

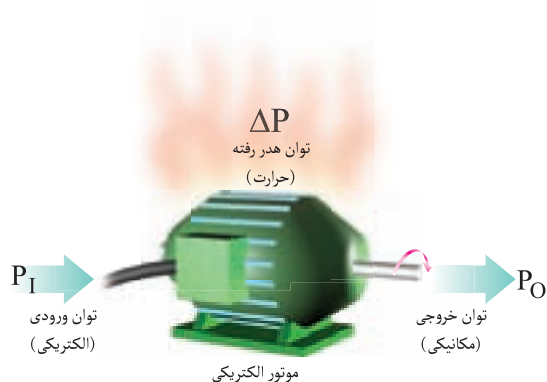
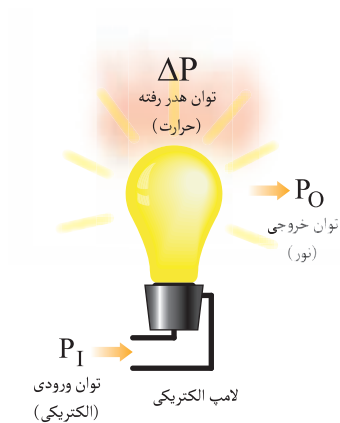
کار و توان

هدف‌های رفتاری : در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

- ۱- کار الکتریکی را با ذکر رابطه شرح دهد.
- ۲- توان الکتریکی را با ذکر روابط شرح دهد.
- ۳- ضریب بهره (راندمان) را با ذکر رابطه توضیح دهد.
- ۴- ارتباط انرژی الکتریکی با گرما را شرح دهد.

توان خروجی توان ورودی تلفات توان

$$\Delta P = P_1 - P_2$$



سیمای فصل ۳

- کار الکتریکی
- توان الکتریکی
- ضریب بهره (راندمان)
- ارتباط انرژی الکتریکی با حرارت



آشنایی با دانشمندان

وات

(Watt, James / ۱۸۱۹-۱۷۳۶)



James Watt.

وات در اسکاتلند به دنیا آمد و در بیرمنگام چشم از جهان فرو بست. او از کودکی رنجور بود و زندگی اش با فقر و تهی دستی قرین بود. او در لندن با سختی تمام یک سالی را به کارآموزی گذرانید و با ابزار و اسباب مکانیکی آشنا شد. با بازگشت به اسکاتلند او در دانشگاه گلاسکو شغلی به دست آورد و همان جا بود که توانست برای اصلاح و تکمیل ماشین بخار راه حلی به دست آورد. وات ماشین بخار خود را که بازده و سرعت عمل بیشتری داشت در سال ۱۷۶۹ عرضه کرد. چند سال بعد ۵۰۰ دستگاه از ماشین های وات در سراسر انگلستان مشغول به کار بود. نتایج حاصل از ماشین بخار وات بیرون از حساب بود. با در دست داشتن ماشین های بخار که با زغال سنگ به کار می افتاد حرکت چرخ های عظیم صنایع در هر نقطه آماده بود و دیگر لزومی نداشت که کارخانه ها برای گرداندن موتور از نیروی سقوط آب استفاده کنند و در واقع انقلاب صنعتی آغاز شده بود. دستگاه گریز از مرکز تنظیم بخار نیز از اختراعات او است. واحد توان به احترام او وات نامیده می شود.

۳- کار و توان

۳-۱- کار الکتریکی

در مباحث الکتریسیته کار الکتریکی بر پایه پارامترهای الکتریکی ولتاژ، جریان و زمان به صورت زیر تعریف می‌شود. هرگاه ولتاژی در یک مدار بار الکتریکی را جابه‌جا کند گفته می‌شود «کار الکتریکی» انجام داده است. اصطلاحاً به کار الکتریکی «انرژی الکتریکی» نیز گفته می‌شود و مقدار آن از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} W &= V.q \\ q &= It \\ W &= V.I.t \quad (1) \end{aligned}$$

q - بار الکتریکی برحسب کولن [C]

V - اختلاف پتانسیل برحسب ولت [v]

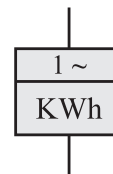
I - شدت جریان برحسب آمپر [A]

t - مدت زمان مصرف برحسب ثانیه [s]

W - کار (انرژی) الکتریکی برحسب وات. ثانیه یا ژول

[j]

وسيله‌ای که برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی به کار می‌رود «کنتور» نام دارد. شکل ۳-۱ علامت اختصاری کنتور را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱

$$P = \frac{W}{t} \quad (2)$$

به دست آورد.

W - مقدار کار انجام شده برحسب ژول [J]

t - مدت زمان انجام کار برحسب ثانیه [s]

P - توان (قدرت) برحسب ژول بر ثانیه یا وات [W]

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V.I.t}{t}$$

$$P = V.I \quad (3)$$

اگر به جای کار انجام شده (W) معادل آن را قرار دهیم رابطه دیگری از توان که با کمیت‌های الکتریکی ارتباط دارد، به صورت رابطه (۳) به دست می‌آید. هرگاه با بهره‌گیری از قانون اهم به جای V در رابطه (۲) معادل آن را قرار دهیم شکل دیگری از رابطه توان به صورت رابطه (۴) نتیجه می‌شود.

$$V = R.I \quad (\text{قانون اهم})$$

$$P = (R.I).I$$

$$P = R.I^2 \quad (4)$$

برای حل مسائل مربوط به توان لازم است به اطلاعات داده شده توجه کرد و براساس آن یکی از روابط توان را به کار برد. توان را با واحد دیگری به نام «اسب بخار - hp» نیز می‌سنجند که معادل ۷۳۶ وات است.

$$1 \text{ hp} = 736 \text{ w}$$

از وسیله‌ای به نام وات‌متر برای اندازه‌گیری توان در مدارهای الکتریکی استفاده می‌شود.

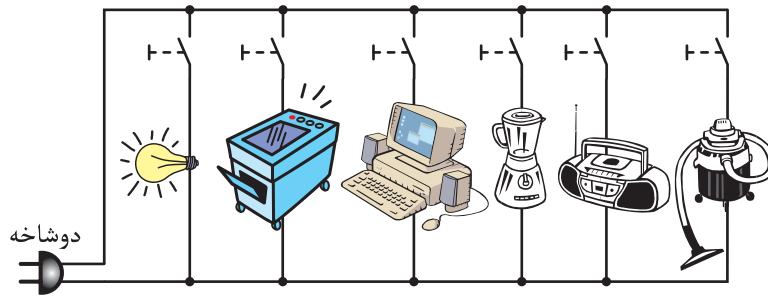
۳-۲- توان الکتریکی

طبق تعریف به مقدار کار انجام شده در واحد زمان «توان» یا «قدرت» گفته می‌شود که مقدار آن را مطابق رابطه (۲) می‌توان

تذکره: هرگاه (مطابق شکل ۳-۲) در یک مدار الکتریکی از چند وسیله به صورت هم‌زمان استفاده شود، برای



۱- اصطلاحاً به حاصل ضرب کولن در ولت نیز ژول گفته می‌شود.



شکل ۲-۳

$$P = V.I \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{368}{220} = 1.67 \text{ [A]}$$

$$t = 50 \Rightarrow t = 50 \times 60 = 3000 \text{ [s]}$$

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P.t = 368 \times 3000$$

$$= 1104000 \text{ [J]} = 1104 \text{ [kJ]}$$

محاسبه توان کل مدار باید حاصل جمع توان‌های تک تک وسایل را بر اساس رابطه (۵) به دست آورد.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (5)$$

در این رابطه:

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = توان هر یک از وسایل بر حسب

وات [W]

P_T = توان کل بر حسب وات [W]

با کمی دقت در رابطه (۲) می‌توان نتیجه گرفت که برای

محاسبه انرژی الکتریکی مصرفی دستگاه‌ها یا مدار می‌توان از رابطه (۶) نیز استفاده کرد.

$$W = P.t \quad (6)$$

در این رابطه:

P - توان دستگاه (دستگاه‌ها) بر حسب کیلووات

t - زمان بر حسب ساعت

W - انرژی الکتریکی بر حسب کیلووات ساعت

اگر توان بر حسب وات و زمان بر حسب ثانیه باشد انرژی

مصرفی بر حسب ژول محاسبه می‌شود.



شکل ۳-۳ - موتور الکتریکی

تذکر: اداره برق برای محاسبه انرژی الکتریکی

از واحد kwh استفاده می‌کنند، یعنی مقدار توان مصرفی را که همان حاصل ضرب ولتاژ در جریان است بر حسب کیلووات و زمان را بر حسب ساعت در نظر می‌گیرند. در نتیجه از ضرب آن‌ها واحد کیلووات ساعت برای انرژی الکتریکی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۳-۴).

مثال: مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور الکتریکی

(شکل ۳-۳) با قدرت $\frac{1}{4}$ hp را که در شبکه ۲۲۰ ولتی به مدت ۵ دقیقه کار می‌کند، حساب کنید.

حل:

$$P = \frac{1}{4} \times 736 = 368 \text{ W}$$

مثال: در جدول زیر مقدار کار الکتریکی هر یک از وسایل یک منزل مسکونی و هم چنین انرژی الکتریکی کل را به دست آورید.

وسيلة الكتریکی	تعداد	توان هر وسیله (وات)	زمان کارکرد (ساعت)
لامپ	۱۵	۱۰۰	۵
یخچال	۱	۲۰۰	۱۰
جاروبرقی	۱	۱۲۰۰	۲
فریزر	۱	۳۰۰	۶

حل:

$$100W = \frac{100}{1000} = 0.1 \text{ kw}$$

$$200W = \frac{200}{1000} = 0.2 \text{ kw}$$

$$1200W = \frac{1200}{1000} = 1.2 \text{ kw}$$

$$300W = \frac{300}{1000} = 0.3 \text{ kw}$$

$$W = P \cdot t$$

$$W_1 = (15 \times 0.1) \times 5 = 0.75 \text{ kwh}$$

$$W_2 = 0.2 \times 10 = 2 \text{ kwh}$$

$$W_3 = 1.2 \times 2 = 2.4 \text{ kwh}$$

$$W_4 = 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ kwh}$$

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W_T = 0.75 + 2 + 2.4 + 1.8$$

$$W_T = 6.95 \text{ kwh}$$

۳-۳- ضریب بهره (راندمان)

به طور کلی در همه دستگاه‌ها و در شرایط واقعی مقدار کاری که انجام می‌دهند با مقدار انرژی الکتریکی که از شبکه دریافت می‌کنند برابر نیست. به عبارت دیگر مقدار «توان خروجی P_2 » به اندازه توان ورودی P_1 نیست و همیشه مقدار P_2 از P_1 کم‌تر است. چرا که بخشی از توان به صورت‌های حرارت، اصطکاک

$$W = V \cdot I \cdot t$$

$$W = P \cdot t$$

$$[KWh] = [KW] \cdot [h]$$

شکل ۳-۴

مثال: مقدار انرژی الکتریکی (کار الکتریکی) یک موتور ۵ کیلوواتی که در هر روز حدود ۴ ساعت کار می‌کند چه قدر است؟

حل:

$$W = P \cdot t = 5 \times 4 = 20 \text{ kwh}$$

مثال: یک آب‌گرم‌کن الکتریکی ۶۰ لیتری (مانند شکل ۳-۵) در مدت ۳ ساعت آب را گرم می‌کند. در صورتی که توان المنت آب‌گرم‌کن ۲۰۰۰ وات باشد انرژی مصرفی چند کیلووات ساعت است؟ انرژی مصرفی هر لیتر آب گرم را حساب کنید.

حل:

$$W = p \cdot t$$

$$W = 2 \text{ kw} \times 3 \text{ h} = 6 \text{ kwh}$$

انرژی الکتریکی برای هر لیتر

$$W' = \frac{W}{60} = \frac{6}{60} = 0.1 \text{ kwh}$$



شکل ۳-۵

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

راندمان
(حرف یونانی که
اِنا خوانده می شود)

(۱۱)

در اکثر موارد مقدار راندمان وسایل الکتریکی روی بدنه آن‌ها نوشته نمی‌شود. در صورتی که بخواهیم مقدار آن‌را به دست آوریم باید توان نوشته شده روی پلاک مشخصات وسیله الکتریکی را که نشان‌دهنده توان خروجی (P_2) است، به همراه ولتاژ کار (V) و جریان مورد نیاز قرائت کنیم و مقدار P_1 را که از حاصل ضرب V در I به دست می‌آید، محاسبه نماییم و سپس مقدار راندمان را به دست آوریم.

مرحله (I)	قرائت مقادیر P_2 و V و I از روی پلاک مشخصات
مرحله (II)	محاسبه توان ورودی $P_1 = V.I$
مرحله (III)	محاسبه راندمان $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$

مثال: هرگاه توان حرارتی برای تولید بخار نیروگاه (شکل ۳-۸) معادل 2 MW و مقدار انرژی الکتریکی خروجی از نیروگاه 8 MW باشد، ضریب بهره (راندمان) این نیروگاه چند درصد و مقدار تلفات چند مگاوات است؟

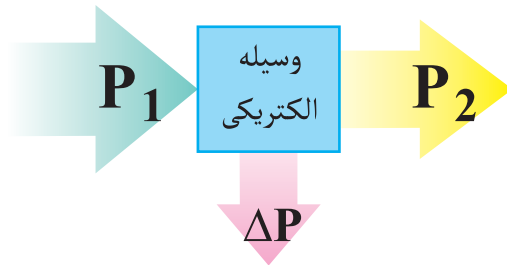
حل:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

$$\eta = \frac{8}{2} \times 100$$

$$\eta = 400\%$$

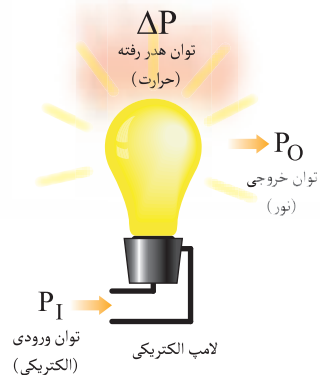
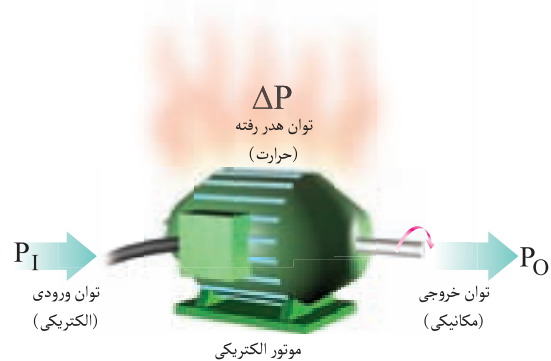
... هدر می‌رود (شکل ۳-۶). از رابطه (۱۰) می‌توان مقدار «توان هدررفته» یا «تلفات توان» را محاسبه کرد. ضمناً شکل (۳-۷) نمونه‌هایی از زمینه‌های هدررفتن بخشی از توان ورودی را نشان می‌دهد. اصطلاحاً به نسبت توان خروجی به توان ورودی هر وسیله «ضریب بهره» یا «راندمان» گفته می‌شود و مقدار آن مطابق رابطه (۱۱) محاسبه و معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شود.



شکل ۳-۶

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

تلفات توان توان ورودی توان خروجی



شکل ۳-۷

استفاده می‌شده که امروزه نیز استفاده از آن متداول است. یک

$$1[\text{cal}] = 4/18[\text{J}] \quad \text{کالری برابر 4/18 ژول است.}$$

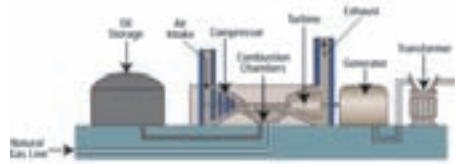
$$1[\text{J}] = \frac{1}{4/18} \text{cal} = 0/24 \text{cal}$$

مثال: بر روی یک بخاری برقی (شکل ۳-۹) توان به صورت $P = 2000 \text{W}$ نوشته شده، مطلوب است.



$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P = 2 - 0/8 = 1/2 \text{MW}$$



شکل ۳-۹



شکل ۳-۸

۳-۴- ارتباط انرژی الکتریکی با گرما

جیمز ژول فیزیک‌دان انگلیسی نخستین کسی بود که رابطه میان گرما و کار را مطالعه کرد. ژول در مطالعه اثر گرمایی جریان الکتریسته نیز پیش‌گام بود. او بر پایه نتایج تجربی حاصل و فرمول‌بندی این نتایج، قانون موسوم به قانون ژول را چنین بیان کرد:

گرمای حاصل از عبور جریان در یک رسانا با مقدار مقاومت رسانا، مجذور شدت جریان و زمان عبور جریان نسبت مستقیم دارد.

$$W = P.t = R.I^2.t$$

در مقاومت تمام کار انجام شده توسط جریان به گرما تبدیل می‌شود. پس انرژی الکتریکی مصرف شده با مقدار گرما برابر است؛ یعنی:

$$W = Q$$

که در آن W انرژی الکتریکی برحسب ژول [J]؛ Q مقدار گرمای تولیدشده برحسب ژول است.

برای اندازه‌گیری گرما از واحد دیگری به نام کالری

الف) انرژی الکتریکی مصرفی بخاری طی یک ساعت کار

روزانه

ب) محاسبه هزینه برق مصرفی در یک ماه (۳۰ روز) اگر قیمت هر کیلووات ۱۰۰۰ ریال باشد.

ج) مقدار حرارت ایجاد شده در اطراف بخاری طی یک ساعت کار برحسب کالری و کیلوکالری

حل:

$$W = P.t \quad \text{الف)}$$

$$W = 2 \text{kw} \times 1 \text{h} = 2 \text{kwh}$$

$$\text{ب) ریال } 1000 \times 2 \times 30 = 60000 = \text{هزینه برق}$$

$$\text{ج) } W = P.t = 2000 \times 3600 = 7200000 \text{ J}$$

$$W = 0/24 \times 7200000 = 1728000 \text{ cal}$$

$$= 1728 \text{kcal}$$



مثال : برای این که آب در سماور برقی (شکل ۳-۱۰) در مدت نیم ساعت به جوش آید نیاز به ۴۳۲۰۰۰ کالری گرما دارد. در صورتی که گرمای لازم توسط یک گرم کن برقی با ولتاژ ۲۲۰ ولت تأمین شود توان مقاومت گرم کن و جریان مصرفی را حساب کنید.

حل :

$$1 \text{ J} = 0.24 \text{ cal} \Rightarrow \text{cal} = \frac{\text{J}}{0.24}$$

$$W = 432000 \text{ cal} = 432000 \times \frac{\text{J}}{0.24}$$

$$W = 1800000 \text{ J}$$

$$W = P.t \text{ [ژول]}$$

$$W = 0.24$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1800000}{30 \times 60} = 100 \text{ [W]}$$

$$P = V.I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100}{220} = 4/54 \text{ A}$$

$$V = R.I \Rightarrow R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{220}{4/54} = 48/5 \Omega$$



شکل ۳-۱۰

◀ پرسش‌های چهار گزینه‌ای

- ۱- کدام وسیله برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی استفاده می‌شود؟
 الف) وات متر ب) کنتور ج) نیروسنج د) ولت متر
- ۲- ژول معادل کدام یک از واحدهای زیر است:
 الف) وات ثانیه ب) کیلووات ساعت ج) اسب بخار د) کالری
- ۳- توان خروجی یک الکتروموتور دی سی (DC) با مشخصات پلاک نشان داده شده در شکل ۳-۱۱ چند وات است؟
 پلاک موتور

$U = 220V$
$I = 5A$
$\eta = 90\%$

شکل ۳-۱۱

- الف) ۹۹۰ ب) ۱۱۵۰ ج) ۴۴ د) ۱۲۲۲/۲
- ۴- راندمان منبع تغذیه‌ای با قدرت دریافتی $6W$ و توان خروجی معادل $5W$ چند درصد است؟
 الف) ۵۰/۵٪ ب) ۸۳/۳٪ ج) ۶۰/۲٪ د) ۴۵/۱٪

◀ پرسش‌های پرکردنی

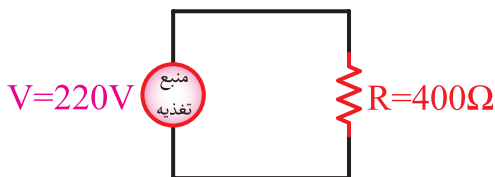
- ۵- نوعی انرژی که در اثر عبور جریان الکتریکی در سیم هدر می‌رود نام دارد.
- ۶- برای اندازه‌گیری توان مصرفی در مدارهای الکتریکی از وسیله‌ای به نام استفاده می‌شود.
- ۷- هرچه توان مصرف‌کننده بیش تر باشد مقدار جریان دریافتی آن از شبکه است.

◀ پرسش‌های درست و نادرست

- ۸- مبنای محاسبه برق مصرفی برحسب کیلووات ساعت است. درست نادرست
- ۹- برای بیان میزان کارایی هر وسیله از اصطلاح توان خروجی استفاده می‌شود. درست نادرست

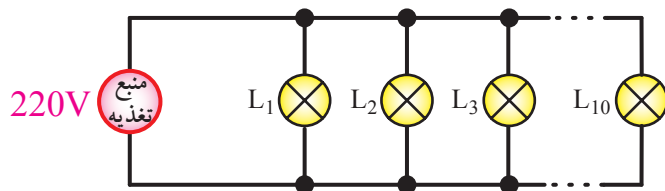
◀ پرسش‌های تشریحی (مسائل)

- ۱۰- در مدار شکل ۳-۱۲ اگر R نشان‌دهنده مقاومت المنت یک سماور برقی باشد، این مقاومت در مدت زمان ۱۰ دقیقه چند کالری گرمای تولید می‌کند؟
 پاسخ: $17368/4$ کالری



شکل ۳-۱۲

۱۱- اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی (مطابق شکل ۱۳-۳) به مدت دو ساعت روشن باشد هزینه برق مصرفی آنها چه قدر است؟ در صورتی که بهای هر کیلووات ساعت ۱۰۰۰ ریال در نظر گرفته شود.
پاسخ: ۲۰۰۰ ریال



شکل ۱۳-۳

۱۲- مقدار انرژی مصرفی در یک لامپ ۱۰۰ وات را در مدت ۲ ساعت برحسب ژول حساب کنید. پاسخ:
۷۲۰۰۰۰

۱۳- شدت جریان مصرفی یک لامپ ۱۰۰ وات در شبکه ۲۲۰ ولتی را به دست آورید. پاسخ: ۰/۴۵ آمپر

۱۴- توان الکتروموتور یخچال خانگی $\frac{1}{6}$ اسب بخار است. توان آن را برحسب وات به دست آورید.

۱۵- بر روی گرم کن برقی (هیتر) یک سماور برقی عدد $1000W$ نوشته شده است. اگر سماور گنجایش ۵ لیتر آب را داشته باشد، زمان لازم برای جوشیدن آب چند دقیقه است؟ (دمای اولیه آب را ۱۵ درجه سانتی گراد فرض نمایید).

پاسخ: ۲۹/۷۵ دقیقه

$$C = 4186 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \text{ گرمای ویژه آب}$$

$$\rho = 1 \frac{kg}{Lit} \text{ جرم حجمی آب}$$