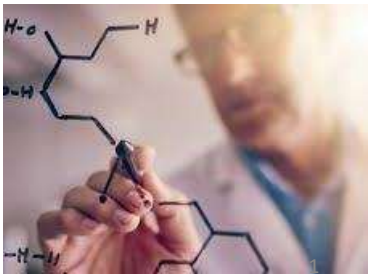
University of Gonabad

Plant design and economics for chemical engineers

Vahid Mahmoudi

Assistant Professor,
Department of Chemical Engineering,
University of Gonabad

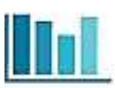


فصل هشتم

محاسبه هزینه های تولید

TOTAL PRODUCTION COST

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



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 مبنا برای 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[a]

Cost Factor	Typical Factor in American Engineering Units	Typical Factor in SI Units
Feedstocks (raw materials)		
Utilities		
Steam, 450 psig[b]	$8.00/1,000 lb	$17.60/1,000 kg
Steam, 150 psig[b]	$7.00/1,000 lb	$15.30/1,000 kg
Steam, 50 psig[b]	$6.00/1,000 lb	$13.20/1,000 kg
Electricity[b]	$0.070/kW-hr	$0.070/kW-hr
Cooling water (cw)[b]	$0.10/1,000 gal	$0.027/$m^3$
Process water[b]	$0.80/1,000 gal	$0.27/$m^3$
Boiler-feed water (bfw)[b]	$2.00/1,000 gal	$0.56/$m^3$
Refrigeration, – 150°F[b]	$10.00/ton-day	$33.20/GJ
Refrigeration, – 90°F[b]	$7.00/ton-day	$23.30/GJ
Refrigeration, –30°F[b]	$4.00/ton-day	$13.17/GJ
Refrigeration, 10°F[b]	$2.00/ton-day	$6.47/GJ
Chilled water, 40°F[b]	$1.50/ton-day	$5.00/GJ
Natural gas	$5.00/1,000 SCF	$0.213/SCM
Fuel oil	$3.50/gal	$933/$m^3$
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[c]	$0.15/lb organic removed	$0.33/kg organic removed
Landfill	$0.08/dry lb	$0.17/drykg

www.icis.com

هزینه های تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

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
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} – 1.18C_{alloc})
Allocated plant	6% of 1.18C_{alloc}	6% of 1.18C_{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

هزینه های تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

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

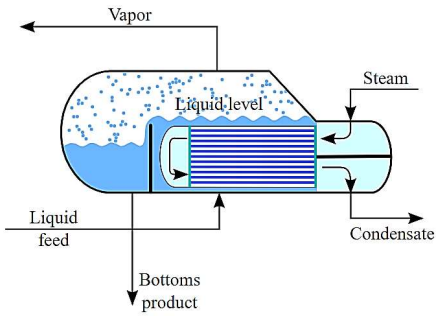
[a] DW&B = direct wages and benefits; MW&B = maintenance wages and benefits; M&O-SW&B = maintenance and operations salary, wages, and benefits. See Table 16.9 for C_{TDC} and C_{alloc}. 1 ton of refrigeration = 12,000 Btu/hr.
[b] assumes natural gas is the energy source.
[c] normal wastewater and organics – 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:

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

مثال ۱

- **یک دیگ بخار (Kettle-type) برای تبخیر تولوئن در دمای ۳۷۵ °F درجه فارنهایت با میزان حرارت ۳۰۰۰۰۰۰ Btu/h 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: ابتدا داده های مساله را بیان می کنیم:**

دمای جوش آور: ۳۷۵ °F

گرمای انتقالی: ۳۰۰۰۰۰۰ Btu/hr

فاکتور عملیاتی: ۰/۹

با فرض فشار بارومتریک ۱۴ psia، دمای بخار اشباع با فشار ۱۵۰ psia برابر ۳۶۵ °F است. از آنجا که این دما کمتر از ۳۷۵ °F است، باید از بخار با فشار ۴۵۰ psig استفاده شود.

مثال ۱

- طبق قوانین سرانگشتی که در فصل ۱۲ کتاب سیدر برای مبدل ها و در جدول ۶.۲ همین کتاب در صفحه ۱۵۵ (مورد ۲۸) ذکر شده است، برای جوش آورها باید حداقل اختلاف دمای ۴۵ °F را داشته باشیم تا از جوشش هسته ای اطمینان و از جوشش فیلمی جلوگیری شود. در نتیجه برای جوش آور در دماهای بالا:

$$\Delta T_m = 45\,^oF$$

- در دماهای پایین

$$\Delta T_m = 10 - 20\,^oF$$

- و برای کوره ها

$$\Delta T_m = 250\,^oF$$

- می توان نوشت:

$$Steam\,Temp. = 375 + 45 = 420\,^oF$$

- فرض می شود بخار به شکل بخار اشباع در دمای ۴۲۰ °F و فشار ۳۰۹ psia وارد مبدل شده و به صورت مایع اشباع در دمای ۴۲۰ °F خارج می شود. در این حالت، گرمای نهان تبخیر برابر با ۸۰۶ Btu/lb می باشد.
- با در نظر گرفتن یک شیر با عملکرد آدیاباتیک، فشار بخار از (۴۵۰ psig) ۴۶۴ psia به ۳۰۹ psia کاهش می‌یابد و یک بخار فوق گرم تولید می‌شود.
- برای محاسبه میزان بخار در سال داریم:

$$Q = \overset{o}{m}\lambda \qquad at\,420\,^oF\;;\;\lambda = 806\,\frac{Btu}{lb} \Rightarrow \overset{o}{m}_{steam} = \frac{3000000}{806} = 3722\;\;{}^{lb}/_{hr}$$

مثال ۱

- در نتیجه، میزان بخار در سال برابر است با:

$$\Rightarrow \overset{o}{m}_{steam} = 3722 \ \frac{lb}{hr} \times \frac{24\,hr}{day} \times \frac{365\,day}{yr} \times 0.9 = 29350000 \ \frac{lb}{yr}$$

- در نتیجه، هزینه سالیانه بخار برابر است با:

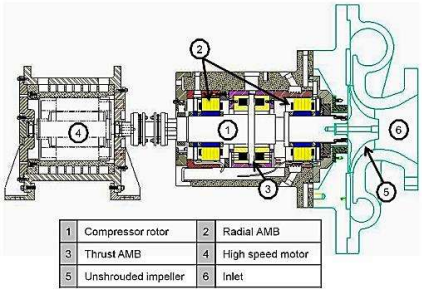
$$steam\,price = 29350000 \ \frac{lb}{yr} \times \frac{8\,S}{1000\,lb} = 234000 \ \frac{S}{yr}$$

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:

۱۱۱۹×(۰/۷۴۵۷) /۰/۹۵= ۸۷۸ 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.



- ابتدا تعیین kw.h/yr:

$$878 \ kW \times \frac{24\,h}{day} \times \frac{365\,day}{yr} \times 0.9 = 6922 \times 10^6 \ \frac{kW.h}{yr}$$

- حال محاسبه هزینه سالانه برق

$$6922 \times 10^6 \ \frac{kW.h}{yr} \times 0.07 \frac{S}{kW.h} = 484500 \ \frac{S}{yr}$$

مثال ۳

- آب خنک کننده در کندانسور یک برج تقطیر با بار حرارتی Btu/h ۳۰۰۰۰۰۰ 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:

فرض می کنیم آب خنک کننده با دمای °F ۹۰ وارد کندانسور شده و با دمای °F ۱۲۰ از آن خارج می شود. آب دارای گرمای ویژه Btu/lb.°F ۱ و چگالی lb/gal ۸/۳۳ است.

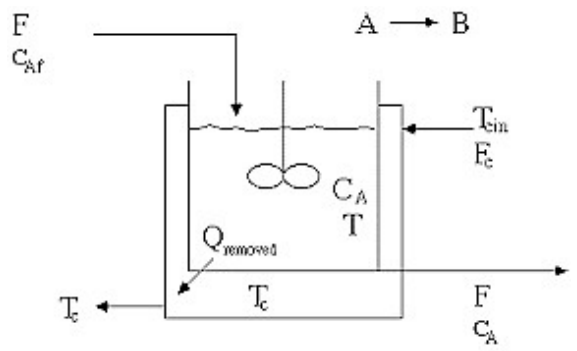
$$Q_c = \overset{o}{m}_w c_p \Delta T \;\Rightarrow \overset{o}{m}_w = \frac{Q_c}{c_p \Delta T} = \frac{3 \times 10^6}{1 \times (120 - 90)} = 100000 \;\; \frac{lb}{h}$$

$$\overset{o}{m}_w = 100000 \;\; \frac{lb}{h} \times \frac{gal.}{8.33\, lb} \times \frac{1\, h}{60 \,\text{min}} = 200 \;\; gpm \;\; = 94600000 \;\; gal/yr$$

$$94600000 \;\; gal/yr \times \frac{0.1\,\$}{1000 \;\; gal} = 9460 \;\; \frac{\$}{yr}$$

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 °F ۳۹۲ و فشار psia ۳۱۵ رخ می دهد. در مجموع، Btu/h ۴۷۰۶۲۰۰ 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 ۰/۹ برای کارخانه تعیین کنید.



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 ۳۹۲ °F و فشار ۳۱۵ psia رخ می دهد. در مجموع، ۴۷۰۶۲۰۰ 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 ۰/۹ برای کارخانه تعیین کنید.

حل:

همان طور که در فصل ۱۲ کتاب سیدر اشاره شده است، برای اطمینان از جوشش هسته‌ای آب دیگ بخار، اختلاف دمای کل (نیروی محرکه انتقال حرارت) ۴۵ °F باید وجود داشته باشد. بنابراین،آب در دمای ۳۴۷=۴۵-۳۹۲ °F به بخار تبدیل می‌شود. این دما مربوط به فشار بخار اشباع ۱۳۰ psia است. فرض می کنیم آب به شکل مایع در دمای ۹۰ °F وارد مبدل حرارتی شده و به عنوان بخار اشباع در دمای ۳۴۷ °F خارج می‌شود. در این شرایط، تغییر آنتالپی برابر با ۱۱۳۴ Btu/lb خواهد بود. بنابراین، با استفاده از موازنه انرژی، شدت جریان بخار تولید شده از آب برابر با ۴۱۵۰=۴۷۰۶۲۰۰/۱۱۳۴ lb/hr خواهد بود. هزینه سالانه آب دیگ بخار با در نظر گرفتن قیمت ۲ دلار در هر ۱۰۰۰ گالن و چگالی آب ۸/۳۳ lb/gal برابر است با:

$$4{,}150(24)(365)(0.9)(2.00)/[(8.33)(1{,}000)] = \$7{,}860/\text{yr}$$

سردسازی یا Refrigeration

- جدول زیر مربوط به انواع مواد سرد کننده می باشد:

Table 12.1 Heat-Transfer Media

Medium	Typical Temperature Range (°F)
Coolants	
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

مثال ۵

- یک جریان فرآیندی در یک پالایشگاه نفت باید با یک بار سرمایشی برابر با ۳,۰۰۰,۰۰۰ Btu/hr به طور جزئی میعان شده و تا دمای ۱۰ °F خنک شود، مطلوبست تعیین یک ماده مبرد مناسب، تن‌های سرمایش مورد نیاز و هزینه عملیاتی سالانه در صورتی که ضریب عملیاتی کارخانه ۰/۹ باشد،

Solution: $T_{Condenser}$=10 °F $\quad \Delta T_m \approx 5\ ^oF \Rightarrow T_{coolant} = 5\ ^oF$

- ماده مبرد مناسب پروپان است زیرا محدوده تبخیر آن بین ۴۰- تا ۲۰ °F می‌باشد. دمای تبخیر پروپان تقریباً ۵ °F خواهد بود.
- سطح دمایی عامل اصلی در تعیین هزینه سرمایش است. برای دماهای متوسط، برآوردهای هزینه عملیاتی سالانه بر اساس «تن-روز سرمایش» انجام می‌شود، جایی که یک تن به معنای میزان حرارت گرفته شده لازم برای انجماد یک تن (۲۰۰۰ پوند) آب در دمای ۳۲ °F در طول یک روز است، که معادل Btu/hr ۱۲۰۰۰ می‌باشد.

$$The\ tons\ of\ refrigeration = \frac{3\times10^6}{12000} = 250\ \ tons \equiv 250\times365\times0.9 = 82130\ \left(\frac{ton-day}{yr}\right)$$

$$\Rightarrow Annual\ refrigeration\ \text{cost} = 82130\times4 = 328500\ \frac{\$}{yr}$$

- بخش اعظم این عدد مربوط به هزینه الکتریسیته برای راه‌اندازی کمپرسور پروپان است.

سوخت

- در بررسی هزینه سوخت، ابتدا باید تعیین کنیم ارزش حرارتی سوخت به چه میزان می باشد. سپس با توجه به ارزش حرارتی و Duty موردنیاز، 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

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 kJ/kg، اندازه‌گیری می‌شود. ارزش حرارتی معمولاً با استفاده از یک بمب کالری‌متر تعیین می‌شود.**
- **ارزش حرارتی بالاتر (HHV)، که به عنوان ارزش کالری ناخالص یا انرژی ناخالص نیز شناخته می‌شود، به مقدار گرمای آزاد شده از یک مقدار مشخص (در دمای ابتدایی ۲۵ ^{o}C) از سوخت گفته می‌شود. این زمانی اتفاق می‌افتد که سوخت محترق شده و محصولات احتراق به دمای ۲۵ ^{o}C بازگردند.**
- **ارزش حرارتی بالاتر (HHV)، گرمای نهان تبخیر آب در محصولات احتراق را در نظر می‌گیرد (آب به صورت مایع در نظر گرفته می شود).**
- **ارزش حرارتی پایین‌تر (LHV) با کسر گرمای نهان تبخیر آب از ارزش حرارتی بالاتر (HHV) تعیین می‌شود (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 ۱۰۰۰ °F به ۱۲۰۰°F 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: همان طور که می دانیم:

$$\eta = \frac{Q_{based\ on\ HV}}{Q_{actual}} \Rightarrow Q_{actual} = \frac{Q_{based\ on\ HV}}{\eta} = \frac{3 \times 10^6}{0.7} = 4286000\ \frac{Btu}{h}$$

$$Rate\ of\ NG = \frac{Q_{actual}}{HHV} = \frac{4286000}{1050} = 4082\ \frac{SCF}{h} \equiv 32180000\ \frac{SCF}{yr}$$

$$\Rightarrow Annual\ \text{cost}\ of\ NG = 32180000\ \frac{SCF}{yr} \times \frac{5\ \$}{1000\ SCF} = 160900\ \frac{\$}{yr}$$

مثال ۷

- جریانی از پساب با دبی ۵۰۰ gpm در دمای ۷۰ °C 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: با موازنه می توان نوشت

$$150\ \frac{mg_{\ benzene}}{L_{\ wastewater}} \times \frac{1\ g}{1000\ mg} \times \frac{1\ mol\ benzene}{78\ g\ benzene} \times \frac{1\ L_{\ wastewater}}{1000\ g\ H_2O} \times \frac{18\ g\ \ H_2O}{1\ mol\ \ _2O}$$

$$= 0.000035\ \ \frac{mol\ benzene}{mol\ wastewater} \equiv x$$

می دانیم حلالیت بنزن در آب به گونه ای است که در دمای ۷۰ °C، حداکثر جزء مولی بنزن در آب برابر با x=0.0004 می باشد. پس می توان نتیجه گرفت این مقدار بنزن به طور کامل در آب حل شده است (محلول در پساب).

ادامه حل

- می توان نوشت

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

- در نتیجه

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

- در نهایت برای محاسبه هزینه سالانه تصفیه بنزن از پساب:

$$Annual\ \text{cost}\ of\ benzene\ remov\ \ \ = 296000\ \ \frac{lb_{\ benzene}}{yr}\ \times\ \frac{0.15\ \$}{lb_{\ benzene}}$$

$$= 44400\ \ \frac{\$}{yr}$$

- برای دفع زباله های غیرخطرناک هم هزینه ۰/۰۳ $/lb و برای دفع زباله های خطرناک، هزینه ۰/۱ $/lb را می توان در محاسبات به کار برد.

هزینه های تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

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
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} – 1.18C_{alloc})
Allocated plant	6% of 1.18C_{alloc}	6% of 1.18C_{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

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: ۷×۲۴=۱۶۸ h
- با فرض این که هر کارگر هفته ای ۴۰ ساعت کار کند، تعداد نوبت های کاری در هفته برابر خواهند بود با:

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

- برای اطمینان، ۵ نوبت کاری در هفته درنظر 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.

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

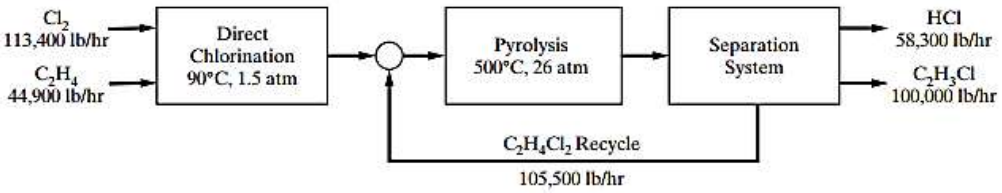
Type of Process	Number of Operators per Process Section[a]
Continuous operation	
Fluids processing	1
Solids–fluids processing	2
Solids processing	3
Batch or semibatch operation	
Fluids processing	2
Solids–fluids processing	3
Solids processing	4

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

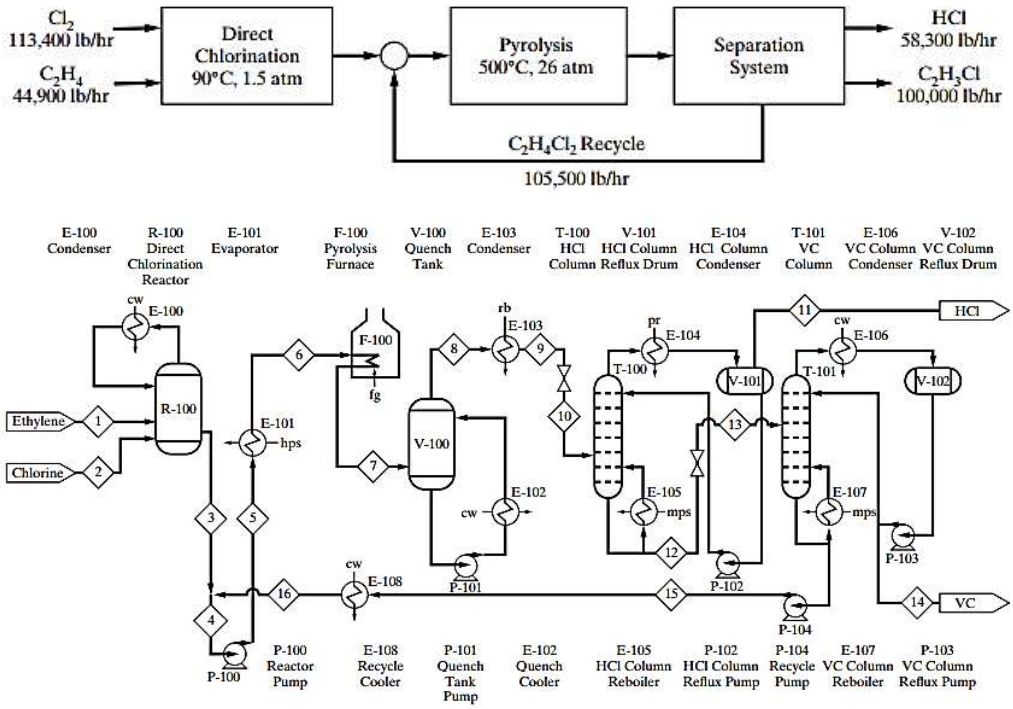
- دو برج تقطیر در کنار هم را یک واحد در نظر می گیریم، اما برای دو راکتور درکنار هم....!

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.



مثال ۸



مثال ۸

راه‌حل: همان‌طور که می‌دانیم

- **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، هزینه‌های سالانه نیروی انسانی عبارتند از:**

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

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

مثال ۸

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

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

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

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

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

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

مثال ۸

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[a]

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

- 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 مر بوط به بخش تعمیر و نگهداری کارخانه، M، را تخمین بزنید.

راه‌حل: با استفاده از جدول ۱۷.۱ کتاب سیدر

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

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 at100% 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.

هزینه های تولید

- هزینه های بالاسری عملیاتی (Operating overhead)

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

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:

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

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:

Direct wages and benefits (DW&B) = $2,496,000

Direct salaries and benefits = 374,400

Maintenance wages and benefits (MW&B) = 1,085,000

Maintenance salaries and benefits = 271,000

راه‌حل:

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

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

هزینه های تولید

- باقی هزینه های عملیاتی تولید

Table 17.1 Cost Sheet Outline[a]

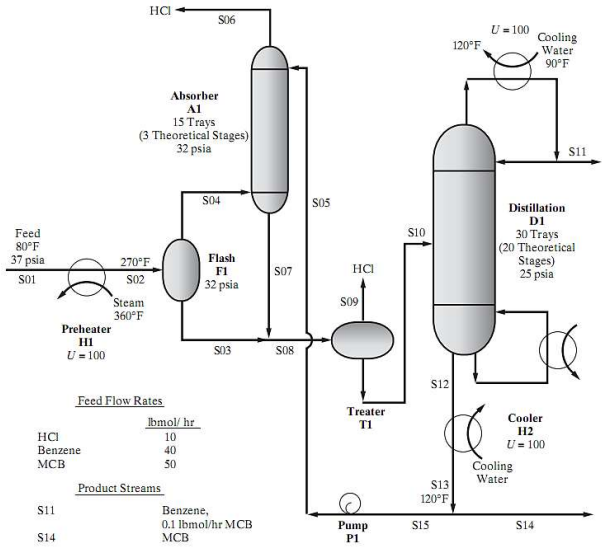
Cost Factor	Typical Factor in American Engineering Units	Typical Factor in SI Units
Property taxes and insurance	2% of C_{TDC}	2% of C_{TDC}
Depreciation (see also Section 17.6)		
Direct plant	8% of (C_{TDC} – 1.18 C_{alloc})	8% of (C_{TDC} – 1.18C_{alloc})
Allocated plant	6% of 1.18C_{alloc}	6% of 1.18C_{alloc}
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[a]

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)		

مثال II



فرآیند جداسازی مونوکلروبنزن (MCB):

طی جداسازی یک گونه گازی سبک، مانند HCl از دو گونه سنگین‌تر، معمولاً خوراک به صورت جزئی تبخیر شده و سپس فازهای بخار و مایع در یک جداکننده فلش از هم جدا می‌شوند.

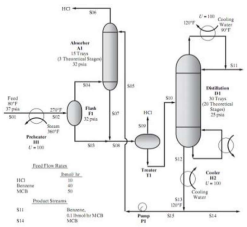
برای دستیابی به HCl تقریباً خالص، بنزن و MCB می‌توانند در یک جذب‌کننده جذب شوند.

سپس، از آنجایی که بنزن و MCB نقاط جوش به‌طور قابل‌توجهی متفاوت دارند، می‌توان آن‌ها را از طریق فرآیند تقطیر جدا کرد.

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 به‌عنوان محصولات جانبی در نظر گرفته می‌شوند و اعتبار مالی (credit) برای آن‌ها منظور می‌شود:

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_{DPI}	

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

مثال ۱۱

راه‌حل: کل سرمایه قابل استهلاک (C_{TDC}) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

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

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

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

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

مثال ۱۱

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

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

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

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

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)
COST OF MANUFACTURE (COM)	$24,101,500

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
TOTAL GENERAL EXPENSES (GE)	$4,156,200
TOTAL PRODUCTION COST (C)	$28,257,700
Sales	
Monochlorobenzene product	30,008,600
TOTAL SALES, S	$30,008,600

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 (equivalent to 35% on total gross earnings)

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

$$\text{Net earnings or profit} = (1 - t)\ \text{gross earnings}$$
$$= 0.60\,(S - C)$$

مثال ۱۲

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

راه حل:

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

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

Any Question?