فصل اول

«سیستم قدرت: مرور کلی»

۱ـ۱) یک نیروگاه برق آبی ۸۵ فوت ارتفاع دارد و متوسط جریان آب آن ۳۰۰۰ فوت مکعب بر ثانیه است. اگر بازده کلی آن ۶۵ درصد باشد، توان الکتریکی تولید شده را به دست آورید.

☑ **پاسخ:** ابتدا اندازه‌های داده شده را به سیستم متریک تبدیل می‌نماییم:

$$h = ۸۵ \times ۱۲ \times ۲/۵۴ \times ۱۰^{-۲} = ۲۵/۹۰۸ \text{ m}$$

$$q = ۳۰۰۰ \times (۱۲ \times ۲/۵۴ \times ۱۰^{-۲})^{۳} = ۳۰۰۰ \times (۰/۳۰۴۸)^{۳} = ۸۴/۹۵۰۵ \ (\text{m}^{۳}/\text{sec})$$

حال، داریم:

$$P_{۰} = ۹/۸۱ \times q \times h \times \eta = ۹/۸۱ \times ۸۴/۹۵۰۵ \times ۲۵/۹۰۸ \times ۰/۶۵ = ۱۴۰۳۴/۰۲۳ \text{ W} = ۱۴/۰۳۴ \text{ kW}$$

۱ـ۲) یک نیروگاه برق آبی دارای ۸ ژنراتور ۶۴ مگاواتی است که ارتفاع هر یک از آن‌ها ۲۰ متر است. این نیروگاه دو ژنراتور ۴۲ مگاواتی با ارتفاع ۱۵ متر نیز دارد. هر توربین، آب را با نرخ ۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه تخلیه می‌کند. بازده کلی این نیروگاه برق آبی را به دست آورید.

☑ **پاسخ:**

$$P_{۰} = ۸ \times ۶۴ + ۲ \times ۴۲ = ۵۱۲ + ۸۴ = ۵۹۶ \text{ MW} = ۵۹۶ \times ۱۰^{۳} \text{ kW}$$

$$P_{۰} = ۹/۸۱ \times q \times h \times \eta$$

$$\eta = \frac{P_{۰}}{۹/۸۱ \times q \times h} = \frac{۵۹۶ \times ۱۰^{۳}}{۹/۸۱ \times ۴۰۰ \times (۸ \times h_{۱} + ۲ \times h_{۲})} = \frac{۵۹۶ \times ۱۰^{۳}}{۹/۸۱ \times ۴۰۰ \times (۸ \times ۲۰ + ۲ \times ۱۵)} = \frac{۵۹۶ \times ۱۰^{۳}}{۷۴۵/۵۶ \times ۱۰^{۳}} = ۰/۷۹۹۴ = ٪۷۹/۹۴$$

۱ـ۳) یک توربین بادی ۱/۲ مگاواتی دارای رتوری به قطر ۶۴ متر است. این توربین در منطقه‌ای کار می‌کند که سرعت متوسط باد در آن ۷/۵ متر بر ثانیه بوده و چگالی هوا ۱/۱۸ کیلوگرم بر متر مکعب است. ضریب عملکرد توربین ۴۲/۸ درصد و بازده آن نیز یک می‌باشد.

الف) توان خروجی و انرژی سالانه تولید شده را به دست آورید.

ب) کل هزینه نصب ۱/۲ میلیون دلار و هزینه سالانه آن براساس معادل وام ۵ درصد با مدت ۲۰ سال برای پوشش ارزش سرمایه است. پرداخت بدهی سالانه (Debt Payment) (DP) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{DP} = \text{CRF} \times \text{کل هزینه نصب}$$

که در آن ضریب بازگشت سرمایه (Capital Recovery Factor) (CRF)، از معادله زیر به دست می‌آید:

$$\text{CRF} = \frac{i(i+۱)^{n}}{(۱+i)^{n} - ۱}$$

که در آن i نرخ سود به اعشاری و n تعداد سال است. اگر ضریب بهره‌برداری و نگهداری سالانه یک درصد ارزش سرمایه باشد، قیمت برق را برحسب سنت بر کیلووات ساعت به دست آورید.

☑ **پاسخ:** (الف)

$$C_{P}.\eta = ۰/۴۲۸$$

$$P_{۰} = \frac{\pi}{۸} \times \eta \times C_{P} \times \rho \times D^{۲} \times v^{۳} = \frac{\pi}{۸} \times ۰/۴۲۸ \times ۱/۱۸ \times (۶۴)^{۲} \times (۷/۵)^{۳} \times ۱۰^{-۳} = ۳۴۲/۷۱۲ \text{ kW}$$

$$\Rightarrow \text{انرژی تولیدی سالانه} = ۳۴۲/۷۱۲ \times ۸۷۶۰ = ۳۰۰۲/۱۵۷ \times ۱۰^{۳}$$

(ب)
$$DB=\frac{i(i+1)^n}{(1+i)^n-1}\times(\text{کل هزینه نصب})=\frac{۰/۰۵(۰/۰۵+1)^{۲۰}}{(1+۰/۰۵)^{۲۰}-1}\times ۱/۲\times ۱۰^۶ = ۹۶۲۹۴/۶ \text{ دلار}$$

هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه $= ۰/۰۱\times ۱/۲\times ۱۰^۶ = ۱۲۰۰۰$ دلار

هزینه کل $=$ هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالانه $+DP = ۹۶۲۹۴/۶+۱۲۰۰۰ = ۱۰۸۲۹۴/۶$ دلار

$$\text{قیمت برق برحسب سنت بر کیلووات ساعت} = \frac{\text{هزینه کل}}{\text{برق تولیدی سالانه}} = \frac{۱۰۸۲۹۴/۶}{۳۰۰۲/۱\times ۱۰^۳} = ۳/۶ \ [\text{سنت/kWh}]$$

۱ـ۴) یک سیستم انرژی جزر و مدی دارای متوسط اختلاف ارتفاع آب ۵ متر و مساحت آب‌گیری ۲۱/۵ کیلومتر مربع است. سیستم چنان طراحی شده است که در طی ورود و خروج آب در هر دو مسیر توان تولید می‌کند. چگالی آب دریا ۱۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب و دوره جزر و مد در حدود ۱۲/۵ ساعت می‌باشد.
الف) حداکثر توان جزر و مد را در این محل محاسبه کنید.
ب) اگر بازده کلی این نیروگاه ۳۰ درصد باشد، انرژی تولید شده سالانه را به دست آورید.

☑ **پاسخ:** (الف)
$$h=۵\,m \quad , \quad A=۲۱/۵\,km^۲\times ۱۰^۶ = ۲۱/۵\times ۱۰^۶ \ (km)^۲ \quad , \quad g=۹/۸۱\,m/s^۲$$

$$T=۱۲/۵\ h = ۱۲/۵\times ۶۰\times ۶۰ = ۴۵\times ۱۰^۳ \ s \quad , \quad \rho = ۱۰۲۵\,kg/m^۳$$

$$P_{۰(۲)} = \eta_g\times\eta_t\times C_P\times\frac{\rho\times g\times A\times h^۲}{T} \ W$$

$$= \frac{۱۰۲۵\times ۹/۸۱\times ۲۱/۵\times ۱۰^{۱۲}\times(۵)^۲}{۴۵\times ۱۰^۳}\times ۱۰^{-۶} = ۱۲۰/۱۰۴ \ MW$$

(ب)
بازده $= ٪۳۰ = ۰/۳$

$$\frac{P_{in}}{P_۰}\times ۱۰۰ = ۳۰ \Rightarrow P_{in} = ۰/۳\,P_{۰(۲)}$$

$$P_{in} = ۰/۳\times ۱۲۰/۱۰۴ = ۳۶/۰۳۱۲ \ MW$$

انرژی تولید شده سالانه $= ۳۶/۰۳۱۲\times ۳۶۵\times ۲۴ = ۳۱۵۶۳۳/۳۱۲ \ MWh$

۱ـ ۵) نقطه شروع برای برنامه‌ریزی برق‌رسانی آینده تخمین تقاضا است. سازگاری رشد تقاضا در طی سال‌ها منجر به روش‌های بسیار زیادی برای برازش منحنی‌های ریاضی به این روند گردیده است. یکی از ساده‌ترین منحنی‌ها به‌صورت زیر است:

$$\mathbf{P = P_۰ e^{\alpha(t-t_۰)}}$$

که در آن α متوسط نرخ رشد در مبنای واحد، P تقاضا در سال t و $P_۰$ تقاضای معلوم در سال $t_۰$ است.
فرض کنید اوج تقاضای قدرت در سال ۱۹۸۴ در ایالات متحده ۴۸۰GW با متوسط نرخ رشد ۳/۴ درصد باشد. با استفاده از MATLAB، اوج تقاضا را برحسب GW از سال ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۹ رسم کنید. همچنین اوج تقاضای قدرت را برای سال ۱۹۹۹ تخمین بزنید.

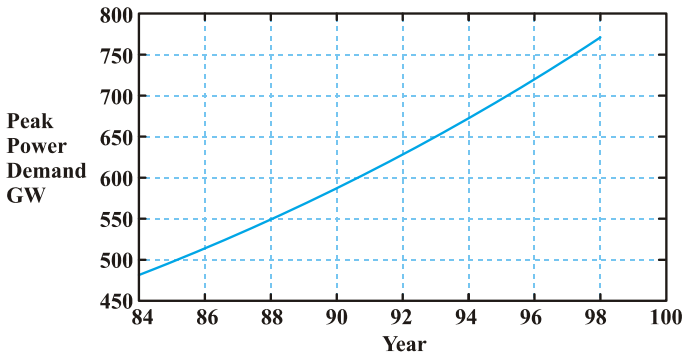
☑ **پاسخ:** از فرامین زیر برای رسم منحنی رشد تقاضا استفاده می‌کنیم:

```
t0 =  84 ;  P0 = 480 ;
a = . 034 ;
t = (84 : 1 : 99) ' ;
P =P0 * exp (a * (t-t0) ) ;
disp ( ' Predicted Peak Demand - GW ')
disp ( [t, P] )
plot (t, P), grid
xlabel ('Year '), ylabel ( 'Peak power demand GW')
P99 =P0 * exp (a * (99 - t0) )
```

نتیجه به‌صورت زیر خواهد بود:

```
Predicted  Peak  Demand  -  GW
    84.0000   480 . 0000
    85.0000   496 . 6006
    86.0000   513 . 7753
    87.0000   531 . 5441
    88.0000   549 . 9273
    89.0000   568 . 9463
    90.0000   588 . 6231
    91.0000   608 . 9804
    92.0000   630 . 0418
    93.0000   651 . 8315
    94.0000   674 . 3740
    95.0000   697 . 6978
    96.0000   721 . 8274
    97.0000   746 . 7916
    98.0000   772 . 6190
    99.0000   799 . 3398
    P99 =
          799.3398
```

منحنی تقاضای پیش‌بینی شده در شکل ۱ـ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ـ۱. اوج تقاضای قدرت در مسأله ۱ـ۵

۱ـ۶) در کشوری انتظار می‌رود که مصرف انرژی در طی ۱۰ سال دو برابر شود. با فرض رشد نمایی ساده مقابل، نرخ رشد α را محاسبه کنید. $P = P_0 e^{\alpha t}$

☑ پاسخ:

$$2P_0 = P_0 e^{10\alpha}$$

$$\ln 2 = 10\alpha$$

با حل معادله برای α داریم:

$$\alpha = \frac{0/693}{10} = 0/0693 = \%\ 6/93$$

۱ـ۷) بار سالانه یک پست در جدول ۱ـ۱ داده شده است. فرض کنید که در طی هر ماه قدرت ثابت و مقدار متوسطی داشته باشد. با استفاده از MATLAB و تابع barcycle، منحنی بار سالانه را به دست آورده و آن را رسم کنید. روابط لازم را برای محاسبه بار متوسط و ضریب بار سالانه نوشته و مقادیر آن‌ها را به دست آورید.

جدول ۱-۱. بار سالانه پست

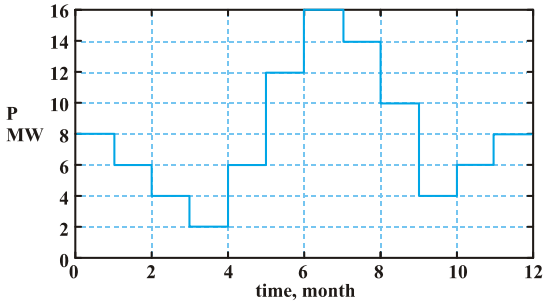
بار سالانه سیستم	
دوره ـ ماه	بار ـ MW
ژانویه	۸
فوریه	۶
مارس	۴
آوریل	۲
می	۶
ژوئن	۱۲
ژوئیه	۱۶
اوت	۱۴
سپتامبر	۱۰
اکتبر	۴
نوامبر	۶
دسامبر	۸

☑ **پاسخ:** با اجرای فرامین زیر:

```
data = [ 0    1    8
         1    2    6
         2    3    4
         3    4    2
         4    5    6
         5    6   12
         6    7   16
         7    8   14
         8    9   10
         9   10    4
        10   11    6
        11   12    8] ;
P = data(:,3);                          % Column array of load
Dt = data(:, 2) - data(:,1);   % Column array of demand interval
W = P'*Dt;                          % Total energy, area under the curve
Pavg = W/sum(Dt) ;                  % Average load
Peak = max(P)                       % Peak load
LF = Pavg/Peak*100                  % Percent load factor
barcycle(data)                      % Plots the load cycle
xlabel('time, month'),  ylabel('P, MW'),  grid
```

نتیجه می‌شود:

```
Pavg = 8
Peak = 16
LF = 50
```



شکل ۱-۳. **دوره بار ماهانه برای مسأله ۱-۷**