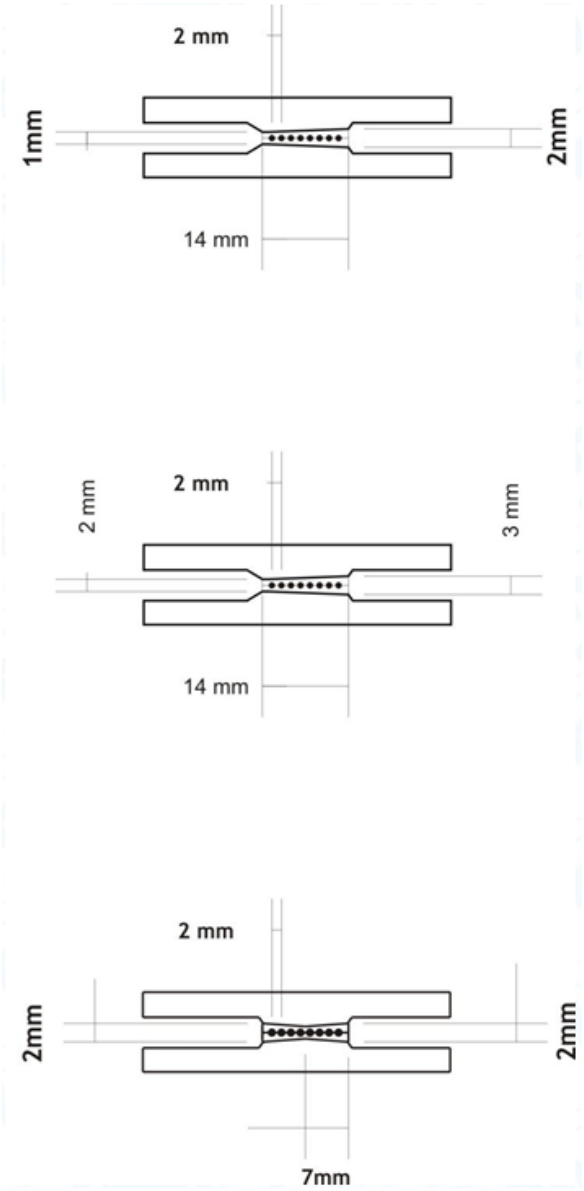
مقدمه:

معمولاً تمام سیالات تراکم پذیرند. اگر جرم مخصوص سیال در جریانی چندان تغییر نکند، می‌توان آن را جریان تراکم ناپذیر در نظر گرفت. برعکس اگر تغییرات جرم مخصوص سیال قابل اغماز نباشد، جریان تراکم پذیر خواهد بود. در جریان گازها، معمولاً وقتی سرعت جریان گاز، یا سرعت جسم و غوطه ور در گاز، برابر و یا بیشتر از سرعت صوت در همان گاز باشد، تغییرات جرم مخصوص زیاد و جریان تراکم پذیر در نظر گرفته می‌شود. همچنین در اثر تغییر سرعت ناگهانی گاز و یا تغییر ارتفاع خیلی زیاد آن، باز جریان تراکم پذیر خواهد بود سرعت صوت بر حسب خواص ترمودینامیکی تعریف می‌شود و اهمیت عدد ماخ به عنوان یک متغیر در جریان تراکم پذیر، مورد توجه است. یک شیپوره (Nozzle) وسیله‌ای است که انرژی جنبشی سیاره را در

یک فرایند آدیاباتیک افزایش می‌دهد. افزایش انرژی جنبشی باعث کاهش فشار می‌شود و به دلیل تغییر در سطح مقطع جریان، به وجود می‌آید.

شرح دستگاه

دستگاه تست نازل، دارای سه نوع نازل همگرا، واگرا و همگرا-واگرا می‌باشد که در مسیر جریان هوای فشرده بر روی هر نازل ۸ نقطه به طول فاصله طولی ۲ mm از هم وجود دارد که فشار این نقاط توسط ۸ گیج فشار شماره گذاری شده از سمت چپ، نمایش داده می‌شود نقشه نازل‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه نازل‌های مورد استفاده در دستگاه

نحوه نصب نازل روی دستگاه:

نازل توسط دو مهره به دو لوله ورودی و خروجی هوا متصل می‌شود همچنین به منظور ارتباط ۸ نقطه مشخص روی نازل با گیج‌های مربوطه، شیلنگ‌های هیدرولیک به ترتیب داخل فیتینگ‌های پنوماتیک واقع بر نقاط قرار داده شده و با کمی فشار در جای خود محکم می‌شوند. برای بیرون آوردن شیلنگ‌ها از داخل فیتینگ‌ها هم زمان، با فشار دادن قطعه پلاستیکی فیتینگ پنوماتیک شیلنگ بیرون آورده می‌شود.

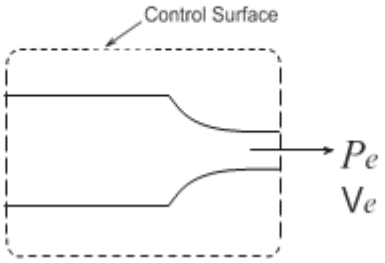
روش کار با دستگاه:

۱. کمپرسور تا فشار حدود ۵ الی ۶ بار شارژ شود.
۲. نازل مطابق روش گفته شده در قسمت نحوه نصب نازل، روی دستگاه نصب می‌شود.
۳. کمپرسور به وسیله شیلنگ هیدرولیک به قسمت ورودی هوای دستگاه متصل می‌شود.
۴. به وسیله کلید on/off دستگاه روشن می‌شود.
۵. توسط شیر قطع و وصل هوا، جریان برقرار می‌گردد.
۶. فشار ورودی به وسیله شیر تنظیم دبی هوا تنظیم می‌شود.
۷. دو گیج فشار، با محدوده اندازه‌گیری ۱۰-۰ بار، فشار هوای ورودی به ناظر و فشار هوایی خروجی از نظر را نشان می‌دهد.
۸. فشار نقاط ۱ تا ۸ نازل از روی گیج‌های ۱ تا ۸ با محدوده اندازه‌گیری ۱- بار تا ۹ بار قابل رویت است.
۹. دمای ورودی و خروجی نازل، توسط سنسورهای دمایی اندازه‌گیری شده و به وسیله نمایشگرهای دیجیتال دما با دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد نمایش داده می‌شود.
۱۰. دبی هوای خروجی از نازل به وسیله فلومتر بر حسب (m^3/hr) اندازه‌گیری می‌شود.

تئوری:

شیپور (نازل نشان داده شده در شکل ۱ را در نظر بگیرید و فرایند را یک بعدی، آدیاباتیک با جریان پایدار - حالت پایدار برای یک سیال تراکم پذیر فرض کنید.

شیپوره (نازل) نشان داده شده در شکل (1) را در نظر بگیرید و فرایند را یک‌بعدی، آدیاباتیک با جریان پایدار- حالت پایدار برای یک سیال تراکم پذیر فرض کنید.



شکل ۱- طرح یک نازل

اثر تغییر سطح مقطع در جریان‌های ایزنتروپیک یک بعدی:

برای یک جریان ایزنتروپیک می‌توان نشان داد که تغییرات فشار سیال بر حسب مساحت جریان به شکل زیر است:

$$\frac{dA}{A} = \frac{dP}{\rho V^2}(1 - M^2) \qquad (۱)$$

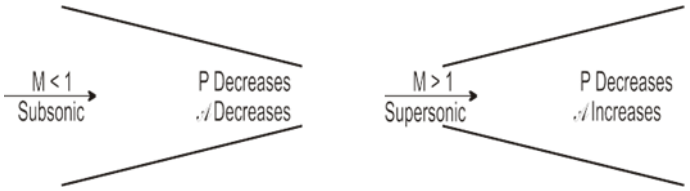
معادله (1) بسیار مهم است، زیرا از آن می‌توان نتایج زیر را در مورد شکل صحیح شیپورها را پخش کننده‌ها به دست آورد.

برای یک شیپوره، $dP < 0$ است، بنابراین:

برای یک شیپوره فروصوت، $M < 1$, $dA < 0$ و شیپوره همگرا است.

برای یک شیپوره فراصوت، $M > 1$, $dA > 0$ و شیپوره واگرا است.

هنگامی که $M = 1$ بوده و $dA = 0$ باشد دستیابی به سرعت صوت تنها در گلوگاه یک شیپوره امکان‌پذیر است، این نتایج در شکل زیر خلاصه شده‌اند.



شکل ۲- تغییر مساحت لازم برای شیپورها

$$\frac{dV}{V} = \left(\frac{-1}{1-M^2}\right)\frac{dA}{A} \qquad (۲)$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = (-M^2)\frac{dV}{V} \quad (۳)$$

$$\frac{dP}{P} = \left(\frac{kM^2}{1-M^2}\right)\frac{dA}{A} \quad (۴)$$

$$\frac{dT}{T} = \left(\frac{(k-1)M^2}{1-M^2}\right)\frac{dA}{A} \quad (۵)$$

روابط مربوط به جریان ایزنتروپیک گاز ایده آل:

در بررسی مسائل مربوط به جریان، بسیاری از مطالب و معادلات را می‌توان با معرفی مفهوم حالت سکون ایزنتروپیک و خواص مربوط به آن ساده کرد. حالت سکون ایزنتروپیک حالتی است که سرعت آن در یک فرایند آدیاباتیک به صفر می‌رسد. در این قسمت روابط بین مشخصه‌های جریان بر حسب شرایط سکون را بیان می‌کنیم:

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{K-1}{2}M^2 \quad (۶)$$

برای یک فرایند ایزنتروپیک داریم:

$$\left(\frac{T_0}{T}\right)^{k/(k-1)} = \frac{P_0}{P} \quad , \quad \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/(k-1)} = \frac{\rho_0}{\rho} \quad (۷)$$

بنابراین:

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \frac{(k-1)}{2}M^2\right]^{k/(k-1)} \quad (۸)$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left[1 + \frac{(k-1)}{2}M^2\right]^{1/(k-1)} \quad (۹)$$

شرایط در گلوگاه شیپور را می‌توان با توجه به این مطلب که در گلوگاه $M = 1$ می‌باشد پیدا کرد خواص در گلوگاه با علامت * مشخص شده‌اند.

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1} \quad (۱۰)$$

$$\frac{P^*}{P_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)} \quad (11)$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)} \quad (12)$$

وقتی در گلوگاه $M = 1$ باشد، این خواص را غالباً به عنوان فشار بحرانی، درجه حرارت بحرانی و چگالی بحرانی می‌شناسند. نسبت‌های داده شده در معادلات (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) نسبت درجه حرارت بحرانی، نسبت فشار بحرانی و نسبت چگالی بحرانی نامیده می‌شوند. جدول ۱، این نسبت‌ها را برای مقادیر مختلف k نشان می‌دهد.

جدول ۱- نسبت‌های فشار، چگالی درجه حرارت بحرانی برای ایزنتروپیک یک گاز ایده آل

	K=1.1	K=1.2	K=1.3	K=1.4	K=1.67
$\frac{P^*}{P_0}$	0.5847	0.5644	0.6276	0.5283	0.4867
$\frac{\rho^*}{\rho_0}$	0.6139	0.6209	0.6276	0.6340	0.6497
$\frac{T^*}{T_0}$	0.9524	0.9091	0.8696	0.8333	0.7491

جریان ایزنتروپیک در شیپوره همگرا

شیپوره‌ای همگر نظیر شکل (۳-الف) را در نظر می‌گیریم که در آن جریان ایزنتروپیک و همگرا وجود داشته باشد. سرعت جریان را در قسمت بالا دست، به علت اندک بودن در مقابل سرعت جریان در گلوگاه، برابر با صفر فرض می‌کنیم و فشار را در آن به P_0 نمایش می‌دهیم. اگر فشار در قسمت خروجی شیپوره تا مقدار P_b کاهش یابد، می‌توانیم منحنی تغییرات فشار در داخل شیپوره را بر حسب مقدار فشار P_b (شکل۳-ب، منحنی‌های a تا e) رسم کنیم. در این صورت با ساده سازی معادله انرژی، به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\frac{V}{c} = \left\{\frac{2}{K-1}\left[\left(\frac{P_0}{P}\right)^{(k-1)/k} - 1\right]\right\}^{1/2} \quad (۱۳)$$

در رابطه بالا V سرعت جریان و C سرعت صوت است می‌بینیم که نسبت سرعت جریان به سرعت صوت در هر مقطع فقط تابع $\frac{P_0}{P}$ است.

اگر دبی جریان را به $\dot{m}$ نمایش دهیم، مقدار آن به ازای واحد سطوح گلوگاه برابر می‌شود با:

$$G = \frac{\dot{m}}{A}\rho A = \sqrt{\frac{KP}{\rho}.\rho^2 \frac{2}{K-1}\left[\left(\frac{P_0}{P}\right)^{k-1/k} - 1\right]} \qquad (۱۴)$$

رابطه (۱۴) را با در نظر گرفتن رابطه (۷)، می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$G = \frac{\dot{m}}{A}\rho A = \frac{2}{K-1} P_0 \rho_0 \left[\left(\frac{P}{P_0}\right)^{2/k} - \left(\frac{P}{P_0}\right)^{K+1/k}\right] \qquad (۱۵)$$

یعنی دبی جرمی واحد سطح گلوگاه نیز فقط تابعی از $\frac{P}{P_0}$ است منحنی تغییرات $\frac{\dot{m}}{\dot{m}_{max}}$ نسبت به $\frac{P_b}{P_0}$ مطابق منحنی c در شکل (۳-ج) است که می‌بینیم اگر $\frac{P_b}{P_0}$ برابر با 1/0 باشد، هیچ جریانی از شیپور عبور نمی‌کند، مقدار $\dot{m}$ برابر با صفر می‌شود و فشار با x در طول شیپوره تغییر نمی‌کند. با کم شدن P_b از P_0، به تدریج بر دبی جرمی اضافه می‌شود، در این جریان زیر صوت، فشار استاتیک با x کاهش می‌یابد. هرچه پس فشار، کاهش بیشتری داشته باشد، سرعت در صفحه خروجی شیپوره افزایش می‌یابد تا اینکه نهایتاً به سرعت صوت می‌رسد (منحنی c). در این حالت دبی جرمی به مقدار حداکثر می‌رسد، جریان در شیپوره همگرا نمی‌تواند به سرعتی بیش از سرعت صوت شتاب داده شود. کاهش پس فشار به مقدار کمتر از مقدار مربوط به منحنی c (منحنی صوت) باعث ایجاد خفگی در شیپوره می‌شود. تحت این شرایط عدد ماخ در صفحه خروجی برابر 1 می‌شود و مقدار فشار و دما در صفحه خروجی شیپور برابر فشار و دمای بحرانی خواهد بود. جریان در بالا دست گلوگاه فروصوتی است و نسبت A/A^* از جدول جریان ایزنتروپیک گاز کامل به دست می‌آید و سیال پس از خروج از شیپور تحت شرایط فراصوتی منبسط می‌شود تا فشار آن از P^* به P_b برسد.

اگر نسبت فشار بحرانی را در رابطه (۱۵) قرار دهیم، حداکثر دبی جرمی (دبی بحرانی) برابر خواهد شد با:

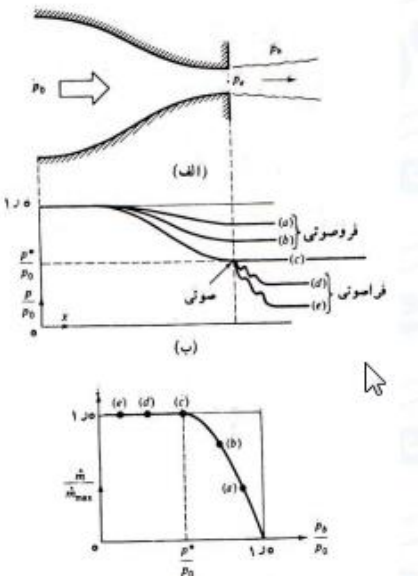
$$\dot{m}_{max} = \dot{m}_c = \rho_c V_c A_c = A_c\sqrt{KP_0\rho_0}\left(\frac{2}{K+1}\right)^{K+1/2(K-1)} \qquad (۱۶)$$

رابطه فوق به ازای $K = 1.4$ به صورت زیر در می‌آید:

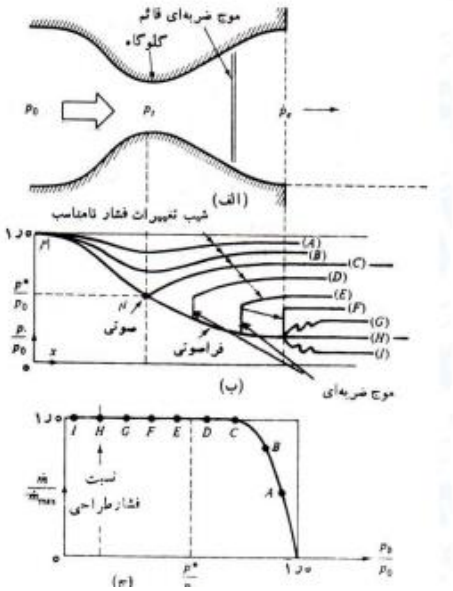
$$\dot{m}_{\max} = \frac{0.6847 P_0 A_C}{\sqrt{RT_0}} \qquad (۱۷)$$

وقتی فشار در پایین دست شیپوره (P_b) از فشار بحرانی بیشتر باشد (نظیر حالت a و b در شکل 3-ب)، جریان در سرتاسر شیپور فر وصوتی و فشار در مقطع خروجی شیپوره (P_c)، برابر با فشار قسمت خارج آن (P_b) است، دبی جرمی که در این حالت از حداکثر دبی جرمی کمتر است و مقدار آن که بر روی منحنی (3-ج) نشان داده شده است، از رابطه (15) به دست می‌آید.

به طور کلی جریان تراکم پذیر در شیپوره همگرا را می‌توان به دو منطقه تقسیم کرد در منطقه اول $P^*/P_0 \leq P_b/P_0 \leq 1$ است و جریان ایزنتروپیک و $P_c = P_b$ است، اما در منطقه دوم $P^*/P_0 < P_b/P_0$ و جریان تا گلوگاه ایزونتروپیک و بعد از گلوگاه غیر ایزونتراپیک و $P_c = P^* > P_b$ است (شکل 3-ب).



شکل ۳- تغییرات فشار و دبی جرمی در شیپوره همگرا



شکل ۴- تغییرات فشار و دبی جرمی در شیپوره همگرا - واگرا

جریان ایزونتروپیک در شیپوره همگرا - واگرا:

برای تبدیل جریان فروصوتی به جریان فرا صوتی، لازم است سیال از حالت همگرا به حالت و اگر عبور کند، مشروط بر اینکه در مقطع گلوگاه که مقطع حداقل است، جریان بحرانی باشد، در غیر این صورت، جریان هم در قسمت همگرا و هم در قسمت واگرا، فروصوتی خواهد بود.

اگر در بررسی جریان تراکم‌پذیر در داخل یک شیپور همگرا - واگرا (شکل 4 - الف)، از سرعت بالا دست جریان چشم پوشی کنیم، مقدار فشار در آن مقطع ثابت (P_0)، ولی در قسمت پایین دست مقطع خروجی شیپوره (P_b) متغیر خواهد بود.

اگر فشار P_b برابر با فشار P_0 باشد، جریانی صورت نمی‌گیرد و فشار در سرتاسر شیپور همان فشار P_0 را خواهد داشت؛ پس نسبت $P/P_0 = 1$ خواهد بود و نمودار تغییرات P/P_0 بر حسب x به صورت خطی مستقیم در می‌آید (شکل 4-ب) هر گاه فشار پایین دست شیپوره (P_b) به تدریج کاهش یابد، مقدار فشار در مقطع خروجی شیپوره (P_c) نیز کاهش پیدا می‌کند و اگر سرعت جریان در هیچ مقطعی از شیپوره به سرعت بحرانی (صوتی نرسد، اثر کاهش فشار به قسمت دست سرایت می‌کند و افت فشار بیشتری را در گلوگاه سبب می‌شود، کاهش فشار در این حالت (منحنی‌های A و B)، به اندازه‌ای نیست که در گلوگاه جریان صوتی ایجاد کند، لذا در سرتاسر شیپوره جریان از نوع فروصوتی است و فشار خروجی برابر با $P_c = P_b$ است. مشخصه‌های مختلف جریان سیال در این حالت با استفاده از روابط جریان ایزونتروپیک فرو صوتی یا جدول جریان تراکم پذیر ایزونتروپیک که در پیوست کتاب‌های ترمودینامیک، مکانیک سیالات و دینامیک گازها موجود می‌باشد، به دست می‌آیند.

اگر مقدار فشار P_b باز هم کاهش یابد، تا آنجا که فشار در گلوگاه به P^* برسد (منحنی C در شکل 4-ب)، A_c/A_0 درست برابر با A_c/A^* خواهد بود که به ازای عدد ماخ M_c از جدول جریان تراکم پذیر ایزونتروپیک قابل محاسبه است، جریان در گلوگاه بحرانی می‌شود و دبی جرم به حداکثر خود می‌رسد (شکل 4-ج)، در این حالت جریان در سایر قسمت‌های شیپوره فروصوتی $P_c = P_b$ است.

اگر P_b به مقدار بیشتری کاهش یابد (منحنی‌های D تا F) در قسمت واگرا امواج ضربه‌ای تشکیل می‌شوند که به سمت بالا دست جریان حرکت خواهند کرد این امواج بر شرایط جریان در قسمت واگرا تاثیر می‌گذارند ولی در قسمت همگرا اثری ندارند و مقدار فشار در گلوگاه نیز برابر همان مقدار بحرانی خواهد بود، یعنی شرایط جریان در گلوگاه صوتی است به طوری که منحنی MN در قسمت همگرا تغییر نمی‌کند.

اگر مقدار فشار P_b تا میزان P_H کاهش یابد نسبت P_b/P_0 بر مقدار A_c/A^* منطبق خواهد بود که از جدول جریان تراکم پذیر آیزنتروپیک به ازای عدد ماخ M_c فرا صوتی به دست می‌آید. توزیع فشار در این حالت، نظیر منحنی MNH خواهد بود. جریان سیال در این حالت در سرتاسر شیپور تسریعی است، به طوری که در قسمت همگرا فروصوتی، در گلوگاه بحرانی و در قسمت واگرا صوتی خواهد بود. در این حالت که نسبت فشار طراحی مرسوم است، موجود موجی تشکیل نمی‌شود و مقدار دبی جرمی با استفاده از فرمول مربوط به حداکثر دبی قابل محاسبه است.

برای یک نسبت مساحت مشخص A/A^* دو حل آیزنتروپیک امکان‌پذیر است، یکی زیر صوت و دیگری فراصوت، برای عدد ماخ در گلوگاه، جریان زیر صوت می‌تواند کند شود تا به سرعت زیر صوت در خروجی برسد یا اینکه به شتاب خود ادامه دهد تا به سرعت فر و صوت در خروجی برسد. منحنی C مربوط به جریان زیر صوت در خروجی است. در حالی که منحنی H مربوط به جریان فراصوت در صفحه خروجی است. بنابراین چنانچه پس فشار تا حدود مربوط به منحنی H کاهش داده شود، فشار در هر دو قسمت همگرا و واگرای شیپوره کاهش می‌یابد و جریان در صفحه خروجی فراست خواهد بود. برای پس فشارهای بین مقدارهای مربوط به منحنی‌های C و H یافتن جواب برای معادله‌های حرکت یک بعدی و آیزنتروپیک غیر ممکن است. این جریان‌ها مستلزم وجود امواج ضربه‌ای هستند که فرایندهای برگشت ناپذیرند.

روش انجام آزمایش:

دستگاه کمپرسور را به ورودی متصل و کمپرسور را روشن نمایید. دقت کنید که فشار ورودی حداقل 2 bar باشد. دستگاه دارای سه نازل همگرا، همگرا با گوشه‌های گرد و هم گرا - واگرا می‌باشد. یکی از نازل‌ها را به

ورودی و خروجی در مکان معین نصب نموده، اتصالات گیج‌ها را نیز به ترتیب شماره گذاری برقرار نمایید. به وسیله کلید on/off دستگاه را روشن نموده، سپس توسط شیر قطع و وصل سریع هوا، جریان را برقرار کنید. فشار ورودی را به وسیله شیر تنظیم دبی هوا روی فشار مورد نظر تنظیم کنید.

پس از برقراری جریان در نازل، اعداد روی گیج‌ها فشار و دما، و همچنین دبی هوای خروجی را خوانده و در جدول شماره (۱) یادداشت نمایید.

آزمایش را برای نازل همگرا نیز تکرار نمایید.

جدول ۲- نتایج آزمایش

نازل شماره ۱	نازل شماره ۲	نازل شماره ۳	
			فشار ورودی نازل $P_{\mathrm{i}}(\mathrm{bar})$
			فشار بعد از خروجی نازل $P_{\mathrm{b}}(\mathrm{bar})$
			دمای ورودی به نازل $T_1(^{\circ}\mathrm{C})$
			دمای هوای خروجی از نازل $T_2(^{\circ}\mathrm{C})$
			$\mathrm{P}_1(bar)$
			$\mathrm{P}_2(bar)$
			$\mathrm{P}_3(bar)$
			$\mathrm{P}_4(bar)$
			$\mathrm{P}_5(bar)$
			$\mathrm{P}_6(bar)$
			$\mathrm{P}_7(bar)$
			$\mathrm{P}_8(bar)$
			دبی هوا $\left(m^3/_{hr}\right)$

خواسته‌های آزمایش:

۱. منحنی نمایش توزیع فشار در طول شیپوره را برای هر سه نوع شیپوره رسم کنید.

۲. منحنی نمایش تغییرات سرعت، دما و عدد ماخ در طول شیپوره را رسم کنید.

۳. چرا عدد ماخ گلوگاه نمی‌تواند بیشتر از یک شود؟

۴. کاربرد شیپوره در صنایع مختلف را نام ببرید؟

آزمایش دوم: معادل مکانیکی گرما

۱- هدف

مرور آزمایش ژول برای برقراری رابطه بین کار و گرما و بررسی قانون اول ترمودینامیک

شکل ۱ : دستگاه معادل مکانیکی حرارت

۲- مقدمه

در اواسط قرن هجدهم که برای اولین بار موضوع گرماسنجی مطرح شد مناسب ترین واحد گرما کالری نامیده شد و به صورت "مقدار گرمای لازم برای بالا بردن دمای یک گرم آب به اندازه یک درجه سانتیگراد" تعریف شد. بعدها پس از کشف اینکه گرمای ویژه آب به دما بستگی دارد کالری به صورت "گرمای لازم برای بالا رفتن دما از ۱۴/۵ به ۱۵/۵ درجه سانتیگراد" تعریف شد.

مقدار کاری که صرف می‌شود تا آب از دمای ۱۴/۵ درجه سانتیگراد به ۱۵/۵ درجه سانتیگراد رسانده شود معادل مکانیکی گرما نامیده و با J نمایش داده می‌شود.

$$\mathrm{J} = ۴.۱۸۶۸ \frac{\mathrm{Kj}}{\mathrm{Kcal}} = ۷۷۸ \frac{\mathrm{lbf}}{\mathrm{btu}}$$

و یا

$$۱(\mathrm{cal}) = ۴.۱۸۶(\mathrm{J})$$

در دهه ۱۹۲۰ دانشمندان متوجه شدند اندازه‌گیری معادل مکانیکی گرما در حقیقت اندازه‌گیری گرمای ویژه آب است، وقتی که واحد حرارت ژول باشد از آنجا که گرما شکلی از انرژی و ژول یک واحد جهانی برای انرژی

است، کالری زائد به نظر می‌رسد. بنابراین در مجموعه بزرگی از جداول ثابت‌های فیزیکی که در آن زمان منتشر شده بود، همه کمیت‌های گرمایی نظیر ظرفیت‌های گرمای ویژه و مولی، بر حسب ژول بیان شدند، معلوم شد که این اقدام قدری زود بوده است. به این علت که فیزیکدان‌ها و شیمیدان‌ها ترجیح می‌دادند بر حسب کالری کار کنند و وقتی که روش الکتریکی در گرماسنجی به کار گرفته شد و کمیت‌های گرمایی بر حسب ژول اندازه‌گیری شدند، آنان اندازه‌ها را باز تبدیل به کالری می‌کردند.

با توجه به فرم کمی قانون اول در مورد سیکل‌ها $Q \oint \delta = \oint \delta W$ ، اگر حرارت متبادله و کار انجام گرفته در یک واحد بیان نشود (کار بر حسب ژول و گرما بر حسب کالری) در آن صورت می‌توان نوشت:

$$\oint \delta W = j \oint \delta Q$$

امروزه کالری در بین شیمیدان‌ها و فیزیکدان‌ها در حال مطرود شدن است و تمام کمیت‌های گرمایی لااقل در دماهای خیلی پایین و خیلی بالا بر حسب ژول بیان می‌گردند. به عبارت دیگر معادل مکانیکی گرما وجود ندارد، بلکه در عوض گرمای ویژه آب بر حسب $kj/kg.K$ وجود دارد.

نظر به اینکه در این دستگاه با استفاده از انرژی الکتریکی ابتدا کار تولید می‌شود و سپس با ایجاد اصطکاک کار مذکور به گرما تبدیل می‌گردد، لذا عنوان دستگاه معادل مکانیکی گرما نامیده می‌شود.

۳- روش کار با دستگاه

۱. توسط یک سرنگ یا ظرف مدرج مقدار دلخواه آب از طریق حفره محل عبور سنسور دما به درون استوانه برنجی ریخته می‌شود.

۲. سنسور دما طوری بر روی : پایه نصب می شود که با بدنه برنجی تماس نداشته باشد و نوک حساس آن درون آب قرار گیرد.

۳. به وسیله کلید ON/OFF دستگاه روشن می‌شود.

۴ مقدار نیرو به وسیله نیرو سنج (لودسل) اندازه‌گیری شده و توسط نمایشگر نیرو بر حسب گرم (gr) نمایش داده می‌شود. قبل از شروع آزمایش با فشردن کلید "صفر نمایشگر نیرو" مقدار نیروی نشان داده شده صفر می‌شود.

۵. توسط ولوم کنترل دور موتور میتوان دور موتور را روی عدد دلخواه تنظیم نمود نمایشگر دیجیتال مقدار دور را بر حسب RPM دور بر دقیقه نمایش می‌دهد.

۶ وزنه‌ها روی کفه بارگذاری قرار داده می‌شوند.

۷. دمای آب درون استوانه برنجی به وسیله سنسور دما اندازه‌گیری می‌شود.

۸. به وسیله کرنومتر مدت زمان افزایش دما به اندازه $1^{\circ}C$ اندازه‌گیری می‌شود.

۴- معرفی پارامترها

نیروی اندازه‌گیری شده توسط نیروسنج (N)

f : نیروی ناشی از اصطکاک تسمه روی سطح استوانه برنجی (N)

m: جرم اعمال شده (kg)

g: شتاب جاذبه محل به واحد ($^{m}/_{s^{۲}}$) عموماً (۹/۸۰۷ - ۹/۸)

N : سرعت دورانی استوانه به واحد (rpm) که از نشانگر دور خوانده می‌شود.

ω: سرعت زاویه‌ای $\omega = \frac{۲\pi}{۶۰}\mathrm{N}(^{rad}/_{Sec})$

r: شعاع استوانه برنجی بازوی) کارگر که برابر $۵۸mm$ می‌باشد.

C: گشتاور اعمالی از استوانه به تسمه در اثر اصطکاک بر حسب (N. m)

Δt : فاصله زمانی افزایش دمای آب به اندازه ۱°C بر حسب ثانیه (sec)

ΔT : اختلاف دمای آب برحسب درجه سانتیگراد (اندازه گیری شده توسط سنسور دما و قابل مشاهده در نمایشگر درجه حرارت روی دستگاه).

۵- محاسبات براساس اندازه‌گیری‌ها

موازنه نیروها : $\mathrm{F} + \mathrm{f} = \mathrm{mg}$

گشتاور با تبدیل شعاع از mm به m : $\mathrm{C} = \int \mathrm{rdf} = \mathrm{f.r} = \frac{۶۰}{۱۰۰۰}\mathrm{f}$

توان مکانیکی : $\mathrm{W} = \mathrm{C}.\omega = \frac{۲\pi}{۶۰}.\mathrm{C} = \frac{۲\pi \mathrm{N}}{۶۰}.\mathrm{f}\frac{۶۰}{۱۰۰۰} = \left(۶.۲۳\right)\left(۱۰\right)^{-۳}\ \mathrm{N.f}$

کار ورودی به واحد (j) : $\mathrm{W} = \mathrm{W}.\Delta\mathrm{t} = \left(۶.۲۳\right)\left(۱۰\right)^{-۳}\ \mathrm{N.f}.\Delta\mathrm{t}$

گرمای تولیدی ناشی از اتلاف اصطکاکی کار ورودی : $\mathrm{Q} = [(\mathrm{mc})_{\mathrm{W}} + (\mathrm{mc})_{\mathrm{C}}]\Delta\mathrm{T}$

$(\mathrm{mc})_{\mathrm{W}}$: ظرفیت گرمایی آب داخل استوانه

جرم آب استوانه (در صورتی که حجم آن ۵۰cc باشد) : $\mathrm{m_W} = \rho_{\mathrm{W}}\mathrm{V_W} = \left(۱۰۰۰\right)\left(۵۰\right)\left(۱۰\right)^{-۶} = ۰.۰۵(\mathrm{kg})$

گرمای ویژه آب $C_W = 4.187\frac{kj}{kg - ℃} = 1\frac{kcal}{kg - ℃}$

$(mc)_c$: ظرفیت حرارتی ظرف استوانه برنجی

جرم ظرف استوانه : $m_c = ۸۸۰(gr)$

گرمای ویژه ظرف استوانه برنجی: $C_C = ۰.۳۸۵\frac{kj}{kg-℃} = ۰.۰۹۲\frac{kcal}{kg-℃}$

ارزش آبی کالریمتر(در صورتی که حجم آب ۵۰cc باشد.) $[(\mathrm{mc})_\mathrm{W} + (\mathrm{mc})_\mathrm{C}] = ۰.۱۰۴\frac{kcal}{℃}$

۶- روش انجام آزمایش

۱. با کسب اطمینان از خالی بودن استوانه دوار، توسط یک سرنگ یا ظرف مدرج از طریق سوراخ محل عبور سنسور دما به مقدار دلخواه آب وارد آن کنید.

۲ سنسور دما را طوری تنظیم کنید که درون آب باشد و با بدنه برنجی تماس نداشته باشد.

۳. به وسیله کلید ON/OFF دستگاه را روشن نمایید.

۴. وزنه‌ها را از روی کفه بردارید و کفه را با دست بلند کنید تا تسمه کاملاً شل شود. در این حالت کلید صفر نمایشگر نیرو را فشار دهید.

۵. توسط ولوم تنظیم دور موتور چرخش استوانه شروع می‌شود دور موتور را بر روی مقدار دلخواهی تنظیم نمایید. (اگر مدت زمان توقف دستگاه زیاد بوده باشد و محیط آزمایشگاه سرد باشد احتمالاً اینرسی اولیه و لزجت زیاد روغن روانکاری مانع از شروع گردش گردد).

(جهت چرخش با دید از سمت الکتروموتور به پولی - در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد. آنهم همسو با بلند شدن وزنه‌ها خواهد بود.)

۶. در حدود چند دقیقه صبر کنید تا اولاً دمای آب و ظرف استوانه‌ای با هم و با دمای محیط به برابری برسد. ثانیاً بلبرینگ‌های محور استوانه به صورت روان عمل کند و تشخیص روان شدن روغن بلبرینگ‌ها، افزایش دور محور می‌باشد که توسط سنسور دور حس شده و در نشانگر دور ملاحظه می‌شود.

۷. سرعت دورانی محور را روی دور مورد نظر تثبیت کنید (حداکثر ۱۸۰ دور بر دقیقه (RPM)).

۸. وزنه مناسبی را روی کفه بارگذاری قرار دهید.

۹. کلید کرنومتر را بزنید و زمان لازم برای افزایش دما به اندازه یک درجه سانتیگراد را ثبت نمایید.

۱۰. آزمایش را برای چند سرعت دورانی دیگر تکرار کنید.

دقت کنید که اگر آزمایش را برای دماهای بالاتر انجام دهید خطای زیادی در نتایج وارد خواهد شد. چون در آن صورت انتقال حرارت از استوانه به محیط برقرار خواهد شد و چون معیار دقیقی برای محاسبه آن وجود ندارد. لذا دستیابی به نتایج دقیق تر مشکل خواهد شد.

جدول (۱)

شماره آزمایش	T_1	T_2	ΔT	Δt	$N(RPM)$	$Q(cal)$	$W(J)$	عدد تجربی(J/cal)
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								

۷- تحقیق در صحت نتیجه

با توجه به فرم کمی قانون اول در مورد سیکل‌ها $\oint \delta W = \mathrm{Q} \oint \delta$ اگر حرارت تبادله و کار انجام گرفته در یک واحد بیان نشود، در آن صورت می‌توان نوشت:

$$\oint \delta W = j \oint \delta \mathrm{Q}$$

که در اینجا (j) را معادل مکانیکی حرارت می‌گویند و مقدار آن عبارتست از:

$$\mathrm{J} = ۴.۱۸۶۸ \frac{\mathrm{Kj}}{\mathrm{Kcal}} = ۷۷۸ \frac{\mathrm{lbf}}{\mathrm{btu}}$$

ضمناً عکس ژول را معادل حرارتی کار می‌نامند که با A نمایش می‌دهند.

$$\mathrm{A} = ۰.۲۳۸۸ \frac{\mathrm{Kcal}}{\mathrm{Kj}}$$

حال اگر سیستمی داشته باشیم که کل کار ورودی آن فقط به حرارت تبدیل شود می‌توان رابطه فوق را به این صورت نوشت: $\mathrm{W} = \mathrm{JQ}$ و در این آزمایش هم با اضافه کردن وزنه و دوران دادن استوانه و اندازه‌گیری زمان، توان مکانیکی محاسبه شده و با اندازه‌گیری افزایش دمای آب که در عین حال افزایش دمای استوانه برنجی دوار هم به همان میزان می‌باشد. مقدار گرمای اصطکاکی را محاسبه می‌کنیم؛ به شرطی که با محیط تبادل گرمایی صورت نگیرد و به این منظور دمای اولیه و ثانویه آب و استوانه هم بایستی نزدیک به دمای محیط باشد.

نظر به اینکه در تابستان دمای آب شهر کمتر از دمای محیط می‌باشد لذا قبل از شروع آزمایش اجازه دهید که با چرخیدن استوانه و آب داخل آن هر دو به دمای محیط برسند. سپس وزنه‌گذاری و اعمال اصطکاک را شروع کنید.

نهایتاً با انجام محاسبات خطای مقدار را نسبت به عدد ۴/۱۸۶۸ بدست آورید.

لازم به توضیح است که اسم این دستگاه کالریمتر - ژول می‌باشد.

۸- سؤالات

۱- با توجه به قانون اول در مورد سیستم $Q_{۱۲} = W_{۱۲} + \Delta E$ و ثابت بودن سرعت دوران که انرژی جنبشی مربوطه بلاتغییر خواهد شد، یعنی $Q_{۱۲} = W_{۱۲} + \Delta U$ مقدار گرمای محاسبه شده بیانگر کدام جمله از معادله رابطه صحیح قانون اول در مورد آزمایش چگونه خواهد بود؟

۲- نمودار کار بر حسب گرما را رسم کنید.

آزمایش سوم: بمب کالریمتر

۳-۱- هدف از آزمایش

به دست آوردن ارزش حرارتی سوخت (بنزین)

۳-۲- شرح دستگاه و نحوه کار با آن

اجزای تشکیل دهنده بمب عبارتند از:

- محفظه آب دستگاه
- محفظه بمب
- سیستم جرقه
- ترمومتر دیجیتالی
- کپسول اکسیژن دارای گیج تنظیم فشار خروجی اکسیژن

۳-۳- نکاتی درباره طرح دستگاه

می‌توان ادعا کرد که این دستگاه انجام آزمایشات ارزش حرارتی را برای سوخت بسیار آسان می‌سازد. پایه این دستگاه یونیت کوچکی را تشکیل می‌دهد که کاملا از نظر تعادل پایدار بوده و میله‌های احتراق و نگهدارنده بوته را حمل می‌کند. این موضوع باعث می‌گردد که هر دو دست آزاد بوده و جهت تنظیم سیم احتراق و قرار دادن بوته در نگهدارنده مورد استفاده قرار گیرند. عملکرد دستگاه بدین شرح است که داغ شدن وایر احتراق باعث انفجار سوخت می‌شود. هم‌چنین حلقه‌های لاستیکی کاملا بسته و کیپ بوده و به هر حال آسیبی نخواهد دید. تجربه نشان داده است که حلقه‌ها دارای عمر خیلی طولانی بوده و برای چند صد آزمایش قابل بهره‌برداری خواهند بود. سوپاپی که جهت ورود اکسیژن برای احتراق بکار برده می‌شود از نظر طرح ساده می‌باشند تا در استفاده از آن‌ها مشکلی وجود نداشته باشد. بایستی توجه داشت که سوپاپ ورودی غیر برگشت فقط اکسیژن خالی را عبور می‌دهد و بدین‌ترتیب مجراها کاملا تمیز نگهداری می‌شوند. برای بازو بسته کردن درب پیچی بمب هم با توجه به عایق بندی مناسب ، نیروی زیادی لازم نمی‌باشد و فشار دست برای این کار کافی می باشد. دستگاه طوری طرح و ساخته شده که انجام آزمایش مورد نظر را حتی‌الامکان ساده و آسان می‌کند.

۳-۴- روش به دست آوردن ارزش حرارتی سوخت

برای بدست آوردن ارزش حرارتی ، باید موارد زیر جزء معلومات مسأله باشد.

M = جرم آب درون دستگاه

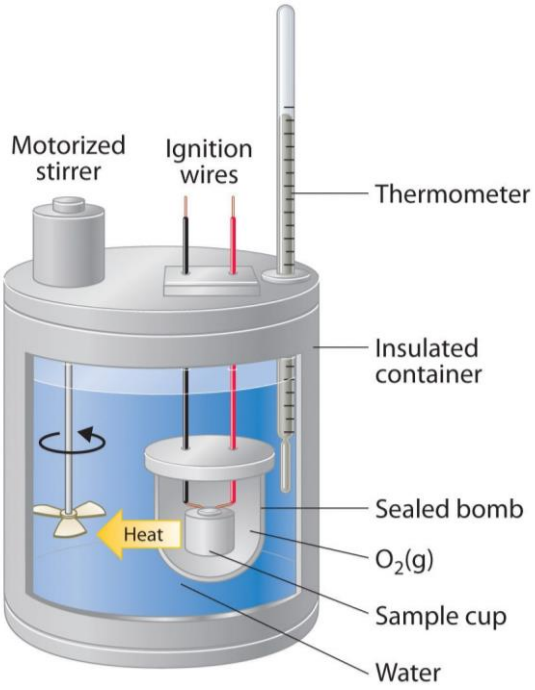
ΔT = (دما در شرایط دائم قبل از انفجار- دمای ماکزیمم قرائت شده)

$MC\Delta T$ = ارزش حرارتی ۱ گرم سوخت (بنزین)

در رابطه بالا C ظرفیت گرمایی ویژه آب، M مقدار آب و ΔT اختلاف میان بیشینه دما و دمای اولیه آب است.

۳-۵- روش انجام آزمایش

قبل از پر کردن بمب دقت داشته باشید که محل قرارگیری سوخت درون بمب به طور کامل تمیز باشد. حدود ۱ سی‌سی سوخت داخل محفظه بریزید. در صورتی که سیم مسی در آزمایش سوخته یا پاره شده است، آن را به آرامی تعویض نموده و بمب را بر روی مـیز کار بگذارید و درپیچی آن را بر روی آن محکم نمایید. سپس تا فشار bar ۱۰-۵ ، اکسیژن خالص به وسیله کپسول اکسیژن درون بمب تزریق کنید. هنگام قرار دادن بمب درون مخزن آب، بمب بایستی بطور قائم نگه داشته شود. تغییر مکان ناگهانی بمب ممکن است باعث بشود که قدری از سوخت نمونه از محفظه بیرون ریخته شود و بدین‌ترتیب آزمایش را بی‌ارزش سازد. پس از قرار دادن بمب درون دستگاه، به حدی آب بر روی آن بریزید که بمب به طور کامل درون آب قرار گرفته باشد. پس از این کار ترموکوپل را به منظور اندازه‌گیری دمای آب قبل و بعد از جرقه درون آب قرار دهید. دستگاه را روشن نمایید تا بتوانید دمای ترمومتر را مشاهده کنید. مقدار دمای آب را قبل از وقوع جرقه و احتراق سوخت یادداشت نمائید. به کمک جرقه سوخت درون بمب مشتعل می‌شود. دمای آب درون مخزن به تدریج بالا رفته تا به مقدار بیشینه‌ای می‌رسد. این عدد را به عنوان دمای نهایی یادداشت نمائید.



شکل ۱- نمونه‌ای از دستگاه بمب کالریمتر

۳-۶- طرز استفاده و نگهداری بمب کالریمتر

در صورت امکان، دستگاه بایستی در اتاقی نصب گردد که در آن تغییرات دما کم باشد. ضمنا جای آن طوری باشد که دستگاه زیر تابش مستقیم آفتاب، جریان کولر، و یا نزدیک پنجره و . . . قرار نگیرد. بمب کالریمتر دستگاه دقیقی است و بایستی بطور دقیق با آن کار و از آن نگهداری کرد. پس از اتمام هر آزمایش قبل از اینکه دستگاه در جای خود قرار داده بشود بایستی دستگاه با آب شسته و کاملا خشک گردد. پایه وسط اتصالی مربوط به بدنه بمب هم بایستی کاملا خشک گردد. بهتر است که آن را به‌طور منظم با کهنه روغنی و یا گریس روغن‌مالی کرد. نخها نبایستی کثیف شده و یا آسیب ببینند. در ضمن پس از انفجار و بیرون آوردن بمب از محفظه آن با استفاده از سوپاپ اکسیژن ، دود ناشی از احتراق را تخلیه نمایید تا بتوانید درب بمب را باز کنید.

۳-۷- خواسته ها

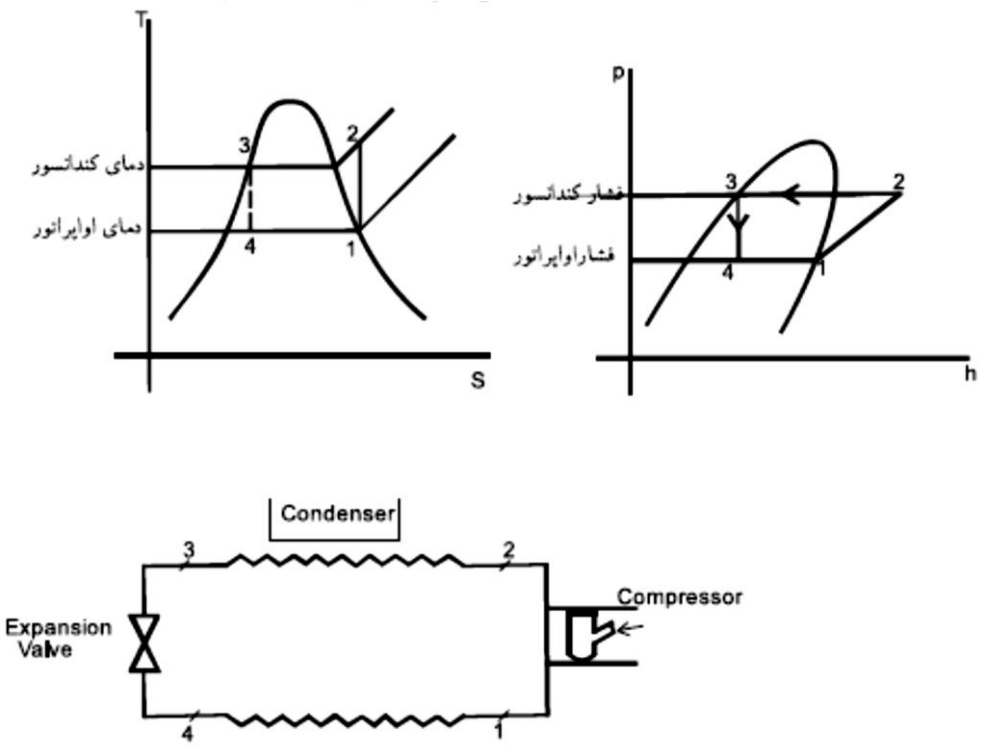
- ارزش حرارتی سوخت مورد نظر (بنزین) را بدست آورید.
- اختلاف میان مقدار محاسبه شده از آزمایش را با مقادیر ارزش حرارتی سوخت بنزین محاسبه نمائید؟ منابع خطا را نام برده و در مورد هر یک توضیح دهید.

آزمایش چهارم: پمپ حرارتی (یخچال)

۱- مقدمه

۱-۱- سیکل تبرید تراکمی

شکل (۱) سیکل آیده‌آل تبرید تراکمی را نشان می‌دهد. بخار اشباع با فشار کم وارد کمپرسور می‌شود در یک فرآیند برگشت‌پذیر و آدیاباتیک، فشار افزایش می‌یابد (فرآیند ۲-۱) سپس در یک فرآیند فشار ثابت درون کندانسور گرما از دست می‌دهد (فرآیند ۳-۲) و به صورت مایع اشباع کندانسور را ترک می‌کند. مایع اشباع در یک فرآیند آنتالپی ثابت($h_۲ - h_۱$) منبسط می‌شود فرآیند (۴-۳). مخلوط مایع و بخار در اوپراتور در یک فرآیند فشار ثابت تبدیل به بخار اشباع می‌شود (فرآیند ۱-۴).



شکل ۱ : سیکل ایده‌آل تبرید تراکمی

۱-۲- ضریب عملکرد سیکل تبرید

ضریب عملکرد یک سیکل تبرید عبارت است از نسبت ظرفیت تبرید به کار کمپرسور.

$$\beta = \frac{q_L}{W_C} = \frac{q_{۴-۱}}{W_{۱-۲}}$$

اگر سیکل برای یک پمپ حرارتی بکار رود ضریب عملکرد عبارت است از نسبت حرارت دفع شده به کار کمپرسور.

$$\beta = \frac{q_h}{W_C} = \frac{q_{۲-۳}}{W_{۱-۲}}$$

که در این روابط :

گرمای تبادل شده در اواپراتور بر واحد جرم $q_L = h_۱ - h_۲$

گرمای تبادل شده در کندانسور بر واحد جرم $q_h = h_۲ - h_۳$

کار ورودی به کمپرسور بر واحد جرم $W_C = h_۲ - h_۱$

بنابراین ضریب عملکرد یک پمپ حرارتی عبارتست از :

$$\beta = \frac{h_۲ - h_۳}{h_۲ - h_۱}$$

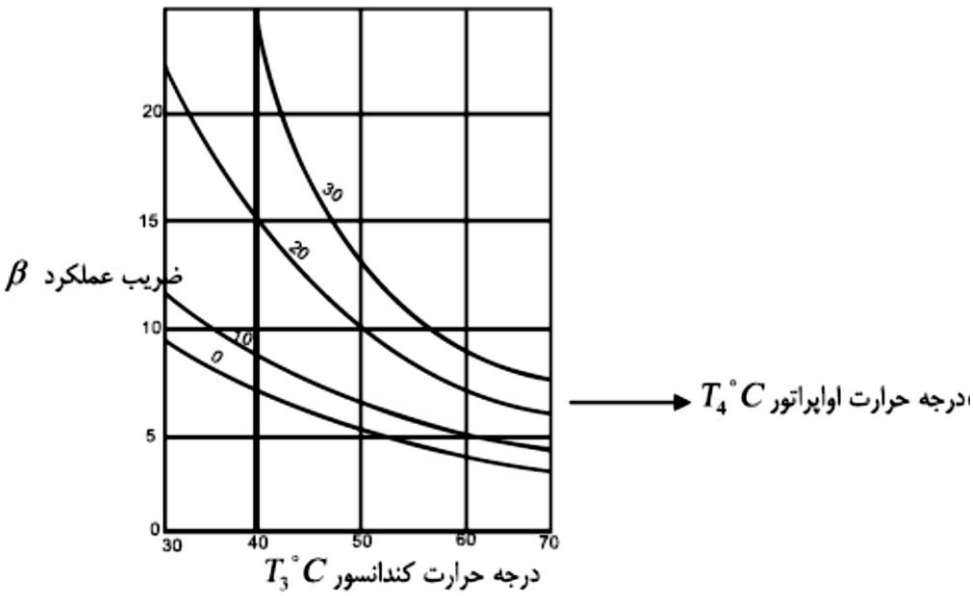
و ضریب عملکرد یک سیکل تبرید هم از این رابطه به دست می‌آید :

$$\beta = \frac{h_۱ - h_۴}{h_۲ - h_۱}$$

تاثیر دمای کندانسور $T_۳$ (یا فشار اشباع هم‌ارز این دما) و دمای اواپراتور $T_۴$ بر روی ضریب عملکرد در سیکل ایده‌آل پمپ حرارتی در شکل (۲) نشان داده شده است.

برای محاسبه دبی مبرد در صورت لزوم می‌توان از موازنه انرژی در کندانسور استفاده نمود.(در هنگام محاسبه تغییر آنتالپی مبرد دقت به تغییر فاز مبرد داشته باشید).

$$\dot{m}_T(h_۲ - h_۳) = \dot{m}_W C_W(T_۶ - T_۵)$$



شکل ۲ : تاثیر دمای کندانسور و اواپرتور بر روی ضریب عملکرد

همان‌طور که می‌دانیم تغییر در فشار یا دمای عملکردی کندانسور اواپراتور و میزان سوپرهیت بودن مبرد در ورودی به کمپرسور و ... عواملی هستند که بر روی ضریب عملکرد تاثیر گذار می‌باشند.

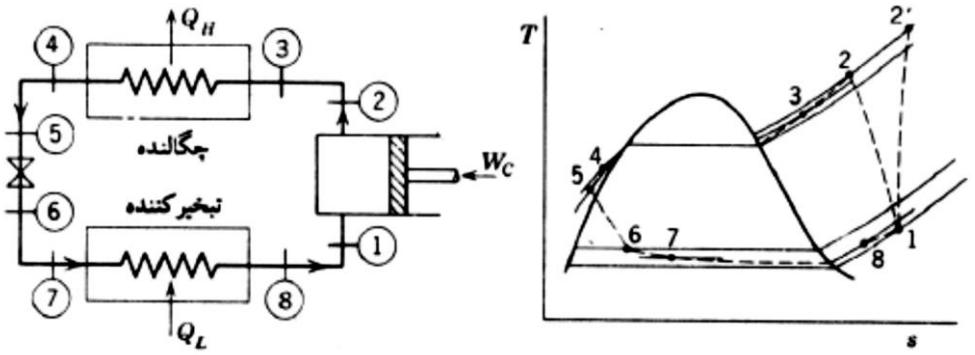
۱-۳- انحراف سیکل تبرید تراکم بخار حقیقی از سیکل ایده‌ال

به دلیل افت‌های فشار ناشی از جریان سیال و نیز تبادل حرارت با محیط سیکل تبرید حقیقی از سیکل ایده‌آل انحراف خواهد داشت سیکل حقیقی می‌تواند به سیکل شکل (۳) نزدیک شود.

احتمالاً بخار ورودی به کمپورسور به صورت مافوق گرم خواهد بود. در طی فرآیند تراکم، بازگشت‌ناپذیری‌ها و تبادل حرارت با محیط (با توجه به درجه حرارت مبرد و محیط) صورت خواهد گرفت. بنابراین در طی این فرآیند انتروپی ممکن است افزایش یا کاهش یابد بازگشت‌ناپذیری‌ها و انتقال حرارت به مبرد موجب افزایش انتروپی می‌شود و انتقال حرارت از مبرد موجب کاهش انتروپی می‌گردد. این احتمالات با دو خط‌چین ۲-۱ و "۲-۱ نشان داده شده است. فشار مایع خروجی از چگالنده کمتر از فشار بخار ورودی به آن می‌باشد و درجه و حرارت مبرد در چگالنده مقداری بیشتر از درجه حرارت محیطی که با آن تبادل حرارت می‌کند خواهد بود. معمولاً درجه حرارت مایع خروجی از چگالنده کمتر از درجه حرارت اشباع است و احتمال دارد که مقدار آن در لوله‌های بین چگالنده و شیر انبساط افت بیشتری نیز داشته باشد این امر نمایانگر منفعت است زیرا در اثر این انتقال حرارت مبرد با آنتالپی کمتری وارد تبخیرکننده می‌شود و می‌توان در تبخیرکننده مقدار حرارت بیشتری به مبرد انتقال داد.

در حین جریان یافتن مبرد از درون تبخیرکننده مقداری افت فشار روی خواهد داد. امکان دارد مبرد در هنگام خروج از تبخیرکننده کمی مافوق گرم باشد. همچنین در اثر انتقال حرارت از محیط به لوله بین تبخیرکننده

و کمپرسور درجه حرارت مبرد می‌تواند افزایش یابد این انتقال حرارت نشان‌دهنده یک نوع افت است زیرا در اثر افزایش حجم مخصوص سیال ورودی به کمپرسور کار کمپرسور نیز افزایش خواهد یافت.



شکل ۳ : سیکل واقعی تبرید تراکم

۲- روش انجام آزمایش

۲-۱- هدف

شناخت پارامترهای تأثیرگذار بر روی ضریب عملکرد.

۲-۲- مراحل آزمایش

مطابق دستورالعمل بیان شده در قسمت راه‌اندازی دستگاه دستگاه را روشن نمایید.

– بسته به شرایط هوایی محل آزمایش، دبی آب کندانسور را به حدی باز نمایید که اختلاف دمای آب ورودی ($T_۵$) و خروجی ($T_۶$) از کندانسور حداقل ۲ درجه باشد.

- صبر کنید تا دستگاه به شرایط دائم برسد سپس ($T_۵$،$T_۶$) و دمای مبرد ($T_۱$, $T_۲$, $T_۳$,$T_۴$) و همچنین فشار نقاط مختلف را در جدول (۱) یادداشت نمایید

- در هر مرحله دبی آب را ۱Lit/min کاهش دهید و مراحل فوق را تکرار نمایید.

۲-۳- خواسته‌های آزمایش

۱. در تمام دبی‌های جدول ، قدرت ورودی به کمپرسور و فن گرمای خروجی و ضریب عملکرد را محاسبه نمایید. (راهنمایی: گرمای خروجی از مبرد در کندانسور با صرف نظر از افت‌ها، معادل گرمای داده شده به آب سرد کن کندانسور می‌باشد.)

۲. با تغییر دبی آب ورودی به محفظه کندانسور، سیکل مبرد دچار تغییراتی می‌شود. علت این تغییرات را ذکر کنید. همچنین پارامترهایی را که از این تغییر تأثیر می‌پذیرند را با دقت در اعدادی که در جدول فوق ثبت کرده‌اید ذکر نمایید.

۳. تغییر دبی آب ورودی به محفظه کندانسور چه تأثیری بر فشار عملکردی اواپراتور و کندانسور دارد؟

جدول داده ها و محاسبات

	آزمایش اول			آزمایش دوم		
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
قدرت ورودی $P(kw) = V.I$						
فشار گاز ورودی به کمپرسور $P_۱$						
فشار گاز خروجی از کمپرسور $P_۲$						
فشار گاز قبل از شیر انبساط $P_۳$						
فشار گاز بعد از شیر انبساط $P_۴$						
دمای گاز ورودی به اوپراتور $T_۱ (°C)$						
دمای گاز خروجی از اوپراتور $T_۲ (°C)$						
دمای گاز ورودی به کندانسور $T_۳ (°C)$						
دمای گاز خروجی از کندانسور $T_۴ (°C)$						
دمای آب ورودی به کندانسور $T_۵ (°C)$						
دمای آب خروجی از کندانسور $T_۶ (°C)$						
دبی جرمی آب ورودی به کندانسور $\dot{m}_W(\text{Lit/min})$						
گرمای خروجی (j/sec)						
ضریب عملکرد پمپ حرارتی β						

آزمایش پنجم: دیگ مارست

۱- هدف

بررسی تبدیل حالت مایع به بخار (تغییر فاز) و کاربرد معادله کلاپیرون

۲- مقدمه

ترمودینامیک در واقع رابطه کار و گرما را بین سیستم و محیطی که کار در آن انجام می‌شود، بررسی می‌کند. ترمودینامیک به تغییر رفتار و خواص مایع در اثر تغییر فشار و دما خواهد پرداخت. وقتی به آب در فشار ثابت حرارت داده می‌شود، درجه حرارت آن افزایش خواهد یافت. حجم مخصوص به آرامی زیاد می‌شود. در فشار اتمسفر (۰,۱ Mpa) وقتی درجه حرارت به ۹۹.۶°C می‌رسد انتقال حرارت بیشتر، سبب تغییر فاز خواهد شد. یعنی قسمتی از آب تبدیل به بخار می‌شود و در طی این فرآیند درجه‌ی حرارت و فشار ثابت می‌ماند اما حجم مخصوص به مقدار زیادی افزایش خواهد یافت. وقتی که آخرین قطره‌ی مایع تبخیر شود انتقال حرارت بیشتر، باعث افزایش درجه حرارت و حجم مخصوص بخار خواهد شد.

یک گاز ایده‌آل از معادله حالت گازها که رابطه بین دما و فشار را بیان می‌کند پیروی می‌کند. این رابطه بصورت زیر است :

$$PV = mRT$$

m : جرم گاز

R : ثابت جهانی گازها

T : دما برحسب درجه کلوین

P: فشار

V: حجم

هرگونه تغییر کوچکی در گازهای ایده‌آل طبق معادله حالت گازها سبب بروز تغییر در رفتار آن گاز خواهد شد.

زمانی که انرژی از طریق گرما به آب اضافه می‌شود جنب و جوش مولکول‌های آب بیشتر شده و سبب افزایش فرار مولکول‌های آب از سطح آب می‌شود. در واقع فشار پایین‌تر بخار هوا سبب می‌شود مولکول‌های مایع از سطح آن

جدا شوند.

این روند فرار مولکول‌ها تا جایی ادامه خواهد داشت که فشار بین بخار و سطح آب برابر شود.

به دمایی که در آن دما، فشار بین بخار و مایع برابر باشد، دمای اشباع می‌گوییم و همچنین به این فشار، فشار اشباع گفته می‌شود.

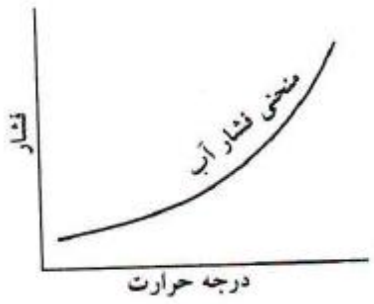
اصطلاح درجه حرارت اشباع بیانگر درجه حرارتی است که در آن تبخیر تحت فشاری معین صورت می‌گیرد و این فشار را فشار اشباع برای آن درجه حرارت می‌نامند. پس برای آب در ۹۹.۶°C، فشار اشباع ۰.۱MPa است و در فشار ۰.۱MPa درجه حرارت اشباع معادل ۹۹.۶°C می.باشد برای یک ماده‌ی خالص رابطه‌ی معینی میان فشار اشباع و درجه حرارت اشباع وجود دارد که نمونه‌ای از آن در شکل (a-۱) مشاهده می‌شود. این منحنی را منحنی بخار می‌نامند.

دیاگرام های T-S، P-V، T-V، P-T را در شکل (۱) مشاهده می‌نمایید:

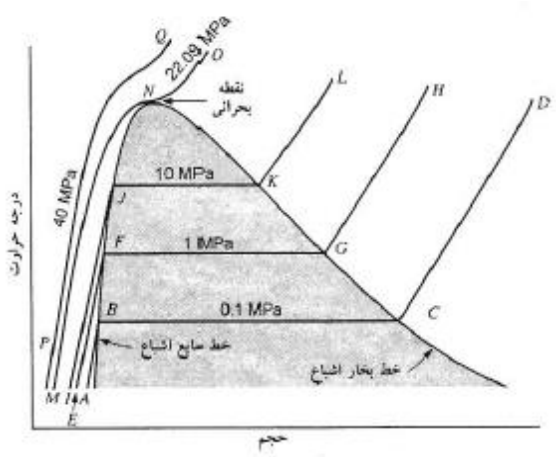
اگر ماده‌ای به صورت مایع در درجه حرارت و فشار اشباع باشد آن را مایع اشباع می‌نامیم. اگر درجه حرارت مایع کمتر از درجه حرارت اشباع برای یک فشار معین باشد آن را مایع متراکم می‌نامیم.

وقتی در درجه حرارت اشباع، قسمتی از ماده‌ای به صورت بخار و قسمتی به شکل مایع باشد، کیفیت را به صورت نسبت جرم بخار به جرم کل تعریف می‌کنیم و با x نشان می‌دهیم. کیفیت تنها زمانی معنی دارد که ماده در حالت اشباع یا به عبارت دیگر در درجه حرارت و فشار اشباع باشد.

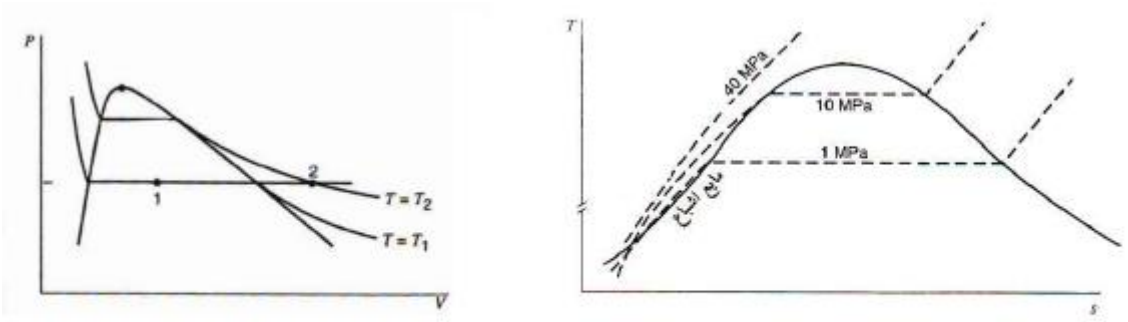
مشخصات مختلف مایع و بخار در جداول موجود است (جداول B.I در کتاب ترمودینامیک تألیف ون وایلن). فقط برای محاسبه مشخصات ناحیه دو فازی باید از رابطه $x = \frac{V_x - V_f}{V_{fg}} = \frac{h_x - h_f}{h_{fg}} = \frac{S_x - S_f}{S_{fg}}$ استفاده نمود.



(a)



(b)



شکل ۱ :(a) : نمودار P-T ,(b) : نمودار T-V,(c):نمودار P-V,(d): نمودار T-S آب

اگر ماده‌ای در درجه حرارت اشباع به صورت بخار باشد آن را بخار اشباع می‌نامیم(گاهی از بخار اشباع خشک نیز جهت تأکید بر کیفیت صد در صد استفاده می‌شود). وقتی که بخار در درجه حرارتی بالاتر از درجه حرارت اشباع است گوییم بخار به صورت مافوق گرم وجود دارد. فشار و درجه حرارت بخار مافوق گرم خواص مستقل هستند زیرا درجه حرارت را می‌توان افزایش داد در حالی که فشار ثابت باقی می‌ماند. موادی که آن‌ها را گاز می‌نامیم در حقیقت بخارات بسیار مافوق گرم هستند.

به طور کلی منظور از این آزمایش بدست آوردن مقادیر عملی و مقایسه آن با مقادیری است که در جداول کتب ترمودینامیک موجود است این مقادیر عبارتند از $P_s = f(T_s)$، گرمای نهان تبخیر (h_{fg}) و تغییرات آنتروپی (S_{fg}).

منحنی تغییرات دما برحسب فشار یعنی($\frac{dT}{dP}$) که از نتایج آزمایش بدست آمده است را رسم می‌کنیم و آن را با مقادیر تئوری مقایسه خواهیم کرد.

رابطه به کار رفته در این آزمایش رابطه کلازیوس است.

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{SAT} = \frac{TV_{fg}}{h_{fg}}$$

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{SAT} = \frac{T(V_g - V_f)}{h_g - h_f}$$

$$\left(\frac{dT}{dP}\right)_{SAT} = \frac{T(V_g - V_f)}{h_{fg}} \rightarrow V_g \geq V_f \rightarrow \frac{TV_g}{h_{fg}}$$

۳- روش انجام آزمایش

شیر محل تغذیه آب دیگ را باز نموده، دیگ را پر از آب کنید تا ارتفاع آب به شیر کنترل ارتفاع رسیده و سرریز شود(شیر کنترل ارتفاع آب باید باز باشد). در حالیکه مخزن حاوی مقدار معینی(۲/۵ لیتر) آب است، پس از قرار دادن کلید اصلی دستگاه در حالت on هیتر را روشن نمایید تا اینکه در اثر حرارت آب داخل دیگ

به جوش آید. در این لحظه شیرکنترل ارتفاع آب را بسته و دمای بخار در فشار bar ۱ را یادداشت نمایید. تغییرات دما را بر حسب هر bar ۱ افزایش فشار در جدول (۱)، یادداشت کنید. پس از رسیدن فشار به bar ۸ هیتر را خاموش نمایید. در غیر این صورت طبق تنظیمات دستگاه پس از رسیدن دمای آب به ۱۷۵°C هیتر خاموش می‌گردد. با خاموش شدن هیتر، فشار و دما کاهش می‌یابد تغییرات دما را بر حسب هر bar ۱ کاهش فشار یادداشت کنید.

منحنی تغییرات فشار نسبت به دما را در هر دو مرحله رفت و برگشت ترسیم نمایید.

جدول(۱)

هیتر در حالت خاموش		هیتر در حالت روشن	
T(°C)	P(bar)	T(°C)	P(bar)
	۸		۱
	۷		۲
	۶		۳
	۵		۴
	۴		۵
	۳		۶
	۲		۷
	۱		۸

- قبل از رسیدن فشار داخلی دیگ به فشار محیط از باز کردن شیر کنترل ارتفاع آب خودداری نمایید.
- در فشار bar۱۰ شیر اطمینان باز می‌شود، بنابراین در صورت عمل نکردن رله و افزایش فشار تا بالای bar۹، هیتر را خاموش نمایید.

۴- خواسته‌ها

۱. میانگین دمای رفت و برگشت را به ازای فشارهای مختلف بدست آورده و در دیاگرام $P_s = f(T_s)$ منحنی تغییرات دمای رفت - دمای برگشت - دمای تئوری (از کتاب ترمودینامیک) را رسم نمائید.

۲. منحنی $\frac{dP}{dT}$ را به ازای فشارهای مختلف برای دمای میانگین و دمای تئوری رسم نمایید.

۳. گرمای نهان تبخیر h_{fg} و تغییرات آنتروپی را در ناحیه دو فازی (بخار مرطوب) به کمک معادلهٔ کلاپیرون (فصل ده کتاب ترمودینامیک تألیف ون وایلن) یعنی از رابطه $\frac{dP_{SAT}}{dT} = \frac{h_{fg}}{T(V_g - V_f)} = \frac{S_{fg}}{(V_{fg})}$ بدست آورید.

$V_g - V_f = V_{fg}$ را می‌توان به ازای دمای دلخواه از جدول خواص ترمودینامیکی آب (جدول B-۱ ون وایلن) بدست آورد.

۴. رسم منحنی h_{fg} و S_{fg} به ازای فشارهای مختلف برای مقادیر بدست آمده از آزمایش و مقادیری که به کمک رابطهٔ کلاپیرون از جدول بدست می‌آید.

۵. رسم منحنی $P_s = f(T_s)$ که توسط معادله کلاپیرون بدست آمده و مقایسه آن با منحنی تئوری.

۶. معادله‌ای برای $P_s = f(T_s)$ که با منحنی بدست آمده در آزمایش مطابقت داشته باشد پیشنهاد کنید.

۷. منابع خطا و تأثیر آن‌ها بر روی نتایج آزمایش را بیان کنید.

۸. بحث و نتیجه‌گیری کامل از نمودارهای فوق.

۹. رسم تحول طی شده از ابتدا تا انتهای آزمایش در دیاگرام P-V

۵- سوالات

۱. هنگامی که فشار دیگ به ماکزیمم خود رسید و آن را خاموش کردید مشاهده می‌شود که برای زمان کوتاهی فشار ثابت یا کم شده ولی دما افزایش می‌یابد علت این پدیده را بیان کنید.

۲. آیا بدنه دیگ عایق است یا خیر؟ چرا ؟

۳. آیا در طول آزمایش پدیده جوش رخ می‌دهد یا خیر؟

۴. در مورد تاثیرات دمای اولیه آب روی نتایج آزمایش بحث کنید.

۵. چگونه می‌توان اطمینان یافت که آب دیگ به جوش آمده است؟

۶. نوع تحول در دیگ بررسی نمایید.

۷. تغییرات حجم آب داخل دیگ در مرحله برگشت به چه صورتی است؟

۸. علت بالا واقع شدن منحنی فشار نسبت به دما در مرحله رفت، نسبت به مرحله برگشت چیست؟

۹. آیا هر دو منحنی رفت و برگشت (دما نسبت به فشار) که در آزمایشگاه بدست آورده‌ایم زیر منحنی تئوریک قرار می‌گیرند؟ چرا؟

۱۰. همانطور که ملاحظه گردید فاصله زمانی طی شده در هنگام تغییرات فشار متفاوت است. توضیح دهید چرا؟ ۱۱. V_g را چگونه محاسبه می‌کنیم و تا چه حد مرتکب خطا می‌شویم؟ علل آن را شرح دهید.

۱۲. چند نمونه از کاربرد (تئوریک و عملی) رابطه کلاپیرون را بنویسید.

۱۳. پدیده جوش، دمای اشباع و فشار اشباع را تعریف کنید.

۱۴. فشارسنج فشار چه نقطه‌ای را نشان می‌دهد؟

۱۵. آیا به کمک دو مشخصه فشار و دما می‌توان حالت یک ماده خالص را معین نمود؟

۱۶ . آیا ماده مورد آزمایش خالص بود؟ (چرا باید ماده مورد آزمایش خالص باشد).

۱۷. دلیل تخلیه هوا را قبل از شروع آزمایش بیان کنید.

۱۸. منحنی‌های به دست آمده از نتایج آزمایش را با منحنی‌های بدست آمده از طریق اطلاعات جدول مقایسه کنید.

۱۹ . علت حلقوی بودن لوله ارتباطی فشارسنج به دیگ چیست؟

۲۰. دلیل تخلیه بخار از دیگ قبل از انجام آزمایش چیست؟

آزمایش ششم: موتور بخار

۱– هدف آزمایش

هدف از انجام این آزمایش آشنایی بیشتر با مفاهیم ترمودینامیکی و کاربرد قوانین اول و دوم ترمودینامیک است. قانون اول ترمودینامیک بیانی از اصل بقای انرژی است و قانون دوم ترمودینامیک بیان می‌کند که فرآیندها در جهت معینی به وقوع می‌پیوندند.

۲– مقدمه

از اوایل قرن ۱۸ میلادی، از انرژی بخار صرفا برای کاربردهای عمومی مانند پمپ‌های رفت و برگشتی استفاده می‌شد. اما از سال ۱۸۷۰ با ظهور ماشین هایی که حرکت رفت و برگشتی را به حرکت دورانی تبدیل می‌کردند، چرخ کارخانه ها به گردش درآمد و موجب ایجاد انقلاب صنعتی شد.

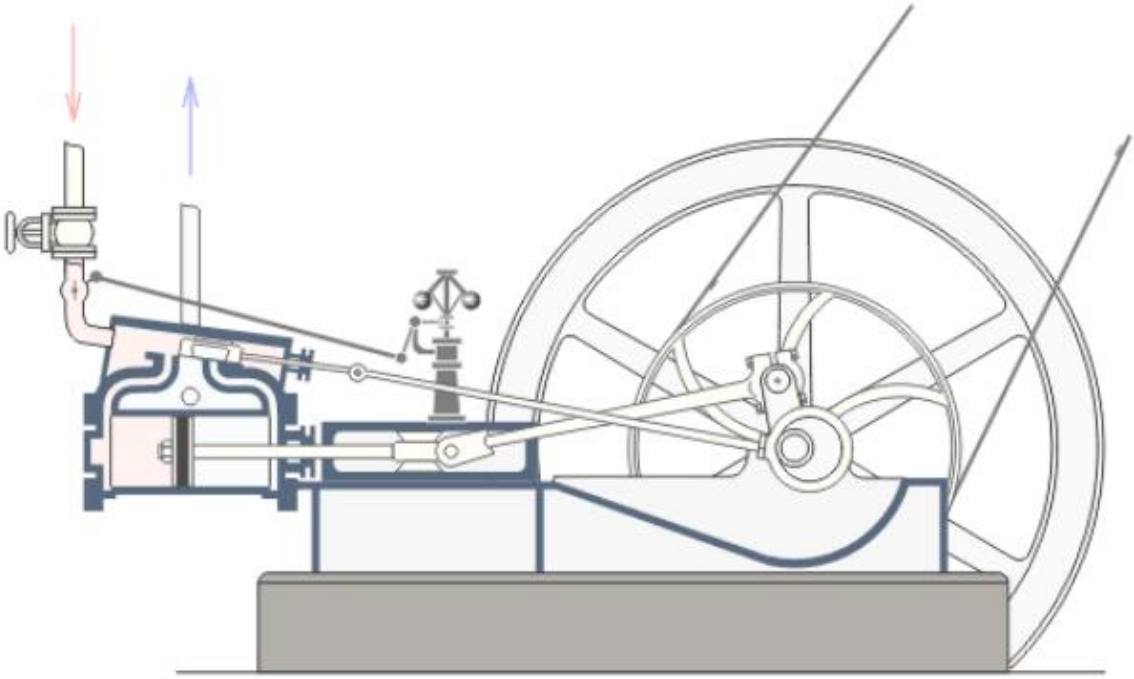
موتور بخار، نوعی ماشین گرمایی است که با استفاده از بخار به عنوان سیال کار مکانیکی تولید میکند. ایده استفاده از بخار آب برای تولید حرکت مکانیکی، سابقه طولانی در حدود ۲۰۰۰ سال دارد. اختراع موتور بخار، مقدمه‌ای برای ساخت انواع لوکوموتیوها و ماشینهای غولپیکر امروزی شده است. همچنین، توربینهای بخار امروزی حدود ۸۰٪ توان الکتریکی را تولید می‌کنند، از منابع گرمایی متعددی استفاده می‌کنند.

۳– شرح دستگاه

در ماشین بخار، گرما از طریق سوختن سوخت در یک محفظه بسته تولید می‌شود. در مخزن تحت فشار(دیگ با حجم مشخص)، گرمای تولیدی به آب درون مخزن منتقل می‌شود و در نهایت آب را به جوش آورده و آن را به بخار اشباع تبدیل می کند. بخار اشباع معمولا در دمای جوش آب تولید می‌شود که این دما به فشار بخار روی سطح آب بستگی دارد.

بخار به یونیت موتور که متشکل از سیلندر و پیستون می باشد وارد می‌شود. فشار بخار با حرکت درآوردن پیستون، موجب تغییر حجم داخل سیلندر شده و کار ایجاد میکند که نمود این کار در حرکت رفت و برگشت پیستون مشهود است. برای تبدیل این حرکت رفت و برگشتی به حرکت دورانی، از یک دیسک دایرهای استفاده شده است که متصل به سیلندر میباشد و حرکت رفت و برگشت سیلندر و پیستون، موجب چرخیدن دیسک دایرهای و ایجاد حرکت دورانی میشود

- جهت اعمال بار به سیستم از یک اهرم و کفه بارگذاری استفاده شده است.
- در نهایت بخار سرد شده و کم فشار و استفاده شده به اتمسفر تخلیه می‌شود.



شکل ۲- طرح شماتیک موتور بخار

۳-۱- بویلر

بویلرها نیز مخازن تحت فشاری هستند که محتوی مقداری آب میباشند که توسط مکانیزم‌های خاصی گرما به آب انتقال مییابد تا آن را به جوش آورد. در این دستگاه، از هیتر داخل مخزن تحت فشار، با توان قابل تنظیم (حداکثر 2 kW) به عنوان گرما استفاده شده است.

۳-۲- یونیت موتور

همچنین یونیت موتور نیز بخار در فشار و دمای بالا را دریافت و بخار با فشار و دمای کم را به اتمسفر تخلیه میکند. ضمن اینکه با توجه به اختلاف انرژی بخار ورودی و بخار خروجی، کار مکانیکی انجام میشود. البته میتوان بخار با فشار و دمای کم را به اتمسفر تخلیه کرد یا اینکه توسط یک چگالنده آن را به مایع تبدیل کرد و اجازه داد بویلر از آن به عنوان منبع تغذیه استفاده کند یا در سیستمهایی دیگر، به عنوان منبع تغذیه آب استفاده کرد. در بسیاری از پیستون های رفت و برگشتی، بخار، جهت حرکت جریان را در هر stroke در ورود و خروج بخار از سیلندر معکوس می کند. هر چرخه کامل که باعث چرخیدن یک دور دیسک دایره‌ای می‌شود شامل ۴ اتفاق است:

۱- مکش یا ورود (admission)

۲- انبساط (expansion)

۳- تراکم (compression)

۴- تخلیه (exhaust)

این اتفاق توسط valveهایی که در سیلندر قرار دارد کنترل میشود که ورود و خروج بخار را با باز و بسته کردن دریچه بخار کنترل می کند.

موتور بخار استفاده شده در آزمایش دارای چهار بخش مختلف می‌باشد:

۱- دیگ: استوانه‌ای با ضخامت ورق حدود ۱۰ میلیمتر است که در زیر آن المنت ۲۰۰۰ واتی نصب شده است. همچنین این دیگ دارای شیر تنظیم، شیر اطمینان و دو شیر در پایین برای تخلیهٔ آب میباشد و همیشه $\frac{2}{3}$ آن پر از آب و $\frac{1}{3}$ فضای خالی برای بخار می‌باشد.

۲- موتور بخار: شامل یک موتور دو سیلندر و یک چرخ طیار میباشد. نیروی محرکه اولیهٔ موتور توسط چرخانیدن با دست در جهت عقربه‌ی ساعت ایجاد می‌شود.

۳- تابلو برق و کلیدهای فرمان که شامل کلید اصلی برق و کلید المنت دیگ می‌باشد.

۴- فشار مخزن بخار در نمایشگر گیج نصب شده روی دستگاه قابل مشاهده است.

مشخصات دستگاه عبارت است از:

توان هیتر: 2kW

قطر داخلی سیلندر ها: 14mm

طول کورس پیستون: 35mm

طول قطر بازوی گشتاور: 120mm

۴– روش کار با دستگاه

۱- با باز کردن شیر تغذیه دیگ (شیر واقع بر قسمت پایین بدنه دیگ)، آب درون دیگ ریخته می‌شود (در این مرحله باید شیر کنترل ارتفاع آب در حالت باز و شیر تخلیه بخار در حالت بسته باشد).

۲- مقدار آب دیگ به وسیله شیر کنترل ارتفاع آب، تنظیم می‌شود. به این صورت که با رسیدن سطح آب به محل قرارگیری شیر کنترل ارتفاع آب، آب اضافی سرریز می‌شود. در این لحظه مقدار آب به حد معین رسیده است و باید شیر بسته شود. همچنین شیر تخلیه بخار دیگ (ورودی به سیلندرها) باید باز شود.

۳- دستگاه پس از اتصال به جریان برق، به وسیله کلید ON/OFF روشن می‌شود. در این حالت نیز هیتر روشن می‌شود.

۴- توان هیتر، توسط کلید کنترلی قابل تنظیم است.

۵- توان مصرفی هیتر توسط نمایشگر دیجیتال برحسب وات نمایش داده می‌شود.

۶- فشار درون مخزن توسط فشارسنج اندازه گیری می‌شود.

۷- یک شیر اطمینان روی مخزن نصب شده است. در صورتی که فشار درون مخزن از حد مجاز بالاتر رود، شیر اطمینان عمل نموده و بخار اضافی درون مخزن خارج می‌شود.

۸- یک سنسور دما، دمای خروجی از دیگ را اندازه گیری کرده و نمایشگر دیجیتال آن را برحسب درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهد.
۹- دور موتور به وسیله یک سنسور دورسنج اندازه گیری شده و توسط نمایشگر دیجیتال برحسب RPM نمایش داده می‌شود.
۱۰- بخار خروجی از سیلندرها توسط یک شیلنگ هیدرولیک وارد محفظه استوانه‌ای جمع آوری بخار می‌شود.
۱۱- گشتاور ترمزی با داشتن طوب بازوی گشتاور به وسیله قرار دادن وزنه‌های استاندارد روی کفه بارگزاری، و عددی که نیرو سنج نشان می‌دهد، قابل محاسبه است.

۵- روش انجام آزمایش

ابتدا مخزن آب تا مقدار مشخص پر می‌شود. در این مرحله بهتر است با باز نمودن شیر تنظیم بخار ورودی به موتور و چرخاندن دیسک موتور اجازه دهید آب راحت‌تر به داخل مخزن برود. دستگاه پس از اتصال به جریان برق، بوسیله کلید روشن/خاموش روشن می‌شود. در این حالت هیتر نیز روشن می‌گردد. توان هیتر روی حداکثر مقدار خود (۲۰۰۰وات) تنظیم می‌گردد. فشار درون مخزن توسط فشارسنج اندازه‌گیری می‌شود. یک شیر اطمینان بر روی مخزن نصب شده است. در صورتی که فشار مخزن از حد مجاز بالاتر رود، شیر اطمینان عمل نموده و بخار اضافی را از درون مخزن خارج می‌کند. دور موتور بوسیله‌ی یک سنسور دورسنج اندازه‌گیری شده و توسط نمایشگر دیجیتال بر حسب دور بر دقیقه نمایش داده می‌شود. بخار خروجی از سیلندرها، توسط یک شیلنگ هیدرولیک وارد محفظه‌ی استوانه‌ای جمع آوری بخار می‌شود. گشتاور ترمزی، با داشتن طول بازوی گشتاور، بوسیله‌ی قرار دادن وزنه‌های استاندارد روی کفه‌ی بارگذاری و عددی که نیروسنج نشان می‌دهد، قابل محاسبه خواهد بود.

۶- روابط مورد نیاز در این آزمایش

با اعمال وزنه‌های مختلف روی کفه بارگذاری و با داشتن طول بازوی گشتاور، می توان گشتار را اندازه گیری نموده و توسط تعداد دورهای دیسک دایره‌ای در واحد زمان توان ترمزی را محاسبه کرد. داریم:

F=mg

r=طول بازوی گشتاور

$$\vec{T} = \vec{r} \times \vec{F} = |r||F|sin90° = mgr$$

$$\omega = \frac{2\pi}{60} N_{(RPM)}$$

$$P = T\omega = mgr\left(\frac{2\pi}{60} N\right) = \frac{2\pi}{60} mgrN$$

L=طول کورس پیستون

A=سطح مقطع

ΔV=تغییر حجم

$\Delta V=AL$

$\dot{W}_H = VI$=توان هیتر

با داشتن فشار و دمای بخار آب خروجی از بویلر و با مراجعه به جدول پیوست کتاب ون وایلن، مقدار انتالپی (h) را میتوان بدست آورد. در واقع زمانیکه فشار ثابت باشد (فرایند فشار ثابت) می توان مقدار $\dot{Q}$ که توسط آب دریافت شده است را با توان هیتر برابر قرار داد و از آنجا دبی جرمی آب تبخیر شده($\dot{m}$) را محاسبه کرد. همچنین میتوان توان تولیدی توسط سیلندر و پیستون ($\dot{W}_p$) را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\dot{W}_H = \dot{Q} = \dot{m}h$$

$$\dot{W}_p = \frac{P\Delta V}{t}$$

t مدت زمان اندازه گیری شده از شروع به حرکت پیستون تا توقف آن برای یک کورس پیستون می باشد. فشار مورد نظر (P) را میتوان از روی گیج یادداشت کرد. بازده را میتوان با تقسیم توان بارگذاری شده بر توان تولیدی توسط پیستون محاسبه کرد.

$$\eta = \frac{P}{\dot{W}_p}$$

لازم به ذکر است که این بازده، بازده واقعی ماشین بخار نمی باشد و درصدی از کار مصرف شده به کار تولید شده توسط پیستون را نشان می دهد. برای به دست آوردن بازده ماشین بخار، با در نظر گرفتن مفروضاتی، می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$Q - W = u_2 - u_1$$

در واقع بخار آب خروجی، بخار با فشار و دمای کم می باشد و بسیار مستعد است که به مایع تبدیل شود، زیرا انرژی خود را از دست داده است. ازاینرو، با توجه به اینکه خصوصیات آب در حالت مایع اشباع را میتوان با خصوصیات مایع متراکم یکسان در نظر گرفت، میتوان فرض کرد:

$$u_2 = u_1 \Rightarrow \dot{Q}_H - \dot{Q}_L = \dot{W}_{net}$$

در اینجا، $\dot{W}_{net}$ همان توان تولیدی توسط پیستون و $\dot{Q}_H$ توان هیتر است. از رابطه فوق می توان $\dot{Q}_L$ را نیز محاسبه نمود و مشخص کرد که چه مقدار گرما به منبع سرد (محیط) داده شده است. لذا، بازده ماشین بخار از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H}$$

۷– خواسته‌های آزمایش

۷–۱– تکمیل جدول

	واحد	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم
توا مصرفی (توان هیتر)	W			
فشار بخار	Pa			

جرم وزنه	kg			
گشتاور ترمزی	N.m			
مدت زمان یک کورس پیستون	s			
توان تولیدی پیستون	W			
بازده موتور بخار	%			

۷-۲- رسم نمودار

۱- نمودار توان تولیدی توسط پیستون بر حسب فشار بخار

۲- نمودار بازده ماشین بخار بر حسب توان (کار) تولیدی توسط پیستون

۷-۳- پاسخ به سوالات

۱- هنگام بارگذاری، حرکت دیسک دایره‌ای (چرخ طیار) کندتر می شود. علت را توضیح دهید.

۲- قانون اول ترمودینامیک را برای این آزمایش تحلیل کنید. با بررسی قانون اول ترمودینامیک، اثبات کنید که چرا این سیکل انجام‌پذیر است.

۳- منابع خطا و تاثیر آن‌ها بر روی نتایج آزمایش را بیان کنید.

۴- تغییر آنتروپی خالص را محاسبه کنید.

آزمایش هفتم: دستگاه تست کمپرسور

۱– هدف

آشنایی بیشتر با کمپرسورها و محاسبه مشخصات آن ها از نظر علمی و تئوری

شکل ۱: دستگاه تست کمپرسور

۲– مقدمه

کمپرسورها دستگاه هایی هستند که به منظور تراکم یا انتقال سیال به کار می روند. اگر به منظور تراکم بکار روند معمولا از کمپرسورهای پیستونی و اگر برای انتقال ماده استفاده شوند کمپرسورهای دوار کاربرد بیشتری دارند. کمپرسورهای پیستونی دارای دور کمتر، کمپرسورهای دوار دارای دور زیادند.

کمپرسور هوای رفت و برگشتی به عنوان یک دستگاه مفید برای آموزش اصول تئوری موتور گرمایی شناخته می‌شود. برخلاف دستگاه های آزمایشگاهی مرسوم که دارای ساختار بزرگی بوده و نیاز به فونداسیون مخصوص دارند، این دستگاه فشرده و قابل حمل بوده و نیاز به نصب خاصی ندارد.

این مجموعه آزمایشی شامل: یک کمپرسور، یک مخزن هوا، سیستم راه انداز موتوری و ادوات اندازه گیری مربوطه می باشد. مخزن ورودی دارای نازل برای اندازه گیری جریان هوای ورودی، سنسور فشار الکترونیکی و یک گیج فشار است. مخزن فشار دارای : شیر اطمینان، شیر کنترل، صدا خفه کن خروجی سنسور فشار الکتریکی و یک گیج فشار است. جهت سهولت کار با دستگاه، تمام ابزارهای کنترل و اندازه گیری روی پانل دستگاه قرار داده شده است.

۳– تئوری

طبق قانون اول ترمودینامیک برای سیستم هایی که ورودی و خروجی جرم داریم رابطه زیر برقرار است.

$$\dot{Q} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gZ_i \right) = \frac{dE_{c.v}}{dt} + \sum \dot{m}_e \left[he + \frac{v_e^2}{2} + gZ_e \right] + \dot{W}_{c.v} \qquad (۱)$$

C.V : علامت حجم کنترلی

اندیس i : ورودی

اندیس e : خروجی

قانون اول ترودینامیک را برای حجم کنترل (سیستم باز) به صورت دو فرایند تعریف می کنیم:

x فرایند حالت پایدار، جریان پایدار (S.S.S.F)

x فرایند جریان یکنواخت، حالت یکنواخت (U.S.U.F)

E در رابطه فوق یک خاصیت است و نمایشگر تمام انرژی سیستم است. این انرژی می تواند شکل های مختلف داشته باشد مثل انرژی جنبشی پتانسیل کل سیستم به چهارچوب مختصات انتخابی و غیره. در کمپرسور از آن جا که ارتفاع از سطح زمین در دو سمت کمپرسور یکسان است از انرژی پتانسیل صرفنظر می‌شود. سرعت‌های ورودی و خروجی تقریبا یکسان است. لذا از انرژی جنبشی نیز می توان صرفنظر کرد.

برای حالت S.S.S.F داریم: $\frac{dE_{C.V}}{dt} = 0$

لذا رابطه اصلی برای کمپرسور به صورت زیر در می آید.

$$\dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{Q} \quad (۲)$$

و اگر سیال یک گاز عامل باشد داریم:

$$h_1 - h_2 = C_p(T_1 - T_2) \quad (۳)$$

کار کمپرسور چون مصرفی است زمانی که آنتروپی ثابت است مینیمم می باشد. فرایند ایده الی که برای کمپرسورهای هوا یا سایر گازها وجود دارد که می توان عملکرد واقعی کمپرسورها را با آن مقایسه کرد، فرایند بی در روی برگشت پذیر یا آنتروپی ثابت است.

بازده کمپرسور با رابطه زیر تعریف می شود:

$$\eta_c = \frac{\dot{W}_s}{\dot{W}} \ , \dot{W}_s = \frac{\dot{m}\bar{R}(T_2 - T_1)}{1 - \wp} \quad (۴)$$

$\dot{W}_s$: کار هم آنتروپی و $\wp = \frac{C_P}{C_V}$

با توجه به رابطه ۳ و۴ ، بازده به صورت زیر در می‌آید:

$$\eta_C = \frac{T_{es} - T_i}{T_e - T_i} \quad (۵)$$

T_{es}: دمای خروجی کمپرسور در حالت آنترپی ثابت که توسط رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{T_{es}}{T_i} = \left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{\wp - 1}{\wp}} \quad (۶)$$

با جایگذاری T_{es} در رابطه η_C و T_e یعنی خروجی از کمپرسور در حالت واقعی محاسبه خواهد شد. در کل افزایش انتروپی به واسطه برگشت ناپذیریها را داریم. اگر بتوانیم در حین تراکم گاز در کمپرسور دما را ثابت نگه داریم، کار مصرفی حالت هم دما از همه حالات حتی از حالت آنتروپی ثابت نیز کمتر است.

کمپرسورها را برای فشار در خیلی از حالات نمی توان در یک محرله طراحی کرد. زیرا اگر در یک مرحله بخواهیم از یک فشار نهایی برسیم، دمای خروجی شدیدا بالا رفته که به تبعیت از آن کار مصرفی نیز شدیدا افزایش می‌یابد.

کار یک فرایند ایزوترمال کمپرسور به صورت زیر تعریف می شود: (سیال مورد استفاده، گاز ایده آل می باشد.)

$$\dot{W} = P_1 N_1 L_N \frac{P_1}{P_2} = \dot{m}_a R T_1 L_n \frac{P_1}{P_2} \quad (۷$$

$\dot{m}_a$: دبی جرمی هوا

T_1 : دمای هوا در ورود به کمپرسور

کار اندیکاتوری کمپرسور به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\dot{W} = P_m . A . L . N/60 \quad (۸)$$

P_m: فشار متوسط موثر

A: سطح مقطع پیستون

L: Stroke

N: دور کمپرسور (RPM)

کار مکانیکی یک کمپرسور نیز به صورت زیر تعریف می شود:

$$\dot{W} = 2\pi . N . T \quad (۹)$$

T: گشتاور (N.m)

N: دور کمپرسور (RPM)

P_1 و P_2 نیزکه در رابطه کار ایزوترم آمده است عبارتند از:

P_1= فشار هوا در ورود به کمپرسور

P_2= فشار هوا در خروج کمپرسور

رابطه زیر را نیز بخاطر بسپارید:

$$\frac{2\pi NT}{60} = \mathrm{V.I.\eta} \quad (۱۰)$$

موتور

جریان: I ولتاژ مصرفی: V

۱-۳- حجم مرده و حجم جابجایی

حجم جابجایی بعنوان حجمی تعریف می شود که پیستون در یک Stroke جاروب می کند. بمنظور اینکه پیستون در انتهای هر Stroke به سیلندر برخود نکند و نیز فضایی برای دریچه های ورودی و خروجی داشته باشد، حجم مرده در کمپرسورهای رفت و برگشتی پیش بینی می‌شود.

نسبت حجم مرده به حجم جابجایی Ckarance نامیده می شود. مقدار این نسبت بین ۳ ٪ تا ۱۲ ٪ است.

نسبت فشار $\frac{P_2}{P_1} = r_P$

حجم جابجایی $V_S = V_a - V_C$

حجم هوای عبوری $V = V_a - V_v$

V_C : حجم مرده

مرحله تراکم و انبساط در کمپرسورهای رفت و برگشتی ایزوترم و یا آدیابا تیک نیست. و یک فرایند پلی تروپیک است یعنی $(PV^n = cte)$ توان پلی تروپیک (n) در فرایند انبساط و تراکم بین 1.0 تا 1.4 است.

کار پلی تروپیک سطح دیاگرام P-V به صورت زیر است:

$$\dot{W} = \int Pdv = \frac{n}{n-1}\left(P_2 N_b - P_1 \dot{V}_a\right) \quad (۱۱)$$

که این رابطه را به صورت زیر می توان بیان کرد:

$$\dot{W} = \dot{m}_a R T_1 \left(\frac{n}{n-1}\right)\left\{r_P{}^{\frac{n-1}{n}} - 1\right\} \quad (۱۲)$$

۲-۳- بازده حجمی یا راندمان حجمی

در عمل، بازده حجمی یکی از پارامترهای مهم در کمپرسورهاست که مقدار واقعی دبی هوای عبوری از کمپرسور را با مقدار ماکزیمم تئوریک آن مقایسه می کند.

$$V_S = V_a - V_C \quad (۱۳)$$

مرحله مکش d-a

مرحله تراکم a-b

مرحله تخلیه b-c

مرحله انبساط c-d

در حالی که حجم واقعی هوا که از سیلندر عبور می کند عبارت است از:

$$V = V_a - V_d \quad (۱۴)$$

بنابراین راندمان حجمی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\eta_{Vol} = \frac{V_a - V_d}{V_a - V_c} \quad (۱۵)$$

که توسط دیاگرام P.V قابل محاسبه است.

رابطه اخیر η_{Vol} را در نظر بگیرید.

$$V_S = V_a - V_C$$

$$\eta_{Vol} = \frac{V_a - V_d}{V_S} = \frac{V_S + V_C - V_d}{V_S}$$

$$\eta_{Vol} = 1 - \frac{V_C}{V_S}\left\{\frac{V_d}{V_C} - 1\right\} \quad (۱۶)$$

با توجه به اینکه:

$$P_d N_d^n = P_C N_C^n \quad (۱۷)$$

$$\eta_{Vol} = 1 - \frac{V_C}{V_S}\left\{\left(\frac{P_c}{P_d}\right)^{1/n} - 1\right\} \quad (۱۸)$$

بررسی فرایند تراکم:
همان طوری که قبلا نیز توضیح داده شده، کار لازم برای متراکم کردن هوا و تحویل آن وقتی که فرایند تراکم ایزونتروپیک است بیشتر از وقتی است که فرایند ایزو ترمال است.

۴– اجزای دستگاه

۱.کمپرسور

۲. الکتروموتور

۳. مخزن ورودی

۴. مخزن جمع آوری هوای فشرده

۵. سنسور دور

۶. لودسل

۷. سنسورهای دمایی

۸. سنسورهای فشار

۹. سرعت سنج دیجیتال

۱۰. پانل محل نصب نمایشگرها، گیج های فشار و کلیدها

۱۱. سنسورهای مکانیکی و الکترونیکی اطمینان

۵– شرح دستگاه

دستگاه مورد آزمایش تشکیل شده است از یک کمپرسور رفت و برگشتی که توسط یک الکترو موتور DC به حرکتی در می آید. میزان توان لازم جهت حرکت کمپرسور را می توان توسط دانستن توان مصرفی موتور DC و راندمان الکتریکی آن محاسبه نمود. از همین رو بر روی پانل اندازه گیری سیستم میزان ولت / آمپر مصرفی الکتروموتور DC مشخص است.

دستگاه دارای یک منبع ذخیره هوای فشرده می باشد که میزان فشار آن می توان اندازه گیری نمود. از طرفی توسط یک اریفیس میزان هوای مصرفی کمپرسور مشخص می گردد. دمای هوای ورودی به کمپرسور خروجی

از آن همچنین فشار این دو نقطه بر روی پانل اندازه گیری نمایان است. یک سیستم کنتل دور نیز برای دستگاه تعبیه شده است. که توسط آن می تون دور سیستم را تغییر داد و آن را اندازه گیری نمود.

۶– آزمایش های قابل انجام

تعیین بازده حجمی و ایزوترمال

۷– روش انجام و آزمایش

شیر کنترل دبی جرمی را باز کنید تا فشار سنج مخزن، فشار صفر را نمایش دهد.

کلید چرخان سیستم کنترل دور را روی صفر (خاموش) قرار دهید.

ولوم کنترل دور را بر روی عدد صفر قرار دهید.

کلید Power، پانل اندازه گیری را روشن کنید.

کلید چرخان سیستم کنترل دور را قرار دهید.

ولوم کنترل دور را مقداری بچرخانید (حدود عدد 5)

شیر کنترل دبی جرمی هوا را ببندید تا فشار افزایش پیدا کند.

پس از اینکه فضار مخزن به حدود 2 atm رسید. شیر کنترل دبی جرمی را قدری باز کنید . تا فشار داخل مخزن ثابت بماند.

اجازه دهید سیستم به حال تعادل برسد.

مقادیر فشار، دما، ولت، دبی، سرعت را یاداشت کنید.

در چند فشار مختلف و همین سرعت آزمایش را تکرار کنید.

روش کار با دستگاه:

-دستگاه بوسیله کلید ON / OFF روشن می شود.

- دور الکتروموتور توسط ولوم کنترل دور تنظیم می شود (قبل از تنظیم دور، باید کلید درایور موتور در حالت روشن باشد.) تعداد دور کمپرسور بوسیله‌ی سنسور دور اندازه گیری شده، و توسط نمایشگر دیجیتال برحسب RPM (دور بر دقیقه) نمایش داده می شود.

- گشتاور توسط لودسل اندازه گیری شده و توسط نمایشگر دیجیتال، برحسب N.m قابل مشاهده است. قبل از شروع آزمایش، باید با فشردن کلید ۸ صفر نمایشگر گشتاور ۸ مقدار نمایش داده شده توسط نمایشگر را صفر نمود.

-فشار مخزن توسط شیر کنترل دبی جرمی هوا، قابل تنظیم است و به وسیله‌ی نمایشگر فشار روی پانل نشان داده می شود.

- فشار خروجی کمپرسور و فشار داخل مخزن کمپرسور، به وسیله‌ی گیج های فشار روی پانل قابل مشاهده است.

- دمای هوای ورودی و خروجی سلیندر و همچنین دمای هوای داخل مخزن کمپرسور، به وسیله‌ی گیچ های فشار روی پانل قابل مشاهده است.

- دمای هوای ورودی و خروجی سیلندر و همچنین دمای هوای داخل مخزن کمپرسور، توسط سنسورهای دما اندازه گیری شده و توسط نمایشگرهای دیجیتال مربوطه نمایش داده می شود.

- سرعت و دمای هوای ورودی به کمپرسور، توسط سک سنسور دیجیتال سرعت و دما اندازه گیری می شود و بر حسب واحدهای مختلف اندازه گیری سرعت و دما، قابل مشاهده است.

ماکزیمم فشار کمپرسور روی 8bar تنظیم شده است. پس از رسیدن فشار به اسن مقدار، کمپرسور خاموش می‌شود.

همان طور که در مراحل آزمایش آمده است، برای انجام هر یک از حالتهای آزمایش ابتدا باید مخزن خالی شود.

اگر در حین آزمایش به هر دلیلی کمپرسور خاموش شد، برای شروع مجدد آزمایش باز هم باید مخزن خالی شد تا هنگام روشن کردن دستگاه به کمپرسور فشار نیاید.

۸– اطلاعات فنی یک نمونه دستگاه

محدوده های اندازه گیری: (دمای ۰- ۲۰۰ درجه سانتیگراد، فشار ۰-۱۰ بار و گشتاور ۰-۵ نیوتن متر)

کمپرسور تک سیلندر تک مرحله ای:

توان مصرفی: ۷۵۰ وات، فشار کاری : ۸ بار، فشار ماکزیمم : ۱۰ بار

ظرفیت ورودی: ۱۵۰ لیتر بر دقیقه در فشار ۸ بار

فشار تخلیه شیر اطمینان : ۱۰ بار

ابعاد: (طول × عرض × ارتفاع: ۱۲۰۰ × ۶۰۰ × ۱۷۰۰) (میلیمتر)

وزن: حدوداً ۸۵ کیلوگرم

۹– خواسته‌های آزمایش

۱- منحنی کار انجام شده توسط الکترو موتور بر اساس فشار خروجی

۲- منحنی دمای خروجی از کمپرسور بر اساس فشارهای خروجی

۳- منحنی دبی مصرفی بر اساس دورهای متفاوت

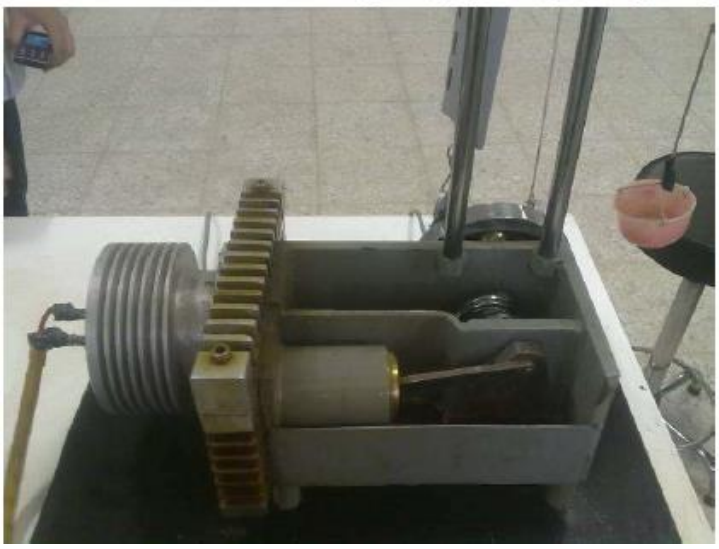
۴- محاسبه راندمان حجمی در حالتهای مختلف آزمایش با فرض clearance %8

۵- محاسبه راندمان ایزوترم کلی در حالت های مختلف آزمایش

آزمایش هشتم: سیکل استرلینگ

۱– هدف

آشنایی با سیکل استرلینگ و تعیین راندمان دستگاه



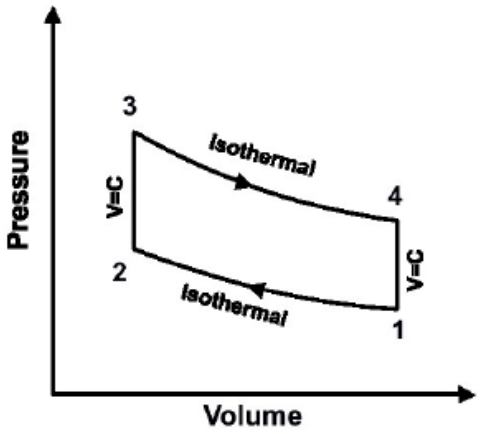
شکل ۱- موتور استرلینگ

۲– مقدمه

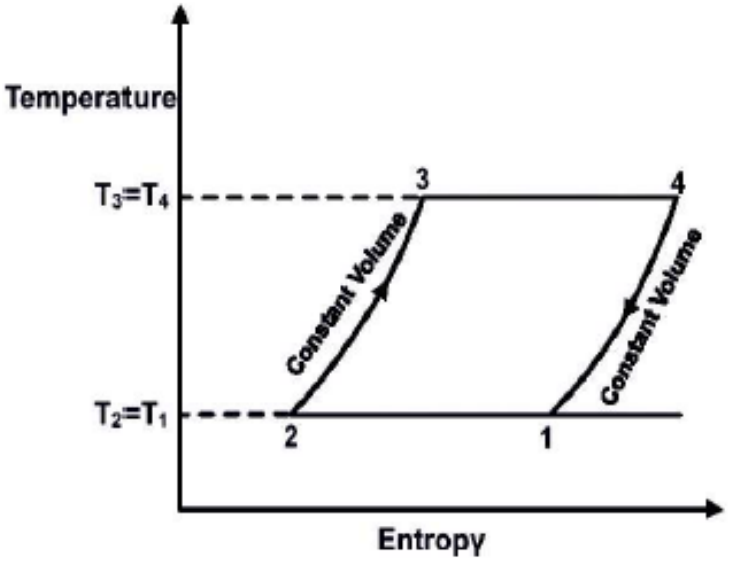
طرز کار موتور استرلینگ را اولین بار stirling Robert در سال 1816 بیان کرد. مطابق با تعریف او این دستگاه قادر است انرژی حرارتی را مستقیماً به انرژی مکانیکی تبدیل کند، که این تبدیل بدون استفاده از فرآیندهای شیمیایی صورت می گیرد. این چرخه شامل دو فرایند حجم ثابت و دو فرایند دما ثابت می باشد. از آنجا که چرخه استرلینگ شامل دو فرایند انتقال گرمای حجم ثابت است، تغییر حجم کلی طی چرخه به حداقل می رسد. در سال های اخیر موتورهایی با چرخه استرلینگ به صورت احتراق خارجی بازیابی شده اند.

۳– تئوری

همان طوری که گفته شد موتور استرالینگ از دو فرایند دما ثابت (T=cte) دو فرایند حجم ثابت (V=cte) تشکیل می شود. که روند کلی سیکل در دیاگرام های P-V , T-S زیر آمده است.



شکل ۲- نمودار P-V سیکل استرلینگ



شکل۳- نمودار T-S سیکل استرلینگ

۲-۱: تراکم ایزو ترم در درجه حرارت T_1 در سیلندر کار، گرما به محیط منتقل می شود.

۳-۲: فرایند حجم ثابت که طی آن درجه حرارت از T_1 به T_2 افزایش می یابد.

۴-۳: انبساط ایزوترم در درجه حرارت T_2 ، در سیلندر کار، حرارت از منبع گرما تامین می شود.

۵-۴: فرایند حجم ثابت که طی آن درجه حرارت از T_2 به T_1 کاهش می یابد.

در شکل های ۲ و ۳ به هوای داخل سیلندر (هوای داغ) در درجه T_2 نیرو وارد می شود و به صورت هم دما با ایزوترم تا نقطه B منبسط می شود. البته گرمای مورد نیاز برای موتور از طریق منبع حرارتی (المنت) تأمین می‌شود. سپس هوا از بازیاب عبور کرده طی یک تحول حجم ثابت از B تا C تا درجه حرارت T_1

خنک می‌شود. و سپس به صورت ایزوترم تا نقطه D متراکم می گردد. در این حالت حرارت از موتور منتقل می شود سرانجام هوا در حجم ثابت داغ شده تا به درجه حرارت T_2 برسد. (داغ شدن هوا بوسیله عبور از بازیاب و در جهت عکس فرایند BC است.

باید توجه کرد که گرمایی که از بازیاب در طول فرایند حجم ثابت BC ، عبور می کند معادل گرمای جذب شده از بازیاب در طول فرایند حجم ثابت DA می باشد. بنابراین تنها تبادل حرارتی به یک منبع خارجی در طی دو فرایند دما ثابت یا ایزوترم صورت می گیرد.

روند محاسبه حرارت تولید شده، حرارت دفع شده، کار انجام شده به قرار زیر است:

حرارت دفع شده – حرارت تولید شده = کار انجام شده

$$w = Q_H - Q_L \quad (۱)$$

$$Q_H = RT_2 In \frac{V_1}{V_2} \quad (۲)$$

$$Q_L = RT_2 In \frac{V_1}{V_2} \quad (۳)$$

نسبت $\frac{V_1}{V_2}$ ، را نسبت تراکم نامند.

$$\eta = \text{مفید}\frac{\text{انرژی}}{\text{شده}} = \text{انرژی هزینه} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{W}{Q_H} \quad (۴)$$

نکته: بازده این سیکل با بازده سیکل کارنو یکسان است و باید چنین باشد زیرا سیکل استرلینگ به خاطر عمل بازیاب برگشت پذیر بوده و تمام سیلکهای برگشت پذیر برای درجه حرارتهای بالا و پایین مساوی بازده یکسانی دارند.

۴– شرح دستگاه

موتور مورد آزمایش یک موتور عملی که با سیکلی تقریباً مشابه سیکل استرلینگ کار می کند. این موتور دارای یک سیلندر کار در آن پیستون کار تحت کنترل یک میل لنگ معمولی و سیستم ارتباط میله حرکت می کند و سیلند دیگر که در آن پیستون (بازیاب جدا کننده) تحت کنترل یک چرخ لنگ خارج از مرکز که روی میله نصب شده حرکت می کند. دو سیلندر توسط یک ارتباط بدون سو پاپی به هم متصل هستند. پیستون بازیاب- جابجا کننده نسبت به پیستون کار 90° جلو بوده و سرعت آن وقتی که سرعت پیستون کار می نیمم است ماکزیمم می‌باشد.

۵– اصول کار

وقتی پیستون کار در نقطه مرگ بالا می باشد (center Dead Top) پیستون بازیاب در حال دور شدن از المان حرارتی و گذشتن از میان سیال داخل سیلندر، با حداکثر سرعت خود می باشد. سیال از دمای T_1 به T_1 گرم می شود و فشار از P_2 به P_3 دلیل افزایش دما افزایش می یابد. و در طی ضربه انبساط پیستون اصلی فشاز از P_3 به P_4 افت می کند.

زمانی که پیستون کار در حال ضربه انبساط می باشد بازیاب در پایین ترین نقطه خود در سیلندر است، بنابراین این قسمت اصلی سیال در معرض المان حرارتی قرار گرفته گرم می شود. وقتی پیستون کار در نقطه مرگ پایین قرار گیرد پیستون مبدل حرارتی به سمت المان حرارتی از میان سیال ، با سرعت حداکثر عبور می کند. و در نتیجه سیال از دمای T_2 به P_1 سرد می شود و فشار نیز به دلیل افت درجه از P_4 به P_1 کاهش می یابد. در طی ضربه تراکم پیستون کار فشار از P_1 تا P_2 افزایش می یابد و چون پیستون بازیاب در بالاترین نقطه سیلندر قرار دارد قسمت عمده و اصلی سیال در تماس با سطح سرد سیلندر می باشد و در نتیجه سرد می شود. در هر موقعیت پیستون کار، فشار طی ضربه انبساط بیشتر از ضربه تراکم است و این بدان معنی است که این فرایند کار خالص دارد. تغییر در بازده سیکل استرلینگ، با کاربرد گازهایی با خواص سیالی و ترمودینامیکی متفاوت با هوا یعنی مانند هیدروژن، هلیم، دی اکسید به عنوان سیال نیز حاصل می شود.

۵–۱– منبع قدرت

المان گرم کننده دارای مقاومت الکتریکی اهم بوده و برای استفاده با منابع ولتاژ پایین ساخته شده است. توان المان حرارتی وات است. از منبع قدرت برای گرم کردن و انبساط استفاده می شود.

۵–۲– شروع کار موتور

جریان را روی ۲ آمپر تنظیم کنید. المان گرم شونده شورع به سرخ شدن می کند بعد از حدود ۴ دقیقه چرخ طیار را در جهت عقربه های ساعت بچرخانید. موتور به حرکت خود ادامه خواهد داد.

۵–۳– دینامومتر

با استفاده از دینامومتر قدرت خروجی و بنابراین بازده موتور با سرعتها و قدرتهای ورودی مختلف قابل محاسبه است.

۶– محاسبات

$$P_1 - 0.6\mathrm{VI} = 0.6RI^2 = 0.6\frac{V^2}{R}$$ قدرت ورودی (۵)

$P_2 = \mathrm{T}.\omega$ قدرت خروجی (۶)

$T = F \times r$ گشتاور (۷)

$F = F_2 - F_1$: نیروی موثر (۸)

$\omega = 2\pi N$ سرعت زاویه ای (۹)

F_2: نیرویی که نیروسنج نشان می دهد

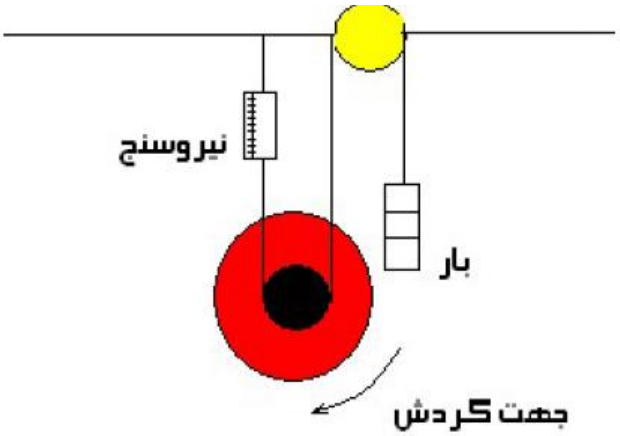
F_1: نیروی وزنه ها

که پارامترهای موجود در روابط بالا به صورت زیر تعریف می شوند:

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده در روابط

$V=$	ولتاژ دو سر المنت (ولت) / (V)
$I=$	جریان در المنت (آمپر) / (A)
$R=$	مقاومت المنت (آهم) (Ω)
$N=$	دور (دور بر دقیقه) / (rpm)
$F=$	نیرو / (N)
$T=$	گشتاور (نیوتن. متر) ($N.m$)
$r=$	شعاع پولی / (m)

دینامومتور را مطابق شکل زیر سوار کنید و مطمئن شوید که برآمدگی میل لنگ آغشته به گرد و خاک و چربی نباشد.



شکل ۴- دینامومتور

۷– خواسته‌ها

۱- نقش بازیاب را توضیح دهید؟

۲- علت تغییرات زمان رفت و برگشتی را توضیح دهید؟

۳- منحنی های مورد نیاز را برای این آزمایش رسم کنید؟

۴- چرا برامدگی میل لنگ نباید به چربی و گردوخاک آغشته باشد؟

۵- درباره نتایج بدست آمده و راندمان دستگاه بحث کنید؟