

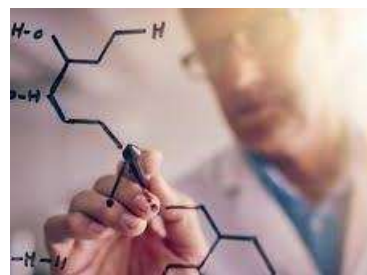


University of Gonabad

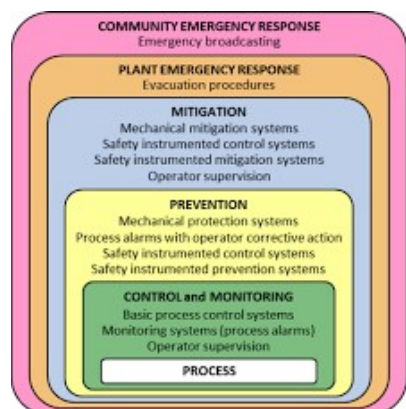
# Plant design and economics for chemical engineers

Vahid Mahmoudi

Assistant Professor,  
Department of Chemical Engineering,  
University of Gonabad



## فصل دوم ملاحظات کلی در طراحی واحد



**Environmental Protection**  
An integral part of the business to demonstrate  
our commitment as a responsible corporate citizen



## ملاحظات کلی در طراحی

### 1. Health & safety hazards

#### مسائل ایمنی و بهداشت

- موادی که تاثیر آنها در مدت زمان کوتاه و فوری آشکار شود، عامل خطر ساز ایمنی گویند. مانند مسمومیت هایی که در اثر گاز  $H_2S$  بوجود می آید.
- موادی که تاثیر آنها در بلند مدت آشکار شود، عامل خطر ساز سلامتی گویند. مانند مواد رادیواکتیو

در این مورد، برخی از کارهایی که باید انجام گیرد در زیر آورده شده است:

- شناسایی یا مشخص کردن منابع انتشار مواد خطرناک
- ارزیابی میزان مواد خطرناک
- کنترل آلودگی و خطرات آن

3

## ملاحظات کلی در طراحی

### 2. Loss prevention

#### جلوگیری از تلفات و خسارات مالی

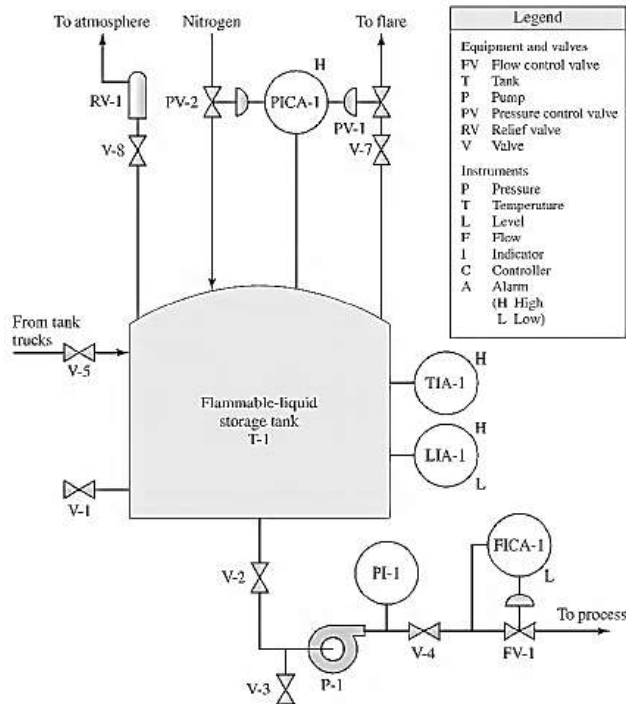
روشهای عمده برای بررسی و آنالیز خطر و تلفات ناشی از آن:

- بررسی خطرات عملیاتی (Hazard & operability study)
- خطراتی مانند بالا یا پایین بودن دما یا فشار، بالا رفتن حجم محتویات تانک و ...
- آنالیز درختی خطا (Fault tree analysis)
- این روش یا تکنیک احتمال وقوع حادثه را بیان می کند و از یک سری کلمات مانند and و or استفاده می کند. زمانی که واژه and استفاده می شود، یعنی اگر تمام خطرات با هم رخ دهد حادثه اتفاق می افتد. زمانی که or استفاده شود یعنی تنها یکی از خطرات کافی است تا حادثه رخ دهد.
- بررسی تخریب و اثرات آن (Failure mode & effect analysis)
- این یک تکنیک خیلی محدود است و معمولاً به قسمت خاصی از یک دستگاه توجه دارد و به کل مجموعه توجهی ندارد. روشهایی که این تکنیک ارائه می دهد برای یک سری فرایندها و تجهیزات خاص می باشد.

4

## ملاحظات کلی در طراحی

### • P&ID



**Figure 2-1**  
Piping and instrumentation diagram used in HAZOP example

5

## ملاحظات کلی در طراحی

**Table 2-5** HAZOP evaluation of the process shown

| Equipment reference and operating conditions | Deviations from operating conditions | What event could cause this deviation? | Consequences of this deviation on item of equipment under consideration | Additional implications of this consequence | Process indications | Notes and questions                                                                      |
|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Storage tank T-1                             | Level<br>Less                        | 1. Tank runs dry                       | Pump cavitates                                                          | Damage to pump                              | LIA-1, FICA-1       | Can reagent react/explode if overheated in pump?                                         |
|                                              |                                      | 2. Rupture discharge line              | Reagent released                                                        | Potential fire                              | LIA-1, FICA-1       | Estimate release quantity.                                                               |
|                                              |                                      | 3. V-3 open or broken                  | Reagent released                                                        | Potential fire                              | LIA-1               | Consider second LAL shutdown on pump.                                                    |
|                                              |                                      | 4. V-1 open or broken                  | Reagent released                                                        | Potential fire                              | LIA-1               | Estimate release quantity.                                                               |
|                                              |                                      | 5. Tank rupture                        | Reagent released                                                        | Potential fire                              | LIA-1               | Consider V-1 protection.                                                                 |
|                                              | More                                 | 6. Unload too much from tank truck     | Tank overfills                                                          | Reagent released via RV-1                   | LIA-1               | What external events can cause rupture?                                                  |
|                                              |                                      | 7. Reverse flow from process           | Tank overfills                                                          | Reagent released via RV-1                   | LIA-1               | Is RV-1 designed to relieve liquid at loading rate? Consider second high-level shutoff.  |
|                                              | No                                   | Same as less                           |                                                                         |                                             |                     | Consider check valve in pump discharge line. Consider second LAH shutdown on feed lines. |
|                                              | Composition<br>Other than            | 8. Wrong reagent                       | Possible reaction                                                       | Possible tank rupture                       |                     | Consider sampling before unloading.                                                      |
|                                              | As well as                           | 9. Impurity in reagent                 | If volatile, possible overpressure<br>Possible problem in reactor       |                                             |                     | Are other materials delivered in trucks?<br>Are unloading connections different?         |

6

## ملاحظات کلی در طراحی

- شاخصهای ایمنی (Safety index)

این تکنیک نیز جدولی ارائه داده و یک سری شاخص های ایمنی را در خود دارد.

- ممیزی ایمنی (Safety audits)

زمانی که کارخانه ای تاسیس می شود، از همان ابتدا مشکلاتی در ساخت و تولید محصول ممکن است به وجود آید که در این جدول ذکر شده است. به عنوان مثال در مورد محل کارخانه، افراد و پرسنل، لوله کشی و ...

## ملاحظات کلی در طراحی

### 3. Environmental protection

مسائل زیست محیطی

به بررسی روشهای دفع پساب و تبدیل پساب به مواد کم خطر یا مفید می پردازد. یک سری قوانین در این مورد توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ارائه شده است.

### 4. Plant location

محل کارخانه

با توجه به اینکه موقعیت جغرافیایی کارخانه می تواند اثر زیادی بر موفقیت آن صنعت داشته باشد، باید دقت زیادی در انتخاب محل کارخانه شود. عواملی مانند در دسترس بودن مواد اولیه، بازار فروش، فراهم بودن انرژی، آب و هوا، امکانات حمل و نقل، منابع آب و ....

## ملاحظات کلی در طراحی

**Table 2-8** Typical gaseous pollutants and their sources

| Key element | Pollutant                                  | Source                                                                            |
|-------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| S           | SO <sub>2</sub>                            | Boiler, flue gas                                                                  |
|             | SO <sub>3</sub>                            | Sulfuric acid production                                                          |
|             | H <sub>2</sub> S                           | Natural gas processing, sewage treatment, paper and pulp industry                 |
|             | R-SH (mercaptans)                          | Petroleum refining, pulp and paper                                                |
| N           | NO, NO <sub>2</sub>                        | Nitric acid production, high-temperature oxidation processes, nitration processes |
|             | NH <sub>3</sub>                            | Ammonia production                                                                |
|             | Other basic N compounds, pyridines, amines | Sewage, rendering, pyridine-base solvent processes                                |

9

## ملاحظات کلی در طراحی

**Table 2-10** Equipment noise sources, levels, and potential control solutions

| Equipment            | Sound level, dBA, at a distance of 1 m | Possible noise control treatments                                                                                                               |
|----------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Air coolers          | 87–94                                  | Aerodynamic fan blades; decrease in rpm and increase in pitch; tip and hub seals; decrease in pressure drop                                     |
| Compressors          | 90–120                                 | Installed mufflers on intake and exhaust, enclosed machine casings, vibration isolation, and lagging of piping systems                          |
| Electric motors      | 90–110                                 | Acoustically lined fan covers, enclosures, and motor mutes                                                                                      |
| Heaters and furnaces | 95–110                                 | Acoustic plenums, intake mufflers, ducts lined and damped                                                                                       |
| Valves               | <80–108                                | Avoidance of sonic velocities, limited pressure drop and mass flow, replacement with special low-noise valves, vibration isolation, and lagging |

10

## ملاحظات کلی در طراحی

### 5. Plant layout

طرح جامع کارخانه

Layout طرح یا نقشه ای است که در آن تمام جزئیات از ابتدای ورود به کارخانه تا پایان تولید محصول مشخص است.

طرح جامع کارخانه باید طوری طرح ریزی شود که موارد زیر رعایت شود:

- کارخانه کمترین جا را اشغال کند.

- سیستم هایی که خطر سازند، مجزا از هم باشند.

- امکان دسترسی آسان به قسمت‌های مختلف کارخانه

- ایجاد فضای کافی برای توسعه

- دسترسی آسان به انرژی های طبیعی مانند باد و ...

11

## ملاحظات کلی در طراحی

### 6. Plant operation & control

عملیات کارخانه و کنترل

به چگونگی انتخاب تجهیزات مورد نیاز برای کارخانه بستگی دارد. بنابراین به سیستم های ابزار دقیق و کنترل برای کنترل دقیق و بهتر سیستم باید توجه شود.

### 7. Utilities

تسهیلات جانبی

واحد های تهیه انرژی های مورد نیاز برای کارخانه، مانند آب، برق، بخار و ... باید مشخص شوند.

### 8. Structural design

طراحی سازه

یک سری تجهیزات وجود دارند که خیلی سنگین هستند و یا برخی از تجهیزات ارتعاش دارند، بنابراین برای این سیستم ها نیاز به یک اسکلت بندی صحیح می باشد.

### 9. Storage

ذخیره سازی

در مورد ذخیره مواد فرار یا سمی باید توجه ویژه ای شود.

### 10. Materials handling

جابجایی مواد

جابجایی مواد از یک قسمت کارخانه به قسمت دیگر آن و یا جابجایی محصولی که تولید می شود باید مد نظر باشد.

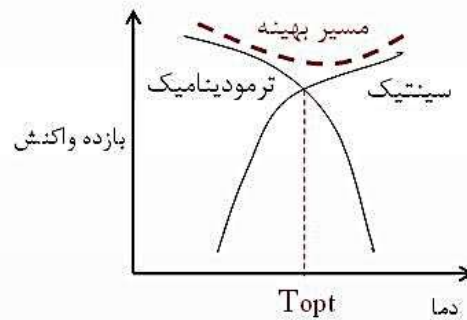
12

## ملاحظات کلی در طراحی

- طراحی بهینه (Optimum design)

وقتی صحبت از طراحی بهینه می شود، حداقل دو مفهوم از آن استنباط می شود:

- طراحی عملیاتی بهینه (Optimum operation design)

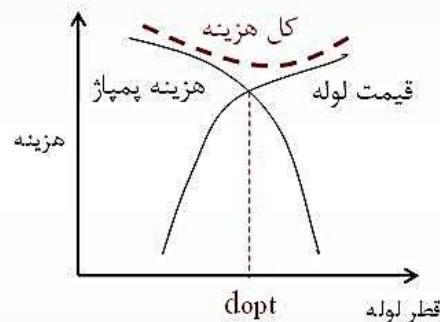


13

## ملاحظات کلی در طراحی

- طراحی اقتصادی بهینه (Optimum economic design)

اگر برای رسیدن به محصول مورد نظر چندین روش موجود باشد، آن روشی را انتخاب می کنیم که کمترین هزینه را داشته باشد.



در تصمیم گیری، معمولاً طراحی اقتصادی بهینه در اولویت قرار دارد.

14

## ملاحظات کلی در طراحی

### نمودار جریان فرآیند (Process flow diagram)

در هر مرحله از طراحی و به منظور درک بهتر فرآیند کلی، کلیه اطلاعات مهم را در فضای کوچکی به نام نمودار جریان نمایش می دهند. سه نوع نمودار فرآیندی داریم:

۱. نمودار کیفی (Qualitative PFD):

در این نمودار فقط نام تجهیزات و جریان مواد، مشخص می شود.

۲. نمودار کمی (Quantitative PFD):

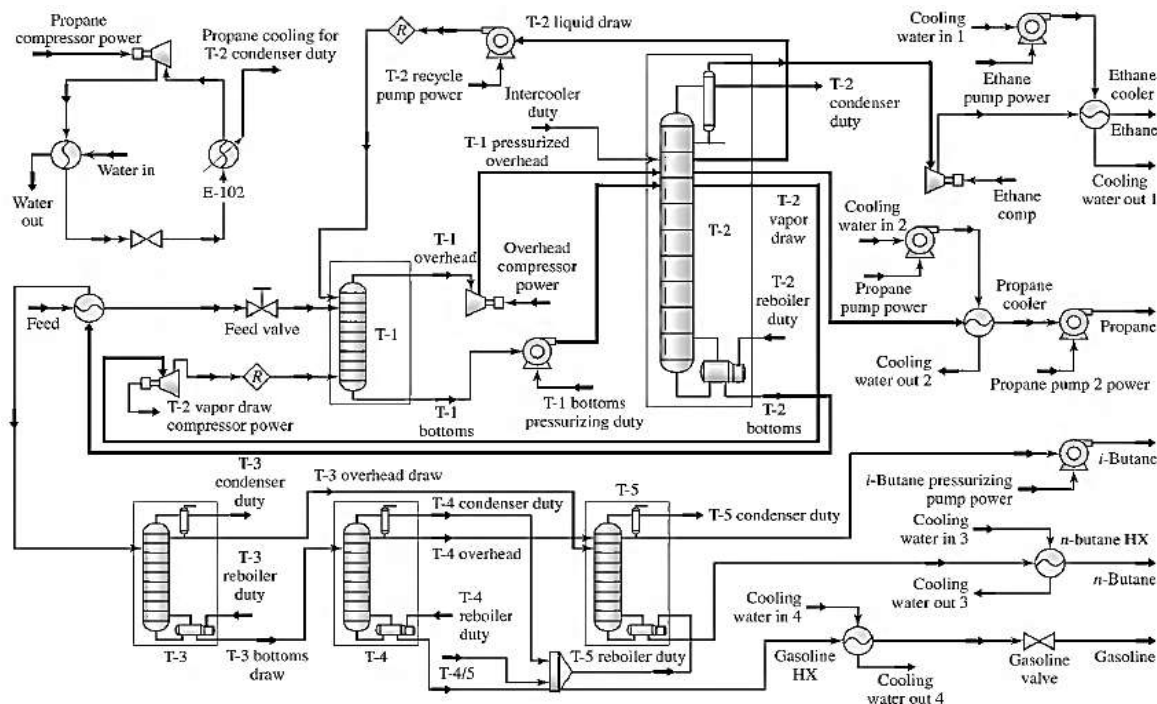
در این نمودار علاوه بر نام تجهیزات و جریان مواد، مقادیر کمی هر یک از جریانها نیز مشخص می شود.

۳. نمودار نهایی (Detail combined PFD):

در این نمودار علاوه بر موارد فوق، محل شیرهای کنترل و تخلیه، فشارسنج ها و دماسنج ها، خطوط آتش نشانی و غیره نیز مشخص می شود.

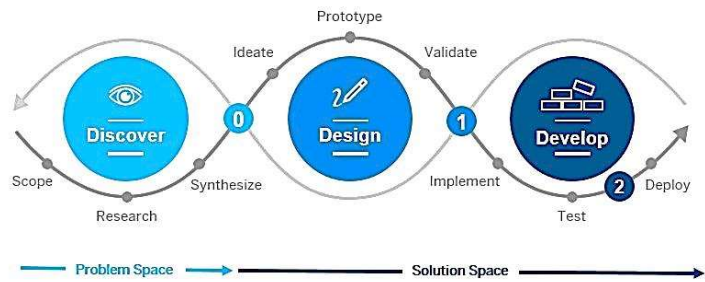
15

## ملاحظات کلی در طراحی



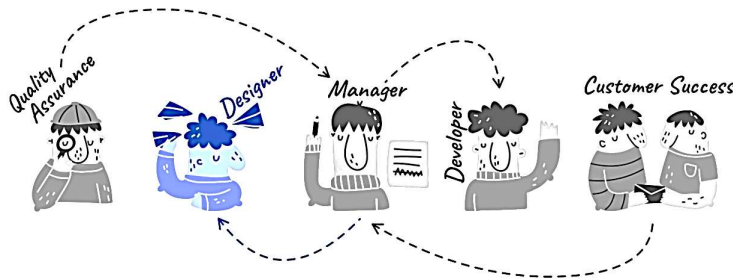
**Figure 3-1**  
Process flow diagram for a natural gas liquid refinery

16



## فصل سوم تکوین طراحی فرآیند

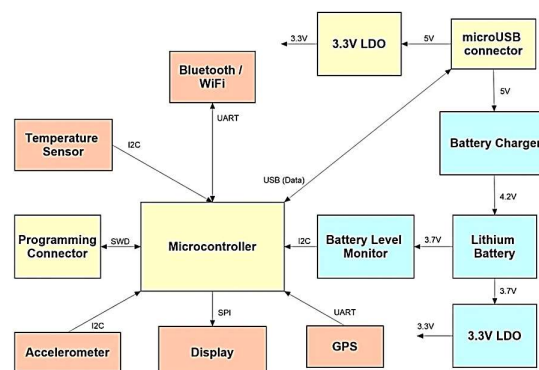
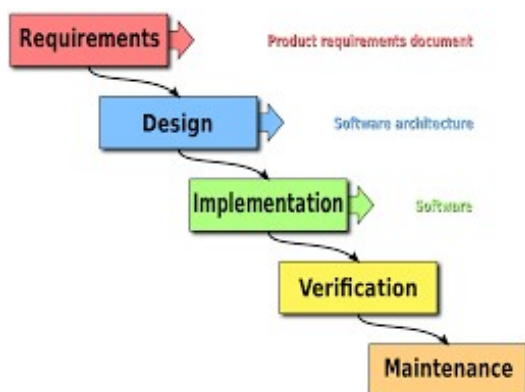
### PROCESS DESIGN DEVELOPMENT



17

## Development types

- Initial plant design
- Development of previously design



18

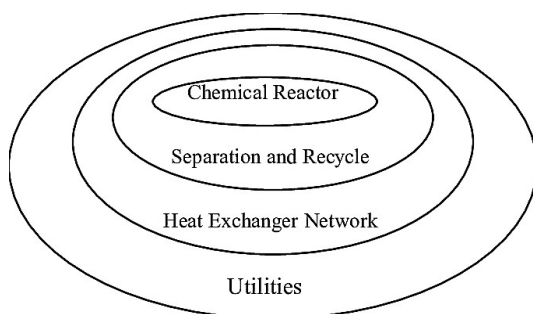
## مراحل طراحی

### ۱. ایجاد بانک اطلاعات طراحی

- بررسی متون: جهت به روز ماندن و ارائه چندین روش برای رسیدن به هدف
- جستجوی اختراعات ثبت شده

### ۲. ایجاد فرآیند

- مقایسه عملیات پیوسته و ناپیوسته (اکثراً پیوسته ارجح است. چرا؟؟؟)
- مشخصات مواد اولیه و محصول: خلوص محصول بستگی به خواسته مشتری دارد.
- مراحل ایجاد فرآیند:



19

## مراحل طراحی

### ۳. طراحی فرآیند: تشخیص بهترین فرآیند

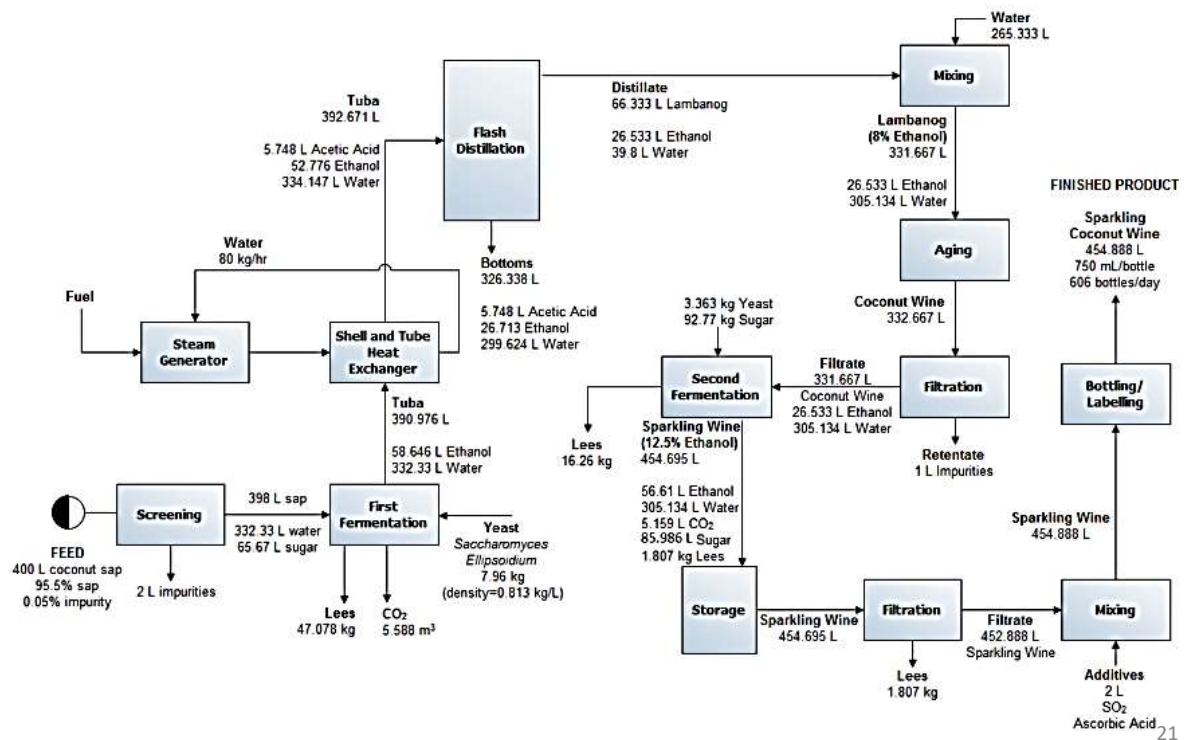
- با بررسی عوامل فنی، مواد اولیه، محصولات جانبی و زائد، تجهیزات، محل کارخانه، هزینه ها، زمان، ملاحظات فرآیندی
- انواع طراحی فرآیند (۵ نوع): از لحاظ بزرگی، طراحی مطالعاتی، طراحی مقدماتی، طراحی تفصیلی-تخمینی، و طراحی تفصیلی یا نهایی

### ۴. نمودارهای جریان فرآیند

- Process Flowsheet Diagram (PFD)

20

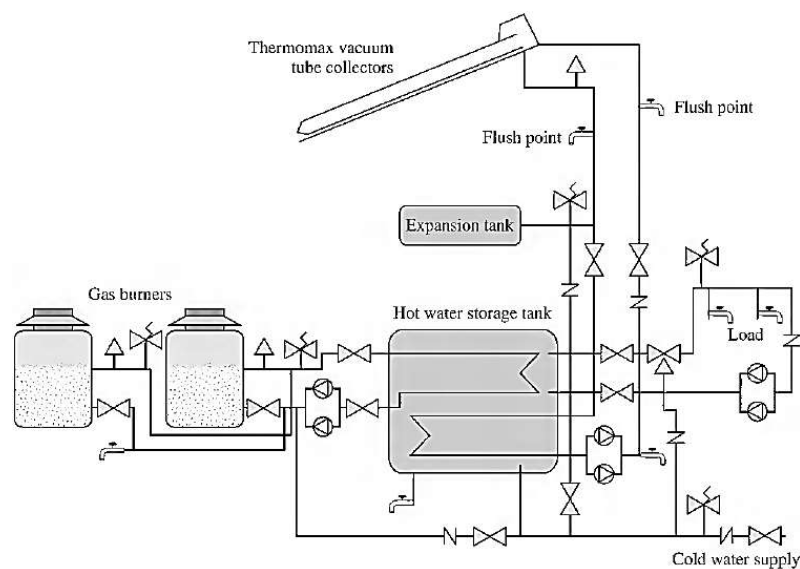
# A typical quantitative PFD



## مراحل طراحی

### ۴. نمودارهای جریان فرآیند

#### • Pipping & Instrumentation Diagram (P&ID)



## مراحل طراحی

### ۵. طراحی و مشخصات تجهیزات

- طراحی نیمه صنعتی و افزایش مقیاس نتایج به حالت صنعتی (شناسایی عوامل مهم)
- ضرایب ایمنی یا Overdesign

**Table 3-1** Factors in equipment scale-up and design<sup>†</sup>

| Type of equipment            | Is pilot plant usually necessary? | Major variables for operational design (other than flow rate) | Major variables characterizing size or capacity | Maximum scale-up ratio based on indicated characterizing variable | Approximate recommended safety or over-design factor, % |
|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Agitated batch crystallizers | Yes                               | Solubility-temperature relationship                           | Flow rate<br>Heat-transfer area                 | > 100: 1                                                          | 20                                                      |
| Batch reactors               | Yes                               | Reaction rate<br>Equilibrium state                            | Volume<br>Residence time                        | > 100: 1                                                          | 20                                                      |
| Centrifugal pumps            | No                                | Discharge head                                                | Flow rate<br>Power input<br>Impeller diameter   | > 100: 1<br>> 100: 1<br>10: 1                                     | 10                                                      |
| Continuous reactors          | Yes                               | Reaction rate<br>Equilibrium state                            | Flow rate<br>Residence time                     | > 100: 1                                                          | 20                                                      |
| Cooling towers               | No                                | Air humidity<br>Temperature decrease                          | Flow rate<br>Volume                             | > 100: 1<br>10: 1                                                 | 15                                                      |
| Cyclones                     | No                                | Particle size                                                 | Flow rate<br>Diameter of body                   | 10: 1<br>3: 1                                                     | 10                                                      |
| Evaporators                  | No                                | Latent heat of vaporization<br>Temperatures                   | Flow rate<br>Heat-transfer area                 | > 100: 1<br>> 100: 1                                              | 15                                                      |
| Hammer mills                 | Yes                               | Size reduction                                                | Flow rate<br>Power input                        | 60: 1<br>60: 1                                                    | 20                                                      |

23

## مراحل طراحی

### ۵. طراحی و مشخصات تجهیزات

- طراحی نیمه صنعتی و افزایش مقیاس نتایج به حالت صنعتی (شناسایی عوامل مهم)
- ضرایب ایمنی یا Overdesign
- مشخصات تجهیزات شامل شناسایی، کارکرد، عملیات و ... (در برگه تجهیزات)
- مصالح ساخت: بررسی اثرات خوردگی، سایش و ...

## مراحل طراحی

| HEAT EXCHANGER                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                        |                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Identification:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Item: <i>Condenser</i><br>Item No. <i>H-5</i><br>No. required <i>1</i> | Date <i>1-1-02</i><br><br>By <i>PTW</i>                                                                                                                                         |
| <b>Function:</b> <i>Condense overhead vapors from methanol fractionation column</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                        |                                                                                                                                                                                 |
| <b>Operation:</b> <i>Continuous</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                        |                                                                                                                                                                                 |
| <b>Type:</b> <i>Horizontal</i><br><i>Fixed tube sheet</i><br><i>Expansion ring in shell</i><br><i>Duty 1000 kW Outside area 44 m<sup>2</sup></i>                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                        |                                                                                                                                                                                 |
| <b>Tube side:</b><br>Fluid handled <i>Cooling water</i><br>Flow rate <i>0.025 m<sup>3</sup>/s</i><br>Pressure <i>240 kPa</i><br>Temperature <i>15 to 25°C</i><br>Head material <i>Carbon steel</i>                                                                                                                                                                                                                        |                                                                        | <b>Tubes:</b> <i>0.0254 m diam. 14 BWG</i><br><i>0.03175 m Centers Δ Pattern</i><br><i>225 Tubes each Length 2.44 m</i><br><i>2 Passes</i><br>Tube material <i>Carbon steel</i> |
| <b>Shell side:</b><br>Fluid handled <i>Methanol vapor</i><br>Flow rate <i>0.9 kg/s</i><br>Pressure <i>101 kPa</i><br>Temperature <i>65°C to (constant temp.)</i>                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                        | <b>Shell:</b> <i>0.56 m diam. 1 Passes</i><br><i>(Transverse baffles Tube support Req'd)</i><br><br><i>(Longitudinal baffles 0 Req'd)</i><br>Shell material <i>Carbon steel</i> |
| <b>Utilities:</b> <i>Untreated cooling water</i><br><b>Controls:</b> <i>Cooling-water rate controlled by vapor temperature in vent line</i><br><b>Insulation:</b> <i>0.051 m rock cork or equivalent; weatherproofed</i><br><b>Tolerances:</b> <i>Tubular Exchangers Manufacturers Association (TEMA) standards</i><br><b>Comments and drawings:</b> <i>Location and sizes of inlets and outlets are shown on drawing</i> |                                                                        |                                                                                                                                                                                 |

25

## مثال طراحی مقدماتی

بررسی امکان تولید اتان به اتیلن در یک شرکت گاز طبیعی

- طراحی بخش جداسازی فرآیند اتیلن با فناوری جدید (ظرفیت 500000 t/yr)

### ۱. ایجاد بانک اطلاعات طراحی

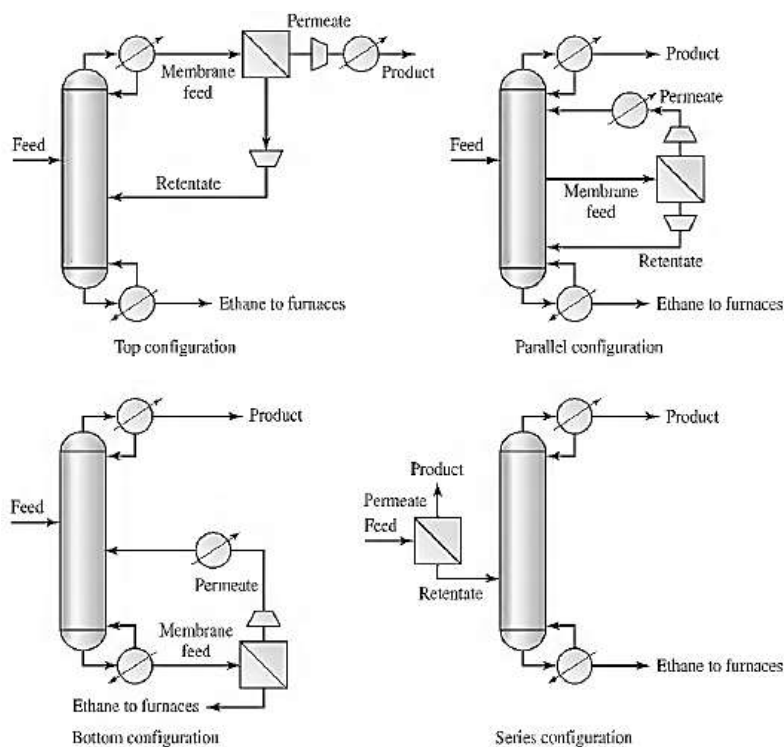
➤ بررسی روش های مختلف مانند جذب انتخابی، جذب سطحی انتخابی، تقطیر استخراجی، جداسازی با غشاء

### ۲. ایجاد فرآیند

➤ ترکیب دو فناوری تقطیر و غشایی (سیستم ترکیبی)

26

## مثال طراحی مقدماتی

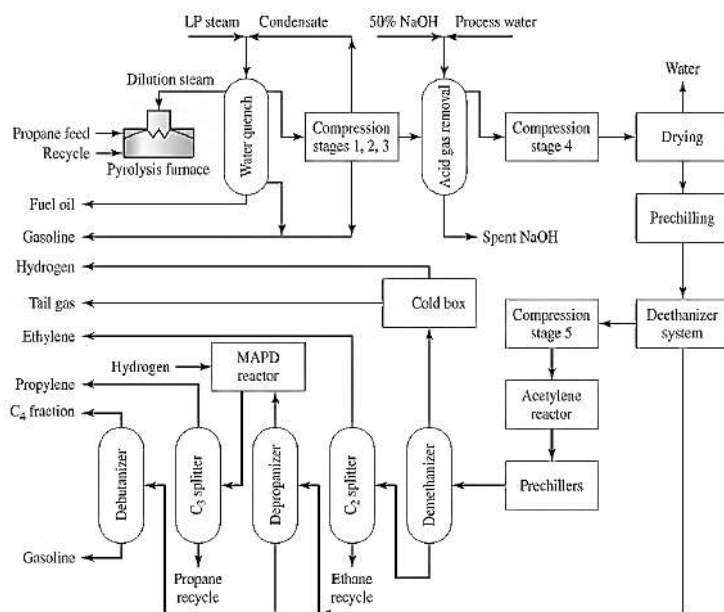


27

## مثال طراحی مقدماتی

### ۳. طراحی فرآیند

- توسعه طرح مبنا



28

## مثال طراحی مقدماتی

۴. نمودار جریان فرآیند

• نمونه PFD

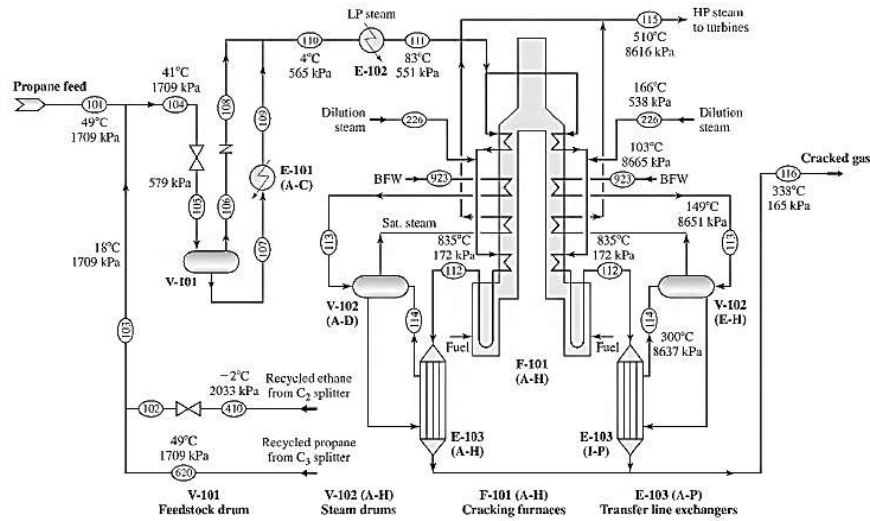


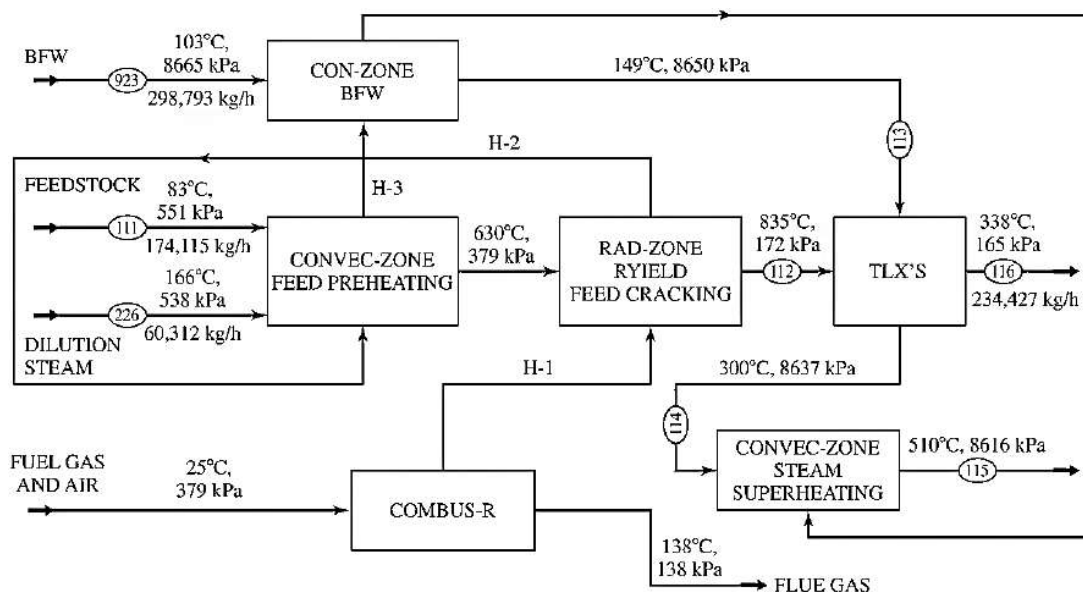
Figure 3-8  
Cracking section for the conventional ethylene process

29

## مثال طراحی مقدماتی

۵. طراحی تجهیزات

• به عنوان مثال کوره شکست حرارتی



30

## مثال طراحی مقدماتی

۵. طراحی تجهیزات (فصل ۱۲ تا ۱۵)

- به عنوان مثال کوره شکست حرارتی

**Table 3-6** Design details of the thermal furnace

|                             |                                           |
|-----------------------------|-------------------------------------------|
| Number of furnaces          | 7 furnaces, one spare                     |
| Number of coils per furnace | 10                                        |
| Heat load per furnace       | 53,500 kW                                 |
| Residence time              | 0.4 s                                     |
| Tube ID                     | 0.102 m                                   |
| Tube OD                     | 0.119 m                                   |
| Coil length                 | 73.7 m                                    |
| Mass velocity               | 143.3 kg/(m <sup>2</sup> ·s)              |
| Heat flux                   | 85.8 kW/m <sup>2</sup>                    |
| Material of construction    | HP Mod (25% Cr, 35% Ni, 0.4% C, 1.25% Nb) |

31

## مثال طراحی مقدماتی

برآورد اقتصادی

- هزینه سرمایه گذاری تجهیزات (فصل ۱۲ تا ۱۵)

**Table 3-8** Summary of purchased equipment cost for the ethylene process<sup>†</sup>

| Equipment type                 | Purchased cost |
|--------------------------------|----------------|
| Heat exchangers and condensers | \$ 5,015,000   |
| Pressure vessels               | 3,069,000      |
| Columns and trays              | 17,235,000     |
| Compressors                    | 34,835,000     |
| Furnaces                       | 19,944,000     |
| Reactors                       | 551,000        |
| Dryers                         | 364,000        |
| Pumps                          | 1,457,000      |
| Separators                     | 96,000         |
| Storage vessels                | 940,000        |
| Total                          | \$83,506,000   |

January 1, 2000, purchased-cost data.

32

## مثال طراحی مقدماتی

برآورد اقتصادی: هزینه سرمایه گذاری ثابت

**Table 3-9** Fixed-capital investment estimate<sup>†</sup>

| Investment items                                   | Cost          |
|----------------------------------------------------|---------------|
| Purchased equipment, $E$                           | \$ 83,506,000 |
| Purchased-equipment installation, $0.47E$          | 39,248,000    |
| Instrumentation and control, $0.36E$               | 30,062,000    |
| Piping (installed), $0.68E$                        | 56,784,000    |
| Electrical (installed), $0.11E$                    | 9,186,000     |
| Buildings (including services), $0.18E$            | 15,031,000    |
| Yard improvements, $0.1E$                          | 8,351,000     |
| Service facilities (installed), $1.05E^{\ddagger}$ | 87,681,000    |
| Total direct plant cost $D$                        | 329,849,000   |
| Engineering and supervision, $0.33E$               | 27,557,000    |
| Construction expenses, $0.41E$                     | 34,237,000    |
| Legal expenses, $0.04E$                            | 3,340,000     |
| Total direct and indirect cost, $D+I$              | 393,983,000   |
| Contractor's fee, $0.05(D+I)$                      | 19,699,000    |
| Contingency, $0.1(D+I)$                            | 39,398,000    |
| Fixed-capital investment (FCI)                     | \$453,080,000 |

<sup>†</sup>Equipment/cost ratio percentages are factors applicable to a fluid-processing plant similar to that outlined in Table 6-9. No land purchase was assumed.

<sup>‡</sup>The estimated cost for service facilities was increased by 50 percent to meet the need for additional environmental and refrigeration requirements in the process.

33

## مثال طراحی مقدماتی

برآورد اقتصادی: هزینه های تولید

**Table 3-10** Material, utility, and by-product costs for the base-case ethylene process

| Variable costs            | Quantity consumed per kilogram of ethylene produced | Market price              | Cost contribution, ¢/kg, of ethylene produced |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------|
| Raw materials             |                                                     |                           |                                               |
| Propane (feedstock)       | 2.3486 kg                                           | 26.66 ¢/kg                | 62.633                                        |
| Caustic (100% basis)      | 0.0017 kg                                           | 11.24 ¢/kg                | 0.019                                         |
| Catalyst and chemicals    | —                                                   | —                         | 0.740                                         |
| Total                     |                                                     |                           | 63.392                                        |
| Utilities                 |                                                     |                           |                                               |
| Cooling water             | 0.3796 m <sup>3</sup>                               | 2.25 ¢/m <sup>3</sup>     | 0.854                                         |
| Process water             | $1.67 \times 10^{-4}$ m <sup>3</sup>                | 31.17 ¢/m <sup>3</sup>    | 0.005                                         |
| Fuel gas                  | 25,416 kJ                                           | \$2.79/10 <sup>6</sup> kJ | 7.091                                         |
| Electricity               | 0.1337 kWh                                          | 4.3 ¢/kWh                 | 0.552                                         |
| Total                     |                                                     |                           | 8.502                                         |
| By-products (produced)    | Quantity produced per kilogram of ethylene produced |                           |                                               |
| Hydrogen-rich gas         | 0.2127 kg                                           | 73.7 ¢/kg                 | —15.675                                       |
| Methane-rich fuel gas     | 27,200 kJ                                           | \$2.79/10 <sup>6</sup> kJ | —7.589                                        |
| Propylene (polymer grade) | 0.373 kg                                            | 57.3 ¢/kg                 | —21.374                                       |
| C <sub>4</sub> fraction   | 0.0979 kg                                           | 42.5 ¢/kg                 | —4.237                                        |
| Pyrolysis gasoline        | 0.1569 kg                                           | 31.0 ¢/kg                 | —4.864                                        |
| Fuel oil                  | 0.0222 kg                                           | 13.7 ¢/kg                 | —0.304                                        |
| Total                     |                                                     |                           | —54.043                                       |

<sup>†</sup>January 1, 2000, cost data

34

## مثال طراحی مقدماتی

برآورد اقتصادی: هزینه های تولید

**Table 3-11** Total product cost estimate

| Cost items                                      | Cost, ¢/kg, of ethylene |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| Direct production costs                         |                         |
| Raw materials (see Table 3-10)                  | 63.39                   |
| Operating labor (9 workers/shift)               | 0.49                    |
| Operating supervision (15% operating labor)     | 0.07                    |
| Maintenance (labor and materials, 4% FCI)       | 3.62                    |
| Utilities (see Table 3-10)                      | 8.50                    |
| Operating supplies (15% maintenance)            | 0.54                    |
| Laboratory charges (20% operating labor)        | 0.10                    |
| Indirect production costs                       |                         |
| Depreciation (10% FCI)                          | 9.07                    |
| Insurance and taxes (2% FCI)                    | 1.81                    |
| Plant overhead costs (80% total labor costs)    | 1.90                    |
| General expenses                                |                         |
| Administrative costs (25% overhead)             | 0.48                    |
| Distribution and selling costs (6% NPC)         | 2.87                    |
| Research and development costs (4% NPC)         | 1.91                    |
| Financing (interest, 7% TCI) <sup>†</sup>       | 7.05                    |
| Credit for sale of by-products (see Table 3-10) | -54.04                  |
| Annual net product cost (NPC), ¢/kg             | 47.76                   |

<sup>†</sup>TCI = \$503,400,000 = \$453,040,000 + 10% (TCI) for working capital.

35

## مثال طراحی مقدماتی

برآورد اقتصادی

- سودآوری: بازگشت سرمایه (ROI) یکی از روش های بررسی سودآوری است. در این مثال، بر مبنای قیمت (¢/kg) ۷۰/۵ برای اتیلن تولیدی، مقدار ROI برابر با ۲۵/۱ درصد است.

36

## فصل چهارم

### طراحی و برآورد هزینه تجهیزات انتقال مواد

#### Materials Handling Equipment Design and Costs



37

### تجهیزات انتقال مواد

- طراحی و تخمین قیمت تجهیزات و سیستم های مورد استفاده در انتقال مواد یکی از مهم ترین موارد در طراحی واحدهای تولیدی می باشد.
- برخی از این تجهیزات و سیستم ها عبارتند از پمپ ها و سیستم های لوله کشی، کمپرسورها، فن ها و نقاله ها که برای انتقال مایعات، گازها و جامدات به کار می روند.
- برخی از تجهیزات نیز برای تغییر خواص مواد به کار گرفته می شوند که از آن جمله می توان به مخلوط کننده ها، همزن ها، خرد کننده ها و آسیاب ها اشاره کرد.



38

## محاسبه توان پمپ و کمپرسور

- برای سیالات تراکم ناپذیر، موازنه کلی انرژی مکانیکی به شکل زیر می باشد:

$$W_o = g \Delta Z + \Delta \left( \frac{V^2}{2\alpha} \right) + \Delta(pv) + \sum F$$

این معادله را می توان برای بسیاری از سیستم های جریان مایع بدون در نظر گرفتن هر گونه فرضی به کار گرفت.

- رابطه موازنه کلی انرژی مکانیکی برای سیالات تراکم پذیر به شکل زیر خواهد بود:

$$W = g \Delta Z + \Delta h + \Delta \left( \frac{V^2}{2\alpha} \right) - Q$$

$$h(\text{enthalpy}) = u + pv$$

39

## لوله کشی در فرآیند انتقال سیال

موسسه استانداردهای ملی آمریکا (ANSI) و موسسه نفت آمریکا (API) استانداردهای کاملی برای اجزای سیستم لوله کشی ارائه کرده است. فهرست این استانداردها به همراه مشخصات لوله و جنس اتصالات در استاندارد ANSI B31 موجود است.

مهم ترین بحث در سیستم های لوله کشی، مقاومت سیستم در برابر فشار سیال می باشد. برای محاسبه فشار ایمنی لوله از رابطه زیر استفاده می شود:

$$p_s = \frac{2S_s t_m}{D_m}$$

$p_s$ : فشار ایمنی در هنگام کار با لوله

$S_s$ : تنش عملیاتی ایمنی

$t_m$ : حداقل ضخامت دیواره (in)

$D_m$ : قطر متوسط (in)

40

## لوله کشی در فرآیند انتقال سیال

لوله های آهنی و فولادی طبق فرمول ارائه شده توسط موسسه استاندارد آمریکا (ASA) براساس نمره ضخامت دسته بندی شده اند:

$$\frac{1000 p_s}{S_s} = \text{schedule number}$$

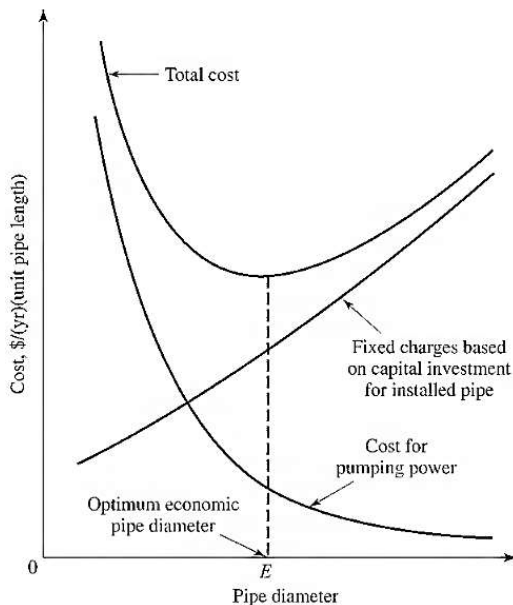
برای دماهای کمتر از ۲۵۰ °F، تنش ایمنی هنگام کار با لوله برای لوله های فولادی که از محیط جوش داده شده اند برابر با ۹۰۰۰ psi و برای لوله های فولادی که انتهای آن جوش داده شده باشد ۶۵۰۰ psi در نظر گرفته می شود.

اگر نمره ضخامت را بدانیم، فشار ایمنی در هنگام کار را مستقیماً از رابطه بالا می توان محاسبه کرد.

41

## تعیین ابعاد لوله

- در طراحی سیستم لوله کشی، قطر لوله باید به گونه ای تعیین شود که تمامی عوامل اقتصادی مرتبط با قطر لوله نیز در نظر گرفته شود.
- قطر بهینه لوله قطری است که کمترین هزینه را با توجه به مخارج سالیانه پمپ کردن و مخارج ثابت سیستم لوله کشی در نظر بگیرد.



42

## سرعت و ابعاد بهینه

**Table 12-3** Recommended economic velocities for sizing steel pipes

| Turbulent flow                  |                                 |  |  |
|---------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Type of fluid                   | Recommended velocity range, m/s |  |  |
| Water or fluid similar to water | 1–3                             |  |  |
| Low-pressure steam (250 kPa)    | 15–30                           |  |  |
| High-pressure steam (750 kPa)   | 30–60                           |  |  |
| Air (250–500 kPa)               | 15–30                           |  |  |

| Viscous flow                   |                                 |                        |                         |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Nominal pipe diameter, m (in.) | Recommended velocity range, m/s |                        |                         |
|                                | $\mu = 50 \text{ cP}$           | $\mu = 100 \text{ cP}$ | $\mu = 1000 \text{ cP}$ |
| 0.0254 (1)                     | 0.5–1                           | 0.3–0.6                | 0.1–0.2                 |
| 0.0508 (2)                     | 0.75–1.07                       | 0.5–0.75               | 0.15–0.24               |
| 0.102 (4)                      | 1.07–1.5                        | 0.75–1.07              | 0.24–0.36               |
| 0.203 (8)                      | —                               | 1.2–1.5                | 0.4–0.55                |

<sup>†</sup>These values apply for motor drives. Multiply indicated velocities by 0.6 to give recommended velocities when steam turbine drives are used.

43

## سرعت و ابعاد بهینه

- معادلات زیر را می توان برای تعیین ابعاد بهینه لوله به کار گرفت:

For turbulent flow ( $Re > 2100$ ) and  $D_i \geq 0.0254 \text{ m}$ ,

$$D_{i,\text{opt}} = 0.363 \dot{m}_v^{0.45} \rho^{0.13}$$

For viscous flow ( $Re < 2100$ ) and  $D_i \leq 0.0254 \text{ m}$ ,

$$D_{i,\text{opt}} = 0.133 \dot{m}_v^{0.40} \mu_f^{0.20}$$

where  $D_{i,\text{opt}}$  is the optimum pipe diameter in m,  $\dot{m}_v$  the volumetric flow rate in  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $\rho$  the fluid density in  $\text{kg}/\text{m}^3$  and  $\mu_f$  the fluid viscosity in  $\text{Pa}\cdot\text{s}$ .

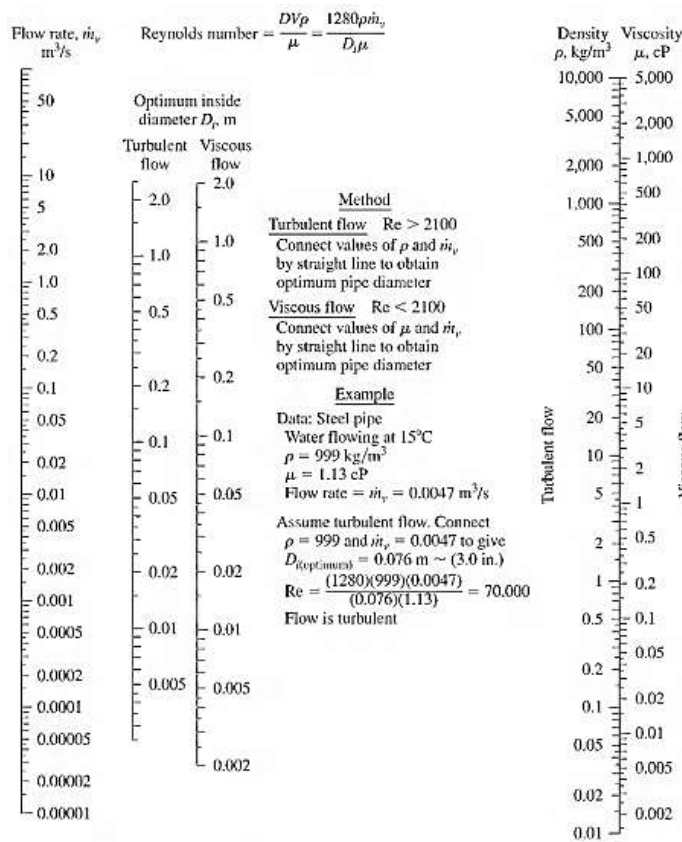
44

## سرعت و ابعاد بهینه

این نمودار بر مبنای روابط ارائه شده به دست آمده است:

$$D_{i,opt} = 0.363 \dot{m}_v^{0.45} \rho^{0.13}$$

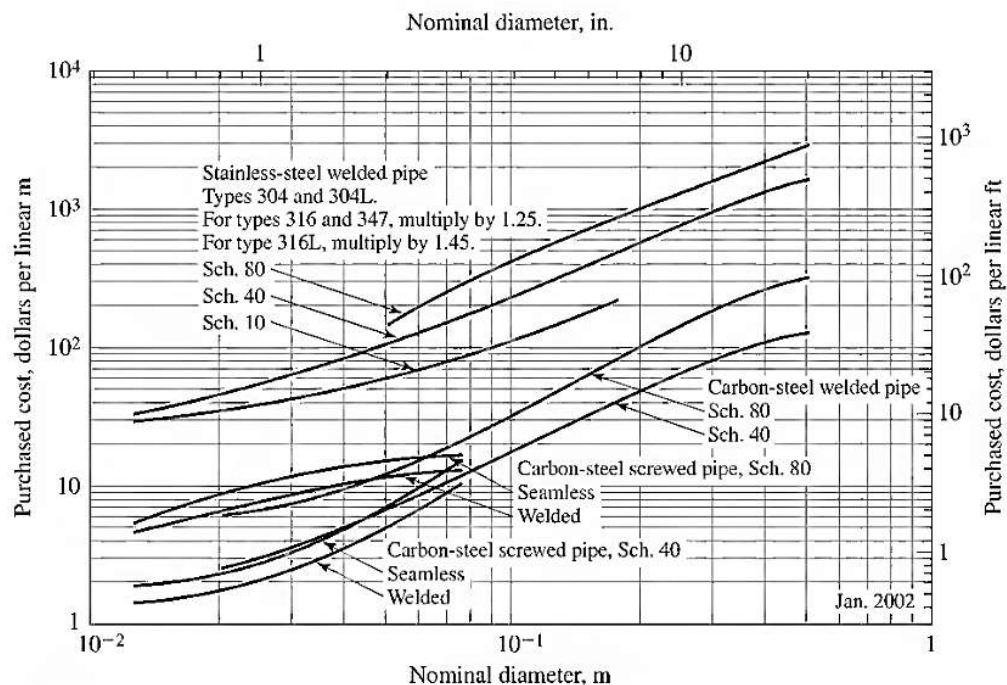
$$D_{i,opt} = 0.133 \dot{m}_v^{0.40} \mu_f^{0.20}$$



45

## هزینه لوله کشی و اتصالات

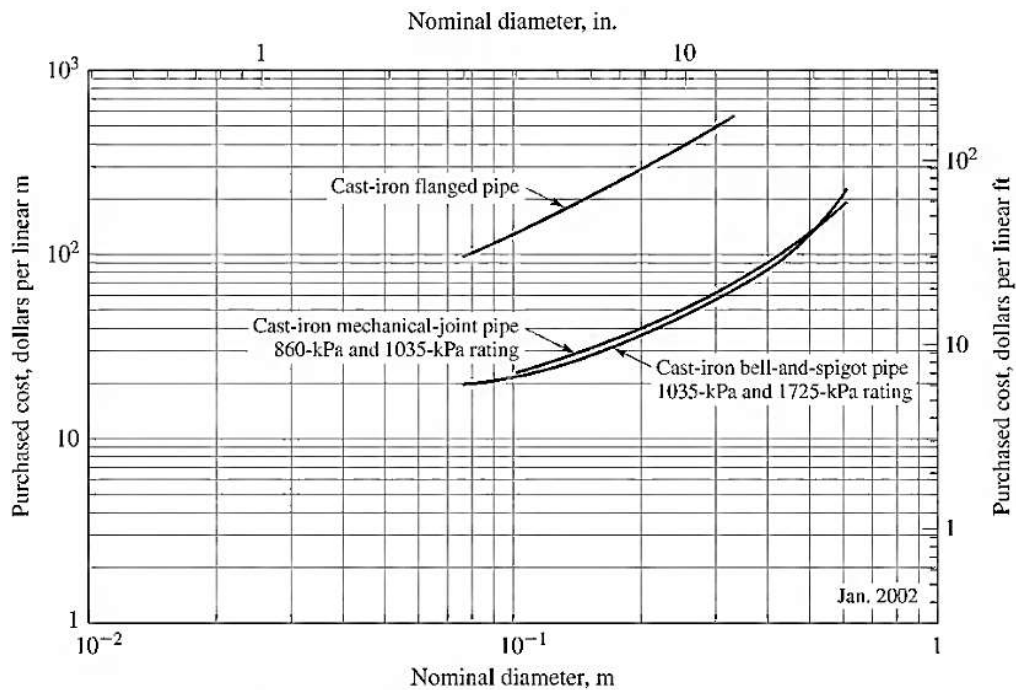
لوله های جوشی و رزوه ای



46

# هزینه لوله کشی و اتصالات

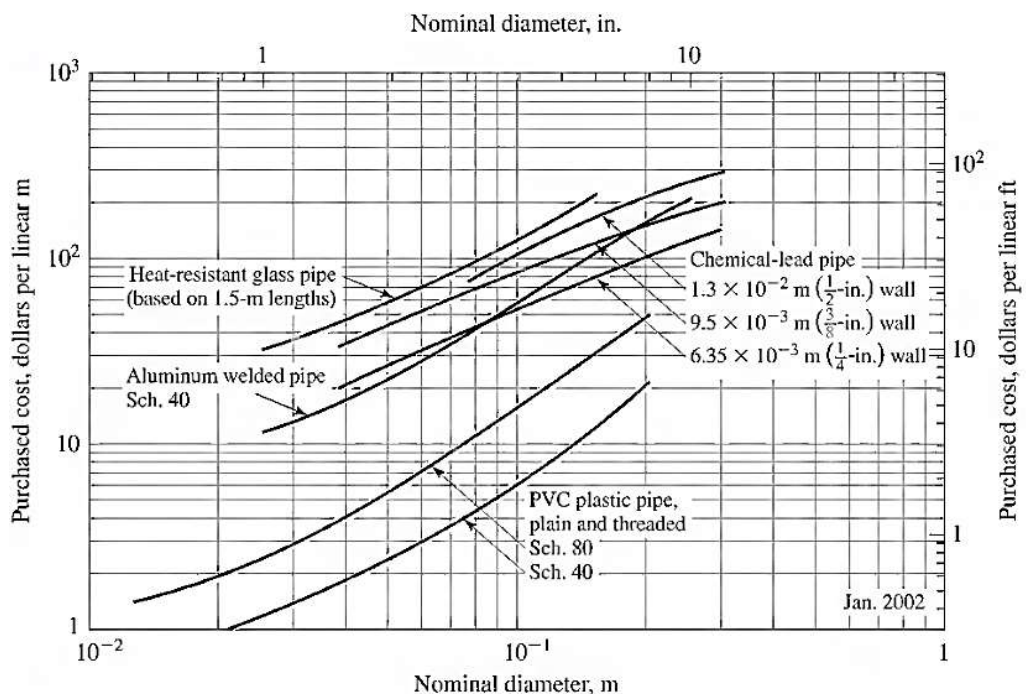
لوله چدنی



47

# هزینه لوله کشی و اتصالات

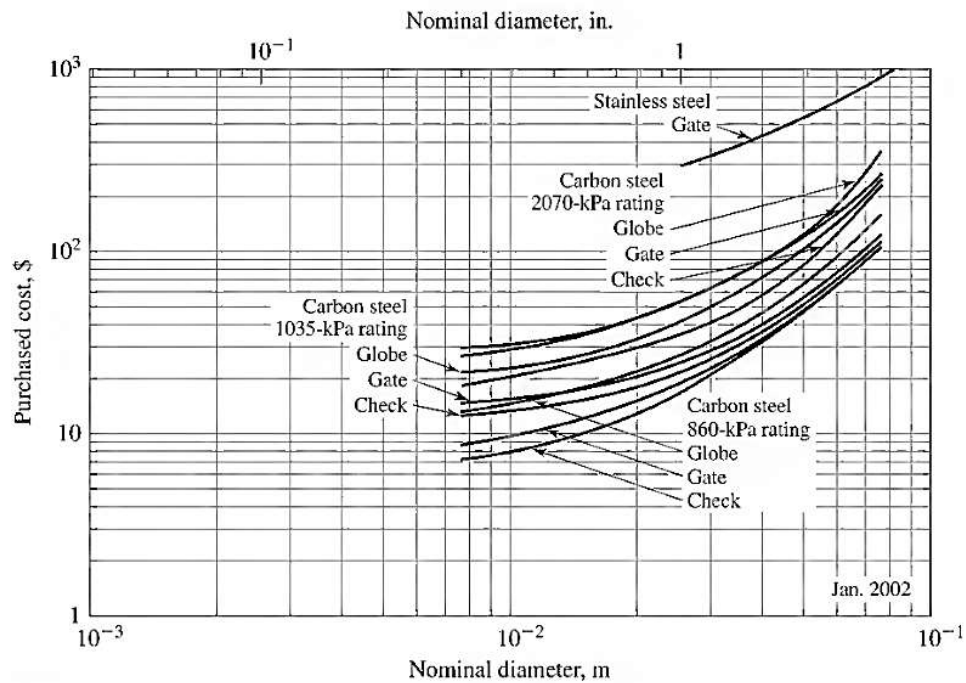
لوله های خاص



48

## هزینه لوله کشی و اتصالات

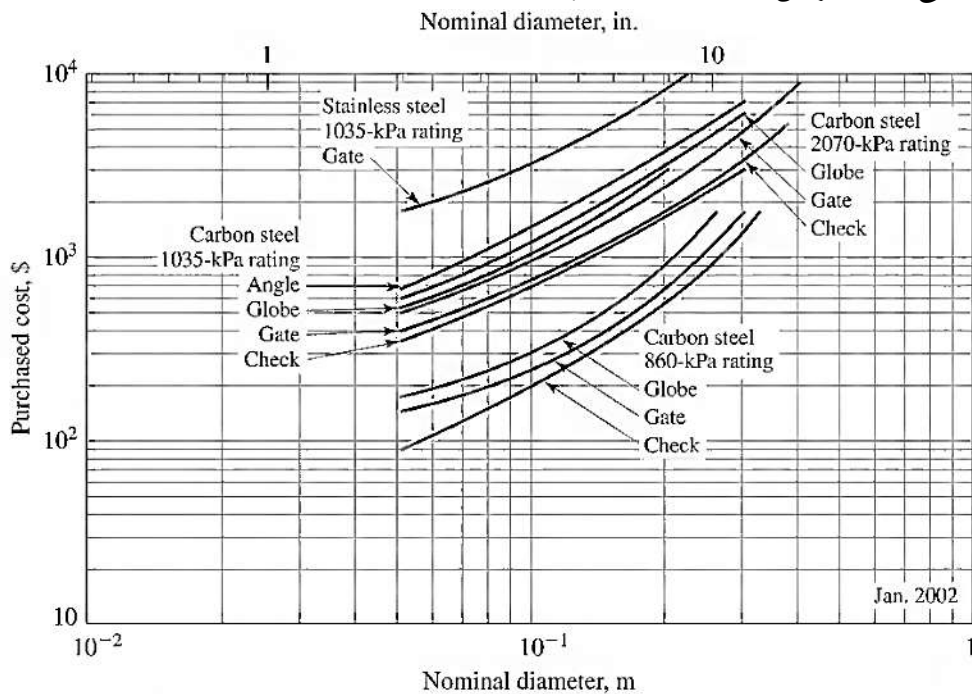
شیرهای رزوه ای (مخصوص آب، نفت و گاز)



49

## هزینه لوله کشی و اتصالات

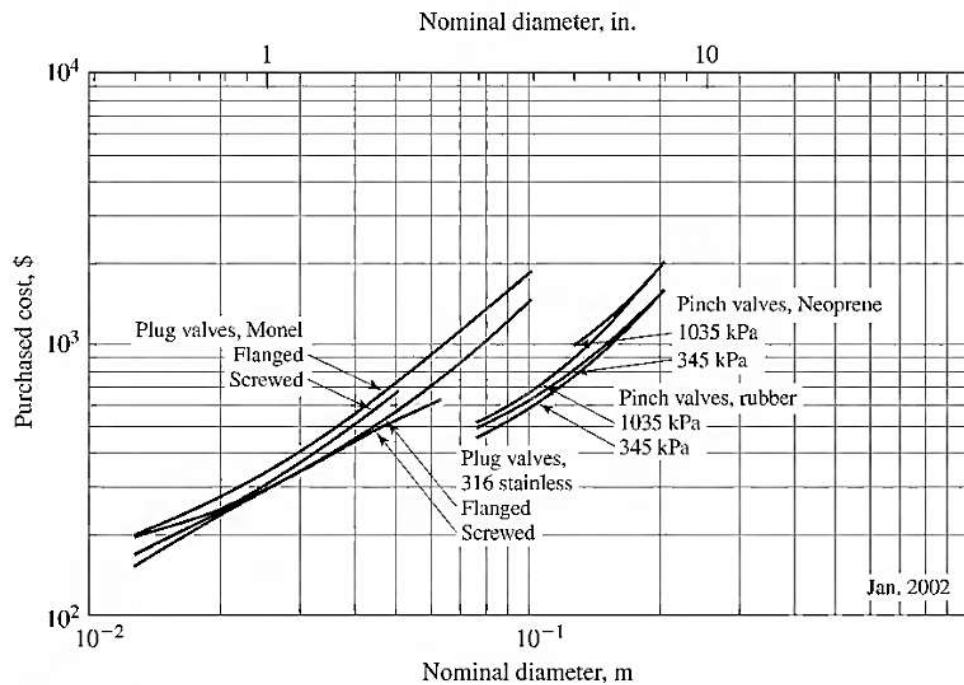
شیرهای فلنجی (مخصوص آب، نفت و گاز)



50

## هزینه لوله کشی و اتصالات

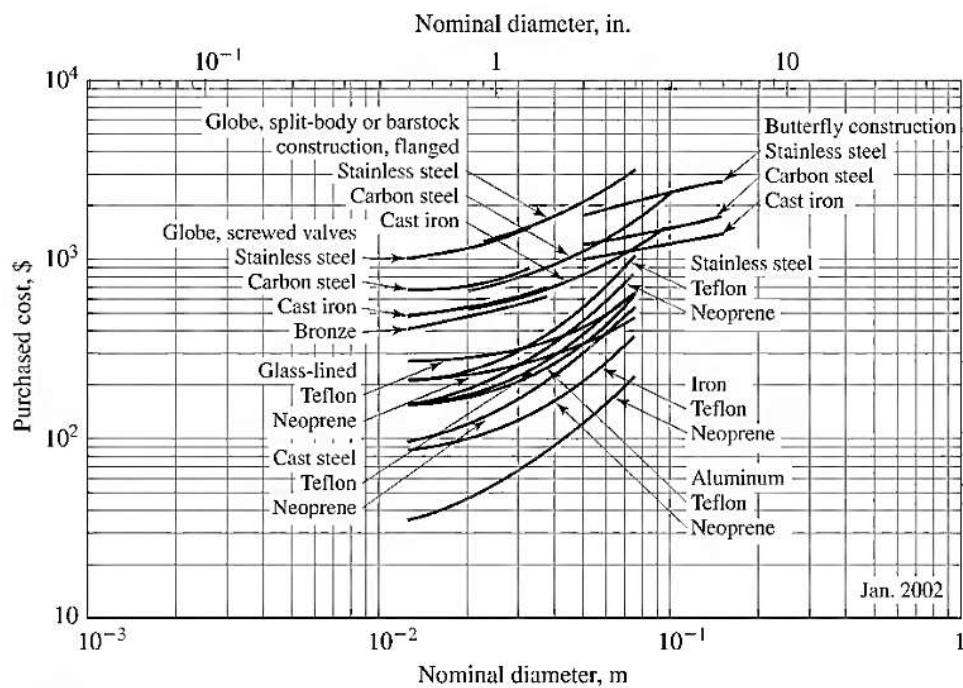
شیرهای درپوش دار (سماوری: plug) و گلولی (pinch)



51

## هزینه لوله کشی و اتصالات

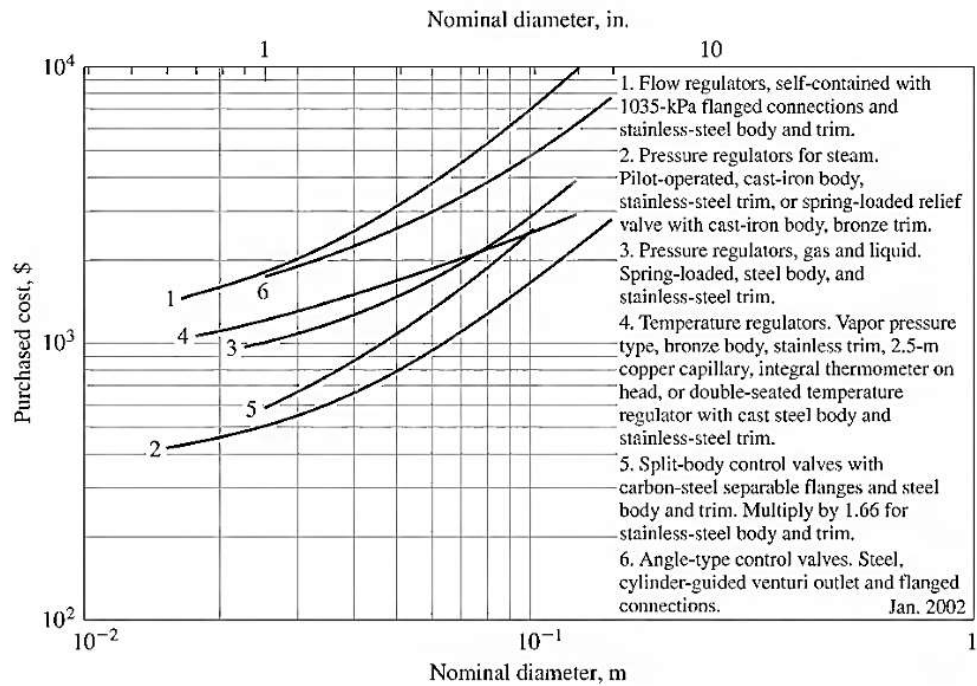
شیرهای کروی



52

# هزینه لوله کشی و اتصالات

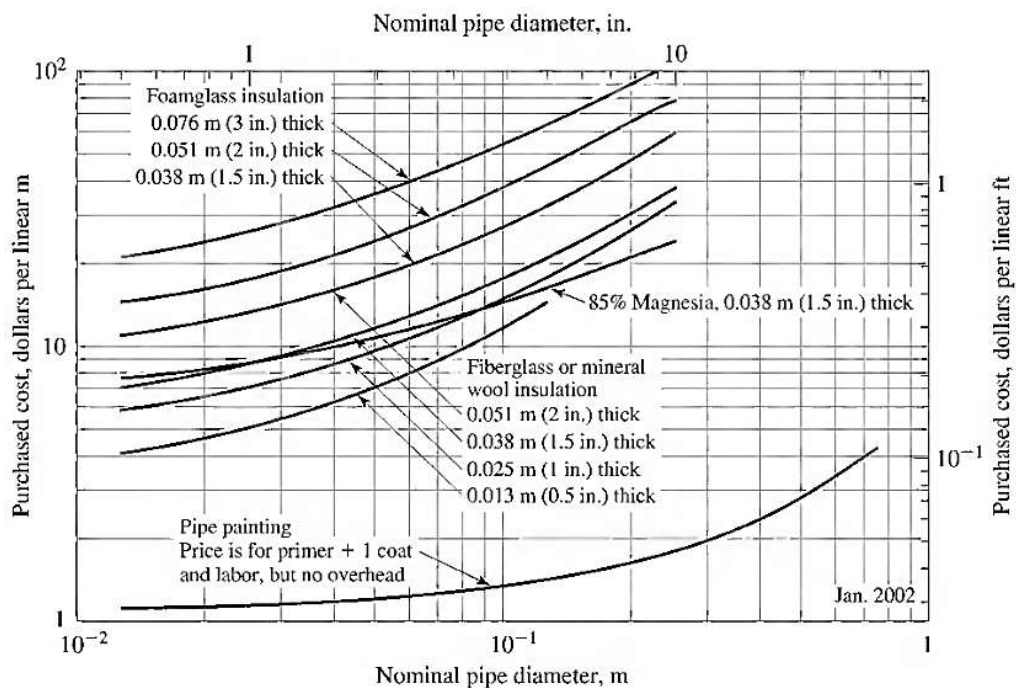
شیرهای کنترل و اطمینان



53

# هزینه لوله کشی و اتصالات

نصب، عایق کاری و رنگ کاری لوله



54

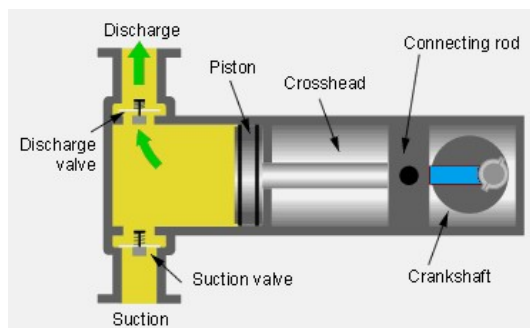
## پمپ ها

- با اعمال نیروی محرکه لازم برای جریان، پمپ ها برای انتقال سیالات از نقطه ای به نقطه دیگر به کار گرفته می شوند. توان لازم برای پمپ باید از یک منبع خارجی تامین شود که برای این امر، نیروی الکتریسته یا انرژی بخار به انرژی مکانیکی تبدیل شده برای چرخاندن پمپ استفاده می شوند.
- مهم ترین عواملی که در انتخاب پمپ ها تاثیر دارند عبارتند از:
  - ۱- مقدار سیال که باید انتقال یابد.
  - ۲- خواص سیال (دانسیته، ویسکوزیته و ...)
  - ۳- نوع و توزیع جریان سیال
  - ۴- نوع منبع تغذیه پمپ: پمپ های جابجایی مثبت و پمپ های گریز از مرکز می توانند با موتورهای الکتریکی و یا موتورهای احتراق داخلی عمل کنند. همچنین پمپ های رفت و برگشتی از موتورهای بخاری یا گازی استفاده می کنند.
  - ۵- قیمت و بازده پمپ

55

## پمپ های رفت و برگشتی

- در این پمپ، انرژی توسط حرکت رفت و برگشتی پیستون به سیال منتقل می شود.
- با وجود این که از بخار آب به عنوان منبع محرک



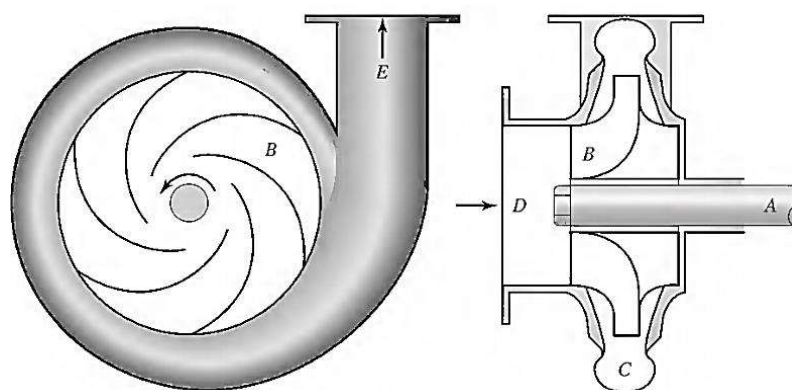
- این پمپ ها استفاده می شود، برای چرخاندن پیستون می توان از موتور الکتریکی نیز استفاده کرد. از این رو، پمپ های رفت و برگشتی را می توان پمپ های بخاری یا توانی نامید.

- مزیت پمپ های رفت و برگشتی در این است که با استفاده از این پمپ ها می توان فشار زیادی را به سیال داد و راندمان بالایی نیز در محدوده گسترده ای از شرایط عملیاتی دارند.
- به عنوان یک نقص، از این پمپ ها نمی توان برای پمپ کردن سیالاتی که جامدات ساینده دارند استفاده کرد.

56

## پمپ های گریز از مرکز

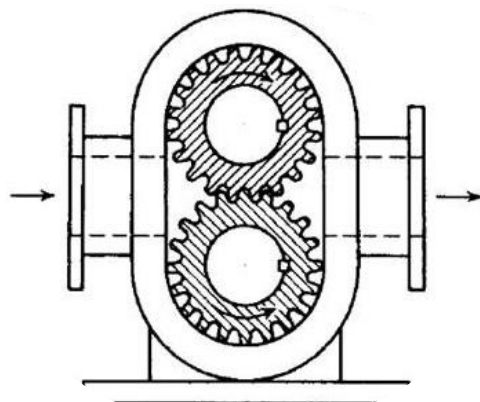
- در این پمپ، سیال به مرکز چرخش پروانه وارد شده و به کمک نیروی گریز از مرکز به خارج از پروانه پرتاب شده و سرعت و انرژی می گیرد.
- در این پمپ ها سیال خروجی دارای شدت جریان و فشار یکنواخت است.
- روش طراحی و ساخت این پمپ ها ساده بوده و با استفاده از آن ها می توان حجم زیادی از مایعات (حتی با داشتن ذرات جامد) را پمپ کرد.
- ایراد این پمپ ها در این است که انرژی زیادی به سیال منتقل نکرده و ارتفاع (هد) آبدهی بالایی ندارند.



57

## پمپ های جابجایی مثبت دورانی

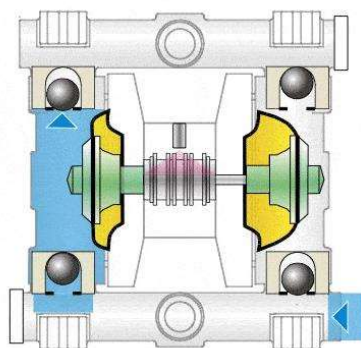
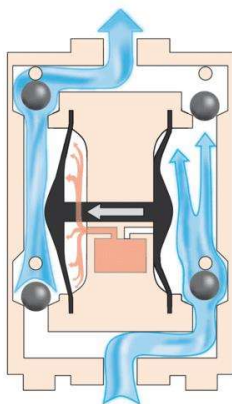
- این پمپ ها ترکیبی از حرکت دورانی و جابجایی مثبت ایجاد می کنند و با حرکت چرخ دنده ها، سیال مابین فضای دنده ها به سمت خروجی پمپ رانده می شود.
- این پمپ ها برای انتقال سیالات با ویسکوزیته بالا بسیار مناسب هستند.
- این پمپ ها شدت جریان یکنواختی به سیال داده و هد بالایی را فراهم می کنند.
- از آن جا که در این پمپ ها، اجزای داخلی متحرک بسیار به هم نزدیک هستند، از این پمپ ها نباید برای انتقال مایعات غیر روغنی و سیالات حاوی ذرات جامد استفاده کرد.



58

## پمپ های دیافراگمی

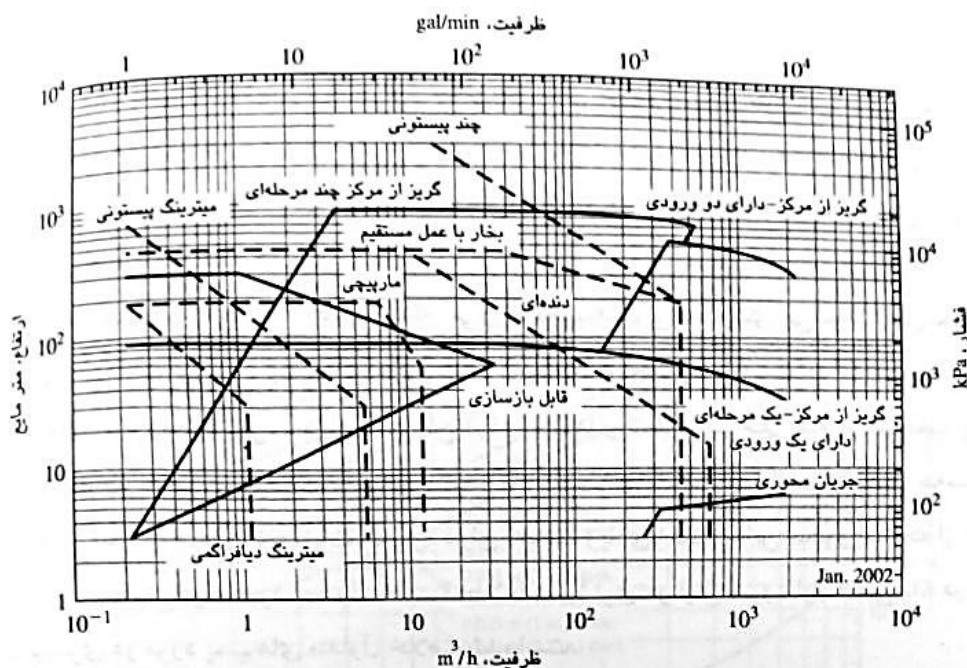
- پمپ دیافراگمی یک پمپ از خانواده پمپ های جابجایی مثبت بوده و این پمپ با هوای فشرده کمپرسور عملکرد داشته و با ورودی هوای فشرده به داخل پمپ و با جابجایی دیافراگم های موجود در داخل پمپ باعث جابجایی و مکش سیال می شود. از مهم ترین ویژگی پمپ های دیافراگمی خود مکش و ضد انفجار بودن این پمپ ها می باشد.
- این پمپ ها دارای دو صفحه دیافراگم هستند و بسته به نوع سیال که آتش زا یا ساده هستند، از سیستم های الکتریکی و یا محرک های پنوماتیک بادی استفاده می شود.



59

## انتخاب پمپ

با توجه به محدوده عملیاتی



60

# انتخاب پمپ

## نکات مهم

جدول ۱۲-۴. رهنمودهای کلی در انتخاب اولیه پمپها<sup>۱</sup>

| نوع پمپ                            | حد اکثر فشار سیستم، kPa | حد اکثر $\Delta p$ مرحله، kPa | محدوده تقریبی ظرفیت، $m^3/s$ | راندمان پمپ، % | مزایا یا محدودیتها                                                                                                                                    |
|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| گریز از مرکز (شعاعی)               | ۴۸۰۰۰                   | ۲۰۰۰                          | ۱۰                           | ۴۰-۸۰*         | ساده، ارزان، هزینه پایین تعمیر و نگهداری، $< 0.1 \text{ Pa.s}$ گرایی، نیاز به استراکچر، احتمال کلویتاسیون، محدودیت حداکثر راندمان                     |
| محوری                              | ۳۵۰۰۰                   | ۲۰۰                           | ۱۰                           | ۵۰-۸۵*         | قیمت متوسط، هزینه پایین تعمیر و نگهداری، $< 0.1 \text{ Pa.s}$ گرایی، احتمال کلویتاسیون، سرعت بالا، و ارتفاع کم                                        |
| قابل بازسازی (توربینی)             | ۵۰۰۰                    | ۳۵۰۰                          | $< 1$                        | ۲۰-۴۰*         | هزینه متوسط تعمیر و نگهداری، قابلیت انتقال مایعات فرار، $< 1 \text{ Pa.s}$ گرایی، ظرفیت پایین، ارتفاع بالا                                            |
| جایجایی مثبت <sup>۲</sup> دندانهای | ۳۵۰۰۰                   | ۲۰۰۰                          | ۰/۱                          | ۴۰-۸۵          | قیمت متوسط، هزینه تعمیر و نگهداری پایین، محدوده وسیعی از گرایی تا ۴۰۰ Pa.s، ظرفیت پایین، ارتفاع بالا، سرو صدای کم، در مقابل فشار زیاد باید محافظت شود |
| پره‌ای <sup>۳</sup>                | ۳۵۰۰۰                   | ۱۷۰۰                          | ۰/۱                          | ۴۰-۸۵          | قیمت بالا، هزینه پایین تعمیر و نگهداری، $< 1 \text{ Pa.s}$ گرایی، ظرفیت پایین، ارتفاع بالا، در مقابل فشار زیاد باید محافظت شود                        |
| پستونی (محیطی)                     | ۳۵۰۰۰                   | ۱۷۰۰                          | ۰/۱۴                         | ۴۰-۸۵          | قیمت متوسط، هزینه پایین تعمیر و نگهداری، محدوده وسیعی از گرایی، تا ۴۰۰ Pa.s، ظرفیت پایین، سرو صدای کم، در مقابل فشار زیاد باید محافظت شود             |

1- Regenerative  
2- Positive displacement  
3- Gear  
4- Lobe

جدول ۱۲-۴. رهنمودهای کلی در انتخاب اولیه پمپها (ادامه)<sup>۲</sup>

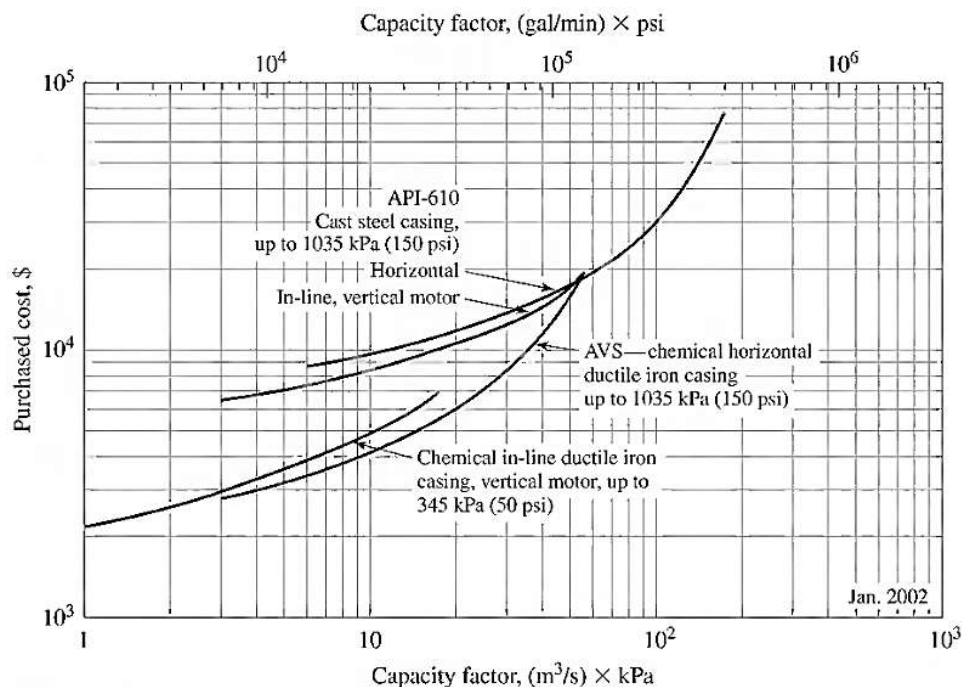
| نوع پمپ                   | حد اکثر فشار سیستم، kPa | حد اکثر $\Delta p$ مرحله، kPa | محدوده تقریبی ظرفیت، $m^3/s$ | راندمان پمپ، % | مزایا یا محدودیتها                                                                                                        |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مارپیچی <sup>۱</sup>      | ۴۰۰۰۰                   | ۲۰۰۰                          | ۰/۱                          | ۴۰-۷۰          | قیمت بالا، هزینه تعمیر و نگهداری متوسط، محدوده وسیع گرایی تا ۱۰۰۰ Pa.s، ظرفیت کم، ارتفاع بالا، سرو صدای متوسط             |
| لغزنی <sup>۲</sup>        | ۳۵۰۰۰                   | ۱۵۰۰۰                         | ۰/۱                          | ۴۰-۸۵          | قیمت متوسط، هزینه تعمیر و نگهداری کم، محدوده وسیعی از گرایی تا ۱۰۰ Pa.s، ظرفیت پایین، ارتفاع بالا برای مایعات بدون سایش   |
| رفت و برگشتی <sup>۳</sup> | ۱۰۰۰۰۰                  | ۱۵۰۰۰                         | ۰/۰۳                         | ۵۰-۹۰          | قیمت بالا، هزینه تعمیر و نگهداری زیاد، ارتفاع بسیار بالا، ظرفیت کم، گرایی تا ۴۰۰ Pa.s، جریان ضربعی، نشست سیال، پُرس و صدا |
| دیافراگمی                 | ۳۵۰۰۰                   | ۷۰۰۰                          | ۰/۰۰۶                        | ۲۰-۵۰          | قیمت بالا، هزینه تعمیر و نگهداری متوسط، ظرفیت بسیار پایین، ارتفاع کم، گرایی پایین، سیالات آلوده                           |
| جت انتقال موئمن           | ۳۵۰۰۰                   | ۱۰۰                           | ۱                            | ۵-۲۰           | قیمت پایین، هزینه تعمیر و نگهداری کم، ظرفیت پایین، ارتفاع کم، گرایی پایین، آلودگی سیال، قابلیت انتقال سیالات خوردنده      |

1- Screw  
2- Sliding vane  
3- Reciprocating

61

## قیمت پمپ ها

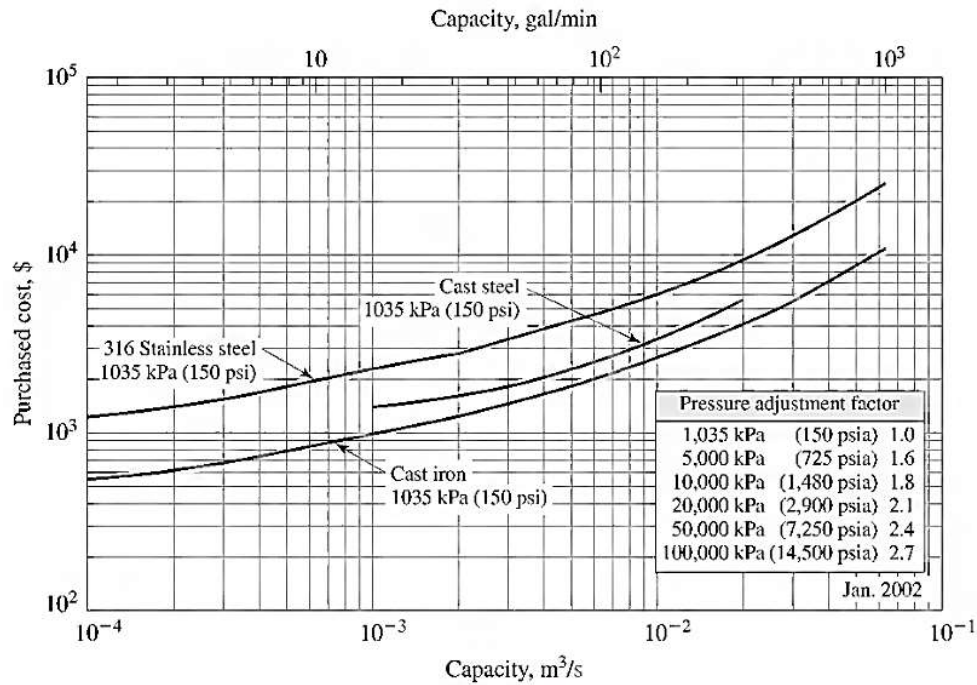
پمپ های گریز از مرکز (قیمت شامل الکتروموتور نیز می باشد)



62

## قیمت پمپ ها

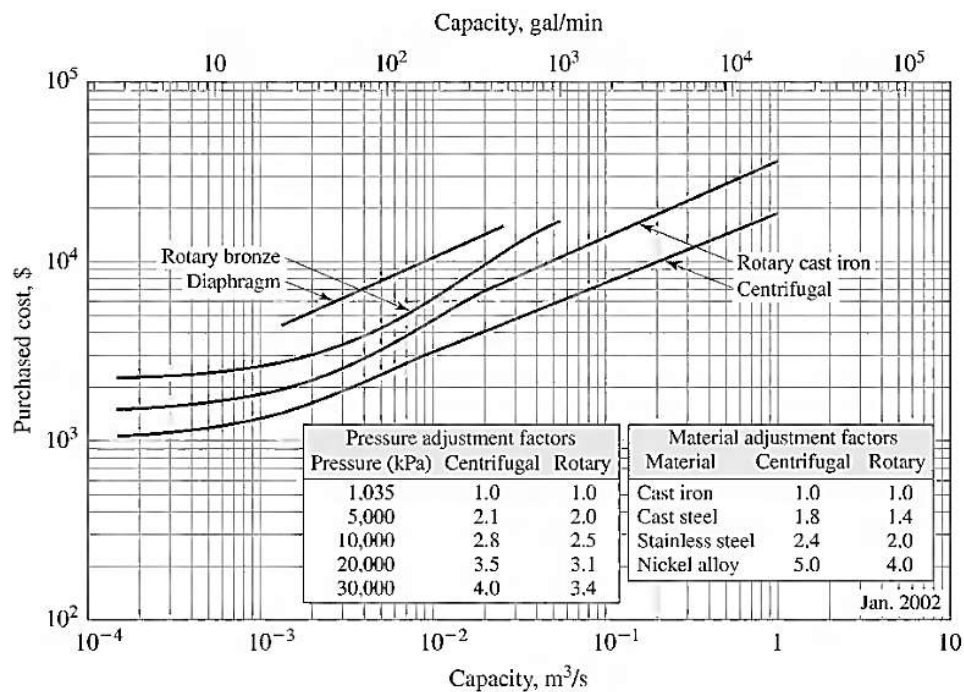
پمپ های رفت و برگشتی (قیمت شامل الکتروموتور نیز می باشد)



63

## قیمت پمپ ها

پمپ های دورانی و دیافراگمی

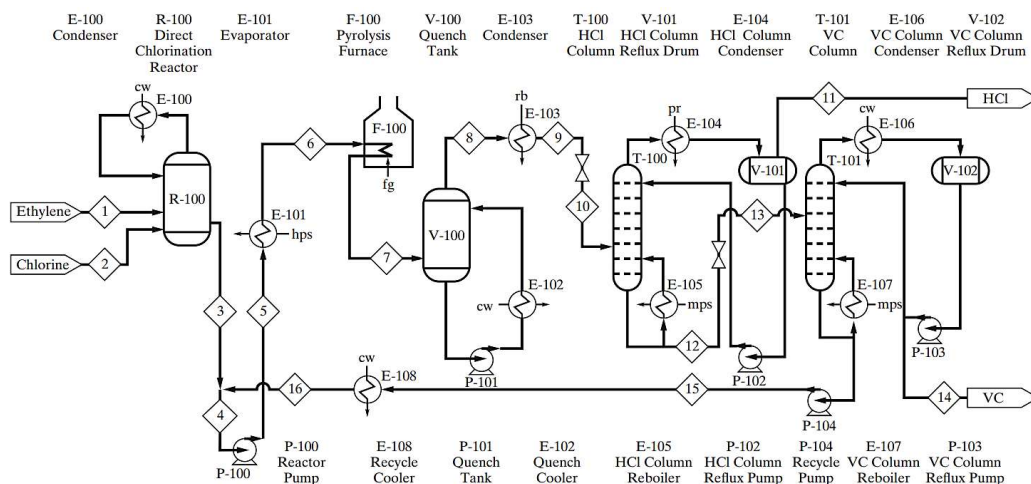


64

## مثال

در فرآیند تهیه وینیل کلراید مطابق شکل زیر، جریان ۴ شامل دی کلرواتان با فشار ۱/۵ atm، دمای ۹۰ °C و دبی ۲۶۳۸۰۰ lb/h از طریق یک پمپ از راکتور به تبخیر کننده با فشار ۲۶ atm انتقال پیدا می کند. پمپ مناسب را انتخاب کرده و هزینه درب کارخانه پمپ را محاسبه کنید.

حل: شماتیک کلی سیستم به شکل زیر است:



65

## مثال

در دما و فشار داده شده (۹۰ °C، ۱/۵ atm) دانسیته، ویسکوزیته و فشار بخار خوراک به ترتیب برابر با ۷۱/۴ lb/ft³ (۹/۵۴ lb/gal یا ۱/۱۴ g/cm³)، ۰/۷۳ cP و ۱/۲۱۲ atm می باشد. طبق محاسبات داریم:

$$Q =$$

$$\Delta P =$$

$$H =$$

همچنین ویسکوزیته سینماتیک برابر است با:

$$\nu = 0.37 / 1.14 = 0.32 \text{ centistokes}$$

برای سیالی با این ویسکوزیته نسبتاً پایین، پمپ سانتریفیوژ انتخاب مناسبی است.

$$NPSH_A = \frac{\text{Suction pressure} - \text{Vapor pressure}}{\text{Liquid density}}$$

پس انتخاب یک پمپ سانتریفیوژ با  $NPSH_R > 5$  می تواند مناسب باشد.

66

## مثال

از معادله ۱۶.۱۳ کتاب سیدر داریم:

$$S = Q(H)^{0.5} = 461(726)^{0.5}$$

به کمک معادله ۱۶.۱۴ هم می توان نوشت:

از جدول ۱۶.۲۰ با در نظر گرفتن دبی و هد نسبتاً بالا، یک سیستم دو مرحله ای از پمپ سانتریفیوژ HSC، با سرعت ۳۶۰۰ rpm انتخاب مناسبی خواهد بود.

**Table 16.20** Typical Types of Radial Centrifugal Pumps and  $F_T$  Factors

| No. of Stages | Shaft rpm | Case-Split Orientation | Flow Rate Range (gpm) | Pump Head Range(ft) | Maximum Motor Hp | Type Factor [ $F_T$ in Eq. (16.15)] |
|---------------|-----------|------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|
| 1             | 3,600     | VSC                    | 50–900                | 50–400              | 75               | 1.00                                |
| 1             | 1,800     | VSC                    | 50–3,500              | 50–200              | 200              | 1.50                                |
| 1             | 3,600     | HSC                    | 100–1,500             | 100–450             | 150              | 1.70                                |
| 1             | 1,800     | HSC                    | 250–5,000             | 50–500              | 250              | 2.00                                |
| 2             | 3,600     | HSC                    | 50–1,100              | 300–1,100           | 250              | 2.70                                |
| 2+            | 3,600     | HSC                    | 100–1,500             | 650–3,200           | 1,450            | 8.90                                |

67

## مثال

با توجه به فشار نسبتاً بالای خروجی نسبت به ورودی، از جدول ۱۶.۲۱ می توان ضریب  $F_M$  را انتخاب کرد:

**Table 16.21** Materials of Construction Factors,  $F_M$ , for Centrifugal Pumps

| Material of Construction | Material Factor [ $F_M$ , in Eq. (16.15)] |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| Cast iron                | 1.00                                      |
| Ductile iron             | 1.15                                      |
| Cast steel               | 1.35                                      |
| Bronze                   | 1.90                                      |
| Stainless steel          | 2.00                                      |
| Hastelloy C              | 2.95                                      |
| Monel                    | 3.30                                      |
| Nickel                   | 3.50                                      |
| Titanium                 | 9.70                                      |

به کمک معادله ۱۶.۱۵ داریم:

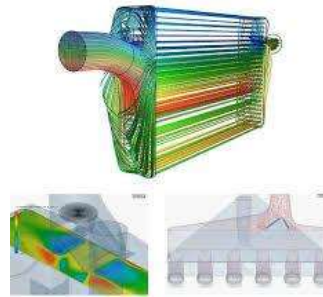
هزینه الکتروموتور؟؟؟

68

# فصل پنجم

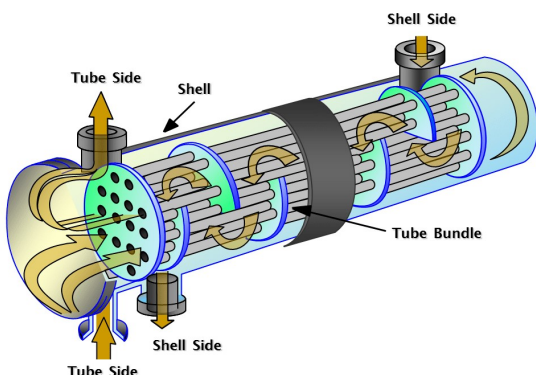
## طراحی و برآورد هزینه تجهیزات انتقال حرارت

### Heat Transfer Equipment Design and Costs



## اهمیت تجهیزات انتقال حرارت

تجهیزات انتقال حرارت اساساً در تمامی صنایع فرایندی بکار می‌رود. یک مهندس طراح باید با انواع مختلف تجهیزاتی که برای انتقال حرارت به کار می‌روند آشنا باشد. انتخاب مناسب تجهیزات انتقال حرارت مستلزم شناخت و درک مطلوب از اساس تئوریک انتقال حرارت و روشهای طراحی است. بطور کلی حرارت می‌تواند از یک منبع حرارتی به سه صورت هدایت، جابجایی و تشعشع به جسم دیگر منتقل شود. در برخی حالات این تبادل توأماً با دو یا سه روش مذکور صورت می‌گیرد.



## انتقال حرارت هدایتی

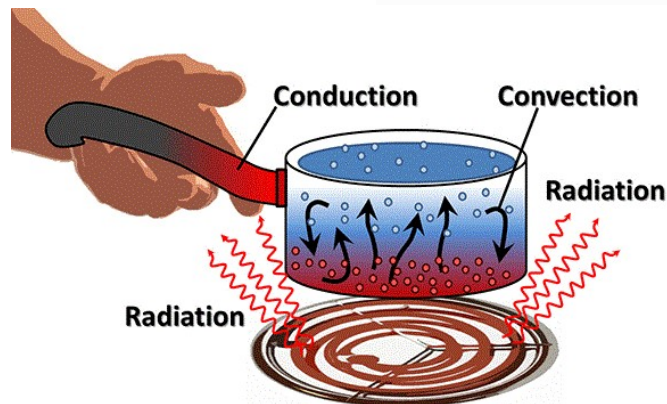
شدت انتقال حرارت به روش هدایت متناسب با سطح موثر انتقال حرارت و اختلاف دما در جهت مسیر انتقال حرارت است.

$$q = kA \frac{\Delta T}{x}$$

$q$ : شدت انتقال حرارت

$A$ : سطح متوسط انتقال حرارت عمود بر جهت جریان

$x$ : طول مسیر هدایت در جهت جریان انتقال حرارت

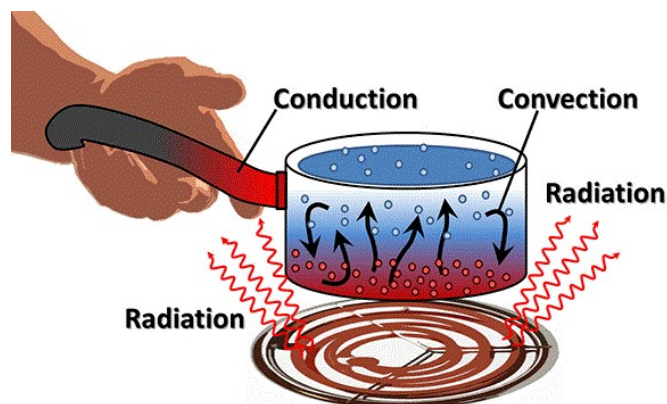


71

## انتقال حرارت جابجایی

انتقال حرارت توسط اختلاط فیزیکی سیال گرم و سرد، انتقال حرارت به طریق جابجایی نامیده می شود. اختلاط می تواند مانند جابجایی آزاد تنها در اثر اختلاف دانسیته ایجاد شود یا مانند اجباری در اثر هم زدن مکانیکی حاصل گردد.

$$q = hA\Delta T$$



72

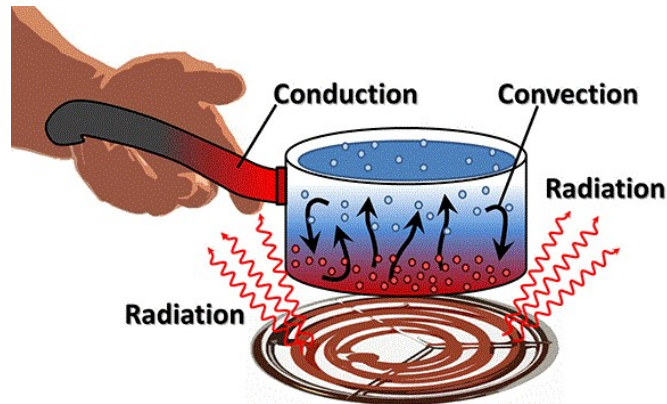
## انتقال حرارت تشعشع

زمانیکه انرژی حرارتی حاصل از تشعشع از یک منبع حرارتی به جسم دیگری انتقال یابد، حرارت به طریق تشعشع را خواهیم داشت.

$$q = \sigma \epsilon A T^4$$

$\sigma$ : ثابت استفان بولتزمن

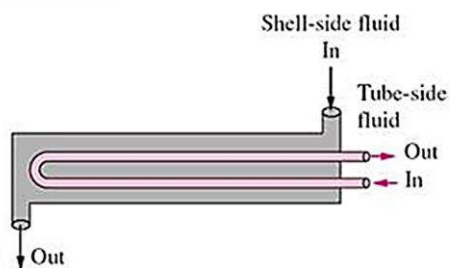
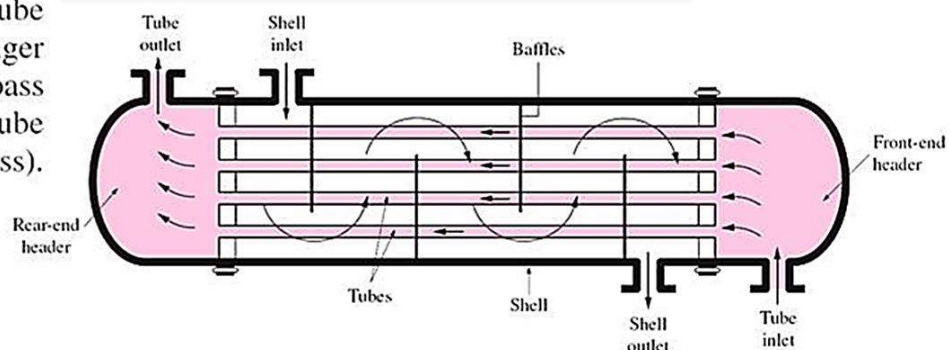
$\epsilon$ : میزان انتشار از سطح



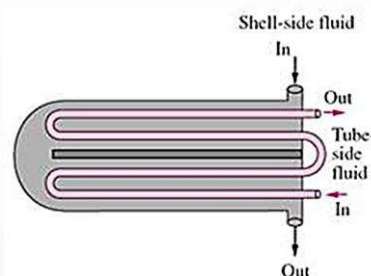
73

## مبدل های حرارتی

The schematic of a shell-and-tube heat exchanger (one-shell pass and one-tube pass).



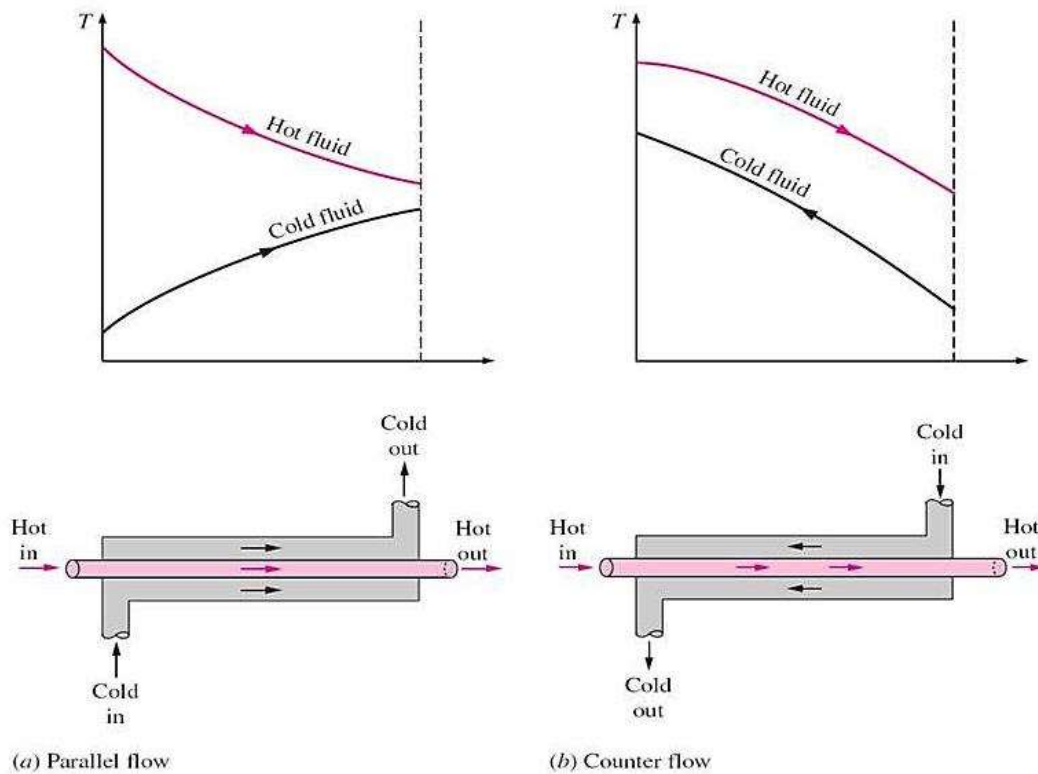
(a) One-shell pass and two-tube passes



(b) Two-shell passes and four-tube passes

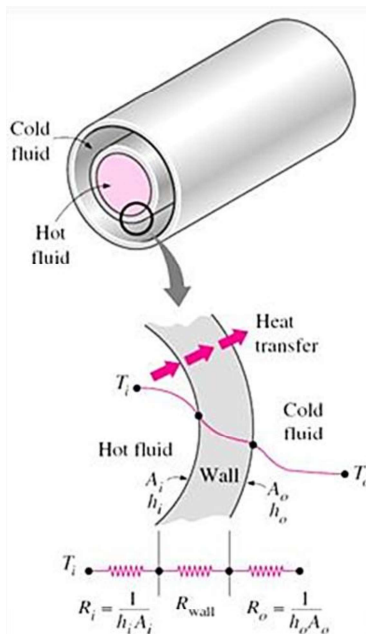
74

## عامل انتقال حرارت ۱..



75

## ضریب کلی انتقال حرارت



Thermal resistance network associated with heat transfer in a double-pipe heat exchanger.

زمانی تعریف می شود که با مجموعه ای از مقاومتهای حرارتی که در مسیر

حرارت وجود دارد روبرو می شویم. مانند:

- مقاومتی که در سیال داخلی وجود دارد

- مقاومت سیالی که در بیرون جاری است

- مقاومت ضخامت دیوار

- مقاومت رسوبات خارجی روی لوله

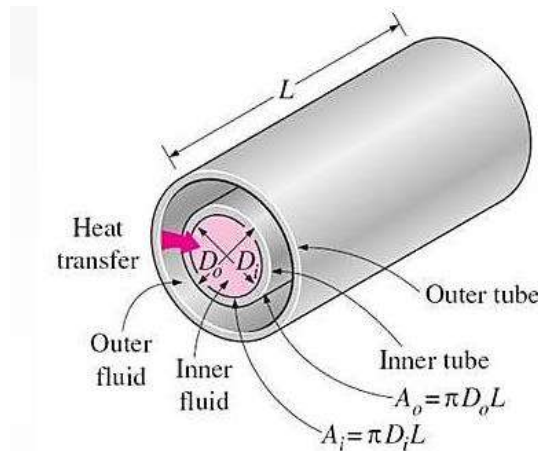
- مقاومت رسوبات روی دیواره داخلی لوله

**Fouling:** رسوباتی که در اثر رسوب املاح موجود در سیال روی دیواره ها

پوجود می آید

76

## ضریب کلی انتقال حرارت



The two heat transfer surface areas associated with a double-pipe heat exchanger (for thin tubes,  $D_i \approx D_o$  and thus  $A_i \approx A_o$ ).

$$R_{\text{wall}} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL}$$

$$R = R_{\text{total}} = R_i + R_{\text{wall}} + R_o = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o A_o}$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA \Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T$$

$$\frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = R = \frac{1}{h_i A_i} + R_{\text{wall}} + \frac{1}{h_o A_o}$$

77

## ضریب کلی انتقال حرارت

- هنگامی که ضخامت دیواره لوله کم بوده و ضریب هدایت حرارتی لوله بالا باشد (که معمولاً همین گونه است)، مقاومت حرارتی لوله ناچیز بوده ( $R_{\text{wall}} \approx 0$ ) و سطوح بیرونی و درونی لوله نیز تقریباً با هم برابر هستند. یعنی  $A_o \approx A_i \approx A_s$ . در نتیجه:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

- در محاسبه مساحت انتقال حرارت، سطح پره ها هم

باید در نظر گرفته شود.

$$A_s = A_{\text{unfinned}} + \eta_{\text{fin}} A_{\text{fin}}$$

78

## ضریب کلی انتقال حرارت

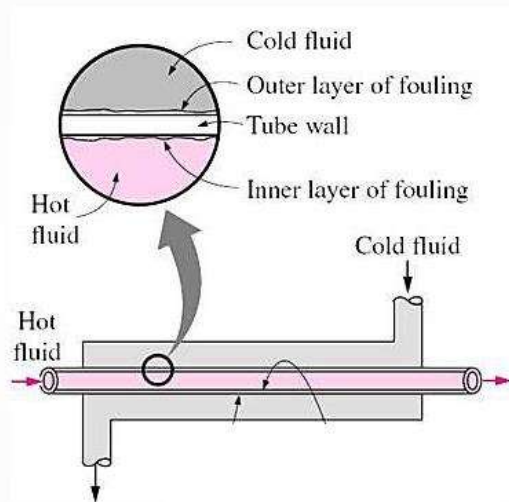
Representative values of the overall heat transfer coefficients in heat exchangers

| Type of heat exchanger                        | $U, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^*$ |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| Water-to-water                                | 850–1700                                 |
| Water-to-oil                                  | 100–350                                  |
| Water-to-gasoline or kerosene                 | 300–1000                                 |
| Feedwater heaters                             | 1000–8500                                |
| Steam-to-light fuel oil                       | 200–400                                  |
| Steam-to-heavy fuel oil                       | 50–200                                   |
| Steam condenser                               | 1000–6000                                |
| Freon condenser (water cooled)                | 300–1000                                 |
| Ammonia condenser (water cooled)              | 800–1400                                 |
| Alcohol condensers (water cooled)             | 250–700                                  |
| Gas-to-gas                                    | 10–40                                    |
| Water-to-air in finned tubes (water in tubes) | 30–60 <sup>†</sup>                       |
|                                               | 400–850 <sup>†</sup>                     |
| Steam-to-air in finned tubes (steam in tubes) | 30–300 <sup>†</sup>                      |
|                                               | 400–4000 <sup>‡</sup>                    |

79

## ضریب جرم گرفتگی

### Fouling factor



Representative fouling factors (thermal resistance due to fouling for a unit surface area)

(Source: Tubular Exchange Manufacturers Association.)

| Fluid                                                      | $R_f, \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Distilled water, sea water, river water, boiler feedwater: |                                          |
| Below 50°C                                                 | 0.0001                                   |
| Above 50°C                                                 | 0.0002                                   |
| Fuel oil                                                   | 0.0009                                   |
| Steam (oil-free)                                           | 0.0001                                   |
| Refrigerants (liquid)                                      | 0.0002                                   |
| Refrigerants (vapor)                                       | 0.0004                                   |
| Alcohol vapors                                             | 0.0001                                   |
| Air                                                        | 0.0004                                   |

$$R = \frac{1}{UA_s} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o}$$

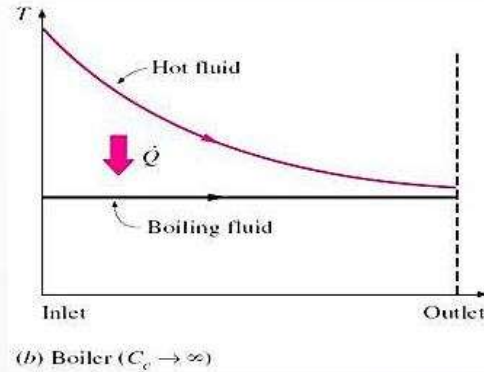
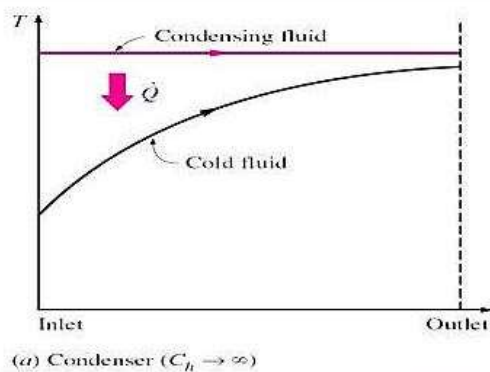
80

## کندانسور و جوش آور

- دو نوع از مبدل های حرارتی که عموماً در فرآیندها به کار گرفته می شوند (به خصوص در برج های تقطیر) عبارتند از کندانسور و جوش آور. در این مبدل ها، سیال دچار تغییر فاز می شود و در نتیجه، نرخ انتقال حرارت را می توان به کمک عبارت زیر تعیین کرد:

$$\dot{Q} = \dot{m} h_{fg}$$

که در این عبارت،  $\dot{m}$  نرخ تبخیر (جوش آور) یا میعان (کندانسور) بوده و  $h_{fg}$  انتالپی تبخیر سیال در دما و فشار فرآیند می باشد.



81

## طراحی مبدل های حرارتی

- یکی از روش های طراحی مبدل حرارتی، روش log mean temperature difference یا LMTD می باشد.
- در این روش:

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_{lm}$$

که

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

- مقدار  $\Delta T_{lm}$  به عنوان عدد مناسبی برای اختلاف دمای میانگین در مبدل در نظر گرفته می شود.
- همچنین مقادیر  $\Delta T_1$  و  $\Delta T_2$  عبارتند از اختلاف دمای بین دو سیال در ورودی و خروجی مبدل حرارتی.

82

## روش LMTD

- در طراحی مبدل حرارتی به روش LMTD، ابتدا باید مبدل حرارتی مناسب برای فرآیند موردنظر انتخاب شود.
- مراحل طراحی به روش LMTD به شکل زیر است:
  - ۱- انتخاب مبدل مناسب برای انتقال حرارت در فرآیند موردنظر
  - ۲- تعیین دماهای مجهول ورودی و خروجی نرخ انتقال حرارت با استفاده از معادله موازنه انرژی
  - ۳- محاسبه اختلاف دمای متوسط لگاریتمی یا  $\Delta T_{lm}$  و (در صورت نیاز) ضریب اصلاح F از روی نمودارهای مربوطه.
  - ۴- محاسبه مقدار ضریب کلی انتقال حرارت U (یا تعیین آن به کمک جدول و ...)
  - ۵- محاسبه سطح موثر انتقال حرارت یا  $A_s$ .

83

## روش $\epsilon$ -NTU

- هنگامی که اطلاعات کافی برای محاسبه LMTD وجود نداشته باشد، از روش NTU می توان برای تعیین نرخ انتقال حرارت و دمای خروجی سیالات گرم و سرد استفاده کرد.
- راندمان انتقال حرارت:

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\max}} = \frac{\text{Actual heat transfer rate}}{\text{Maximum possible heat transfer rate}}$$

مقدار واقعی نرخ انتقال حرارت را می توان به شکل زیر تعیین کرد:

$$\dot{Q} = C_c(T_{c, \text{out}} - T_{c, \text{in}}) = C_h(T_{h, \text{in}} - T_{h, \text{out}}) \quad C_c = \dot{m}_c c_{pc} \text{ and } C_h = \dot{m}_c c_{ph}$$

برای تعیین بیشترین نرخ انتقال حرارت ممکن (به کمک بیشترین اختلاف دمای ممکن) می توان گفت:

$$\Delta T_{\max} = T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}} \quad \dot{Q}_{\max} = C_{\min}(T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}})$$

84

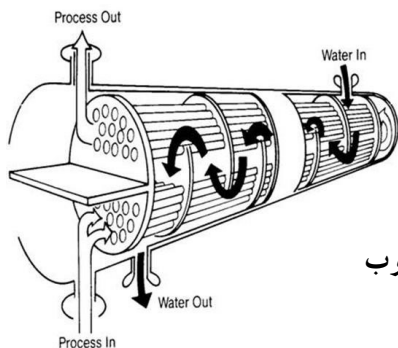
## روش $\epsilon$ -NTU

- تعیین نیاز به نیاز به داشتن دماهای ورودی سیالات سرد و گرم و شدت جریان جرمی آن ها دارد (که معمولاً مشخص هستند). با این حال، هنگامی که بازده مبدل مشخص باشد، رابطه زیر را می توان استفاده کرده:
- $$\dot{Q} = \epsilon \dot{Q}_{\max} = \epsilon C_{\min}(T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}})$$
- مقدار بازده مبدل های حرارتی معمولاً به کمک گروه بدون بعد تعیین می شود که تعداد واحدهای انتقال یا (NTU) number of transfer units نام دارد:
- $$NTU = \frac{UA_s}{C_{\min}} = \frac{UA_s}{(\dot{m}c_p)_{\min}}$$
- بازده یک مبدل تابعی از NTU و نسبت ظرفیت ها (c) می باشد:
- $$\epsilon = \text{function}(UA_s/C_{\min}, C_{\min}/C_{\max}) = \text{function}(NTU, c)$$
- مقدار  $\epsilon$  از روی نمودارهای خاص آن به دست می آید.

85

## انتخاب نوع مبدل

عوامل مهم در تعیین نوع تجهیزات انتقال حرارت:



- الزامات حرارتی و هیدرولیکی
- امکان ایجاد انتقال حرارت لازم
- سازگاری مواد
- توانایی تحمل تنش های سیالات و خوردگی، تمایل به تشکیل رسوب
- تعمیر و نگهداری عملیاتی
- ملاحظات زیست محیطی و ایمنی
- در دسترس بودن تجهیز و لوازم آن
- هزینه و قیمت
- هزینه نگهدارنده ها، قطعات کمی و هزینه نصب

86

## انتخاب نوع مبدل

**Table 14-6** Criteria for the preliminary selection of the appropriate heat exchanger type<sup>†</sup>

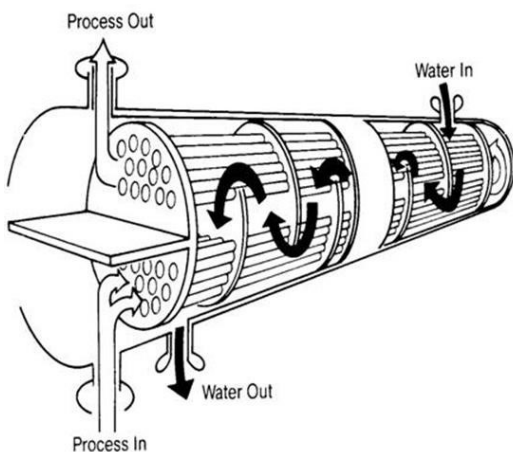
| Exchanger type | Max. pressure, approx. range, MPa | Temperature, approx. range, °C          | Normal area, approx. range, m <sup>2</sup>               | Fluid velocities, (shell/tube), m/s    | Fluid limitations                               | Key features                                         |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Double-pipe    | 30 (shell)                        | -100 - ~600                             | 0.25 - 20                                                | Liq. (2-3)/(2-3)                       | Materials of construction                       | Modular construction, small scale                    |
| Multiple-pipe  | 140 (tube)                        |                                         | 10 - 200                                                 | Gas (10-20)/(10-20)                    |                                                 |                                                      |
| Shell-and-tube | 30                                | -200 - 600+                             | 3 - 1000                                                 | Liq. (1-2)/(2-3)<br>Gas (5-10)/(10-20) | Materials of construction                       | Very adaptable, many types                           |
| Scraped-wall   | ~0.11                             | Up to 200                               | 2 - 20                                                   | Liq. (1-2)/(1-2)                       | Liquids solidifying on hot surface              | For viscous, crystallization systems                 |
| Gasketed plate | 0.1-2.5                           | -25 - 175                               | 1 - 2500                                                 | Liq. (1-2)/(1-2)<br>Gas (5-10)/(5-10)  | Limited to gasket material, avoid gas flow      | Modular construction, minimal \$/area cost           |
| Welded plate   | 3                                 | >400                                    | 1 - 2500                                                 | Liq. (1-2)/(1-2)<br>Gas (5-10)/(5-10)  | Materials of construction, avoid fouling fluids | $\Delta p$ between fluids <3 MPa                     |
| Spiral plate   | 2                                 | Up to 300                               | 10 - 200                                                 | Liq. (1-2)/(1-2)<br>Gas (5-10)/(5-10)  | Materials of construction                       | For viscous, corrosive fluids                        |
| Spiral tube    | 50                                | 350                                     | 1 - 50                                                   | Liq. (2-3)/(2-3)<br>Gas (5-10)/(5-10)  | Materials of construction                       | Adaptable, low maintenance                           |
| Compact        | 3-10                              | -270 - 80 with Al<br>-270 - 800 with ss | 10 - 30,000                                              | Gas (2-5)/(2-5)                        | Materials of construction, no corrosive fluids  | Large area/volume, can operate with small $\Delta T$ |
| Gas-to-gas     | ~0.11                             | Up to 250                               | 6-100 for low temperatures<br>1200-3000 for regenerators | Gas (5-10)/(5-10)                      | Materials of construction                       | Many types, some for corrosive gases                 |
| Air-cooled     | Variable on tube side             | Variable on tube side                   | 6 - 20,000                                               | Liq. (NA)/(2-3)<br>Gas (3-6)/(10-20)   | Materials of construction                       | Use for heat rejection, standardized design          |

<sup>†</sup>Modified from data presented by G. F. Hewitt, G. L. Shires, and T. R. Bott, *Process Heat Transfer*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1994, Sec. 4.3, and G. D. Ulrich, *A Guide to Chemical Engineering Design and Economics*, J. Wiley, New York, 1984.

87

## قیمت تجهیزات

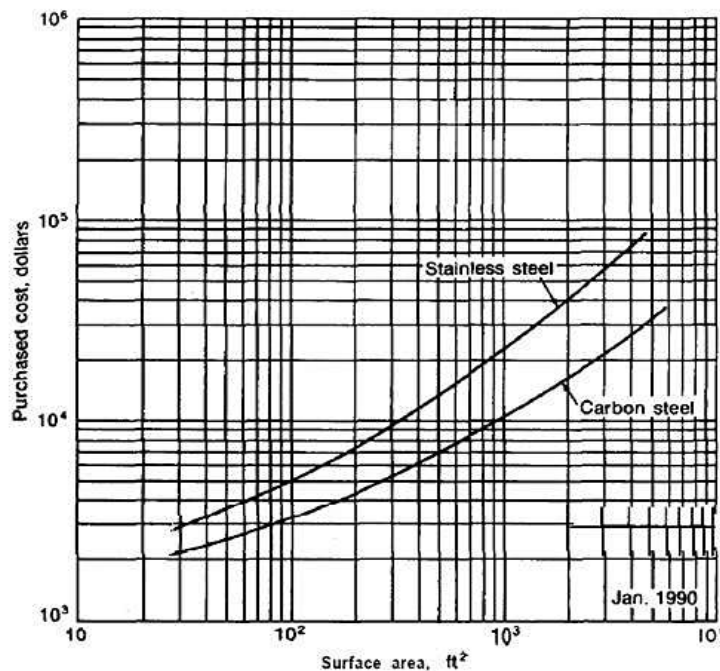
عوامل مهم در تعیین قیمت تجهیزات انتقال حرارت:



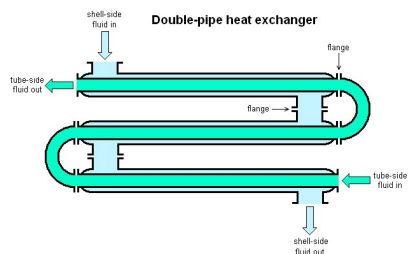
- سطح انتقال حرارت
- قطر و ضخامت لوله
- طول لوله ها
- فشار عملیاتی
- جنس لوله ها و پوسته
- تعداد و اندازه بافل ها
- هزینه نگهدارنده ها، قطعات کمی و هزینه نصب

## قیمت تجهیزات

مبدل های با لوله های U- شکل

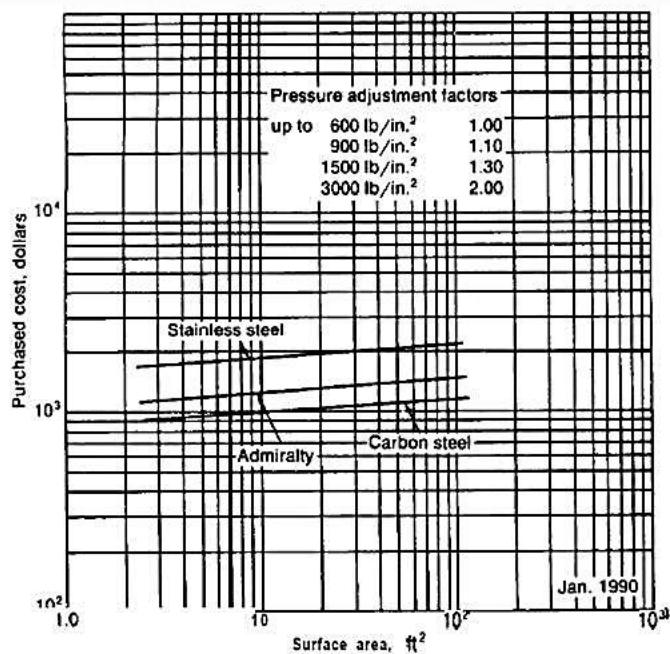


89



## قیمت تجهیزات

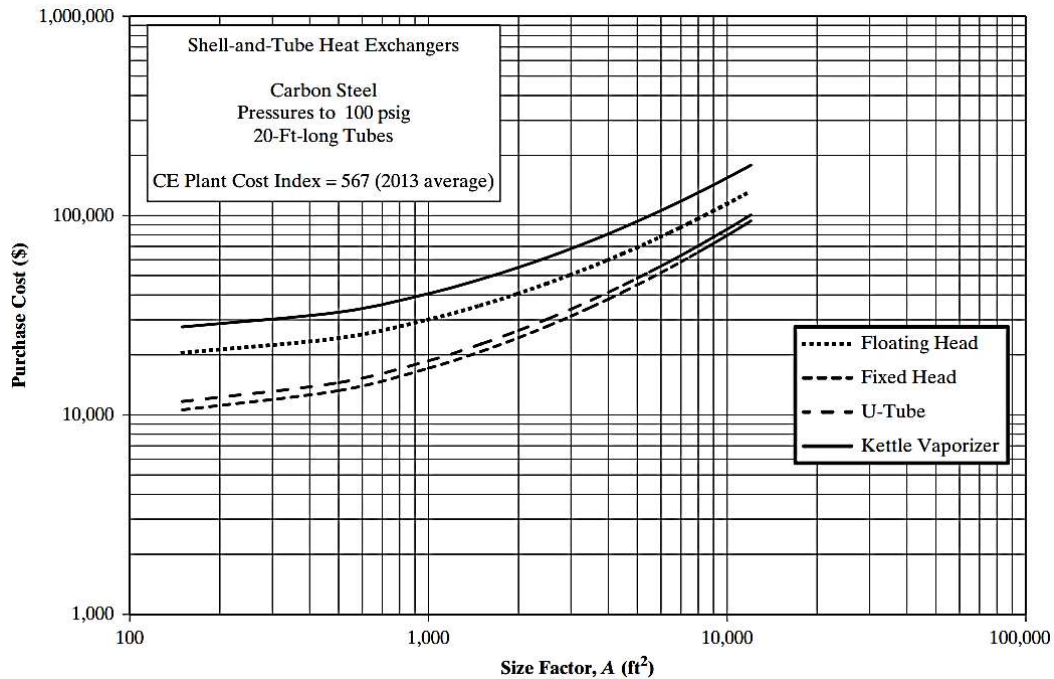
مبدل های حرارتی دو لوله (Double pipe heat exchangers)



90

## قیمت تجهیزات

مبدل های حرارتی پوسته-لوله



91

## قیمت تجهیزات

مبدل های حرارتی پوسته-لوله

$$C_P = F_P F_M F_L C_B$$

- Floating head

$$C_B = \exp\{12.0310 - 0.8709[\ln(A)] + 0.09005 [\ln(A)]^2\}$$

-Fixed head

$$C_B = \exp\{11.4185 - 0.9228[\ln(A)] + 0.09861 [\ln(A)]^2\}$$

- U-tube

$$C_B = \exp\{11.5510 - 0.9186[\ln(A)] + 0.09790 [\ln(A)]^2\}$$

- Kettle vaporizer

$$C_B = \exp\{10.292 - 0.5905[\ln(A)] + 0.08414 [\ln(A)]^2\}$$

92

## قیمت تجهیزات

مبدل های حرارتی پوسته-لوله

$$C_P = F_P F_M F_L C_B$$

$$F_P = 0.9803 + 0.018 \left( \frac{P}{100} \right) + 0.0017 \left( \frac{P}{100} \right)^2$$

فشار بر حسب psig:

**Table 16.25** Materials of Construction Factors,  $F_M$ , for Shell-and-Tube Heat Exchangers

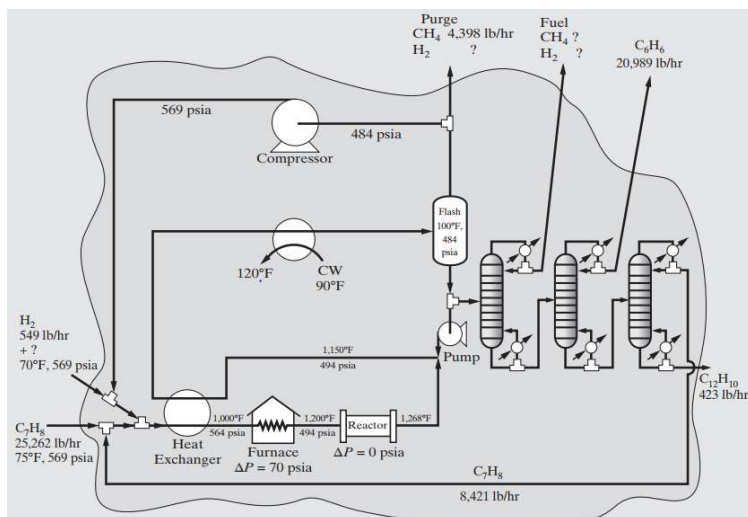
| Materials of Construction<br>Shell/Tube | $a$ in<br>Eq. (16.44) | $b$ in<br>Eq. (16.44) |
|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Carbon steel/carbon steel               | 0.00                  | 0.00                  |
| Carbon steel/brass                      | 1.08                  | 0.05                  |
| Carbon steel/stainless steel            | 1.75                  | 0.13                  |
| Carbon steel/Monel                      | 2.1                   | 0.13                  |
| Carbon steel/titanium                   | 5.2                   | 0.16                  |
| Carbon steel/Cr-Mo steel                | 1.55                  | 0.05                  |
| Cr-Mo steel/Cr-Mo steel                 | 1.70                  | 0.07                  |
| Stainless steel/stainless steel         | 2.70                  | 0.07                  |
| Monel/Monel                             | 3.3                   | 0.08                  |
| Titanium/titanium                       | 9.6                   | 0.06                  |

| Tube Length (ft) | $F_L$ |
|------------------|-------|
| 8                | 1.25  |
| 12               | 1.12  |
| 16               | 1.05  |
| 20               | 1.00  |

$$F_M = a + \left( \frac{A}{100} \right)^b$$

93

## مثال

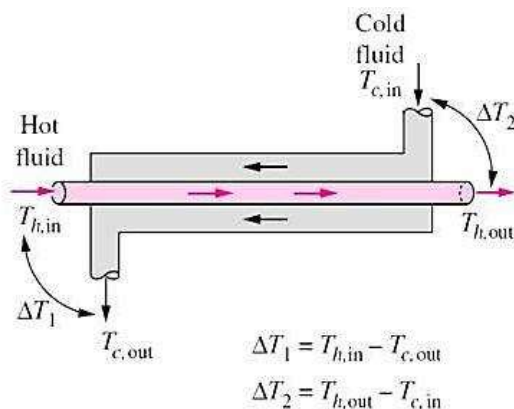


فرآیند هیدرودی آلکیلاسیون تولوئن در شکل بالا نشان داده شده است. به کمک موازنه جرم و انرژی داده های مربوط به ورودی راکتور هیدرودی آلکیلاسیون به صورت ۳۵٪ هیدروژن، ۵۸٪ متان و ۷٪ تولوئن (حجمی) در دمای ۱۲۷/۶ °F و ۵۶۹ psia با دبی ۵۸۰۲ lbmol/h داده شده است. به کمک یک مبدل حرارتی، دمای این جریان تا دمای ۱۰۰۰ °F افزایش می یابد. سیال گرم (شامل درصدی از هیدروژن) با دبی ۶۰۱۰ lbmol/h، با دمای ۱۱۵۰ °F و فشار ۴۹۴ psia وارد و با دمای ۳۶۴/۲ °F و فشار ۴۸۹ psia خارج می شود. مقدار گرمای انتقالی برابر با ۶۹۳۶۰۰۰۰ Btu/h بوده است. مطلوبست تعیین مساحت انتقال حرارت و هزینه درب کارخانه مبدل حرارتی (با شاخص هزینه CE=600).

94

## مثال

خوراک مخلوطی که وارد مبدل می شود شامل ۹۳٪ مولی بخار بوده و به صورت بخار فوق داغ از مبدل خارج می شود. سیال گرم هم به صورت بخار فوق داغ وارد و خارج می شود. در نتیجه در بخش سیال سرد، تبخیر رخ داده است.



95

## مثال

با در نظر گرفتن ضریب کلی انتقال حرارت  $U = 50 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$  سطح انتقال حرارت برابر است با:

$$A = \frac{Q}{U(\Delta T_M)}$$

برای این سطح انتقال حرارت و اختلاف دما، انتخاب یک مبدل پوسته-لوله floating-head با طول لوله ۲۰ ft مناسب است. فشار در هر دو بخش پوسته و لوله در محدوده ۵۰۰-۶۰۰ psig است و فشار طراحی را برابر با ۷۰۰ psig در نظر می گیریم. به دلیل دمای بالای ۱۰۰۰-۱۱۵۰ °F انتخاب جنس کربن استیل نمی تواند برای پوسته و لوله مناسب باشد. همچنین به دلیل وجود محتوای هیدروژن در هر دو سیال، فولاد آلیاژی Mo-Cr که معمولاً در این بازه دمایی انتخاب می شود، مناسب نخواهد بود. پس جنس پوسته و لوله از کربن ضدزنگ باید باشد. برای محاسبه  $C_B$  (از فرمول ۱۶.۳۹ کتاب سیدر) داریم:

96

$$C_P = F_P F_M F_L C_B$$

محاسبه ضرایب دیگر نیز به شکل زیر خواهد بود:

**Table 16.25** Materials of Construction Factors,  $F_M$ , for Shell-and-Tube Heat Exchangers

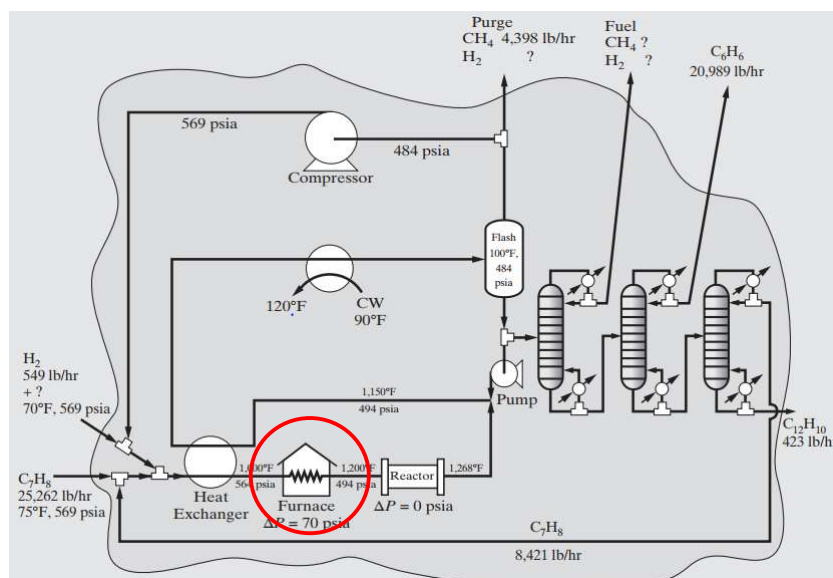
| Materials of Construction<br>Shell/Tube | $a$ in<br>Eq. (16.44) | $b$ in<br>Eq. (16.44) |
|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Carbon steel/carbon steel               | 0.00                  | 0.00                  |
| Carbon steel/brass                      | 1.08                  | 0.05                  |
| Carbon steel/stainless steel            | 1.75                  | 0.13                  |
| Carbon steel/Monel                      | 2.1                   | 0.13                  |
| Carbon steel/titanium                   | 5.2                   | 0.16                  |
| Carbon steel/Cr-Mo steel                | 1.55                  | 0.05                  |
| Cr-Mo steel/Cr-Mo steel                 | 1.70                  | 0.07                  |
| Stainless steel/stainless steel         | 2.70                  | 0.07                  |
| Monel/Monel                             | 3.3                   | 0.08                  |
| Titanium/titanium                       | 9.6                   | 0.06                  |

Tube Length (ft)

$F_L$

|    |      |
|----|------|
| 8  | 1.25 |
| 12 | 1.12 |
| 16 | 1.05 |
| 20 | 1.00 |

$$F_M = a + \left( \frac{A}{100} \right)^b$$

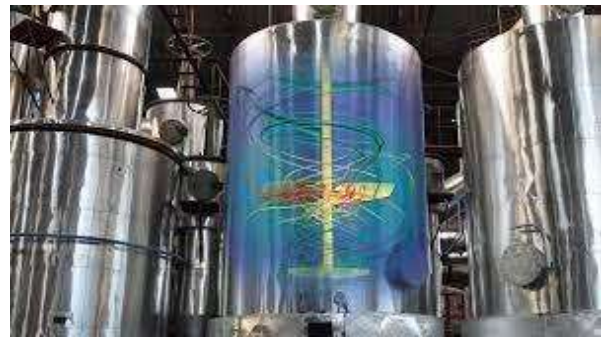


در ادامه فرآیند، قبل از ورود به راکتور، خوراک وارد یک گرمکن شعله غیرمستقیم (fire heater) شده و دمای آن تا ۱۲۰۰ °F افزایش می یابد. مطلوبست محاسبه قیمت درب کارخانه این گرمکن.

# فصل ششم

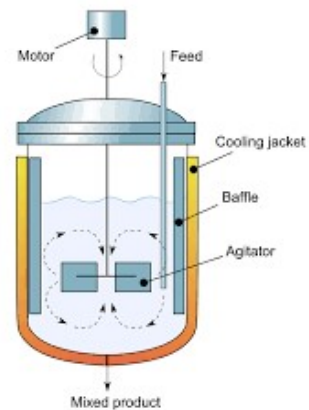
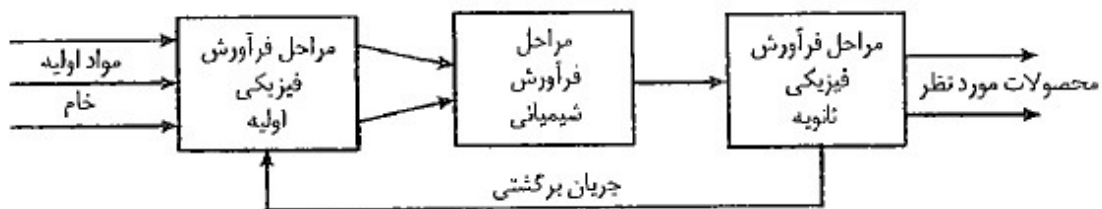
## طراحی و برآورد هزینه راکتورهای شیمیایی

### Chemical Reactors Design and Costs



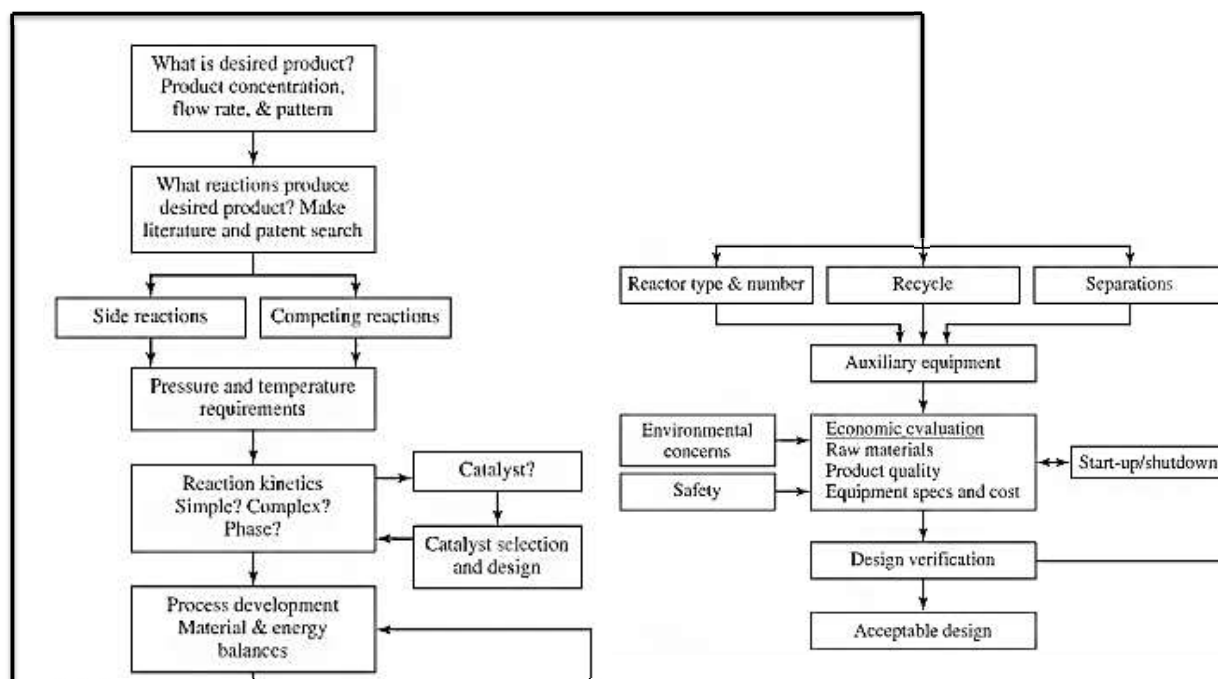
99

### اهمیت راکتورهای شیمیایی



100

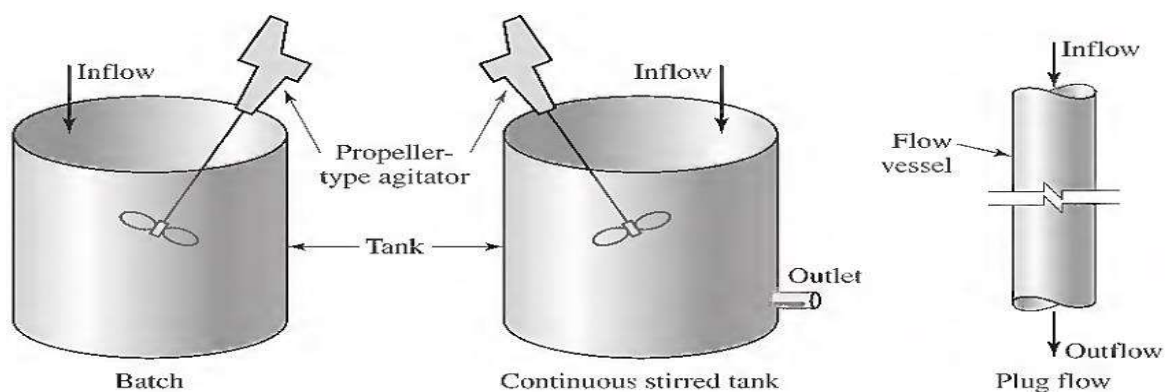
## جریان طراحی واکنش



101

## انواع راکتورها

- راکتورهای ایده آل عبارتند از



$$V_R = \frac{N_{i0}}{\theta} \int_0^{X_{ie}} \frac{dX_i}{-r_i}$$

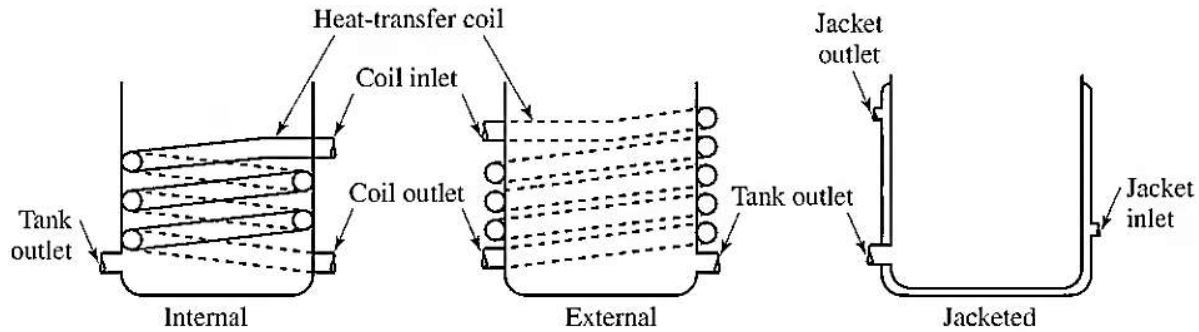
$$\frac{V_R}{F_{i0}} = \frac{X_{ie} - X_{i0}}{-r_i}$$

$$\frac{V_R}{F_{i0}} = \int_0^{X_{iz}} \frac{dX_{iz}}{-r_i}$$

$$\frac{W_c}{F_{i0}} = \int_{X_{i0}}^{X_{iz}} \frac{dX_{iz}}{-f_{0x}}$$

## گرمایش یا سرمایش راکتورها

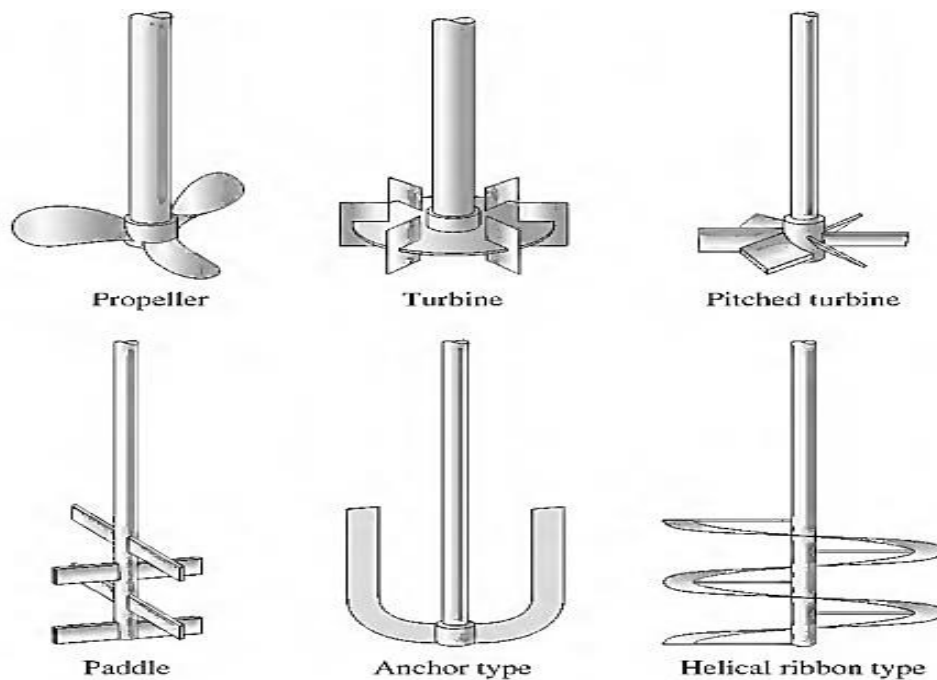
- می توان با استفاده از کویل های داخلی یا خارجی یا با استفاده از یک جداره خارجی، عمل گرمایش یا سرمایش را انجام داد.



103

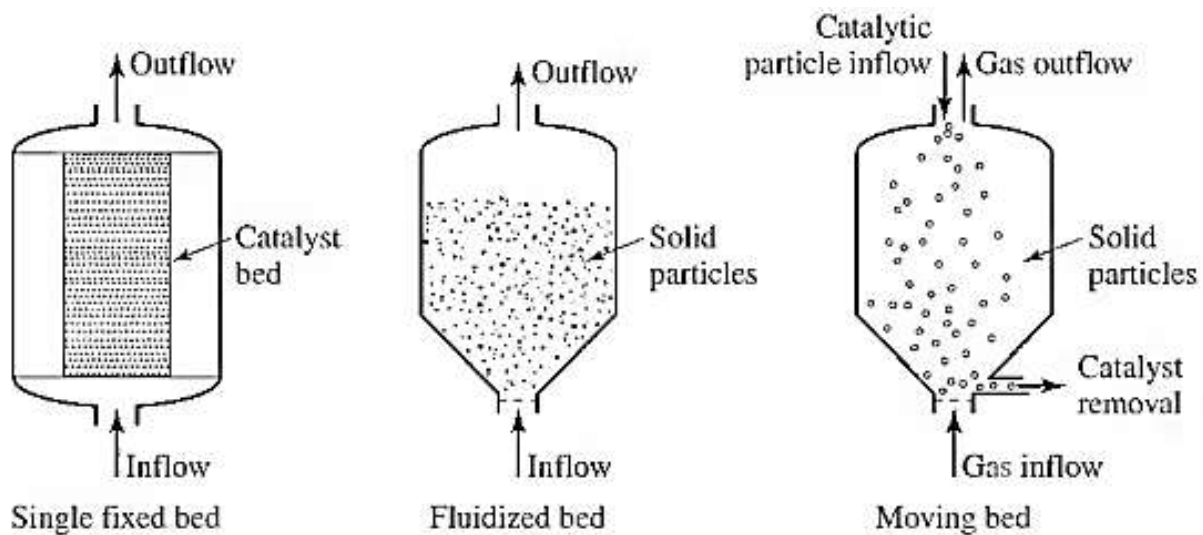
## هم زدن مواد در راکتور

- چند همزن مورد استفاده متداول در راکتورها



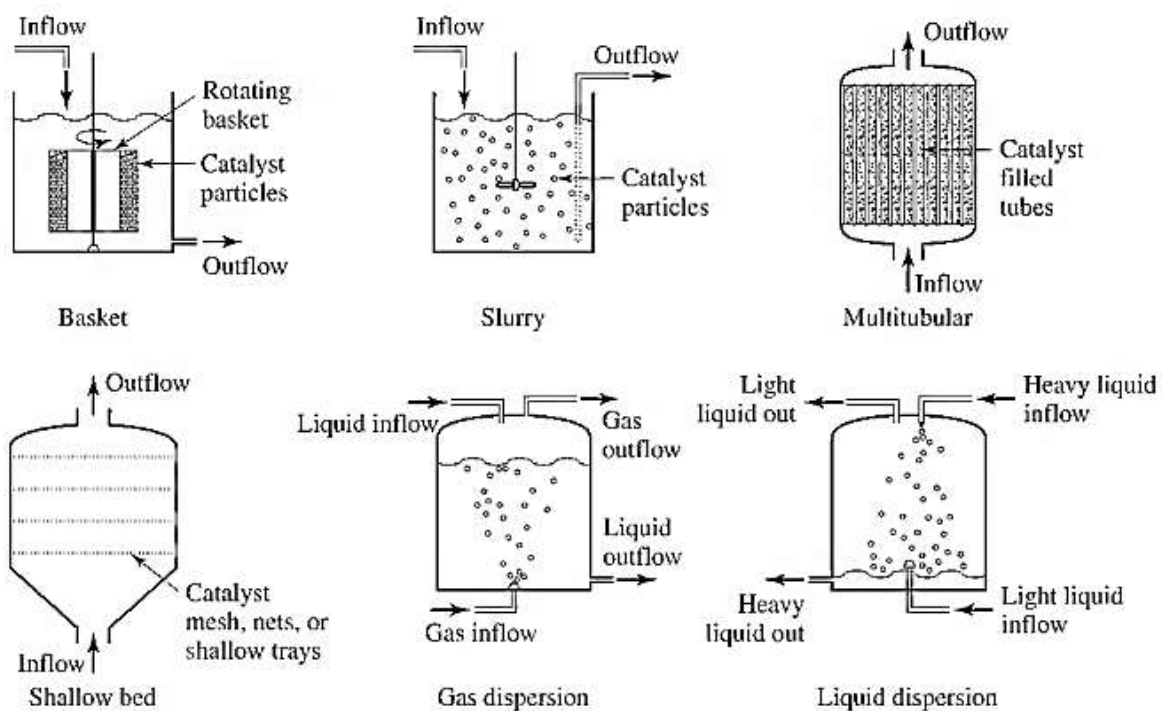
104

## راکتورهای متداول جامد-سیال



105

## راکتورهای کاتالیستی خاص



106

## قیمت تجهیزات راکتوری

- طراحی و برآورد هزینه راکتور مشابه با مخازن تحت فشار و همزن دار می باشد (فصل ۱۲ کتاب پیترز، فصل ۱۶ کتاب سیدر).
- علاوه بر تعیین نوع و حجم راکتور (به روش هایی که در این جلسه بیان شد)، انتخاب درست جنس مواد سازنده و ضخامت دیواره از حیث مقاومت در برابر شرایط عملیاتی بسیار مهم است.

**Table 12-10** Design equations and data for pressure vessels based on the ASME Boiler and Pressure Vessel Code<sup>†</sup>

| Recommended design equations for vessels under internal pressure        | Limiting conditions                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| For cylindrical shells                                                  |                                                                                                    |
| $t = \frac{Pr_i}{SE_j - 0.6P} + C_c$                                    | $\left\{ \begin{array}{l} t \leq \frac{r_i}{2} \\ \text{or } P \leq 0.385SE_j \end{array} \right.$ |
| $t = r_i \left( \frac{SE_j + P}{SE_j - P} \right)^{1/2} - r_i + C_c$    | $\left\{ \begin{array}{l} t > \frac{r_i}{2} \\ \text{or } P > 0.385SE_j \end{array} \right.$       |
| For spherical shells                                                    |                                                                                                    |
| $t = \frac{Pr_i}{SE_j - 0.2P} + C_c$                                    | $\left\{ \begin{array}{l} t \leq 0.356r_i \\ \text{or } P \leq 0.665SE_j \end{array} \right.$      |
| $t = r_i \left( \frac{2SE_j + 2P}{2SE_j - P} \right)^{1/3} - r_i + C_c$ | $\left\{ \begin{array}{l} t > 0.356r_i \\ \text{or } P > 0.665SE_j \end{array} \right.$            |

## قیمت تجهیزات راکتوری

For ellipsoidal head

$$t = \frac{PD_a}{2SE_j - 0.2P} + C_c \quad 0.5 \text{ (minor axis)} \leq D_a \leq 0.25D_a$$

For torispherical (spherically dished) head

$$t = \frac{0.885PL_a}{SE_j - 0.1P} + C_c \quad r = \text{knuckle radius} = 6\% \text{ of inside crown radius and is not less than } 3t$$

For hemispherical head

Same as for spherical shells with  $r_i = L_a$

### Nomenclature for Table 12-10

$a$  = 2 for thicknesses  $< 0.0254$  m and 3 for thicknesses  $\geq 0.0254$  m

$C_c$  = allowance for corrosion, m

$D_a$  = major axis of an ellipsoidal head, before corrosion allowance is added, m

$E_j$  = efficiency of joints expressed as a fraction

IDD = inside depth of dish, m

$L_a$  = inside radius of hemispherical head or inside crown radius of torispherical head, before corrosion allowance is added, m

$n$  = 1.2 for  $D \leq 1.55$  m, 1.21 for  $D = 1.55$ –2.0 m, 1.22 for  $D = 2.0$ –2.7 m, and 1.23 for  $D > 2.7$  m

OD = outside diameter, m

$P$  = maximum allowable internal pressure, kPa (gauge)

$r$  = knuckle radius, m

$r_i$  = inside radius of shell, before corrosion allowance is added, m

$S$  = maximum allowable working stress, kPa

$t$  = minimum wall thickness, m

$\rho$  = density of metal, kg/m<sup>3</sup>

<sup>†</sup>See the latest ASME Boiler and Pressure Vessel Code for further details.

## قیمت تجهیزات راکتوری

Table 12-10 Continued

| Joint efficiencies                 | Recommended stress values           |            |         |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------|---------|
|                                    | Metal                               | Temp., °C  | S, kPa  |
| For double-welded butt joints      | Carbon steel                        | -29 to 343 | 94,500  |
| If fully radiographed = 1.0        | (SA-285, Gr. C)                     | 399        | 82,700  |
| If spot-examined = 0.85            |                                     | 454        | 57,200  |
| If not radiographed = 0.70         |                                     |            |         |
| In general, for spot examined      | Low-alloy steel                     | -29 to 427 | 94,500  |
| If electric resistance weld = 0.85 | for resistance to                   | 510        | 75,800  |
| If lap-welded = 0.80               | H <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> S | 565        | 34,500  |
| If single-butt-welded = 0.60       | (SA-387, Gr.12C1.1)                 | 649        | 6,900   |
|                                    | High-tensile steel                  | -29 to 399 | 137,900 |
|                                    | for heavy-wall                      | 454        | 115,800 |
|                                    | vessels                             | 510        | 69,000  |
|                                    | (SA-302, Gr.B)                      | 538        | 42,750  |
|                                    | High-alloy steel                    | -29        | 128,900 |
|                                    | for cladding and                    | 343        | 77,200  |
|                                    | corrosion resistance                | 427        | 72,400  |
|                                    | Stainless 304                       | 538        | 66,900  |
|                                    | (SA-240)                            |            |         |
|                                    | Stainless 316                       | -29        | 128,900 |
|                                    | (SA-240)                            | 345        | 79,300  |
|                                    |                                     | 427        | 75,800  |
|                                    |                                     | 538        | 73,100  |
|                                    | Nonferrous metals                   |            |         |
|                                    | Copper                              | 38         | 46,200  |
|                                    | (SB-11)                             | 204        | 20,700  |
|                                    | Aluminum                            | 38         | 15,900  |
|                                    | (SB-209, 1100-0)                    | 204        | 6,900   |

109

## قیمت تجهیزات راکتوری

- برای محاسبه جرم تانک های تحت فشار، جرم دیواره و درپوش ها جداگانه محاسبه می شود. سپس جرم ورودی و خروجی ها و نگهدارنده ها به آن اضافه می شود. اگر اطلاعات مربوط به این تجهیزات در دسترس نباشد، برای نصب افقی مخازن ۱۵ درصد و برای نصب عمودی ۲۰ درصد به جرم دیواره مخزن و دو درپوش اضافه می شود.
- برای در نظر گرفتن سطح لازم برای فلنج در درپوش ها، سطح درپوش ها به کمک ضرب یک فاکتور در قطر دیواره به دست می آید که این فاکتور از طریق جدول ۱۲-۱۱ تعیین می شود.

Table 12-11 Factors to obtain diameters of blank disks required for three types of formed heads

| Type of head       | Ratio $D/t$ | Blank diameter factor |
|--------------------|-------------|-----------------------|
| ASME head          | > 50        | 1.09                  |
|                    | 30-50       | 1.11                  |
|                    | 20-30       | 1.15                  |
| Ellipsoidal head   | > 20        | 1.24                  |
|                    | 10-20       | 1.30                  |
| Hemispherical head | > 30        | 1.60                  |
|                    | 18-30       | 1.65                  |
|                    | 10-18       | 1.70                  |

<sup>†</sup> $D$  is the head diameter and  $t$  the nominal minimum head thickness.

110

## قیمت تجهیزات راکتوری

- در نهایت، قیمت مخزن تحت فشار در ژانویه ۲۰۰۲ برحسب دلار بر کیلوگرم دستگاه ساخته شده از فولاد کربنی از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{cost per kg} = 73(W_v)^{-0.34}$$

- $W_v$  جرم کل مخزن محاسبه شده بر مبنای کیلوگرم است.
- این رابطه برای محدوده وزنی بین ۴۰۰ تا ۵۰۰۰۰ کیلوگرم قابل اعمال است. ضریب هزینه برای تبدیل ماده ساخت از فولاد کربنی به فولاد ضد زنگ ۳۰۴ بین ۲ تا ۳/۵ متغیر است، برای فولاد ضد زنگ ۳۱۶ بین ۲/۳ تا ۴/۳، برای مونل (آلیاژ نیکل-مس) بین ۴/۵ تا ۹/۸، و برای تیتانیوم بین ۴/۹ تا ۱۰/۶ است.

111

## قیمت تجهیزات راکتوری (اثر فشار)

- و برای مخازن تحت فشار در فشارهای بالای ۴۲۵ kPa، ضرایب هزینه دیگری تعریف شده اند.

**Table 12-12** Cost factors to account for internal pressure levels of vessels<sup>†</sup>

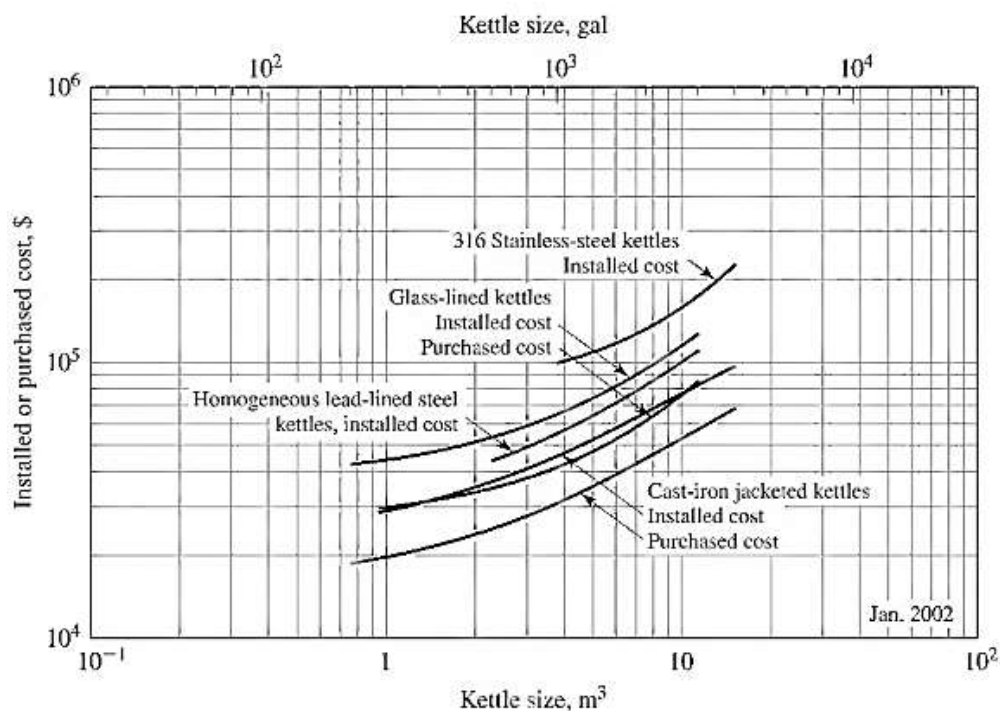
| Pressure level, kPa | Cost factor | Pressure level, kPa | Cost factor |
|---------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Up to 425           | 1.0 (basis) | 5,500               | 3.8         |
| 775                 | 1.3         | 6,150               | 4.0         |
| 1450                | 1.6         | 6,850               | 4.2         |
| 2100                | 2.0         | 10,200              | 5.4         |
| 2800                | 2.4         | 13,600              | 6.5         |
| 3450                | 2.8         | 20,300              | 8.8         |
| 4150                | 3.0         | 27,000              | 11.3        |
| 4800                | 3.3         | 33,800              | 13.8        |

<sup>†</sup>If the data are available, it is much better to use the design equations presented in Table 12-10 to obtain the necessary wall thickness based on the stress value at the operating temperature, in place of using the given pressure factors since there is a critical inter-relationship among material of construction, operating pressure, and operating temperature in establishing the design and cost of pressure vessels.

112

## قیمت تجهیزات راکتوری

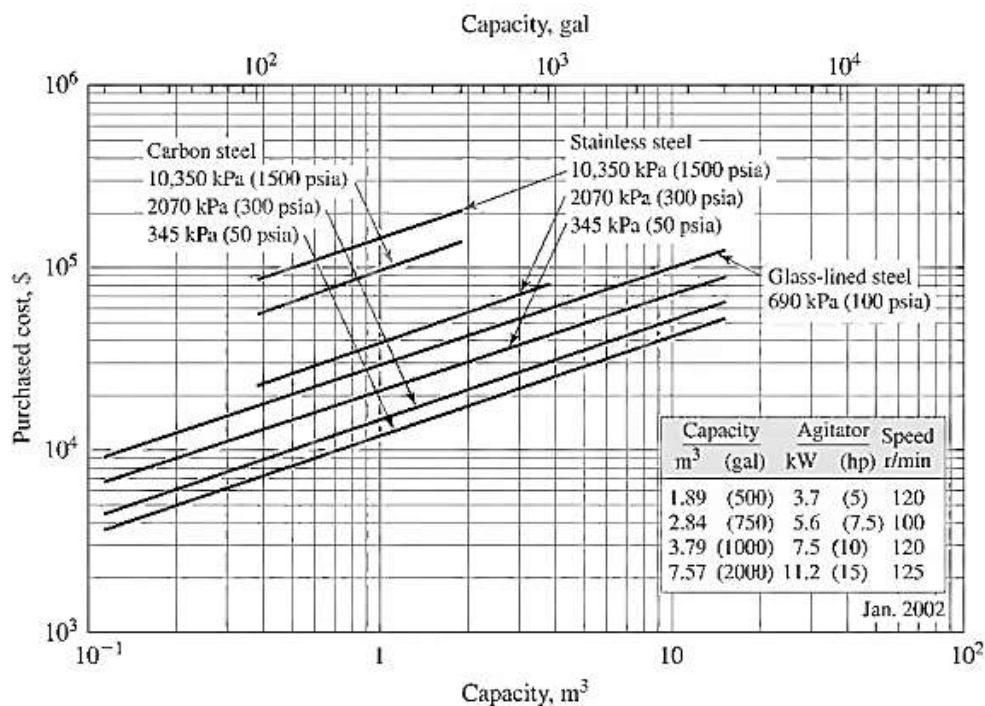
- قیمت خرید یا نصب راکتورهای دیگی (kettle reactors)



113

## قیمت تجهیزات راکتوری

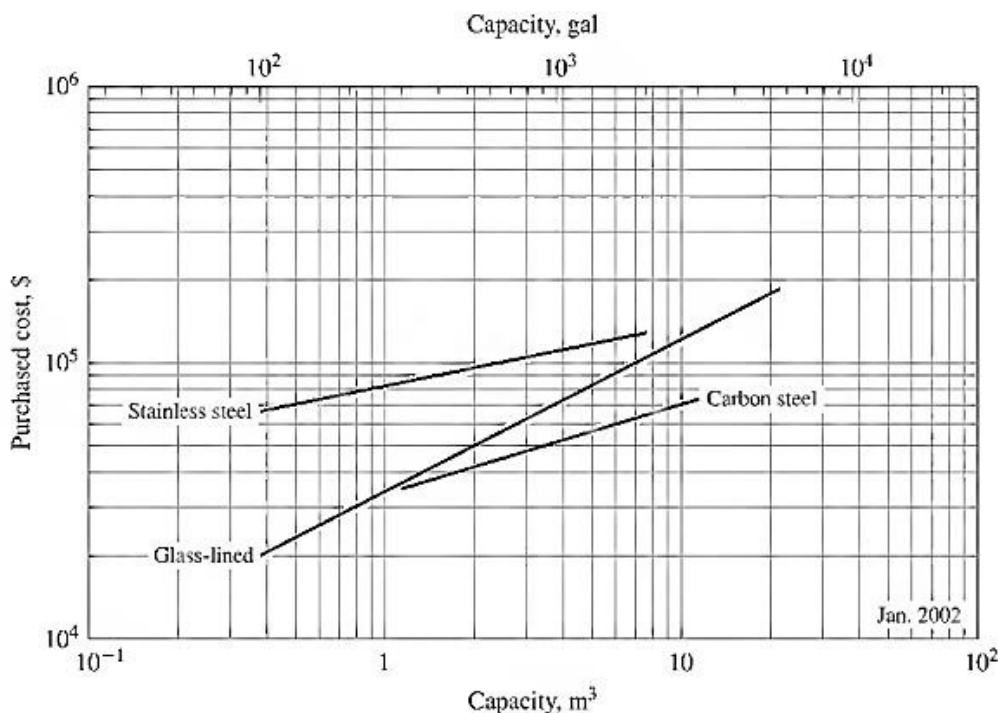
- قیمت خرید راکتورهای ژاکت دار و همزن دار



114

## قیمت تجهیزات راکتوری

- قیمت خرید راکتورهای تحت فشار (autoclaves)



115

## مثال

راکتوری را در نظر بگیرید که طراحی شده و لازم است یک برآورد هزینه اولیه (برای ژانویه ۲۰۰۲) برای نصب آن در شرایط زیر انجام شود:

راکتور به شکل استوانه‌ای با قطر داخلی ۲/۷۴ متر و طول ۹/۱۵ متر است. این راکتور از جنس فولاد کربنی بوده و در دمای ۶۷۰ کلوین و فشار داخلی ۶۹۰ کیلوپاسکال (نسبی) کار خواهد کرد. این راکتور به جوش‌های لب‌به‌لب دوطرفه نیاز دارد و به روش رادیوگرافی به صورت نقطه‌ای بررسی خواهد شد. این راکتور به عنوان یک راکتور جریان پیوسته در وضعیت افقی عمل می‌کند و مواد واکنشی در آن جریان خواهند داشت. نیاز خاصی به گرمایش یا سرمایش عمده وجود ندارد، و بنابراین، به لوازم داخلی ویژه‌ای نیاز نخواهد بود. درپوش‌های راکتور به شکل نیم‌کره‌ای و هم‌ضخامت با پوسته خواهند بود. میزان مجاز خوردگی برای ضخامت دیواره ۰/۰۰۳۲ متر در نظر گرفته شده است.

حل:

## قیمت تجهیزات راکتوری (دیدگاه سیدر)

- در کتاب سیدر، روش مولت، کوریپو و ایوانز (۱۹۸۱) به کار گرفته شده است، که یک روش با پیچیدگی متوسط بوده و بر اساس جرم پوسته و دو کلاهک بیضوی با نسبت ابعاد ۲:۱ (نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک) طراحی شده است. هزینه خرید درب کارخانه برای ساختار فولاد کربنی بوده و شامل هزینه‌ای برای سکوها، نردبان‌ها و تعداد محدودی از نازل‌ها و دریچه‌های دسترسی می‌شود:

$$C_P = F_M C_V + C_{PL}$$

- $C_V$  هزینه خرید درب کارخانه برای مخزن خالی با شاخص هزینه  $C_E$  برابر با ۵۶۷، که شامل نازل‌ها، دریچه‌های دسترسی و تکیه‌گاه‌ها بوده، اما بدون محتویات داخلی است، بر اساس جرم پوسته و دو کلاهک به پوند (W) محاسبه می‌شود. این هزینه به جهت‌گیری مخزن (افقی یا عمودی) نیز بستگی دارد، همان‌طور که در شکل ۱۶.۱۳ کتاب سیدر نشان داده شده است.

Horizontal vessels for  $1,000 < W < 920,000$  lb:

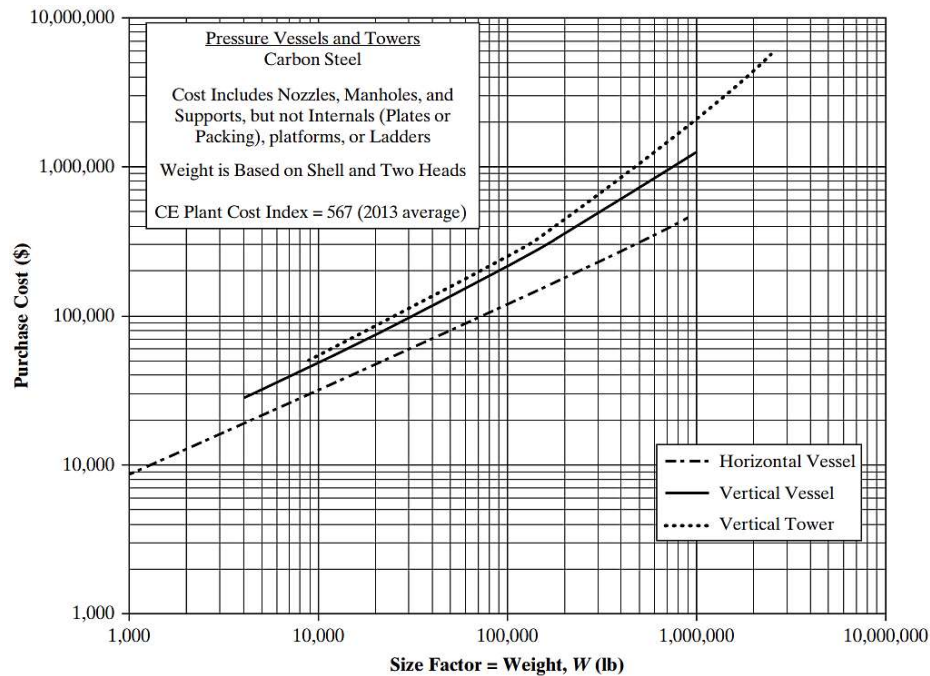
$$C_V = \exp\{5.6336 + 0.4599[\ln(W)] + 0.00582 [\ln(W)]^2\}$$

Vertical vessels for  $4,200 < W < 1,000,000$  lb:

$$C_V = \exp\{7.1390 + 0.18255[\ln(W)] + 0.02297 [\ln(W)]^2\}$$

Towers for  $9,000 < W < 2,500,000$  lb:

$$C_V = \exp\{10.5449 - 0.4672[\ln(W)] + 0.05482 [\ln(W)]^2\}$$



**Figure 16.13** Base f.o.b. purchase costs for pressure vessels and towers.

119

• برای تعیین  $F_M$

**Table 16.26** Materials-of-Construction Factors,  $F_M$ , for Pressure Vessels

| Material of Construction | Material Factor [ $F_M$ in Eq. (16.52)] |
|--------------------------|-----------------------------------------|
| Carbon steel             | 1.0                                     |
| Low-alloy steel          | 1.2                                     |
| Stainless steel 304      | 1.7                                     |
| Stainless steel 316      | 2.1                                     |
| Carpenter 20CB-3         | 3.2                                     |
| Nickel-200               | 5.4                                     |
| Monel-400                | 3.6                                     |
| Inconel-600              | 3.9                                     |
| Incoloy-825              | 3.7                                     |
| Titanium                 | 7.7                                     |

120

## دیدگاه سیدر

- هزینه اضافی ( $C_{PL}$ )، برای سکوها و نردبان‌ها به قطر داخلی مخزن ( $D_i$  بر حسب فوت) و در مورد مخازن عمودی، به طول پوسته از نقطه مماس تا نقطه مماس ( $L$  بر حسب فوت) بستگی داشته و به صورت زیر ارائه می‌شود:

Horizontal vessels for  $3 < D_i < 12$  ft:

$$C_{PL} = 2275 (D_i)^{0.2094}$$

Vertical vessels for  $3 < D_i < 21$  ft and  $12 < L < 40$  ft:

$$C_{PL} = 410 (D_i)^{0.73960} (L)^{0.70684}$$

Towers for  $3 < D_i < 24$  ft and  $27 < L < 170$  ft:

$$C_{PL} = 341 (D_i)^{0.63316} (L)^{0.80161}$$

- برای محاسبه  $W$ ، به کمک معادله (۱۶.۵۹) کتاب سیدر داریم:
- $$W = \pi(D_i + t_s)(L + 0.8D_i)t_s\rho$$
- که  $t_s$  همان ضخامت پوسته مخزن بوده و  $\rho$  به عنوان چگالی فولاد کربنی در نظر گرفته شده که مقدار آن  $490 \text{ lb/ft}^3$  یا  $0.284 \text{ lb/in}^3$  می‌باشد.
  - به کمک معادله (۱۶.۶۰) کتاب سیدر، برای محاسبه ضخامت مخزن داریم:

$$t_p = \frac{P_d D_i}{2SE - 1.2P_d}$$

121

## دیدگاه سیدر

- $P_d$  فشار طراحی داخلی نسبی بر حسب پوند بر اینچ مربع (psig)
- $t_p$  ضخامت دیواره بر حسب اینچ
- $S$  حداکثر تنش مجاز برای جنس پوسته
- $D_i$  قطر داخلی پوسته بر حسب اینچ
- $E$  ضریب کارایی جوش (به صورت کسر)

- برای محاسبه  $P_d$  داریم:
- $$P_d = \exp\{0.60608 + 0.91615[\ln(P_o)] + 0.0015655[\ln(P_o)]^2\}$$
- $P_o$  فشار عملیاتی

- سندلر و لاکویز (۱۹۸۷) پیشنهاد کردند که فشار طراحی ( $P_d$  psig) بالاتر از فشار عملیاتی ( $P_o$ ) باشد.
- برای فشارهای عملیاتی بین ۰ تا ۵ psig، فشار طراحی برابر با ۱۰ psig در نظر گرفته شود.
- برای فشارهای عملیاتی بالاتر از ۱۰۰۰ psig، فشار طراحی برابر با ۱/۱ فشار عملیاتی در نظر گرفته شود.

122

## دیدگاه سیدر

□ مقدار  $S$  حداکثر تنش مجاز برای جنس پوسته بستگی به دمای طراحی و جنس ساخت ماده دارد. دمای طراحی ممکن است به عنوان دمای عملیاتی به اضافه ۵۰ درجه فارنهایت در نظر گرفته شود. با این حال، ملاحظات ایمنی ممکن است حتی اختلاف بیشتری را نیز ایجاب کنند. در یک دمای مشخص، ترکیبات مختلف فولاد مقادیر متفاوتی برای حداکثر تنش مجاز دارند. در محدوده دمایی ۲۰- تا ۶۵۰ درجه فارنهایت در محیطی غیرخورنده و عاری از هیدروژن، فولاد کربنی SA-285 گرید C با حداکثر تنش مجاز ۱۳۷۵۰ psi مورد استفاده قرار می‌گیرد. در محدوده دمایی ۶۵۰ تا ۹۰۰ درجه فارنهایت، در محیطی غیرخورنده و شامل حضور هیدروژن، فولاد کم‌آلیاژ (با ۱٪ کروم و ۰/۵٪ مولیبدن) SA-387B به طور معمول استفاده می‌شود. حداکثر تنش مجاز این فولاد در محدوده دمایی توصیه شده آن به شرح زیر است:

| Temperature (°F) | Maximum Allowable Stress (psi) |
|------------------|--------------------------------|
| -20 to 650       | 15,000                         |
| 700              | 15,000                         |
| 750              | 15,000                         |
| 800              | 14,750                         |
| 850              | 14,200                         |
| 900              | 13,100                         |

123

## دیدگاه سیدر

□ در فشارهای پایین، ضخامت دیواره ای که از معادله (۱۶.۶۰) محاسبه می‌شود ممکن است خیلی کوچک باشد تا به مخازن استحکام کافی بدهد. بر این اساس، حداقل ضخامت دیواره زیر باید استفاده شود:

| Vessel Inside Diameter (ft) | Minimum Wall Thickness (in.) |
|-----------------------------|------------------------------|
| Up to 4                     | 1/4                          |
| 4-6                         | 5/16                         |
| 6-8                         | 3/8                          |
| 8-10                        | 7/16                         |
| 10-12                       | 1/2                          |

124

## دیدگاه سیدر

□ راندمان جوش،  $E$ ، عمدتاً به دلیل یکپارچگی جوش برای درز طولی است. برای فولاد کربنی تا ضخامت ۱/۲۵ اینچ، فقط ۱۰٪ چک اشعه ایکس نقطه ای جوش ضروری است و مقدار ۰/۸۵ برای  $E$  باید استفاده شود. برای ضخامت های بالاتر، بررسی ۱۰۰٪ اشعه ایکس مورد نیاز است که مقدار ۱ را برای  $E$  می دهد.

□ معادله (۱۶.۶۰) برای محاسبه ضخامت یک مخزن افقی تحت فشار مناسب است، اما اثر باد یا زلزله بر یک مخزن یا ستون عمودی را در نظر نمی گیرد و برای مخازن یا ستون های تحت خلأ قابل استفاده نیست. مولت و همکاران (۱۹۸۱) روشی را برای تعیین ضخامت متوسط دیواره یک مخزن یا برج عمودی،  $t_v$ ، ارائه کرده اند که بتواند فشار داخلی در بالای ستون و همچنین نیروی باد یا یک زلزله، علاوه بر فشار داخلی در پایین ستون را تحمل کند. این روش فرض می کند که نیروی باد بر اساس سرعت ۱۴۰ مایل بر ساعت، به طور یکنواخت بر ارتفاع ستون اثر می گذارد. معادله ساده شده آن ها به صورت زیر است، که در آن،  $t_w$  ضخامت لازم به اینچ برای تحمل نیروی باد یا زلزله در پایین (bottom) ستون،  $D_o$  قطر خارجی مخزن عمودی به اینچ،  $L$  ارتفاع مخزن به اینچ، و  $S$  حداکثر تنش مجاز بر حسب psi است.

$$t_w = \frac{0.22(D_o + 18)L^2}{SD_o^2}$$

□ در نهایت، ضخامت متوسط دیواره مخزن،  $t_v$ ، از میانگین ضخامت در بالای ستون،  $t_p$ ، و ضخامت در پایین ستون،  $(t_p + t_w)$ ، محاسبه می شود.

125

## دیدگاه سیدر

□ معادله (۱۶.۶۰) برای مخازن خلأ که در آنها فشار داخلی کمتر از فشار خارجی است، کاربرد ندارد. این نوع مخازن باید به اندازه کافی ضخیم باشند تا در برابر فشار فروپاشی مقاومت کنند یا باید در اطراف محیط بیرونی شان حلقه های تقویت کننده داشته باشند. مولت و همکاران (۱۹۸۱) روشی را برای محاسبه ضخامت لازم دیواره،  $t_E$ ، ارائه داده اند که عمدتاً بر اساس نسبت طول مخزن به قطر خارجی و مدول الاستیسیته فلز دیواره،  $E_M$ ، است. یک تقریب ساده از روش آن ها که برای  $t_E/D_o < 0.05$  کاربرد دارد، در معادله (۱۶.۶۳) کتاب سیدر ارائه شده است که در آن،  $D_o$  قطر خارجی است.

$$t_E = 1.3D_o \left( \frac{P_d L}{E_M D_o} \right)^{0.4}$$

□ برای تعیین مقادیر مدول الاستیسیته ( $E_M$ ):

$E_M$ , Modulus of Elasticity, psi (multiply values by  $10^6$ )

| Temperature (°F) | Carbon Steel | Low-Alloy Steel |
|------------------|--------------|-----------------|
| -20              | 30.2         | 30.2            |
| 200              | 29.5         | 29.5            |
| 400              | 28.3         | 28.6            |
| 650              | 26.0         | 27.0            |
| 700              | —            | 26.6            |
| 800              | —            | 25.7            |
| 900              | —            | 24.5            |

126

## دیدگاه سیدر

□ با این حال، به مقدار  $t_E$  باید تصحیح زیر، یعنی  $t_{EC}$  اضافه شود:

$$t_{EC} = L(0.18D_i - 2.2) \times 10^{-5} - 0.19$$

□ حتی برای شرایط غیرخورنده، یک تیرانس خوردگی،  $t_C$ ، به اندازه  $\frac{1}{8}$  اینچ باید به  $t_V$  اضافه شود تا مقدار  $t_S$  به دست آمده و در معادله (۱۶.۵۹) کتاب سیدر برای محاسبه وزن مخزن ( $W$ ) استفاده شود.

□ علاوه بر این، توجه به این نکته مهم است که مخازن معمولاً از ورق های فلزی ساخته می شوند که ضخامت های آنها می تواند به صورت افزایشی به شرح زیر در نظر گرفته شود:

- افزایش  $\frac{1}{16}$  اینچ برای ضخامت بین  $\frac{3}{16}$  تا  $\frac{1}{2}$  اینچ
- افزایش  $\frac{1}{8}$  اینچ برای ضخامت بین  $\frac{5}{8}$  تا ۲ اینچ
- افزایش  $\frac{1}{4}$  اینچ برای ضخامت بین  $2\frac{1}{4}$  تا ۳ اینچ

ضخامت نهایی مخزن با گرد کردن به مقدار بالاتر بعدی به دست می آید.

## مثال

یک راکتور آدیاباتیک از یک مخزن استوانه ای با درپوش های بیضی شکل، با قطر داخلی ۶/۵ فوت (۷۸ اینچ) و طول ۴۰ فوت (۴۸۰ اینچ) تشکیل شده است. گاز با فشار ۴۸۴ psia و دمای  $800^\circ F$  وارد راکتور می شود. شرایط خروج ۴۸۲ psia و  $850^\circ F$  است. مخزن در موقعیت افقی قرار می گیرد. ضخامت ظرف را بر حسب اینچ، جرم بر حسب پوند، و هزینه خرید را بر حسب دلار برای شاخص هزینه  $CE 600$  تخمین بزنید. ظرف حاوی مواد داخلی نیست و گاز غیرخورنده است. فشار هوا در محل کارخانه ۱۴ psia است.

حل:



## هزینه برج ها

□ برج ها، مخازن تحت فشار عمودی هستند که برای انواع عملیات جداسازی از جمله تقطیر، جذب و استریپینگ به کار می روند. این مخازن شامل سینی ها و/یا پکینگ ها، به علاوه نازل ها و دریچه های بازدید (من هول) و همچنین اجزای داخلی برای ورودهای متعدد خوراک و مدیریت مایع ته نشین و برداشت آن هستند.

□ تخمین هزینه این دستگاه ها شامل دو مرحله می باشد:

۱- تعیین هزینه  $C_V$  و هزینه های افزوده ( $C_{PL}$ )، در نهایتاً  $C_P$  که قبلاً معادلات آن برای برج ها ارائه شده است:

Towers for  $9,000 < W < 2,500,000$  lb:

$$C_V = \exp\{10.5449 - 0.4672[\ln(W)] + 0.05482 [\ln(W)]^2\}$$

Towers for  $3 < D_i < 24$  ft and  $27 < L < 170$  ft:

$$C_{PL} = 341 (D_i)^{0.63316} (L)^{0.80161}$$

$$C_P = F_M C_V + C_{PL}$$

۲- تعیین هزینه سینی ها (برای برج های سینی دار) یا پکینگ ها (برای برج های packed) و جمع بستن این هزینه با  $C_P$ .

131

## هزینه برج های سینی دار

□ برای تعیین هزینه سینی ها ( $C_T$ )

$$C_T = N_T F_{NT} F_{TT} F_{TM} C_{BT}$$

در اینجا، هزینه پایه ( $C_{BT}$ ) مربوط به سینی های سوراخ دار (sieve trays) در شاخص هزینه CE برابر با ۵۶۷ است، که در آن قطر داخلی برج بر حسب فوت بیان شده و معادله برای قطرهای بین ۲ تا ۱۶ فوت معتبر می باشد.

$$C_{BT} = 468 \exp(0.1482 D_i)$$

در معادله  $C_T$ ، پارامتر  $N_T$  همان تعداد سینی ها می باشد. اگر این تعداد بیشتر از ۲۰ باشد،  $F_{NT}=1$  بوده و اگر تعداد سینی ها کمتر از ۲۰ باشد،  $F_{NT}$  از رابطه زیر به دست می آید:

$$F_{NT} = \frac{2.25}{1.0414^{N_T}}$$

پارامتر  $F_{TT}$  به نوع سینی مربوط بوده و به شکل زیر تعیین می شود:

| Tray Type  | $F_{TT}$ |
|------------|----------|
| Sieve      | 1.0      |
| Valve      | 1.18     |
| Bubble cap | 1.87     |

132

## هزینه برج های سینی دار

پارامتر FTM نیز مربوط به جنس سینی ها در برج بوده و با توجه به قطر ستون (برحسب فوت)، به کمک معادلات زیر به دست می آید:

| Material of Construction | $F_{TM}$             |
|--------------------------|----------------------|
| Carbon steel             | 1.0                  |
| 303 Stainless steel      | $1.189 + 0.0577 D_i$ |
| 316 Stainless steel      | $1.401 + 0.0724 D_i$ |
| Carpenter 20CB-3         | $1.525 + 0.0788 D_i$ |
| Monel                    | $2.306 + 0.1120 D_i$ |

## مثال

یک ستون تقطیر قرار است برای جداسازی ایزوبوتان از n-بوتان استفاده شود. ستون که مجهز به ۱۰۰ سینی سوراخ دار است، دارای قطر داخلی ۱۰ فوت و طول پوسته از مماس تا مماس برابر ۲۱۲ فوت می باشد. شرایط کاری در پایین برج ۱۱۰ psia و ۱۵۰ °F و در بالای برج ۱۰۰ psia و ۱۲۰ °F است. جنس سازه از فولاد کربنی انتخاب شده است. فشار بارومتريک در محل واحد برابر ۱۴.۵ psia است. هزینه خرید ستون تقطیر را در شاخص CE برابر با ۶۰۰ برآورد کنید.

حل:



## هزینه برج های packed

□ برای تعیین هزینه برج های packed از رابطه زیر استفاده می شود:

$$C_P = F_M C_V + C_{PL} + V_P C_{PK} + C_{DR}$$

که در آن

$F_M$  برای مخزن در جدول ۱۶.۲۶ داده شده است

$C_V$  برای یک برج عمودی طبق معادله (۱۶.۵۷) تعیین می شود

$C_{PL}$  برای سکوها و نردبان ها طبق معادله (۱۶.۵۸) محاسبه می شود

$V_P$  حجم packings بر حسب فوت مکعب است

$C_{PK}$  هزینه نصب پکینگ به دلار برای هر فوت مکعب است (جدول ۱۶.۲۷ کتاب سیدر)

$C_{DR}$  هزینه نصب توزیع کننده ها و باز توزیع کننده های مایع با کارایی بالا است که برای دستیابی به عملکرد رضایت بخش پکینگ ها مورد نیاز می باشند.

هزینه های نصب برای پکینگ های پر شده (dumped packings) در چندین مرجع در جدول ۱۶.۱۹ در کتاب سیدر ارائه شده اند. جدول ۱۶.۲۷، که با گرفتن میانگین این هزینه ها (با شاخص  $CE = 567$ ) و افزودن چند مقدار تکمیلی از فروشندگان توسعه یافته است، شامل هزینه های شش نوع مختلف پکینگ پر شده و پنج نوع ماده مختلف می باشد.

137

## هزینه برج های packed

**Table 16.27** Installed Costs of Some Dumped Packings

| Size              | Installed Cost (\$/ft <sup>3</sup> ) |         |       |       |       |
|-------------------|--------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
|                   | 1 in.                                | 1.5 in. | 2 in. | 3 in. | 4 in. |
| Berl saddles      |                                      |         |       |       |       |
| Ceramic           | 50                                   | 40      | 32    |       |       |
| Raschig rings     |                                      |         |       |       |       |
| Carbon steel      | 50                                   | 50      | 30    | 30    |       |
| Stainless steel   | 150                                  | 116     | 80    | 80    |       |
| Ceramic           | 20                                   | 20      | 20    | 20    |       |
| Intalox saddles   |                                      |         |       |       |       |
| Ceramic           | 40                                   | 40      | 30    | 22    |       |
| Polypropylene     | 42                                   |         | 26    | 14    |       |
| Pall rings        |                                      |         |       |       |       |
| Carbon steel      | 56                                   | 42      | 36    |       |       |
| Stainless steel   | 160                                  | 130     | 100   |       |       |
| Polypropylene     | 50                                   | 30      | 20    | 18    |       |
| Cascade minirings |                                      |         |       |       |       |
| Stainless steel   | 130                                  | 100     | 80    | 60    | 50    |
| Ceramic           | 90                                   |         | 80    | 50    |       |
| Polypropylene     | 90                                   |         | 80    | 50    |       |
| Tellerettes       |                                      |         |       |       |       |
| Polyethylene      | 100                                  |         |       |       |       |

138

## هزینه برج های packed

- در مقایسه با پکینگ های پر شده و سینی ها، پکینگ های ساختاریافته (Structured Packings) افت فشار کمتری ایجاد می کنند، بازده مرحله ای بالاتری دارند (از نظر کاهش HETS یا ارتفاع معادل یک مرحله تئوری)، و ظرفیت بیشتری را از طریق کاهش قطر برج فراهم می سازند. با این حال، آن ها از نظر هزینه به ازای هر  $\text{ft}^3$  پکینگ گران تر هستند و معمولاً با جنس فولاد کربن در دسترس نمی باشند. این نوع پکینگ ها اغلب زمانی نصب می شوند که در برج های موجود، نیاز به کاهش افت فشار، افزایش ظرفیت و یا افزایش خلوص محصولات باشد. بنابراین، داده های مربوط به هزینه نصب پکینگ های ساختاریافته به طور گسترده موجود نیستند.
- در صورت نبود یک برآورد تقریبی، هزینه نصب پکینگ های ساختاریافته از نوع ورق های موج دار (corrugated-sheet) با جنس فولاد ضدزنگ (stainless steel) حدود ۲۸۵ دلار به ازای هر فوت مکعب در نظر گرفته می شود.
- اطلاعات مربوط به هزینه نصب توزیع کننده ها (distributors) و بازتوزیع کننده های مایع با کارایی بالا نیز به طور گسترده موجود نمی باشد. توزیع کننده ها باید در هر نقطه ورود خوراک نصب شوند و به طور محافظه کارانه، بازتوزیع کننده ها باید در هر ۲۰ ft به کار گرفته شوند.
- در صورت نبود یک برآورد تقریبی، هزینه نصب یک توزیع کننده مایع حدود ۱۴۰ دلار به ازای هر فوت مربع از سطح مقطع برج در نظر گرفته می شود.

139

## مثال

یک ستون تقطیر شامل دو بخش است. بخش بالایی ستون که در بالای محل خوراک قرار دارد، دارای قطر داخلی ۱۴ ft و ارتفاع ۲۰ ft می باشد که ۱۵ ft از آن با پکینگ ساختاریافته از نوع ورق های موج دار (corrugated-sheet) پر شده است. بخش پایینی ستون دارای قطر ۱۶ ft و ارتفاع ۷۰ ft است که ۶۰ ft از آن با پکینگ نوع cascade minirings به قطر ۴ in. پر شده است. جنس بدنه ستون از فولاد کربنی انتخاب شده، اما هر دو نوع پکینگ از فولاد ضدزنگ ساخته شده اند. ستون در شرایط خلأ عمل خواهد کرد، به طوری که در بالای ستون فشار ۵۵ kPa و دماس ۶۰ °C و در پایین ستون فشار ۶۰ kPa و دمای ۱۲۵ °C برقرار است. در مجموع، تعداد چهار توزیع کننده یا بازتوزیع کننده مایع برای این ستون به کار گرفته خواهد شد. هدف آن است که هزینه خرید درب کارخانه (f.o.b.) ستون، شامل پکینگ های نصب شده، توزیع کننده ها و بازتوزیع کننده ها، در شاخص هزینه CE برابر با ۶۰۰ برآورد گردد. فشار بارومتریک در محل نصب ستون برابر با ۱۰۰ kPa است.

حل:

140







**فصل هشتم**  
**حسابداری و تخمین هزینه سرمایه گذاری**  
COST ACCOUNTING AND CAPITAL COST ESTIMATION



## اهمیت حسابداری

- به شناسایی، اندازه گیری، ثبت و گزارش اطلاعات اقتصادی برای تولیدکنندگان به گونه ای که امکان قضاوت و تصمیم گیری آگاهانه را برای آنها فراهم سازد، حسابداری گفته می شود.
  - دارایی ها منافع اقتصادی متعلق به یک واحد اقتصادی که انتظار می رود در آینده، منفعتی را برای واحد اقتصادی ایجاد نماید.
  - بدهی ها: حقوق مالی اشخاص غیر از مالک نسبت به دارایی های یک واحد اقتصادی را بدهی می گویند.
  - سرمایه: حق یا ادعای مالک یا مالکین نسبت به دارایی های یک واحد اقتصادی را سرمایه می گویند.
  - معادله حسابداری بصورت زیر می باشد:
- دارایی = بدهی + سرمایه**

147

## اهمیت حسابداری

- انواع دارایی ها:
  - نقد و بانک
  - حساب ها و اسناد دریافتنی
  - موجودی مواد و کالا
  - پیش پرداخت ها و سپرده ها
  - دارایی های ثابت
  - سرمایه گذاری ها
- انواع بدهی ها:
  - حساب ها و اسناد پرداختنی
  - تسهیلات دریافتی
  - ...

148

## حسابداری

- تمام محاسبات اقتصادی کارخانه در دفاتر روزانه یا Journal ثبت می شود.

### JOURNAL

Page 43

2008

Debit (\$)

Credit (\$)

|      |   |                                                |    |         |         |
|------|---|------------------------------------------------|----|---------|---------|
| June | 3 | Heat Exchanger                                 | 15 | 80,450  |         |
|      |   | Cash                                           | 11 |         | 80,450  |
|      |   | Purchase of a heat exchanger for ammonia plant |    |         |         |
|      | 4 | Cash                                           | 11 | 125,000 |         |
|      |   | Ammonia Product                                | 12 |         | 125,000 |
|      |   | Sales of product from ammonia plant to ABC     |    |         |         |
|      | 6 | Land                                           | 20 | 265,000 |         |
|      |   | Cash                                           | 11 |         | 265,000 |
|      |   | Purchase of land in Iowa from XYZ              |    |         |         |

149

## حسابداری

- مزیت Journal این است که تاریخ روزانه فعالیت های اقتصادی و هم چنین بدهکاری و بستانکاری در یک جا و در کنار هم ثبت شده است. هم چنین می توان توضیحات اضافی را نیز در این دفتر اضافه کرد.

- دفتر کل: شماتیکی از دفتر کل 11 (Ledger)

### BANK ACCOUNT, LEDGER 11

Page 5

2008

Debit (\$)

2008

Credit (\$)

|      |   |                 |    |         |      |   |          |    |         |
|------|---|-----------------|----|---------|------|---|----------|----|---------|
| June | 2 | Balance forward | 42 | 500,000 | June |   |          |    |         |
|      | 4 | Sales           | 43 | 125,000 |      | 3 | Purchase | 43 | 80,450  |
|      |   |                 |    |         |      | 6 | Purchase | 43 | 265,000 |

- با بررسی دفاتر کل به صورت سالانه، گزارش های مالی متنوعی فراهم می شود.

150

## حسابداری

- برخی از جدوال مهم در گزارش های مالی عبارتند از:
  - ترازنامه (Balance sheet)
  - صورت درآمدها (Income statement)
  - صورت نقدینگی (Cash flow statement)
- ترازنامه: ایجاد تراز بین موجودی های کارخانه یا بدهی های شرکت یا سهامداران و اعضای کارخانه که در یک دوره خاص معنا دارد. ترازنامه از ۳ بخش اصلی موجودی ها، بدهی ها و ارزش خالص تشکیل شده است.

Table 16.3 Consolidated Balance Sheet for U. S. Shale Gas in Millions of Dollars as of 31 December 2013

|                                       |       |  |  |
|---------------------------------------|-------|--|--|
| ASSETS                                |       |  |  |
| Current Assets                        |       |  |  |
| Cash and Cash Equivalents             | 107   |  |  |
| Marketable Securities                 | 45    |  |  |
| Accounts Receivable                   | 2,692 |  |  |
| Inventories:                          |       |  |  |
| Finished Products and Work in Process | 1,420 |  |  |

151

## حسابداری

- صورت درآمدها در طول یک دوره مشخص تعریف می شود (برای مثال ۱ ساله)

Table 16.4 Consolidated Income Statement for U. S. Shale Gas in Millions of Dollars for the Calendar Year 2013

|                                               |        |       |
|-----------------------------------------------|--------|-------|
| Net sales                                     | 11,504 |       |
| Cost of goods sold                            | 9,131  |       |
| GROSS PROFIT                                  |        | 2,373 |
| OPERATING EXPENSES                            |        |       |
| Research and development expenses             | 446    |       |
| Selling, general, and administrative expenses | 439    |       |
| Insurance and finance company operations      | 34     |       |
| Amortization and adjustments of goodwill      | 64     |       |
| TOTAL OPERATING EXPENSES                      |        | 983   |

- فروش خالص: کل قیمت فروش با در نظر گرفتن کسر تحفیف ها و کالاهای مرجوعی
- هزینه کالای فروخته شده: هزینه های کارمندان، هزینه های عمومی، توزیع و ...
- سود ناخالص: جمع دو ردیف بالا
- هزینه های عملیاتی: تحقیق و توسعه، بیمه و ...
- هزینه بهره: همان بهره وام است.
- مالیات بر درآمد (Income tax)
- درآمد عملیات: سود ناخالص منهای هزینه عملیاتی
- درآمد ناخالص: فروش خالص منهای هزینه کالای فروخته شده منهای هزینه عملیاتی منهای بهره
- درآمد خالص: درآمد ناخالص منهای مالیات

152

## حسابداری

- صورت نقدینگی : که شامل سود خالص سالیانه به اضافه هزینه های استهلاک می باشد.

Table 16.5 Consolidated Cash Flow Statement for Toledo Chemicals  
in Millions of Dollars for Calendar Year 2013

| OPERATING ACTIVITIES                              |       |  |
|---------------------------------------------------|-------|--|
| Net income available for common stockholders      | 3,151 |  |
| Adjustments to reconcile net income to net cash:  |       |  |
| Depreciation                                      | 675   |  |
| Depletion                                         | 383   |  |
| Amortization                                      | 486   |  |
| Provision for deferred income tax                 | 125   |  |
| Net gain (loss) on sales of property              | (103) |  |
| Changes in assets and liabilities involving cash: |       |  |
| Accounts and notes receivable                     | (441) |  |
| Inventories                                       | (380) |  |

- فعالیت های عملیاتی شامل استهلاک،
- چک های مدت دار، قابل پرداخت و ...
- فروش تجهیزات و زمین
- خرید سرمایه دیگر شرکت ها
- خرید سهام شرکت
- سود پرداختی به سهامداران
- و ...

153

## استهلاک

ماده ۲۳۴ قانون تجارت:

پایین آمدن ارزش دارایی ثابت را که در نتیجه استعمال تغییرات فنی و یا علل دیگر استهلاک نامیده می شود.

انواع استهلاک:

۱- استهلاک دارایی های مشهود (Depreciation) یعنی دارایی هایی که وجود خارجی دارند مانند ماشین آلات و تجهیزات

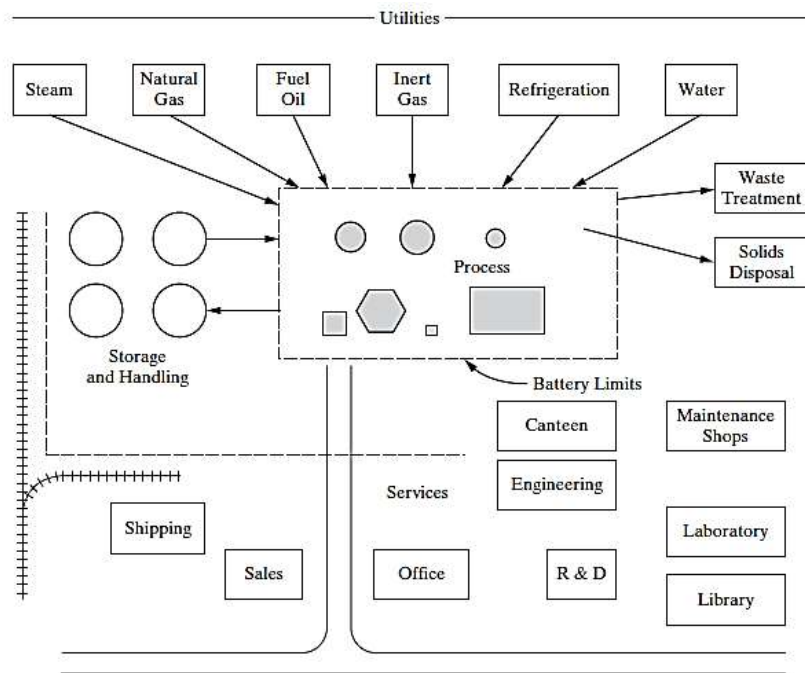
۲- استهلاک دارایی های نامشهود (Amortization) که موجودیت فیزیکی ندارند مانند حق اختراع، سرقفلی و ....

۳- استهلاک کاهش منابع طبیعی (Depletion)

154

156

## اصطلاحات و تعاریف اصلی کارخانه



157

## تاثیر تورم

- چون فرمول ها برای یک زمان خاص ایجاد شده اند، برای تاثیر تورم از شاخص هزینه یا Cost

Index استفاده می کنیم.

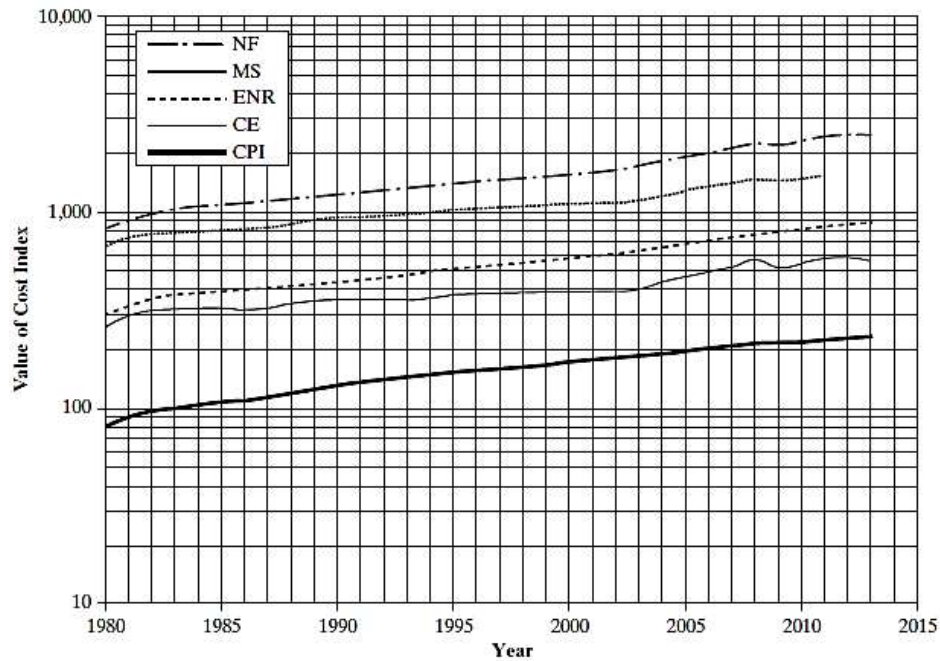
$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$

- انواع Cost Index:

- The **Chemical Engineering (CE)** Plant Cost Index
- The **Marshall & Swift (MS)** Equipment Cost Index
- The **Nelson-Farrar (NF)** Refinery Construction Cost Index
- The **Engineering News-Record (ENR)** Construction Cost Index
- U.S. Federal Government **Consumer Price**

158

## تأثير تورم



$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$

159

$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$

## تأثير تورم

Table 16.6 Comparison of Annual Average Cost Indexes

|       | CE                                                               | MS                                                          | NF                                                              | ENR                                                               | CPI                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|       | Chemical Engineering<br>Plant Cost Index<br>Year 1957–1959 = 100 | Marshall-Swift<br>Process Industry Index<br>Year 1926 = 100 | Nelson-Farrar<br>Refinery Construction Index<br>Year 1946 = 100 | Engineering News-<br>Record Construction Index<br>Year 1967 = 100 | U.S. Federal<br>Government<br>Consumer Price Index<br>Year 1914 = 10 |
| Years |                                                                  |                                                             |                                                                 |                                                                   |                                                                      |
| 2000  | 394                                                              | 1,110                                                       | 1,543                                                           | 579                                                               | 172.2                                                                |
| 2001  | 394                                                              | 1,109                                                       | 1,580                                                           | 590                                                               | 177.1                                                                |
| 2002  | 396                                                              | 1,121                                                       | 1,642                                                           | 609                                                               | 179.9                                                                |
| 2003  | 402                                                              | 1,143                                                       | 1,710                                                           | 623                                                               | 184.0                                                                |
| 2004  | 444                                                              | 1,202                                                       | 1,834                                                           | 662                                                               | 188.9                                                                |
| 2005  | 468                                                              | 1,295                                                       | 1,919                                                           | 693                                                               | 195.3                                                                |
| 2006  | 500                                                              | 1,365                                                       | 2,008                                                           | 722                                                               | 201.6                                                                |
| 2007  | 525                                                              | 1,399                                                       | 2,107                                                           | 742                                                               | 207.3                                                                |
| 2008  | 575                                                              | 1,478                                                       | 2,251                                                           | 774                                                               | 215.3                                                                |
| 2009  | 522                                                              | 1,446                                                       | 2,218                                                           | 798                                                               | 214.5                                                                |
| 2010  | 551                                                              | 1,477                                                       | 2,338                                                           | 819                                                               | 218.1                                                                |
| 2011  | 586                                                              | 1,537 <sup>a</sup>                                          | 2,436                                                           | 844                                                               | 224.9                                                                |
| 2012  | 585                                                              |                                                             | 2,465                                                           | 867                                                               | 229.6                                                                |
| 2013  | 567                                                              |                                                             | 2,490                                                           | 889                                                               | 233.0                                                                |

<sup>a</sup> Data from *Chemical Engineering* until April 2012.

160

## تأثیر تورم

- در صورتی که علاوه بر تأثیر تورم ناشی از سال متفاوت، ظرفیت تولید (Capacity) نیز تغییر کند از رابطه زیر برای محاسبه استفاده می شود:

$$\frac{Cost_2}{Cost_1} = \left( \frac{Capacity_2}{Capacity_1} \right)^m$$

- برای تجهیزات  $0.48 < m < 0.87$  و برای واحدها  $0.38 < m < 0.9$  می باشد که یک مقدار متوسط ۰/۶ برای مقدار  $m$  در نظر گرفته می شود.
- پس ابتدا باید از رابطه شاخص هزینه، مقدار  $Cost_1$  به دست آمده و سپس به کمک رابطه ظرفیت تولید، هزینه ظرفیت تولید جدید محاسبه گردد.

$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$

161

## تأثیر تورم

- مثال: فرض کنید برای یک واحد با میزان تولید ۱۲۵۰ تن در روز آمونیاک، هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاک ( $C_{TDC}$ ) برای سال ۱۹۹۰ برابر با ۱۴۰ میلیون دلار تخمین زده شده است. مقدار این عدد در سال ۲۰۱۳ را با استفاده از شاخص CE برای تولید روزانه ۲۵۰۰ تن آمونیاک محاسبه کنید.

$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right) \qquad \frac{Cost_2}{Cost_1} = \left( \frac{Capacity_2}{Capacity_1} \right)^m$$

162

## تأثیر تورم

- حل: از ترکیب دو رابطه قبل داریم

$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$
$$\Rightarrow Cost_2 = BaseCost \left( \frac{Capacity_2}{Capacity_1} \right)^{0.6} \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$
$$\frac{Cost_2}{Cost_1} = \left( \frac{Capacity_2}{Capacity_1} \right)^m$$

163

## هزینه های سرمایه گذاری

- دیدگاه کتاب Seider در واقع دیدگاه شخصی به نام Guthrie است که در آن، هزینه دستگاه های On Site جدا در نظر گرفته شده است.
- در این دیدگاه، تجهیزات به ۴ دسته تقسیم شده اند:
  - تجهیزاتی که باید طراحی و ساخته شوند مانند برج تقطیر و ...
  - تجهیزات دوار (Machinery) مانند پمپ ها، کمپرسورهای گاز و ...
  - تجهیزات ذخیره و یدکی (مانند پمپ های یدکی و ...)
  - تجهیزاتی نظیر تانک ها و ظروف نگهداری مواد

164

## هزینه های سرمایه گذاری

- مواردی که باید در جدول هزینه های سرمایه گذاری آورده شوند:
- Total bare-module costs for fabricated equipment ( $C_{FE}$ )  
شامل قیمت تجهیزاتی که باید طراحی شده و سفارش داده شوند.
- Total bare-module costs for process machinery ( $C_{PM}$ )  
شامل قیمت تجهیزاتی که دارای توان هستند (مانند پمپ ها و ...) و باید خریداری شوند.
- Total bare-module costs for spares ( $C_{spare}$ )  
هزینه تجهیزاتی که به صورت یدکی در واحد عمل می کنند.
- Total bare-module costs for storage and surge tanks ( $C_{storage}$ )  
هزینه تجهیزاتی مانند تانک ها و ظروف ذخیره مواد
- Total cost for initial catalyst charges ( $C_{catalyst}$ )  
هزینه تغییر کاتالیست در فرآیند
- Total bare-module costs for computers and software, control ... ( $C_{comp}$ )  
هزینه کامپیوترها و نرم افزارها شامل مواردی مانند سیستم های کنترل

165

## هزینه های سرمایه گذاری

- مجموع موارد ذکر شده هزینه کل برای خرید تجهیزات (Total bare-module investment) را تعیین می کند:
- $$C_{TBM} = C_{FE} + C_{PM} + C_{spare} + C_{storage} + C_{catalyst} + C_{comp}$$
- Cost of site preparation ( $C_{site}$ )  
هزینه مربوط به آماده سازی محل مانند پیاده رو، خیابان کشی، سیستم جمع آوری فاضلاب، اطفاء حریق، سیستم های ایمنی، فنس کشی و ...
  - Cost of service facilities ( $C_{service}$ )  
هزینه مربوط به ساختمان ها و موارد مربوط به آن ها
  - Allocated costs for utility plants and related facilities  
هزینه اختصاص یافته برای واحدهای utilities و امکانات مرتبط به آن
  - مجموع موارد زیر نیز کل هزینه های سرمایه گذاری ثابت مستقیم (Total of direct permanent investment) را تشکیل می دهند:

$$C_{DPI} = C_{TBM} + C_{site} + C_{service} + C_{alloc}$$

166

## هزینه های سرمایه گذاری

- Cost of contingencies and contractor's fee ( $C_{cont}$ )

هزینه مربوط به موارد پیش بینی نشده و هزینه های پیمانکاری  
مجموع این هزینه و  $C_{DPI}$ ، هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاك ( $C_{TDC}$ ) خواهند بود:

$$C_{TDC} = C_{DPI} + C_{cont}$$

- Cost of land ( $C_{land}$ )

هزینه زمین اختصاص داده شده (غیر قابل استهلاك)

- Cost of royalties ( $C_{royal}$ )

هزینه مربوط به حق امتیاز (لیسانس) که یک بار پرداخت می شود (غیر قابل استهلاك).

- Cost of plant startup ( $C_{startup}$ )

هزینه مربوط به راه اندازی واحد (غیر قابل استهلاك)

167

## هزینه های سرمایه گذاری

- مجموع سه مورد قبل و هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاك ( $C_{TDC}$ )، هزینه سرمایه گذاری ثابت یا Total Permanent Investment ( $C_{TPI}$ ) را تعیین می کنند.

$$C_{TPI} = C_{TDC} + C_{land} + C_{royal} + C_{startup}$$

- سرمایه در گردش یا Working capital ( $C_{wc}$ )، میزان واقعی دارایی های نقد یا نزدیک به نقد یک سازمان است. چیزی که هزینه ها و نیازهای روزمره یک شرکت را تامین می کند.

- مجموع هزینه های سرمایه گذاری ثابت ( $C_{TPI}$ ) و سرمایه در گردش ( $C_{wc}$ ) برابر است با کل هزینه های سرمایه گذاری

$$C_{TCI} = C_{TPI} + C_{wc}$$

168

## هزینه های سرمایه گذاری

Table 16.9 Components of Total Capital Investment (TCI)

|                                                                                                                          |                |            |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|---------------|
| Total bare-module costs for fabricated equipment                                                                         | $C_{FE}$       |            |               |
| Total bare-module costs for process machinery                                                                            | $C_{PM}$       |            |               |
| Total bare-module costs for spares                                                                                       | $C_{spare}$    |            |               |
| Total bare-module costs for storage and surge tanks                                                                      | $C_{storage}$  |            |               |
| Total cost for initial catalyst charges                                                                                  | $C_{catalyst}$ |            |               |
| Total bare-module costs for computers and software,<br>including distributed control systems,<br>instruments, and alarms | $C_{comp}$     |            |               |
| Total bare-module investment, TBM                                                                                        | $C_{TBM}$      |            |               |
| Cost of site preparation                                                                                                 | $C_{site}$     |            |               |
| Cost of service facilities                                                                                               | $C_{serv}$     |            |               |
| Allocated costs for utility plants and related facilities                                                                | $C_{alloc}$    |            |               |
| Total of direct permanent investment, DPI                                                                                |                | $C_{DPI}$  |               |
| Cost of contingencies and contractor's fee                                                                               |                | $C_{cont}$ |               |
| Total depreciable capital, TDC                                                                                           |                |            | $C_{TDC}$     |
| Cost of land                                                                                                             |                |            | $C_{land}$    |
| Cost of royalties                                                                                                        |                |            | $C_{royal}$   |
| Cost of plant startup                                                                                                    |                |            | $C_{startup}$ |
| Total permanent investment, TPI                                                                                          |                |            | $C_{TPI}$     |
| Working capital                                                                                                          |                |            | $C_{wc}$      |
| Total capital investment, TCI                                                                                            |                |            | $C_{TCI}$     |

## هزینه خرید تجهیزات

- محاسبه این مورد شامل هزینه های مستقیم و غیرمستقیم می باشد.
- هزینه های مستقیم (Direct module expenses) که عبارتند از
  - هزینه خرید تجهیزات بدون در نظر گرفتن هزینه حمل و نقل (free on board or f.o.b) که با " $C_p$ " نمایش می دهند.
  - هزینه مواردی که برای نصب استفاده می شوند " $C_M$ " شامل piping، بتن، فولاد، ابزار و کنترلرها، سیستم های الکتریکی، عایق، رنگ و ...
  - هزینه نیروی انسانی جهت نصب یا Direct field labor for installation " $C_L$ " شامل نصب تجهیزات و تنظیم دستگاه

## هزینه خرید تجهیزات

• هزینه های غیرمستقیم (Indirect module expenses) عبارتند از

– هزینه مهندسین پیمانکار " $C_E$ "

– هزینه حمل توسط کشتی، بیمه و مالیات " $C_{FIT}$ "

– هزینه ساخت مکان های موقت برای اسکان کارگران و امکانات موقت ایجاد شده " $C_O$ "

و در نهایت کل هزینه خرید تجهیزات ( $C_{TBM}$ ) عبارتست از:

$$C_{TBM} = \sum_i C_{BM} = \sum_i (C_p + C_M + C_L + C_{FLT} + C_E + C_O)$$

➤ که  $i$  همان تعداد تجهیزات است.

171

## مثالی از هزینه خرید تجهیزات

Table 16.10 Example of Installation Costs for a Heat Exchanger to Give the Bare-Module Costs

|                                         | Cost (\$) | Total Costs (\$) | Fraction of f.o.b.<br>Purchase Cost $C_p$ |
|-----------------------------------------|-----------|------------------|-------------------------------------------|
| Direct module expenses                  |           |                  |                                           |
| Equipment purchase price, f.o.b., $C_p$ |           | 10,000           | 1.00 $C_p$                                |
| Field materials used for installation   |           |                  |                                           |
| Piping                                  | 4,560     |                  |                                           |
| Concrete                                | 510       |                  |                                           |
| Steel                                   | 310       |                  |                                           |
| Instruments and controllers             | 1,020     |                  |                                           |
| Electrical                              | 200       |                  |                                           |
| Insulation                              | 490       |                  |                                           |
| Paint                                   | 50        |                  |                                           |
| Total of direct field materials, $C_M$  |           | 7,140            | $C_M = 0.714 C_p$                         |
| Direct field labor for installation     |           |                  |                                           |
| Material erection                       | 5,540     |                  |                                           |
| Equipment setting                       | 760       |                  |                                           |
| Total of direct field labor, $C_L$      |           | 6,300            | $C_L = 0.63 C_p$                          |
| Indirect module expenses                |           |                  |                                           |
| Freight, insurance, taxes, $C_{FIT}$    | 800       |                  | $C_{FIT} = 0.08 C_p$                      |
| Construction overhead, $C_O$            | 5,710     |                  | $C_O = 0.571 C_p$                         |
| Contractor engineering expenses, $C_E$  | 2,960     |                  | $C_E = 0.296 C_p$                         |
| Total indirect expenses, $C_{IE}$       |           | 9,470            | $C_{IE} = 0.947 C_p$                      |
| Bare-module cost, $C_{BM}$              |           | 32,910           | $C_{BM} = 3.291 C_p$                      |
|                                         |           |                  | $F_{BM} = 3.291^2$                        |

## هزینه خرید تجهیزات

- برای ساده شدن محاسبات، از ضریبی به نام Bare-Module Factor یا  $F_{BM}$  استفاده می شود که هزینه خرید هر دستگاه ( $C_{BM}$ ) را به صورت ضریبی از هزینه خرید درب کارخانه ( $C_p$ ) تعیین می کند.

$$C_{BM} = F_{BM} \times C_p \Rightarrow C_{TBM} = \sum_i C_{BM} = \sum_i F_{BM_i} \times C_{p_i}$$

- مقادیر  $F_{BM}$  برای دستگاه های مختلف در جداول داده شده است (جدول ۱۱-۱۶ کتاب سیدر).  
➤ برای دستگاه هایی که فشار عملیاتی کم تا متوسط (کمتر از ۱۰۰ psi) دارند از رابطه بالا استفاده می شود.

173

## هزینه خرید تجهیزات

**Table 16.11** Bare-Module Factors of Guthrie (1974) for Ordinary Materials of Construction and Low-to-Moderate Pressures

|                                                     | Bare-Module Factor ( $F_{BM}$ ) |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| Furnaces and direct-fired heaters, shop-fabricated  | 2.19                            |
| Furnaces and direct fired heaters, field-fabricated | 1.86                            |
| Shell-and-tube heat exchangers                      | 3.17                            |
| Double-pipe heat exchangers                         | 1.80                            |
| Fin-tube air coolers                                | 2.17                            |
| Vertical pressure vessels                           | 4.16                            |
| Horizontal pressure vessels                         | 3.05                            |
| Pumps and drivers                                   | 3.30                            |
| Gas compressors and drivers                         | 2.15                            |

174

## هزینه خرید تجهیزات

**Table 16.14** Capital Cost of Bare-Module Equipment Cost for an Ammonia Plant—Costs in Millions of U.S. Dollars (Year 2006)

|                                                     | $C_P$ | $F_{BM}$ | $C_{BM}$      |
|-----------------------------------------------------|-------|----------|---------------|
| <b>Fabricated equipment</b>                         |       |          |               |
| Heat exchangers                                     | 6.67  | 3.3      | 22.01         |
| Flash drum                                          | 0.01  | 4.3      | 0.04          |
| Distillation column                                 | 0.09  | 4.3      | 0.38          |
| Adsorbers                                           | 0.23  | 4.3      | 0.98          |
| Absorber                                            | 0.25  | 4.3      | 1.09          |
| Membrane separators                                 | 4.52  | 3.2      | 14.46         |
| Reactor                                             | 0.43  | 4.3      | 1.86          |
| <b>Process machinery</b>                            |       |          |               |
| Gas compressors                                     | 27.72 | 3.5      | 97.00         |
| Pumps                                               | 0.09  | 3.4      | 0.30          |
| <b>Total bare-module cost for on-site equipment</b> |       |          | <b>138.12</b> |

175

## آماده سازی Site

- این مورد بستگی به نوع طراحی دارد:

– اگر کارخانه از ابتدا ساخته شود و محوطه سازی انجام نشده باشد (Gross-roots plant).

$$C_{site} = (10 - 20\%)C_{TBM}$$

– کارخانه و زمینی از قبل آماده است، ولی کامل نیست (Existing integrated complex).

$$C_{site} = (4 - 6\%)C_{TBM}$$

176

## هزینه ساختمان ها همراه با امکانات

- هزینه های مربوط به ساختمان ها، هزینه کارگر، مواد و هزینه برپایی ساختمان، هزینه تراز کردن، گرمادهی، تهویه و سایر سرویس های مشابه ساختمانی ( $C_{\text{service}}$ ) از کتاب پیترز

**Table 6-7** Cost of buildings including services based on purchased-equipment cost or on fixed-capital investment

| Type of process plant | Percentage of purchased-equipment cost |                                        |                            | Percentage of fixed-capital investment |                                         |                            |
|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
|                       | New plant at new site <sup>a</sup>     | New unit at existing site <sup>a</sup> | Expansion at existing site | New plant at new site <sup>a</sup>     | New plant at existing site <sup>a</sup> | Expansion at existing site |
| Solid                 | 68                                     | 25                                     | 15                         | 18                                     | 7                                       | 4                          |
| Solid-fluid           | 47                                     | 29                                     | 7                          | 12                                     | 7                                       | 2                          |
| Fluid                 | 45                                     | 5–18 <sup>ll</sup>                     | 6                          | 10                                     | 2–4 <sup>ll</sup>                       | 2                          |

177

## هزینه مربوط به Utilities

- شامل واحد بخار آب، سوخت، برق، آب برج خنک کننده، آب فرآیندی و ...

**Table 16.12** Allocated Capital Investment Costs for Utility Plants (CE cost index = 567)

| Utility       | Size Factor, $S$ | Range of $S$             | Allocated Cost, \$                      |
|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| Steam         | Flow rate, lb/hr | 20,000 – 1,000,000 lb/hr | $C_{\text{alloc}} = 930 S^{0.81}$       |
| Electricity   | Power, MW        | 0.5 – 1,000 MW           | $C_{\text{alloc}} = 2,900,000 S^{0.83}$ |
| Cooling water | Flow rate, gpm   | 1,000 – 200,000 gpm      | $C_{\text{alloc}} = 1,100 S^{0.68}$     |
| Process water | Flow rate, gpm   | 5 – 10,000 gpm           | $C_{\text{alloc}} = 1,700 S^{0.96}$     |
| Refrigeration | Tons             | 3 – 1,000 tons           | $C_{\text{alloc}} = 12,500 S^{0.77}$    |

(evaporator temperature =  $-20^{\circ}\text{F}$ )

- البته هزینه ها باید با توجه به سال محاسبه و به کمک شاخص هزینه (CE cost index) به روز رسانی شوند.

178

## هزینه های پیش بینی نشده و پیمانکاری

- معمولاً هزینه های پیش بینی نشده را ۱۵٪ هزینه سرمایه گذاری ثابت در نظر می گیرند.
- همچنین Guthrie پیشنهاد کرده است که هزینه پیمانکاری ۳٪ هزینه سرمایه گذاری ثابت فرض شود. پس:

$$C_{cont} = (3\% + 15\%)C_{DPI}$$

- البته این دقت برآوردها مستقیماً به شناخت فرآیند بستگی دارد.
- عمده طراحی های انجام شده توسط دانشجویان دانشگاه ها نشان داده است که میزان هزینه های پیش بینی نشده ۳۵٪ هزینه سرمایه گذاری ثابت بوده است.

179

## هزینه های غیر قابل استهلاک

- هزینه زمین

$$C_{land} = 2\%C_{TDC}$$

- هزینه حق امتیاز (لیسانس)

$$C_{royal} = (1 - 5\%) \text{ product sale}$$

و در صورت نبود اطلاعات فروش

$$C_{royal} = 2\%C_{TDC}$$

- هزینه راه اندازی اولیه واحد

$$C_{startup} = 10\% C_{TDC}$$

البته بسته به شرایط ممکن است هزینه راه اندازی از ۲ تا ۳۰ درصد هزینه قابل استهلاک متغیر باشد. مواردی مانند نیروی کار ماهر، جدید بودن تجهیزات، عدم وابستگی واحد به بخش های دیگر و ... تاثیر گذارند.

180

## هزینه در گردش

- از آن جا که این مورد بیشتر به هزینه های موجود، چک های پرداختنی کوتاه مدت و هزینه های جاری مرتبط است، در بخش هزینه های تولید گنجانده می شود.
- به عنوان یک تخمین، هزینه های در گردش حدود ۱۰٪ هزینه های قابل استهلاک می باشند.

$$C_{wc} = 10\% C_{TDC}$$

181

## محل سرمایه گذاری

- در بسیاری از شرکت ها، برای در نظر گرفتن تفاوت هزینه ها (از جمله هزینه کارگر و ...) در کشورهای متفاوت، از ضریبی به نام فاکتور محل سرمایه گذاری یا Investment Site Factor ( $F_{ISF}$ ) استفاده می شود.
- این ضریب به شکل زیر بر روی مقدار هزینه سرمایه گذاری ثابت ( $C_{TPI}$ ) تاثیر می گذارد:

$$C_{TPI_{corrected}} = F_{ISF} C_{TPI}$$

Table 16.13 Typical Investment Site Factors,  $F_{ISF}$

|                 |      |
|-----------------|------|
| U.S. Gulf Coast | 1.00 |
| U.S. Southwest  | 0.95 |
| U.S. Northeast  | 1.10 |
| U.S. Midwest    | 1.15 |
| U.S. West Coast | 1.25 |
| Western Europe  | 1.20 |
| Mexico          | 0.95 |
| Japan           | 1.15 |
| Pacific Rim     | 1.00 |
| India           | 0.85 |

182

## هزینه های سرمایه گذاری (مثال)

**Table 16.15** Total Capital Investment for an Ammonia Plant—Costs in Millions of U.S. Dollars (Year 2006)

|                                                           |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Total bare-module cost for on-site equipment              | 138.12 |        |        |
| Cost for spares                                           | 0.66   |        |        |
| Cost for storage and surge tanks                          | 0.57   |        |        |
| Cost for initial catalyst charge                          | 0.63   |        |        |
| Cost of computers, software, and associated items         |        |        |        |
| Total bare-module investment                              | 139.98 |        |        |
| Cost of site preparation                                  | 4.20   |        |        |
| Cost of service facilities                                | 2.09   |        |        |
| Allocated costs for utility plants and related facilities | 19.61  |        |        |
| Direct permanent investment                               |        | 165.88 |        |
| Cost of contingencies and contractor's fee                |        | 29.86  |        |
| Total depreciable capital                                 |        | 195.74 |        |
| Cost of land                                              |        | 3.91   |        |
| Cost of plant startup                                     |        | 15.63  |        |
| Total permanent investment                                |        |        | 215.28 |
| Working capital                                           |        |        | 12.80  |
| Total capital investment                                  |        |        | 228.08 |

Note: In Table 16.15, the cost of computers, software, and associated items is included in the total bare-module cost for on-site equipment.

183

## روش های تخمین هزینه سرمایه گذاری

به ۵ روش می توان هزینه های سرمایه گذاری برای یک واحد را محاسبه کرد:

1. Order of magnitude (Hill 1956)
2. Study estimate
3. Preliminary estimate
4. Definitive estimate
5. Detailed estimate

سه روش اول روش های ساده ای هستند و نیاز به جزئیات طراحی ندارند.

184

# Order of magnitude

این روش بر مبنای داده های مقیاس آزمایشگاهی می باشد.

□ حالت اول:

در این حالت به ابعاد دستگاه ها، جدول موازنه جرم و انرژی (طراحی اولیه) نیاز نداریم.

اطلاعات مورد نیاز در این حالت عبارتند از:

- لیست تجهیزات اصلی خط تولید شامل "برج ها، راکتورها، کمپرسورها و ..."

- - پمپ ها، separators و مبدل های حرارتی در نظر گرفته نمی شود.

- شاخص هزینه (cost index)

دقت محاسبات در این روش ۵۰٪ و زمان محاسبات بسیار پایین است.

185

# Steps of Order of magnitude

مبنای محاسبات در این روش، نرخ تولید  $10 \times 10^6 \text{ lb/yr}$  می باشد. سال مبنا نیز سال ۲۰۰۶ در

نظر گرفته شده است. گام اول:

1. تعیین فاکتور اصلاح کننده نرخ تولید

$$F_{PR} = \left( \frac{\text{Main product flow rate, lb/yr}}{10,000,000} \right)^{0.6}$$

2. تعیین قیمت تجهیزات شامل خرید، حمل و نقل، نصب و ... (به جز تجهیزاتی مانند پمپ ها و

مبدل ها). برای هر کدام از دستگاه ها:

$$C_M = F_{PR} F_M \left( \frac{\text{design pressure, psia, if } > 100 \text{ psi}}{100} \right)^{0.25} \\ \times (\$160,000)$$

$F_M$  فاکتور جنس دستگاه است که برای حالت های مختلف در جدول داده شده است.

186

## Steps of Order of magnitude

- Material factor

| Material        | $F_M$ |
|-----------------|-------|
| Carbon steel    | 1.0   |
| Copper          | 1.2   |
| Stainless steel | 2.0   |
| Nickel alloy    | 2.5   |
| Titanium clad   | 3.0   |

3. برای محاسبه هزینه تجهیزات، باید قیمت همه دستگاه ها باهم جمع شود. پس:

$$C_{TBM} = F_{PI} \left( \frac{MS \text{ index}}{1,365} \right) \Sigma C_M$$

بر حسب شاخص هزینه MS در سال ۲۰۰۶

$F_{PI}$  به نوع فرآیند بستگی دارد.

| Type of Process        | $F_{PI}$ |
|------------------------|----------|
| Solids handling        | 1.85     |
| Solids-fluids handling | 2.00     |
| Fluids handling        | 2.15     |

187

## Steps of Order of magnitude

4. تعیین هزینه های سرمایه گذاری ثابت مستقیم (Direct Permanent Investment)

$$C_{DPI} = (1 + F_1 + F_2) C_{TBM}$$

که  $F_1$  و  $F_2$  از جداول زیر به دست می آیند:

| $F_2$ (مربوط به محوطه سازی) |      |
|-----------------------------|------|
| در فضای آزاد                | 0.15 |
| هم فضای آزاد و هم سرپوشیده  | 0.4  |
| فضای سرپوشیده               | 0.8  |

| $F_1$ (بیشتر مربوط به Utility) |     |
|--------------------------------|-----|
| Minor addition to existing     | 0.1 |
| Major addition to existing     | 0.3 |
| Gross roots plants             | 0.8 |

188

## Steps of Order of magnitude

5. (گام آخر) تعیین هزینه های سرمایه گذاری مستقیم کل (Total Permanent Investment) و کل هزینه های سرمایه گذاری (Total Capital Investment)

$$C_{TPI} = 1.50C_{DPI}$$

$$C_{TCI} = 1.15C_{TPI}$$

✓ مزیت روش: سادگی و سرعت بالا

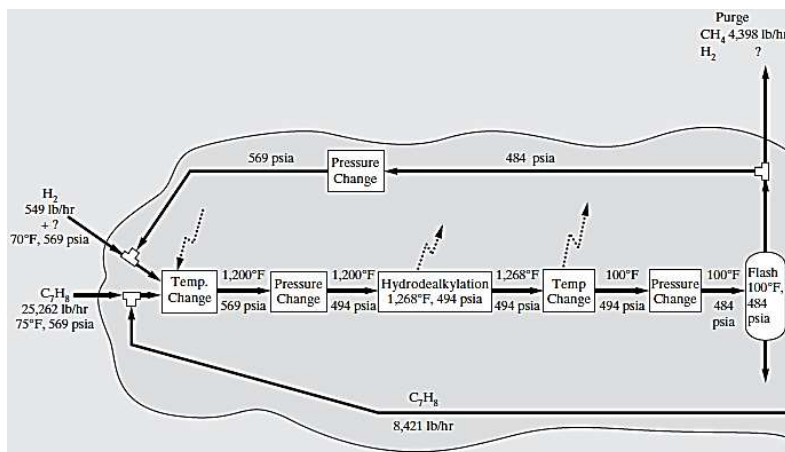
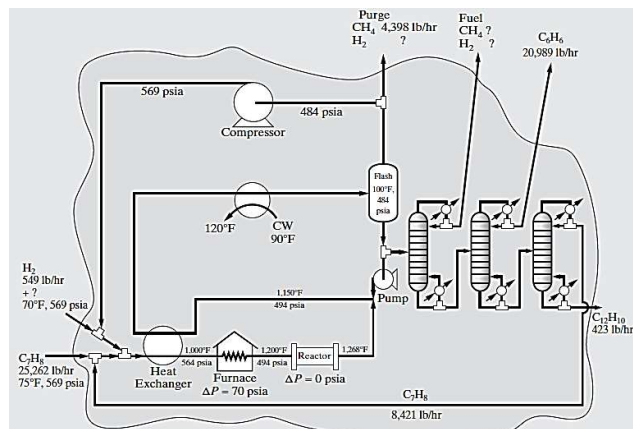
❖ ایراد: خطای این روش خیلی بالاست و باعث می شود در خیلی از موارد نتوان به نتایج آن استناد کرد.

## مثال

شماتیکی از فرآیند تولید بنزن از تولوئن در شکل زیر نشان داده شده است. فرض کنید درصد تبدیل تولوئن به بنزن ۹۵٪ بوده و تعداد روزهای عملیاتی ۳۳۰ روز در سال است. خوراک در فشار عملیاتی راکتور وارد می شود. برای افزایش تحمل راکتور در مقابل دمای بالا، بدنه آن از آلیاژی با فاکتور ماده ۱/۵ ساخته شده است. باقی تجهیزات اصلی نیز از کربن استیل ساخته شده اند. قرار است این طرح به یک واحد گسترده اضافه شده و ساخت آن در فضای آزاد انجام گیرد. به روش Order of magnitude، کل هزینه لازم برای سرمایه گذاری واحد را بر مبنای سال ۲۰۰۷ محاسبه نمایید.

## مثال

### تجهیزات اصلی



191

## حل

- ابتدا محاسبات اولیه جهت تعیین ظرفیت تولید در سال  
برای مصرف تولوئن به مقدار  $274/2 \text{ lbmol/hr}$

$$330(24) = 7,920 \text{ hr/yr.}$$

ظرفیت تولید بنزن در سال

- تعیین فاکتور اصلاح نرخ تولید

- تعیین هزینه تجهیزات

192

$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$

Table 16.6 Comparison of Annual Average Cost Indexes

|       | CE                                                               | MS                                                          | NF                                                              | ENR                                                               | CPI                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|       | Chemical Engineering<br>Plant Cost Index<br>Year 1957–1959 = 100 | Marshall-Swift<br>Process Industry Index<br>Year 1926 = 100 | Nelson-Farrar<br>Refinery Construction Index<br>Year 1946 = 100 | Engineering News-<br>Record Construction Index<br>Year 1967 = 100 | U.S. Federal<br>Government<br>Consumer Price Index<br>Year 1914 = 10 |
| Years |                                                                  |                                                             |                                                                 |                                                                   |                                                                      |
| 2000  | 394                                                              | 1,110                                                       | 1,543                                                           | 579                                                               | 172.2                                                                |
| 2001  | 394                                                              | 1,109                                                       | 1,580                                                           | 590                                                               | 177.1                                                                |
| 2002  | 396                                                              | 1,121                                                       | 1,642                                                           | 609                                                               | 179.9                                                                |
| 2003  | 402                                                              | 1,143                                                       | 1,710                                                           | 623                                                               | 184.0                                                                |
| 2004  | 444                                                              | 1,202                                                       | 1,834                                                           | 662                                                               | 188.9                                                                |
| 2005  | 468                                                              | 1,295                                                       | 1,919                                                           | 693                                                               | 195.3                                                                |
| 2006  | 500                                                              | 1,365                                                       | 2,008                                                           | 722                                                               | 201.6                                                                |
| 2007  | 525                                                              | 1,399                                                       | 2,107                                                           | 742                                                               | 207.3                                                                |
| 2008  | 575                                                              | 1,478                                                       | 2,251                                                           | 774                                                               | 215.3                                                                |
| 2009  | 522                                                              | 1,446                                                       | 2,218                                                           | 798                                                               | 214.5                                                                |
| 2010  | 551                                                              | 1,477                                                       | 2,338                                                           | 819                                                               | 218.1                                                                |
| 2011  | 586                                                              | 1,537 <sup>a</sup>                                          | 2,436                                                           | 844                                                               | 224.9                                                                |
| 2012  | 585                                                              |                                                             | 2,465                                                           | 867                                                               | 229.6                                                                |
| 2013  | 567                                                              |                                                             | 2,490                                                           | 889                                                               | 233.0                                                                |

<sup>a</sup> Data from *Chemical Engineering* until April 2012.

## حل

- تعیین هزینه کل تجهیزات با در نظر گرفتن شاخص هزینه و نوع فرآیند (سیال):

$$C_{TBM} = 2.15 \left( \frac{1,400}{1,365} \right) (\$6,650,000) = \$14,700,000$$

- مراحل ۴ و ۵ (تعیین هزینه های سرمایه گذاری):

با در نظر گرفتن افزودن فرآیند به یک سیستم گسترده (Major addition) و ساخت واحد در فضای باز:

$$C_{DPI} = (1 + 0.15 + 0.30)(\$14,700,000) = \$21,300,000$$

$$C_{TPI} = 1.50(\$21,400,000) = \$32,100,000$$

$$C_{TCI} = 1.15(\$32,100,000) = \$36,900,000$$

# Order of magnitude

□ حالت دوم: براساس بانک اطلاعات قدیمی کارخانه

$$C_{TDC} = C_b \times \left( \frac{etarnoitcudorpwen}{old production rate} \right)^{0.6}$$

**Table 16.8** Representative Plant Capacity and Capital Investment for Some Commodity Chemicals

| Commodity Chemical(s)         | Production Rate(s)<br>(millions of pounds/year) | Capital Investment Factor<br>[ $C_b$ in Eq. (16.4) for 1995] |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Ethylene and propylene        | 1,200 and 600                                   | \$300,000,000                                                |
| Sulfuric acid                 | 4,000                                           | \$30,000,000                                                 |
| Ethylene dichloride           | 1,000                                           | \$80,000,000                                                 |
| Ammonia and urea              | 400 and 1,500                                   | \$400,000,000                                                |
| Chlorine and sodium hydroxide | 360 and 400                                     | \$80,000,000                                                 |
| Ethylbenzene                  | 2,800                                           | \$80,000,000                                                 |
| Phosphoric acid               | 3,200                                           | \$50,000,000                                                 |
| Styrene                       | 2,500                                           | \$200,000,000                                                |
| Nitric acid                   | 1,400                                           | \$50,000,000                                                 |
| Ethylene oxide                | 600                                             | \$80,000,000                                                 |
| Cumene                        | 600                                             | \$30,000,000                                                 |
| Ammonium nitrate              | 800                                             | \$20,000,000                                                 |

19  
5

# Order of magnitude

■ برای لحاظ کردن عامل تورم

$$C_{TDC} = C_b \times \left( \frac{new production rate}{old production rate} \right)^{0.6} \times \left( \frac{cost index_{(new)}}{cost index_{(old)}} \right)$$

**Table 16.8** Representative Plant Capacity and Capital Investment for Some Commodity Chemicals

| Commodity Chemical(s)         | Production Rate(s)<br>(millions of pounds/year) | Capital Investment Factor<br>[ $C_b$ in Eq. (16.4) for 1995] |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Ethylene and propylene        | 1,200 and 600                                   | \$300,000,000                                                |
| Sulfuric acid                 | 4,000                                           | \$30,000,000                                                 |
| Ethylene dichloride           | 1,000                                           | \$80,000,000                                                 |
| Ammonia and urea              | 400 and 1,500                                   | \$400,000,000                                                |
| Chlorine and sodium hydroxide | 360 and 400                                     | \$80,000,000                                                 |
| Ethylbenzene                  | 2,800                                           | \$80,000,000                                                 |
| Phosphoric acid               | 3,200                                           | \$50,000,000                                                 |
| Styrene                       | 2,500                                           | \$200,000,000                                                |
| Nitric acid                   | 1,400                                           | \$50,000,000                                                 |
| Ethylene oxide                | 600                                             | \$80,000,000                                                 |
| Cumene                        | 600                                             | \$30,000,000                                                 |
| Ammonium nitrate              | 800                                             | \$20,000,000                                                 |

19  
6

## Example

هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاك را برای یک واحد با نرخ تولید ۹۰ ton/day کلرین و ۱۰۰ ton/day سدیم هیدروکسید برای سال ۲۰۱۳ تخمین بزنید. واحد به طور پیوسته ۳۳۰ روز در سال کار می کند.

حل:

19  
7

## Example

**Table 16.8** Representative Plant Capacity and Capital Investment for Some Commodity Chemicals

| Commodity Chemical(s)         | Production Rate(s)<br>(millions of pounds/year) | Capital Investment Factor<br>[ $C_b$ in Eq. (16.4) for 1995] |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Ethylene and propylene        | 1,200 and 600                                   | \$300,000,000                                                |
| Sulfuric acid                 | 4,000                                           | \$30,000,000                                                 |
| Ethylene dichloride           | 1,000                                           | \$80,000,000                                                 |
| Ammonia and urea              | 400 and 1,500                                   | \$400,000,000                                                |
| Chlorine and sodium hydroxide | 360 and 400                                     | \$80,000,000                                                 |
| Ethylbenzene                  | 2,800                                           | \$80,000,000                                                 |
| Phosphoric acid               | 3,200                                           | \$50,000,000                                                 |
| Styrene                       | 2,500                                           | \$200,000,000                                                |
| Nitric acid                   | 1,400                                           | \$50,000,000                                                 |
| Ethylene oxide                | 600                                             | \$80,000,000                                                 |
| Cumene                        | 600                                             | \$30,000,000                                                 |
| Ammonium nitrate              | 800                                             | \$20,000,000                                                 |

$$C_{TDC} = C_b \times \left( \frac{\text{new production rate}}{\text{old production rate}} \right)^{0.6} \times \left( \frac{\text{cost index}_{(new)}}{\text{cost index}_{(old)}} \right)$$

19  
8

# Example

Table 16.6 Comparison of Annual Average Cost Indexes

|      | CE                                                               | MS                                                          | NF                                                              | ENR                                                               | CPI                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|      | Chemical Engineering<br>Plant Cost Index<br>Year 1957–1959 = 100 | Marshall-Swift<br>Process Industry Index<br>Year 1926 = 100 | Nelson-Farrar<br>Refinery Construction Index<br>Year 1946 = 100 | Engineering News-<br>Record Construction Index<br>Year 1967 = 100 | U.S. Federal<br>Government<br>Consumer Price Index<br>Year 1914 = 10 |
| 1990 | 358                                                              | 935                                                         | 1,226                                                           | 441                                                               | 130.7                                                                |
| 1991 | 361                                                              | 952                                                         | 1,253                                                           | 450                                                               | 136.2                                                                |
| 1992 | 358                                                              | 960                                                         | 1,277                                                           | 464                                                               | 140.3                                                                |
| 1993 | 359                                                              | 975                                                         | 1,311                                                           | 485                                                               | 144.5                                                                |
| 1994 | 368                                                              | 1,000                                                       | 1,350                                                           | 503                                                               | 148.2                                                                |
| 1995 | 381                                                              | 1,037                                                       | 1,392                                                           | 509                                                               | 152.4                                                                |
| 1996 | 382                                                              | 1,051                                                       | 1,419                                                           | 524                                                               | 156.9                                                                |
| 1997 | 387                                                              | 1,068                                                       | 1,449                                                           | 542                                                               | 160.5                                                                |
| 1998 | 390                                                              | 1,075                                                       | 1,478                                                           | 551                                                               | 163.0                                                                |
| 1999 | 391                                                              | 1,083                                                       | 1,497                                                           | 564                                                               | 166.6                                                                |
| 2010 | 551                                                              | 1,477                                                       | 2,338                                                           | 819                                                               | 218.1                                                                |
| 2011 | 586                                                              | 1,537 <sup>a</sup>                                          | 2,436                                                           | 844                                                               | 224.9                                                                |
| 2012 | 585                                                              |                                                             | 2,465                                                           | 867                                                               | 229.6                                                                |
| 2013 | 567                                                              |                                                             | 2,490                                                           | 889                                                               | 233.0                                                                |

<sup>a</sup> Data from *Chemical Engineering* until April 2012.

$$C_{TDC} = C_b \times \left( \frac{\text{new production rate}}{\text{old production rate}} \right)^{0.6} \times \left( \frac{\text{cost index}_{(new)}}{\text{cost index}_{(old)}} \right)$$

19  
9

# Example

در جدول، اطلاعات برای واحد با ظرفیت ۳۶۰ lb/yr داده شده است. داریم:

$$C_{TDC} = C_b \times \left( \frac{\text{new production rate}}{\text{old production rate}} \right)^{0.6} \times \left( \frac{\text{cost index}_{(new)}}{\text{cost index}_{(old)}} \right)$$

$$C_{TDC} = 80000000 \times \left( \frac{59.4}{360} \right)^{0.6} \times \left( \frac{567}{381} \right) = 40.4 \text{ million dollars}$$

20  
0

## Study estimate

خطای این روش در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد می باشد.

در این روش نیاز به طراحی اولیه داریم. جدول موازنه جرم و انرژی نیز نیاز است. دستگاه های خط اصلی (شامل پمپ ها و مبدل ها) در نظر گرفته می شوند.

مراحل این روش عبارتند از:

۱. تهیه جدول تجهیزات شامل عنوان دستگاه، label، جنس دستگاه، شرایط عملیاتی شامل دما و فشار، sizing دستگاه

۲. تعیین قیمت f.o.b هر یک از تجهیزات اصلی براساس sizing دستگاه همراه با سال تعیین قیمت (مبنا)

۳. هزینه های سرمایه گذاری ثابت و کل هزینه های سرمایه گذاری به کمک فاکتور  $(f_L)$

20  
1

## Study estimate

▪ روابط لازم برای تعیین  $C_{TPI}$  و  $C_{TCI}$

$$C_{TPI} = 1.05 f_{L_{TPI}} \sum_i \left( \frac{I_i}{I_{bi}} \right) C_{Pi}$$

$$C_{TCI} = 1.05 f_{L_{TCI}} \sum_i \left( \frac{I_i}{I_{bi}} \right) C_{Pi}$$

▪ ضریب ۱/۰۵ مربوط به هزینه حمل و نقل دستگاه می باشد.

▪ در محاسبه  $C_{TCI}$  فرض شده است

$$C_{WC} = 15\% C_{TCI}$$

$$C_{WC} = 17.6\% C_{TPI}$$

▪ سوال: ضرایب  $f_L$  را چگونه تعیین کنیم؟

20  
2

# Study estimate

ضرایب  $f_L$

**Table 16.16** Original and Recommended Lang Factors

|                                | Original Lang Factors, <i>Not</i> Including Working Capital | $f_{L_{TPI}}$<br>Recommended Lang Factors of Peters et al. <i>Not</i> Including Working Capital | $f_{L_{TCI}}$<br>Recommended Lang Factors of Peters et al. Including Working Capital |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Solids processing plant        | 3.10                                                        | 3.97                                                                                            | 4.67                                                                                 |
| Solids-fluids processing plant | 3.63                                                        | 4.28                                                                                            | 5.03                                                                                 |
| Fluids processing plant        | 4.74                                                        | 5.04                                                                                            | 5.93                                                                                 |

$$C_{TPI} = 1.05 f_{L_{TPI}} \sum_i \left( \frac{I_i}{I_{b_i}} \right) C_{P_i}$$

$$C_{TCI} = 1.05 f_{L_{TCI}} \sum_i \left( \frac{I_i}{I_{b_i}} \right) C_{P_i}$$

20  
3

# Study estimate

ضرایب  $f_L$  اصلاح شده توسط پیترز و همکاران با فرض Major addition

□ همه هزینه ها به صورت درصدی از هزینه تجهیزات (هزینه تا محل) در نظر گرفته شده است.

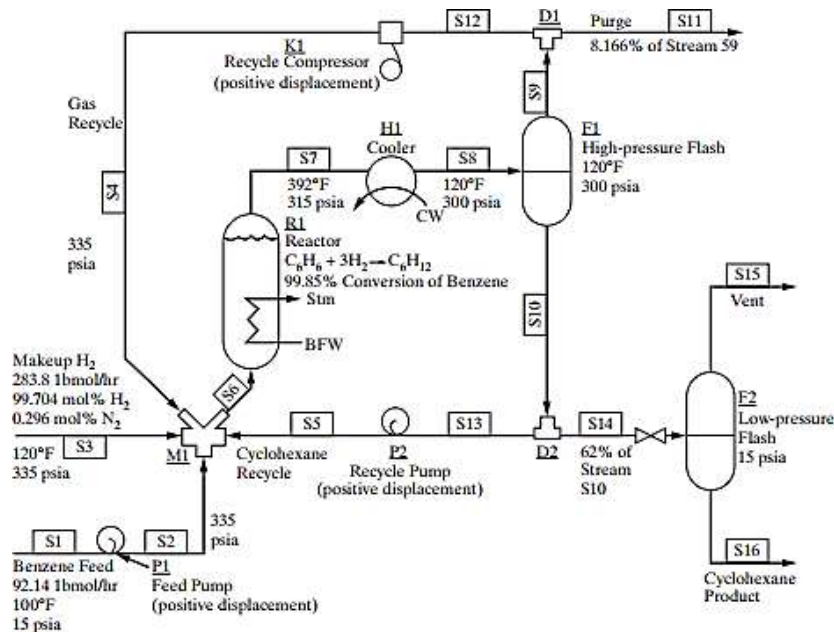
**Table 16.17** Breakdown of Lang Factors by Peters et al. (2003)

|                                                     | Percent of Delivered Equipment Cost for |                                |                         |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
|                                                     | Solids Processing Plant                 | Solids-Fluids Processing Plant | Fluids Processing Plant |
| Delivered cost of process equipment                 | 100                                     | 100                            | 100                     |
| Installation                                        | 45                                      | 39                             | 47                      |
| Instrumentation and control                         | 18                                      | 26                             | 36                      |
| Piping                                              | 16                                      | 31                             | 68                      |
| Electrical                                          | 10                                      | 10                             | 11                      |
| Buildings (including services)                      | 25                                      | 29                             | 18                      |
| Yard improvements                                   | 15                                      | 12                             | 10                      |
| Service facilities                                  | 40                                      | 55                             | 70                      |
| Total direct plant cost                             | 269                                     | 302                            | 360                     |
| Engineering and supervision                         | 33                                      | 32                             | 33                      |
| Construction expenses                               | 39                                      | 34                             | 41                      |
| Total and indirect plant costs                      | 341                                     | 368                            | 434                     |
| Contractor's fee and legal expenses                 | 21                                      | 23                             | 26                      |
| Contingency                                         | 35                                      | 37                             | 44                      |
| Fixed capital investment                            | 397                                     | 428                            | 504                     |
| Lang factor, $f_{L_{TPI}}$ , for use in Eq. (16.9)  | 3.97                                    | 4.28                           | 5.04                    |
| Working capital                                     | 70                                      | 75                             | 89                      |
| Total capital investment                            | 467                                     | 503                            | 593                     |
| Lang factor, $f_{L_{TCI}}$ , for use in Eq. (16.10) | 4.67                                    | 5.03                           | 5.93                    |

20  
4

# Example

کل هزینه های سرمایه گذاری را برای تولید سیکلوهگزان از فرآیند هیدروژن دار کردن بنزن برای سال ۲۰۰۶ با استفاده از فاکتور  $f_L$  محاسبه کنید.



20  
5

حل

- مرحله اول: ایجاد لیست تجهیزات فرآیند
- مرحله دوم: تعیین قیمت تجهیزات؛ مجموع هزینه خرید تجهیزات ۱۷۸۶۰۰ دلار

Table 16.18 Equipment List, Including Purchase Costs, for the Cyclohexane Process

| Equipment Name      | Equipment Label | Size                            | Design Temperature (°F) | Design Pressure (psia) |
|---------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Recycle compressor  | K1              | 3 Hp                            | 120                     | 350                    |
| Feed-gas compressor | K2              | 296 Hp                          | 450                     | 350                    |
| Benzene feed pump   | P1              | 4Hp                             | 120                     | 350                    |
| Recycle pump        | P2              | 1 Hp                            | 120                     | 350                    |
| Cooler              | H1              | 210 ft <sup>2</sup>             | 210                     | 300                    |
| Effluent-BFW HX     | H2              | 120 ft <sup>2</sup>             | 400                     | 320                    |
| Effluent-benzene HX | H3              | 160 ft <sup>2</sup>             | 270                     | 310                    |
| High-pressure flash | F1              | 2 ft diam.<br>×<br>8 ft height  | 120                     | 300                    |
| Low-pressure flash  | F2              | 2 ft diam.<br>×<br>8 ft height  | 120                     | 20                     |
| Reactor             | R1              | 8 ft diam.<br>×<br>30 ft height | 400                     | 330                    |

20  
6

## تاثیر تورم

$$Cost = Base\ cost \left( \frac{I}{I_{base}} \right)$$

Table 16.6 Comparison of Annual Average Cost Indexes

|       | CE                                                               | MS                                                          | NF                                                              | ENR                                                               | CPI                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Years | Chemical Engineering<br>Plant Cost Index<br>Year 1957–1959 = 100 | Marshall-Swift<br>Process Industry Index<br>Year 1926 = 100 | Nelson-Farrar<br>Refinery Construction Index<br>Year 1946 = 100 | Engineering News-<br>Record Construction Index<br>Year 1967 = 100 | U.S. Federal<br>Government<br>Consumer Price Index<br>Year 1914 = 10 |
| 2000  | 394                                                              | 1,110                                                       | 1,543                                                           | 579                                                               | 172.2                                                                |
| 2001  | 394                                                              | 1,109                                                       | 1,580                                                           | 590                                                               | 177.1                                                                |
| 2002  | 396                                                              | 1,121                                                       | 1,642                                                           | 609                                                               | 179.9                                                                |
| 2003  | 402                                                              | 1,143                                                       | 1,710                                                           | 623                                                               | 184.0                                                                |
| 2004  | 444                                                              | 1,202                                                       | 1,834                                                           | 662                                                               | 188.9                                                                |
| 2005  | 468                                                              | 1,295                                                       | 1,919                                                           | 693                                                               | 195.3                                                                |
| 2006  | 500                                                              | 1,365                                                       | 2,008                                                           | 722                                                               | 201.6                                                                |
| 2007  | 525                                                              | 1,399                                                       | 2,107                                                           | 742                                                               | 207.3                                                                |
| 2008  | 575                                                              | 1,478                                                       | 2,251                                                           | 774                                                               | 215.3                                                                |
| 2009  | 522                                                              | 1,446                                                       | 2,218                                                           | 798                                                               | 214.5                                                                |
| 2010  | 551                                                              | 1,477                                                       | 2,338                                                           | 819                                                               | 218.1                                                                |
| 2011  | 586                                                              | 1,537 <sup>a</sup>                                          | 2,436                                                           | 844                                                               | 224.9                                                                |
| 2012  | 585                                                              |                                                             | 2,465                                                           | 867                                                               | 229.6                                                                |
| 2013  | 567                                                              |                                                             | 2,490                                                           | 889                                                               | 233.0                                                                |

<sup>a</sup> Data from *Chemical Engineering* until April 2012.

20  
7

## حل

- مقدار فاکتور  $f_L$  برای فرآیند انجام شده با سیال (fluid processing) از جدول ۱۶-۱۶

Table 16.16 Original and Recommended Lang Factors

|                                | Original Lang<br>Factors, <i>Not</i><br>Including<br>Working Capital | $f_{L_{TPI}}$<br>Recommended Lang<br>Factors of Peters et al.<br><i>Not</i> Including Working Capital | $f_{L_{TCI}}$<br>Recommended Lang<br>Factors of Peters et al.<br>Including Working Capital |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Solids processing plant        | 3.10                                                                 | 3.97                                                                                                  | 4.67                                                                                       |
| Solids-fluids processing plant | 3.63                                                                 | 4.28                                                                                                  | 5.03                                                                                       |
| Fluids processing plant        | 4.74                                                                 | 5.04                                                                                                  | 5.93                                                                                       |

- و در نهایت

$$C_{TCI} =$$

- برای این مثال، به کمک روش قبلی (درجه بزرگی) عدد ۴۷۰۰۰۰۰ دلار به دست آمد.

20  
8

## Preliminary estimate

خطای این روش در حدود ۲۰ درصد می باشد.

مراحل این روش عبارتند از:

1. تهیه جدول تجهیزات شامل عنوان دستگاه، label، جنس دستگاه، شرایط عملیاتی شامل دما و فشار، sizing دستگاه (مشابه روش study estimate)
2. تعیین قیمت f.o.b هر یک از تجهیزات اصلی براساس sizing دستگاه همراه با سال تعیین قیمت (مبنا)
3. تعیین قیمت تجهیزات (Bare-Module cost)

4. تعیین هزینه کل سرمایه گذاری

$$C_{BM} = C_{P_b} \left( \frac{I}{I_b} \right) [F_{BM} + (F_d F_p F_m - 1)]$$

$$C_{TCI} = C_{TPI} + C_{WC} = 1.18(C_{TBM} + C_{site} + C_{buildings} + C_{offsite facilities}) + C_{WC}$$

20  
9

## Preliminary estimate

در این روش، هزینه های حق امتیاز ( $C_{Royal}$ ) و شروع کار ( $C_{start up}$ ) در نظر گرفته نشده است.

در رابطه قبل داریم:

$$C_{BM} = C_{P_b} \left( \frac{I}{I_b} \right) [F_{BM} + (F_d F_p F_m - 1)]$$

bare module factor :  $F_{BM}$

$C_{P_b}$  : قیمت تجهیزات بر حسب f.o.b

$F_p$  : فاکتور فشار

$F_d$  : فاکتور طراحی

$F_m$  : فاکتور جنس (برای غیر از کربن استیل)

21  
0

## Preliminary estimate

در این رابطه نیز:

$$C_{TCI} = C_{TPI} + C_{WC} = 1.18(C_{TBM} + C_{site} + C_{buildings} + C_{offsite facilities}) + C_{WC}$$

$$C_{TBM} = \sum_i C_{BM} = \sum_i C_{p_i} \left( \frac{I}{I_{base}} \right) [F_{BM_i} + (F_{d_i} F_{p_i} F_{m_i} - 1)]$$

برای محوطه سازی ( $C_{site}$ ) دو پیشنهاد ارائه شده است:

$$C_{site} \begin{cases} \xrightarrow{\text{Gross root}} (10 - 20\%) C_{TBM} \\ \xrightarrow{\text{Addition}} (4 - 6\%) C_{TBM} \end{cases}$$

21  
1

## Preliminary estimate

$$C_{TCI} = C_{TPI} + C_{WC} = 1.18(C_{TBM} + C_{site} + C_{buildings} + C_{offsite facilities}) + C_{WC}$$

برای هزینه ساختمان ها

$$C_{buildings} \begin{cases} \xrightarrow{\text{operationg}} 10\% C_{TBM} \\ \xrightarrow{\text{Other}} (5 - 20\%) C_{TBM} \end{cases} \quad (5\%: \text{Addition}; \quad 20\%: \text{Gross root})$$

$C_{offsite facilities}$  را هم با توجه به میزان utility تعیین می کنند (جدول ۱۲-۱۶ کتاب سیدر)

$$C_{offsite facilities} = C_{offsite utility plant} + 5\% C_{TBM}$$

21  
2

# Preliminary estimate

$C_{\text{offsite facilities}}$  را هم با توجه به میزان utility تعیین می کنند (جدول ۱۲-۱۶ کتاب سیدر)

**Table 16.12** Allocated Capital Investment Costs for Utility Plants (CE cost index = 567)

| Utility       | Size Factor, $S$ | Range of $S$             | Allocated Cost, \$                      |
|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| Steam         | Flow rate, lb/hr | 20,000 – 1,000,000 lb/hr | $C_{\text{alloc}} = 930 S^{0.81}$       |
| Electricity   | Power, MW        | 0.5 – 1,000 MW           | $C_{\text{alloc}} = 2,900,000 S^{0.83}$ |
| Cooling water | Flow rate, gpm   | 1,000 – 200,000 gpm      | $C_{\text{alloc}} = 1,100 S^{0.68}$     |
| Process water | Flow rate, gpm   | 5 – 10,000 gpm           | $C_{\text{alloc}} = 1,700 S^{0.96}$     |
| Refrigeration | Tons             | 3 – 1,000 tons           | $C_{\text{alloc}} = 12,500 S^{0.77}$    |

(evaporator temperature =  $-20^{\circ}\text{F}$ )

مشابه با روش قبل، هزینه سرمایه در گردش ( $C_{\text{WC}}$ ) را می توان به صورت ۱۵٪ از  $C_{\text{TCI}}$  یا ۱۷/۶٪ از  $C_{\text{TPI}}$  در نظر گرفت. البته مقدار دقیق تر هزینه سرمایه در گردش را می توان از طریق محاسبات هزینه تولید (فصل ششم) تعیین کرد.

21  
3

## Example

هزینه خرید درب کارخانه (f.o.b.) یک مخزن تحت فشار عمودی ساخته شده از فولاد کربنی با قطر داخلی ۶ فوت و ارتفاع ۱۰۰ فوت، برای فشاری نه بیشتر از ۵۰ psig، در سال ۱۹۹۵ برابر با ۱۰۲۰۰۰ دلار بوده است. هزینه Bare-Module این مخزن را برای سال ۲۰۰۶ محاسبه کنید، در صورتی که مخزن از جنس فولاد ضدزنگ ۳۱۶ Clad و برای فشار طراحی ۲۰۰ psig ساخته شده باشد.

حل:

برای شرایط مشخص شده، طبق داده های Guthrie (۱۹۷۴)، مقادیر ضرایب مختلف به صورت زیر است:

ضریب طراحی  $F_d = 1$ ، ضریب فشار  $F_p = 1.55$ ، ضریب جنس مواد  $F_m = 2.6$

$$C_{\text{BM}} = C_{P_b} \left( \frac{I}{I_b} \right) [F_{\text{BM}} + (F_d F_p F_m - 1)]$$

# Example

**Table 16.11** Bare-Module Factors of Guthrie (1974) for Ordinary Materials of Construction and Low-to-Moderate Pressures

|                                                     | Bare-Module Factor ( $F_{BM}$ ) |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| Furnaces and direct-fired heaters, shop-fabricated  | 2.19                            |
| Furnaces and direct fired heaters, field-fabricated | 1.86                            |
| Shell-and-tube heat exchangers                      | 3.17                            |
| Double-pipe heat exchangers                         | 1.80                            |
| Fin-tube air coolers                                | 2.17                            |
| Vertical pressure vessels                           | 4.16                            |
| Horizontal pressure vessels                         | 3.05                            |
| Pumps and drivers                                   | 3.30                            |
| Gas compressors and drivers                         | 2.15                            |
| Centrifuges                                         | 2.03                            |
| Horizontal conveyors                                | 1.61                            |
| Bucket conveyors                                    | 1.74                            |
| Crushers                                            | 1.39                            |
| Mills                                               | 2.30                            |
| Crystallizers                                       | 2.06                            |
| Dryers                                              | 2.06                            |
| Evaporators                                         | 2.45                            |
| Filters                                             | 2.32                            |
| Flakers                                             | 2.05                            |
| Screens                                             | 1.73                            |

215

# Example

**Table 16.6** Comparison of Annu

| CE                                    |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Chemical Engineering Plant Cost Index |                      |
| Years                                 | Year 1957–1959 = 100 |
| 2000                                  | 394                  |
| 2001                                  | 394                  |
| 2002                                  | 396                  |
| 2003                                  | 402                  |
| 2004                                  | 444                  |
| 2005                                  | 468                  |
| 2006                                  | 500                  |
| 2007                                  | 525                  |
| 2008                                  | 575                  |
| 2009                                  | 522                  |
| 2010                                  | 551                  |
| 2011                                  | 586                  |
| 2012                                  | 585                  |
| 2013                                  | 567                  |

216



## فصل هشتم

### محاسبه هزینه های تولید

#### TOTAL PRODUCTION COST

$$\text{Production Cost Formula} = \text{Direct Labor} + \text{Direct Material} + \text{Overhead Costs on Manufacturing}$$



21

7

## مقدمه

قبل از تحلیل هزینه های تولید کل، باید درآمد حاصل از فروش یا sales revenue تعیین شود. اگر این مقدار بیشتر از هزینه مواد خام نباشد، نیاز به انجام مراحل طراحی نخواهد بود. کل درآمد سالیانه که از فروش محصول به دست می آید، برابر با حاصل ضرب قیمت واحد محصول در نرخ فروش آن است:

$$\text{Annual sales revenue, \$/yr} = \sum (\text{sales of product, kg/yr})(\text{product sales price, \$/kg})$$

در بررسی هزینه های تولید، این هزینه ها به دو دسته هزینه های ساخت و تولید (یا هزینه های عملیاتی) و هزینه های عمومی تقسیم بندی می شوند. ۳ مبنای محاسبه هزینه کل محصول وجود دارد که عبارتند از مبنای روزانه، مبنای واحد محصول و مبنای سالانه.

مبنای سالانه بهترین گزینه است، زیرا اثرات فصلی را از بین می برد، زمان فعالیت کارخانه و عملیات تجهیزات را شامل می شود، برای حالت های کمتر از ظرفیت کامل هم مناسب است و هزینه های بزرگ از جمله Overhaul را نیز در نظر می گیرد.

## هزینه های تولید

جدول زیر، ترم های مهم در بررسی هزینه های تولید را نشان می دهد:

**Table 17.1** Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                                                               | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| Feedstocks (raw materials) <a href="http://www.icas.com">www.icas.com</a> |                                              |                            |
| Utilities                                                                 |                                              |                            |
| Steam, 450 psig <sup>b</sup>                                              | \$8.00/1,000 lb                              | \$17.60/1,000 kg           |
| Steam, 150 psig <sup>b</sup>                                              | \$7.00/1,000 lb                              | \$15.30/1,000 kg           |
| Steam, 50 psig <sup>b</sup>                                               | \$6.00/1,000 lb                              | \$13.20/1,000 kg           |
| Electricity <sup>b</sup>                                                  | \$0.070/kW-hr                                | \$0.070/kW-hr              |
| Cooling water (cw) <sup>b</sup>                                           | \$0.10/1,000 gal                             | \$0.027/m <sup>3</sup>     |
| Process water <sup>b</sup>                                                | \$0.80/1,000 gal                             | \$0.27/m <sup>3</sup>      |
| Boiler-feed water (bfw) <sup>b</sup>                                      | \$2.00/1,000 gal                             | \$0.56/m <sup>3</sup>      |
| Refrigeration, – 150°F <sup>b</sup>                                       | \$10.00/ton-day                              | \$33.20/GJ                 |
| Refrigeration, – 90°F <sup>b</sup>                                        | \$7.00/ton-day                               | \$23.30/GJ                 |
| Refrigeration, –30°F <sup>b</sup>                                         | \$4.00/ton-day                               | \$13.17/GJ                 |
| Refrigeration, 10°F <sup>b</sup>                                          | \$2.00/ton-day                               | \$6.47/GJ                  |
| Chilled water, 40°F <sup>b</sup>                                          | \$1.50/ton-day                               | \$5.00/GJ                  |
| Natural gas                                                               | \$5.00/1,000 SCF                             | \$0.213/SCM                |
| Fuel oil                                                                  | \$3.50/gal                                   | \$933/m <sup>3</sup>       |
| Coal—Appalacia, 12,500–13,000 Btu/lb                                      | \$60/ton                                     | \$66/1,000 kg              |
| Coal—Powder River Basin, 8,800 Btu/lb                                     | \$13/ton                                     | \$14.34/1,000 kg           |
| Wastewater treatment <sup>c</sup>                                         | \$0.15/lb organic removed                    | \$0.33/kg organic removed  |
| Landfill                                                                  | \$0.08/dry lb                                | \$0.17/drykg               |

219

## هزینه های تولید

**Table 17.1** Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                                     | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units         |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| Operations (labor-related) (O) (See Table 17.3) |                                              |                                    |
| Direct wages and benefits (DW&B)                | \$40/operator-hr                             | \$40/operator-hr                   |
| Direct salaries and benefits                    | 15% of DW&B                                  | 15% of DW&B                        |
| Operating supplies and services                 | 6% of DW&B                                   | 6% of DW&B                         |
| Technical assistance to manufacturing           | \$60,000/(operator/shift)-yr                 | \$60,000/(operator/shift)-yr       |
| Control laboratory                              | \$65,000/(operator/shift)-yr                 | \$65,000/(operator/shift)-yr       |
| Maintenance (M)                                 |                                              |                                    |
| Wages and benefits (MW&B)                       |                                              |                                    |
| Fluid handling process                          | 3.5% of $C_{TDC}$                            | 3.5% of $C_{TDC}$                  |
| Solids–fluids handling process                  | 4.5% of $C_{TDC}$                            | 4.5% of $C_{TDC}$                  |
| Solids-handling process                         | 5.0% of $C_{TDC}$                            | 5.0% of $C_{TDC}$                  |
| Salaries and benefits                           | 25% of MW&B                                  | 25% of MW&B                        |
| Materials and services                          | 100% of MW&B                                 | 100% of MW&B                       |
| Maintenance overhead                            | 5% of MW&B                                   | 5% of MW&B                         |
| Operating overhead                              |                                              |                                    |
| General plant overhead                          | 7.1% of M&O-SW&B                             | 7.1% of M&O-SW&B                   |
| Mechanical department services                  | 2.4% of M&O-SW&B                             | 2.4% of M&O-SW&B                   |
| Employee relations department                   | 5.9% of M&O-SW&B                             | 5.9% of M&O-SW&B                   |
| Business services                               | 7.4% of M&O-SW&B                             | 7.4% of M&O-SW&B                   |
| Property taxes and insurance                    | 2% of $C_{TDC}$                              | 2% of $C_{TDC}$                    |
| Depreciation (see also Section 17.6)            |                                              |                                    |
| Direct plant                                    | 8% of $(C_{TDC} - 1.18 C_{alloc})$           | 8% of $(C_{TDC} - 1.18 C_{alloc})$ |
| Allocated plant                                 | 6% of $1.18 C_{alloc}$                       | 6% of $1.18 C_{alloc}$             |
| Rental fees (office and lab space)              | (no guideline)                               | (no guideline)                     |
| Licensing fees                                  | (no guideline)                               | (no guideline)                     |
| COST OF MANUFACTURE (COM)                       | Sum of above                                 | Sum of above                       |

220

## هزینه های تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                       | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| General Expenses                  |                                              |                            |
| Selling (or transfer) expense     | 3% (1%) of sales                             | 3% (1%) of sales           |
| Direct research                   | 4.8% of sales                                | 4.8% of sales              |
| Allocated research                | 0.5% of sales                                | 0.5% of sales              |
| Administrative expense            | 2.0% of sales                                | 2.0% of sales              |
| Management incentive compensation | 1.25% of sales                               | 1.25% of sales             |
| TOTAL GENERAL EXPENSES (GE)       |                                              |                            |
| TOTAL PRODUCTION COST (C)         | COM + GE                                     | COM + GE                   |

<sup>a</sup> DW&B = direct wages and benefits; MW&B = maintenance wages and benefits; M&O-SW&B = maintenance and operations salary, wages, and benefits. See Table 16.9 for  $C_{TDC}$  and  $C_{alloc}$ . 1 ton of refrigeration = 12,000 Btu/hr.

<sup>b</sup> assumes natural gas is the energy source.

<sup>c</sup> normal wastewater and organics – amenable to aerobic and anaerobic digestion.

Source: Busche, 1995 with modifications.

فاکتور عملیاتی یا operating factor هم به شکل زیر بیان شده و معمولاً برابر با ۰/۹ می باشد:

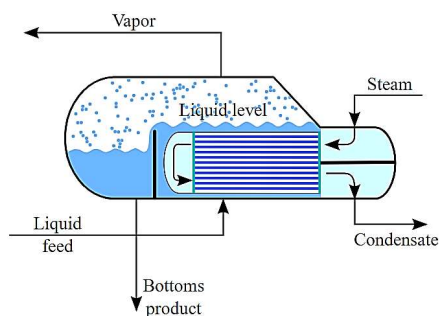
$$\text{Operating factor} = \frac{\text{No. of operating days per year}}{365}$$

221

## مثال ۱

یک دیگ بخار (Kettle-type) برای تبخیر تولوئن در دمای ۳۷۵ °F درجه فارنهایت با میزان حرارت Btu/h ۳۰۰۰۰۰۰ در ساعت استفاده می شود. بخار با فشارهای ۵۰، ۱۵۰ و ۴۵۰ psig در دسترس است. سطح فشار بخار مورد استفاده، نرخ جریان بخار به lb/hr و lb/yr و هزینه تخمینی بخار سالانه را در صورتی که فاکتور عملیاتی کارخانه ۰/۹ باشد، تعیین کنید.

حل:



222



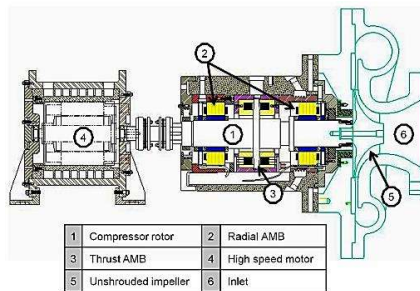
## مثال ۲

یک موتور الکتریکی برای راه اندازی یک کمپرسور با قدرت ۱۱۱۹ اسب بخار (BHp) استفاده خواهد شد. راندمان موتور ۹۵٪ است. بنابراین، ورودی الکتریکی به موتور باید برابر با:

$$1119 \times (0.7457) / 0.95 = 878 \text{ kW}$$

باشد. این مقدار معادل ۳۰۰۰۰۰۰ Btu/h است که مبنای مثال قبل می باشد. مقدار توان مورد نیاز در سال برحسب kW-hr را برای موتور با فرض فاکتور عملیاتی نیروگاه ۰/۹ محاسبه کرده و هزینه برق در سال را محاسبه کنید.

حل:



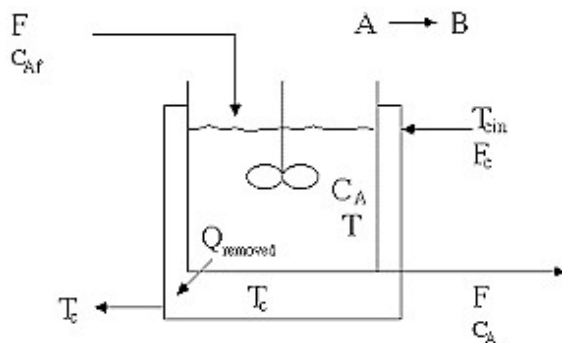
## مثال ۳

آب خنک کننده در کندانسور یک برج تقطیر با بار حرارتی ۳۰۰۰۰۰۰ Btu/h مورد استفاده قرار می گیرد. مطلوبست تعیین دبی لازم برای آب خنک کننده برحسب gpm و هزینه سالانه آب خنک کننده، در حالتی که کارخانه دارای فاکتور عملیاتی ۰/۹۰ باشد.

حل:

## مثال ۴

فرآیند هیدروژن دار کردن بنزن برای تولید سیکلوهگزان شامل یک راکتور اختلاط کامل است که در آن، واکنش گرمازای هیدروژن دار کردن در دمای  $392^{\circ}\text{F}$  و فشار  $315\text{ psia}$  رخ می دهد. در مجموع،  $4706200\text{ Btu/h}$  حرارت باید از راکتور خارج شود. اگرچه این حرارت می تواند به آب خنک کننده منتقل شود، اما دمای راکتور به قدری بالا است که بتوان حرارت را از طریق مبدل حرارتی به آب تغذیه دیگ بخار منتقل کرد تا بخار تولید شود. سطح فشار بخار تولیدی، شدت جریان موردنیاز آب مصرفی دیگ بخار (bfw) و هزینه سالانه bfw را با فرض فاکتور عملیاتی  $0.9$  برای کارخانه تعیین کنید.



227

## مثال ۴

فرآیند هیدروژن دار کردن بنزن برای تولید سیکلوهگزان شامل یک راکتور اختلاط کامل است که در آن، واکنش گرمازای هیدروژن دار کردن در دمای  $392^{\circ}\text{F}$  و فشار  $315\text{ psia}$  رخ می دهد. در مجموع،  $4706200\text{ Btu/h}$  حرارت باید از راکتور خارج شود. اگرچه این حرارت می تواند به آب خنک کننده منتقل شود، اما دمای راکتور به قدری بالا است که بتوان حرارت را از طریق مبدل حرارتی به آب تغذیه دیگ بخار منتقل کرد تا بخار تولید شود. سطح فشار بخار تولیدی، شدت جریان موردنیاز آب مصرفی دیگ بخار (bfw) و هزینه سالانه bfw را با فرض فاکتور عملیاتی  $0.9$  برای کارخانه تعیین کنید.

حل:

228

## سردسازی یا Refrigeration

جدول زیر مربوط به انواع مواد سرد کننده می باشد:

**Table 12.1** Heat-Transfer Media

| Medium            | Typical Temperature Range (°F) |
|-------------------|--------------------------------|
| <i>Coolants</i>   |                                |
| Ethylene          | -150 to -100                   |
| Propylene         | -50 to 10                      |
| Propane           | -40 to 20                      |
| Ammonia           | -30 to 30                      |
| Tetrafluoroethane | -15 to 60                      |
| Chilled brine     | 0 to 60                        |
| Chilled water     | 45 to 90                       |
| Cooling water     | 90 to 120                      |
| Air               | 90 to 140                      |
| Boiler feed water | 220 to 450                     |

229

## مثال ۵

یک جریان فرآیندی در یک پالایشگاه نفت باید با یک بار سرمایشی برابر با  $3,000,000 \text{ Btu/hr}$  به طور جزئی میعان شده و تا دمای  $10^\circ \text{F}$  خنک شود، مطلوبست تعیین یک ماده میرد مناسب، تنهای سرمایش مورد نیاز و هزینه عملیاتی سالانه در صورتی که ضریب عملیاتی کارخانه  $0.9$  باشد،

230

در بررسی هزینه سوخت، ابتدا باید تعیین کنیم ارزش حرارتی سوخت به چه میزان می باشد. سپس با توجه به ارزش حرارتی و Duty مورد نیاز، مقدار سوخت لازم را محاسبه کنیم. در مرحله بعد، با توجه به اطلاعات جدول ۱۷.۲ کتاب سیدر، هزینه سوخت را برای یک سال به دست می آوریم.

**Table 17.2** Typical Heating Values of Fuels

| Fuel                                  | HHV                 | LHV             |
|---------------------------------------|---------------------|-----------------|
| Pennsylvania anthracite coal          | 13,500 Btu/lb       |                 |
| Illinois bituminous coal              | 12,500 Btu/lb       |                 |
| Wyoming subbituminous coal            | 9,500 Btu/lb        |                 |
| North Dakota lignite coal             | 7,200 Btu/lb        |                 |
| No. 2 fuel oil (33° API)              | 139,000 Btu/gal     | 131,000 Btu/gal |
| No. 4 fuel oil (23.2° API)            | 145,000 Btu/gal     | 137,000 Btu/gal |
| Low-sulfur No. 6 fuel oil (12.6° API) | 153,000 Btu/gal     | 145,000 Btu/gal |
| Methyl alcohol                        | 9,550 Btu/lb        |                 |
| Ethyl alcohol                         | 12,780 Btu/lb       |                 |
| Benzene                               | 17,986 Btu/lb       | 17,259 Btu/lb   |
| Hydrogen                              | 322 Btu/SCF         | 272 Btu/SCF     |
| Carbon monoxide                       | 321 Btu/SCF         | 321 Btu/SCF     |
| Methane                               | 1,012 Btu/SCF       | 907 Btu/SCF     |
| Ethane                                | 1,786 Btu/SCF       | 1,601 Btu/SCF   |
| Propane                               | 2,522 Btu/SCF       | 2,312 Btu/SCF   |
| Natural gas (85–95 vol% methane)      | 1,020–1,090 Btu/SCF | 920–990 Btu/SCF |

231

## ارزش حرارتی یا Heating Value

ارزش حرارتی (یا ارزش انرژی یا ارزش کالری) یک ماده، مقدار گرمای آزاد شده در طی احتراق مقدار مشخصی از سوخت است. این مقدار بر حسب واحدهای انرژی به ازای واحد جرم ماده، مانند  $\text{kJ/kg}$ ، اندازه گیری می شود. ارزش حرارتی معمولاً با استفاده از یک بمب کالری متر تعیین می شود. ارزش حرارتی بالاتر (HHV)، که به عنوان ارزش کالری ناخالص یا انرژی ناخالص نیز شناخته می شود، به مقدار گرمای آزاد شده از یک مقدار مشخص (در دمای ابتدایی  $25^\circ\text{C}$ ) از سوخت گفته می شود. این زمانی اتفاق می افتد که سوخت محترق شده و محصولات احتراق به دمای  $25^\circ\text{C}$  بازگردند. ارزش حرارتی بالاتر (HHV)، گرمای نهان تبخیر آب در محصولات احتراق را در نظر می گیرد (آب به صورت مایع در نظر گرفته می شود). ارزش حرارتی پایین تر (LHV) با کسر گرمای نهان تبخیر آب از ارزش حرارتی بالاتر (HHV) تعیین می شود (آب به صورت بخار در نظر گرفته می شود).

## مثال ۶

یک هیتر احتراقی (fired heater) برای گرم کردن و تبخیر خوراک ورودی به یک راکتور از دمای °F ۱۰۰۰ به °F ۱۲۰۰ استفاده خواهد شد. بار حرارتی برابر با ۳,۰۰۰,۰۰۰ Btu/hr است. سوخت گاز طبیعی با ارزش حرارتی بالاتر (HHV) برابر با ۱۰۵۰ Btu/SCF می‌باشد. بازده حرارتی هیتر ۷۰٪ است. اگر ضریب عملیاتی کارخانه ۰/۹ باشد، میزان گاز طبیعی مورد نیاز به صورت SCF/hr و SCF/yr و هزینه سالانه سوخت را محاسبه کنید.

حل:

## مثال ۷

جریانی از پساب با دبی ۵۰۰ gpm در دمای °C ۷۰ حاوی ۱۵۰ mg/L بنزن است که به کمک فرآیند تجزیه بیولوژیکی باید حذف شود. اگر قرار باشد ۹۹/۹۹٪ از بنزن حذف شود، مقدار بنزن حذف شده در سال و هزینه عملیاتی آن را با در نظر گرفتن فاکتور عملیاتی ۰/۹ تعیین کنید.

حل:

می توان نوشت

$$Q_{wastewater} = 500 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} \times \frac{3.785 \text{ lit}}{\text{gal}} = 113600 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

در نتیجه

$$113600 \frac{\text{L}}{\text{h}} \times 24 \times 365 \times 0.9 \times 0.15 \frac{\text{g}_{\text{benzene}}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ g}} = 296000 \frac{\text{lb}_{\text{benzene}}}{\text{yr}}$$

در نهایت برای محاسبه هزینه سالانه تصفیه بنزن از پساب:

$$\begin{aligned} \text{Annual cost of benzene removal} &= 296000 \frac{\text{lb}_{\text{benzene}}}{\text{yr}} \times \frac{0.15 \$}{\text{lb}_{\text{benzene}}} \\ &= 44400 \frac{\$}{\text{yr}} \end{aligned}$$

برای دفع زباله های غیرخطرناک هم هزینه \$/lb ۰/۳ و برای دفع زباله های خطرناک، هزینه \$/lb ۰/۱ را می توان در محاسبات به کار برد.

235

## هزینه های تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                                            | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units         |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Operations (labor-related) (O) (See Table 17.3)</b> |                                              |                                    |
| Direct wages and benefits (DW&B)                       | \$40/operator-hr                             | \$40/operator-hr                   |
| Direct salaries and benefits                           | 15% of DW&B                                  | 15% of DW&B                        |
| Operating supplies and services                        | 6% of DW&B                                   | 6% of DW&B                         |
| Technical assistance to manufacturing                  | \$60,000/(operator/shift)-yr                 | \$60,000/(operator/shift)-yr       |
| Control laboratory                                     | \$65,000/(operator/shift)-yr                 | \$65,000/(operator/shift)-yr       |
| <b>Maintenance (M)</b>                                 |                                              |                                    |
| Wages and benefits (MW&B)                              |                                              |                                    |
| Fluid handling process                                 | 3.5% of $C_{TDC}$                            | 3.5% of $C_{TDC}$                  |
| Solids-fluids handling process                         | 4.5% of $C_{TDC}$                            | 4.5% of $C_{TDC}$                  |
| Solids-handling process                                | 5.0% of $C_{TDC}$                            | 5.0% of $C_{TDC}$                  |
| Salaries and benefits                                  | 25% of MW&B                                  | 25% of MW&B                        |
| Materials and services                                 | 100% of MW&B                                 | 100% of MW&B                       |
| Maintenance overhead                                   | 5% of MW&B                                   | 5% of MW&B                         |
| <b>Operating overhead</b>                              |                                              |                                    |
| General plant overhead                                 | 7.1% of M&O-SW&B                             | 7.1% of M&O-SW&B                   |
| Mechanical department services                         | 2.4% of M&O-SW&B                             | 2.4% of M&O-SW&B                   |
| Employee relations department                          | 5.9% of M&O-SW&B                             | 5.9% of M&O-SW&B                   |
| Business services                                      | 7.4% of M&O-SW&B                             | 7.4% of M&O-SW&B                   |
| Property taxes and insurance                           | 2% of $C_{TDC}$                              | 2% of $C_{TDC}$                    |
| <b>Depreciation (see also Section 17.6)</b>            |                                              |                                    |
| Direct plant                                           | 8% of $(C_{TDC} - 1.18 C_{alloc})$           | 8% of $(C_{TDC} - 1.18 C_{alloc})$ |
| Allocated plant                                        | 6% of $1.18 C_{alloc}$                       | 6% of $1.18 C_{alloc}$             |
| Rental fees (office and lab space)                     | (no guideline)                               | (no guideline)                     |
| Licensing fees                                         | (no guideline)                               | (no guideline)                     |
| <b>COST OF MANUFACTURE (COM)</b>                       | <b>Sum of above</b>                          | <b>Sum of above</b>                |

236

## هزینه های تولید

DW&B (دستمزد مستقیم کارگرها و اپراتورها): ابتدا باید در نظر بگیریم که چه تعداد کارگر نیاز داریم و یا در طی یک سال کاری، برای چند ساعت باید هزینه کارگر پرداخت شود؟ کارخانه ای را در نظر می گیریم که شبانه روزی و دائم کار می کند.

برای یک هفته:  $7 \times 24 = 168 \text{ h}$

با فرض این که هر کارگر هفته ای ۴۰ ساعت کار کند، تعداد نوبت های کاری در هفته برابر خواهند بود با:

$$\text{No. of shifts} = \frac{168}{40} = 4.2$$

برای اطمینان، ۵ نوبت کاری در هفته در نظر می گیریم. حال باید دید برای هر نوبت کاری، چند کارگر و اپراتور نیاز داریم که این تعداد کاملاً به شرایط کارخانه وابسته است. با استفاده از جدول ۳-۱۷ کتاب سیدر می توان این تعداد را تعیین کرد.

237

## هزینه کارگر

**Table 17.3** Direct Operating Labor Requirements for Chemical Processing Plants. Basis: Plant with Automatic Controls and 10–100 Ton/Day of Product

| Type of Process              | Number of Operators per Process Section <sup>a</sup> |
|------------------------------|------------------------------------------------------|
| Continuous operation         |                                                      |
| Fluids processing            | 1                                                    |
| Solids–fluids processing     | 2                                                    |
| Solids processing            | 3                                                    |
| Batch or semibatch operation |                                                      |
| Fluids processing            | 2                                                    |
| Solids–fluids processing     | 3                                                    |
| Solids processing            | 4                                                    |

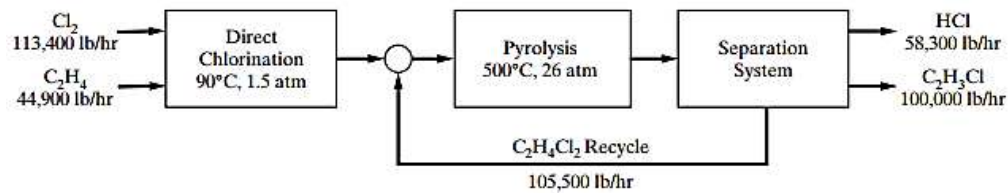
<sup>a</sup> For large continuous-flow processes (e.g., 1,000 ton/day of product), multiply the number of operators by 2.

دو برج تقطیر در کنار هم را یک واحد در نظر می گیریم، اما برای دو راکتور در کنار هم.....!

238

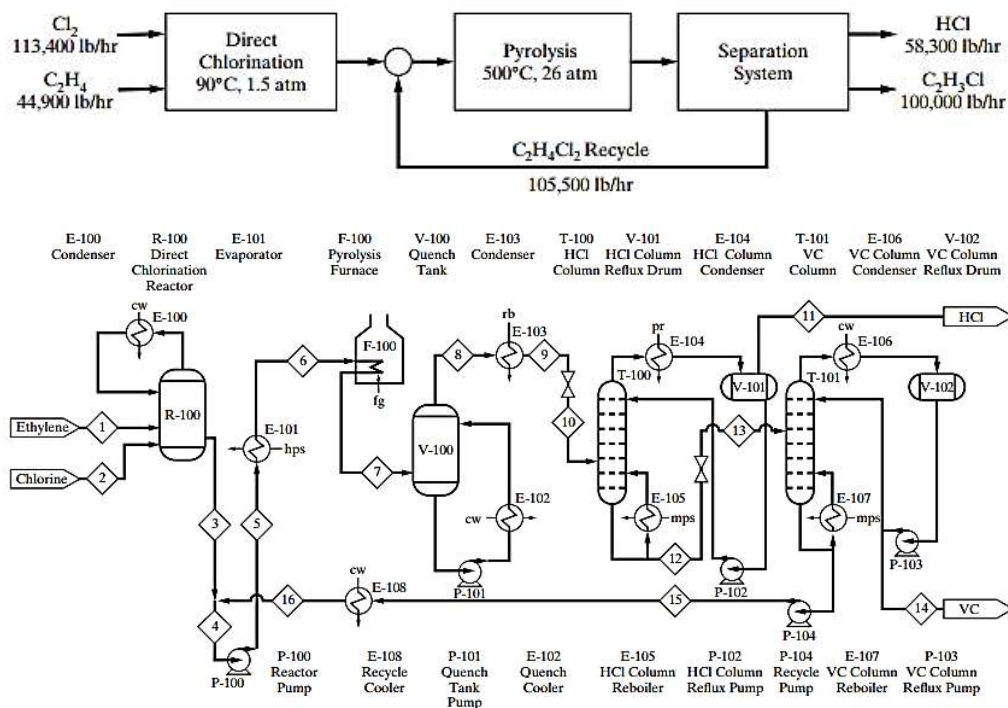
## مثال ۸

فرآیند تولید وینیل کلراید در زیر نشان داده شده است، که ۱۰۰،۰۰۰ پوند در ساعت وینیل کلراید یا ۱۲۰۰ تن در روز تولید می‌کند. با فرض این که فرآیند به صورت خودکار کنترل می‌شود، هزینه سالانه عملیات مربوط به نیروی کار، O را تخمین بزنید.



239

## مثال ۸



240

## مثال ۸

راه حل: همان طور که می دانیم این یک **فرآیند پیوسته برای سیالات** با ظرفیت بالا است. از روی دیاگرام فرآیند، فرآیند شامل **دو بخش راکتور** و **یک بخش جداسازی مایع** است. بنابراین، بر اساس جدول ۱۷.۳ کتاب سیدر، **سه اپراتور در هر شیفت** برای یک کارخانه با ظرفیت متوسط لازم است. با این حال، این یک **کارخانه با ظرفیت بالا** است که به دو برابر این تعداد یا ۶ اپراتور در هر شیفت نیاز دارد، و برای پنج شیفت، در مجموع ۳۰ اپراتور شیفت نیاز است. همچنین، یک کارخانه با ظرفیت بالا به یک نیروی کار اضافی (در سال) برای **دستیار فنی و مسئول آزمایشگاه کنترل کیفی** نیاز دارد. بنابراین، هزینه های سالانه نیروی انسانی عبارتند از:

$$\begin{aligned}\text{Annual DW\&B} &= (30 \text{ operators})(2,080 \text{ hr/yr})(\$40.00/\text{hr}) \\ &= \$2,496,000\end{aligned}$$

با استفاده از جدول ۱۷.۱ کتاب سیدر، سایر هزینه های عملیاتی سالانه مرتبط با نیروی کار به شرح زیر است:

241

## مثال ۸

Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                                     | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units  |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|
| Operations (labor-related) (O) (See Table 17.3) |                                              |                             |
| Direct wages and benefits (DW&B)                | \$40/operator-hr                             | \$40/operator-hr            |
| Direct salaries and benefits                    | 15% of DW&B                                  | 15% of DW&B                 |
| Operating supplies and services                 | 6% of DW&B                                   | 6% of DW&B                  |
| Technical assistance to manufacturing           | \$60,000/(operator/shift)-yr                 | \$60,000/(operator/shift)-y |
| Control laboratory                              | \$65,000/(operator/shift)-yr                 | \$65,000/(operator/shift)-y |

$$\begin{aligned}\text{Direct salaries and benefits} &= 0.15(\$2,496,000) \\ &= \$374,400\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Operating supplies and services} &= 0.06(\$2,496,000) \\ &= \$149,800\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Technical assistance to manufacturing} &= \$60,000(5) \\ &= \$300,000\end{aligned}$$

$$\text{Control Laboratory} = \$65,000(5) = \$325,000$$

242

The total labor-related operations annual cost,  $O$ , is:

$$O = \$2,496,000 + \$374,400 + \$149,800 + \$300,000 + \$325,000 \\ = \$3,645,200/\text{yr}$$

## هزینه های تولید

هزینه های تعمیر و نگهداری (Maintenance)

**Table 17.1** Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                    | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Maintenance (M)</b>         |                                              |                            |
| Wages and benefits (MW&B)      |                                              |                            |
| Fluid handling process         | 3.5% of $C_{TDC}$                            | 3.5% of $C_{TDC}$          |
| Solids-fluids handling process | 4.5% of $C_{TDC}$                            | 4.5% of $C_{TDC}$          |
| Solids-handling process        | 5.0% of $C_{TDC}$                            | 5.0% of $C_{TDC}$          |
| Salaries and benefits          | 25% of MW&B                                  | 25% of MW&B                |
| Materials and services         | 100% of MW&B                                 | 100% of MW&B               |
| Maintenance overhead           | 5% of MW&B                                   | 5% of MW&B                 |

این هزینه به چند دسته تقسیم می شود:

**MW&B-** دستمزد اپراتورهایی که در بخش تعمیر و نگهداری کار می کنند. این مورد برای فرآیندهای مختلف به صورت درصدی از هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاک ( $C_{TDC}$ ) تعیین می شود.

**Salaries and benefits-** دستمزد مهندسین و مشاورین بخش تعمیر و نگهداری (25% of MW&B)

**Materials & services-** تجهیزات و خدمات موردنیاز (100% of MW&B)

**Maintenance Overhead-** هزینه های بالاسری تعمیر و نگهداری (5% of MW&B) شامل دستمزد ناظران و بازرسین ، برنامه ریزان ، اقلام مصرفی عمومی و ...

## مثال ۹

کل سرمایه قابل استهلاک،  $C_{TDC}$ ، برای یک کارخانه تولید ۳۰۰,۰۰۰ تن در سال ایزوپروپیل بنزن (کومن) حدود ۳۱,۰۰۰,۰۰۰ دلار تخمین زده شده است. این فرآیند فقط شامل سیالات می شود. هزینه سالیانه مربوط به بخش تعمیر و نگهداری کارخانه،  $M$ ، را تخمین بزنید. راه حل: با استفاده از جدول ۱۷.۱ کتاب سیدر

Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                    | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| Maintenance (M)                |                                              |                            |
| Wages and benefits (MW&B)      |                                              |                            |
| Fluid handling process         | 3.5% of $C_{TDC}$                            | 3.5% of $C_{TDC}$          |
| Solids-fluids handling process | 4.5% of $C_{TDC}$                            | 4.5% of $C_{TDC}$          |
| Solids-handling process        | 5.0% of $C_{TDC}$                            | 5.0% of $C_{TDC}$          |
| Salaries and benefits          | 25% of MW&B                                  | 25% of MW&B                |
| Materials and services         | 100% of MW&B                                 | 100% of MW&B               |
| Maintenance overhead           | 5% of MW&B                                   | 5% of MW&B                 |

Wages and benefits (MW&B) at 3.5% of  $C_{TDC}$  = \$1,085,000

Salaries and benefits at 25% of MW&B = 271,000

Materials and services at 100% of MW&B = 1,085,000

Maintenance overhead at 5% of MW&B = 54,000

The total annual maintenance cost,  $M$ , is \$2,495,000/yr.

245

## هزینه های تولید

هزینه های بالاسری عملیاتی (Operating overhead)

Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                    | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units |
|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| Operating overhead             |                                              |                            |
| General plant overhead         | 7.1% of M&O-SW&B                             | 7.1% of M&O-SW&B           |
| Mechanical department services | 2.4% of M&O-SW&B                             | 2.4% of M&O-SW&B           |
| Employee relations department  | 5.9% of M&O-SW&B                             | 5.9% of M&O-SW&B           |
| Business services              | 7.4% of M&O-SW&B                             | 7.4% of M&O-SW&B           |

هزینه هایی مربوط به تریا و رستوران، امنیت، کمک های اولیه، بازرسی، اطفاء حریق، درمان، تمیز کردن محوطه، انبارداری، حمل و نقل، تفریحات و ...

برای تعیین این هزینه، کل هزینه های مربوط به کارگران و مهندسان (W&S) و دستمزدهای کارگران و مهندسان و مشاوران بخش تعمیر و نگهداری ( $M$ ) را با هم جمع کرده و ۲۲/۸ درصد از این هزینه را برای هزینه بالاسری عملیاتی در نظر می گیریم:

$$(7.1 + 2.4 + 5.9 + 7.4) = 22.8\% \text{ of M\&O-SW\&B}$$

246

## مثال ۱۰

هزینه سالانه بالاسری عملیاتی (operating overhead) برای کارخانه کومن در مثال قبلی را تخمین بزنید. تخمین خود را بر اساس داده های زیر انجام دهید:

$$\text{Direct wages and benefits (DW\&B)} = \$2,496,000$$

$$\text{Direct salaries and benefits} = 374,400$$

$$\text{Maintenance wages and benefits (MW\&B)} = 1,085,000$$

$$\text{Maintenance salaries and benefits} = 271,000$$

راه حل:

کل هزینه سالانه تعمیر نگهداری و عملیات (M&O-SW&B) برابر با مجموع آنها است که معادل \$ ۴,۲۲۶,۰۰۰ در سال می باشد.

کل هزینه سالانه بالاسری عملیاتی برابر با ۲۲.۸٪ از M&O-SW&B یا \$ ۹۶۳,۵۰۰ در سال خواهد بود.

247

## هزینه های تولید

باقی هزینه های عملیاتی تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                          | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units         |
|--------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| Property taxes and insurance         | 2% of $C_{TDC}$                              | 2% of $C_{TDC}$                    |
| Depreciation (see also Section 17.6) |                                              |                                    |
| Direct plant                         | 8% of $(C_{TDC} - 1.18 C_{alloc})$           | 8% of $(C_{TDC} - 1.18 C_{alloc})$ |
| Allocated plant                      | 6% of $1.18 C_{alloc}$                       | 6% of $1.18 C_{alloc}$             |
| Rental fees (office and lab space)   | (no guideline)                               | (no guideline)                     |
| Licensing fees                       | (no guideline)                               | (no guideline)                     |
| COST OF MANUFACTURE (COM)            | Sum of above                                 | Sum of above                       |

مجموع هزینه هایی که تا اینجا بیان شد هزینه های عملیاتی بود. حال هزینه های عمومی که تابع درآمد می باشد:

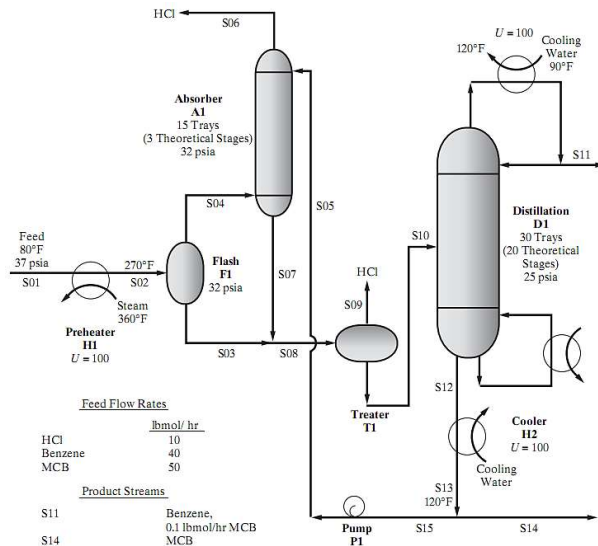
Table 17.1 Cost Sheet Outline<sup>a</sup>

| Cost Factor                       | Typical Factor in American Engineering Units | Typical Factor in SI Units |
|-----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|
| General Expenses                  |                                              |                            |
| Selling (or transfer) expense     | 3% (1%) of sales                             | 3% (1%) of sales           |
| Direct research                   | 4.8% of sales                                | 4.8% of sales              |
| Allocated research                | 0.5% of sales                                | 0.5% of sales              |
| Administrative expense            | 2.0% of sales                                | 2.0% of sales              |
| Management incentive compensation | 1.25% of sales                               | 1.25% of sales             |
| TOTAL GENERAL EXPENSES (GE)       |                                              |                            |

248

## مثال ۱۱

فرآیند جداسازی مونوکلروبنزن (MCB):

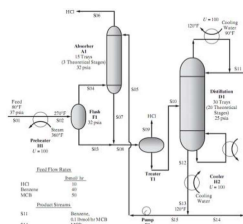


طی جداسازی یک گونه گازی سبک، مانند HCl از دو گونه سنگین تر، معمولاً خوراک به صورت جزئی تبخیر شده و سپس فازهای بخار و مایع در یک جداکننده فلش از هم جدا می شوند. برای دستیابی به HCl تقریباً خالص، بنزن و MCB می توانند در یک جذب کننده جذب شوند. سپس، از آنجایی که بنزن و MCB نقاط جوش به طور قابل توجهی متفاوت دارند، می توان آن ها را از طریق فرآیند تقطیر جدا کرد.

249

## مثال ۱۱

برای این فرآیند جداسازی، هزینه سالانه تولید (C) را با توجه به کل فروش سالانه (S) تخمین بزنید. تخمین خود را بر اساس داده های زیر انجام دهید:



|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Continuous plant operation | 330 day/yr or 7,920 hr/yr |
| Feedstock                  | 9,117 lb/hr @ \$0.50/lb   |
| MCB product                | 5,572 lb/hr @ \$0.68/lb   |
| Benzene byproduct          | 3,133 lb/hr @ \$0.54/lb   |
| HCl gas byproduct          | 355 lb/hr @ \$0.04/lb     |

بنزن و HCl به عنوان محصولات جانبی در نظر گرفته می شوند و اعتبار مالی (credit) برای آن ها منظور می شود:

Total bare-module costs, \$1,230,000

Cost of land @2% of  $C_{TDC}$

Cost of site preparation and service facilities, \$123,000

Cost of contingencies @18% of  $C_{DP}$

|                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| 150-psig steam | 1,365.5 lb/hr @ \$7.00/1,000 lb |
| Electricity    | 9.60 kW @ \$0.07/kW-hr          |

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| Cooling water | 258 gpm @ \$0.10/1,000 gal |
| Operators     | one/shift                  |

250

## مثال ۱۱

راه حل: کل سرمایه قابل استهلاك ( $C_{TDC}$ ) به صورت زیر محاسبه می شود:

$$C_{DPI} = \$1,230,000 + \$123,000 = \$1,353,000$$

$$C_{cont} = 0.18 C_{DPI} = 0.18(1,353,000) = \$243,500$$

$$C_{TDC} = C_{DPI} + C_{cont} = \$1,353,000 + \$243,500 = \$1,596,500$$

با استفاده از جدول ۱۷.۱ و داده های موجود، هزینه های سالانه به شکل زیر محاسبه می شوند:

| Cost Factor                | Annual Cost  |
|----------------------------|--------------|
| Feedstocks (raw materials) | \$36,103,300 |
| Utilities                  |              |
| Steam, 150 psig            | 75,700       |
| Electricity                | 5,300        |
| Cooling water (cw)         | 12,300       |
| Total Utilities            | \$93,300     |

251

## مثال ۱۱

با استفاده از جدول ۱۷.۱ و داده های موجود، هزینه های سالانه به شکل زیر محاسبه می شوند:

| Cost Factor                           | Annual Cost |
|---------------------------------------|-------------|
| Operations (O)                        |             |
| Direct wages and benefits (DW&B)      | 416,000     |
| Direct salaries and benefits          | 62,400      |
| Operating supplies and services       | 25,000      |
| Technical assistance to manufacturing | 300,000     |
| Control laboratory                    | 325,000     |
| Total labor-related operations        | \$1,128,400 |

252

## مثال ۱۱

با استفاده از جدول ۱۷.۱ و داده‌های موجود، هزینه‌های سالانه به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

| Cost Factor               | Annual Cost |
|---------------------------|-------------|
| Maintenance (M)           |             |
| Wages and benefits (MW&B) | 55,900      |
| Salaries and benefits     | 14,000      |
| Materials and Services    | 55,900      |
| Materials overhead        | 2,800       |
| Total maintenance         | \$128,600   |
| Total of M&O-SW&B         | \$548,300   |

253

## مثال ۱۱

با استفاده از جدول ۱۷.۱ و داده‌های موجود، هزینه‌های سالانه به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

| Cost Factor                    | Annual Cost |
|--------------------------------|-------------|
| Operating overhead             |             |
| General plant overhead         | 38,900      |
| Mechanical department services | 13,200      |
| Employee relations department  | 32,300      |
| Business services              | 40,600      |
| Total operating overhead       | \$125,000   |
| Property taxes and insurance   | \$31,900    |

254

## مثال ۱۱

با استفاده از جدول ۱۷.۱ و داده‌های موجود، هزینه‌های سالانه به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

| Cost Factor                      | Annual Cost         |
|----------------------------------|---------------------|
| Depreciation (D)                 |                     |
| Direct plant                     | 127,700             |
| Allocated plant                  | -                   |
| Total depreciation               | \$127,700           |
| Credit on Byproducts             | (13,511,700)        |
| <b>COST OF MANUFACTURE (COM)</b> | <b>\$24,101,500</b> |

255

## مثال ۱۱

با استفاده از جدول ۱۷.۱ و داده‌های موجود، هزینه‌های سالانه به شکل زیر محاسبه می‌شوند:

| Cost Factor                        | Annual Cost         |
|------------------------------------|---------------------|
| General Expenses (GE)              |                     |
| Transfer expenses                  | 435,200             |
| Direct research                    | 2,089,000           |
| Allocated research                 | 217,600             |
| Administrative expense             | 870,400             |
| Management incentive compensation  | 544,000             |
| <b>TOTAL GENERAL EXPENSES (GE)</b> | <b>\$4,156,200</b>  |
| <b>TOTAL PRODUCTION COST (C )</b>  | <b>\$28,257,700</b> |
| Sales                              |                     |
| Monochlorobenzene product          | 30,008,600          |
| <b>TOTAL SALES, S</b>              | <b>\$30,008,600</b> |

256

## سود ناخالص و سود خالص

سود یا درآمد سالانه **قبل از مالیات**، که به آن سود یا درآمد **ناخالص** نیز گفته می‌شود، تفاوت بین درآمد سالانه فروش و هزینه سالانه محصول است:

$$\text{Gross earnings or profit} = S - C$$

سود یا درآمد سالانه **پس از مالیات**، که به آن سود یا درآمد **خالص** نیز گفته می‌شود، تفاوت بین درآمد ناخالص و مالیات‌های فدرال و ایالتی ایالات متحده بر درآمد ناخالص است.

**Table 17.4** Federal Income Tax Rate Schedule for Corporations

| Gross Earnings Over | But Not Over | Income Tax                                                                         |
|---------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| \$ 0                | \$ 50,000    | 15%                                                                                |
| 50,000              | 75,000       | \$7,500 + 25% over \$50,000                                                        |
| 75,000              | 100,000      | \$13,750 + 34% over \$75,000                                                       |
| 100,000             | 335,000      | \$22,250 + 39% over \$ 100,000                                                     |
| 335,000             | 10,000,000   | \$113,900 + 34% over \$335,000                                                     |
| 10,000,000          | 15,000,000   | \$3,400,000 + 35% over \$10,000,000                                                |
| 15,000,000          | 81,333,333   | \$5,150,000 + 38% over \$15,000,000                                                |
| 18,333,333          | —            | \$6,416,667 + 35% over \$18,333,333<br>(equivalent to 35% on total gross earnings) |

Federal and state income tax rate = 35% + 5%

$$\begin{aligned} \text{Net earnings or profit} &= (1 - t) \text{ gross earnings} \\ &= 0.60 (S - C) \end{aligned}$$

257

## مثال ۱۲

برای داده‌ها و نتایج مثال قبلی، سود ناخالص (gross) سالانه و سود خالص (net) سالانه را محاسبه کنید.

راه حل:

$$\begin{aligned} \text{Annual gross earnings or profit} &= S - C \\ &= \$30,008,600 - \$28,257,700 \\ &= \$1,750,900/\text{yr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Annual net earnings or profit} &= 0.6(1,750,900) \\ &= \$1,050,500/\text{yr} \end{aligned}$$

258



## فصل نهم محاسبات سوددهی کارخانه

### PROFITABILITY

**Production Cost Formula** = Direct Labor + Direct Material + Overhead Costs on Manufacturing



## سرمایه در گردش

در این بخش، به تعیین میزان سرمایه در گردش (Working capital) می پردازیم:

$$C_{WC} = \text{Cash reserves} + \text{Inventory} + \text{Accounts receivable} - \text{Accounts payable}$$

بخش های مختلف این رابطه به شکل زیر تعریف می شوند:

$$\text{Cash reserves} = \frac{1}{12} (\text{or } 8.33\%) \text{ of COM (Cost of Manufacturing)}$$

- Inventory: قیمت مواد مایع و جامد برای یک هفته

$$\text{Inventory} = \frac{\text{annual earning of liquid and solid (but not gas) products}}{52 (\text{weeks per year})}$$

$$= 1.92\% (\text{annual earning of liquid and solid (but not gas) products})$$

## سرمایه در گردش

$$- \text{Accounts receivable} = 8.33\% \times \text{annual sales of all products}$$

$$- \text{Accounts payable} = 8.33\% \times \text{feed stocks}$$

مثال: کارخانه ای داریم که در آن، هزینه تولید عملیاتی برابر با \$ ۲۳۳۷۲۵۰۰ و هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاک برابر با \$ ۲۲۷۳۹۰۰ می باشد. این کارخانه ۳ محصول A (جامد)، B (مایع) و C (گاز) دارد که هر ۳ محصول فروخته می شوند. درآمد سالیانه حاصل از فروش محصول مایع و جامد برابر با \$ ۲۶۶۶۹۷۰۰ است. اطلاعات زیر در مسئله داده شده اند:

$$\text{Annual sales} = 26832900 \$ ; \quad \text{Cost of feedstocks} = 21662000 \$$$

مطلوبست تعیین سرمایه در گردش.  
حل: می دانیم:

$$C_{WC} = \text{Cash reserves} + \text{Inventory} + \text{Accounts receivable} - \text{Accounts payable}$$

$$\Rightarrow C_{WC} = (0.0833 \times 23372500) + (0.0192 \times 26669700) + (0.0833 \times 26832900) - (0.0833 \times 21662000) = 2889800 \frac{\$}{yr}$$

26  
1

## مقدمه

انواع سود:

$$\text{Gross profit} = S - C$$

- سود ناخالص یا Gross earning/Gross profit

S کل درآمد سالیانه و C کل هزینه های تولید می باشد.

- سود خالص یا Net earning/Net profit

$$\text{Net profit} = (1 - t)(S - C)$$

t همان نرخ مالیات بر درآمد (Income tax rate) می باشد که بین ۵ تا ۵۰٪ (متوسط ۴۰٪) متغیر است.

Table 17.4 Federal Income Tax Rate Schedule for Corporations

| Gross Earnings Over | But Not Over | Income Tax                                                                      |
|---------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| \$ 0                | \$ 50,000    | 15%                                                                             |
| 50,000              | 75,000       | \$7,500 + 25% over \$50,000                                                     |
| 75,000              | 100,000      | \$13,750 + 34% over \$75,000                                                    |
| 100,000             | 335,000      | \$22,250 + 39% over \$ 100,000                                                  |
| 335,000             | 10,000,000   | \$113,900 + 34% over \$335,000                                                  |
| 10,000,000          | 15,000,000   | \$3,400,000 + 35% over \$10,000,000                                             |
| 15,000,000          | 81,333,333   | \$5,150,000 + 38% over \$15,000,000                                             |
| 18,333,333          | —            | \$6,416,667 + 35% over \$18,333,333 (equivalent to 35% on total gross earnings) |

26  
2

## روش های بررسی سوددهی کارخانه

۱- روش های تقریبی یا Approximate methods

۲- روش های دقیق

\* در روش های تقریبی، ارزش زمانی پول در نظر گرفته نمی شود، یعنی محاسبات مربوط به بهره صورت نمی گیرد. این روش ها عبارتند از:

- نرخ بازگشت سرمایه (ROI) یا Return of investment

- دوره بازگشت سرمایه (PBP) یا Payback period

- Venture profit (VP)

- Annualized cost (CA)

۱- ROI: در این روش می خواهیم ببینیم سالانه چه مقدار از سرمایه برمی گردد:

$$ROI = \frac{\text{Net profit}}{\text{Total capital investment}} = \frac{(1 - t)(S - C)}{C_{TCI}}$$

26  
3

## روش های بررسی سوددهی کارخانه

۲- PBP: در این روش می خواهیم ببینیم بعد از چند سال سرمایه بازمی گردد. بنابراین PBP بر حسب سال به دست می آید:

$$PBP = \frac{\text{Total depreciable investment}}{\text{Net profit} + \text{Depreciation}} = \frac{C_{TDC}}{(1 - t)(S - C) + D}$$

Annual cash flow: جریان نقدینگی سالیانه

• معمولاً PBP باید کمتر از ۲ سال باشد.

۳- VP: در این روش ابعاد کارخانه لحاظ شده است:

$$VP = \text{Net profit} - (\text{min rate of return}) \times (\text{Total capital investment})$$

$$\Rightarrow VP = (1 - t)(S - C) - i_{\min} \times C_{TCI}$$

\*  $i_{\min}$  حداقل بازگشت سرمایه قابل قبول (برای مثال ۲۰٪) می باشد.

26  
4

## روش های بررسی سوددهی کارخانه

۴-  $C_A$ : در مراحل ایجاد flowsheet از این روش استفاده می شود. کاربرد  $C_A$  مقایسه روش های مختلف یا بهینه سازی خط تولید است.

$$C_A = \text{Production cost} + i_{\min} \times C_{TCI}$$

**Table 17.5** Approximate Profitability Measures

Time Value of Money is Ignored and Straight-Line Depreciation is Used.

(details presented in Section 17.4)

| Approximate Profitability Measure | Formula <sup>a</sup>                                                                                    |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Return on investment (ROI)        | $\text{ROI} = \frac{\text{Net earnings}}{\text{Total capital investment}} = \frac{(1-t)(S-C)}{C_{TCI}}$ |
| Payback period (PBP)              | $\text{PBP} = \frac{C_{TDC}}{(1-t)(S-C) + D}$                                                           |
| Venture profit (VP)               | $\text{VP} = (1-t)(S-C) - i_{\min}(C_{TCI})$                                                            |
| Annualized cost (AC)              | $\text{AC} = C_A = C + i_{\min}(C_{TCI})$                                                               |

<sup>a</sup>  $i_{\min}$  = reasonable return on investment;  $t$  = sum of U.S. federal and state income tax rates;  $C$  = annual production cost;  $D$  = annual depreciation;  $S$  = annual sales revenues;  $C_{TCI}$  = total capital investment;  $C_{TDC}$  = total depreciable capital.

26  
5

## بهره (Interest)

این معیار به دو صورت قابل محاسبه است

-بهره ساده (simple interest)

-بهره ترکیبی (compound interest): که به دو حالت گسسته (discrete) و پیوسته

(continuous) وجود دارد.

نوع دیگری از تقسیم بندی برای بهره وجود دارد که عبارتست از ۱- Single payment و ۲- Annuity payment

$I = F - P$  همان بهره،  $P$  ارزش فعلی سرمایه و  $F$  ارزش آینده سرمایه می باشد.

۱- بهره ساده: این نوع بهره کاربرد زیادی ندارد:

$$I = F - P = i.n.P \Rightarrow F = i.n.P + P = P(1 + i.n)$$

در این رابطه،  $n$  تعداد دوره های محاسبه بهره،  $i$  نرخ بهره در هر دوره (که ۱ سال یا بخشی از سال می باشد) است.

مثال: \$ ۱۰۰۰ به مدت ۴ سال با نرخ بهره ثابت ۱۰ درصد وام گرفته ایم:

$$I = i.n.P = 0.1 \times 4 \times 1000 \$ = 400 \$$$

26  
6

## بهره (Interest)

۲- بهره ترکیبی  
حالت اول: بهره گسسته

| Period | Principal at start of period | Interest earned during period ( $i$ = interest rate based on length of one period) | Compound amount $F$ at end of period      |
|--------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1      | $P$                          | $Pi$                                                                               | $P + Pi = P(1 + i)$                       |
| 2      | $P(1 + i)$                   | $P(1 + i)(i)$                                                                      | $P(1 + i) + P(1 + i)(i) = P(1 + i)^2$     |
| 3      | $P(1 + i)^2$                 | $P(1 + i)^2(i)$                                                                    | $P(1 + i)^2 + P(1 + i)^2(i) = P(1 + i)^3$ |
| $N$    | $P(1 + i)^{N-1}$             | $P(1 + i)^{N-1}(i)$                                                                | $P(1 + i)^N$                              |

به فاکتور  $(1+i)^N$ ، discrete single payment amount factor گفته می شود، که یک فاکتور افزایشی است.

26  
7

## انواع نرخ بهره (Interest rate)

- ۱- نرخ بهره در هر دوره (interest rate)
- ۲- نرخ بهره اسمی (nominal interest rate)
- ۳- نرخ بهره موثر (effective interest rate)

نکات مهم:

۱- اگر نرخ بهره در یک سال بیان نشده باشد، نرخ بهره اسمی را لحاظ می کنیم. نحوه تعیین آن: که  $m$  تعداد محاسبات بهره در یک سال می باشد.

$$r = i \cdot m$$

نحوه تعیین نرخ بهره موثر  
در صورتی که  $N$  تعداد دوره ها و  $N_y$  تعداد سال ها باشد:

در بهره موثر، نرخ محاسبه بهره سالیانه می باشد ( $m=1$ )

$$N = m \cdot N_y \Rightarrow F = P(1 + i)^N = P \left( 1 + \frac{r}{m} \right)^{m \cdot N_y}$$

$$F = P(1 + i_{eff})^{N_y}$$

26  
8

## انواع نرخ بهره (Interest rate)

در این صورت

$$\Rightarrow P(1 + i_{eff})^{Ny} = P\left(1 + \frac{r}{m}\right)^{m.Ny} \Rightarrow (1 + i_{eff}) = \left(1 + \frac{r}{m}\right)^m$$

$$\Rightarrow i_{eff} = \left(1 + \frac{r}{m}\right)^m - 1 = (1 + i)^m - 1$$

26  
9

## مثال

به دلیل ضرورت مالی، \$ ۱۰۰۰ از یک موسسه با نرخ بهره ماهیانه ۲٪ وام گرفته شده است. مواد زیر را تعیین کنید:

الف: کل اصل سرمایه به اضافه بهره ساده پس از گذشت ۲ سال، در صورتی که هیچ پرداختی در این مدت صورت نگرفته باشد.

ب: کل اصل سرمایه به اضافه بهره مرکب پس از گذشت ۲ سال، در صورتی که هیچ پرداختی در این مدت صورت نگرفته باشد.

ج: نرخ بهره اسمی هنگامی که بهره ماهانه مرکب باشد.

د: نرخ بهره موثر، هنگامی که بهره ماهانه مرکب شود.

**حل الف:**  $F = P(1 + iN) = 1000[1 + (0.02)(24)] = \$1480$

**ب:**  $F = P(1 + i)^N = \$1000(1 + 0.02)^{24} = \$1608$

ج: نرخ بهره اسمی در یک سال، که به صورت ماهانه مرکب شده است

**د:**  $r = i.m = 0.02 \times 12 = 0.24$

$$i_{eff} = \left(1 + \frac{r}{m}\right)^m - 1 = \left(1 + \frac{0.24}{12}\right)^{12} - 1 = 0.268 = 26.8\% \text{ per year}$$

27  
0

## بهره (Interest)

### ۲- بهره ترکیبی

حالت دوم: بهره پیوسته

در این حالت، پرداخت ها در فواصل زمانی کوچک انجام گرفته و بهره به صورت پیوسته مرکب می شود  $(m \rightarrow \infty)$ :

$$F = P \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{r}{m}\right)^{mN} = P \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{r}{m}\right)^{(m/r)(rN)}$$

می دانیم

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e \Rightarrow \lim_{m \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{r}{m}\right)^{m/r} = e = 2.71828 \dots$$

در نتیجه

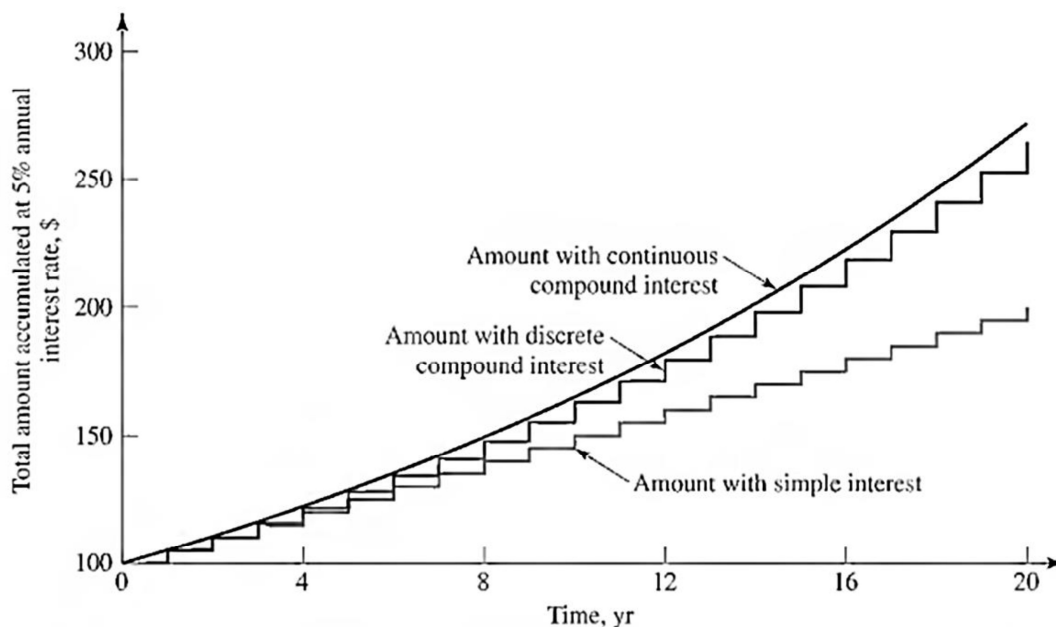
می توان نشان داد در حالت پیوسته، بهره موثر از عبارت زیر به دست می آید:

$$F = Pe^{rN}$$

$$i_{\text{eff}} = e^r - 1 \Rightarrow r = \ln(1 + i_{\text{eff}}) \Rightarrow e^{rN} = (1 + i_{\text{eff}})^N \Rightarrow F = Pe^{rN} = P(1 + i_{\text{eff}})^N$$

27  
1

## مقایسه انواع بهره



Comparison among total amounts accumulated with simple annual interest, discrete annually compounded interest, and continuously compounded interest

## استهلاک (Depreciation)

- تجهیزات و فناوری ها در اثر مرور زمان کیفیت خود را از دست می دهند و ارزش آن ها کاهش پیدا می کند.

□ استهلاک فیزیکی: کاهش ارزش تجهیزات در اثر فرسودگی، خوردگی، حوادث و کاهش کیفیت ناشی از گذشت زمان

□ استهلاک عملیاتی: مانند منسوخ شدن فناوری و پیشرفت هایی که باعث منسوخ شدن تجهیزات می شوند.

روش های ارزیابی استهلاک عبارتند از:

۱- روش خط راست (straight line): این حالت ساده ترین روش بوده و فقط در طراحی های اولیه به کار گرفته می شود. در این روش، فرض می شود که ارزش سرمایه در طول دوره بازایی به مرور زمان به صورت خطی کاهش یابد:

که  $d$  نرخ استهلاک سالانه (ثابت)،  $n$  عمر مفید،  $V_0$  قیمت اصلی و  $V_s$  ارزش بازیافتی می باشد.

$$d = \frac{V_0 - V_s}{n}$$

273

## استهلاک (Depreciation)

روابط مقابل را هم می توان نوشت

$$V_a = V_0 - ad \quad f = \frac{d}{V_0}$$

که  $V_a$  ارزش دفتری در سال  $a$  و  $f$  درصد استهلاک می باشد.

۲- روش تراز نزولی (Declining balance): در روش اول، نرخ استهلاک سالیانه ثابت بود. اما در این روش، درصد استهلاک سالیانه ثابت است.

$V_1$  قیمت دفتری در انتهای سال اول و  $d_1$  نرخ استهلاک سالانه در سال اول است.

$$V_1 = V_0 - d_1$$

$$d_1 = f \cdot V_0 \Rightarrow V_1 = V_0 - f \cdot V_0 = V_0 (1 - f)$$

برای سال دوم

$$\left. \begin{aligned} V_2 &= V_1 - d_2 \\ d_2 &= f \cdot V_1 = f V_0 (1 - f) \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_2 = V_1 - f V_1 = V_1 (1 - f) \\ = V_0 (1 - f)(1 - f) = V_0 (1 - f)^2$$

274

## استهلاک (Depreciation)

برای سال  $i$  ام هم می توان نوشت

$$V_i = V_0 (1 - f)^i \quad d_i = fV_0(1 - f)^{i-1}$$

$$f \leq \frac{2}{n}$$

حد قابل قبول  $f$  در روش تراز نزولی برابر است با

در انتهای سال  $n$  ام داریم:

$$V_n = V_s = V_0 (1 - f)^n \Rightarrow f = 1 - \left(\frac{V_s}{V_0}\right)^{\frac{1}{n}}$$

۳- روش تراز نزولی دوتایی (Double declining balance)

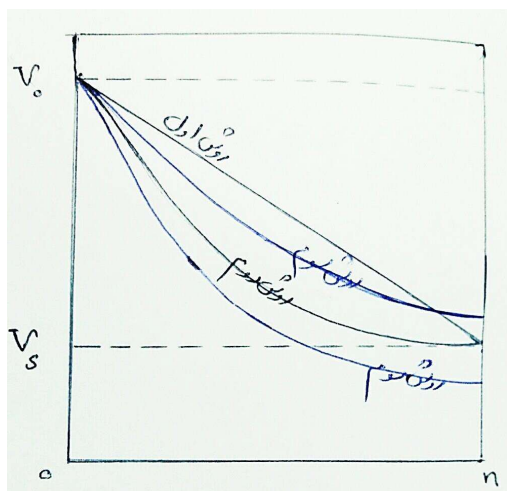
در روش تراز نزولی دوتایی،  $f$  را دقیقاً برابر با  $\frac{2}{n}$  در نظر می گیریم:

$$f = \frac{2}{n}$$

(سایر محاسبات دقیقاً مانند روش تراز نزولی است)

275

## استهلاک (Depreciation)



نکات مربوط به مقایسه سه روش:

- در روش دوم، در سال های اول استهلاک را بیشتر در نظر گرفته ایم تا مالیات کمتری پرداخت کنیم.

- در روش سوم ممکن است قیمت بازیافت بیشتر یا کمتر از قیمت بازیافت واقعی باشد.

۴- مجموع ارقام سالیانه (Sum of the years digits method or SYD)

این روش یک روش منسوخ شده است.

$n$  تعداد سال عمر مفید و  $d_i$  نرخ استهلاک در سال  $i$  ام است

$$SUM = \sum_{j=1}^n j = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$d_i = \frac{\text{Depreciable yaers remaining}}{SUM} (V_0 - V_s) = \frac{2(n-i+1)}{n(n+1)} (V_0 - V_s)$$

276

## استهلاک (Depreciation)

۵- روش MACRS: این روش از ترکیب روش خط راست و روش تراز نزولی دوتایی به دست آمده و بیشتر از بقیه روش ها قابل قبول است.

**Table 7-9 MACRS depreciation rates†**

General depreciation system

Applicable depreciation method: 200 or 150 percent

Declining balance switching to straight-line method

Applicable recovery periods: 3, 5, 7, 10, 15, 20 years

Applicable convention: half-year

| Recovery year | Recovery period      |        |        |         |         |         |
|---------------|----------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
|               | 3-year               | 5-year | 7-year | 10-year | 15-year | 20-year |
|               | Depreciation rate, % |        |        |         |         |         |
| 1             | 33.33                | 20.00  | 14.29  | 10.00   | 5.00    | 3.750   |
| 2             | 44.45                | 32.00  | 24.49  | 18.00   | 9.50    | 7.219   |
| 3             | 14.81                | 19.20  | 17.49  | 14.40   | 8.55    | 6.677   |
| 4             | 7.41                 | 11.52  | 12.49  | 11.52   | 7.70    | 6.177   |
| 5             |                      | 11.52  | 8.93   | 9.22    | 6.93    | 5.713   |
| 6             |                      | 5.76   | 8.92   | 7.37    | 6.23    | 5.285   |
| 7             |                      |        | 8.93   | 6.55    | 5.90    | 4.888   |
| 8             |                      |        | 4.46   | 6.55    | 5.90    | 4.522   |
| 9             |                      |        |        | 6.56    | 5.91    | 4.462   |
| 10            |                      |        |        | 6.55    | 5.90    | 4.461   |
| 11            |                      |        |        | 3.28    | 5.91    | 4.462   |
| 12            |                      |        |        |         | 5.90    | 4.461   |
| 13            |                      |        |        |         | 5.91    | 4.462   |
| 14            |                      |        |        |         | 5.90    | 4.461   |
| 15            |                      |        |        |         | 5.91    | 4.462   |
| 16            |                      |        |        |         | 2.95    | 4.461   |
| 17            |                      |        |        |         |         | 4.462   |
| 18            |                      |        |        |         |         | 4.461   |
| 19            |                      |        |        |         |         | 4.462   |
| 20            |                      |        |        |         |         | 4.461   |
| 21            |                      |        |        |         |         | 2.231   |

†Source: © 2002 CCH Incorporated. All Rights Reserved. Reprinted with permission from 2000 U.S. Master Tax Guide.

277

مبنای این روش این است که در سال های اول، از روش تراز نزولی دوتایی و چند سال آخر از روش خط راست برای تعیین استهلاک استفاده می شود.

## مثال

برای یک واحد صنعتی جدید، مقدار هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاک ( $C_{TDC}$ ) برابر با  $C_{TDC} = 90000000$  \$ تعیین شده است. هزینه استهلاک سالیانه را برای دوره بازبانی ۵، ۷ و ۱۰ ساله به روش MACRS تعیین کنید. ارزش بازیافتی را صفر و نرخ مالیات بر درآمد را ۳۷٪ در نظر بگیرید.

با توجه به مقادیر جدول MACRS، جدول زیر را برای دوره های ۵، ۷ و ۱۰ سال تشکیل می دهیم:

| Year     | Class Life = 5 years |                     | Class Life = 7 years |                     | Class Life = 10 years |                     |
|----------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
|          | D (\$/yr)            | Taxes Saved (\$/yr) | D (\$/yr)            | Taxes Saved (\$/yr) | D (\$/yr)             | Taxes Saved (\$/yr) |
| 1        | 18,000,000           | 6,660,000           | 12,861,000           | 4,758,570           | 9,000,000             | 3,330,000           |
| 2        | 28,800,000           | 10,656,000          | 22,041,000           | 8,155,170           | 16,200,000            | 5,994,000           |
| 3        | 17,280,000           | 6,393,600           | 15,741,000           | 5,824,170           | 12,960,000            | 4,795,200           |
| 4        | 10,368,000           | 3,836,160           | 11,241,000           | 4,159,170           | 10,368,000            | 3,836,160           |
| 5        | 10,368,000           | 3,836,160           | 8,037,000            | 2,973,690           | 8,298,000             | 3,070,260           |
| 6        | 5,184,000            | 1,918,080           | 8,028,000            | 2,970,360           | 6,633,000             | 2,454,210           |
| 7        | 0                    | 0                   | 8,037,000            | 2,973,690           | 5,895,000             | 2,181,150           |
| 8        | 0                    | 0                   | 4,014,000            | 1,485,180           | 5,895,000             | 2,181,150           |
| 9        | 0                    | 0                   | 0                    | 0                   | 5,904,000             | 2,184,480           |
| 10       | 0                    | 0                   | 0                    | 0                   | 5,895,000             | 2,181,150           |
| 11       | 0                    | 0                   | 0                    | 0                   | 2,952,000             | 1,092,240           |
| Total \$ | 90,000,000           | 33,300,000          | 90,000,000           | 33,300,000          | 90,000,000            | 33,300,000          |

به نظر می رسد نتایج برای دوره های ۵، ۷ و ۱۰ سال یکسان بوده است. اما اگر بهره را برای مالیات ذخیره شده در ۱۱ سال لحاظ کنیم (با نرخ بهره اسمی ۱۰٪)، به کمک رابطه  $P = F(1 + i)^{-n}$ ، ارزش کنونی مالیات تعیین می شود.

با در نظر گرفتن ارزش کنونی مالیات ذخیره شده داریم:

| Class Life (years) | Present Value of Income Tax Savings |
|--------------------|-------------------------------------|
| 5                  | \$25,750,000                        |
| 7                  | \$24,024,000                        |
| 10                 | \$21,783,000                        |

نکته: برای تعیین ارزش کنونی مالیات ذخیره شده در اثر استهلاك، باید ارزش آینده مقدار مالیات ذخیره شده در هر سال را به ارزش کنونی تبدیل کرده و با هم جمع کنیم:

$$r = 10\% ; r = i \times m \xrightarrow{m=1} r = i = 0.1$$

$$P = F(1 + i)^{-n} = F(1.1)^{-n}$$

به کمک روابط ذکر شده، برای دوره بازبایی ۵ سال، جدول زیر را می توان تشکیل داد:

| سال   | مالیات ذخیره شده (\$) | ارزش کنونی مالیات (\$)                 |
|-------|-----------------------|----------------------------------------|
| 1     | 6660000               | $6660000 \times (1.1)^{-1} = 6054545$  |
| 2     | 10656000              | $10656000 \times (1.1)^{-2} = 8806611$ |
| 3     | 6393600               | 4803606                                |
| 4     | 3836160               | 2620148                                |
| 5     | 3836160               | 2381953                                |
| 6     | 1918080               | 1082706                                |
| Total | 33300000              | 25749571.93                            |

برای مبنای زمانی ۷ و ۱۰ سال نیز محاسبات به همین صورت انجام می شود.

## روش های دقیق محاسبات سوددهی

- در جلسه قبل، ۴ روش برای انجام محاسبات سوددهی به شکل تخمینی ارائه گردید.
- در این جا، دو روش دقیق برای انجام محاسبات سوددهی ارائه می شوند:

### ۱- ارزش خالص زمان حال (یا ارزش خالص فعلی)

Net present worth (or value) or NPW

### ۲- نرخ بازگشت سرمایه واقعی (True rate of return) یا نرخ نزولی برگشت وجوه نقد (Discounted cash flow rate of return or DCFRR)

نکات:

- در روش اول، تمام درآمدها و هم چنین تمام هزینه ها به زمان حال آورده می شوند. سپس این دو را از هم کم می کنیم. پروژه ای که NPW بیشتری داشته باشد بهتر است.
- در روش دوم، نرخ بهره را طوری تعیین می کنیم که پس از این که درآمدها را به کمک آن نرخ بهره به زمان حال آورده ایم، برابر با سرمایه گذاری شود. نرخ بهره باید از حداقل نرخ بازگشت سرمایه بیشتر باشد.

## مثال

قرار است یک فرآیند صنعتی با هزینه سرمایه گذاری قابل استهلاک  $C_{TDC}=900000000$  \$ (بدون هزینه های اختصاصی برای تسهیلات یا  $C_{Alloc.}$ )، در طی یک دوره ۳ ساله (۲۰۱۴-۲۰۱۶) راه اندازی شود. قبل از راه اندازی (start-up) مقدار سرمایه در گردش برابر با  $C_{WC}=400000000$  \$ مورد نیاز است. قرار است کارخانه با ظرفیت اسمی ۹۰٪ کار کند که این ۹۰٪ پس از ۳ سال محقق می شود. اطلاعات زیر در خصوص ۳ سال اول داده شده اند:

- در سال اول تولید، ۵۰٪ از حداکثر ظرفیت محقق می شود و درآمد پیش بینی شده کارخانه با ظرفیت ۹۰٪ برابر با  $S=750000000$  \$/yr و هزینه های تولید بدون استهلاک برابر با  $C=550000000$  \$/yr می باشد.
- در سال دوم تولید، ۷۵٪ از حداکثر ظرفیت محقق می شود و درآمد پیش بینی شده کارخانه با ظرفیت ۹۰٪ برابر با  $S=1130000000$  \$/yr و هزینه های تولید بدون استهلاک برابر با  $C=780000000$  \$/yr می باشد.
- در سال سوم و پس از آن، ۱۰۰٪ از حداکثر ظرفیت محقق می شود و درآمد پیش بینی شده کارخانه با ظرفیت ۹۰٪ برابر با  $S=1500000000$  \$/yr و هزینه های تولید بدون استهلاک برابر با  $C=1000000000$  \$/yr می باشد.

با نرخ مالیات بر درآمد ۴۰٪، محاسبات را برای ۱۵ سال (شامل سال ۲۰۱۴-۲۰۱۶) انجام دهید.

الف: تعیین NPW برای یک نرخ بهره اسمی ۱۵٪

ب: نرخ بهره اسمی را برای روش DCFRR (NPW=0) تعیین کنید.

283

## حل

جدول نتایج برای بخش الف به شکل زیر است:

| Year | Investment |          | D     | $C_{Excl. Dep.}$ | S      | Net Earnings | Cash Flow | Discounted Cash Flow | Cum. PV  |
|------|------------|----------|-------|------------------|--------|--------------|-----------|----------------------|----------|
|      | $fC_{TDC}$ | $C_{WC}$ |       |                  |        |              |           |                      |          |
| 2014 | (30.00)    |          |       |                  |        |              | (30.00)   | (30.00)              | (30.00)  |
| 2015 | (30.00)    |          |       |                  |        |              | (30.00)   | (26.09)              | (56.09)  |
| 2016 | (30.00)    | (40.00)  |       |                  |        |              | (70.00)   | (52.93)              | (109.02) |
| 2017 |            |          | 18.00 | 55.00            | 75.00  | 1.20         | 19.20     | 12.62                | (96.39)  |
| 2018 |            |          | 28.80 | 78.00            | 113.00 | 3.72         | 32.52     | 18.59                | (77.80)  |
| 2019 |            |          | 17.28 | 100.00           | 150.00 | 19.63        | 36.91     | 18.35                | (59.45)  |
| 2020 |            |          | 10.37 | 100.00           | 150.00 | 23.78        | 34.15     | 14.76                | (44.68)  |
| 2021 |            |          | 10.37 | 100.00           | 150.00 | 23.78        | 34.15     | 12.84                | (31.85)  |
| 2022 |            |          | 5.18  | 100.00           | 150.00 | 26.89        | 32.07     | 10.48                | (21.36)  |
| 2023 |            |          |       | 100.00           | 150.00 | 30.00        | 30.00     | 8.53                 | (12.83)  |
| 2024 |            |          |       | 100.00           | 150.00 | 30.00        | 30.00     | 7.42                 | (5.42)   |
| 2025 |            |          |       | 100.00           | 150.00 | 30.00        | 30.00     | 6.45                 | 1.03     |
| 2026 |            |          |       | 100.00           | 150.00 | 30.00        | 30.00     | 5.61                 | 6.64     |
| 2027 |            |          |       | 100.00           | 150.00 | 30.00        | 30.00     | 4.88                 | 11.51    |
| 2028 |            | 40.00    |       | 100.00           | 150.00 | 30.00        | 70.00     | 9.89                 | 21.41    |

Net earnings =  $(S - C_{Excl. Dep.} - D) \times (1.0 - \text{income tax rate})$

Annual cash flow =  $C = (\text{net earnings} + D) - fC_{TDC} - C_{WC}$

284





**Any Question?**