جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

مجتمع آموزش عالی گناباد

Chemical Engineering Plant and Process Design

Vahid Mahmoudi

Assistant Professor,
Department of Chemical Engineering,
University of Gonabad

فصل اول

مقدمه ای بر طراحی

- How design projects are carried out and documented in industry
- Why engineers in industry use codes and standards and build margins into their designs
- How to improve a design using optimization methods

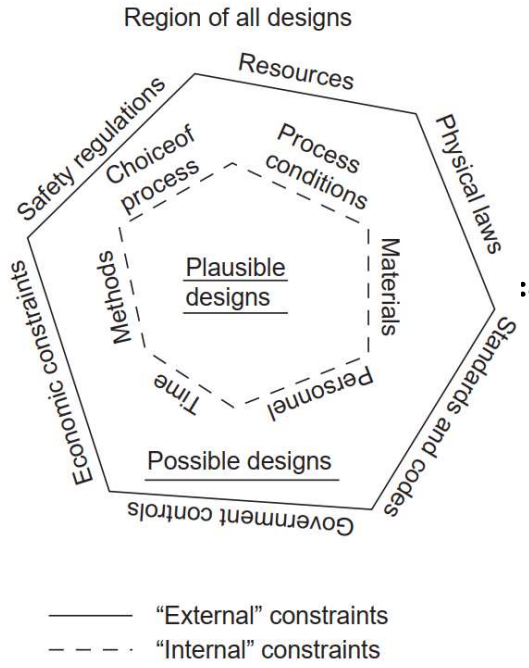
طبیعت طراحی

- **محدودیت های خارجی در اثر برخی موارد پیش می آیند که در اختیار طراح نیستند. از جمله:**

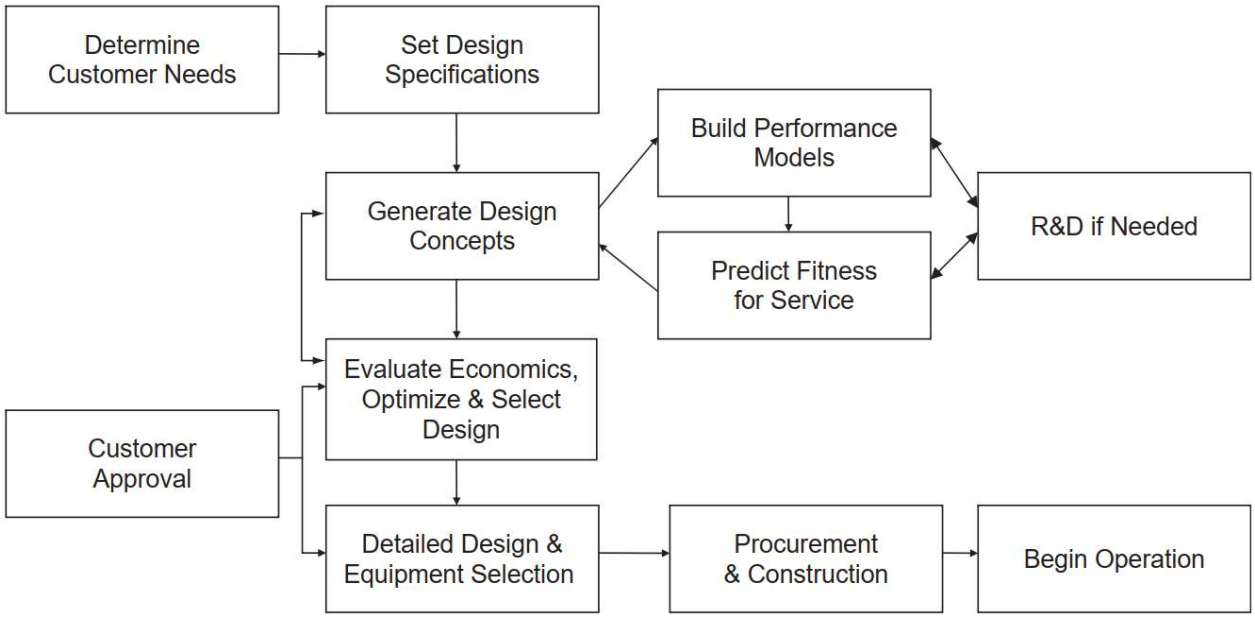
- قوانین ایمنی
- منابع
- قانون فیزیکی
- استانداردها
- محدودیت های دولتی
- ملاحظات اقتصادی

- **محدودیت های داخلی تا حدی در اختیار طراح هستند:**

- زمان طراحی
- روش های طراحی
- مواد اولیه
- نیروی انسانی
- انتخاب فرآیند
- شرایط و محدودیت های فرآیند



مراحل انجام طراحی



موضوع طراحی

- هر طراحی عمدتاً از یک نیازسنجی آغاز می شود که منجر به کشف یک نیاز عمومی (و یک فرصت تجاری) می شود.
- در اولین قدم، مهندس طراح باید ویژگی های دقیق نیاز کشف شده را مشخص و درجه اهمیت این نیاز را تعیین کند. ممکن است با ساده کردن ویژگی ها بتوان محصولی ارزان تر و قابل فروش طراحی کرد.
- مهم ترین قدم در شروع یک فرآیند طراحی، تعیین اساس طراحی برپایه نیاز مشتری می باشد. اساس طراحی همان بیان دقیق تر نیاز است و معمولاً شامل نرخ تولید و میزان خلوص محصول همراه با داده هایی که برروی طراحی اثر می گذارند می شود:

– سیستم آحادی که باید استفاده شود.

– استانداردهای طراحی ملی، محلی و شرکتی که باید رعایت شوند.

– جزئیاتی از مواد اولیه موجود

– اطلاعات از محل های احتمالی که واحد ممکن است در آن جا تاسیس شود، از جمله وضعیت آب و هوا، زیرساخت ها و ...

– اطلاعات از شرایط، موجود بودن و هزینه تسهیلات فرآیندی از جمله سوخت، بخار، الکتریسیته و ...

اساس طراحی

Company Name
Address

DESIGN BASIS

Form XXXXX-YY-ZZ

Project Name
Project Number
Sheet 1

REV	DATE	BY	APVD	REV	DATE	BY	APVD

1 General Information

Owners Name		
Process Unit Name		
Plant Location		
Correspondance Contacts Address Telephone / Fax E-mail		

2 Measurement System

◉ English ○ Metric

3 Equipment Numbering System

Equipment will be identified by alphabetic prefix as defined here, followed by three-digit serial number unless otherwise indicated

First digit - process section
Second & third digits - equipment count

AC	Air cooler	G	Grinder, mill	PRV	Pressure relief valve
B	Boiler	H	Heater (fired or electric)	R	Reactor
C	Compressor, blower, fan	J	Ejector, jet, turboexpander	SP	Sample point
CT	Cooling tower	M	Motor	T	Storage tank
D	Dryer	ME	Miscellaneous equipment	V	Vessel (including columns)
E	Exchanger	MX	Mixer		
F	Filter, classifier	P	Pump		

4 Primary Products

Product Name Product Grade						
MSDS Form Number						
Production Rate Tons per year Tons per day Other units						

روش های احتمالی طراحی

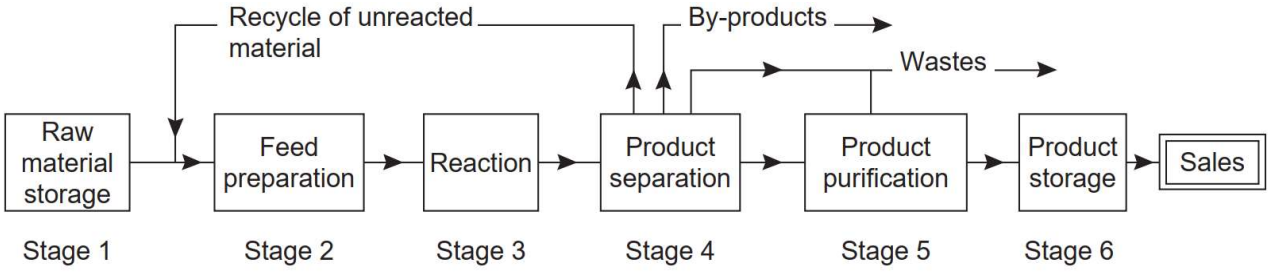
- این مرحله خلاقانه ترین بخش طراحی از نظر آنالیز، ارزیابی و انتخاب می باشد و عمدتاً مهندسان طراح بر تجربیات قبلی تکیه می کنند.
- تجاری سازی فناوری های جدید مشکل و هزینه بر می باشد. هرچند، زمانی که فناوری جدید به نتیجه برسد ممکن است تجربیات قبلی در برابر پذیرش ایده جدید مقاومت کنند.
- ازمنظر جدید بودن، پروژه های مهندسی شیمی به ۳ دسته تقسیم می شوند:

۱- اصلاح واحد فعال و موجود، که این کار تولید تیم طراحی واحد صورت می گیرد.

۲- افزایش ظرفیت تولید که ناشی از افزایش در تقاضا بوده و به درخواست بازار انجام می شود. در این حالت، طراحی موجود تکرار شده و تنها تغییرات طراحی کوچکی ممکن است صورت گیرد.

۳- طراحی فرآیندهای جدید که پس از بررسی های لازم در آزمایشگاه های تحقیقاتی، واحدهای پایلوت و ارزیابی های اقتصادی پیشنهاد شده اند. حتی در این حالت هم، طراحی بیشتر تجهیزات فرآیندی از طراحی های قبلی الگو می گیرد.

ساختار یک فرآیند صنعتی شیمیایی



- همیشه باید ذخیره ماده اولیه (به مدت چند روز یا چند هفته) را مدنظر قرار داد.
- خالص سازی ماده اولیه به جلوگیری از مسموم شدن کاتالیزور و بهبود بازده فرآیند کمک می کند.
- واکنش مهم ترین بخش فرآیند است و عمدتاً وجود ترکیبات جانبی اجتناب ناپذیر است.
- ممکن است پس از خالص سازی، برخی محصولات جانبی هم قابل فروش باشند.
- در مرحله ذخیره سازی محصول، بسته به نوع و طبیعت (مایع یا جامد بودن، شرایط نگهداری و ...) آن، بسته بندی و انتقال محصول مهم است.

پیوسته یا ناپیوسته؟

- فرآیندهای پیوسته برای۲۴ ساعت در ۷ روز هفته طراحی می شوند و زمان فعالیت واحد عموماً بین ۹۰ تا ۹۵ درصد کل زمان ساعت های یک سال می باشد.

$$\text{Attainment } \% = \frac{\text{hours operated}}{8760} \times 100$$

- در فرآیندهای ناپیوسته، طراحی به گونه ای است که سیستم مرتباً متوقف و راه اندازی می شود.
- فرآیندهای پیوسته برای تولید در مقیاس بالا به کار می روند و از لحاظ اقتصادی شرایط بهتری دارند. فرآیندهای ناپیوسته عموماً در حالتی به کار می روند که انعطاف بیشتری در نرخ تولید یا مشخصات محصولات مدنظر باشد.
- از جمله مزایای فرآیند ناپیوسته می توان به موارد زیر اشاره کرد:

– می توان به محصولات متفاوت و شرایط خاص برای هر محصول دست یافت.

– به دلیل انجام عملیات تمیزکاری در هر Batch، برای فرآیندهای با شرایط استریل مناسب هستند.

– نسبت به فرآیندهای پیوسته، هزینه سرمایه گذاری پایین تری دارند از لحاظ قطعات دستگاه ها محدودیت کمتری نسبت به فرآیند پیوسته وجود دارد.

سیستم های آحاد

Quantity	Customary Unit	SI Unit Approx.	Exact
Energy	1 Btu	1 kJ	1.05506
Specific enthalpy	1 Btu/lb	2 kJ/kg	2.326
Specific heat capacity	1 Btu/lb°F	4 kJ/kg°C	4.1868
Heat transfer coeff.	1 Btu/ft2h°F	6 W/m^2 °C	5.678
Viscosity	1 centipoise	1 mNs/m^2	1.000
	1 lbf/ft h	0.4 mNs/m^2	0.4134
Surface tension	1 dyne/cm	1 mN/m	1.000
Pressure	1 lbf/in^2 (psi)	7 kN/m^2	6.894
	1 atm	1 bar	1.01325
		10^5 N/m^2	
Density	1 lb/ft^3	16 kg/m^3	16.0185
	1 g/cm^3	1 kg/m^3	
Volume	1 US gal	3.8×10^{-3} m^3	3.7854×10^{-3}
Flow rate	1 US gal/min	0.23 m^3/h	0.227

Note:
1 U.S. gallon = 0.84 imperial gallons (UK)
1 barrel (oil) = 42 U.S. gallons ≈ 0.16 m^3 (exact 0.1590)
1 kWh = 3.6 MJ

بهینه سازی عملیاتی

- تبدیل مواد خام به محصولات با ارزش از طریق واکنش های شیمیایی بخش عمده ای از فرآیندهای صنعتی را شامل می شود. حداکثر تبدیل ممکن (تعادل واکنش) و سرعت رسیدن به این تعادل در یک واکنش شیمیایی (سینتیک) در اقتصادی بودن آن بسیار مهم هستند. هر دو عامل تابعی از دما، فشار و جزء مواد واکنش دهنده می باشند.
- برای مثال:

در این حالت، سرعت سینتیکی واکنش بالا خواهد بود

$$SO_{2\,(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \xrightarrow{V_2O_{5(s)}} SO_{3(g)} \qquad T = 300\,^oC$$

در این حالت، میزان تبدیل تعادلی (X_e) برابر با ۹۰٪ می باشد

$$SO_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \xrightarrow{V_2O_{5\,(s)}} SO_{3(g)} \qquad T = 520^oC$$

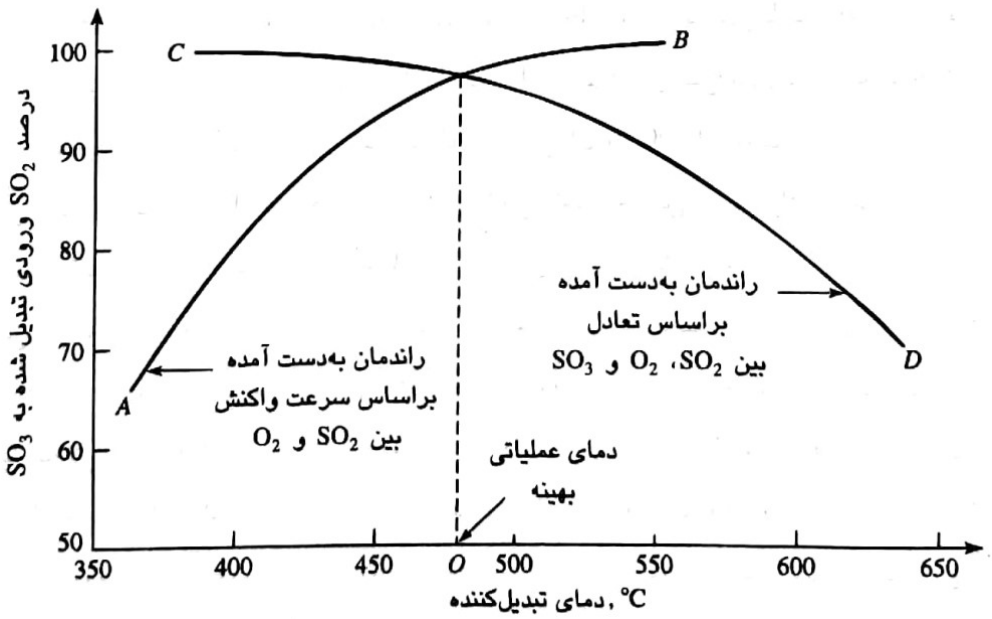
در این حالت، میزان تبدیل تعادلی (X_e) برابر با ۵۰٪ است

$$SO_{2(g)} + \frac{1}{2} O_{2(g)} \xrightarrow{V_2O_{5\,(s)}} SO_{3(g)} \qquad T = 680\,^oC$$

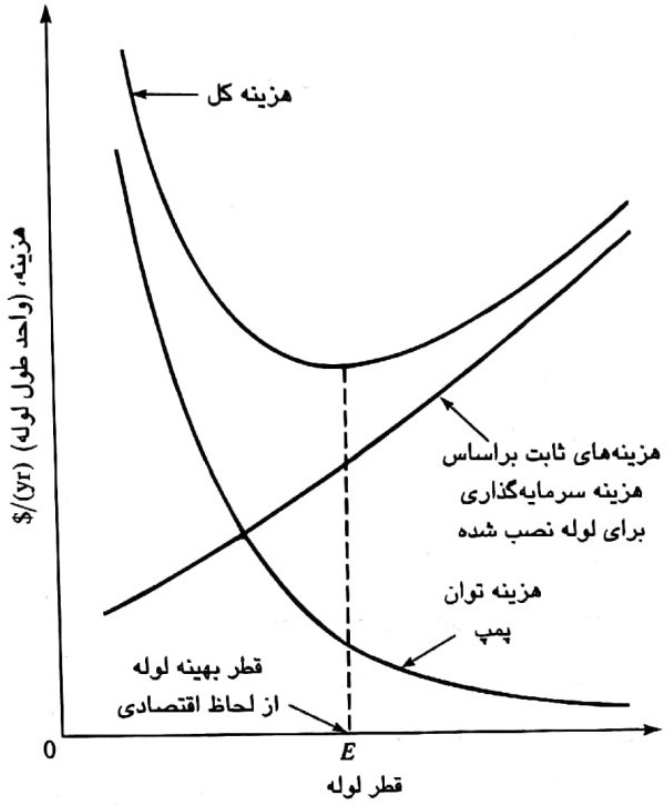
مقدار X_e بدون توجه به شدت یا سرعت رسیدن به تعادل در نظر گرفته می شود.

در ترمودینامیک، هدف از مطالعه تعادل، تعیین اثر دما، فشار و نسبت مواد واکنش دهنده بر تبدیل تعادلی مواد واکنش دهنده است.

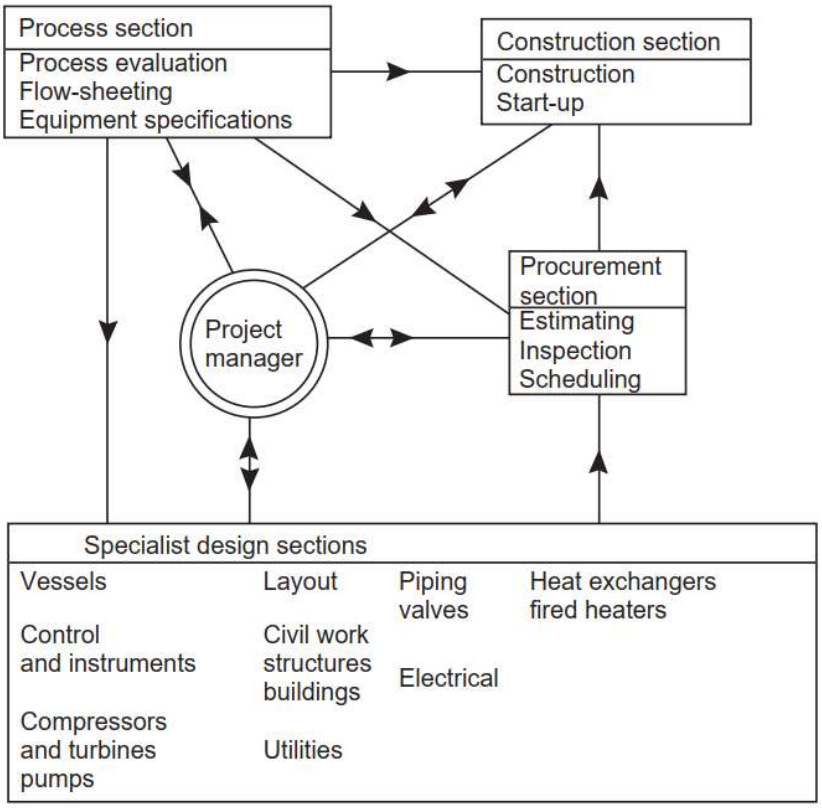
بهینه سازی عملیاتی



بهینه سازی اقتصادی



سازمان دهی پروژه



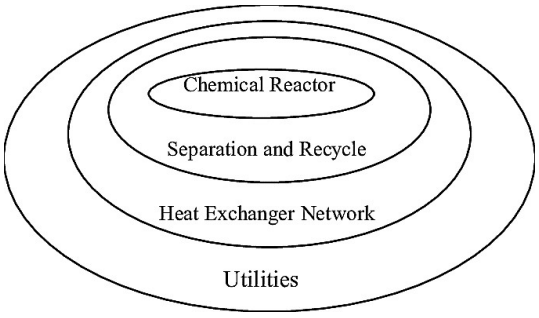
مراحل طراحی

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:



مراحل طراحی

۳. طراحی فرآیند: تشخیص بهترین فرآیند

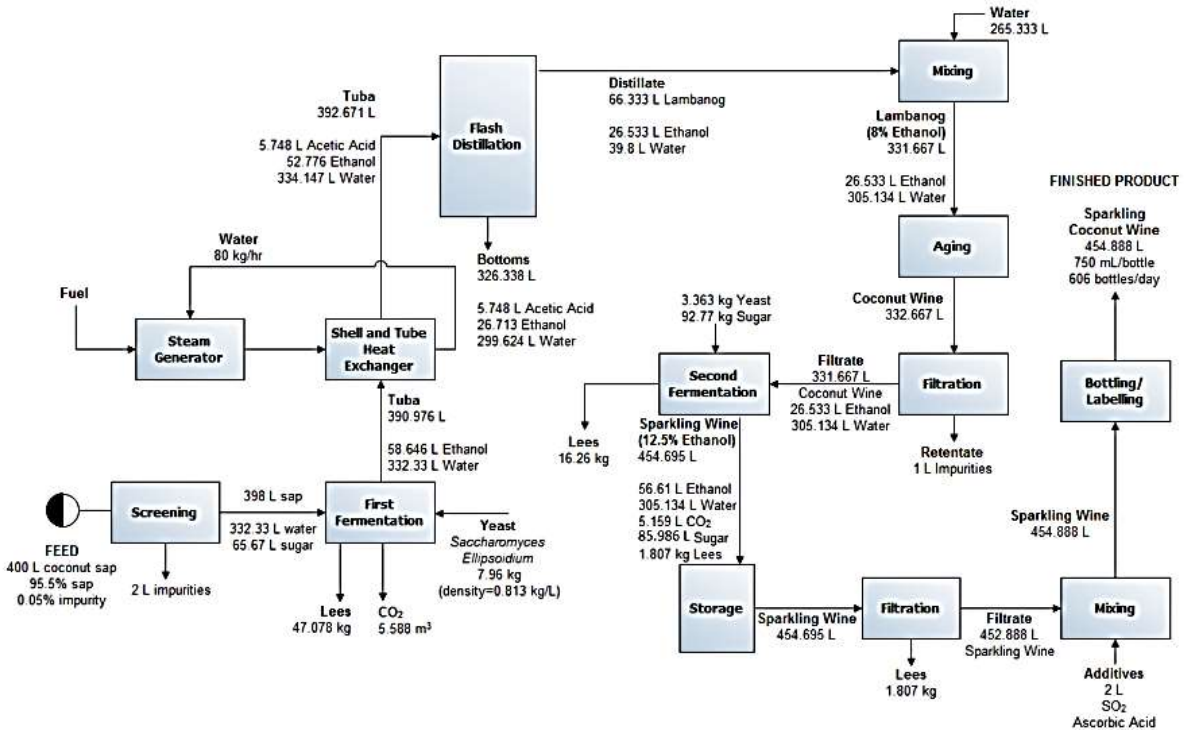
- با بررسی عوامل فنی، مواد اولیه، محصولات جانبی و زائد، تجهیزات، محل کارخانه، هزینه ها، زمان، ملاحظات فرآیندی
- انواع طراحی فرآیند (۵ نوع): از لحاظ بزرگی، طراحی مطالعاتی، طراحی مقدماتی، طراحی تفصیلی-تخمینی، و طراحی تفصیلی یا نهایی

۴. نمودارهای جریان فرآیند

- Process Flow Diagram (PFD)

۵. نمودار لوله‌کشی و ابزاردقیق (P&ID)

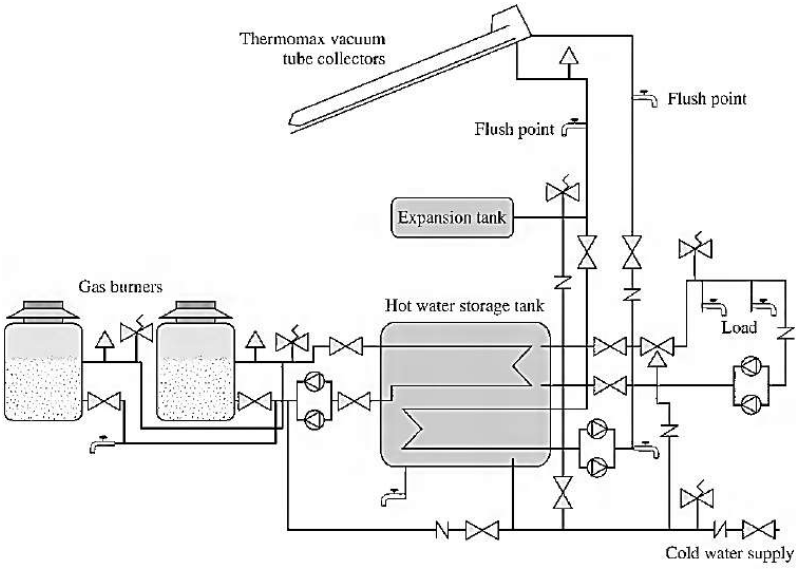
A typical quantitative PFD



مراحل طراحی

۵. نمودار لوله‌کشی و ابزاردقیق

Pipping & Instrumentation Diagram (P&ID)



مراحل طراحی

۶. 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†

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 overdesign factor, %
Agitated batch crystallizers	Yes	Solubility–temperature relationship	Flow rate Heat-transfer area	>100 : 1	20
Batch reactors	Yes	Reaction rate Equilibrium state	Volume Residence time	>100 : 1	20
Centrifugal pumps	No	Discharge head	Flow rate Power input Impeller diameter	>100 : 1 >100 : 1 10 : 1	10
Continuous reactors	Yes	Reaction rate Equilibrium state	Flow rate Residence time	>100 : 1	20
Cooling towers	No	Air humidity Temperature decrease	Flow rate Volume	>100 : 1 10 : 1	15
Cyclones	No	Particle size	Flow rate Diameter of body	10 : 1 3 : 1	10
Evaporators	No	Latent heat of vaporization Temperatures	Flow rate Heat-transfer area	>100 : 1 >100 : 1	15
Hammer mills	Yes	Size reduction	Flow rate Power input	60 : 1 60 : 1	20

مراحل طراحی

۶. 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		
Identification:	Item: *Condenser* Item No. *H-5* No. required *1*	Date 1-1-02 **By** ***PTW***
Function: *Condense overhead vapors from methanol fractionation column*		
Operation: *Continuous*		
Type: *Horizontal* *Fixed tube sheet* *Expansion ring in shell* Duty *1000 kW* Outside area *44* m^2		
Tube side: Fluid handled *Cooling water* Flow rate *0.025* m^3/s Pressure *240 kPa* Temperature *15 to 25°C* Head material *Carbon steel*	**Tubes:** *0.0254 m* diam. *14* BWG *0.03175 m* Centers Δ Pattern *225* Tubes each Length *2.44 m* *2* Passes Tube material *Carbon steel*	
Shell side: Fluid handled *Methanol vapor* Flow rate *0.9 kg/s* Pressure *101 kPa* Temperature *65°C* to (*constant temp.*)	**Shell:** *0.56 m* diam. *1* Passes (Transverse baffles *Tube support* Req'd) (Longitudinal baffles *0* Req'd) Shell material *Carbon steel*	
Utilities: *Untreated cooling water* **Controls:** *Cooling-water rate controlled by vapor temperature in vent line* **Insulation:** *0.051 m rock cork or equivalent; weatherproofed* **Tolerances:** *Tubular Exchangers Manufacturers Association (TEMA) standards* **Comments and drawings:** *Location and sizes of inlets and outlets are shown on drawing*		