

اصول طراحی کارخانجات

مجموعه مهندسی صنایع غذایی

دکتر محمدامین محمدی فر

مؤسسه آموزش عالی آزاد پارسه

چتر

چاپ ششم: بهار ۸۸ | تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه | ISBN: 964 - 8719 - 63 - 2
شابک: ۲ - ۶۳ - ۸۷۱۹ - ۹۶۴ | ۸۸۴۲۱۱
نشانی: پلازو آز میدان ولی عصر | کوچه دانش گیان | ساختمان ۴۹ | تلفن: ۸۸۴۲۱۱

به نام خدا

هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است
متخلفان به موجب بند ۵ ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان و مصنفان و همسران
تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مؤسسه آموزش عالی آزاد پارسه است.

مقدمه

درس مهندسی صنایع غذایی از جمله دروسی است که دانشجویان مجبور به به کارگیری اصول مطرح شده در درس فیزیک و ریاضی جهت بررسی عطیلات فیزیکی و انتقال انرژی در مواد غذایی از بعد کمی می باشند. بنابراین تحوی مطالعه و برخورد با این درس کمی متفاوت با دروسی نظیر شیمی یا میکروبیولوژی می باشد. در جزوات ارائه شده سعی گردیده تا با بیانی ساده و به دور از توضیحات اضافی، حاکتور سرفصل های مهم (از دید آمادگی برای آزمون کارشناسی ارشد) پوشش داده شود مثال هایی که در طول درس آمده از سوالات

کنکور سال های قبل یا کتب مرجع انتخاب شده اند.

توصیه می شود اعداد و ارقام ارائه شده در متن حفظ شوند و پس از مطالعه ی هر بخش سوالات کنکور سال های قبل (حدود ۱۰ سال گذشته) پاسخ داده شوند.

توجه داشته باشید که معمولاً ۵۰ درصد نسبتاً خوب است اما درصد بین ۶۰ تا ۷۰ معمولاً معادل یا قبولی در کنکور در این درس می باشد بنابراین اگر می توانید حدود ۲۰ تست از ۳۰ تست کنکور را پاسخ صحیح بدهید تقریباً مطالعه این درس کافی است و بهتر است به سایر دروس مخصوصاً ریاضیات بپردازید.

در پایان لازم به ذکر است که اصولاً مطالعه کتب دیگر در زمینه ی مهندسی مفید می باشد ولی با توجه به حجم دروس دیگر و مدت زمان محدود بهتر است در درس اصول مهندسی و طراحی به جزوات ارائه شده اکتفا کنید و پس از مطالعه ی کل جزوات مطالب و روابطی که مهم تشخیص می دهید حاکتور در دو برگ خلاصه نماید.

محمد امین محمدی نقر

بهار ۸۸

۹	انواع جرم مخصوص ظاهری یا bulk density یا ρ_B
۱۳	روش‌های بیان محتوای رطوبت.....
۱۹	قانون بقای جرم و موازنه‌ی جرم.....
۲۵	بررسی رژیم جریان در لوله.....
۳۲	انواع انرژی مکانیکی.....
۳۳	اقت فشار اصطکاکی برای جریان سیال در لوله.....
۲۵	اقت فشار در شرایط جریان قلیانی.....
۴۱	پمپ.....
۴۲	پدیده کاویتاسیون.....
۵۸	رابطه فشار سیال در دهانه مکش بادی.....
۶۵	انتقال حرارت.....
۶۹	تخمین ضریب انتقال حرارت (h_c)
۷۲	انتقال حرارت یکجواخت و غیریکجواخت.....
۷۵	انتقال حرارت به روش تشعشع.....
۷۷	مبدل‌های حرارتی.....
۷۸	امواج یا فرکانس رادیویی.....
۸۱	ترمودینامیک.....
۸۲	کار در فرایند فشار ثابت.....
۸۳	کار فرایند ایزوترمال.....
۸۵	قانون اول در فرایند آدیاباتیکی.....
۸۵	قانون اول در سیستم‌های باز.....
۸۶	قانون دوم ترمودینامیک.....
۸۷	تغییر آنتالپی کل.....
۹۱	بررسی فرایند تبخیر.....
	سیکل کارنوت.....

۹۵
۱۰۹	روش‌های افزایش رانندگی.....
۱۱۰	مطالبات قبل از اجرای طرح.....
۱۱۱	مطالبات محل اجرای طرح.....
۱۱۱	مبانی طراحی کارخانه.....
۱۱۲	اهداف طراحی.....
۱۱۳	انوماسیون.....
۱۱۴	عوامل مؤثر در خودکار شدن خط تولید.....
۱۱۸	نشانه‌های یک طرح خوب.....
۱۲۲	نقشه‌ها.....
۱۲۳	محاسن.....
۱۲۴	معایب.....
۱۲۷	خصوصیات ساختمانی کارخانجات غذایی.....
۱۲۹	لوله‌ها و اتصالات.....
۱۲۹	انبار.....
۱۳۱	محاسبه مساحت سالن تولید.....
۱۳۴	دیگ بخار.....
۱۳۵	تأمین برق کارخانه و موتورهای الکتریکی.....
۱۳۷	روش‌های تصفیه فاضلاب.....
۱۳۸	سردخانه.....
۱۴۱	خوردگی.....
۱۴۳	توجیه اقتصادی طرح.....
	محاسبه قیمت فروش.....

آحاد و ابعاد

سیستم‌های اندازه‌گیری به دو دسته کلی متریک و انگلیسی تقسیم می‌شوند.

English absolute
British Engineering
American Engineering

۱ - سیستم انگلیسی

همان‌طور که می‌بینیم این سیستم دارای سه زیر مجموعه است، که این سه، تفاوت اندکی دارند، مثلاً در هر سه مورد، واحد طول، "فوت" و واحد درجه حرارت، "درجهی فارنهایت" می‌باشد. آنچه که برای آزمون لازم است بدانیم عبارت است از:

پوند جرم (lb_m)، که برابر با 453 گرم است.
اینچ (Inch)، که برابر با 2.54 سانتی‌متر است.
فوت (ft)، که برابر با حدود 30.5 سانتی‌متر است.

همان‌طور که می‌بینیم: $1 ft = 12 inch$

موارد فوق حفظ شود.

جرم	طول	زمان	درجه حرارت
گرم	سانتی‌متر	ثانیه	درجه سانتی گراد
← cgs			
متر	کیلوگرم	ثانیه	درجه سانتی گراد
← mks			
متر	کیلوگرم	ثانیه	کلوین
← SI			

۲ - سیستم متریک

سیستم متریک مبتنی بر پیشوندهای مقداری می‌باشد. دقت شود تنها در سیستم SI واحد نیرو، نیوتن و واحد انرژی، ژول می‌باشد.
اکتون باید در زمان کوتاه، این واحدها را به هم تبدیل کنیم.

سؤال ۱: یک متر، چند اینچ و چند فوت است؟

$$1m = 100cm \Rightarrow \frac{100cm}{30.5 \frac{cm}{ft}} = 3.28 ft$$

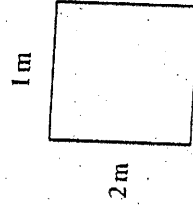
$$\Rightarrow \frac{100cm}{2.53 \frac{cm}{inch}} = 39.4 inch \quad یا \quad 3.28 ft \times 12 \frac{inch}{ft} = 39.4 inch$$

پس حفظ می‌کنیم یک متر 3.28 فوت می‌باشد.

پس حفظ کنیم یک متر 39.5 اینچ می‌باشد.

یادآوری: یک فوت برابر 12 اینچ می‌باشد.

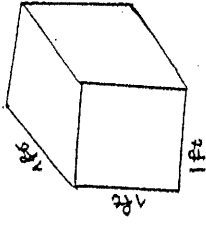
سؤال ۲: دو متر مربع چند فوت مربع است؟



$$2m^2 = 2m \cdot 1m$$

$$2m^2 \times 3.28 \frac{ft}{m} \times 3.28 \frac{ft}{m} = 21.5 ft^2$$

سؤال ۳: یک فوت مکعب چند لیتر است؟



$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$$

$$0.028 \text{ x} = 28$$

$$1 \text{ ft} = 30.5 \text{ cm} = 0.305 \text{ m}$$

$$1 \text{ ft}^3 = (0.305)^3 = 0.028 \text{ m}^3$$

می دانیم یک متر مکعب هزار لیتر است، بنابراین:

سؤال ۴: یک لیتر چند سانتی متر مکعب است؟

$$1000 \text{ lit} = 1 \text{ m}^3 = 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 10^6 \text{ cm}^3$$

$$\Rightarrow \frac{1000 \text{ liter}}{1 \text{ liter}} = \frac{10^6 \text{ cm}^3}{x}$$

$$x = 1000 \text{ cm}^3$$

توجه ۱: این گونه تبدیل واحدها در اغلب سوالات و مسائل مطرح می شوند و کمتر به تنهایی سؤال می باشند، در مباحث آینده با کاربرد آن ها در سوالات آشنا خواهیم شد.

توجه ۲: با واحدهای فشار، نیرو و ... در مباحث مربوط به خودشان آشنا می شویم.

یادآوری: در مورد دما دو رابطه ی زیر را حفظ می کنیم:

$$^{\circ}\text{F} = 1.8^{\circ}\text{C} + 32$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

توجه ۱: سیستم درجه حرارت فارنهایت 180 قسمتی است ولی درجه سانتی گراد و کلوین 100 قسمتی می باشند. بنابراین یک درجه ی

فارنهایت دقیق تر از یک درجه ی سانتی گراد می باشد.

توجه ۲: وقتی به طور مثال، می گوئیم دما 10 درجه سانتی گراد است، با روابط بالا به درجه فارنهایت تبدیل می شود، ولی وقتی

می گوئیم، هر 10 درجه سانتی گراد (اختلاف دما) چند درجه فارنهایت است باید دقت کنید که معادل 1.8^{\circ}\text{C} یا 18^{\circ}\text{F} درجه فارنهایت

می باشد.

جرم مخصوص - حجم مخصوص و ...

انواع جرم مخصوص یا دانسیته

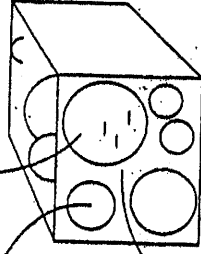
۱- جرم مخصوص ظاهری یا Bulk density یا ρ_B

یک جعبه حاوی سببزمینی را تصور کنید. در حالت عادی که توده‌ی سببزمینی در جعبه قرار دارد خلل و فرج زیادی مابین سببزمینی‌ها مشاهده می‌شود. (مطابق شکل) در این حالت هرگاه جرم جعبه را تقسیم بر حجم جعبه کنیم دانسیته ظاهری به دست می‌آید.

$$\rho_B = \frac{M}{V_T} \rightarrow \begin{matrix} \nearrow & \searrow \\ \text{جرم کل سبب زمینی} & \text{حجم کل} \end{matrix}$$

خلل و فرج داخل بافت سبب زمینی

سبب زمینی



خلل و فرج بین سببزمینی‌ها

$$V_T = V_p + V_a + V_v$$

جرم ذره‌ها

free air

membrane air

هوای آزاد

هوای غشایی

حجم خلل و فرج موجود + حجم خلل و فرج + حجم سبب زمینی خالص = حجم کل
در جعبه
یا می‌توان گفت، حجم کل (V_T) برابر است با:

۲- دانسیته ذره یا Particle density یا ρ_p

اگر سببزمینی‌ها را در جعبه تحت فشار قرار دهیم تا خلل و فرج (هوای آزاد) یا سببزمینی بر شود، می‌توان در جعبه مقدار بیش‌تری سببزمینی جا داد. در این حالت جرم جعبه‌ی پر از سببزمینی تقسیم بر حجم جعبه را دانسیته ذره گویند.

$$\rho_p = \frac{m}{V_T - V_a}$$

به عبارت دیگر هرگاه جرم یک عدد سببزمینی را تقسیم بر حجم آن کنیم ρ_p به دست می‌آید.

۲. دانسیته واقعی یا True density یا ρ_T یا دانسیته جامد ρ_s

اگر در حالت دوم که جعبه پر از سیبزمینی است و هوای آزاد نداریم، هوای غشایی را که داخل بافت سیبزمینی موجود است با حلال خارج کنیم، در این حالت نیز می‌توانیم مقدار بیش‌تری سیبزمینی در همان جعبه جا داد. بنابراین دانسیته واقعی (دانسیته جامد)

برابر است با:

$$\rho_T \text{ یا } \rho_s = \frac{m}{V_T - V_A - V_{ma}}$$

توجه: برای یک ماده‌ی معین داریم:

$$\rho_T > \rho_p > \rho_B$$

توجه ۱: از دانسیته ظاهری برای تعیین حجم سیلوها استفاده می‌شود. مثلاً 1000 kg سیبزمینی حداقل نیاز به سیلویی با حجم

$$V = \frac{1000}{\rho_B} \text{ دارد.}$$

توجه ۲: از دانسیته ذره برای جداسازی ناخالصی‌ها از محصول استفاده می‌شود مثلاً در جداسازی چغندر و سنگ از هم یا در جداسازی

کاه و کلش از دانه گندم.

توجه ۳: دانسیته آب حدود $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ، دانسیته نمک $2160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ، دانسیته ساکارز، نشاسته و گلوکز همگی در حدود

تذکر: دانسیته آب صفر درجه، حدود $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ولی دانسیته یخ صفر درجه، $916 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ می‌باشد. چرا؟

سؤال: غلظت مادهای $1 \frac{\text{gr}}{\text{lit}}$ است مطلوب است محاسبه غلظت بر حسب $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$:

$$1 \frac{\text{gr}}{\text{lit}} = \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{1000 \text{ liter}} \Rightarrow \frac{1 \text{ gr}}{\text{liter}} = \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$1 \frac{\text{gr}}{\text{lit}} = \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow \frac{1 \text{ gr}}{\text{liter}} = \frac{1}{1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

بنابراین یک گرم بر لیتر، همان یک کیلوگرم بر متر مکعب است. اکنون تعیین کنید $1 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}$ چند (گرم بر میلی‌لیتر) است؟

تذکر ۱: با افزایش دما، حجم زیاد می‌شود و دانسیته کوچک می‌گردد.

تذکر ۲: موادی که مقدار بالایی آب دارند، دانسیته آن‌ها به دانسیته آب نزدیک است.

ثقل ویژه یا specific gravity یا SG

هرگاه دانسیته یک سیال را بر دانسیته آب تقسیم کنیم، عدد حاصل رادانسیته نسبی یا ثقل ویژه گویند، که بدون بعد (بدون واحد) می‌باشد.

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{\text{آب در همان دما}}}$$

سؤال: SG: یک ماده برابر با 1.032 می باشد مطلوب است دانسیته این ماده:

$$\rho = SG \times \rho_{\text{آب}} \Rightarrow 1.032 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

سیال

که دانسیته شیر می باشد.

خل و فرج

همان طور که دیدیم در جعبه سینبزمینی، مقداری خل و فرج داشتیم. خل فرج به دو صورت گزارش می شود:

$$1 \text{ پرآستی} = \frac{V_{fa} + V_{ma}}{V_T} = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_s}$$

$$2 \text{ ویدج} = \frac{V_{fa}}{V_T} = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_p}$$

توجه: همواره پرآستی از ویدج بزرگتر است زیرا علاوه بر هوای آزاد، هوای غشایی را نیز در بر گرفته است.

سؤال: اگر دانسیته واقعی (ρ_s) دو برابر دانسیته ذره (ρ_p) و ρ_p دو برابر دانسیته توده (ρ_B) باشد، میزان پرآستی را محاسبه کنید.

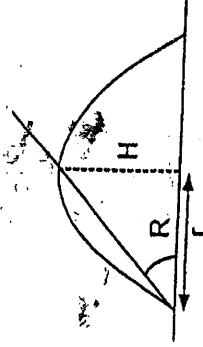
$$\rho_s = 2\rho_p = 4\rho_B \Rightarrow \text{پرآستی} = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_s}$$

$$\Rightarrow \text{پرآستی} = 1 - \frac{\rho_B}{4\rho_B} = \frac{3}{4}$$

زاویه ریپوز - زاویه لغزش - زاویه اصطلاک داخلی

۱- زاویه ریپوز (Repose angle)

زاویه ای که تل مواد با سطح افق تشکیل می دهد. مثلاً وقتی یک کامیون، بار شن خالی می کند، شکل زیر به وجود می آید:



$$\text{tg} R = \frac{H}{r}$$

H: ارتفاع توده

R: زاویه ریپوز

r: شعاع توده

مقدار این زاویه از ویژگی های ماده است. مثلاً مقدار این زاویه برای توده نمک، کم و برای توده هندوانه یا ماهی منجمد، زیاد می باشد.

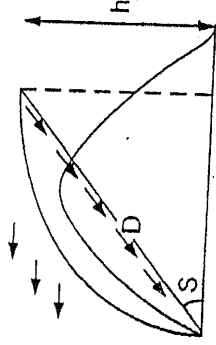
۲- زاویه لغزش (sliding angle)

زاویه‌ای که تل مواد در این زاویه ریزش خواهد کرد.

S : زاویه لغزش

h : ارتفاعی که سطح رابلا برده‌ایم.

D : قطر توده



$$\sin s = \frac{h}{D}$$

این زاویه به خصوصیات ماده، نظیر چسبندگی ذرات به هم و به سطح حامل و نیز به زاویه ریوز بستگی دارد. هر چه زاویه ریوز بیش تر باشد، این زاویه (لغزش) کمتر خواهد بود.

سؤال: اگر زاویه ریوز 45 درجه باشد و ارتفاع توده مواد 10 cm و توده مواد در ارتفاع 10 سانتی‌متری ریزش کند، زاویه لغزش چقدر است؟

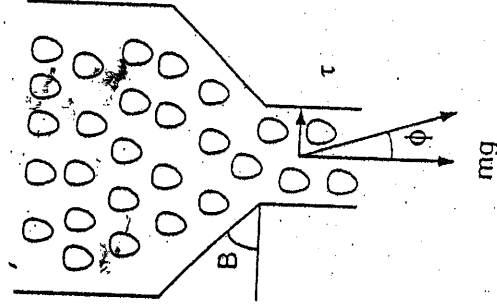
$$\tan 45 = \frac{H}{r} = 1 \Rightarrow H = r \text{ یا } H = \frac{D}{2} \text{ یا } D = 2H$$

$$\sin s = \frac{h}{D} = \frac{10 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = \frac{1}{2} \Rightarrow s = \text{Arcsin} \frac{1}{2}$$

$$S = 30^\circ$$

زاویه اصطکاک داخلی

در هنگام تخلیه مواد پودری از یک مخزن با دو نیروی افقی (تنش) و نیروی عمودی (وزن) روبه‌رو هستیم که برآیند این دو نیرو زاویه خروج محصول از مخزن را تعیین می‌کنند. به این زاویه، زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) می‌گویند.



نیروی تنش ساز

$$\tan \phi = \frac{\tau}{Mg} \quad (1)$$

نیروی وزن

اصولاً نیروی افقی ممکن است ناشی از تنش و نیز نیروی چسبندگی (ناشی از رطوبت و ...) باشد.

نیروی چسبندگی نیروی افقی کل

$$\begin{array}{c} \uparrow \\ \tau + \tau \\ \downarrow \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} \uparrow \\ \tau = \tau \\ \downarrow \end{array} \Rightarrow \begin{array}{c} \uparrow \\ \tau = \tau \\ \downarrow \end{array}$$

نیروی تنش ساز

نیروی چسبندگی

بنابراین برای محاسبه زاویه اصطکاک داخلی با استفاده از رابطه (1)، اگر نیروی افقی کل داده شده باشد؛ ابتدا باید نیروی تنش ساز محاسبه شود و بعد به رابطه (1) مراجعه کنیم.

توجه: هر چه زاویه β کوچک باشد، نیروهای افقی بیش تر شده تا جایی که مواد اصلاً از مخزن تخلیه نمی شوند. (مثل زمانی که شکر از دهانه شکریاش تخلیه نمی شود و باید ضربه بزنیم)
حداقل مقدار β باید برابر زاویه ریوز ماده‌ی درون مخزن باشد.

روش های بیان محتوای رطوبت

یک ماده غذایی مثل سیب، از دو بخش ماده‌ی خشک و رطوبت تشکیل شده است؛ درصد رطوبت در ماده غذایی به دو صورت گزارش می شود:

Moisture	Content	Wet	basis
M	c	w	b

۱- محتوای رطوبت بر مبنای مرطوب

$$MC_{wb} = \frac{\text{مقدار رطوبت}}{\text{جرم رطوبت} + \text{جرم ماده خشک}} \times 100 = \frac{\text{جرم رطوبت}}{\text{جرم کل}} \times 100$$

وقتی به طور روزمره می گوئیم، سیب ۹۰ درصد رطوبت دارد، در واقع mc_{wb} را ذکر می کنیم.

Moisture	Content	Dry	basis
M	c	d	b

۲- محتوای رطوبت بر مبنای خشک

$$MC_{db} = \frac{\text{مقدار رطوبت}}{\text{مقدار ماده خشک}} \times 100$$

در معادلات خشک کردن، اغلب محتوای رطوبت را بدین روش بیان می کنند، زیرا در طی خشک کردن، مقدار ماده خشک ثابت بوده و فقط مقدار آب کم می شود. بنابراین اگر MC_{db} ماده غذایی، پس از خشک شدن را از MC_{db} اولیه، کم کنیم، به راحتی مقدار رطوبت از دست رفته به دست می آید.

سؤال: اگر محتوای رطوبت، بر مبنای مرطوب ۶۰ درصد باشد، محتوای رطوبت، بر مبنای خشک این ماده چقدر است؟
آب (w)

$$MC_{wb} = \frac{60}{60 + 40} \times 100 = \frac{60}{100}$$

آب (w) ماده خشک (d)

رطوبت (w)

$$MC_{db} = \frac{60}{(d)40} * 100 = \%150$$

ماده خشک

بدون هیچ رابطهای از رابطه فوق نتیجه می شود:

توجه : مقدار محتوای رطوبت، بر مبنای مرطوب می تواند حداقل صفر و حداکثر 100 باشد و مقدار محتوای رطوبت بر مبنای خشک،

$$MC_{wb} = 0$$

و

$$MC_{db} = 0$$

$$MC_{wb} = \%100$$

$$MC_{db} = \infty = \frac{100}{0} = \infty$$

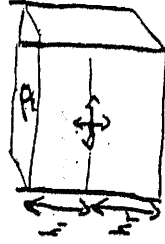
مقدار ماده خشک

و در مورد آب که اصلاً ماده خشک ندارد:

$$MC_{wb} = \frac{MC_{db}}{MC_{db} + 1}$$

سؤال : رابطه MC_{wb} و MC_{db} را نشان دهید.

جواب :



فشار (Pressure)

عبارت است از نیرو، تقسیم بر واحد سطح و اصولاً ناشی از حضور مولکول ها می باشد.

توجه : در مورد مایعات، فشار به ارتفاع مایع بستگی دارد و به سطح بستگی ندارد.

$$\rho = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A} = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho A h g}{A} = \rho g h$$

ρ : جرم حجمی

γ : وزن مخصوص

هد: h

یادآوری: $\gamma = \rho g \left(\frac{N}{m^3} \right)$ (وزن مخصوص)

توجه : در یک ارتفاع معین از سطح آزاد مایع، فشار در تمام جهات به طور یکسان وارد می شود (واحد فشار در سیستم SI پاسکال

می باشد که برابر است با نیوتن بر متر مربع).

$$1 \text{ pa} = 1 \frac{N}{m^2}$$

توجه: h_1 ارتفاع روی سرسیال است و h_2 ارتفاع زیر سیال که برای محاسبه انرژی پتانسیل (Mgh_2) به کار می‌رود.
واحدهای دیگر فشار عبارتند از: بار، اتمسفر، پی اس آی.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar} = 14.7 \text{ psi} = 101.325 \text{ kPa}$$

تذکر:

$$1 \text{ psi} = 1 \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} = 1 \frac{\text{پوند نیرو}}{\text{اینچ مربع}}$$

توجه ۱: فشار هوا در سطح دریا معادل یک اتمسفر است.

توجه ۲: فشار بخار آب ۱۰۰ درجه نیز حدود یک اتمسفر است.

بنابراین در سطح دریا آب در ۱۰۰ درجه می‌جوشد. (فشار بخار سیال با فشار روی سر سیال برابر می‌شود).

سؤال: ظرفی با ارتفاع ۷۶۰ میلی‌متر حاوی جیوه با دانسیته $\frac{13600 \text{ kg}}{\text{m}^3}$ می‌باشد، مطلوب است محاسبه فشاری که به کف ظرف وارد

می‌شود؟ (بر حسب کیلو پاسکال و psi)

$$p = \rho gh \quad 760 \text{ mm} = 0.76 \text{ m}$$

$$p = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.76 \text{ m} \Rightarrow p = 101300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 1 \text{ atm}$$

توجه: pa یا $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ را می‌توان بصورت $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}^2}$ نیز نوشت. چرا؟

$$101300 \text{ pa} = 14.7 \text{ psi}$$

و نهایتاً

بنابراین در گزارش فشار، می‌توان به جای 101300 pa گفت: ارتفاع معادل فشار ۷۶ cm جیوه است، زیرا مشاهده کردیم ستون ۷۶ سانتی‌متری جیوه، فشاری معادل ۱۰۳۰۰ پاسکال تولید می‌کند. به این ارتفاع معادل فشار، هد (head) نیز می‌گویند.

سؤال: فشار ۳۸ سانتی‌متر جیوه که به کف ظرف وارد می‌شود معادل چند psi و چند مترآب می‌باشد؟

$$p = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.38 \text{ m} = 50698$$

پاسکال

$$101300 \text{ pa} \sim 14.7 \text{ psi}$$

$$50698 \quad x = 7.357 \text{ psi}$$

$$\rho gh = \rho' g h' \quad \rho_{\text{Hg}} h_{\text{Hg}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} h_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.38 \text{ m} = 1000 \times h_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\Rightarrow h_{\text{H}_2\text{O}} = 5.168 \text{ m}$$

بنابراین گاهی به جای فشار، از اصطلاح هد استفاده می‌شود. به طور مثال به جای این که بگویند فشار ۱۰۱ kPa است، می‌گویند ارتفاع فشار ۷۶ cm جیوه است.

می دانیم فشار، ناشی از حضور مولکول ها است. بنابراین در خلأ کامل، که مولکولی وجود ندارد فشار صفر می باشد.

فشار مطلق (absolute pressure) : مقدار فشار نسبت به خلأ کامل اندازه گیری و بیان می شود.

فشار گیج (gauge pressure) : مقدار فشار نسبت به فشار اتمسفر اندازه گیری و بیان می شود. فشارسنج ها این فشار را نشان می دهند.

رابطه این دو عبارت است از:

$$\begin{array}{ccc} \text{فشار مطلق} & \text{فشار اتمسفر} & \text{فشار سنج} \\ \uparrow P_{abs} = & \uparrow P_{atm} + & \nearrow P_G \end{array}$$

تذکر : در شرایط خلأ P_G منفی است.

هرگاه لاستیک اتومبیل پنجر شود و باد آن خالی شود، (لاستیک شل می شود و $P_G = 0$) فشار هوای درون لاستیک معادل فشار هوای بیرون یعنی یک اتمسفر می شود. اکنون می توان با یک پمپ، هوای درون لاستیک را مکید تا فشار درون لاستیک از یک اتمسفر هم کمتر شود و یا اینکه هوا به درون لاستیک دمید و فشار آن را از یک اتمسفر بالاتر برد.

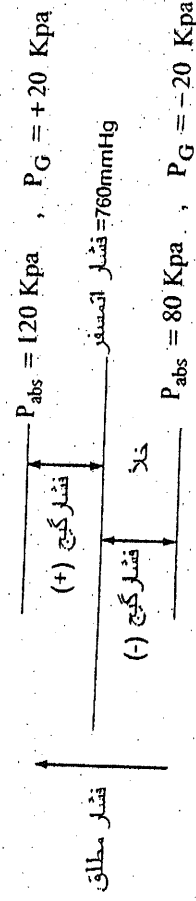
توجه : در صنایع غذایی اغلب در دستگاه های پخت، سرشته و یا در اواپراتورها با ایجاد خلأ نسبی در سیستم، فشار روی سر ماده غذایی را کم کرده و سیال غذایی در دمای پایین تری می جوشد.

سؤال : در یک دستگاه تیغیر کننده تحت خلأ به میزان 100 میلیمتر جیوه خلأ داریم مطلوب است میزان فشار مطلق بر حسب کیلو پاسکال (kpa) ؟

فشار گیج خلأ فشار اتمسفر

$$\begin{aligned} P_{abs} &= 760 \text{ mmHg} \quad \swarrow \quad 100 \text{ mmHg} \quad P_{abs} = 660 \text{ mmHg} \\ P_{abs} &= 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.66 \text{ m} \\ P_{abs} &= 88054.56 = 88 \text{ kpa} \end{aligned}$$

مطالب فوق در شکل زیر خلاصه شده است:

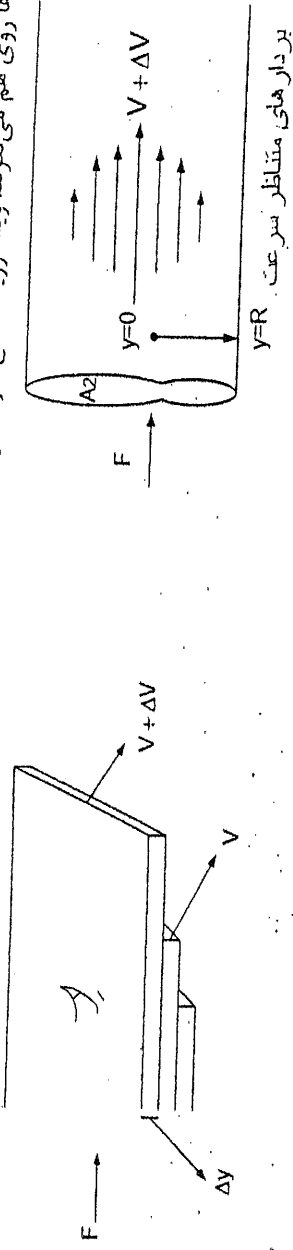


خلأ کامل $P_{abs}=0 \Rightarrow P_G = -atm$

ویسکوزیته

خاصیت سیال، که مسئول مقاومت در برابر نیروی وارد بر سیال و ایجاد تنش برشی در آن می باشد.

سیالی که درون یک لوله با سرعت کم جریان دارد را می توان به صورت لایه های لغزان روی هم در نظر گرفت. در اثر اعمال نیرو، این لایه ها روی هم می لغزند. ویسکوزیته، مانع حرکت و لغزش این



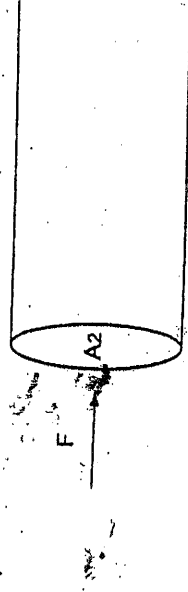
بردارهای متناظر سرعت
لایه های مجاور هم در برابر نیروی اعمال شده خارجی بر آن ها می باشد. در حقیقت نیروی ویسکوز، ناشی از نیروهای بین مولکولی بین لایه های مجاور هم می باشد. به طور تجربی مشاهده می شود که نیروی اعمال شده در واحد سطح صفحه ها مستقیماً با Δv و به طور معکوس با Δy متناسب است یعنی :

$$\frac{F}{A_1} \propto \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

ثابت تناسب

$$\frac{F}{A_1} = \mu \frac{dv}{dy}$$

با اعمال ضریب تناسب و نوشتن رابطه فوق بصورت دیفرانسیلی این تناسب به تساوی تبدیل می شود.



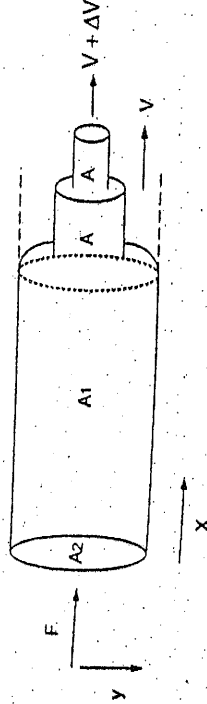
به این رابطه قانون ویسکوزیته نیوتن می گویند.

توجه :

فشار: نیروی عمود بر واحد سطح را گویند

$$P = \frac{F}{A_2} \left(\frac{N}{m^2} \right) \text{ (pa)}$$

$$\tau = \frac{F}{A_1} \left(\frac{N}{m^2} \right) \text{ (pa)}$$



تنش : نیروی موازی بر واحد سطح را گویند.

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy}$$

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

بنابراین رابطه ویسکوزیته نیوتنی را به صورت زیر می نویسیم:

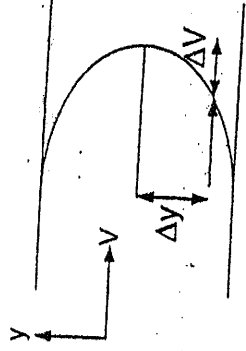
توجه: واحد ویسکوزیته را می توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \frac{\text{Pa.s}}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{s}}{\text{m}} = \frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \quad (\text{SI})$$

توجه: واحد ویسکوزیته را می توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \frac{\text{Pa.s}}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{s}}{\text{m}} = \frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \quad (\text{SI})$$

توجه: مطابق شکل زیر اگر انتهای بردارهای متناظر سرعت را به هم وصل کنیم پروفیل جریان رسم می شود:



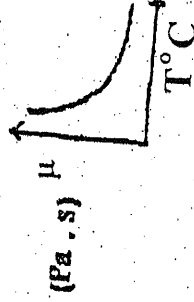
در این شکل شیب پروفیل جریان برابر است با $\frac{\Delta V}{\Delta y}$ ، بنابراین شیب پروفیل برابر است با عکس شیب پروفیل جریان یعنی $\frac{\Delta y}{\Delta V}$

تذکر: مطابق قانون ویسکوزیته نیوتنی، ویسکوزیته برابر است با:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} = \frac{\text{shear stress (Pa)}}{\text{shear rate } (\frac{1}{s})}$$

توجه: ویسکوزیته مایعات با افزایش دما کاهش می یابد (عامل ویسکوزیته جاذبه مولکولی است) و ویسکوزیته گازها با افزایش دما افزایش می یابد (عامل ویسکوزیته حرکت و برخوردهای مولکول ها می باشد)

توجه: ویسکوزیته مایعات به طور معکوس و غیر خطی با دما رابطه دارد و مدل آرنیوس رابطه دما - ویسکوزیته را نشان می دهد.



$$\ln \mu = \ln B + \frac{E}{RT}$$

E : انرژی اکتیواسیون

B: ثابت آرنیوس

T : درجه حرارت برحسب کلوین

R: ثابت جهانی گازها

با رسم $\ln \mu$ در مقابل $\frac{1}{T}$ یک رابطه خطی خواهیم داشت که شیب خط $-\frac{E}{R}$ و عرض از مبدأ ثابت آرنیوس خواهد بود.

توجه : ویسکوزیته گازها در فشارهای عادی و کم مستقل از فشار است، اما در فشارهای بالا با افزایش فشار، ویسکوزیته گازها زیاد می شود، ولی ویسکوزیته مایعات مستقل از فشار است.

توجه : هر چه مقدار E بیش تر باشد، نشان می دهد ویسکوزیته سیال بیش تر به دما جساس است.

سؤال : واحد ویسکوزیته در سیستم CGS چیست ؟

می دانیم در سیستم SI واحد ویسکوزیته pa.s یا $\frac{\text{kg}}{\text{ms}}$ می باشد که در CGS برابر است با $\frac{\text{gr}}{\text{cms}}$ که به آن پواز یا P می گویند.

$$1 \text{ pa.s} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{ms}} = \frac{1000 \text{ gr}}{100 \text{ cm.s}} = 10 \text{ p}$$

پس:

دقت کنید هر پواز برابر با صد سانتی پواز (cp) بوده، بنابراین هر پاسکال ثانیه برابر با هزار سانتی پواز است.

$$1 \text{ pa.s} = 10 \text{ p} = 1000 \text{ Cp}$$

قانون بقای جرم و موازنه جرم

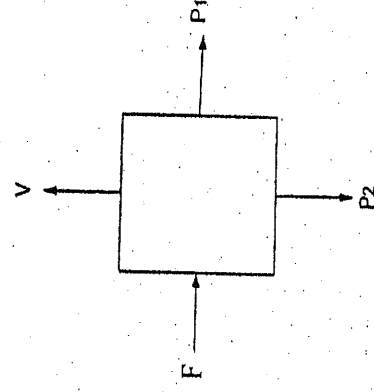
قانون بقای جرم بیان می کند که جرم نه خلق می شود و نه از بین می رود. (بخش واکنش های هسته ای و اتمی)

$$(1) \quad (2) \quad (3) \quad (4)$$

مواد تجمع یافته درون مرز سیستم = مواد مصرف شده درون مرز سیستم - مواد تولید درون مرز سیستم + جرم خروجی از مرز سیستم - جرم ورودی به مرز سیستم

بنابراین از آن جا که می توان از موارد ۳ و ۴ صرف نظر کرد خواهیم داشت:

تجمع + جرم خروجی = جرم ورودی به مرز سیستم



$$F = V + P_1 + P_2$$

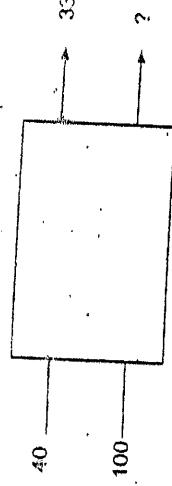
بطور مثال وقتی شیر پرچرب، توسط خامه گیر به شیر پس چرخ و خامه تبدیل شود، اگر درون دستگاه خامه گیر جرمی تجمع نیافته باشد، طبیعتاً باید وزن شیر ورودی برابر با مجموع وزن خامه و شیر پس چرخ باشد.

علاوه بر این موازنه کلی می توان موازنه را برای هر جزء، نیز برقرار کرد. مثلاً می توان گفت، چربی ورودی برابر است با مجموع چربی خروجی و یا آب ورودی برابر است با مجموع آب خروجی.

سؤال ۱: در دستگاه دیفوزیون مقدار خلال ورودی، ۱۰۰ کیلوگرم و مقدار تقاله خروجی، $\frac{1}{3}$ خلال ورودی و مقدار آب مصرفی ۴۰

کیلوگرم است، مطلوب است محاسبه وزن شربت تولیدی (کشش) ؟

$$100 + 40 = 33 + x \Rightarrow x = 107 \text{kg}$$



سؤال ۲: یک تن شربت با بریکس ۲۰ وارد اواپراتور شده و با غلظت ۸۰٪ خارج می شود. مقدار آب تبخیر شده را محاسبه کنید.

توجه: موازنه را براساس ماده خشک می نویسیم:

$$\begin{aligned} \text{ماده خشک ورودی} &= \text{ماده خشک خروجی} \\ (m_1 \times x_1) + (m_2 \times x_2) &= (m_3 \times x_3) \end{aligned}$$

درصد ماده کل ماده در صد ماده خشک خروجی

$$1000 \text{kg} \times \frac{20}{100} = m_2 \times \frac{80}{100} \Rightarrow m_2 = 250 \text{kg}$$

$$m_1 - m_2 = 1000 - 250 = 750 \text{kg}$$

سؤال ۳: محصولی ۵۰٪ رطوبت دارد. پس از خشک شدن مشخص شد ۸۰٪ رطوبت اولیه تبخیر شده است. جرم آب تبخیر شده از

هر کیلوگرم غذای مرطوب اولیه را تعیین کنید.
جرم آب تبخیر شده از هر کیلوگرم غذای مرطوب اولیه:

$$V = \frac{80}{100} \times 0.5 = 0.4 \text{kg}$$

$$M_1 = 1 \text{kg} \rightarrow$$

رطوبت ماده خشک

$$0.5 \text{kg} \quad 0.5 \text{kg}$$

سوال ۴: چند کیلوگشت کم چرب (10%) را با چند کیلوگشت پرچرب (40%) مخلوط کنیم تا 2 تن گوشت 20% چربی داشته باشیم؟

چرب گوشت کم چرب: M_1 (kg)

چرب گوشت پرچرب: M_2 (kg)

$$\left\{ \begin{aligned} M_1 \times \frac{10}{100} + M_2 \times \frac{40}{100} &= (M_1 + M_2) \times \frac{20}{100} \\ M_1 + M_2 &= 2000 \end{aligned} \right. \rightarrow M_1 = 2M_2$$

$$\rightarrow M_2 = 666 \text{ kg}$$

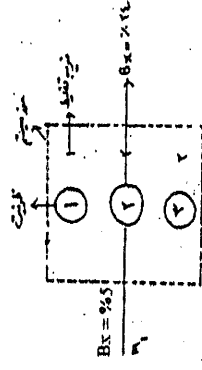
$$M_1 = 2000 - 666 = 1334 \text{ kg}$$

توجه: به اتفاقاتی که درون مرز سیستم می افتد، توجهی نکنید و فقط به ورودی و خروجی مرز سیستم دقت داشته باشید.

سوال ۱۷۳ سال ۸۰
آب گوجه فرنگی با باریکس 5% وارد سه اویراتور با ظرفیت های 1 تن، 2 تن و 3 تن می گردد و این سه اویراتور آب گوجه را به نسبت 1 و 2 و 3 تخلیظ می کنند. محصولات تخلیظ شده از هر سه اویراتور خارج شده و با هم مخلوط می شوند و محصول نهایی دارای باریکس 24% می باشد مطلوب است محاسبه آب تیخیر شده؟
جرم ورودی برابر مجموع ظرفیت هر سه اویراتور است.

$$m_1 = 1 + 2 + 3 = 6000 \text{ kg}$$

ماده خشک خروجی = ماده خشک ورودی



$$m_1 \times x_1 = m_2 \times x_2 \quad \text{محصول تخلیظ شده}$$

$$6000 \times \frac{5}{100} = m_2 \times \frac{24}{100} \Rightarrow m_2 = 1250 \text{ kg}$$

$$v = m_1 - m_2$$

$$\text{بخار آب} \quad 6000 \text{ kg} - 1250 \text{ kg} = 4750 \text{ kg}$$

سؤال ۱۷۴ سال ۷۹

شکر با ۱۵٪ رطوبت وارد خشک کن شده و با ۵٪ رطوبت خارج می شود. اگر آب تبخیر شده برابر با ۲۰ کیلوگرم باشد مطلوب است محاسبه وزن محصول خشک شده ؟

$$100 - 15 = 85\% \text{ درصد ماده خشک ورودی}$$

$$100 - 5 = 95\% \text{ درصد ماده خشک خروجی}$$

ماده خشک خروجی = ماده خشک ورودی

$$M_1 X_1 = M_2 X_2 \quad m_1 \times \frac{85}{100} = m_2 \times \frac{95}{100}$$

$$m_1 - m_2 = V$$

$$m_1 - m_2 = 20 \text{ kg}$$

$$m_1 = 190$$

$$m_2 = 170$$

با حل این دو معادله دو مجهولی m_2, m_1 بدست می آید:

سرعت خطی - حجمی - جرمی - زاویه‌ای

سرعت خطی: مسافت پیموده شده در واحد زمان

$$v = \left(\frac{m}{s} \right)$$

سرعت حجمی: حجم عبوری در واحد زمان

توجه: سرعت حجمی یا دبی حجمی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\left(\frac{m^3}{s} \right) \leftarrow \text{دبی حجمی} \quad \checkmark \quad v = A \times v$$

$$\left(\frac{m}{s} \right) \text{ سرعت خطی} \quad \text{سطح مقطع} \quad (m^2)$$

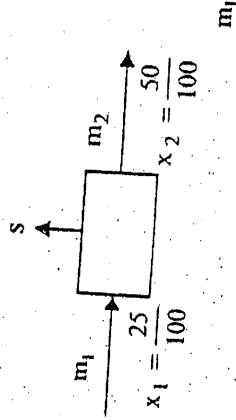
$$m_v \text{ یا } m \left(\frac{kg}{s} \right)$$

سرعت جرمی: جرم عبوری در واحد زمان

سؤال: ۲۰۰ کیلو محلول اشباع ۷۵٪ شکر وارد دستگاه کریستالایزر شده و مقداری شکر از آن جدا می شود (در اثر سرد کردن) و محلول اشباع حاصل ۵۰٪ شکر دارد. مطلوب است محاسبه مقدار شکر (S) تولید شده؟

$$\dot{m} = \rho \times \dot{V} = \rho \times A \times v$$

$$\frac{kg}{s} \quad \frac{kg}{m^3} \quad \frac{m^3}{s}$$



موازنه را براساس ماده‌ای می نویسیم، که به دو بخش تقسیم نشده‌از

آنجا که در این مسئله آب به دو بخش تقسیم نشده است بنابراین موازنه

برخلاف همیشه که براساس ماده خشک بود این بار بر اساس آب نوشته

می شود

محتوای آب خروجی = محتوای آب ورودی

$$\frac{25}{100} \times 200 \text{ kg} = \frac{50}{100} \times M_2$$

$$M_2 = 100 \text{ kg} \quad \text{جرم محلول خروجی}$$

$$(S) \quad M_2 = 100 \text{ kg} \Rightarrow S = 200 - 100 = 100 \text{ kg}$$

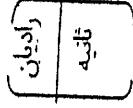
$$M_1 - M_2 = \text{جرم شکر جذا شده}$$

توجه: در محاسبات از جمله محاسبه سرعت حجمی و جرمی دقت کنید همه واحدها برحسب سیستم SI باشد. مثلاً اگر دانسته بود، سطح مقطع cm^2 نباشد و آن را نیز به m^2 تبدیل کنیم.

$$m = \rho \cdot v = \rho \cdot A \cdot v$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

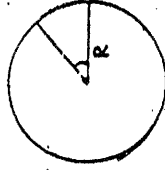
$$\frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$



سرعت زاویه‌ای: زاویه پیموده شده در واحد زمان

تعریف رادیان: زاویه مقابل به طول قوسی از محیط دایره که اندازه این طول قوس برابر با شعاع دایره باشد.
از آن جا که کل دایره 360 درجه است؛

لذا یک رادیان مطابق شکل روبرو حدود 57.3 درجه می‌شود. (زیرا کل محیط دایره را اگر تقسیم بر r (شعاع) کنیم، 6.28 قاع به دست می‌آید).



$$\text{یک رادیان} = \frac{360}{6.28} = 57.3^\circ$$

می‌دانیم $\pi = 3.14$ و $2\pi = 6.28$ می‌باشند پس 360 درجه 2π رادیان است. اکنون اگر متحرکی در هر دقیقه یا ثانیه، N بار محیط دایره را طی کند سرعت زاویه‌ای برابر است با:

$$\left[\frac{\text{رادیان}}{\text{دقیقه}} \right] \leftarrow \omega = 2\pi N \rightarrow \left[\frac{\text{دور}}{\text{دقیقه}} \right]$$

یا

$$\left[\frac{\text{رادیان}}{\text{ثانیه}} \right] \leftarrow \omega = \frac{2\pi N}{60} \rightarrow \left[\frac{\text{دور}}{\text{دقیقه}} \right]$$

یادآوری: سرعت خطی در حرکت دورانی با واحد $\left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$ ، (محیط پیموده شده در واحد زمان) بوده و برابر است با:

$$V = R\omega \quad \text{یا} \quad V = 2\pi RN$$

چرا؟

قانون استوکس در حالت سکون

مطابق این قانون می‌توان سرعت صعود یا سقوط ذرات فاز پراکنده (مثلاً گویچه‌های چربی) در فاز پیوسته (مثلاً شیر پس چرخ) را بر حسب متر بر ثانیه محاسبه کرد:

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{D^2 g (\rho_1 - \rho_2)}{18\mu}$$

D: قطر ذرات فاز پراکنده (m)

ρ_1 : دانسیته فاز پراکنده $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

ρ_2 : دانسیته فاز پیوسته $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

μ : ویسکوزیته فاز پیوسته (Pas)

سؤال: اگر با هموزن کردن، قطر گویچه‌ها نصف و با گرم کردن ویسکوزیته نصف شود؛ سرعت جداسازی چربی از شیر چند چندان برآید؟

پاسخ:

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \cdot \frac{\mu_1}{\mu_2} \Rightarrow v_2 = v_1 \left(\frac{\frac{1}{2} D_1}{D_1} \right)^2 \times \left(\frac{\mu_1}{\frac{1}{2} \mu_1} \right) \Rightarrow v_2 = \frac{1}{2} v_1$$

قانون استوکس در حالت دینامیک

در این حالت نیروی گریز از مرکز جایگزین نیروی جاذبه می‌شود.

$$v = \frac{D^2 (r\omega^2) (\rho_1 - \rho_2)}{18\mu}$$

r: فاصله ذرات فاز پراکنده تا محور مرکزی (m)

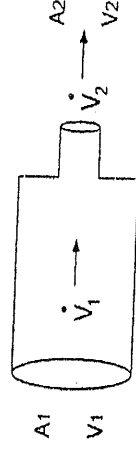
توجه ۱: r_h باید طوری تعیین شود که فشار هیدرواستاتیک فاز سبک و سنگین با هم برابر شوند.

توجه ۲: در مورد شیر، هدف جداسازی چربی (3.5%) از شیر پس چرخ (96.5%) می‌باشد، لذا باید r_h انتخاب شود و بدین ترتیب فضای بیش‌تری برای فاز سنگین مهیا کرد. در مورد آلیمنو، r_h باید بزرگ باشد زیرا فاز سنگین (پالپ) مقدار کمتری از کل آب لیمنو را تشکیل می‌دهد.

توجه ۳: تعداد و فاصله صفحاتی که روی هم قرار گرفته‌اند اثرات متعددی بر کیفیت جداسازی دارند، از جمله این که زمان ماند (زمانی که سیال تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد) را زیاد می‌کنند.

رابطه پیوستگی

برای سیالات غیر قابل تراکم (در اثر تغییر فشار، تغییری در دانسیته آنها رخ نمی دهد. مثل آب) با کاهش سطح مقطع مجرا تغییر در سرعت حجمی نخواهیم داشت.



$$\begin{matrix} 0 & 0 \\ V_1 & = V_2 \end{matrix}$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\frac{\pi}{4} D_1^2 V_1 = \frac{\pi}{4} D_2^2 V_2$$

$$\boxed{\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2}$$

یعنی اگر قطر لوله بوسیله یک تبدیل نصف شود، سرعت خطی 4 برابر می شود ولی دبی حجمی تغییر نمی کند. برای سیالات تراکم پذیر مثل گازها (گازها را در شرایطی می توان متراکم کرد) چیزی که قطعی است؛ با کاهش سطح مقطع مجرا

تغییری در سرعت جرمی نخواهیم داشت.

$$\begin{matrix} 0 & 0 \\ M_1 & = M_2 \end{matrix}$$

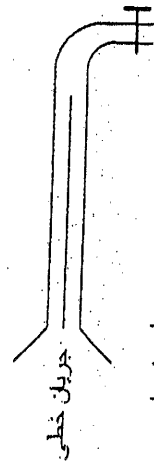
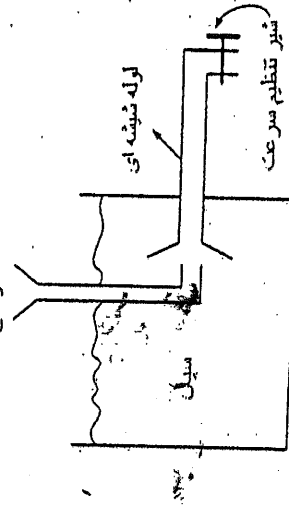
$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2$$

بررسی رژیم جریان در لوله

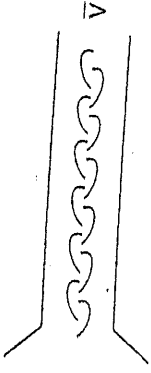
رفتار حرکتی سیال تابعی از یک سری عوامل می باشد:

- خصوصیات هندسی مسیر، مثل قطر لوله یا زبری چداره لوله
- خصوصیات فیزیکی سیال، مثل دانسیته و ویسکوزیته
- خصوصیات دینامیکی سیال، مثل سرعت خطی سیال
- اگر یک جوهر رنگی درون سیالی که از خلال یک لوله طویل جریان دارد، تزریق شود دو رفتار خاص برای سیال دیده می شود: اگر شیر کمی باز باشد (سرعت خطی درون لوله کم باشد) مایع رنگی مطابق شکل، فقط بصورت خط ممتد حرکت

می کند. این حالت پایدار است و با لرزش و تکان لوله ماده رنگی موقتاً با آب مخلوط شده ولی مجدداً به حالت اولیه در می آید. به این حالت ، جریان آرام و خطی یا Laminar می گویند. وقتی با بیش تر باز شدن شیر سرعت سیال در لوله شیشه ای بیش تر شود، جریان از حالت خطی خارج شده و به صورت منحنی سینوسی پیوسته در می آید. در این حالت با لرزش دستگاه، ماده رنگی با آب مخلوط می شود و با آرام گذاشتن لوله، رفتار جریان به حالت اول در نمی آید. به این حالت ، جریان انتقالی یا رفتار جریان بینابینی (Transition region) می گویند.



با افزایش سرعت سیال درون لوله یا ارزش لوله منحنی‌های سینوسی، ناپیوسته می‌شوند. که به این حالت، جریان قلیانی یا توربولانت می‌گویند.



در این بخش فقط اثر سرعت بر روی رفتار جریان مطالعه شد. می‌دانیم پارامترهای دیگری نیز بر این رفتار مؤثر می‌باشند. محقق به نام دانسته ($\frac{kg}{m^3}$)

رینولدز با معرفی عدد رینولدز رفتار جریان را پیش‌بینی کرد:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

سرعت خطی $\left(\frac{m}{s}\right)$ قطر لوله (m)

دانسته ($\frac{kg}{m^3}$) μ (واحد ندارد)

ویسکوزیته (pa.s)

اگر عدد رینولدز کمتر از 2100 باشد؛ جریان خطی است.
اگر عدد رینولدز بین 2100 تا 4000 باشد؛ جریان انتقالی است.
اگر عدد رینولدز بین 4000 تا 10000 باشد؛ جریان قلیانی است.
اگر عدد رینولدز بیش از 10000 باشد جریان به شدت قلیانی یا قلیانی توسعه یافته است.
اگر عدد رینولدز بیش از 10000 باشد جریان به شدت قلیانی یا قلیانی توسعه یافته است.

نکته: این اعداد برای سیالات نیوتنی نظیر آب صادق هستند و برای سیالات متفاوت خواهند بود.

سؤال: اگر دانسته سیال $1 \frac{gr}{cm^3}$ ، متوسط سرعت خطی $0.1 \frac{m}{s}$ ، ویسکوزیته سیال 15 سانتی‌پواز و قطر لوله یک اینچ باشد نوع

جریان را مشخص کنید

$$\rho = 1 \frac{gr}{cm^3} = \frac{1}{1000} \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{kg}{m^3} \quad (SI)$$

$$\mu = 15cp = 15 \times 10^{-3} pa.s$$

$$D = 1inch = 0.0253m$$

$$Re = \frac{1000 \times 0.1 \frac{m}{s} \times 0.025}{15 \times 10^{-3}} = 168.66$$

جریان خطی است.

سؤال: اگر دبی جرمی $10 \frac{kg}{s}$ باشد و قطر لوله 10 cm و ویسکوزیته سیال 0.1p باشد رفتار جریان را تعیین کنید.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

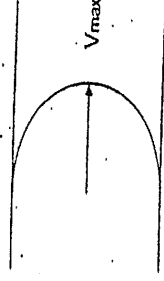
$$m = \rho A v \Rightarrow v = \frac{m}{\rho A} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\Rightarrow Re = \frac{\rho \frac{\pi D^2}{4} \times D}{\mu} = \frac{\pi D^3}{4\mu}$$

$$\Rightarrow Re = \frac{4 \times 10^{-3} \text{ kg}}{3.14 \times (0.1 \times 10^{-1}) \text{ pa.s} \times 0.1 \text{ m}} = 12738.8$$

⇐ جریان به شدت قلیانی است.

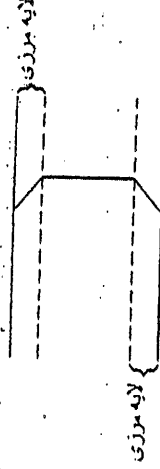
در حالت جریان خطی، شکل پروفیل جریان مطابق شکل زیر است:



سرعت جریان در مرکز لوله حداکثر و در مجاور دیواره حداقل است. ثابت شده متوسط سرعت خطی در لوله در جریان خطی برابر است با:

$$V_{av} = \frac{1}{2} * V_{max}$$

در جریان قلیانی، شکل پروفیل جریان مطابق زیر می باشد: (به علت قلیان، سرعت لایه های وسطی با هم یکی می شود)

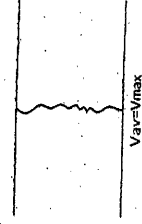


در این حالت:

$$V_{max} = 1.2 V_{av}$$

می باشد

در جریان به شدت قلیانی به علت قلیان بیش از حد، سرعت تمام لایه ها یکسان می شود:



در این جریان لایه مرزی به شدت باریک می شود.
لایه مرزی: نزدیک به دیواره لوله یک لایه سیال داریم که رفتار جریان آن خطی یا ساکن می باشد که به آن لایه مرزی گویند.

توجه: هر چه لایه مرزی ضخیم‌تر باشد، مقاومت در برابر انتقال جرم و حرارت بیش‌تر است. علت این که لباس‌های خیس وقتی باد می‌وزد زودتر خشک می‌شود باریک‌تر شدن لایه مرزی است.

$$Re = \frac{ND^2 p}{\mu}$$

عدد رینولدز در وسایلی که دارای بهمن می‌باشند:

$$N: \text{سرعت بهمن} \quad D: \text{قطر بهمن (m)}$$

p : دانسیته سیال
 μ : ویسکوزیته سیال
 اگر $Re < 10$ باشد رفتار جریان خطی و
 اگر $Re > 10000$ باشد رفتار جریان قلیانی می‌باشد.

انواع انرژی مکانیکی

۱- انرژی جنبشی:

مقدار انرژی که هر گاه به m واحد از جرم سیال وارد شود، می‌تواند سرعت آن را از صفر به v یا از v به صفر برساند.

$$(j) E = \frac{mv^2}{\alpha}$$

α برای جریان خطی یک می‌باشد.
 α برای جریان قلیانی دو می‌باشد.
 البته $\alpha = 2$ برای جریان خطی هم با تقریب خوب به کار می‌رود.

۲- انرژی پتانسیل:

انرژی که به m واحد از جرم سیاله وارد می‌شود و آن را تا ارتفاع h بالا می‌برد و معادل $(j) E = mgh$ می‌باشد.

۳- انرژی فشاری:

هر گاه سیاله‌ای تحت تأثیر یک فشار نیروی خارجی قرار گیرد و حجم آن کم و زیاد شود، با تغییر حجم در آن سیال، فشار آن کم یا زیاد می‌گردد. این تغییر حجم و فشار در سیستم، منجر به کاهش یا افزایش نوع جدیدی از انرژی به نام انرژی فشار می‌شود.
 حجم مخصوص

$$(j) E = p \vec{v} = \frac{mP}{\rho}$$

دانسیته

قانون موازنه انرژی مکانیکی (قانون برنولی)

مجموع انرژی پتانسیل، جنبشی و فشاری در نقطه یک (ورودی سیستم) با مجموع این سه در نقطه خروجی برابر است. (این سه می‌توانند به هم تبدیل شوند)

توجه :

بنابر آن چه دیدیم، مجموع افت انرژی در یک سیستم لوله کشی برابر است با:
 $\Delta E_f =$ افت انرژی در اتصالات + افت انرژی ناشی از افزایش سطح مقطع + افت انرژی ناشی از کاهش سطح مقطع + افت انرژی در لوله =

انرژی پمپ

برای انتقال سیال از یک نقطه به نقطه دیگر، نیاز به صرف انرژی، جهت غلبه بر انواع اصطکاک‌های فوق‌الذکر و نیز جهت افزایش سرعت سیال و افزایش ارتفاع سیال داریم. این انرژی توسط پمپ تأمین می‌شود و مقدار آن از قانون برتولی محاسبه می‌شود:

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + m\frac{P_1}{\rho} + E_p = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{mP_2}{\rho} + E_f$$

ب

$$E_p = mg(h_2 - h_1) + \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) + \frac{m(P_2 - P_1)}{\rho} + E_f$$

E_p : انرژی پمپ

E_f : مجموع افت انرژی ناشی از اصطکاک (رابطه فوق)

رابطه فوق را می‌توان بصورت انرژی لازم برای پمپ کردن یک کیلوگرم سیال نوشت: (طرفین رابطه را بر m تقسیم می‌کنیم.)

$$e_p = g(h_2 - h_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + e_f \left(\frac{J}{kg} \right)$$

$$\text{ارتفاع معادل اصطکاک} \rightarrow h_f = \underbrace{(h_2 - h_1)}_{\text{ارتفاع معادل کل}} + \underbrace{\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}}_{\downarrow} + \underbrace{\frac{P_2 - P_1}{\rho g}}_{\downarrow}$$

ارتفاع معادل افزایش فشار ارتفاع معادل افزایش انرژی جنبشی افزایش ارتفاع هیدسی

توان مفید پمپ

پس از محاسبه انرژی، اکنون می‌خواهیم توان مفیدی که پمپ باید به سیال بدهد را محاسبه کنیم. توان، مصرف انرژی در واحد زمان است. بدین منظور مقدار انرژی محاسبه شده (e_p) را در سرعت جرمی (\dot{m}) ضرب می‌کنیم.

$$P_{\text{power}} = \dot{m} \times e_p$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$\frac{J}{s} \quad \frac{kg}{s} \quad \frac{J}{kg} \quad \frac{J}{s} \quad kg$$

$$P = \rho Q g h_T$$

$$P = \gamma Q h_T$$

Q : دبی حجمی

γ = وزن مخصوص (ρg)

توان مصرفی پمپ

می‌دانیم توان مفید، مقدار انرژی است که باید به m کیلوگرم سیال در واحد زمان بدهیم تا سیال از ارتفاع h_1 به h_2 از سرعت v_1 به v_2 و از فشار p_1 به p_2 برسد، در ضمن بر اصطکاک مسیر نیز غلبه کند. اما توان مصرفی توانی است که شفت الکتروموتور تحویل پمپ می‌دهد و بخشی از آن صرف اصطکاک و بخشی توان مفید را تشکیل می‌دهد.

$$\frac{\text{توان مفید}}{\text{راندمان}} = \frac{\gamma Q h_T}{\eta}$$

توجه: واحد توان، وات یا اسب بخار می‌باشد.

$$\text{وات } h_p = 746 \text{ (اسب بخار)}$$

قطر هیدرولیک

در محاسبات مربوط به افت فشار (فاکتور اصطکاک) عدد رینولدز، که به قطر احتیاج است، قطر مجرای دایره‌ای را قرار می‌دادیم، اما برای مجراهای با سطح مقطع غیر دایره‌ای یا مجراهای دایره‌ای که کاملاً پر از آب نیستند، به جای قطر، از قطر هیدرولیک استفاده می‌شوند.

$$D_h = 4R_{hy}$$

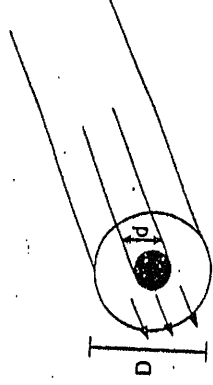
شعاع هیدرولیک

سطح مقطع جریان

$$D_h = 4 \frac{\text{محیط خیس مجرا}}{\text{سطح مقطع جریان}}$$

سؤال ۱: قطر هیدرولیک برای دو استوانه تو در تو که بین آن‌ها آب جریان دارد:

$$D_h = 4 \frac{\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}}{\pi D + \pi d} = (D-d)$$



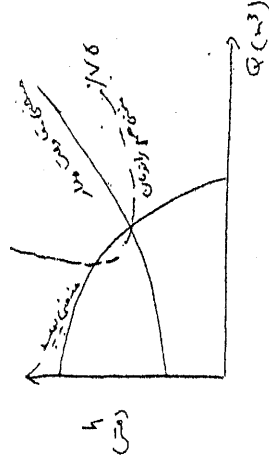
پمپ

پمپ‌ها ابزاری هستند که باعث افزایش انرژی مکانیکی سیال می‌شوند.

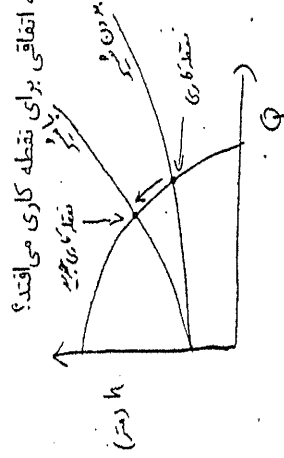
تقسیم‌بندی پمپ‌ها: معمول‌ترین تقسیم‌بندی براساس نحوه انتقال انرژی به سیال است و در این راستا دو دسته اصلی داریم:

۱- پمپ‌های دینامیک: انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به صورت دائمی است.

۲- پمپ‌های جابه‌جایی: انتقال انرژی از آن‌ها به سیال به صورت متناوب است.



اکنون منحنی مقاومت مدار را روی منحنی مشخصات پمپ متطبق می کنیم و نقطه تلاقی را نقطه کاری گویند. اگر منحنی هم راندمان بالایی از این نقطه عبور کرده باشد، می توان این پمپ را انتخاب کرد (البته باید مسئلهی NPSH نیز کنترل شود).



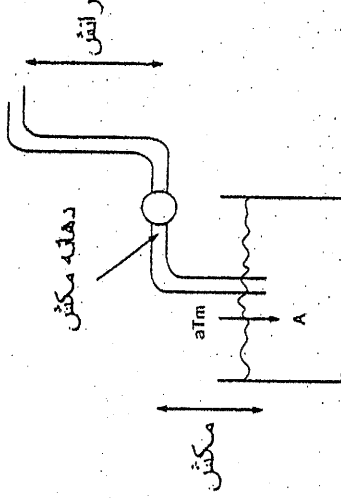
سؤال : اگر در مجرای رانش، شیر کار بگذاریم و آن را نیمه باز بگذاریم، چه اتفاقی برای نقطه کاری می افتد؟
جواب : دبی کاهش می یابد و نقطه کاری به سمت چپ منتقل می شود.

در واقع، بستن شیر، باعث افزایش مقاومت شده و دبی کاهش می یابد، درست مثل این که طول لوله رانش را زیاد کرده باشیم (ارتفاع زیاد و دبی کم می شود).
آخرین مسئلهای که باید کنترل شود مسئلهی NPSH می باشد.

پدیده کاویتاسیون
آب یا هر سیال دیگر، در هر دمایی تبخیر می شود؛ به شرطی که فشار روی سر سیال، از فشار بخار سیال کمتر شود. فشار روی سر سیال به عوامل مختلفی از جمله ارتفاع بستگی دارد ولی فشار بخار سیال فقط به دمای سیال بستگی دارد. مثلاً می دانیم آب 80 درجه، فشار بخاری کمتر از 100_{hpa} دارد. بنابراین در سطح دریا که فشار اتمسفر (روی برسیال) حدود 100_{hpa} است این آب نمی جوشد اما در بالای قله اورست که فشار اتمسفر خیلی کمتر از 100_{hpa} است چون فشار بخار سیال از فشار روی سر سیال بیشتر است، می جوشد. هرگاه در دهانه مکش پمپ، فشار روی سر سیال کمتر از فشار بخار سیال شود، سیال تبخیر شده، وارد محفظه پمپ می گردد و در بخش هایی از محفظه پمپ به دلیل افزایش ناگهانی و موضعی فشار این بخش، تبخیر شده ، کنداش می شود و خلأ بوجود می آید. سیال موجود در محفظه به سرعت به سمت خلأ پیش آمده و در راه به پروانه پمپ برخورد کرده و باعث خوردگی مکانیکی می گردد. به کل این پدیده کاویتاسیون گویند و نوع خوردگی مکانیکی می باشد.

منحنی NPSHa (Net Positive Suction head Available)

(ارتفاع مکش مثبت خالص در دسترس)
همان طور که در شکل می بینیم؛ مکانیسم مکش، اختلاف فشار درون محفظه پمپ با فشار «اتمسفر یک» می باشد.



برای جلوگیری از کاویتاسیون، باید فشار سیال در دهانه مکش را محاسبه کنیم تا بیش از فشار بخار سیال نباشد یا کمتر. (محاسبات زیر بر حسب ارتفاع معادل فشار است)

$$h_B = h_{atm} - (h_G + h_v + h_f) \quad (1)$$

h_f : ارتفاع معادل اصطکاک

h_v : ارتفاع معادل سرعت

h_G : ارتفاع هندسی مکش

h_{atm} : ارتفاع معادل فشار اتمسفر محلی

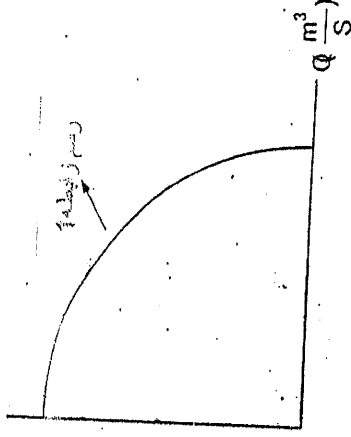
h_B : ارتفاع معادل فشار سیال در دهانه مکش

اکنون با دانستن دمای سیال، می‌توان ارتفاع معادل فشار بخار سیال را از جداول تعیین کرد. (h_v) ارتفاع معادل فشار بخار سیال

$NPSH = h_B - h_v = h_{atm} - (h_G + h_v + h_f + h_B)$

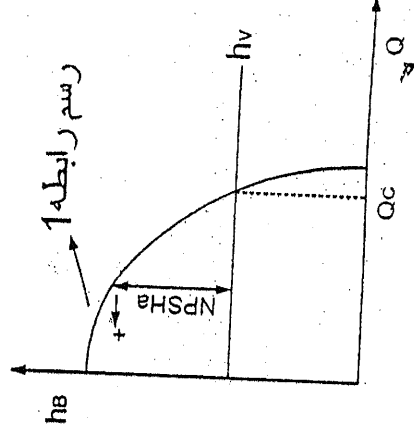
ارتفاع فشار بخار سیال را از h_B کم می‌کنیم. اگر نتیجه این تفاضل مثبت بود یعنی $h_B \geq h_v$ ، آنگاه سیال بخار نمی‌شود و کاویتاسیون رخ نمی‌دهد. اگر $h_B < h_v$ باشد سیال بخار شده کاویتاسیون رخ می‌دهد.

(متر) h_B



رابطه فشار سیال در دهانه مکش یا دبی

مطابق رابطه شماره ۱ در صفحه قبل با افزایش دبی (سرعت سیال) مقدار h_B کم می‌شود. اگر در نمودار فوق، فشار بخار سیال را نیز نمایش دهیم، آن‌گاه مقدار $NPSH$ را روی نمودار می‌توانیم نشان دهیم:



دقت کنید h_v (ارتفاع معادل فشار بخار سیال) فقط تابع دما است و نه دبی. در هر دبی، تفاضل $(h_B - h_v)$ معادل $NPSH_a$ ، در آن دبی می باشد. ملاحظه کنید در دبی بحرانی Q_c اگر دبی بیش تر شود تفاضل فوق الذکر منفی می شود.

سؤال ۱: ماکزیمم ارتفاع مکش در حالت ایده‌آل چقدر است؟

جواب: حداکثر می تواند ۱۰ متر باشد. این در شرایطی است که ۱- فشار اتمسفر معادل یک اتمسفر باشد، یعنی در سطح دریا باشیم. ۲- اصطکاک در مجرای مکش صفر باشد! ۳- سرعت سیال در مجرای مکش صفر باشد. ۴- سیال در خلأ مطلق بخار نشود! اکنون مطابق رابطه دوم، اگر h_G معادل ۱۰ مترم باشد، باز کاویتاسیون رخ نمی دهد. در عمل، ارتفاع مکش (هندسی)، حداکثر ۶ تا ۷ متر می تواند باشد.

سؤال ۲: می خواهیم آب را از طبقه همکف به طبقه چهارم پمپ کنیم؛ پمپ در کدام طبقه باشد بهتر است؟

جواب: هر چه ارتفاع مکش h_G کوتاه تر باشد؛ طبق روابط قبلی، خطر کاویتاسیون کمتر می شود. پس اگر پمپ در طبقه همکف باشد؛ بهتر است.

سؤال ۳: رابطه ای ارائه کنید که ماکزیمم ارتفاع مکش را در عمل، محاسبه کند. می دانیم ارتفاع مکش تا جایی می تواند ادامه یابد که مقدار $NPSH_a = 0$ شود یعنی $h_B - h_v = 0$ شود ولی منفی نشود. پس

ارتفاع معادل فشار بخار $\rightarrow h_B - h_v = h_G + h_f + h_r + h_p$

ارتفاع معادل انرژی جنبشی

$$\Rightarrow h_G = h_{am} - (h_v + h_r + h_p)$$

توجه: گاهی اوقات در دهانه مکش، فشار بخار سیال با فشار روی سیال مساوی است و یا حتی کمتر است و در نتیجه در دهانه مکش تیغیرنداریم و بنابراین پدیده کاویتاسیون هم متصور نمی باشد. اما در عمل، این پدیده رخ می دهد. دلیل این امر، این است که به دلیل طراحی بد پمپ (و نه سیستم اولیه کشی)، وقتی سیال وارد پمپ می شود؛ سرعت آن به طور ناگهانی زیاد شده و طبق قانون برنولی فشار سیال کم می شود و ممکن است از فشار روی سر سیال هم کمتر شود. در این شرایط سیال در دهانه مکش تیغیر نمی شود بلکه درون محفظه پمپ تیغیر می شود. بنابراین پمپ ساز، که از این وضعیت آگاه است؛ اعلام می کند که در دهانه مکش به مقدار $NPSH$ نیاز دارد (یعنی در دهانه مکش باید فشار سیال تا حدود معینی از فشار بخار حتماً بیش تر باشد) به این $NPSH$ مورد نیاز $NpSH_R$ می گویند.

توجه ۱:

$$NPSH_a \geq NPSH_R$$

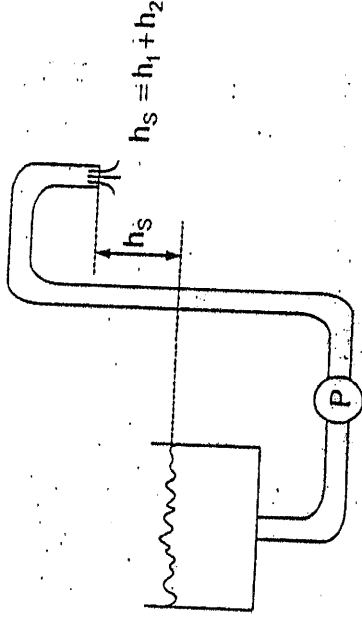
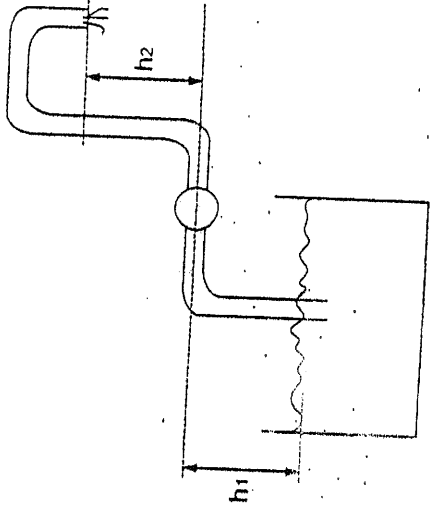
توجه ۲: $NPSH_a$ به مشخصات سیستم اولیه کشی ربط دارد (به ما).

توجه ۳: $NPSH_R$ به طراحی پمپ بستگی دارد.

توجه ۴: پمپ خوب، $NPSH_R$ کوچک دارد.

توجه ۵: سیستم اولیه مکشی که خوب طراحی شده باشد $NPSH$ بزرگ تولید می کند.

سؤال: در اشکال زیر ارتفاع استاتیکی را نشان دهید:
ارتفاع استاتیکی، مقدار ارتفاعی است که سیال بالا برده شده (توسط بخش مکش و رانش).



$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{H_1}{H_2} \cdot \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

قوانین تشابه در پمپ‌های سانتریفوژ

در یک قطر ثابت داریم:

N : دور بر دقیقه (سرعت چرخش پروانه)

P : توان پمپ

H : ارتفاع معادل فشار

Q : دبی حجمی

در یک دور ثابت داریم:

$$Q \sim D^3, H \sim D^2, P \sim D^5$$

:- متناسب است یا

D: قطر پروانه

سؤال: اگر قطر پروانه، 2 برابر و دور پروانه، نصف شود، کدام مورد تغییر نمی کند؟

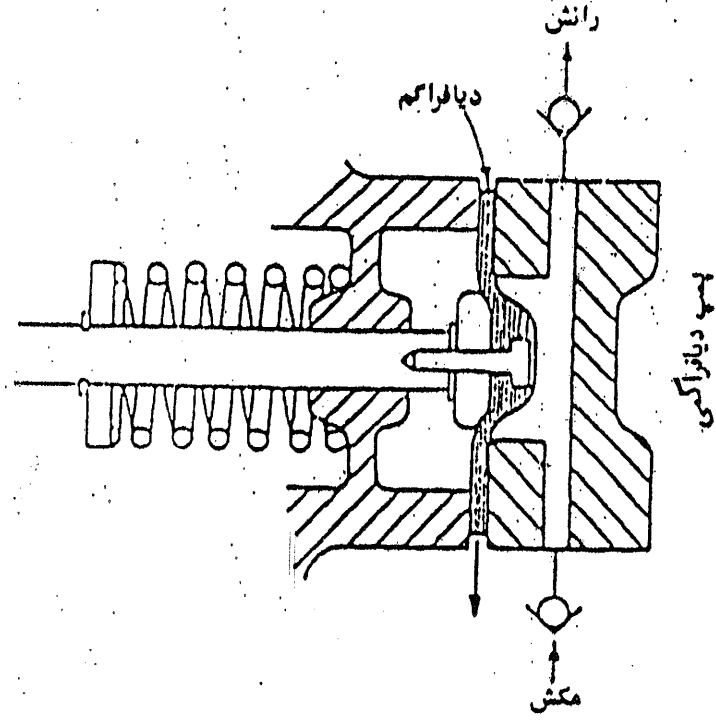
H (۲)

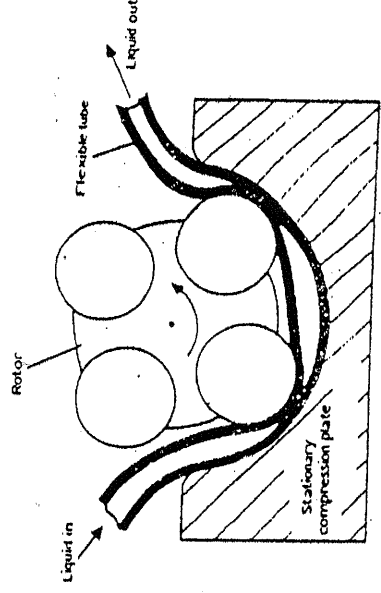
(۴) هر سه مورد تغییر می کنند.

Q (۱)

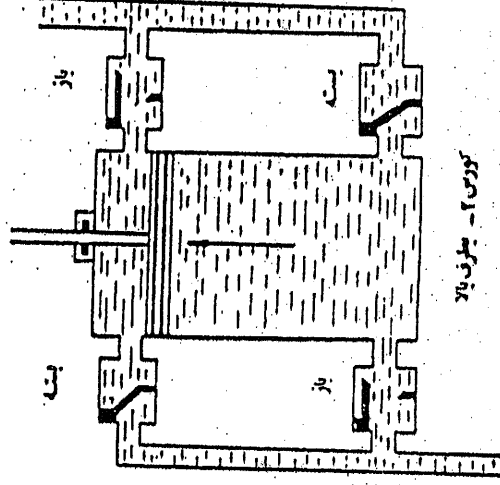
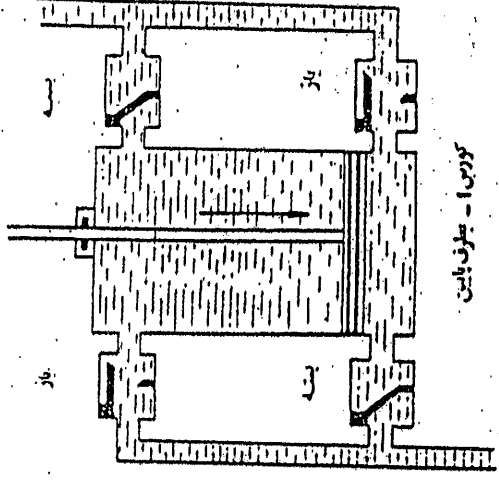
P (۳)

جواب: H: تغییر نمی کند.

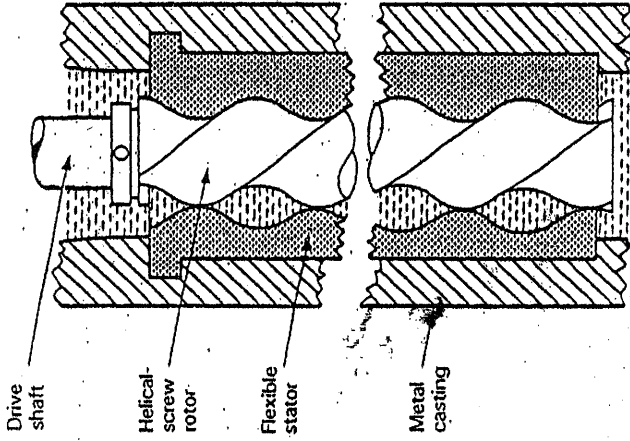




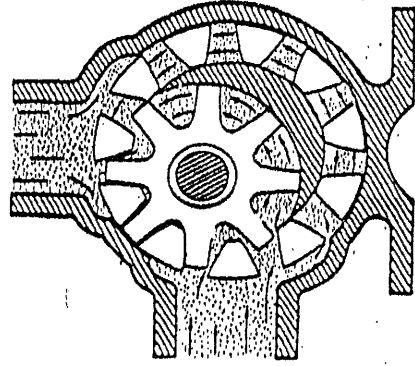
پمپ استالیک (یا لوله انعطاف پذیر)



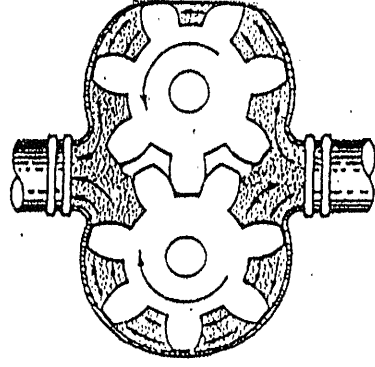
پمپ دایک



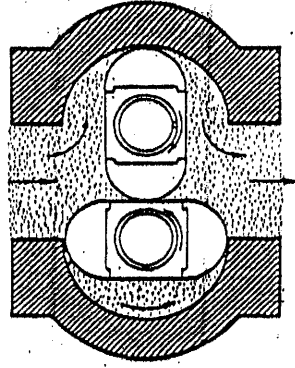
پمپ پیچ



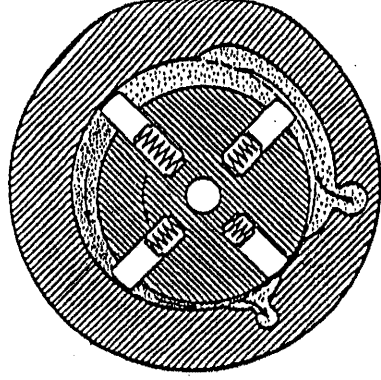
پمپ دنده‌ای داخلی



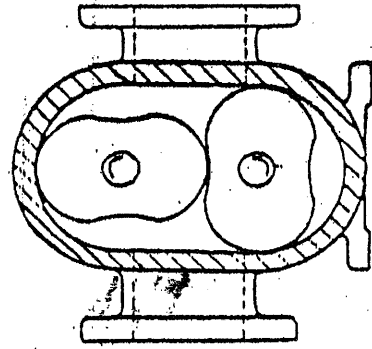
پمپ دنده‌ای خارجی



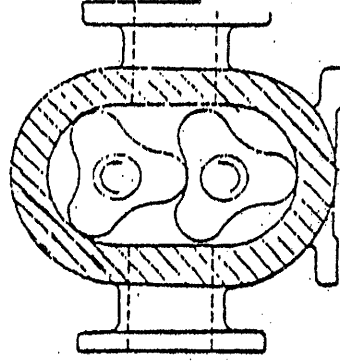
پمپ لوب یا گر دشی (کاربر برای گازها و مایعات)



پمپ ون (دورانی کشویی) برای گازها و مایعات



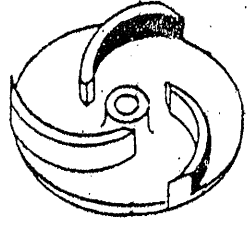
پمپ گردش‌آزاد دوگوش



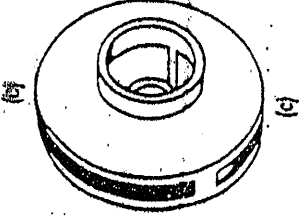
پمپ گردش‌آزاد دوگوش



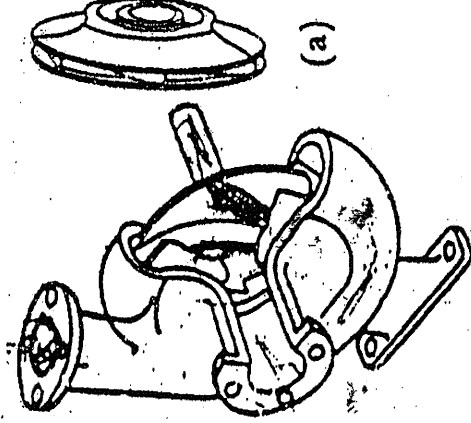
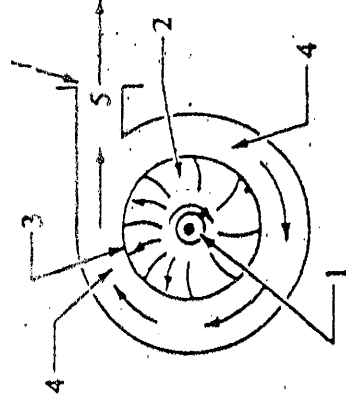
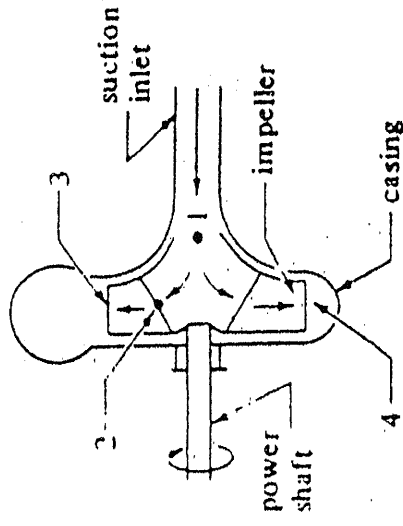
(a) پره باز (زمانی که مواد و ناخالص همراه سیال پمپ شود)



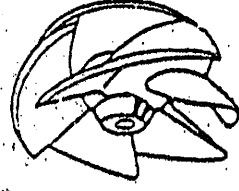
(b) پره نیمه باز



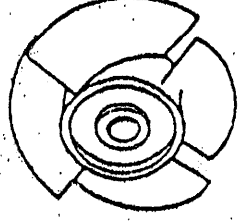
(c) پره بسته (برای سیال تمیز و خالص)



(a)



(b)



(c)

سه نمونه چرخ توربو پمپ ها:

(a) چرخ پمپ سانتریفوژ (نوع بسته)

(b) چرخ پمپ نیمه سانتریفوژ (mixed flow)

(c) چرخ پمپ محوری (axial flow)

پمپ سانتریفوژ

Temperature (°C)	Thermal conductivity (J m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹)	Viscosity (N s m ⁻²)	Specific heat (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)	Density (kg m ⁻³)
Air				
-73	0.0189	1.36 × 10 ⁻³	0.996	1.76
-18	0.0230	1.65 × 10 ⁻³	1.00	1.38
0	0.0242	1.73 × 10 ⁻³	1.005	1.29
38	0.0267	1.91 × 10 ⁻³	1.005	1.14
93	0.0301	2.15 × 10 ⁻³	1.009	0.96
149	0.0334	2.40 × 10 ⁻³	1.017	0.83
204	0.0367	2.60 × 10 ⁻³	1.026	0.74
Water				
0	0.57	1.87 × 10 ⁻³	4.23	1000
4	0.57	1.53 × 10 ⁻³	4.23	1000
16	0.59	1.16 × 10 ⁻³	4.19	1000
27	0.61	0.87 × 10 ⁻³	4.19	998
38	0.62	0.68 × 10 ⁻³	4.19	992
66	0.66	0.43 × 10 ⁻³	4.19	977
93	0.68	0.30 × 10 ⁻³	4.19	965

برخی اذخواس جنبه‌ای غذایی

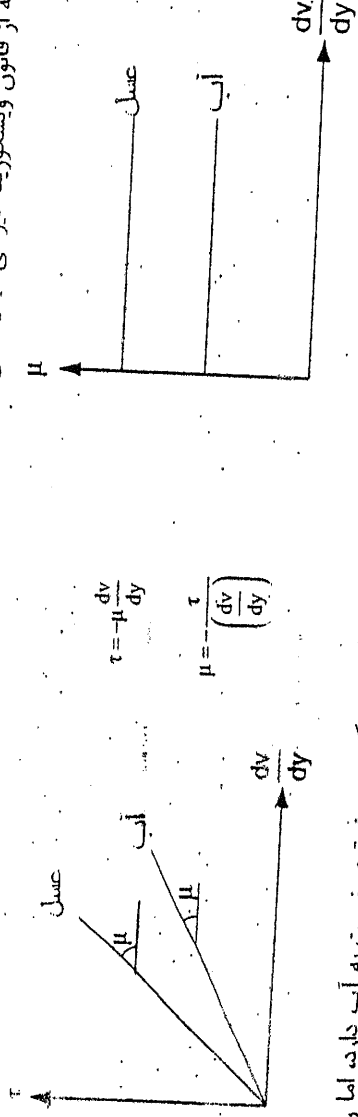
	Freezing point (°C)	Percent water	Specific heat		Latent heat of fusion (kJ kg ⁻¹)
			above freezing (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)	below freezing (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)	
Fruit					
Apples	-2	84	3.60	1.88	280
Bananas	-2	75	3.35	1.76	255
Grapefruit	-2	89	3.81	1.93	293
Peaches	-2	87	3.78	1.93	289
Pineapples	-2	85	3.68	1.88	285
Watermelons	-2	92	4.06	2.01	306
Vegetables					
Asparagus	-1	93	3.93	2.01	310
Beans (green)	-1	89	3.81	1.97	297
Cabbage	-1	92	3.93	1.97	306
Carrots	-1	88	3.60	1.88	293
Corn	-1	76	3.35	1.80	251
Peas	-1	74	3.31	1.76	247
Tomatoes	-1	95	3.98	2.01	310
Meat					
Beef	-2	20	2.09	1.26	71
Beef	-2	75	3.22	1.67	255
Fish	-2	70	3.18	1.67	276
Lamb	-2	70	3.18	1.67	276
Pork	-2	60	2.85	1.59	197
Veal	-2	63	2.97	1.67	209
Miscellaneous					
Beer	-2	92	4.19	2.01	301
Bread	-2	32-37	2.93	1.42	109-121
Eggs	-3		3.2	1.67	276
Ice cream	-5 to -18	58-66	3.3	1.88	222
Milk	-1	87.5	3.9	2.05	289
Water	0	100	4.19	2.05	335

رنئولوژی

علمی است که در آن ما به مطالعه تغییر شکل مواد یا جریان سیالات در اثر اعمال نیرو بر آن‌ها می‌پردازیم. مهم‌ترین خصوصیت رنئولوژیکی، ویسکوزیته می‌باشد. قبلاً با مفاهیم shear stress و shear rate و ویسکوزیته آشنا شدیم.

۱- سیالات نیوتنی

در این سیالات، شیر استرس، تابع خطی شیرریت می‌باشد و ضریب تناسب برای این رابطه (شیب خط) ویسکوزیته دینامیک است. در واقع سیالاتی که از قانون ویسکوزیته نیوتنی تبعیت می‌کنند را سیالات نیوتنی گویند.



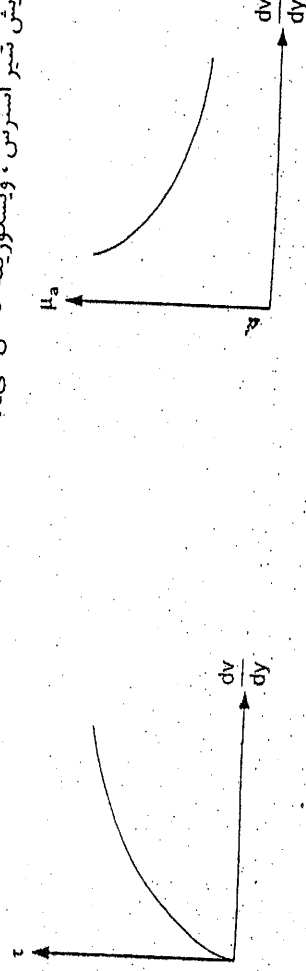
عسل و آب هر دو سیال نیوتنی هستند. علی‌رغم این که عسل غلیظ‌تر است؛ و البته ویسکوزیته بیش‌تری نسبت به آب دارد اما رفتار چرانی هر دو نیوتنی است. ولی اصولاً مواد غذایی رقیق نظیر شیر، آب سیب و نوشابه‌های الکلی و غیرالکلی رفتار نیوتنی دارند. بنابراین جهت تعیین ویسکوزیته سیال نیوتنی، کافی است در یک شیرریت معین میزان شیر استرس را تعیین کنیم. پس اگر سیال را به هم زدیم (اعمال شیر استرس و شیرریت) و سیال شل یا سفت نشد (ویسکوزیته کم یا زیاد نشد) این سیال را نیوتنی گویند. (ویسکوزیته آن، مستقل از مقدار برش یا نرخ برش است).

۲- سیالات غیر نیوتنی مستقل از زمان

رابطه برش و تنش (shear stress و shear rate) خطی نیست و ویسکوزیته تابعی از برش و تنش می‌باشد و به آن ویسکوزیته ظاهری μ_a می‌گویند.

۲-۱- سیالات شبه پلاستیک (pseudo plastic) :

در این دسته، با افزایش شیر استرس، ویسکوزیته کاهش می‌یابد.



رابطه تنش و برش از مدل هرشل بالکی تبعیت می کند:

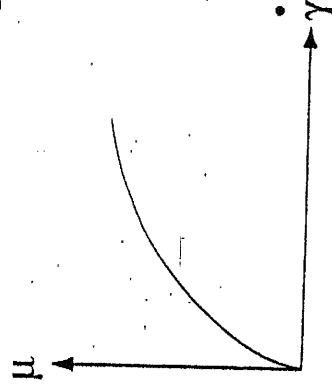
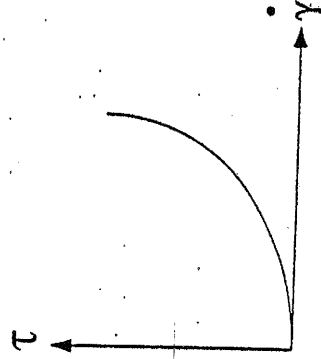
$$\tau = m \left(\frac{dv}{dy} \right)^n + \tau_0$$

(تنش برشی) shear stress τ : تنش حد (yield stress)

n : اندیس جریان ضریب غلظت m

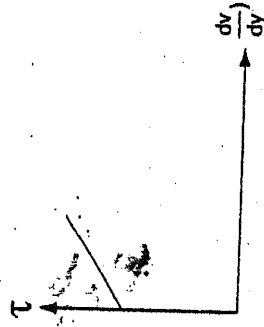
در این سیال $\tau_0 = 0$ و $0 < n < 1$ می باشد.
اغلب سیالات در صنایع غذایی در این دسته اند مثل پوره میوه جات، مایونز و ...

۲-۲- سیالات دایلاتانت dilatant :
در این دسته، با افزایش تنش برشی (shear stress)، ویسکوزیته ظاهری زیاد می شود. مثل سوسپانسیون ۶۰٪ نشاسته ذرت در آب و کره بادام زمینی همورژن شده.



از مدل هرشل بالکی تبعیت کرده و $\tau_0 = 0$ و $1 < n < \infty$ می باشد.

۳-۲- سیالات ینگهام پلاستیک :
این دسته، قبل از جاری شدن سیال، نیاز به یک تنش حد داریم ولی پس از اعمال این تنش، رفتار سیال همانند یک سیال نیوتنی است. این دسته نیز از مدل هرشل بالکی تبعیت می کنند.



$$\tau = m \left(\frac{dv}{dy} \right)^n + \tau_0$$

$$\tau_0 > 0$$

$$n = 1$$

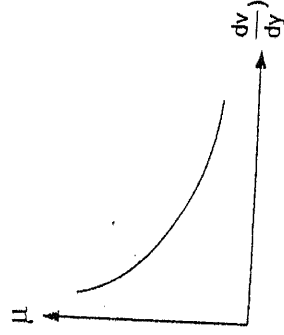
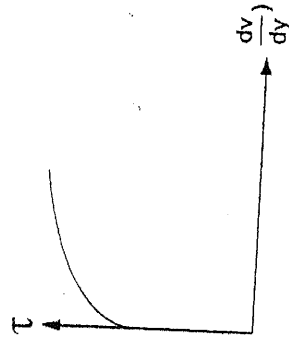
مثل سس کچاپ (وقتی شیشه سس را وارونه می کنیم، جاری نمی شود ولی پس از چند بار تکان دادن و اعمال یک تنش حد معین، جاری می شود).

۴-۲- سیالات کیسن پلاستیک Casson Plastic

مثل شکلات

مانند نوع قبل است ولی پس از جاری شدن رفتار شبه پلاستیک بروز می دهد.

$$\tau_0 > 0 \quad 0 < n < 1$$



هرگاه ریشه دوم شیر استرس در مقابل ریشه دوم ریت رسم شود، منحنی خطی بدست می‌آورد.

$$\tau^2 = m \left(\frac{dv}{dy} \right)^2 + \tau_0^2$$

$$y = mx + b$$

$$\left(\frac{dv}{dy} \right)^{\frac{1}{2}}$$

تذکر : سیالات شبه پلاستیک و دایلاتانت از مدل موسوم به پاورلا، نیز تبعیت می‌کنند.

مدل پاورلا

$$\tau = m \left(\frac{dv}{dy} \right)^n$$

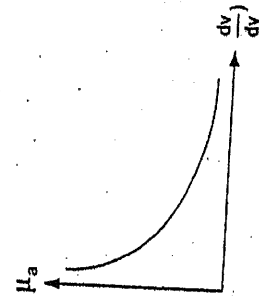
ویسکوزیته ظاهری : هرگاه ویسکوزیته یک سیال غیرنیوتنی را با فرض نیوتنی بودن، تعیین کنیم، به ویسکوزیته حاصل، ویسکوزیته ظاهری گویند و آن را با μ_a نشان می‌دهند.

$$m \left(\frac{dv}{dy} \right)^n = \mu \left(\frac{dv}{dy} \right)$$

$$m \left(\frac{dv}{dy} \right)^{n-1} = \mu_a$$

$$\mu_a = m \left(\frac{dv}{dy} \right)^{n-1} \quad \text{یا} \quad \mu_a = \frac{m}{\left(\frac{dv}{dy} \right)^{0.5}}$$

$$y = \frac{m^{0.5}}{x^{0.5}}$$



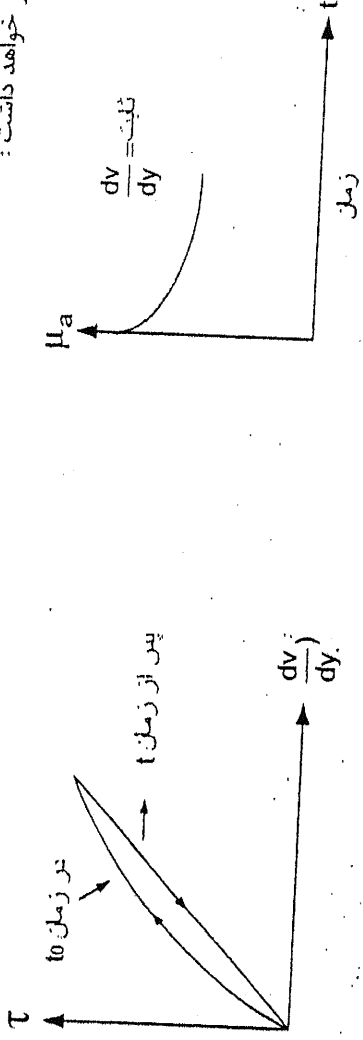
رابطه فوق تابعی است برای نمودارهای ویسکوزیته shear rate که قبلاً رسم کردیم. براساس رابطه فوق‌الذکر برای سیالات شبه پلاستیک که مثلاً $n = 0.5$ می‌باشد، داریم:

توجه : وقتی ویسکوزیته سیال غیرنیوتنی بیان می‌شود، حتماً ذکر کنیم که این ویسکوزیته ظاهری، در چه شیرریت و دمایی محاسبه شده در غیر این صورت گزارش ما بی‌مفهوم خواهد بود.

۳- سیالات غیرنیوتنی وابسته به زمان
هرگاه در یک شیرریت معین، ویسکوزیته سیال به‌مرور زمان کاهش یا افزایش یابد در این صورت این سیال وابسته به زمان می‌باشد.

۳-۱- تیکسوتروپیک :

سیالات این دسته، اگر در معرض یک شدت برش ثابت و معین، قرار داده شوند، تنش برشی آنها نسبت به زمان، یک کاهش برگشت پذیر خواهد داشت :



در یک shear rate معین با گذشت زمان،

ویسکوزیته کاهش می یابد. به همراه نمودار برگشت پذیری ناکامل در این سیالات، پس از انجام عمل برش، اگر به سیال استراحت دهیم، مجدداً قوام خود را باز می یابد (یا به طور کامل یا به طور



پارهای).

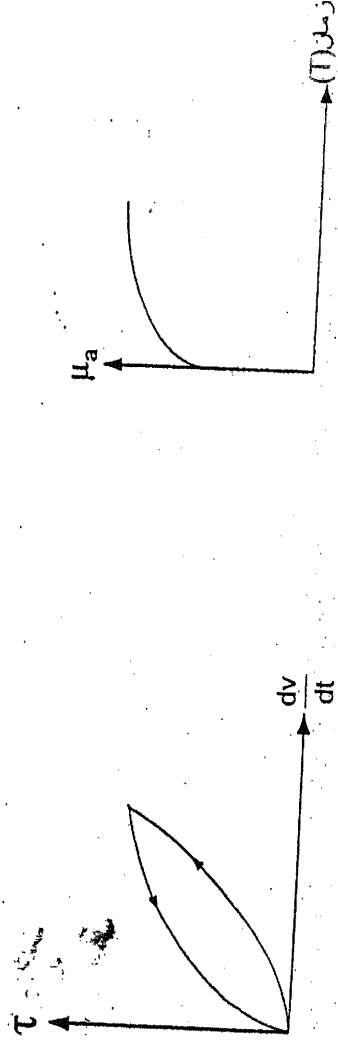
۱- بازگشت پذیری کامل

۲- بازگشت پذیری ناکامل

۳- عدم بازگشت پذیری

۳-۲- سیال رئوپیکتیک :

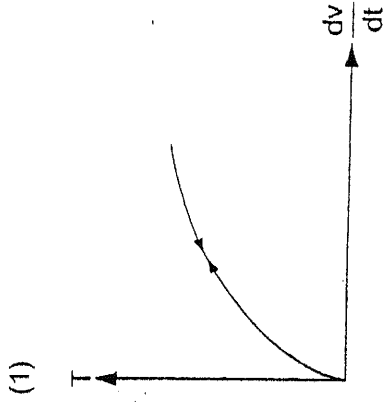
موارد نادری هستند. در شدت برش ثابت و تحت شرایط ایزوترمال، یک افزایش برگشت پذیر را در تنش برشی نسبت به زمان نشان می دهند:



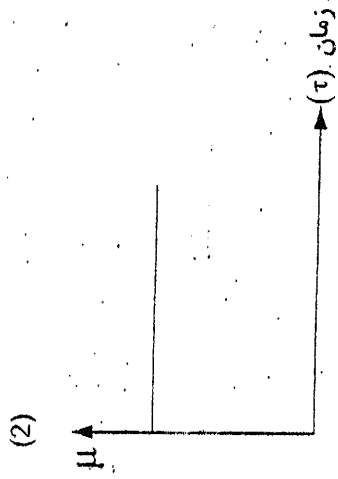
سؤال : نمودارهای زیر بیانگر چه سیالی است؟

جواب :

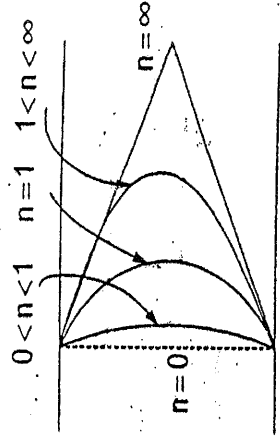
نمودار ۱ - یک سیال مستقل از زمان، از نوع سودو پلاستیک



نمونه ۲ - یک سیال مستقل از زمان، از نوع سودوپلاستیک، دایالات یا نیوتنی

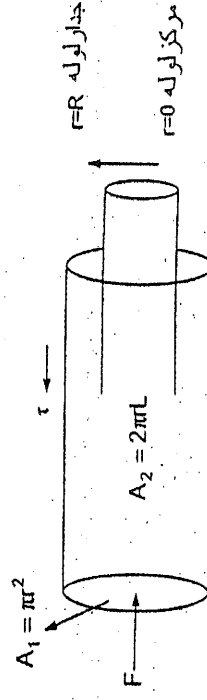


توجه: شکل پروفیل جریان برای سیالات نیوتنی - دایالات و سودوپلاستیک:



اندازه‌گیری ویسکوزیته با ویسکومتر موئین
نیروی f بر سطح مقطع A_1 به طور عمودی وارد شده (فشار P) و باعث جریان یافتن سیال می‌شود. این نیرو از آرام از بین می‌رود. (به دلیل وجود ویسکوزیته) در واقع فشار اعمال شده برای جریان یافتن سیال، توسط تنش ناشی از ساییده شدن لایه‌های مجاور هم بر یکدیگر از بین می‌رود. پس:

$$F = \Delta p \times A_1 = \tau A_2$$



$$\Delta p = \frac{F}{A_1} (1), \quad \tau = \frac{F}{A_2} (2)$$

عامل حرکت عامل زوال Δp

$$(1) \Rightarrow F = \Delta P * A_1 (3)$$

$$2,3 \Rightarrow \tau = \frac{\Delta P * A_1}{A_2} = \frac{\Delta P * \pi r^2}{2\pi r l} = \frac{\Delta p r}{2L} (4)$$

$$\tau_{\max} = \frac{\Delta p R}{2L}$$

از این رابطه متوجه می‌شویم که مقدار تنش برشی در جداره یعنی $r=R$ برابر است با:

$$\tau_{\max} = -\mu \frac{dv}{dr} (5)$$

$$dv = -\frac{\Delta p}{2L\mu} r dr (6)$$

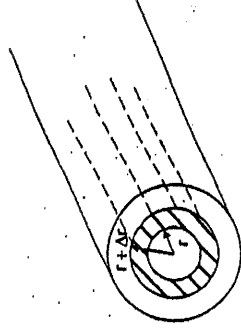
با مساوی قرار دادن T در رابطه ویسکوزیته نیوتنی و T در رابطه (4) خواهیم داشت:

$$\int_0^v dv = -\int_R^r \frac{\Delta p}{2L\mu} r dr (7)$$

$$v = -\frac{\Delta p}{4L\mu} (r^2 - R^2) \quad \text{یا} \quad v = \frac{\Delta p}{4\mu L} (R^2 - r^2) (8)$$

می‌دانیم در $r=0$ (مرکز لوله)، سرعت ماکزیمم است و در $r=R$ (جدار لوله)، سرعت صفر است.

این همان پروفیل جریان برای سیال نیوتنی ($n=1$) است که قبلاً در شکل داشتیم. با در نظر گرفتن سطح مقطع یک پوسته دایره‌ای در خلال لوله خواهیم داشت:



(9) $dA = 2\pi r dr$: سطح مقطع هاشور خورده

$$dV = 2\pi r dr \left(\frac{\Delta p}{4\mu L} (R^2 - r^2) \right) (10)$$

$$\int_0^V dV = \int_0^R \frac{2\pi \Delta p}{4\mu L} * (rR^2 dr - r^3 dr) (11)$$

$$V = \frac{\pi \Delta p R^4}{8\mu L} \quad \text{یا} \quad \mu = \frac{\pi \Delta p R^4}{8L V} (12)$$

و دبی حجمی که از این سطح مقطع هاشور خورده می‌گذرد:

به جای $\frac{V}{t}$ (دبی حجمی)، می توان نوشت: حجم تقسیم بر زمان $\frac{V}{t}$:

$$\mu = \frac{\pi \Delta p R^4}{8 L V} \times t \quad (13)$$

حجم

$$\bar{V} = \frac{V}{\pi R^2} = \frac{\pi \Delta p R^4}{8 \mu L \pi R^2} = \frac{\Delta p R^2}{8 \mu L} \quad (14)$$

فیلا برای سرعت ماکزیم داشتیم:

ملاحظه می شود: سرعت ماکزیم، دو برابر سرعت متوسط است. این موضوعی بود که در بخش های قبل بدون اثبات (برای جریان خطی) قبول داشتیم. توجه داشته باشید، مطالعه روند اثبات فوق الذکر مفید است اما روابطی که دور آن ها خط کشیده شده باید با دقت مطالعه شود. مثلاً رابطه ویسکوزیته - زمان نشان می دهد که هر چه زمان تخلیه لوله ای به طول L و حجم V و شعاع R بیش تر باشد؛ ویسکوزیته سیال بیشتر بوده است.

توجه: رابطه 14 را می توان جهت محاسبه ویسکوزیته نیز به کار برد.

$$\mu = \frac{\Delta p R^2}{8 \bar{V} L}$$

سؤال: در یک لوله در جریان خطی حداکثر shear rate و حداکثر shear stress در کجاست؟

جواب: از رابطه ۵ می توان فهمید حداکثر $\frac{dv}{dr}$ (shear rate) در جداره لوله است.

$$-\frac{\Delta p r}{2 L \mu} = \frac{dv}{dr} \Rightarrow r = R \Rightarrow \frac{\Delta p R}{2 L \mu} = \frac{dv}{dr}$$

و حداقل شیرریت در مرکز لوله است $\frac{dv}{dr} = 0 \Rightarrow \frac{\Delta p * 0}{2 L \mu} = 0$ مرکز لوله

قبلاً هم می دانستیم، عکس شیب پروفیل جریان، شیرریت است و عکس شیب پروفیل جریان، در جداره حداکثر است. از قانون ویسکوزیته نیوتنی هم می دانستیم:

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dr}$$

پس هر جا که $\frac{dv}{dr}$ حداکثر باشد همان جا هم τ حداکثر است.

توجه: در رابطه شماره (13) به جای Δp می توان $\rho g h$ قرار داد.

$$\mu = \frac{\pi \rho g h R^4}{8 L V} * t$$

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\pi g R^4}{8 V} t$$

چون L و h تقریباً برابر هستند؛ خواهیم داشت:

از آن جا که برای یک دستگاه ویسکومتر موئین R و g و π ثابت هستند، پس می توان نوشت:

$$\frac{\mu}{\rho} = ct$$

اگر دستگاه را با یک سیال با ویسکوزیته و دانسیته معین کالیبر کنیم، مقدار C بدست می آید. آن گاه با اندازه گیری زمان تخلیه (t)

می توان $\frac{\mu}{\rho}$ را به دست آورد.

تذکره: به $\frac{\mu}{\rho}$ ویسکوزیته سینماتیک می گویند و واحد آن $\frac{m^2}{s}$ می باشد و واحد آن در سیستم cgs استوکس است (s). یک

استوکس برابر صد سانتی استوکس است (cs).

$$1s = 0.0001 \frac{m^2}{s} \quad یا \quad 1 \frac{m^2}{s} = 10000s = 10^6 cs$$

$$1cs = \frac{1}{100} s = 1 \frac{mm^2}{s} = 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

تذکره: عدد رینولدز عمومی برای کلیه سیالات شامل نیوتنی و غیر نیوتنی از رابطه زیر بدست می آید.
رینولدز عمومی

$$GRe = \frac{D^n V^{(2-n)} p}{m 2^{(n-3)} \left[\frac{3n+1}{n} \right]^n}$$

توجه داشته باشید که n همان اندیس جریان می باشد و اگر به طور مثال آنرا برابر با یک قرار دهیم (یعنی سیال نیوتنی) آنگاه به همان

$$\text{رابطه} \quad Re = \frac{PVD}{\mu} \quad \text{می رسیم.}$$

انتقال حرارت

خصوصیات حرارتی غذاها

گرمای ویژه: مقدار گرمایی است که واحد جرم جسم دریافت می کند تا درجه حرارت آن یک درجه افزایش یابد.

$$C = \frac{Q}{m\theta} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right)$$

مقدار گرمای ویژه آب $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ 4.18 می باشد.

مقدار گرمای ویژه پروتئین، چربی و یخ حدود $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ 2 می باشد و برای کربوهیدرات حدود 1.2 است.

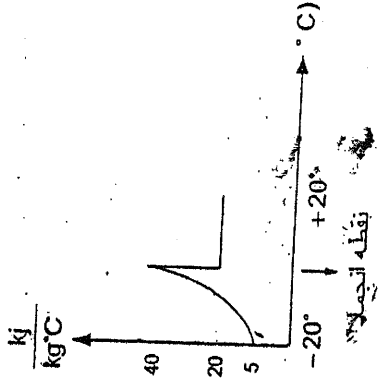
از آن جا که یخش اعظم برخی از مواد غذایی را آب تشکیل می دهد و نیز گرمای ویژه آب بسیار بیش تر از سایر اجزای ماده غذایی است، لذا فرمول های تجربی، برای محاسبه گرمای ویژه ماده غذایی فقط بر حسب درصد آب آن ماده غذایی ارائه شده است.

$$\text{مثلاً:} \quad X_w \leftarrow C_p = 0.837 + 3.349 X_w$$

X_w : درصد آب ماده ی غذایی

توجه ۱: هرچه درصد آب ماده ی غذایی، بیش تر باشد، آن ماده گرمای ویژه بیشتری دارد.

توجه ۲: مقدار گرمای ویژه، اصولاً تابع درجه حرارت است.



گرمای ویژه کدام ماده غذایی بیش تر است؟

(۱) تخم مرغ

(۳) سیب 2.5- درجه یا 77% رطوبت

گزینه سوم صحیح می باشد. زیرا این سیب در دمای حدود 2.4- شروع به انجماد می کند و گرمای ویژه آن به شدت افزایش می یابد.

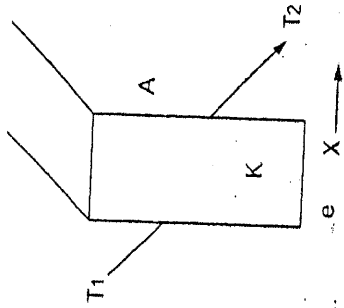
ضرب هدایت حرارت: قابلیت هدایت حرارت یک ماده را نشان می دهد. هرچه این ضریب بیشتر باشد، ماده نسبت به حرارت

هادی تر می باشد. مطابق رابطه فوریه (بعداً در مورد این رابطه مفصل بحث می شود) که در زیر آمده، سرعت انتقال حرارت از یک دیواره

برابر است با:

$$q = K A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$K = \frac{q \Delta x}{A \Delta T}$$



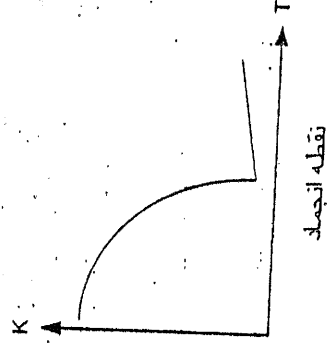
ΔT : اختلاف دمای محیط گرم و سرد

Δx : ضخامت دیواره

A : سطح انتقال حرارت

K : ضریب هدایت حرارت دیواره

واحد K : $\frac{J}{m^2 \cdot s \cdot ^\circ C}$ یا $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$



- مقدار K برای آب 0.6 و برای یخ 2.25 است.

- مقدار K برای پروتئین و چربی حدود 0.2 و برای کربوهیدرات 0.25 است.

- مقدار K برای مواد منجمد تقریباً 3 برابر K مواد غیر منجمد است.

- مقدار K برای فلزات 400-50 برای هوا 0.024 و برای مواد عایق 0.035-0.17 است.

توجه: مقدار K تابعی از درجه حرارت است. (مطابق شکل)

برای محاسبه K فرمولهای تجربی ارائه شده است. مثلاً برای میوه و سبزیجات که بیش از 60% آب دارند K عبارت است از:

$$K = 0.148 + 0.493 X_w$$

X_w : درصد آب ماده غذایی

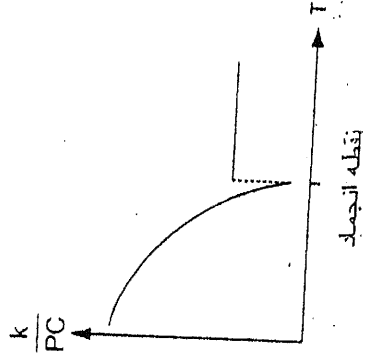
توجه: چون مقدار K آب بسیار بیش تر از سایر اجزاء، مثل پروتئین ... می باشد و از آن جا که مقدار زیادی از ماده غذایی را آب تشکیل

می دهد؛ لذا می توان از رابطه فوق استفاده کرد و گفت هر ماده غذایی که آب بیش تری دارد K بیش تری دارد.

- ضریب انتشار حرارت. (α): ضریب انتشار حرارت مواد، قابلیت آن ها را از نقطه نظر سرعت تغییر دما در اثر انتقال حرارت

نشان می دهد.

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p} \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

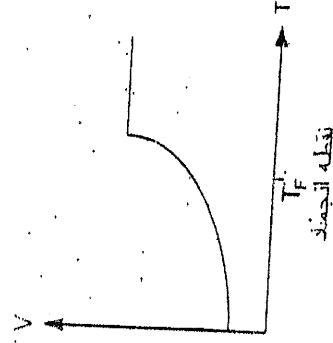


K: ضریب هدایت حرارت $\frac{J}{S m^0 C}$

p: دانسیته $\frac{Kg}{m^3}$

C: گرمای ویژه $\frac{J}{Kg^0 C}$

با توجه به این که C_p, ρ, K هر سه تابعی از دما هستند؛ α نیز تابعی از دما است.
 یادآوری: با منجمد کردن، دانسیته مواد غذایی آب‌دار کاهش می‌یابد.



روش‌های انتقال حرارت

حرارت به سه روش:

۱- هدایت

۲- جابه‌جایی

۳- تشعشع

منتقل می‌شود. ضمناً سرعت انتقال حرارت یا وابسته به زمان است یا مستقل از زمان، که بستگی به آن می‌داریم.

۱- انتقال حرارت از طریق هدایت Conduction

با دو مکانیزم صورت می‌گیرد:

۱- انتقال حرارت به وسیله مولکول‌ها (انتقال بوسیله لرزشهای مولکولی)، از یک مولکول به مولکول دیگر.

۲- انتقال انرژی حرارتی و الکتریکی به وسیله الکترون‌های آزاد.

در صورت وجود اختلاف دما در یک جسم، انتقال حرارت از سمت ناحیه گرم‌تر به سمت ناحیه سردتر روی می‌دهد. این شار

$$\frac{q}{A} \propto \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

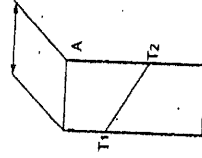
حرارتی با اختلاف دما متناسب است:

$$q = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

یا

پتانسیل

$$\begin{matrix} \uparrow & \text{سرعت} \\ \uparrow & q = - \frac{(\Delta T)}{\left(\frac{\Delta x}{KA} \right)} \rightarrow \text{مقاومت} \end{matrix}$$

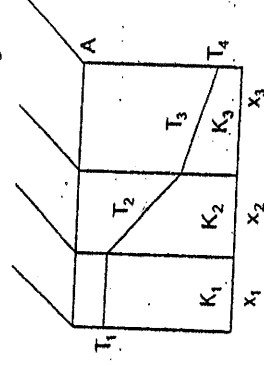


۱- محاسبه سرعت انتقال حرارت به روش هدایت از یک دیواره که به سادگی مطابق با رابطه فوریه که در صفحه قبل دیدیم،

محاسبات صورت می گیرد.

۲- محاسبه سرعت انتقال حرارت به روش هدایت از چند دیواره که به طور سری قرار دارند.

سرعت انتقال برابر است با:



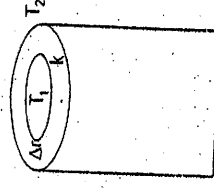
$$q = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\Delta T}{\frac{x_1}{K_1 A} + \frac{x_2}{K_2 A} + \frac{x_3}{K_3 A}}$$

با فاکتور گیری از A و معادل قرار دادن مخرج با $\left(\frac{1}{U} \right)$ خواهیم داشت:

$$q = \frac{A \Delta T}{\frac{x_1}{K_1} + \frac{x_2}{K_2} + \frac{x_3}{K_3}} \rightarrow \frac{1}{U} \Rightarrow q = UA \Delta T$$

۳- محاسبه سرعت انتقال حرارت به روش هدایت از خلال یک دیواره استوانه‌ای

مطابق قانون فوریه:



$$q = KA \frac{\Delta T}{\Delta r}$$

ولی مشکل، مقدار A می باشد، چون سطح جانبی داخلی A_i برابر $2\pi r_i L$ و سطح جانبی خارجی A_o برابر $2\pi r_o L$ می باشد و مقدار این دو سطح متفاوت است. در چنین شرایطی از میانگین لگاریتمی سطح یعنی A_{lm} یا $2\pi r_{lm} L$ استفاده می کنیم:

$$q = K 2\pi r_{lm} L \frac{\Delta T}{\Delta r} \quad \text{یا} \quad q = K A_{lm} \frac{\Delta T}{\Delta r}$$

می باشد و با جایگزینی آن ها در روابط فوق الذکر خواهیم داشت:

$$q = K 2\pi L \frac{r_o - r_i}{\ln \frac{r_o}{r_i}} \frac{\Delta T}{\Delta r} = 2\pi L k \frac{\Delta T}{\ln \frac{r_o}{r_i}}$$

داشت:

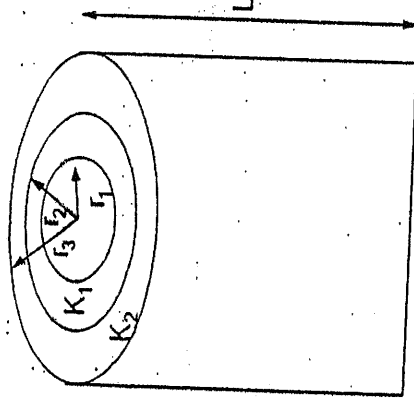
$$q = K 2\pi L \frac{r_o - r_i}{\ln \frac{r_o}{r_i}} \frac{\Delta T}{\Delta r} = 2\pi L k \frac{\Delta T}{\ln \frac{r_o}{r_i}}$$

یا

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi L k}}$$

مقاومت

۴- محاسبه سرعت انتقال حرارت به روش هدایت از خلال چند دیواره استوانه ای که به طور سری قرار دارند.

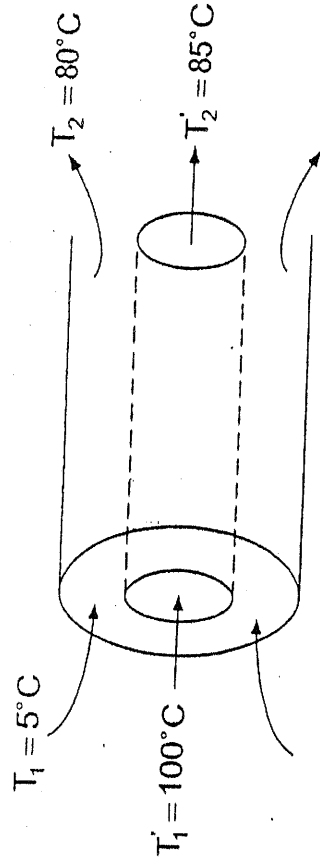


$$q = \frac{\Delta T}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L K_1} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi L K_2}} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2}$$

سؤال: رابطه ای ارائه کنید که سرعت انتقال حرارت در یک میل حرارت لوله ای را نشان دهد.

در این حالت نیز از قانون فوریه استفاده می کنیم:

$$q = K A \frac{\Delta T}{\Delta r}$$



$$\Delta T_1 = T_1' - T_1 = 100 - 5 = 95$$

$$\Delta T_2 = T_2' - T_2 = 85 - 80 = 5$$

این بار مشکلی در ارتباط با A نداریم چون ضخامت دیواره لوله بسیار کم است (زیراهداف بالا رفتن سرعت انتقال حرارت است) و A_0 یا تقریباً برابرند. اما مشکل، مقدار ΔT است. همان‌طور که در شکل می‌بینیم، ΔT در ابتدای لوله $100 - 4 = 96$ و در انتهای لوله $85 - 80 = 5$ می‌باشد.

$$\Delta T_1 = 96$$

$$\Delta T_2 = 5$$

در این شرایط نیز میانگین لگاریتمی اختلاف درجه حرارت را در رابطه فوریه قرار می‌دهیم:

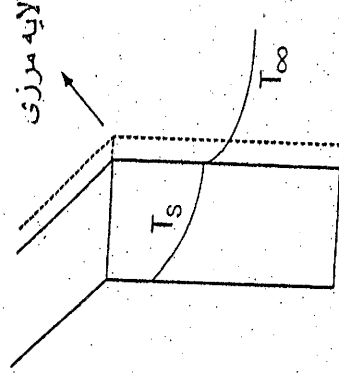
$$q = KA = \frac{\Delta T_{lm}}{\Delta r} \downarrow A = 2\pi rL$$

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

سؤال: راندمان انتقال حرارت مبدل‌های حرارتی لوله‌ای همسو را با ناهمسو مقایسه کنید.
به سادگی مشخص می‌شود که ΔT_{lm} در حالت ناهمسو بیش از همسو است. بنابراین به ازای یک طول معین، مبدل موازی ناهمسو راندمان بالاتری دارد (مقدار حرارت بیشتری مبادله می‌شود).

انتقال حرارت به روش جابه‌جایی

انتقال حرارت از یک جسم به سیال مجاور آن به طریق جابه‌جایی، توده مولکول‌ها را گویند. اگر دمای توده‌ی سیال را T_m و دمای سطح داغ جسم را T_s در نظر بگیریم، در اثر اختلاف دما، حرارت از سطح داغ به توده سیال منتقل می‌شود. معمولاً یک لایه از سیال در مجاورت دیواره به حالت ساکن یا نسبتاً ساکن قرار دارد. در این لایه که به لایه‌ی مرزی موسوم است، انتقال حرارت بصورت هدایت انجام می‌شود و در واقع مقاومت عمده در مسیر انتقال حرارت، لایه مرزی می‌باشد.



توجه : هرگاه انتهای پیدارهای متناظر درجه حرارت را به هم وصل کنیم، پروفیل درجه حرارت به دست می آید. هرچا شیب پروفیل زیاد باشد؛ مقاومت در آن ناحیه بیشتر است (مثل ناحیه مرزی). اگر به توده سیال دقت کنید، ملاحظه می کنید که پروفیل صاف است. این بدان معناست که اگر دمای ناحیه (۲) تغییر کند؛ خیلی سریع دمای ناحیه (۱) نیز تغییر می یابد (زیرا مقاومت اندک است). بنابراین دمای ۱ و ۲ یکسان بوده و پروفیل درجه حرارت صاف می باشد.

است. بنابراین دمای ۱ و ۲ یکسان بوده و پروفیل درجه حرارت صاف می باشد.

در این حالت سرعت انتقال حرارت از قانون سرمایش نیوتن محاسبه می شود:

$$q = h_c A (T_s - T_\infty)$$

q: سرعت انتقال حرارت $\left(\frac{J}{s}\right)$

A: سطح انتقال حرارت (m^2)

T_s : دمای سطح جسم $(^\circ C)$

T_∞ : دمای توده سیال $(^\circ C)$

h_c : ضریب انتقال حرارت کوکسیونی $\left(\frac{J}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ یا $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$

این قانون شبیه قانون فوریه می باشد و به جای $\left(\frac{K}{\Delta x}\right)$ در قانون فوریه، این جا h_c داریم. در این جا K ضریب هدایت حرارت

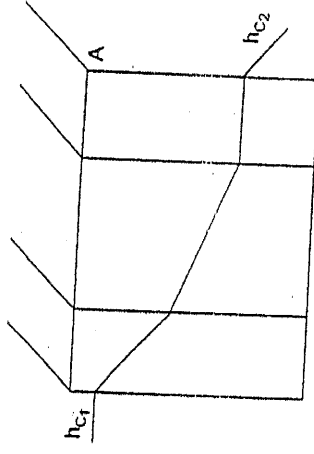
سیال مجاور دیواره و Δx ضخامت لایه مرزی می باشد.

توجه : محاسبه ضخامت لایه مرزی کاری مشکل است. هم چنین این ضخامت تابعی از چندین عامل است. مثلاً وجود فن یا به همزن یا پمپ که باعث ایجاد جریان هوا به صورت اجباری شده و در نتیجه باعث نازک شدن لایه مرزی می شوند و یا در شرایط مشابه اگر نوع سیال مجاور دیوار تغییر کند این ضخامت تغییر می کند. به طور خلاصه، می توان گفت، هر عاملی لایه مرزی را باریک تر کند، مقدار h_c را زیاد کرده و سرعت انتقال حرارت زیاد می شود. در زیر مقادیر تقریبی h_c برای هوا و آب و بخار ذکر شده است:

کننداس	5-25	10-200	20-100	50-10000	3000-100000	5000-100000
هوا جابه جایی طبیعی > هوا جابه جایی اجباری > آب جابه جایی آزاد > آب جابه جایی اجباری > آب جوش > بخار آب در حال						
میان لایه						
میان قطره ای						
30000	6000					

توجه : بخار آب در حال کنداس، بالاترین ضریب انتقال حرارت را دارد و در صنایع غذایی بیشترین استفاده را دارد (در استریلیزاتور - بلاچر - اتوکلاو، اگر است). قبلاً در بخش هدایت، چهار حالت را بررسی کردیم. اکنون پس از آشنایی با انتقال حرارت به روش جابه جایی، به شرح حالت پنجم می پردازیم:

۵- انتقال حرارت از چند دیواره به سیال مجاور

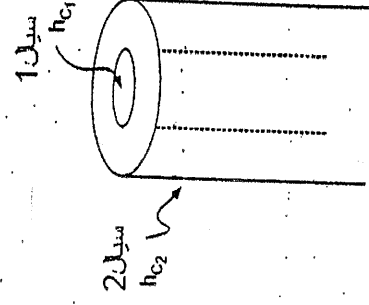


$$h_c = \frac{K}{x} \Rightarrow \text{مقاومت لایه مرزی} = \frac{1}{h_c} = \frac{x}{K}$$

تذکر : می‌توان از رابطه زیر نیز استفاده کرد:

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{h_{ci}} + \frac{x_1}{K_1} + \frac{x_2}{K_2} + \frac{x_3}{K_3} + \frac{1}{h_{c2}} \rightarrow q = uA\Delta T$$

۶- انتقال حرارت از دیواره‌ی استوانه‌ای به سیال مجاور



$$q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_{ci}A_i} + \frac{\Delta r}{KA_{lm}} + \frac{1}{h_{c2}A_o}} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_{ci}} + \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi L k} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_{c2}}}$$

$$\frac{\Delta T}{U_o A_o} \quad \text{یا} \quad q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{U_i A_i}}$$

تخمین ضریب انتقال حرارت (h_c)

قبلاً گفتیم؛ ضخامت لایه مرزی و در نتیجه مقدار h_c ، تابعی از یکسری پارامترها مثل نوع سیال، سرعت سیال، اختلاف دما و شکل هندسی و موقعیت فیزیکی جسم دارد و به این دلیل تعیین h_c کار ساده‌ای نیست. محققین با تکنیک آنالیز ابعادی روابط تجربی جهت محاسبه h_c ارائه کرده‌اند.

الف - محاسبه h_c در جابه‌جایی طبیعی

بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Nu = \frac{h_c L}{K}$$

Nu : عدد بدون بعد ناسلت

L : بعد مشخصه

K : ضریب هدایت حرارتی سیال مجاور جسم

h_c : ضریب انتقال حرارت سیال مجاور جسم

با تعیین ناسلت از رابطه زیر و داشتن مقادیر L, K می‌توان h_c را تعیین کرد:

$$Nu = a (Gr \times Pr)^M$$

M, a : ضرایب ثابت

Gr : عدد بدون بعد گراشف $(\beta) \frac{L^3 \rho^2 g \Delta T}{\mu^2}$ (ضریب انبساط حجمی سیال)

Pr : عدد بدون بعد پرانتل $(K) \frac{C_p \mu}{K}$ (ضریب هدایت حرارتی سیال)

تذکر: کلیه خواص فیزیکی سیال (β, C_p, ρ, μ) در دمای T_f یا دمای لایه مرزی (T_f) محاسبه می‌شود:

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2}$$

T_w : دمای دیواره یا جسم که همان T_s می‌باشد.

T_∞ : دمای توده سیال

مثلاً اگر دمای دیواره 100 درجه و دمای توده سیال 20 درجه است، برای محاسبه Gr باید ویسکوزیته را وارد فرمول کنیم. این

ویسکوزیته از جداول خوانده می‌شود و البته برای دمای 60 درجه.

توجه: وقتی حاصل ضرب $(Gr \times Pr)$ تعیین شده یا توجه به عدد به دست آمده، در جداولی، مقدار m, a درج شده است.

حاصل ضرب $(Gr \times Pr)$ عدد بدون بعد رایلی (Ra) می‌باشد.

m	a
$\frac{1}{5}$	1.36
$\frac{1}{4}$	0.59

(لازم به حفظ نیست)

تذکر ۱: بعد مشخصه (L) ، در هر حالت به طور خاص معین می‌شود مثلاً وقتی یک گوی فلزی داغ در مسیر جریان آب قرار می‌گیرد، قطر

این گوی، بعد مشخصه است یا وقتی یک سطح داغ عمودی در مجاورت هوا است؛ بعد مشخصه، طول سطح است و در مورد سطح افقی،

نسبت $\frac{\text{سطح}}{\text{محیط}}$ را بعد مشخصه در نظر می‌گیرند.

تذکر ۲: عدد بدون بعد گراشف، نسبت نیروی بویانسی (نیروی ارشمیدس) به نیروی ویسکوز را نشان می‌دهد.

تذکره ۳: عدد بدون بعد پراکتل، نسبت ویسکوزیته سینماتیک $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ به ضریب انتشار حرارتی $\left(\frac{K}{\rho C}\right)$ را نشان می‌دهد:

$$Pr = \frac{\frac{\mu}{\rho}}{\frac{K}{\rho C}} = \frac{C\mu}{K}$$

یا

$$Pr = \frac{\text{انتشار مولکولی ممتوم}}{\text{انتشار مولکولی حرارت}}$$

ب- محاسبه h_c در جابه‌جایی اجباری
در این حالت نیز از رابطه:

$$Nu = \frac{hL}{K}$$

استفاده می‌کنیم، با این تفاوت که این بار ناسلت تابعی از رینولدز و پراکتل می‌باشد:

$$Nu = C Re^m Pr^n \quad (\text{رابطه کلی})$$

ضرایب رابطه می‌باشند: C, m, n

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\text{نیروی حرکت نیوتنی}}{\text{نیروی ویسکوز}}$$

در این حالت برای هر حالت هندسی، رابطه تجربی ارائه شده، مثلاً برای جریان سیال در یک لوله در حالت خطی، رابطه زیر ارائه شده است:

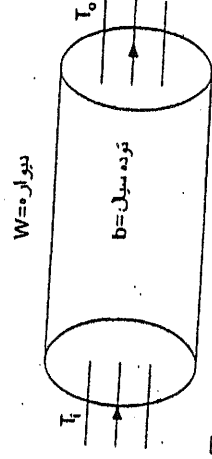
$$Nu = 1.86 \left(Re Pr \frac{d}{L} \right)^{0.33} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

μ_b : ویسکوزیته سیال در دمایی T_b (ویسکوزیته سیال در مجاورت دیواره) و μ_w : ویسکوزیته سیال در

$$T_b = \frac{T_i + T_o}{2}$$

$$T_w = 100$$

دمای



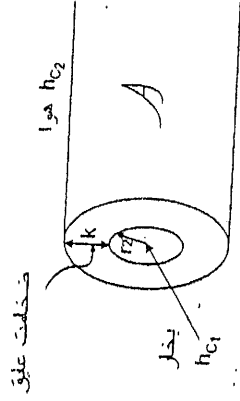
توجه: عدد ناسلت در واقع نسبت سرعت انتقال حرارت به روش جابه‌جایی به سرعت انتقال حرارت به روش هدایت انجام می‌شد.

$$q = \frac{h_c A \Delta T}{k A \frac{\Delta T}{\Delta x}}$$

نقش عایق در کاهش افت حرارت:

وقتی لوله‌ای را عایق‌بندی می‌کنیم؛ هرچه عایق ضخیم‌تر شود، سرعت انتقال کمتر می‌شود. ولی در عین حال سطح انتقال حرارت

نیز زیاد می‌شود و می‌دانیم:



طبق قانون سرد شدن نیوتن، با زیاد شدن A سرعت انتقال حرارت بیشتر می‌شود:

$$q = hA(T_i - T_\infty)$$

نهایتاً سرعت انتقال حرارت، طبق روابطی که قبلاً آموختیم برابر است با:

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{\frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi Lk} + \frac{1}{2\pi r_o L h_{c2}}} \Rightarrow q = f(r_o)$$

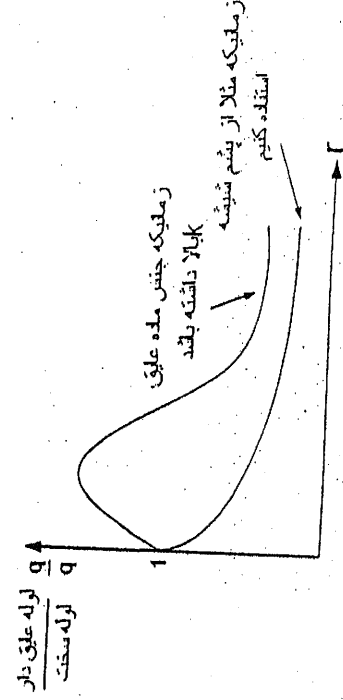
توجه داریم که به دلیل بالا بودن h_c بخار و k دیواره‌ی فلزی لوله، مقاومت آن‌ها ناچیز بوده و در مخرج کسر، آن‌ها را نادیده می‌گیریم.

با گرفتن مشتق از q نسبت به r_o و مساوی صفر قرار دادن آن می‌توان فهمید که در چه r_o حداکثر q را داریم. به این r_o خاص، شعاع بحرانی می‌گویند و آن را با r_c نشان می‌دهند:

$$r_c = \frac{k}{h_c}$$

اگر شعاع عایق از شعاع بحرانی کمتر باشد، عایق نه تنها باعث کاهش سرعت افت حرارت نشده بلکه سرعت را زیاد هم می‌کند. در

شعاع بیش از r_c ، عایق به کاهش سرعت انتقال حرارت کمک می‌کند.



رابطه عایق دار

برابر یک می‌باشد.

رابطه عایق دار

رابطه عایق دار

$$t_c = \frac{K}{h}$$

توجه: اگر ضریب هدایت عایق خیلی کمتر از ضریب انتقال حرارت سیال مجاور (هوا) باشد یعنی $h \gg K$ آن گاه مقدار $t_c = \frac{K}{h}$ خیلی کوچک می شود. بنابراین وقتی از موادی مثل پشم شیشه استفاده شود، نمودار فوق به شکل زیر در می آید یعنی با همان اولین لایه عایق پیچی سرعت انتقال حرارت کم می شود.

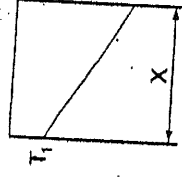
انتقال حرارت یکنواخت و غیر یکنواخت

۱- انتقال حرارت یکنواخت (پایا) steady state

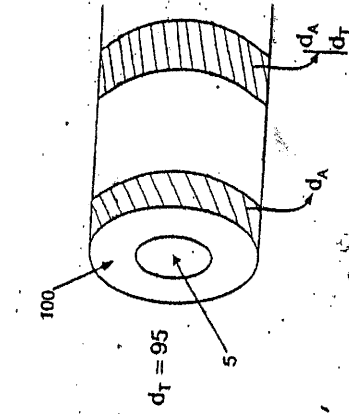
در این حالت، سرعت انتقال حرارت (q) مستقل از زمان است. همچنین درجه حرارت فقط تابعی از مکان است.

$$T = f(x), \quad q \neq f(t)$$

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



در حالت پایا ΔT با گذشت زمان تغییر نمی کند و بنابراین q نیز مطابق قانون فوریه با گذشت زمان تغییر نمی کند. در این حالت، مطابق شکل، مقدار درجه حرارت فقط به مکان بستگی دارد. مثلاً در سطح این جسم، درجه حرارت همیشه 100°C بوده و در وسط، همیشه 50°C و در سمت دیگر همیشه 20°C می باشد. بنابراین درجه حرارت T به زمان بستگی ندارد.



مثال: در دستگاه های تبادل حرارت مداوم (مثلاً مبدل حرارت لوله ای)

ملاحظه می شود به ازای هر dA ، ΔT همواره ثابت است. مثلاً همیشه

100°C شیر 5° وارد دستگاه می شود و در مقابل همیشه مثلاً سیال 100°C

وارد می شود و بنابراین ΔT همواره به ازای dA مذکور، 95° درجه

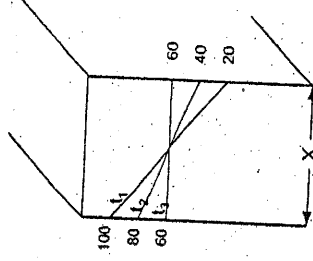
می باشد.

۲- انتقال حرارت غیر یکنواخت Unsteady State

در این حالت، سرعت انتقال حرارت، وابسته به زمان و درجه حرارت، تابعی از زمان و مکان است.

$$q = f(t)$$

$$T = f(t, x)$$



مطابق شکل ملاحظه می شود: در زمان t_1 اختلاف دمای محیط سرد و گرم 80° درجه ولی در زمان t_3 هر دو هم دما می شوند.

مثال: مبدل‌های حرارتی ناپیوسته (Batch)، مثل استریل شدن قوطی کنسرو در اتوکلاو - سرد شدن یک سیب در سردخانه.

فرآیند سرد یا گرم شدن در اثر انتقال حرارت غیریکنواخت

می‌دانیم در شرایط انتقال حرارت غیریکنواخت، دمای یک جسم تابعی از زمان و مکان است. در این بخش هدف ارزیابی رابطه‌ای است که بتواند دمای قسمت‌های مختلف یک جسم با هر دمای اولیه و با ابعاد مشخص پس از قرار گرفتن در محیط با هر دمایی را با گذشت زمان پیش بینی کند. طرح این صورت مسئله به زبان ریاضی، منجر به تشکیل معادله دیفرانسیل زیر می‌گردد:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{K}{\rho C} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

زمان
↑
به دست می‌آید (یعنی اکنون اگر از ما بپرسند که یک عدد سیب با دمای اولیه 30 با حل این معادله، رابطه T (دما) یا x (به دست می‌آید) مکان
درجه در سردخانه 5 درجه قرار گرفته؛ دمای 2cm زیر سطح سیب پس از 200 ثانیه چقدر است؛ می‌توانیم پاسخ دهیم) لازم به ذکر است در انتقال حرارت غیریکنواخت با دو حالت روبرو می‌شویم.

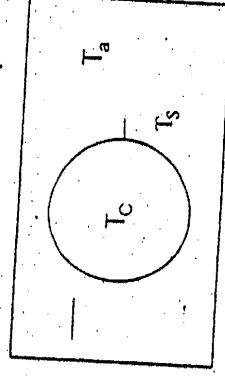
- ۱- درجه حرارت تابع زمان (مثل سرد شدن یا گرم شدن یک گوی فلزی)
 - ۲- درجه حرارت تابع زمان و مکان (مثل سرد شدن یا گرم شدن سیب)
- برای جدا کردن این دو حالت به شرح اهمیت مقاومت خارجی در برابر مقاومت داخلی می‌پردازیم.
- وقتی جسم دانی درون سیال سردی غوطه‌ور است؛ گرما از مرکز جسم باید به سطح برسد و آن‌گاه از سطح، وارد سیال اطراف شود. آنچه که در سرعت انتقال حرارت مهم است، وجود دو مقاومت داخلی جسم و مقاومت خارجی سیال می‌باشد. هر کدام از این دو مقاومت بزرگ‌تر باشند؛ عامل تعیین سرعت انتقال حرارت می‌باشند.
- عدد بدون بعد بیوت نسبت این دو مقاومت را نشان می‌دهد:

$$B_i = \frac{\text{مقاومت داخلی}}{\text{مقاومت خارجی}} = \frac{\frac{L}{K}}{\frac{1}{h}} = \frac{hL}{K}$$

L : بعد مشخصه (که با بعد مشخصه در عدد ناسلت متفاوت است. مثلاً در مورد کره، شعاع می‌باشد در حالی‌که در عدد ناسلت قطر کره، بعد مشخصه بود).

K : ضریب هدایت جسم (در عدد ناسلت، K ضریب هدایت سیال است).

اگر عدد بیوت کوچکتر از 0.1 باشد، نشان می‌دهد مقدار مقاومت داخلی، نسبت به مقاومت خارجی ناچیز است و اگر بزرگ‌تر از 40 باشد، مقاومت عمده داخلی است. هم‌چنین عدد بیوت برابر است با:



$$B_i = \frac{hL}{K} = \frac{T_c - T_s}{T_s - T_a}$$

T_g : دمای محیط

T_s : دمای سطح

T_c : دمای مرکز
برای B_i کوچکتر از 0.1 می توان گوی فلزی داغ 70°C در آب سرد 4°C را تصور کرد. همان طور که ملاحظه می شود، در این حالت بیوت برابر است با:

$$B_i = \frac{70 - 69}{69 - 4} = \frac{1}{65}$$

که کوچکتر از $\frac{1}{10}$ است. همان طور که ملاحظه می شود، کل جسم، با هم سرد و یا گرم می شود (دمای سطح با دمای مرکز اختلاف چندانی ندارد، زیرا مقاومت داخلی ناچیز است).

برای B_i بزرگتر از 40 می توان سبب با دمای 42 درجه را تصور کرد که درون آب سرد یک درجه خنک می شود. پس از گذشت مدت زمانی خواهیم داشت:

$$B_i = \frac{42 - 2}{2 - 1} = 40$$

در این حالت درجه حرارت تابع مکان نیز می باشد (ملاحظه می شود که دمای سطح جسم به دمای محیط، نزدیک شده ولی مرکز هنوز دمای بالایی دارد).

در حالت $0.1 < B_i$ ، زمان سرد شدن یا گرم شدن یعنی مدت زمانی که لازم است تا وقتی جسم با درجه حرارت اولیه (T_i) در محیطی با درجه حرارت T_g قرار می گیرد، دمایش به T برسد، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{T_g - T}{T_g - T_i} = e^{\left(\frac{hA}{\rho C V}\right) t}$$

زمان t

T : درجه حرارت جسم بعد از زمان t

t : زمان حرارت دهی

ρ : دانسیته جسم

C : گرمای ویژه جسم

V : حجم انتقال حرارت

A : سطح انتقال حرارت

h : ضریب انتقال حرارت سیال

توجه: از رابطه فوق می فهمیم که رابطه زمان و درجه حرارت غیر خطی و رابطه کسر درجه حرارتی با زمان اگر جسم سرد می شود، معکوس و غیر خطی است و

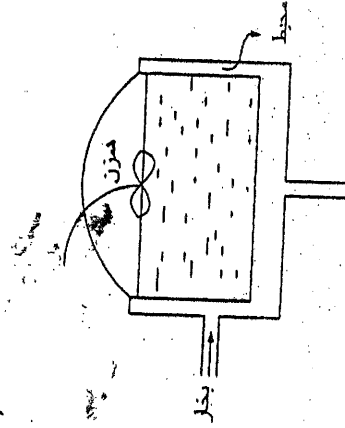
اگر جسم گرم می شود، مستقیم و غیر خطی است.

مصادق استفاده از این رابطه در صنایع غذایی دیگر حرارت دهی دو جداره

برای تولید رب است در صورتی که مجهز به همزن باشد.

وجود همزن باعث می شود که مقاومت داخلی ناچیز باشد (دمای کل آب گوجه با هم زیاد شود) و اما برای بیوت بزرگتر از 40 می بایست معادله دیفرانسیلی مذکور حل شود و رابطه T با t_x به دست آید. این کار انجام شده و

رابطه T با t_x به صورت گرافیکی ترسیم شده است.



الف: برای محاسبه دمای مرکز اجسام کروی شکل، جهت استفاده از دیاگرام مذکور، رویه زیر طی می‌شود:

$$\frac{1}{B_i} = \frac{K}{hL}$$

$$F_0 = \frac{K}{\rho C} \times \frac{t}{L^2} = \alpha \times \frac{t}{L^2}$$

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_i} = \square$$

زمان

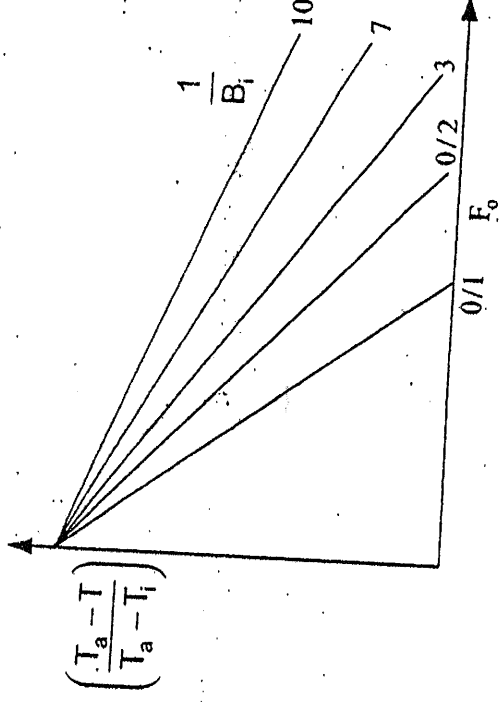
۲- عدد (بدون بعد) فوریه محاسبه شود.

۳- به چارت مربوط به کره مراجعه شود و کسر درجه حرارت بدست آید.

۴- با داشتن مقدار این کسر (از روی چارت در مرحله ۳) و داشتن T_a ، T_i ، مقدار T (درجه حرارت جسم) پس از گذشت زمان

محاسبه می‌شود.

تذکره ۱: دیاگرام مذکور، یک دیاگرام نیمه لگاریتمی است که ستون افقی، مقدار عدد فوریه و ستون عمودی به صورت لگاریتمی، کسر درجه حرارتی و خطوط مورب داخل هر کدام، نمایانگر عکس عدد بیوت می‌باشد.



$$F_0 = \frac{K}{\rho C} \times \frac{t}{L^2}$$

$$F_0 = \frac{K \times \left(\frac{1}{L} \right) \times L^2}{\rho C L^3} = \frac{L^3}{\rho C L^3} \times \frac{1}{t}$$

سرعت هدایت حرارت در طول بدنه مشخصه در جسمی به حجم L^3

سرعت ذخیره حرارت در جسمی به حجم L^3

تذکره ۲: عدد فوریه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

توجه: ρL^3 برابر m می‌باشد.

ب: برای اجسام استوانه‌ای شکل مثل رل‌ژامیون نیز رویه زیر را انجام می‌دهیم:

- ۱- ابتدا فرض می‌کنیم که علت گرم شدن مرکز هندسی رل‌ژامیون، تنها، گرمایی است که در جهت شعاعی وارد رل‌ژامیون می‌شود. بیان دیگر این فرض این است که بگوییم رل‌ژامیون را استوانه نامحدود فرض می‌کنیم.
- ۲- مقدار عکس عدد بیوت را با بعد مشخصه L (شعاع) محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{1}{B_i} = \frac{K}{hL}$$

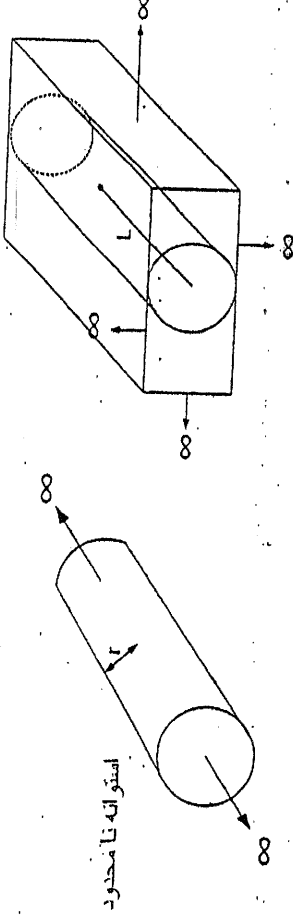
- ۳- عدد فوریه را محاسبه می‌کنیم:

$$Fo = \frac{K}{\rho C} \times \frac{t}{L^2}$$

- ۴- مطابق چارت استوانه نامحدود، مقدار کسر درجه حرارت به دست آورده شود.
- ۵- اکنون فرض می‌کنیم که علت گرم شدن مرکز هندسی رل‌ژامیون، تنها، گرمایی است که در جهت طولی وارد ژامیون می‌شود.

بیان دیگر این فرض این است که بگوییم رل‌ژامیون را تیغه (Slab) نامحدود فرض می‌کنیم. (مثل چرخ تراکتور)

- ۶- مراحل 2, 3, 4 تکرار شود و کسر درجه حرارت با مراجعه به چارت slab به دست آید.



- ۷- حاصل ضرب این کسر درجه حرارت و کسر درجه حرارت در مرحله 4، منجر به تشکیل کسر درجه حرارت برای استوانه محدود می‌شود.

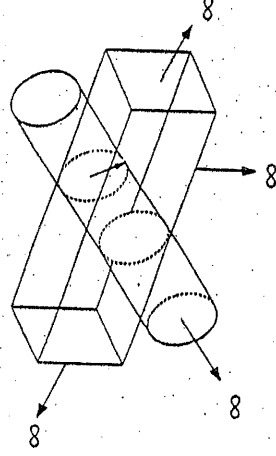
استوانه نامحدود

$$\frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} = \frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} \times \frac{T_2 - T_1}{T_2 - T_1}$$

استوانه محدود

تیغه نامحدود

به عبارتی در مرحله هفتم، علت بالا رفتن دمای مرکز هندسی رل‌ژامیون، هم گرمای عبوری در جهت شعاعی و هم گرمای عبوری در جهت طولی مورد نظر بوده است.



ج- برای اجسام مکعبی شکل
سه مرتبه مراحل 2, 3, 4 هر بار با یک بعد مشخصه تکرار شود و سه بار کسر درجه حرارت از چارت تیغه نامحدود محاسبه شده، با ضرب کردن این سه در هم می‌توان کسر درجه حرارت برای تیغه محدود را به دست آورد.

انتقال حرارت به روش تشعشع

تمام موادی که درجه حرارت سطح آن‌ها بالای صفر درجه کلوین است؛ از خود امواج الکترومغناطیس ساطع می‌کنند. هر چه دمای جسم بالاتر باشد؛ امواج با طول موج کوتاه‌تر (فرکانس بالاتر) ساطع می‌کنند. این امواج نیاز به محیط هادی ندارند و در خلأ هم منتشر می‌شوند.

$$E = hf$$

h : ثابت پلانک

f : فرکانس

E : انرژی موج

موج تابیده شده به یک جسم، می‌تواند بخشی جذب شود، بخشی عبور کند و بخشی هم منعکس شود.

توجه: بخش جذب شده منجر به بالا رفتن درجه حرارت جسم می‌شود.
$$\phi + x + \psi = 1$$

ϕ : درصد جذب

x : درصد انعکاس

ψ : درصد عبوری

جسم سیاه کامل: قدرت جذب و انتشار آن در دمای مطلق معین، ماکزیمم، یعنی ۱ و انعکاس آن صفر است.

توجه: مقدار ϕ, x, ψ به ماهیت جسم و ماهیت اشعه برخوردی نیز بستگی دارد. بنابراین دیوار خانه، نور مرئی را از خود عبور نمی‌دهند، اما امواج رادیویی را عبور می‌دهند.

تذکر: یک جسم هم می‌تواند نور را منعکس کند و هم می‌تواند از خود نور ساطع کند. انعکاس نور به خصوصیات سطحی بستگی دارد.

ولی تابش نور به دمای جسم نیز بستگی دارد. مقدار انرژی که یک جسم با دمای T از خود ساطع می‌کند از رابطه زیر محاسبه می‌شود.
$$p = \sigma \epsilon A T^4$$

σ : ثابت استفان - بولتزمن که معادل 5.669×10^{-8} است.

ϵ : ضریب نشر می‌باشد و برای جسم سیاه کامل برابر یک است و برای اجسام خاکستری $0 < \epsilon < 1$ می‌باشد.

سوال: واحد ثابت استفاده شده چیست؟

تذکر: ضریب جذب و ضریب نشر برای یک جسم و برای یک طول موج معین برابرند.
$$\epsilon = \phi$$

توجه ۱: سطح سفید رنگ ضریب نشری حدود $\epsilon = 0.18$ برای امواج با طول موج کوتاه دارد و ضریب نشری حدود 0.95 برای امواج

با طول موج بلند دارد.

توجه ۲: سطح سیاه رنگ، ضریب نشری حدود 0.97 برای امواج با طول موج کوتاه و 0.96 برای امواج با طول موج بلند دارد.

بنابراین ضریب نشر به دمای جسم و طول موج منتشر شده بستگی دارد.

بنابراین اجسام سیاه یا تیره زودتر سردتر گرم می‌شوند تا اجسام سفید.

(مثلاً سیب سرخ زودتر از سیب زرد، در سردخانه سرد می‌شود).

میزان انتقال حرارت تشعشی بین یک جسم نسبتاً کوچک و محیط اطراف از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = \sigma \epsilon A (T_1^4 - T_2^4)$$

T_1, T_2 درجه حرارت مطلق جسم و محیط می‌باشد. (T بر حسب کلوین)

دمای جسمی از 20 درجه به 40 درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد مقدار Q چند برابر می‌شود؟

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4 = \left(\frac{313}{293} \right)^4 = 1.3$$

$$20 + 273 = 293$$

$$40 + 273 = 313$$

یادآوری ۱: موادی که اکثر اتمه حرارتی را منعکس می‌کنند قابلیت جذب و تشعشع کمتری را دارند.

یادآوری ۲: مواد شفاف قادر به جذب یا انعکاس و یا تشعشع نمی‌باشند.

یادآوری ۳: طول موج امواج ساطع شده از خورشید، کوتاه‌تر از طول موج امواج ساطع شده از یک فیجان داغ قهوه می‌باشد.

مبدل‌های حرارتی

- مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای برای مواد غذایی مایعی که ویسکوزیته کمی دارند (کمتر از 5 mPa.s)، مناسبند. قطر معادل درات باید

کمتر از 0.3 m باشد. سرعت جریان محصول حدود 20000 تا 50000 Kg/h و ضریب انتقال حرارت حدود $2400 - 6000 \text{ J/sm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

می‌باشد. سهولت شستشو و نیز زیاد بودن سطح انتقال حرارت و بازیافت حرارت از مزایای این نوع است.

- ساده‌ترین مبدل حرارتی غیر تماسی مبدل حرارتی دو لوله‌ای است.

- هزینه مبدل صفحه‌ای از لوله‌ای بیش‌تر است.

- مبدل‌های سطح تراش مثل مبدل‌های لوله‌ای اند. فقط درون لوله محوری گردان با تیغه‌هایی که سطح داخلی لوله را می‌تراشد؛

قرار دارد. برای مواد ویسکوز نظیر پستی و برای سیالات غیرنیوتنی کاربرد دارند. امروزه در صنایع کنسروسازی و در

استریل کردن پوره‌ها و رب بکار می‌روند. مقدار ضریب انتقال حرارت بسته به سرعت محور گردنده بین $900 - 4000 \text{ J/sm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

می‌باشد.

- مدل حرارتی لوله‌ای، هزینه نگهداری کمی دارد و قابل استفاده برای فشارهای بالا می‌باشد.
- مدل حرارتی نسبت به روش steam injection بهتر است چون عمل استریل کردن بهتر و یکنواخت‌تر انجام شده امکان Over heating محصول در یک نقطه کمتر است ولی اشکال آن نسبت به steam injection احتمال گیر کردن نازل‌ها است.
- اشکال این روش‌ها این است که برای همه‌ی مواد غذایی مناسب نیستند. بخار تمیز احتیاج است که گران می‌باشد و امکان استفاده از انرژی ماده غذایی برای گرم کردن ماده‌ی غذایی سرد کمتر است.

استفاده از انرژی ماده غذایی برای گرم کردن مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌شود، مثل دستگاه:
Jupiter double cone heat exchanger.

توجه: جهت افزایش سطح انتقال حرارت، گاهی از مدل‌های حرارتی، موسوم به کوئل یا مارپیچ حرارتی استفاده می‌شود.

روش‌های دادن مستقیم

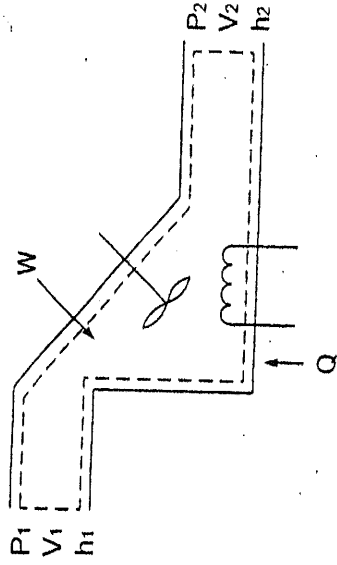
- ۱- مادن قرمز
- در اثر گرم کردن یک رادیاتور (به وسیله جریان الکتریسته)، تولید انرژی تشعشی می‌شود که امواجی با طول موج 0.75μ تا 350 میکرومتر می‌باشند.
- آب و مواد رقیق، امواج با طول موج یک میکرومتر را بهتر جذب می‌کنند.
- در صنایع غذایی تا طول موج 50 میکرومتر در عمل کاربرد دارد.
- افزایش درجه حرارت، باعث تولید طول موج کوتاه‌تر و فرکانس بالاتر و در نتیجه عمق نفوذ بیش‌تر می‌گردد.
- توجه: موضوع فوق (رابطه طول موج و عمق نفوذ) در مورد تشعشع IR صحیح است و عکس این موضوع در مورد امواج مایکروویو مشاهده می‌شود.
سه خصوصیت مهم مؤثر در افزایش درجه حرارت غذا با این روش:

- ۱- خصوصیت جذب اشعه نمونه غذایی
 - ۲- قدرت اشعه برخوردی به غذا
 - ۳- ضخامت ماده غذایی
- توجه: خصوصیات سطحی، دمای سطح و نیز شکل اجسام ساطع کننده انرژی و جذب کننده انرژی بر سرعت انتقال حرارت مؤثرند.
- جذب انرژی مادن قرمز معمولاً سطحی بوده و باعث پخت سریع سطح و سرخ کردن مواد غذایی می‌شود.
 - این روش باعث باقی ماندن آب و مواد فرار مسئول طعم، در غذا می‌شود.
 - نفوذ انرژی حرارت به مرکز غذا از طریق جابه‌جایی است و کند می‌باشد.
 - در این روش، از گرم شدن مرکز جسم باید مطمئن شد.
- کاربرد: در برشته کردن، پختن، خشک کردن شکر و آجیل، خشک کردن از طریق انجماد، ذوب چربی و نیز اندازه‌گیری میزان آب،

چربی و پروتئین.
توجه: رابطی که در بخش قبل (انتقال حرارت به روش تشعشع) ارایه شد برای محاسبه سرعت انتقال حرارت به روش IR به کار می‌رود.

سیستم بسته:

مرزهای سیستم نسبت به جریان ماده بسته هستند (فقط کار و حرارت از مرز سیستم عبور می کنند). مثل شکل فوق الذکر.



سیستم باز: هم ماده و هم انرژی به سیستم وارد یا از آن خارج می شود.

سیستم ایزوله: سیستمی که نه جرم، نه حرارت و نه کار با محیط مبادله کند.

سیستم جریان یکنواخت: سیستم بازی که در آن مقدار ماده ورودی با مقدار ماده خروجی برابر است.

فاز: کمیتی از ماده که تماماً همگن باشد. مثلاً آب می تواند در سه فاز مایع، بخار و جامد باشد. ماده ای همگن است که ترکیب و

خواص فیزیکی آن در تمام قسمت ها یکسان باشد.

در هر فاز، ماده مورد نظر در فشارها و درجه حرارت های مختلفی وجود دارد که بنابر اصطلاحات ترمودینامیکی آن ها را حالات

مختلف می نامیم.

خصوصیات سیستم:

خصوصیات سیستم تعیین کننده و توصیف کننده حالت سیستم می باشند. از آشناترین خصوصیات، می توان به فشار، درجه حرارت و چگالی اشاره کرد. هر یک از خواص یک ماده در یک حالت مشخص تنها دارای یک مقدار معین است و این خواص برای حالات یکسان همواره یکسان خواهند بود که این مقدار، ارتباطی با این موضوع که ماده چگونه به آن حالت رسیده است ندارد. (پارامتری خصوصیت تلقی می شود که مستقل از مسیر رسیدن جسم به یک حالت معین باشد).

توجه: تعیین حالت یک ماده همگن و خالص در هر فاز با اندازه گیری دو پارامتر مستقل از سه پارامتر اصلی حالت یعنی حجم مخصوص، دما و فشار مطلق ممکن می باشد.

ماده خالص: ماده ای که ترکیب شیمیایی ثابت داشته باشد. مثلاً مخلوط آب و بخار و بخ ماده خالص است. تذکر: هر گاه مخلوطی داشته باشیم که ترکیب شیمیایی ثابت نداشته باشد اما این مخلوط همگن باشد؛ باز هم خالص تلقی می شود. مثل هوای گازی شکل که مخلوطی از N_2 , O_2 , CO_2 ... است که به صورت هموزن می باشد اما مخلوط روغن در آب را نمی توان ماده خالص فرض کرد زیرا از هم جدا می شوند و هموزن نیست. ضمناً مخلوط هوای گازی شکل و هوای مایع نیز خالص نیست زیرا ترکیب دو فاز متفاوت است.

خواص ترمودینامیکی را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم کرد:

۱- خواص شدتی:

حجم مخصوص.

۲- خواص مقداری: مستقیماً با تغییر جرم تغییر می‌کند. مثل جرم کل و حجم کل.

سیستم متعادل: هرگاه خواص فیزیکی سیستم، نظیر دما، فشار و ... در کل سیستم یکسان باشد، آن سیستم در تعادل است.

توجه ۱: هرگاه سیستم در تعادل باشد می‌توان صحبت از خصوصیات آن کرد و نهایتاً صحبت از حالت آن سیستم کرد.

توجه ۲: تعادل به دو صورت تعادل حرارتی و تعادل مکانیکی تعریف می‌شود. یک سیب را تصور کنید که تمام قسمت‌های آن و هوای

اطراف آن 10°C باشند، در این حالت سیب تعادل حرارتی دارد.

سیستمی دارای تعادل مکانیکی است که فشار در هیچ دو نقطه‌ای متفاوت نباشد.

فرآیند: مسیری از حالات متوالی و پی در پی را که سیستم از آن می‌گذرد را یک فرآیند می‌نامیم.

توجه: در طی فرآیند سریع، در طول مسیر، فرصت تعادل وجود ندارد و با توجه به این که فقط در تعادل است، خواص سیستم حالت آن را مشخص می‌کند. لذا در مورد این فرآیندها نمی‌توان مسیر فرآیند را رسم کرد و معمولاً به جای خط توپر، خط چین رسم می‌کنند.

فرآیند شبه تعادلی (ایده‌ال): تمام حالاتی که یک سیستم در طی فرآیند شبه تعادلی پشت سر می‌گذارد را می‌توان حالات تعادلی در نظر گرفت و این مستلزم یک فرآیند بسیار آرام است.

توجه: کار و حرارت خصوصیت ترمودینامیکی نیستند زیرا به مسیر بستگی دارند. مثلاً برای تبدیل یخ -20 درجه به بخار 120 درجه می‌توان مسیرهای متعددی را انتخاب کرد، مثلاً یخ را کمی گرم کرده فشار را زیاد کنیم و بعد یخ را سرد کرده مجدداً گرم کرده ... و سرانجام به بخار 120°C تبدیل کنیم. در این مسیر حرارت و کار زیادی صرف گرم و سرد کردن شده است. راه دوم این که می‌توانیم یخ را گرم کنیم تا به بخار 120 تبدیل شود. می‌بینیم در هر دو مسیر نهایتاً ابتدای مسیر یخ -20 و در انتهای مسیر بخار 120 درجه داریم و در نتیجه دما به مسیر بستگی ندارد. پس خصوصیتی ترمودینامیکی است، اما مقدار حرارت در هر مسیر متفاوت است بنابراین حرارت و با اثباتی مشابه کار خصوصیت ترمودینامیکی نیستند. چون کار و حرارت در مسیر مفهوم می‌یابند مقدار آن‌ها را بصورت w_1 نشان می‌دهند. w_2, w_1 مفهوم می‌باشند زیرا وقتی متحرکی در ابتدای مسیر ایستاده هنوز کاری انجام نپخته

که w_1 معنی داشته باشد.

فرآیند ایزوترمال: اگر درجه حرارت سیستم در طی یک فرآیند، ثابت نگه داشته شود، فرآیند را ایزوترمال گویند (مثل فرآیند تبخیر در درجه حرارت ثابت).

توجه: کمپرس ایزوترمال، مستلزم خروج گرما از سیستم است. در فرآیند ایزوترمال رابطه زیر برقرار است:

$PV = \text{ثابت}, \Delta T = 0$

فرآیند آدیاباتیک: هرگاه هیچ مقدار حرارت از مرز پیوسته عبور نکند فرآیند را آدیاباتیک گویند.

$${}_1W_2 = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n}$$

فرآیند برگشت پذیر: سیستمی که حرکتها در آن بی نهایت کوچک و در اثر تغییرات بی نهایت کوچک حجم و فشار تولید

می شود.

فرآیندی است که هیچ تغییری در محیط یا سیستم بر جا نمی گذارد. هر سیستم مثلاً یک سیستم سیلندر پیستون که اصطکاک در آن بسیار ناچیز باشد. مثلاً وقتی پیستون را پایین می بریم فشار گاز درون سیلندر بالا می رود و اگر دستان را برداریم پیستون تحت اثر فشار به سر جای اول برمی گردد. شرط این برگشت پذیری نبود اصطکاک است. اصطکاک باعث می شود مقداری انرژی به صورت گرما به محیط منتقل شود که باعث تغییر در محیط می شود.

قانون صفرم ترمودینامیک

وقتی دو جسم با جسم سومی دارای تساوی درجه حرارت باشند خود آن دو جسم نیز با هم تساوی درجه حرارت دارند این قانون، مبنای اندازه گیری درجه حرارت است.

قانون اول ترمودینامیک

- بیان کمی اصل بقای انرژی است.

- بیان می کند انرژی حرارتی داده شده به سیستم، صرف تغییر انرژی داخلی سیستم و انجام کار خارجی می گردد.

$$q = \Delta u + W \Rightarrow \Delta u = q - W$$

u : انرژی درونی است و رابطه مستقیم با درجه حرارت دارد.

- در مورد انرژی درونی و انرژی خارجی بعداً بحث می شود.

توجه : به عنوان قرارداد می پذیریم که کار انجام شده، بر روی گاز (کمپرس کردن) با علامت منفی و کار انجام شده به وسیله سیستم گاز بر روی محیط با علامت مثبت (انبساط) نشان داده می شود و گرمای افزوده شده به سیستم با علامت مثبت و گرمای گرفته شده از سیستم با علامت منفی نشان داده می شود.

قانون اول در فرآیند آدیاباتیکی

$$q = 0$$

$$\Delta u = -W = - \int p.dv$$

یعنی تمامی کار انجام شده بر روی سیستم، صرف افزایش انرژی درونی می شود یا تمامی کاری که سیستم انجام می دهد ناشی از

کاهش انرژی درونی است.

توجه: در پمپ کالری متر غذا را می سوزانند. چون کاری انجام نمی شود و ضمناً گرمایی هم به بیرون نمی رود لذا کل گرمای تولید شده در داخل دستگاه، معادل تغییرات انرژی درونی است. چون انرژی درونی رابطه مستقیم با درجه حرارت دارد لذا بایک دماسنج می توان محتوای انرژی ماده را تعیین کرد.

آنتالپی: انرژی درونی ماده به اضافه حاصل ضرب فشار در حجم یک ماده را آنتالپی گویند.

$$H = u + pv$$

در واقع در روابط دیده شده است که عبارت $u + pv$ زیاد در کنار هم تکرار شده لذا آنرا به اختصار با H نشان می دهند.

مشق حاصل ضرب

تغییرات آنتالپی (ΔH)

$$\Delta H = \Delta u + \Delta(pv) \\ = \Delta u + V\Delta p + p\Delta V$$

در صنایع غذایی، بیش تر با فرآیند فشار ثابت سروکار داریم. بنابراین عبارت $V\Delta p$ برابر صفر می شود زیرا فشار ثابت است و $\Delta p = 0$ ، بنابراین تغییر آنتالپی، در فرآیند فشار ثابت برابر است با:

$$\Delta H = \Delta u + p\Delta V$$

توجه: طبق قانون اول ترمودینامیک داریم: $q = \Delta u + W$

می دانیم کار در فرآیند فشار ثابت برابر است با: $W = p\Delta V$
قانون اول در فرآیند فشار ثابت (فرآیندی که در صنایع غذایی با آن سروکار داریم):

$$q = \Delta u + p\Delta V$$

یا

$$q = u_2 - u_1 + pV_2 - pV_1$$

یا

$$(u_2 + pV_2) - (u_1 + pV_1)$$

$$q = H_2 - H_1$$

قانون اول در فرآیند فشار ثابت برابر است با:

توجه: وقتی تغییرات آنتالپی مثبت باشد نشانه جذب گرما (واکنش گرماگیر یا اندوترمیک) می باشد و منفی بودن ΔH نشانه آزاد شدن گرما است (اگزوترمیک).

توجه: در سیستم بسته و حجم ثابت چون کاری انجام نمی شود $p\overline{dv} = 0$ و نیز به علت بسته بودن، تغییر انرژی جنبشی و پتانسیل هم نداریم. لذا تغییرات آنتالپی سیستم برابر است با:

$$\Delta H = \Delta u + v\Delta p$$

قانون اول در سیستم های باز

$$Q - W = \Delta H + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g\Delta Z$$

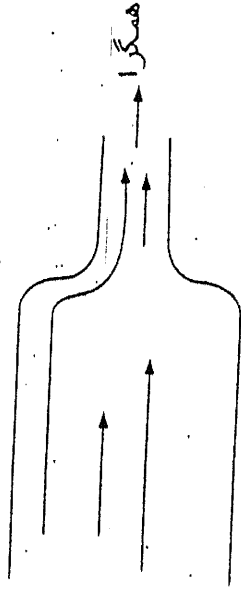
در فرآیندهای انتقال حرارت، مثلاً در دیگ بخار و کندانسور، مقدار کار (W) صفر می باشد. تغییرات انرژی خارجی سیستم هم قابل اغماض است و رابطه به صورت زیر ساده می شود:

$$Q = \Delta H$$

کار انجام شده در توربین دورانی و کار مورد نیاز در کمپرسور در شرایطی که انتقال حرارت نداشته باشیم و سرعت ورودی و خروجی یکسان باشد برابر است با:

$$-W = \Delta H$$

توجه: در عبور سیال گازی شکل از شیبوره همگرا آنالیزی آن زیاد می شود (در صورتی که در طی عبور متراکم شود) و در عبور سیال گازی شکل از شیبوره واگرا آنالیزی آن کم می شود.



یادآوری: در مورد سیالات تراکم پذیر مثل آب طبق قانون برنولی یا کاهش سطح مقطع، سرعت زیاد و فشار سیال کم می شود. در مورد گازها نادانمی که گاز در شرایط تراکم پذیر قرار نگرفته نیز همین طور است. اما گاز وقتی در شرایط تراکم پذیر قرار می گیرد،

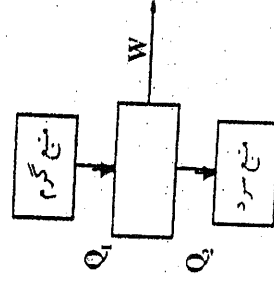
نکته قبلی صادق است.

تذکر: هرگاه بتوان به سیاله گازی شکل، سرعتی در حد سرعت صوت اعمال کرد، سیال گازی شکل قابلیت تراکم می یابد. (این مسئله را در کمپرسورها می توان دید)

قانون دوم ترمودینامیک

این قانون جهت جریان حرارتی و حدود امکان تبدیل حرارت به کار را در موتورهای حرارتی بیان می کند. این قانون بیان می کند که برای انجام کار، گرما از جای گرم تر به جای سردتر می رود.

این قانون بیان می کند که انرژی حرارتی داده شده به یک سیستم هیچ گاه نمی تواند به طور کامل تبدیل به کار شود و مقداری از آن به محیط سردتر منتقل می شود.



- این قانون بیان می کند انتقال حرارت از جسم سرد به گرم فقط با انجام مقداری کار ممکن می شود.

اتلاف انرژی گرمای داده شده به سیستم

$$Q_1 - Q = \Delta u + W$$

- طبق این قانون داریم:

توجه: در فرآیندهای سیکلی، Δu (تغییرات انرژی درونی) صفر می‌باشد. لذا رابطه قبل به صورت زیر خواهد شد:

$$Q_1 - Q_2 = W$$

- در بخش‌های بعد راجع به فرآیندهای سیکلی بحث خواهد شد.

بدون آشنایی با فرآیند سیکلی و فقط با توجه به رابطه قبل می‌توان راندمان فرآیند سیکلی را به صورت زیر نشان داد:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{W}{Q_1}$$

کار به دست آمده
انرژی مصرفی

آنتروپی: یک خصوصیت ترمودینامیکی است و از مشکل‌ترین مفاهیم ترمودینامیکی می‌باشد. در این بخش یک دید کلی و آشنایی

مختصر با این خصوصیت پیدا می‌کنیم.

- معیاری از نظم یا بی‌نظمی است. مثلاً مولکول‌ها در جامد منظم‌تر از مایع بوده و در مایع منظم‌تر از گاز است. بنابراین بدون هر توضیحی قبول می‌کنیم گاز بالاترین آنتروپی را دارد و جامد کمترین آنتروپی را دارد.

وقتی مولکول‌ها که به طور منظم در یک قطره جوهر وجود دارند، با پخش شدن قطره در یک ظرف آب، در آب پراکنده شوند؛ آنتروپی افزایش می‌یابد. وقتی قطره کاملاً در آب حل شد، به ماکزیمم آنتروپی می‌رسیم. ... یک علت برای این که یک قند ساده در آب به خوبی حل می‌شود ولی یک ماکرومولکول مثل نشاسته کمتر در آب حل می‌شود این است که مولکول قند در حلال می‌تواند به هر سؤی برود و بی‌نظمی را افزایش بدهد، اما یک مونومر در پلی‌مر نشاسته به‌طور محدودتری می‌تواند تحرک داشته باشد (زیرا از دو طرف به دو مونومر دیگر متصل است).

- انجماد یک جسم، باعث کاهش آنتروپی و گرم کردن آن باعث افزایش آنتروپی آن می‌شود. هرگاه جسمی با درجه حرارت T_1 مقدار Q گرما به محیط بدهد، تغییر آنتروپی آن جسم برابر است با:

$$\Delta S_{\text{جسم}} = \frac{Q}{T_1}$$

چون جسم گرما از دست داده، علامت Q منفی است. در این حالت، محیط که دمایش T_2 است، مقدار Q گرما دریافت کرده و تغییرات آنتروپی محیط برابر است با:

$$\Delta S = \frac{Q}{T_2}$$

چون محیط، گرما دریافت کرده علامت Q مثبت است.

تغییر آنتروپی کل

$$\Delta S = \Delta S_{\text{جسم محیط}} + \Delta S = \frac{Q}{T_2} + \frac{Q}{T_1}$$

توجه: برای فرآیند بازگشتناپذیر، تغییر آنتروپی کل همواره مثبت است. یعنی آنتروپی کل جهان رو به افزایش است.

- برای فرآیند اینتروپیک $\Delta S = 0$ می باشد.
- مقدار گرمای داده شده به یک سیستم (مثلاً گرمای لازم برای تبدیل آب 100 درجه به بخار 100 درجه) برابر است با:

$$Q = T(S_2 - S_1) = T\Delta S$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

توجه: شرط انجام پذیری واکنش‌ها این است که تغییرات انرژی آزاد (ΔG) منفی باشد.

هر چقدر $S_2 > S_1$ باشد (ΔS باشد)، ΔG منفی تر می شود.
 هر چقدر $H_2 < H_1$ باشد، ΔG منفی تر می شود.

یادآوری: انرژی در یک سیستم دو نوع است	
داخلی	خارجی /
شیمیایی	پتانسیل
هسته‌ای	جینیسی
حرارتی	
مولکولی	

انرژی شیمیایی: باعث نگهداری اتم‌ها در مولکول‌ها می شود (در تجزیه و ترکیب با این انرژی سروکار داریم).

انرژی هسته‌ای: باعث نگهداری اجزا و ذرات اتم‌ها در کنار هم می شود.

انرژی حرارتی: همان گرمای محسوس است. این انرژی در ارتباط با جنبه جایی نوسانات مولکول‌ها و الکترون‌های مولکول‌ها می باشد.

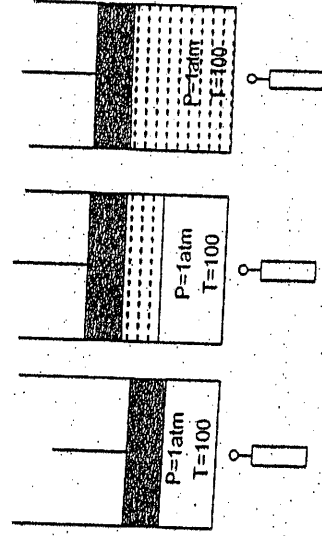
و مستقیماً به صورت گرما ظاهر می شود.

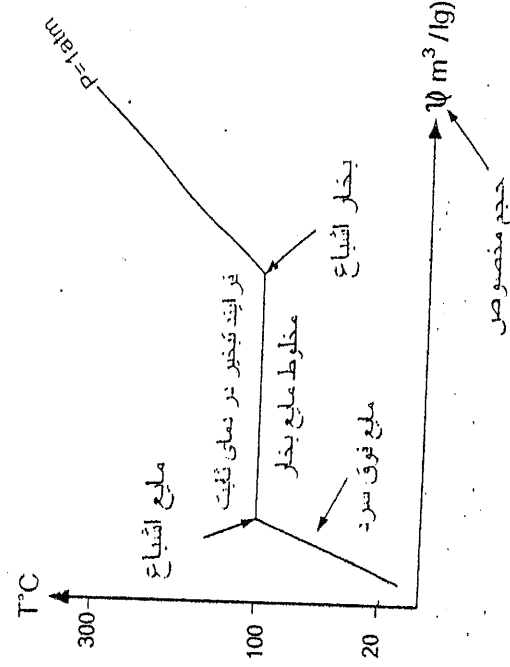
انرژی مولکولی: انرژی است در ارتباط با جذب و دفع مولکول‌ها از یکدیگر، مثل گرمای نهان ذوب (L_f) یا گرمای نهان تبخیر

(L_v یا λ)

بررسی فرآیند تبخیر

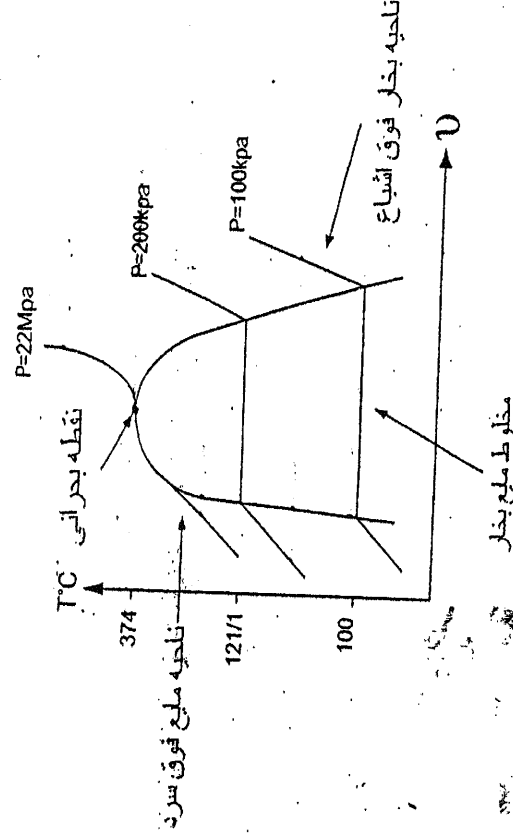
هرگاه مقداری آب درون یک سیلندر و پیستون حرارت داده شود، در دمای منفی آب تبخیر، شده و با افزایش حجم ناشی از تبخیر، پیستون به طرف بالا حرکت می کند. با ادامه دادن حرارت دهی، همه‌ی آب در سیلندر تبخیر می شود و از این به بعد فقط بخار داریم و بخار داغ‌تر و منبسط می شود در این آزمایش مادامی که پیستون با سرعت ثابت به بالا حرکت می کند، نشان می دهد که فشار درون سیلندر تغییر نکرده و ثابت است. پس ما با یک فرآیند فشار ثابت سروکار داریم.





دمای اشباع: دمایی که در آن فرایند تبخیر در درجه حرارت ثابت را شاهد هستیم. مثلاً در سطح دریا که فشار یک اتمسفر است، این دما 100°C است و در اتوکلاو که فشار دو اتمسفر است، این دما 121.1°C می‌باشد.

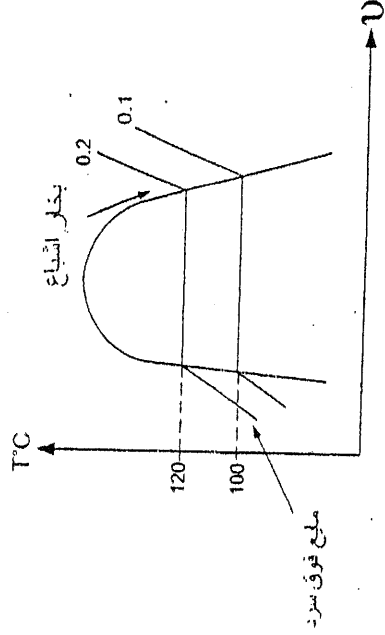
اگر آزمایش فوق‌الذکر را در فشارهای مختلف تکرار کنیم نمودارهایی به‌دست می‌آید می‌توانیم نقاط مربوط به مایع اشباع و نقاط مربوط به بخار اشباع را به هم متصل کنیم تا نمودار زیر به‌دست آید. در این‌جا سه بخش مجزا مشاهده می‌شود: مایع فوق سرد، مخلوط مایع بخار و بخار فوق اشباع.



نمودار فوق نشان می‌دهد که وقتی آزمایش در فشارهای بالا انجام می‌شود، فرایند افزایش حجم ناشی از تبخیر کم و کمتر می‌شود و در دمای 374°C درجه و در فشار 22 مگاپاسکال (220 Atm) فرایند تبخیر در درجه حرارت ثابت مشاهده نمی‌شود، یعنی در این دما فشار سیال درجا و بدون افزایش حجم به بخار تبدیل می‌شود که به این دما و فشار، دما و فشار بحرانی می‌گویند و به سیال در این حالت نه مایع و نه بخار گفته، بلکه سیال فوق بحرانی گویند.

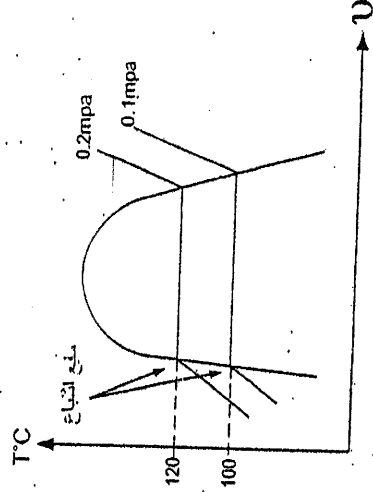
سؤال ۱: اگر در فشار ثابت، دمای بخار اشباع، یک درجه سانتی‌گراد کم شود، با چه حالتی روبرو می‌شویم؟

جواب : یکی از خطوط فشار ثابت و نقطه بخار اشباع را انتخاب کنید.
اگر دما یک درجه کم شود ولی بخواهیم فشار ثابت باشد،
ناگزیر به ناحیه مایع متراکم یا فوق سرد می‌رسیم.



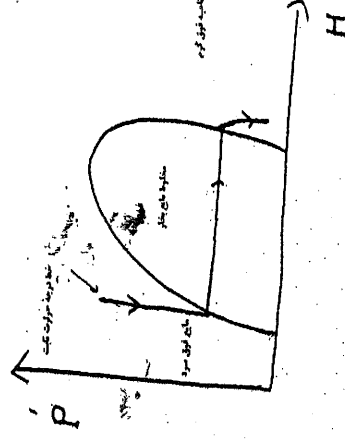
سؤال ۲: اگر در دمای ثابت، فشار مایع اشباع، یک واحد کم شود، با چه حالتی روبه‌رو می‌شویم؟

جواب : مطابق شکل با بخار فوق گرم (سوپرهیت) روبه‌رو می‌شویم.
در دمای ثابت با کاهش فشار، مایع اشباع به بخار فوق اشباع
تبدیل می‌شود.



سؤال ۳: در شکل زیر دیاگرام P-H مشاهده می‌شود با توجه به خط درجه حرارت ثابت کدامیک از دو فاکتور P یا T اثر بیشتری بر

انتالپی دارند؟



جواب: در ناحیه مخلوط مایع-بخار چون در دمای ثابت و در فشار ثابت انتالپی زیاد می‌شود چیزی نمی‌فهمیم اما در نواحی فوق
گرم و فوق سرد ملاحظه می‌شود که نمودار دمای ثابت عمودی است یعنی مادامی که دما ثابت است در این نواحی انتالپی هم تغییر
نمی‌کند اما دقت کنید که فشار چقدر کم شده است بنابراین می‌فهمیم که انتالپی تحت تأثیر دما تغییرات عمده‌تری دارد تا تحت تأثیر
فشار.

بخار اشباعی که حاوی اجزای بسیار کوچک مایع باشد را بخار اشباع مرطوب گویند. در صورت عاری بودن از هر گونه اجزای فاز مایع، بخار را بخار اشباع خشک می‌گویند. هرچه ذرات مایع در بخار کمتر باشند (بخار خشک‌تر باشد)، بخار با کیفیت‌تر است. (هم‌انرژی بیش‌تری دارد و هم ضریب انتقال حرارت بالاتر).

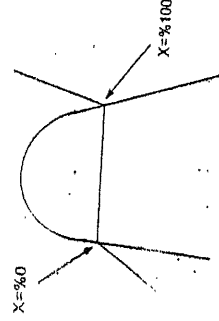
درجه خشکی بخار (x):

$$X = \frac{\text{وزن قسمت خشک بخار مرطوب}}{\text{وزن کل بخار مرطوب}}$$

نسبت وزن مایع در بخار مرطوب: $(1-X)$

توجه: درجه خشکی بخار اشباع خشک 100% است.

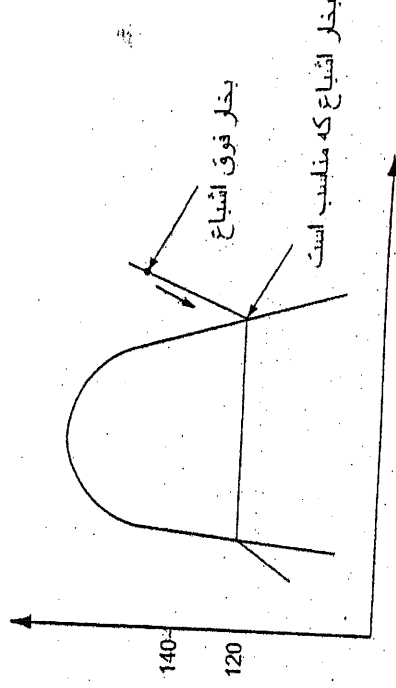
درجه خشکی مایع اشباع 0% است.



توجه: بهترین حامل و منتقل‌کننده حرارت در صنایع غنایی بخار اشباع خشک (بخار اشباع در حال کندانس) می‌باشد.

توجه: می‌دانیم اگر بخار اشباع خشک را در فشار ثابت حرارت دهیم، بخار گرم‌تر از اشباع یا بخار فوق گرم یا فوق اشباع خواهیم داشت. خصوصیات این بخار شبیه گازهای ایده‌آل است. یعنی ضریب انتقال حرارت پائینی دارد و باعث سوختن محصول نیز می‌گردد. بنابراین اگرچه آنتالپی و انرژی بیش‌تری از بخار اشباع در حال کندانس دارد ولی کاربرد آن در صنایع غنایی محدود است کاربرد بخار گرم‌تر از اشباع: ۱- در استرلیزاسیون ظروف مختلف با بخار برای جلوگیری از تقطیر زیاد (اگر از بخار اشباع کندانس

استفاده شود، به دلیل تقطیر، آب زیادی در ظرف جمع می‌شود).
۲- در انتقال بخار از دیگ بخار به دستگاه‌های مصرف‌کننده در کارخانه. (اگر از بخار اشباع استفاده شود، در راه مقداری از بخار کندانس می‌شود. پس ما بخار فوق گرم می‌فرستیم تا زمانی که بخار به دستگاه مصرف‌کننده می‌رسد، بخار فوق گرم به بخار اشباع رسیده باشد).



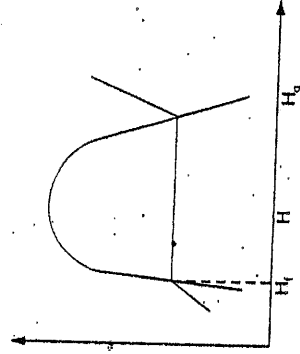
تذکر: در صورت کنداس شدن بخار در لوله منتقل کننده، این آب کنداس شده باید جدا شود (به دلایلی که ذکر نمی شود) و بخار خالص خشک باید به دستگاههای مصرف کننده برسد. بدین منظور از تله بخار (Steam Trap) استفاده می کنیم که اجازه خروج آب کنداس را می دهد.

توجه: آنتالپی مخلوط مایع - بخار از رابطه زیر به دست می آید:

$$H = H_f + XH_{fg}$$

$$H_{fg} = H_g - H_f$$

درجه خشکی



H_f : آنتالپی مایع اشباع

X : درجه خشکی بخار

H_{fg} : گرمای نهان تبخیر

توجه: سایر خصوصیات مخلوط مایع - بخار هم از همین رابطه به دست می آید. فقط جای H خصوصیت مورد نظر را قرار می دهیم.

مثلاً:

$$u = u_f + Xu_{fg}$$

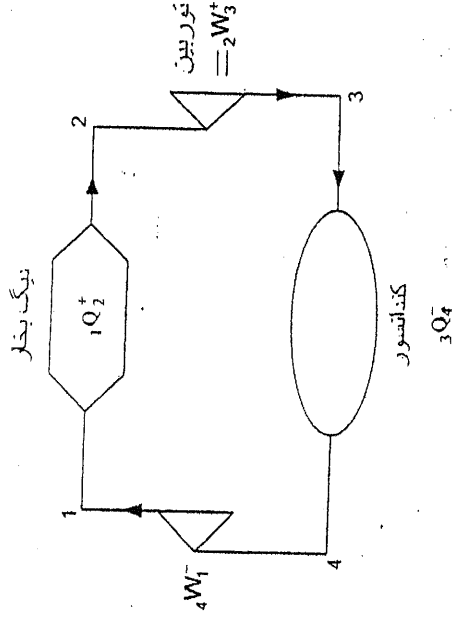
$$v = v_f + Xv_{fg}$$

سیکل کارنوت

سیکل، مجموعه ای از چند فرآیند است که در آن حالت ابتدایی و انتهایی مادی تحت فرآیند یکسان بوده و سیستم پس از طی کردن مراحل سیکل به حالت اولیه خود باز می گردد.

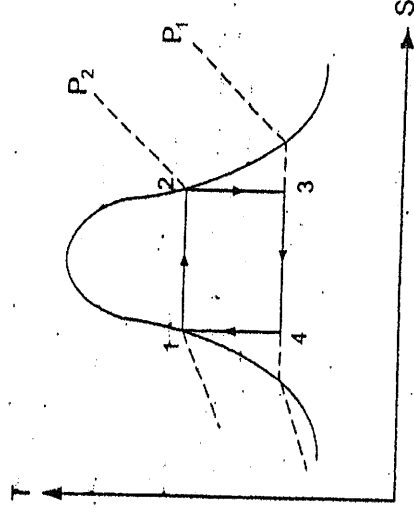
سیکل های متشکل از فرآیندهای برگشت پذیر را سیکل های ایده آل می گویند. سیستم بخار در سیکل کارنوت از چهار واحد

۱- دیگ بخار ۲- توربین بخار ۳- کنداسور و ۴- کمپرسور تشکیل شده است.



در مورد مفهوم علامت مثبت و منفی قبلاً قرار داده ذکر شد.

- از نقطه 1 تا نقطه 2 آب اشباع در داخل دیگ بخار حرارت دیده و به بخار تبدیل می‌شود.
 - از نقطه 2 تا نقطه 3 بخار توربین را به حرکت درآورده و پس از انجام کار منبسط می‌شود.
 - از نقطه 3 تا 4 بخار کندانسور در فشار و دمای کمتر به طور ناقص تقطیر می‌شود.
 - از نقطه 4 به 1 بخار مرطوب در کمپرسور متراکم شده و در فشار دیگ بخار در نقطه 1 وارد آن می‌شود.
- اکنون این چهار مرحله را در دیاگرام T-S نمایش می‌دهیم:



ملاحظه می‌کنید فرآیند 1-2 و 3-4 فرآیندهای ایزوترمال هستند. (دیگ بخار - کندانسور) هم‌چنین فرآیند 2-3 و 4-1 فرآیندهای آدیاباتیک و البته ایزنتروپیک می‌باشد (زیرا مطابق شکل، آنتروپی نقطه 3,2 مثل هم و آنتروپی نقطه 4,1 مشابه هم می‌باشد). (توربین و کمپرسور) تذکر 1: در فرآیند واقعی در توربین و کمپرسور آنتروپی زیاد می‌شود.

توجه :

دو نقص سیکل کارنوت عبارتند از:

- 1- راندمان کار در این سیکل کم می‌باشد یعنی حدود 0.7.

کار مصرف شده در کمپرسور - کار به‌دست آمده در توربین

راندمان کار: کار به‌دست آمده در توربین

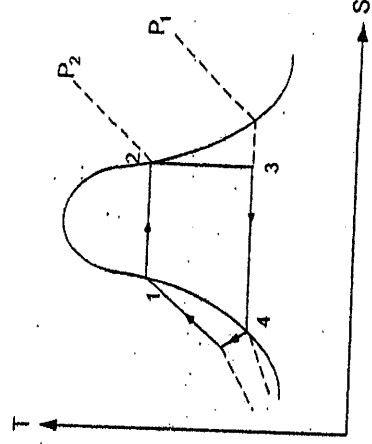
در سیکل کارنوت چون از کمپرسور استفاده می‌شود و کمپرسور برای انجام وظیفه‌اش مقدار زیادی انرژی احتیاج دارد لذا راندمان کار کم است.

۲- کمپرسور ایزواری جهت متراکم کردن گازها است. ولی در سیکل کارنوت مطابق دیاگرام $T-S$ ملاحظه می‌شود که در این سیکل، کمپرسور می‌بایست مخلوط عایق - بخار را متراکم کند. برای رفع این دو مشکل با اعمال تغییراتی در سیکل کارنوت، سیکل رانکین را خواهیم داشت. ملاحظه می‌شود به جای کمپرسور از پمپ برای بالا بردن فشار استفاده شده است.

توجه ۱: پمپ، نسبت به کمپرسور کم مصرف‌تر است.

توجه ۲: پمپ، ایزواری برای افزایش انرژی مکانیکی مایعات است.

توجه: در سیکل رانکین، بخار را به طور کامل در کندانسور تقطیر کرده و سپس فشار مایع مقطر را با استفاده از یک پمپ تغذیه کوچک به فشار دیگ بخار می‌رسانیم. به دیاگرام زیر توجه کنید:



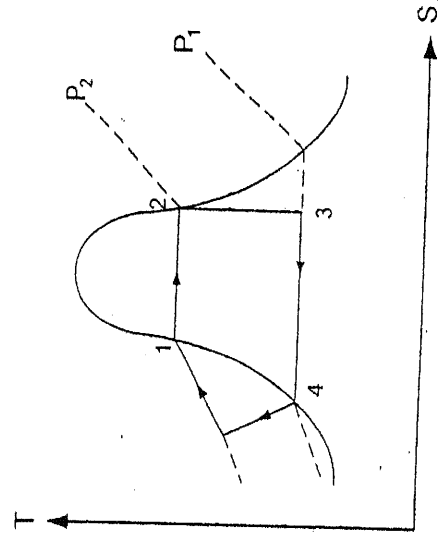
راندمان کار نزدیک به یک می‌باشد. (کار مصرف شده در پمپ ناچیز است)

کار مصرف شده در پمپ - کار به‌دست آمده در توربین

کار به‌دست آمده در توربین

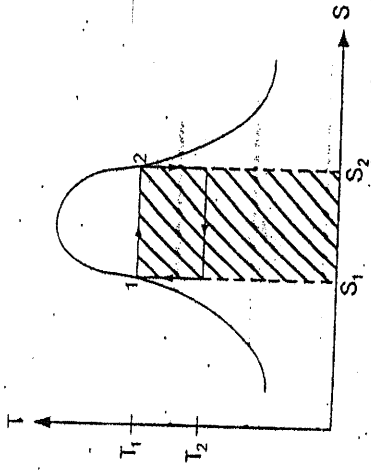
توجه: برخلاف راندمان کار، راندمان کل در سیکل کارنوت بیش‌تر از سیکل رانکین می‌باشد.

توضیح: می‌دانیم راندمان کل عبارت است از کار خالص گرفته شده تقسیم بر مصرف انرژی در دیگ بخار.



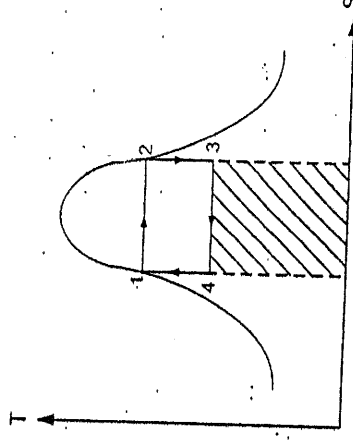
قبلاً دیدیم که گرمای مصرفی در دیگ بخار منتهای گرمای هدر رفته در کندانسور برابر کار مفید است:

$$W = Q_2 - Q_4$$



$$Q_2 = T_1 (S_2 - S_1)$$

کل گرما مصرفی در دیگ بخار



$$Q_4 = T_2 (S_2 - S_1)$$

گرمای هدر رفته در کندانسور

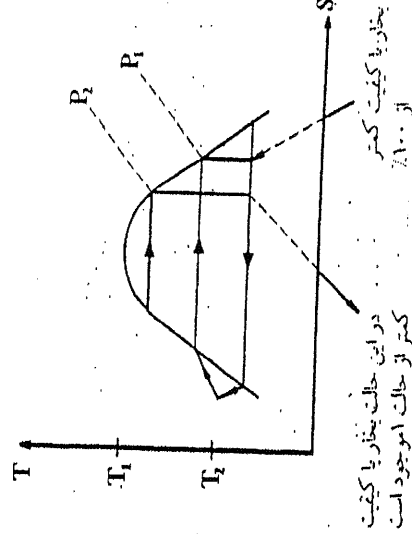
اگر این دو دیاگرام را برای سیکل رانکین رسم کنید، ملاحظه می‌شود مقدار $\frac{W_{net}}{Q_2}$ کمتر از سیکل کارنوت است (یعنی راندمان کل مستطیل سفید رنگ مقدار کار مفید را در سیکل کارنوت نشان می‌دهد که هرچه بزرگ‌تر باشد، راندمان بالاتر می‌رود).
در سیکل رانکین کمتر از سیکل کارنوت است.

روش‌های افزایش راندمان

۱- افزایش فشار اولیه و دمای بخار در دیگ بخار

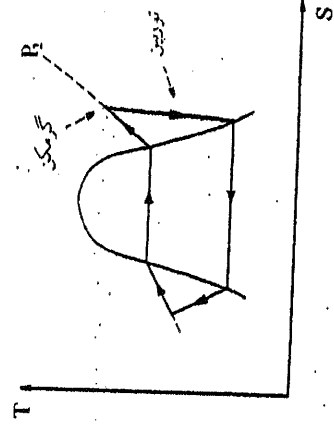
اما این مسئله باعث کاهش درجه خشکی (کیفیت) بخار می‌شود که برخورد این نوع بخار به توربین باعث صدمه دیدن

پره توربین می‌شود.



برای رفع اشکال فوق‌الذکر بخار اشباع را گرم کرده و آن را به بخار فوق اشباع تبدیل می‌کنیم (اکنون بخار در حین عبور از

توربین هم‌چنان به شکل بخار خشک است)
 دیگ بخار گرمکن



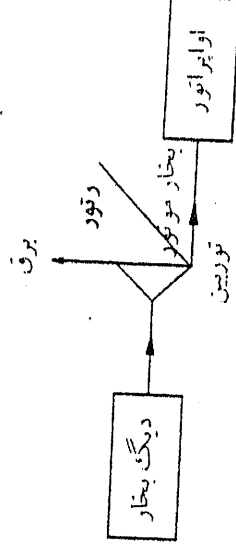
۲- فشار و دمای کندانسور را حتی الامکان کاهش دهیم.

این هم راهی است برای بالا بردن نسبت $\frac{W}{Q}$ یا راندمان. در این حالت نیز مستطیل سفید رنگ (W) بزرگ‌تر می‌شود.

- عامل محدود کننده در پایین آوردن دمای کندانسور، دمای ماده‌ی سرد کننده‌ی مصرفی است. مثلاً وقتی از آب رودخانه برای سرد کردن لوله‌های کندانسور استفاده می‌شود، دمای آب رودخانه 15°C است و سیال جاری در لوله‌ی کندانسور، در دمایی بالاتر از این باید کندانس شود.

تذکره ۱: در صنایع غذایی در دستگاه‌های تبادل حرارت مثل اواپراتور، پاستوریزاتور و بلانچر ... معمولاً از بخار با فشار ۲ تا ۳ اتمسفر (دمای حدود 121°C درجه) استفاده می‌شود اما در کارخانجاتی که از بخار برای حرکت توربین استفاده می‌کنند (مثلاً جهت تولید برق) فشار بخار تولیدی بسیار بالاتر باید باشد، مثلاً ۲۵ تا ۵۰ اتمسفر.

تذکر ۲: در کارخانه قند، توسط دیگ بخار، بخاری با فشار و دمای بالا تولید کرده، با این بخار برق تولید کرده و بخار کم انرژی حاصل از توربین را به سیستم‌های تبادل حرارت می‌فرستند.



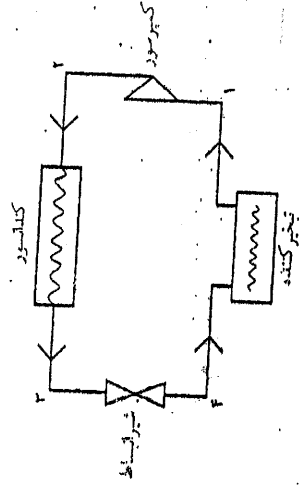
توجه: در صنایع غذایی اغلب تولید برق هدف نیست و به جای توربین از شیر انبساط استفاده می‌شود.

در عبور بخار از شیر انبساط، فشار آن کاهش یافته، حجم مخصوص زیاد می‌شود، دمای بخار کاهش یافته ولی درجه خشکی آن افزایش می‌یابد. فرایند عبور بخار از شیر انبساط آدیباتیک است ولی با افزایش آنترپی همراه است. یعنی آدیباتیک برگشت‌پذیر نیست.

۲- سیستم‌های تبرید: می‌خواهیم گرما را از جای سرد به جای گرم منتقل کنیم، این عمل فقط با انجام کار ممکن می‌شود.

(طبق قانون دوم ترمودینامیک)

۱-۲- سیکل معکوس کارنوت (سیستم تبرید کمپرسوری)
مشکل از کمپرسور، شیر انبساط، کندانسور و تبخیر کننده می‌باشد.



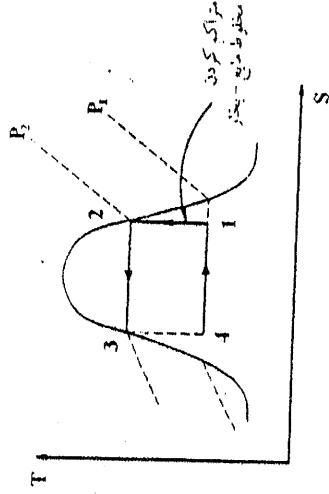
- در نقطه ۱ بخار مرطوب ماده‌ی سرمازا وارد کمپرسور می‌شود و فشار آن توسط کمپرسور افزایش می‌یابد.
- در نقطه ۲ این بخار متراکم شده وارد کندانسور شده و گرمای نهان خود را از دست داده (به محیط مجاور) و بخار اشباع به مایع

اشباع تبدیل می‌شود.

- در نقطه ۳ مایع وارد شیر انبساط شده و پس از عبور، فشار آن کم می‌شود.

- در نقطه ۴ این مایع کم فشار (که راحت بخار می‌شود چون فشار روی سرمایع کم است)، وارد تبخیر کننده شده (لوله‌های داخل یخچال) و با جذب حرارت در فشار و دمای ثابت تبخیر شده و البته محیط داخل یخچال را خنک می‌کند. به این مقدار حرارت جذب

شده اثر سرمازایی گویند.



این سیکل شامل دو فرآیند ایزوترم 3-4 و 1-2 و دو فرآیند آدیاباتی 2-3 و 4-1 است.

توجه ۱: Q_1 را اثر سرمازایی گویند. (گرمای جذب شده داخل یخچال توسط اواپراتورها)

توجه ۲: اشکال این سیکل ۱- در این است که متراکم کردن بخار (مرحله 2-1) در ناحیه مخلوط مایع - بخار انجام می شود (ورود ماده سرمازا مثلاً فرئون در حالت مایع به کمپرسور باعث شسته شدن روغن کمپرسور و حمل آن به کندانسور و تبخیر کننده می شود)

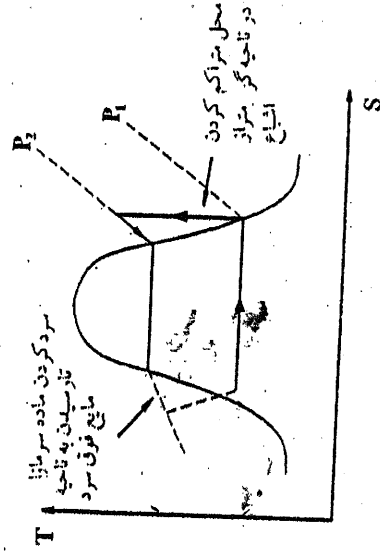
۲- Q_1 یا اثر سرمازایی کم است.

توجه ۳: واحد تجاری متداول برای بار سرمایی، تن تبرید است که معادل گرمای نهان ذوب یک تن یخ در طی ۲۴ ساعت می باشد.

$$280000 \frac{\text{BTu}}{24 \text{ h}} \text{ یا } 303852 \frac{\text{kJ}}{24 \text{ h}} \text{ یا } 3.52 \text{ kw}$$

۲-۲ سیکل عملی تبرید

در این سیکل دو اشکال فوق الذکر بر طرف شده است به شکل دقت کنید:



ملاحظه می شود که در تبخیر کننده، عمل متراکم کردن بخار را در ناحیه گرم تر از اشباع انجام می دهیم.

از طرفی عمل سردکردن مادهی سرمازا (فرئون) را تا رسیدن به ناحیه مایع فوق سرد ادامه می دهیم.

توجه : در سیستم تبرید به جای راندمان از اصطلاح ضریب کارایی استفاده می شود و عبارت است از گرمای جذب شده توسط

اواپراتور تقسیم بر کار انجام شده در کمپرسور

گرمای گرفته شده در اواپراتور

$$Q_1 = W + Q_2 \rightarrow \text{کار انجام شده در کمپرسور}$$

$$COP = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1}$$

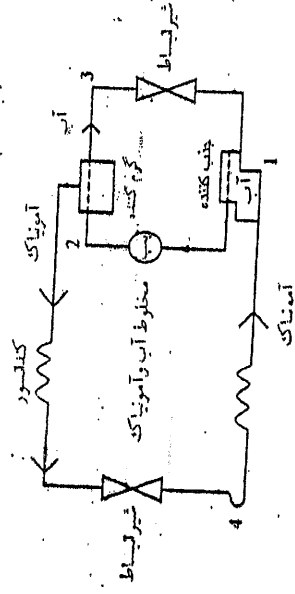
Coefficient of permenace ضریب کارایی

توجه: کارایی یک سیستم تبرید وقتی بیش تر است که مقدار حرارت بیش تری از محیط گرفته شده و مقدار کار کمتری مصرف شود.

توجه: برای کاهش مقدار کار مورد نیاز لازم است که فشار مرحله تقطیر در کندانسور با توجه به دمای مادی سردکننده کندانسور حتی المقدور پایین بوده و فشار مرحله تبخیر در تبخیر کننده با توجه به دمای مورد نیاز حتی المقدور بالا باشد. (مستطیل سفید کوچک شود).

۳-۲- سیستم تبرید جذبی

در این سیستم مطابق شکل به جای استفاده از کمپرسور از یک جذب کننده و یک پمپ و یک گرم کننده استفاده می شود. در این سیکل، بخار خشک خارج شده از اواپراتور (تبخیر کننده) بطرف یک جذب کننده حاوی مادی جانب (معمولاً آب) رفته و در آن حل می شود (مثلاً گاز آمونیاک بعنوان ماده سرمازا از اواپراتور خارج شده و در جذب کننده جذب آب می شود) اکنون به وسیله پمپ، فشار محلول بالا می رود و سرانجام در یک گرم کننده، آمونیاک از آب جدا می شود. آمونیاک پر فشار به سمت کندانسور می رود و بقیه مسیر شبیه سیکل های قبلی است. آب پر فشار جدا شده از آمونیاک نیز پس از شیر انبساط و پایین آمدن فشار مجدداً وارد جذب کننده می شود.



$$COP_{\text{ref}} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\text{حرارت جذب شده در اواپراتور}}{\text{حرارت مصرف شده در گرم کننده}}$$

ضریب کارایی سیستم تبرید جذبی عبارت است از:

اکنون کمی به مادهی سرمازا می پردازیم.
در سیستم های تبرید، معمولاً از اثر سرمازایی فرایند تبخیر مایعات در نتیجه کاهش فشار و انبساط استفاده می شود.

ویژگی های مایع سرمازا عبارتند از:

- ۱- بی خطر بودن
- ۲- بی اثر و غیر سمی
- ۳- نقطه جوش پایین
- ۴- گرمای نهان زیاد
- ۵- حجم مخصوص کم در فاز بخار
- فرئون و آمونیاک کاربرد زیادی به عنوان مادهی مبرد دارند.

آموزش، سعی است ولی گرمای نهان تبخیر بیش‌تری دارد و در واحدهای تبرید صنعتی کاربرد دارد. فرئون و بالانص فرئون R-12 در یخچال‌های خانگی استفاده می‌شود. برای یک کمپرسور با اندازه معین، R-22 به دلیل حجم مخصوص کمتر در فاز بخار منجر به سرایش بیش‌تر نسبت به R-12 می‌شود.

فرئون R-22 برای مواردی که به دماهای پایین نیاز باشد (87- تا 40-) استفاده می‌شود. امروزه مشخص شده است که کلروفلوروکربن‌ها (CFC) برای لایه ازن مضرند. لذا از هیدرو فلورو کربن‌ها HCF استفاده می‌شود. فلوروکربن‌های حاوی هیدروژن مثل HFC و HCFC پیوند هیدروژن، کربن ضعیف دارند. بنابراین عمر کوتاه‌تری دارند.

سایکرومتری

تعریف: مطالعه خواص و روابط مخلوطهای گاز و بخار را سایکرومتری می‌نامند. روابط سایکرومتریک در صنایع غذایی در فرآیندهایی مانند خشک کردن مواد غذایی و نیز تهیه و کنترل هوای انبارها و سردخانه‌ها بسیار اساسی می‌باشد.

هوای مرطوب: هوایی که تنفس می‌کنیم مخلوطی است از هوای خشک و بخار آب. رطوبت + هوای خشک = هوا

$$\text{رطوبت مطلق} = \frac{\text{کیلوگرم بخار آب}}{\text{کیلوگرم هوای خشک}} = \frac{w}{d} \quad \text{واحد: } \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

رطوبت اشباع: هرگاه در شرایط ثابت، در دما و فشار معین، مقدار رطوبت هوا به حداکثر مقدار ممکن برسد، می‌گوییم هوا از بخار آب اشباع شده و رطوبت مطلق هوای اشباع شده را رطوبت اشباع می‌گویند.

رطوبت نسبی: فشار جزئی بخار آب در یک سیستم به فشار بخار آب در همان سیستم در شرایط اشباع (در همان دما و فشار).

$$\text{Relative Humidity} \leftarrow RH = \frac{\text{فشار جزئی بخار آب}}{\text{فشار جزئی بخار آب در شرایط اشباع}} \times 100 = \frac{p_w}{p_{w_s}} \times 100$$

توجه: فشار جزئی، تابع دما می‌باشد.

همچنین برای RH می‌توان روابط زیر را ارائه کرد:

$$RH = \frac{\text{جزء مولی بخار آب در هوا}}{\text{جزء مولی بخار آب در حالت اشباع}} \times 100 = \frac{h_w}{h_{w_s}} \times 100$$

$$RH = \frac{\text{مقدار رطوبت موجود در سیستم}}{\text{مقدار رطوبت مواد در هوا به حالت اشباع در همان سیستم}} \times 100 = \frac{\text{رطوبت مطلق هوا}}{\text{رطوبت مطلق هوا در حالت اشباع}} \times 100$$

نقطه شبنم: هرگاه یک مخلوط هوا بخار با رطوبت مطلق ثابت، سرد شود، در درجه حرارت معینی رطوبت نسبی آن به 100% رسیده و اشباع می‌شود. درجه حرارتی را که رطوبت نسبی 100% می‌شود را نقطه شبنم گویند.

توجه: اگر دما بازم کمتر شود، مخلوط هوا - بخار مقداری از رطوبت خود را از دست می دهد (به صورت مه یا شبنم) و مجدداً حالت

اشباع خود را به دست خواهد آورد.

دمای حباب خشک: درجه حرارت هوای مرطوب که با استفاده از یک دماسنج معمولی اندازه گیری می شود.

دمای حباب مرطوب: هرگاه مخزن جیومای دماسنج را با یک پارچه خیس بیوشانیم و بعد دماسنج را در هوا تکان دهیم و یا

دماسنج ثابت باشد و هوا با سرعت معین از روی مخزن جیومای عبور کند، اگر هوا اشباع نباشد تمایل دارد از پارچه خیس رطوبت

جذب کند و گرمای نهان تبخیر از جیوه گرفته می شود و بدین ترتیب دماسنج دمای کمتری را نسبت به دماسنج معمولی نشان

می دهد که به آن دمای مرطوب می گویند.

توجه: در هوایی که از رطوبت اشباع است دماسنج حباب خشک و مرطوب یک عدد را نشان می دهد.

حجم مخصوص هوای مرطوب (مخلوط هوا بخار): حجم مخلوط هوا - بخار به ازای هر کیلوگرم هوای خشک.

توجه: هرچه دما بیش تر، حجم مخصوص بیش تر و هر چه رطوبت مطلق بیش تر، حجم مخصوص بیش تر.

گرمای ویژه مرطوب: گرمای ویژه مخلوط هوا - بخار است و واحد آن $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ است.

$C_s = C_p + C_w$

$C_s = C_p + C_w$

C_s : گرمای ویژه مرطوب

C_p : گرمای ویژه هوای خشک $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ مایه خشک

C_w : گرمای ویژه بخار آب $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ مایه بخار آب

w : رطوبت مطلق $\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$ مایه بخار آب

توجه: C_w برابر است با $\frac{1.88 \text{ kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ و C_p حدود $\frac{1 \text{ kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ می باشد.

آنتالپی مخلوط هوا - بخار: نشان دهنده مقدار حرارت (انرژی) موجود در یک مخلوط هوا - بخار نسبت به یک مبنای اختیاری است

و واحد آن ژول بر کیلوگرم هوای خشک است.

انرژی ناشی از گرمای نهان بخش رطوبت $\rightarrow w\lambda_0 + \frac{C_s(T - T_0)}{\lambda_0}$

انرژی ناشی از دمای محسوب مخلوط هوا - بخار

انرژی ناشی از دمای محسوب مخلوط هوا - بخار

انرژی ناشی از دمای محسوب مخلوط هوا - بخار

انرژی ناشی از دمای محسوب مخلوط هوا - بخار

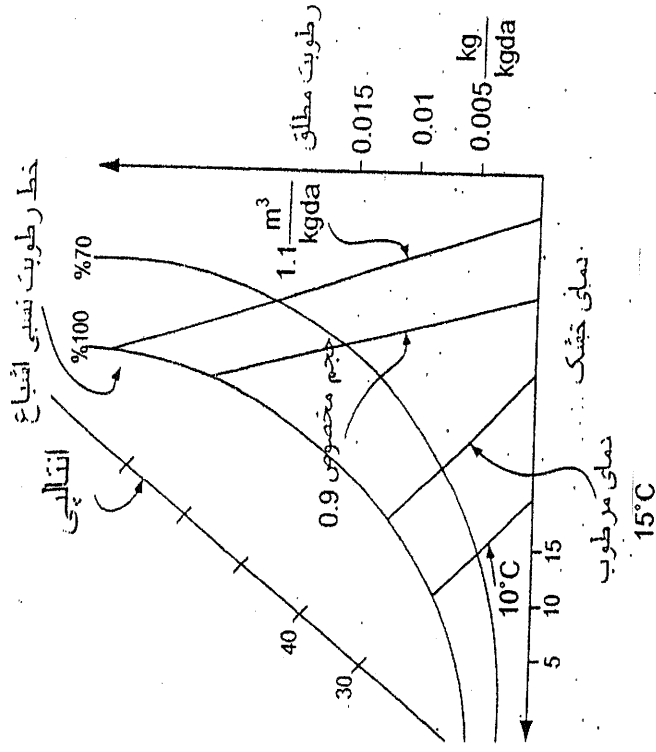
انرژی ناشی از دمای محسوب مخلوط هوا - بخار

انرژی ناشی از دمای محسوب مخلوط هوا - بخار

λ_0 : گرمای نهان تبخیر

w : رطوبت مطلق

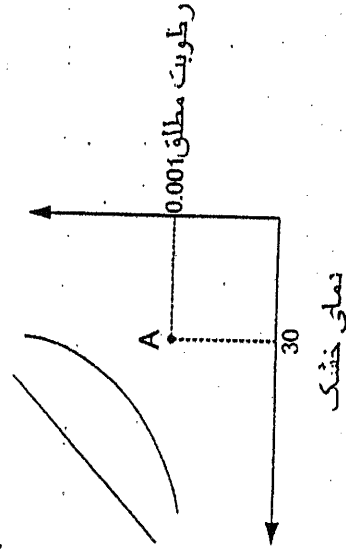
چارت سایکرومتریک: برای تسهیل محاسبات از چارت سایکرومتریک استفاده می‌شود. در زیر نمونه‌ای از چارت ملاحظه می‌شود:



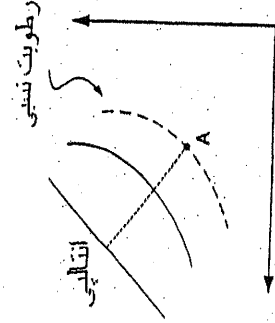
da: هوای خشک

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، خصوصیات هوا در چارت موجودند.

توجه: با داشتن 2 خصوصیت، می‌توان حالت هوا را تعیین کرد و بنابراین سایر خصوصیات را نیز تعیین نمود. مثلاً در شکل زیر با داشتن دمای خشک و رطوبت مطلق، حالت هوا تعیین شده است (نقطه A).



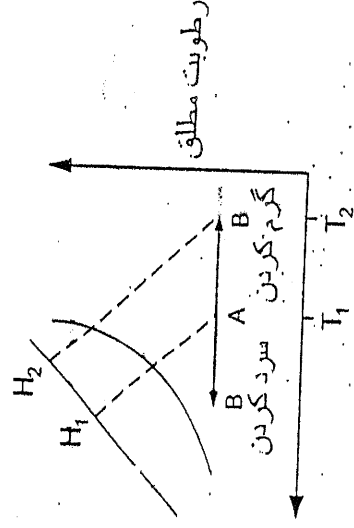
بنابراین اکنون می‌توان رطوبت نسبی هوای A یا هر یک از خصوصیات دیگر مثل انتالپی و حجم مخصوص آن را تعیین کرد.



توجه: با دو خصوصیت غیرمستقل نمی‌توان حالت هوا و دیگر خصوصیات آن را تعیین کرد. مثلاً با رطوبت مطلق و نقطه شبنم یا به وسیله آنتالپی و دمای مرطوب نمی‌توان حالت هوا را تعیین کرد.

فرآیندهای سایکرومتریک

۱- گرم کردن یا سرد کردن هوا



فرآیندهای مذکور روی خطوط مستقیم افقی که نقاط معرف حالات اولیه و نهایی مخلوط را به هم وصل می‌کند، در روی چارت مشخص می‌شود.

توجه:

گرم کردن در رطوبت مطلق ثابت باعث افزایش:

۱- دمای خشک

۲- دمای مرطوب

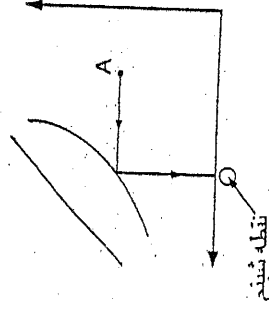
۳- آنتالپی

۴- حجم مخصوص می‌شود.

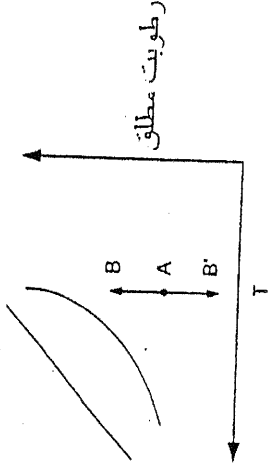
ولی رطوبت مطلق و نقطه شبنم تغییر نمی‌کنند.

$$Q = m \Delta H \quad \text{یا} \quad Q = mc_2 (T_2 - T_1)$$

توجه: مقدار گرمای مصرفی از دو رابطه به دست می‌آید: (۱) رطوبت مطلق ثابت هوا را سرد می‌کنیم تا به خط رطوبت یادآوری: نحوه‌ی تعیین نقطه شبنم: مطابق شکل زیر موازی محور افقی در رطوبت مطلق ثابت هوا را سرد می‌کنیم تا به خط رطوبت یادآوری: نحوه‌ی تعیین نقطه شبنم: مطابق شکل زیر موازی محور عمودی دمای خشک را می‌خوانیم که این دما نقطه شبنم است.

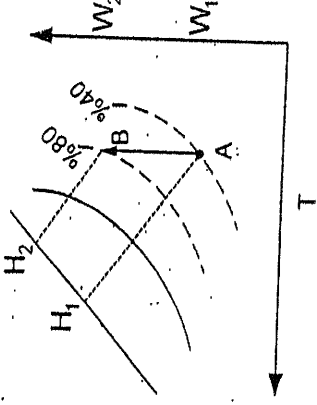


۲- فرآیند مرطوب کردن یا خشک کردن هوا



تغییر وضعیت هوا (نقطه A) با افزایش یا کاهش رطوبت مطلق در دمای ثابت به وسیله خطوط عمودی مشخص می شود.

توجه: در فرآیند مرطوب کردن در دمای خشک ثابت مقداری بخار آب به هوا اضافه می شود، بنابراین انرژی سیستم (آنتالپی)، رطوبت مطلق، رطوبت نسبی و حجم مخصوص زیاد می شوند.



Q : مقدار افزایش انرژی برای M کیلوگرم هوای خشک
 m : مقدار رطوبت افزوده شده به هر کیلوگرم هوای خشک

یعنی:

$$m = w_2 - w_1$$

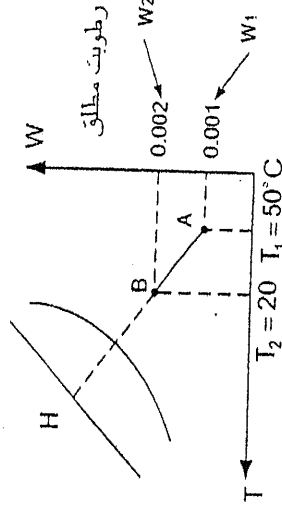
$$Q = M \Delta H = m \lambda$$

گرمای نهان تبخیر

۳- تبرید تبخیری (اشباع آدیاباتیک)

کولر آبی را تصور کنید. هوای گرم و خشک از روی تشت آب کولر عبور می کند و گرمای خود را به آب می دهد (گرمای نهان تبخیر آب) و آب از جای غلیظ (تشت) به جای رقیق (هوای خشک) منتقل می شود. بنابراین هوای عبوری از روی آب، خنک و مرطوب می شود. در واقع هوا مقداری حرارت به صورت گرمای محسوس ($Q = m C_s \Delta T$) از دست می دهد و مقداری حرارت به صورت گرمای نهان ($Q = m \lambda$) به دست می آورد. پس می توان گفت، تغییر انرژی ندارد. یعنی $\Delta H = 0$ است. به خاطر همین، این فرآیند را اشباع آدیاباتیک نیز می گویند (هوا از رطوبت اشباع می شود ولی تغییر آنتالپی ندارد).

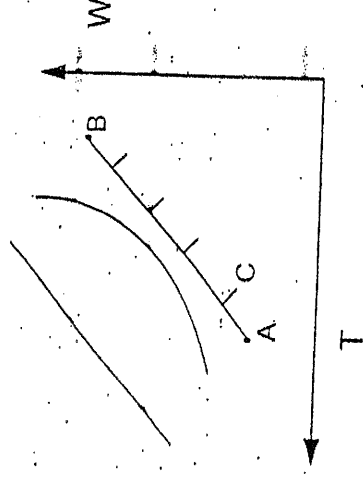
$$m C_s (T_2 - T_1) = \lambda (w_2 - w_1)$$



۲. مخلوط کردن دو جریان هوا

هرگاه دو جریان هوا با مشخصات متفاوت، مطابق شکل با هم مخلوط شوند، مشخصات هوای حاصله روی خط مستقیمی که دو

جریان هوای اولیه را به هم متصل می‌کند قرار می‌گیرد و البته نزدیک‌تر به هوایی که حجم بیش‌تر داشته باشد.



در شکل، سه حجم هوای A با یک حجم هوای B مخلوط شده

است و مخلوط حاصله به فاصله $\frac{1}{4}$ از هوای A قرار دارد.

خشک کن ها:

طبقه‌بندی بر اساس هزینه:

گرمای → ارزان

خشک کردن با هوا (جابه‌جایی اجباری) > بسترسیالی > غلطکی (drum) > خشک کن خلایی ملوم (vacuum drying) > خشک کن انجمادی

طبقه‌بندی بر اساس مصرف انرژی برای تبخیر یک کیلوگرم آب:

پنوماتیک > پاششی > بسترسیالی > Roller drying

۱. خشک کن هایی که با هوای داغ کار می‌کنند:

1 - Bin driers (deep - bed)

مخزن‌های استوانه‌ای می‌باشند که در بخش‌های پایینی یک سطح مشبک دارند. محصول روی این سطح قرار می‌گیرد و هوای داغ

از پایین و با سرعت نسبتاً پایین از خلال سطح مشبک به محصول می‌وزد. این خشک کن ظرفیت بالا و هزینه سرمایه‌گذاری پایین

دارد. اغلب، ماده‌ی غذایی را با روش‌های دیگر خشک کرده و با این روش رطوبت آن را تا 3 تا 6 درصد کاهش می‌دهند (finishing)

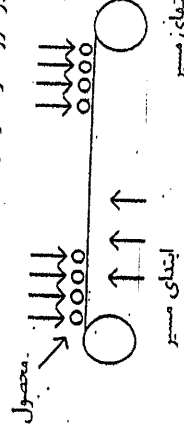
۲- خشک کن سینی دار (خشک کن کابینتی):

شامل یک محفظه عایق بندی شده است که درون آن سینی های مشبک و سوراخ دار قرار دارد. روی این سینی ها لایه ای به ضخامت 2 تا 6 سانتی متر از ماده غذایی قرار می دهند.

از هوای داغ با سرعت 0.5 تا 5 متر بر ثانیه استفاده می شود و از هیتر برای گرم کردن هوا استفاده می شود. اصولاً برای حجم تولید پایین (یک تا بیست تن در روز) به کار می روند. هزینه سرمایه گذاری پایین دارند اما کنترل ضعیف و کیفیت محصول پایین است برای سبزیجات و میوه جات به کار می رود.

۳- خشک کن نواری پیوسته (Belt driers):

شامل یک نوار به طول 20 متر و عرض 3 متر می باشد. ماده غذایی به ضخامت 5 تا 15 سانتی متر روی این نوار مشبک، خشک می شود. هوا در ابتدای مسیر از پایین به محصول از خورد کرده و در انتهای مسیر از بالا به محصول بر خورد می کند.



در ابتدای مسیر، ضخامت ماده ی غذایی روی نوار کم (5 تا 15cm) می باشد و در انتها ضخامت زیاد (250 تا 900 cm) می شود. در این روش محصول تا رطوبت حدود 10 تا 15% خشک می شود و سپس به خشک کن های شماره 1 (Bin) منتقل می شوند و تا

رطوبت نهایی خشک می شوند.

کاربرد دیگر خشک کن نواری خشک کردن کف می باشد (foam mat drying). در این حالت ماده غذایی مایع نظیر آب پر تقال به صورت کف پایدار در آمده (با کمک پایدار کننده و هوادهی یا نیتروژن دهی) این کف را به ضخامت 2 تا 3 میلی متر روی نوار پهن کرده و با جریان هوای موازی و ناهمسو خشک می کنند.

خشک کردن مایع با روش foam 3 برابر سریع تر از خشک کردن مایع (با ضخامت مشابه) می باشد. در این روش کیفیت محصول بالاست اما سرمایه گذاری نیز بالاست.

۴- خشک کن بستر سیالی:

ماده ی غذایی به ضخامت 15cm درون سینی فلزی ریخته و هوای داغ از زیر دمیده می شود این هوا علاوه بر خشک کردن، باعث منایق شدن دانه ها نیز می شود.

در این روش به فضای کمتر احتیاج است. سرعت خشک کردن و راندمان حرارتی بالا است. کنترل بر شرایط خشک کردن نیز بالاست. از خشک کن Bin برای مراحل آخر کار استفاده می شود. این روش مناسب قطعات ریز ماده ی غذایی مثل سبزیجات خرد شده، نخود فرنگی، پودرها یا غذاهای اکستروژن شده می باشد این روش می تواند پیوسته و یا ناپیوسته باشد.

۵ خشک کن پتوماتیک:

محصول پودری یا قطعات ماده غذایی به‌طور پیوسته و مداوم در مجراهای عمودی یا افقی خشک می‌شوند. در مسیر سیکلونی وجود دارد که ماده‌ی غذایی خشک شده را از هوا جدا می‌کند. در واقع ماده‌ی غذایی مرطوب (معمولاً کمتر از 40٪ رطوبت) به درون مجرا هدایت شده و در هوای داغ معلق می‌شود. این روش سرمایه‌گذاری نسبتاً پایینی نیاز دارد، سرعت خشک کردن و راندمان حرارتی بالا بوده و کنترل مناسبی بر روی خشک شدن محصول اعمال می‌شود. این روش اغلب بعد از روش خشک کردن پاششی (spray drying) برای تولید محصولی با رطوبت کمتر از حد نرمال به کار می‌رود (مثل شیر خشک مخصوص و پودر تخم‌مرغ مخصوص گرانول‌های سبزمینی مخصوص).

۶ خشک کن‌های روتاری (Rotary drier):

یک استوانه فلزی گردان و شیب دار می‌باشد که در داخل آن صفحه مارپیچ وجود دارد. با چرخش استوانه، محصول همراه شده و با هوای داغ برخورد می‌کند. چون محصول تکان می‌خورد، افکان چسبیدن وجود ندارد، اما امکان صدمه به محصول وجود دارد. برای کریستال‌های شکروکاکائو قابل استفاده است. سرعت خشک کردن و یکنواختی بالا بوده و برای مواد چسبنده مناسب است.

۷ خشک کن پاششی (spray drier):

یک دیسپرسور پخش تخلیط شده از ماده غذایی به وسیله اتمایزر به صورت ذراتی به قطر 10 تا 200 میکرومتر به درون هوای داغ 150 تا 300 درجه، در یک محفظه بزرگ پاشیده می‌شود. هوای خروجی 100°C - 90 و دمای حباب مرطوب (دمای محصول) معادل 40 تا 50 درجه سانتی‌گراد است. روش‌های اتمیزه (پاشیدن) کردن محصول عبارتند از:

۱- اتمایزر سانتریفوژی:

ماده‌ی غذایی مایع به مرکز یک دیسک گردان (با سرعت 90 تا $200 \frac{m}{s}$) تریق شده و ذرات با قطر 50 تا 60 میکرومتر از سوراخ‌هایی که در محیط دیسک قرار دارند، خارج می‌شوند.

۲- اتمایزر نازل فشاری (pressure nozzle atomizer):

سیال با فشار بسیار بالای 700 تا 2000 کیلوپاسکال از روزه (نازل) عبور می‌کند. قطر ذرات، 180 تا 250 میکرومتر است. نازل‌ها گران می‌باشند و اگر محصول ساینده باشد، زود گشاد می‌شوند.

۳- اتمایزر نازل دو سیالی (Two - fluid nozzle atomizer):

هوای فشرده ایجاد قلیان کرده و باعث اتمیزه کردن (پاشش) سیال می‌شود. فشار در این نوع کمتر از نوع 2 می‌باشد و اندازه ذرات تشکیل شده نیز متنوع‌تر از نوع 2 می‌باشد (یکنواختی کمتر). سرعت خشک شدن بالا می‌باشد (10s - 1). دمای محصول معادل دمای حباب تر می‌باشد و بنابراین محصول دچار حداقل صدمه حرارتی می‌شود. جریان هوا می‌تواند همسو یا ناهمسو باشد.

محصول خشک شده، در پایین خشک کن جمع شده و به وسیله نقاله پیچشی یا پینوماتیک مجهز به سیلکون منتقل می شود. سرمایه گذاری بالا نیاز دارد. مصرف انرژی بالاست. کیفیت محصول خوب خواهد بود. معمولاً برای شیر، تخم مرغ، آب میوه، چای و پودرهای فوری (با قابلیت حل شدن بالا) به کار می رود.

۸. خشک کن تونلی:

شامل واگن های حامل سینی می باشد. ماده غذایی در این سینی ها قرار می گیرد و این واگن ها به صورت نیمه مداوم درون تونل عایق بندی شده حرکت می کنند و هوا می تواند به صورت های مختلف همسو، ناهمسو، عمودی و یا ترکیبی از این روش ها درون تونل جریان یابد. غذای خشک شده، مراحل آخر خشک شدن را در خشک کن Bin به انجام می رساند. معمولاً در یک تونل 20 متری 12 تا 15 واگن قرار می گیرد. با این روش می توان مقادیر زیاد ماده غذایی را در مدت نسبتاً کوتاه خشک کرد (5 تا 16 ساعت). اما در مقایسه با روش هایی نظیر خشک کردن نواری و خشک کن بسترسیالی هزینه کارگر بالاتر و راندمان انرژی و کیفیت محصول پایین تر دارد.

۹. خشک کن با نور خورشید:

اگر از نور خورشید مستقیماً استفاده شود، sun dring گویند و اگر نور خورشید به وسیله کالکتور جمع آوری شده (ذخیره شود) و بعد صرف گرم کردن هوا شود solar drying گویند. هر دو روش، انرژی می باشند و نیاز به کارگر متخصص ندارند. کنترل زیادی بر روی خشک کردن نیست و کیفیت پایین است و خشک کردن وابسته به شرایط جوی است.

۱۰. خشک کن های سطح داغ:

حرارت از طریق هدایت (conduction) به ماده غذایی می رسد و دو مزیت نسبت به خشک کن های هوای داغ دارند:
۱- راندمان حرارتی بالاست (زیرا نیازی به گرم کردن حجم زیاد هوا قبل از خشک کردن نیست).
۲- خشک کردن را می توان در غیاب اکسیژن انجام داد (تا از اکسید شدن ماده غذایی جلوگیری کرد).

الف - خشک کن غلطکی (drum drier):

غلطکی گردان که درونش بخار 120 تا 170 درجه سانتی گراد وجود دارد و با چرخش درون ماده غذایی مایع، لایه ای از ماده غذایی که به سطح آن تماس می یابد را خشک می کند و این لایه خشک شده توسط تیغه ای تراشیده می شود. برای خشک کردن موادی مثل پوره سیب زمینی، غذای کودک، پودر میوه جات و ملاس به کار می رود. در واقع موادی که دارای قطعات بزرگی هستند و با خشک کردن پاششی خشک نمی شوند، سرعت خشک کردن بالا و راندمان انرژی بالا دارند. اما سرمایه گذاری بالا می خواهند و برای مواد حساس به حرارت بالا مناسب نیستند. سیستم Drum ممکن است در محفظه خلأ قرار بگیرد (جهت جلوگیری از اکسیداسیون). سیستم می تواند یک غلطکی یا دو غلطکی باشد. به فضای بین دو غلطک Nip گویند. در

سیستم تک غلطکی یک سری غلطک کوچک در کنار غلطک اصلی قرار می گیرند که به آن ها applicator می گویند که کار آن ها سرد کردن ماده غذایی است.

ب - خشک کن قفسه ای shelf drier

ماده ی غذایی روی توار نقاله از جنس استیل، اسپری می شود و آن گاه در مرحله اول غلطک داغ مواد را خشک می کند و بعد از آن رادیاتورهای داغ (IR) کار خشک کردن را ادامه می دهند. نهایتاً غذا با غلطک های سرد، سرد می شود و نهایتاً با یک تیغه از روی توار استیل ترانزیه می شود. سرعت خشک کردن بالا، صدمه حرارتی را کم می کند.

ج - خشک کن انجمادی

ماده ی غذایی درون یک محفظه منجمد شده آن گاه درون محفظه خلأ نسبتاً بالا ایجاد کرده و نهایتاً کمی ماده ی غذایی گرم می شود. بدین ترتیب ماده ی غذایی منجمد مستقیماً بخار می شود. عمل گرم کردن یا با مایکروویو یا به وسیله یک سینی که در زیر آن روغن داغ جریان دارد انجام می شود. در این خشک کن هر دو گرمای نهان ذوب و تبخیر به کار می رود. محصول خشک شده متخلخل بوده و با کیفیت است. اما قیمت و هزینه خشک کردن بالاست. توجه داشته باشیم که تخلخل بالا منجر به اکسید شدن ماده ی غذایی نشود. بنابراین در انتهای کار برای شکستن خلأ دستگاه، گاز خنثی (ازت) داخل محفظه می فرستند.

مطالعات قبل از اجرای طرح

۱- شناخت و معرفی کالا یا کالاهای تولیدی در طرح

کالاهای تولیدی می‌بایست به طور کامل توسط موارد زیر معرفی شود.

الف- ویژگی‌ها و مشخصات فنی

ب- نوع بسته‌بندی

ج- شماره استاندارد ملی یا بین‌المللی

د- مشخصات تجاری کالا

سؤال : مراحل اداری احداث بهره‌برداری واحد تولیدی غذایی را نام ببرید.

۱- جواز تأسیس

۲- تأمین محل

۳- استعلام از سازمان‌های دولتی

۴- احداث بنا و خرید ماشین‌آلات

۵- پروانه بهره‌برداری صنایع

۶- پروانه مسئول فنی و بهره‌برداری از اداره نظارت

۷- پروانه ساخت

۸- مهر استاندارد

۲- محاسبه کارایی فیزیکی و کارایی اقتصادی

$$\text{کارایی فیزیکی یا راندمان فیزیکی} = \frac{\text{out put}}{\text{in put}}$$

مثال:

راندمان فیزیکی رب گوجه قرنگی 20% است یعنی از هر 100 کیلو گوجه قرنگی 20 کیلو رب به دست می‌آید.

توجه : کارایی فیزیکی، همیشه کمتر از یک می‌باشد.

$$\text{کارایی یا راندمان اقتصادی} = \frac{\text{ارزش}}{\text{هزینه}} = \frac{\text{قیمت فروش یک کیلو محصول ساخته شده}}{\text{x کارایی فیزیکی}}$$

قیمت خرید یک کیلو مواد خام

توجه: کارایی اقتصادی مطابق رابطه فوق باید حتماً بیش از 100% باشد و از آن جا که هزینه تولید فقط خرید مواد خام نیست و

شامل بسیاری هزینه‌های دیگر هم می‌باشد، لذا در عمل، کارایی اقتصادی باید حداقل بیش از 150% باشد تا مطالعات بعدی انجام

شود.

مثال:

$$\text{راندمن اقتصادي رب} = \frac{20 \text{ رب}}{100 \text{ گوجه}} \times \frac{\text{قيمت يك كيلو رب: } 7000 \text{ ريال}}{\text{قيمت يك كيلو گوجه: } 400 \text{ ريال}} = 350\%$$

۳- برآورد نیاز

۱-۳ مطالعه بازار مصرف (مطالعه نرخ رشد جمعیت ، طبقات مختلف اجتماعی و سنی و رفتار خرید مردم ...)

۲-۳ مطالعه بازار مواد اولیه

پتانسیل تولید مواد اولیه در مناطق مختلف سنجیده شود.

۴- بررسی دانش فنی و تکنولوژی و مسئله اتوماسیون

توجه : قرارداد انتقال تکنولوژی معمولاً به یکی از سه روش زیر منعقد می‌شود:

۱- کسب امتیاز Licensing مشارکت (Joint Venture) ۲- ۳- بیع متقابل انجام می‌شود. (Buy Back)

۱- خریدار علاوه بر هزینه‌های خرید، تهیه و نصب ماشین آلات، مبلاتی نیز بابت خرید تکنولوژی می‌دهد. خریدار تکنولوژی، اداره

کارخانه را به‌طور کامل در اختیار دارد.

۲- فروشنده با خریدار شریک می‌شود و پس از رسیدن به مرحله بهره‌برداری، مدیریت تولید و فروش به عهده فروشنده است که

می‌بایست به تدریج به خریدار واگذار کند.

۳- فروشنده، تکنولوژی و ماشین آلات را به‌عنوان سهم خود در شراکت قرار می‌دهد و پس از بهره‌برداری، درصدی از تولید را

به‌عنوان سهم خود بر می‌دارد که از دو نوع قبلی بهتر است.

مطالعات محل اجرای طرح

۱- مهم‌ترین عامل وفور ماده اولیه است (نزدیکی به محل تولید مواد اولیه).

توجه: میزان حمل و نقل مواد اولیه ۵ برابر مواد ساخته شده است.

۲- نزدیک بودن به بازار فروش

۳- سوخت و انرژی و منابع آب

۴- نیروی انسانی ماهر و نیمه ماهر و هزینه‌های پرسنلی

۵- وجود راه‌های ارتباطی

۶- آب و هوا و شرایط محیطی محل استقرار

۷- ویژگی‌های زمین

۸- مسئله سیل و آتش‌سوزی

۹- تسهیلات بانکی

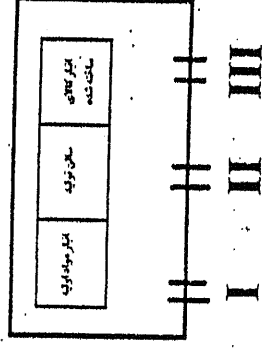
توجه: فاصله کارخانه مواد غذایی تا سایر کارخانجات، حداقل 500 متر ولی با دامداری‌ها حداقل 1000 متر باید باشد و بسته به شرایط توپوگرافی بیش تر نیز می‌تواند باشد.

* مبانی طراحی کارخانه

هدف از طراحی کارخانه، پیدا کردن بهترین مجموعه از ارتباط‌های فیزیکی مورد نیاز بین ماشین آلات، نیروی انسانی، جریان مواد، انبارها و بخش‌های خدماتی تولید و بخش‌های رفاهی به منظور ایجاد بالاترین کارایی اقتصادی می‌باشد.

- ۱- اهمیت طراحی کارخانه: برای این که طراحی کارخانه مفید باشد باید:
 - اولین شرطی که یک طرح خوب باید دارا باشد ایجاد حرکتی روان در مواد مورد فرآوری است (طرح مناسب جریان مواد)
 - استقرار مناسب دستگاه‌ها و تجهیزات
 - سیستم صحیح حمل و نقل به گونه‌ای که همواره به حال پویایی باشد نه ایستایی
 - سرویس‌های فنی همواره در کنار خط وجود داشته باشد.

در شکل زیر کدام محل برای درب کارخانه بیسکویت‌سازی مناسب است؟



جواب : در کارخانه بیسکویت چون مقدار مواد اولیه و ساخته شده یکی است لذا موقعیت II بهتر است. اما اگر مواد اولیه فله‌ای داشتیم، موقعیت I بهتر می‌بود.

* اهداف طراحی

- ۱- آسان‌سازی فرآیند تولید
- ۲- کم کردن حجم انتقال مواد
- ۳- انعطاف‌پذیری فرآیندها و تجهیزات
- ۴- کوتاه کردن زمان تولید
- ۵- کاهش حجم سرمایه‌گذاری
- ۶- استفاده بهتر از نیروی کار
- ۷- استفاده اقتصادی از زمین
- ۸- فراهم آوردن ایمنی و آسایش کارکنان

کاربرد طراحی و استمرار طراحی: طراحی کارخانه با پیاده کردن طرح به پایان نمی‌رسد، بلکه با گذشت زمان باید تغییرات و

اصلاحات در آن انجام داد.

۲- تغییر طرح

۱- احداث کارخانه جدید

۴- تغییر مکان یک بخش

۳- بزرگ‌تر کردن یک بخش

۶- افزودن یک بخش جدید

۵- تولید یک محصول جدید

۸- تغییر در روش تولید یک محصول

۷- جایگزینی ماشین‌ها و وسایل به جای وسایل قدیمی

۱۰- مناسب نبودن ایمنی یا آسایش در کارخانه

۹- تقلیل در هزینه تولید

* عوامل مؤثر در طراحی

۱- نحوه‌ی رسانیدن مواد به کارخانه

۲- نحوه‌ی دریافت و بازرسی

۳- نحوه‌ی نگهداری مواد اولیه

۴- نحوه‌ی تولید (انتخاب تکنولوژی)

۵- نحوه‌ی نگهداری کالای ساخته شده

۶- نحوه‌ی رسانیدن محصول به بازار

۷- نحوه‌ی طراحی تأسیسات جنبی

۸- نحوه‌ی کنترل کیفیت و انجام تحقیقات

۹- سیستم‌های اداری

* اتوماسیون

انگیزه‌های اتوماسیون:

۳- کاهش هزینه‌ها

۲- و جهه بین‌المللی

۱- رقابت

توجه: طراحی اتوماسیون در کارخانه پرمبنای شناخت دقیق از فرآیند و بر مبنای شناخت دقیق از خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و

شیمیایی یک ماده است.

* مزایای اتوماسیون

- ۱- افزایش تولید
- ۲- پایین آوردن هزینه‌ها به ازای واحد تولید.
- ۳- یکنواختی کیفیت تولید محصول
- ۴- ایمنی بیش‌تر
- ۵- آلودگی کمتر
- ۶- کاهش زمان تولید
- ۷- رقابت در بازار بین‌المللی
- ۸- کاهش ضایعات
- ۹- افزایش سرعت جابه‌جایی و کاهش مصرف انرژی

* معایب اتوماسیون

- ۱- بیکار شدن کارگران
- ۲- نیاز به افراد متخصص و با تجربه
- ۳- سرمایه‌گذاری زیاده‌تر برای ماشین آلات

عوامل مؤثر در خود کار شدن خط تولید

- ۱- میزان همگونی مواد
- ۲- مطالعه و شناخت بهترین تکنولوژی
- ۳- مطالعه و شناخت مواد مورد نیاز در هر خط تولید
- ۴- انتخاب ماشین‌ها و دستگاه‌ها براساس تکنولوژی انتخاب شده
- ۵- نحوه‌ی آرایش دستگاه‌ها در خط تولید
- ۶- تأکید بیش‌تر بر استفاده از تعداد مخازن کمتر با حجم بیش‌تر
- ۷- استفاده بهینه از تجهیزات حمل و نقل
- ۸- استفاده حداکثر از کامپیوتر و سنسور

یادآوری:

بهترین همگونی، در صنایع شیمیایی، بعد غذایی و نهایتاً، دوزندگی مشاهده می‌شود و در بین صنایع غذایی، صنعت روغن بهترین همگونی را دارد.

توجه: مظهر اتوماسیون در کارخانه‌ها، نقاله‌ها می‌باشند.

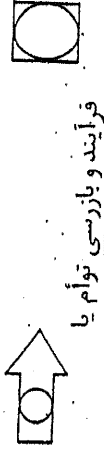
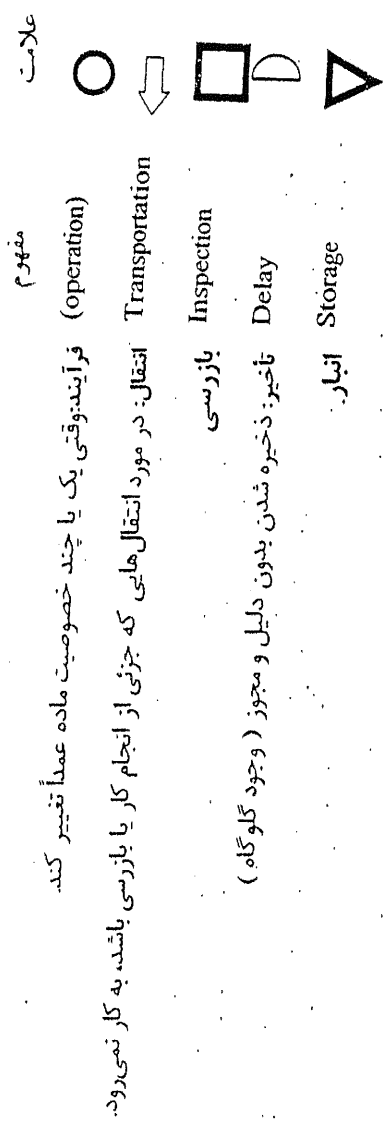
نشانه‌های یک طرح خوب

- ۱- ساختمان‌ها بر مبنای مطالعات، انجام گرفته و فضای قسمت‌های مختلف کافی باشد.
- ۲- محل بخش‌های مختلف تولیدی براساس روابط متقابل که با هم دارند تعیین شده باشد.
- ۳- اولین فعالیت، نزدیک به قسمت تخلیه بار و آخرین فعالیت، نزدیک به قسمت بارگیری باشد.
- ۴- فعالیت‌های مختلف تولیدی از یکدیگر تمیز داده شوند و بین آن‌ها فاصله مکانی وجود داشته باشد.
- مهم: ۵- راهروها مستقیم، مشخص و طبقه‌بندی شده باشند.
- ۶- نسبت زمان تولید به زمان توقفات، حداکثر باشد.
- مهم: ۷- جریان مواد، مستقیم بوده و برگشت به عقب و دوباره کاری در انتقال مواد به حداقل برسد.
- مهم: ۸- حجم کل انتقال مواد و مسافت انتقال به حداقل برسد. همچنین حجم مواد در جریان ساخت حداقل باشد.
- ۹- رفت و آمدهای بیهوده به حداقل برسد.
- ۱۰- الگویی برای جریان مواد وجود داشته باشد و روش‌های انتقال مواد مشخص و تعریف شده باشد.
- ۱۱- در صورت امکان در حین انتقال مواد از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر عملیات تولیدی روی آن صورت بگیرد.
- ۱۲- حمل و نقل دستی حداقل باشد.
- ۱۳- سروصدا، دود، گاز، رطوبت و ارتعاش ماشین آلات کنترل شده باشد.
- ۱۴- طرح کارخانه قابلیت تطبیق و تغییر داشته باشد.
- ۱۵- از کلیه سطوح و فضاهای کارخانه استفاده شده باشد.

*طراحی کارخانه شامل ۱۳ مرحله است:

- ۱- جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات مربوط به مراحل قبل از اجرای طرح و تعیین محل کارخانه
- ۲- تعیین ظرفیت کارخانه
- ۳- طراحی فرآیند تولید
- ۴- انتخاب ماشین آلات و ایجاد تعادل در خط تولید
- ۵- طراحی الگوی جریان مواد و نمودار جریان مواد
- ۶- روش‌های انتقال مواد
- ۷- طراحی بخش‌های مختلف کارخانه و تعیین فضاهای مورد نیاز
- ۸- بررسی روابط متقابل فعالیت‌های تولیدی، کمک تولیدی، خدماتی و طرح‌ریزی
- ۹- استقرار همه بخش‌ها در زمین موجود و تهیه طرح کارخانه
- ۱۰- بررسی ارزیابی و تصحیح طرح
- ۱۱- تهیه نقشه‌های اجرایی طرح
- ۱۲- تهیه برنامه زمان‌بندی، استخدام پیمان‌کاران و مدیریت بر اجرای طرح
- ۱۳- ارزشیابی مدام طرح در دوران بهره‌برداری، اصلاح معایب اجتماع و لحاظ نمودن این نکات در آینده:

- ۱- جمع آوری و تحلیل اطلاعات
- ۲- تعیین ظرفیت کارخانه: در تعیین ظرفیت کارخانه باید مسئله توسعه آینده را نیز در نظر داشت.
- ۳- طراحی فرآیند
- ۱-۳- در طراحی فرآیند از نشانه‌های فرآیند استفاده می‌شود.



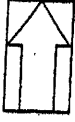
فرآیند و بازرسی توأم یا

وقتی فعالیت‌ها، همزمان انجام می‌شوند، از علائم ترکیبی استفاده می‌شود. مثلاً انتقال و فرآیند توأم را نشان می‌دهند.

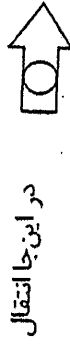


مثال: وقتی پنبه را می‌گذارند پرورده شود توأمأ عملیات و انبار داریم.

توجه: همیشه آن علامت که مهم‌تر است، در خارج قرار گرفته و علامتی که اهمیت کمتری دارد در داخل. مثلاً در توار نقاله که عمل سورتینگ انجام می‌شود، از علامت استفاده می‌شود. یعنی بازرسی مهم‌تر از انتقال است.



توجه: در اوابراتور، هم فرآیند صورت می‌گیرد و هم انتقال. اما علامت انتقال را ذکر نمی‌کنیم و فقط داریم



در این‌جا انتقال

مثال دیگر وقتی چغندر در طی انتقال شسته می‌شود، و شستشو بخشی از حمل و نقل می‌باشد.



هدف اصلی است.

۳-۲- نمودار فرآیند:

وسایلهای است جهت ثبت مختصر و فشرده یک فرآیند به منظور درک بهتر و بهبود آن. در این نمودار به کمک نشانه‌های فرآیند مراحل جداگانه وقایعی را که حین انجام کار و یا یک سری عملیات صورت می‌گیرد را به صورت گرافیک نشان می‌دهد.

۴- محاسبه تعداد و انتخاب ماشین آلات جهت ایجاد تعادل در خط تولید

اگر سرعت عملیات مختلف با یکدیگر متفاوت باشد ایجاد انبوهی از کالای نیمه ساخته قبل از مرحله‌ای می‌نماید که ظرفیت تولید آن به اندازه کافی نیست که به آن گلوگاه می‌گویند.

برای پر کردن و بستن بندی 6 تن برنج در کیسه‌های 50 کیلوگرمی از تیم دو نفره و از دستگاه پرکن استفاده می‌شود. اگر تعداد ساعات کاری 8 ساعت در روز بوده و میزان در اختیار بودن پرسنل با توجه به توان جسمی 75% و نیز زمان بسته‌بندی برای هر کیسه 6 دقیقه باشد مطلوب است محاسبه تعداد تیم دو نفره.

$$\frac{6000}{50} = 120 = \text{تعداد کیسه}$$

$$\text{ساعت} = 12 \text{ min} = 720 \text{ min} = 120 \times 6 = \text{زمان لازم}$$

$$2 = \frac{12}{8 \times 0.75} = \text{تعداد تیم دو نفره اگر زمان در دسترس بودن 0.75 باشد}$$

توجه: توجه اگر تعداد بدست آمده کمی بیش از 2 می‌شد (مثلاً 2.15)، آن‌گاه باید تعداد را 3 گزارش می‌کردیم.

۵- الگوی جریان مواد (آرایش‌های خط تولید)

پس از تهیه نمودار فرآیند، می‌بایست الگوی مناسبی را جهت ساخت مواد توصیه نمود.

۱-۵- **روش خطی:**
متداول‌ترین آرایش‌ها می‌باشد. مزایای آن عبارت است از این‌که از لحاظ فضا کمترین فضا را در سالن تولید اشغال می‌کند و امکان توسعه را بهتر فراهم می‌کند. سرعت در خط تولید خطی بیش‌تر و در نتیجه راندمان بالاتر است. از معایب آن این‌که اگر کنترل خط، مکانیکی یا دستی باشد، کنترل مشکل‌است و معمولاً در قسمت‌های دریافت و بارگیری به کارکنان جداگانه نیاز است. البته چون پیش دریافت و بارگیری از هم فاصله دارند سطح بهداشت خیلی بالاتر است.

۲-۵- **روش L شکل:**

در صورتی که مایل باشیم محصول تقریباً از همان محلی که عملیات برروی آن آغاز می‌شود، خارج شود، یا این‌که محدودیت فضا داشته باشیم، می‌توان از این شکل استفاده کرد. البته در اداره کردن و ترکیب فعالیت‌های دریافت و بارگیری، کار را آسان می‌سازد. در کارخانجات فرمولاسیون تقریباً قسمت‌های کیف، اول خط و قسمت‌های تمیز، آخر خط قرار دارند.

حسن این روش: از سالی که قبلاً ساخته شده می‌توان با استفاده از این خط بهره‌برداری کرد.

۲- سرعت کمتر

عیب: ۱- راندمان پایین

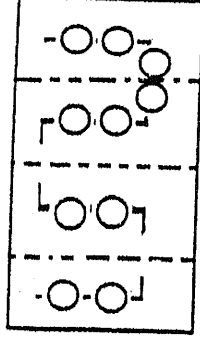
۳- عدم امکان توسعه

مثلاً در کارخانه نوشابه‌سازی بهتر است الگوی جریان خطی باشد تا کارخانه خیلی شلوغ نشود.

خط L شکل برای کارخانه بیسکویت‌سازی مناسب است.

۳-۵- **روش مارپیچ:**

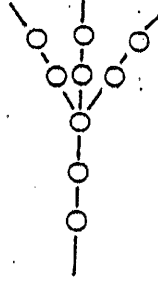
برای خط تولید طولانی در کشتارگاه طیور از این روش استفاده می‌شود. البته از پارکین، بین قسمت‌ها استفاده می‌شود. در شیشه‌شویی نیز استفاده می‌شود. اغلب معایب L شکل را دارد.



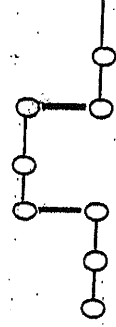
۳-۵ روش دایره ای:
در این حالت به اپراتور کمتری نیاز است. محصول در همان نقطه‌ای عملیاتش تمام می‌شود که شروع شده. برای خطوطی با سطح

آلودگی پایین به کار می‌رود.
مثل مربای تک نفره (سطح بهداشتی مواد اولیه و نهایی با هم برابر باشد). یک اپراتور می‌تواند تمام خط را کنترل کند.

۵-۵ روش انشعابی (شاخه‌دار)
به ما این امکان را می‌دهد که در یک خط تولید چندین نوع کار را انجام دهیم و اپراتور کمتر و مکان کمتر استفاده شود. مثلاً خط سورتینگ میوه‌جات یا خطی که در آن بیسکویت‌های 200 گرمی و 500 گرمی بسته‌بندی می‌شوند. یا در مواردی که دو خط هم جنس که بار میکروبی برابر و مشابهی دارند مثل ویفر و بیسکویت داشته باشیم.



تک: از روش خطی قائم در کارخانه آرد استفاده می‌شود.



۶- حمل و نقل مواد

پسته به نوع صنعت بین 30 تا 75 درصد قیمت تمام شده محصول را تشکیل می‌دهد. اصولاً حمل و نقل 25% همه کارکنان، 55%

فضای کارخانه و 87% زمان تولید معنا دارد.

حمل و نقل مواد یکی از اولین جاهایی است که برای بهبود کیفیت بررسی می‌شود. تخمین زده می‌شود که بین 3 تا 5%

صرفه‌جویی در هزینه را به همراه دارد.

انواع وسایل مورد استفاده جهت حمل و نقل مواد:

- پالت: از قدیمی ترین و مهم ترین روش های حمل و نقل صحیح مواد می باشد.

پالت ها در انواع دو طرفه و چهار طرفه موجودند.

ارتفاع پالت و بار از 60 اینچ (152 سانتی متر) تجاوز نکند و بار مجاز نیز از 1350 کیلو تجاوز نکند.

- چرخ دستی:

در برخی موارد مناسب‌ترین وسیله حمل می‌باشند و در انواع چرخ جمع‌بای، چرخ مایل و چهار طرفه موجود است.

- **پالت تراک دستی:**
ارزان‌ترین وسیله جهت حمل و نقل، پالت است. قابلیت مانور بالایی دارد. چون از نیروی کارگر جهت حمل و نقل استفاده می‌شود، جهت کار مداوم توصیه نمی‌شود. سرعت بالایی ندارد و محدودیت دیگر آن عدم بالا بردن جهت چیدن روی قفسه‌بندی است.

- **پالت تراک با نیروی محرکه:**
مشابه نوع بالا است. با این تفاوت که نیروی کارگر کمتری طلب می‌کند. ولی تمامی محدودیت‌های نوع قبل را کماکان داراست.

- **لیفت تراک:**
از نوع برقی آن در سالن‌های تولید استفاده می‌شود و در بخش‌های تحویل یا ارسال از انواع گازوئیلی یا بنزینی هم می‌توان استفاده کرد.
شاخک‌های قابل تفویض دارد. وزن بار می‌بایست با وزن لیفت‌تراک حول محور چرخ‌های جلو در تعادل باشد. (شکل ضمیمه)

- **ریج تراک:** قابلیت‌های لیفت‌تراک را دارد و علاوه بر آن قادر است حول محور چرخ عقب گردش نماید. هم‌چنین بار را درون خود (بین چرخ‌های عقب و چرخ‌های جلو) حمل می‌کند. بنابراین تعادل و پایداری دارد. ضمناً دارای شاخک‌هایی است که به صورت لولایی به سمت جلو حرکت می‌کند و بارهایی که از قفسه دورتر نیز باشند را بر می‌دارد.

نقاله‌ها:

عوامل مؤثر در انتخاب نقاله عبارتند از:

۱- خصوصیات مواد (اینکه جامد، مایع یا گاز باشد، خورنده بودن و ...) برای مایعات از پمپ و برای پودرها و مواد دانه‌ای از

دمنده‌ها استفاده می‌شود.

۲- خصوصیات ساختمان (ارتفاع و طول و عرض و فاصله ستون‌ها و ...)

۳- جریان تولید و ویژگی‌های تولید

۱- جریان تولید دایمی است یا متقطع

۲- درجه حرارت محیط و محصول

۳- میزان رطوبت محصول

* نقاله چرخي وزني:

از سوار شدن چرخ‌های فولادی بر روی محورهای ثابت ساخته می‌شود. جهت حمل کارتن و بسته‌هایی که استحکام کافی دارند، استفاده می‌شود. نیروی جاذبه جمیع را به جلو می‌برد. شیب نقاله نباید زیاد باشد. عرض نقاله می‌تواند بین 30 تا 60 سانتی‌متر باشد.

* نقاله غلطکی وزنی:

از غلطک‌هایی استوانه‌ای شکل که در دو سر آن‌ها پلیرینگ قرار گرفته ساخته شده. فاصله غلطک‌ها باید به طریقی باشد که حداقل 3 غلطک زیر هر بار قرار بگیرد. برای جابه‌جایی جمعه‌های شیر و نوشابه مناسب است.

* نقاله غلطکی وزنی با نیروی محرکه:

مشابه نوع قبلی است با این تفاوت که نیروی محرکه توسط سیستم به غلطک‌ها منتقل می‌شود. بنابراین نیاز به وجود شیب نداریم و جریان مواد قابل کنترل است.

* نقاله میله‌ای:

میله‌هایی به زنجیری متحرک متصلند و مواد را منتقل می‌کنند. مثل کشتارگاه‌های دام و طیور (لاشه بر روی چنگ‌هایی که به زنجیر متصلند حمل می‌شود). به آن Trolley هم می‌گویند. کف زمین دیگر اشغال نمی‌شود.

* جرثقیل سقفی:

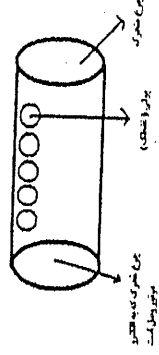
در کارخانجات روغن‌کشی جهت حمل دانه‌های روغنی که در انبارهای وسیع و سرپوشیده ذخیره شده است، استفاده می‌شود. در کارخانجات کمپوت و کنسرو نیز نوع تک ریل (مونوریل) جهت برداشتن سبد حاوی قوطی‌ها از استرلایزاتور استفاده می‌شود.

* جرثقیل بازودار:

در کارخانجات نیشکر جهت انتقال نیشکر از حیاط کارخانه به داخل استفاده می‌شود.

* ناودانی (شوت):

اقتصادی‌ترین وسیله برای انتقال مواد از یک سطح به سطحی پایین‌تر به شمار می‌روند. هزینه نگهداری ناودانی‌ها تقریباً صفر است. کالا تحت نیروی جاذبه می‌لغزد و پایین می‌آید. این نوع نقاله‌ها جهت کالاهای طریف و شکننده توصیه نمی‌شوند.

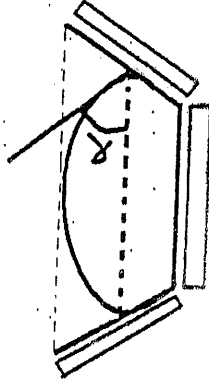


* نقاله تسمه‌ای: Belt Conveyor

عبارتند از یک تسمه بدون انتها که توان حرکتی خود را از طریق چرخش محرک تأمین می‌کند.

غلطک‌ها کمک می‌کنند تا تسمه زیر بار کشیده نشود.

از نقاله تسمه‌ای مسطح جهت حمل مواد بسته‌بندی شده و مکعبی شکل استفاده می‌شود. مثلاً برای حمل جعبه نوشابه پودری و دانهای شکل از نقاله تسمه‌ای مقعر استفاده می‌شود.



زاویه‌ای که تل مواد در نقاله با افق تشکیل می‌دهد را

زاویه سورشاز (Surcharge) می‌گویند. (زاویه α)

زاویه سورشاز اغلب 10-20 درجه از زاویه ریپوز کمتر

است. هر چه نقاله لرزش بیشتری داشته باشد زاویه

سورشاز کمتر می‌شود. زاویه سورشاز به دانسیته

ظاهری، زاویه ریپوز و میزان خلل و خرج مواد بستگی

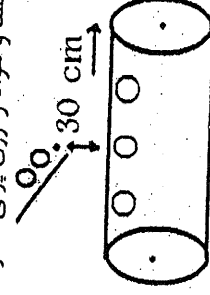
دارد.

در حمل مواد درشتی مانند چغندر قند (نه گندم)، پهنای تسمه باید حداقل معادل دو برابر قطر بزرگ‌ترین ذرات باشد. اگر زاویه

لغزش زیاد باشد، شیب نقاله کمتر باید باشد. سرعت تسمه معمولاً یک تا سه متر بر ثانیه بیشتر نباید باشد. هر چه شیب نقاله بیش‌تر

باشد، پهنای تسمه باید کمتر باشد.

ارتفاع ریپزش مواد روی تسمه باید کمتر از 30 سانتی‌متر باشد و مواد را روی پولی محرک نمی‌ریزنند.



محرک متحرک

مقاومت تسمه به تعداد لایه‌هایی که تسمه را تشکیل می‌دهند، بستگی دارد. مقاومت تسمه در برابر سایش را Durability گویند.

کف کارخانه:

از نظر مقاومت باید برای ساختمان یک کارخانه مناسب باشد و برای این منظور باید حداکثر فشار وارده به سطح را در نظر گرفت. کف باید فشار وارده بر چرخ‌های یک لیفتراک را با 4 تن بار در حال حرکت تحمل کند. کف کارخانه باید با بیرون، هم کف باشد. اصولاً برای استقرار دستگاه‌های بسیار سنگین یا دستگاه‌هایی که در حال کار لرزش ایجاد می‌کنند نیاز به فونداسیون خاص داریم. مثل اتوکلاوهای هیدرواستاتیک، دیگ بخار، سانتریفوژهای بزرگ و...

شیب کف کارخانه 1 الی 2% ($\frac{1}{8}$ اینچ در هر فوت) است و زیر کف حدود 5 تا 6 اینچ بتون استفاده می‌شود. نقاط مختلف نسبت به زه‌کش بیش‌تر از 6 متر نباید فاصله داشته باشد.

بلندی سقف باید به قدری باشد که کلیه وسایل نقل و انتقال از قبیل تسمه نقاله، و انتقال بسته‌های خالی از خارج و نیز بارگیری فراورده‌های تولید شده از داخل انبارها به بیرون به راحتی انجام شود. ارتفاع 7-8 متر برای بسیاری از کارخانه‌های غذایی، ارتفاعی خوب به شمار می‌رود. زیرا هنگام کار هوای گرم و بخار آب و مواد تبخیر شده دیگر بالا رفته و هوای زیرین که کارگران در آن کار می‌کنند، نسبتاً تمیز باقی می‌ماند. ارتفاع زیاد سبب می‌شود که نقل و انتقالات ظروف بسته‌بندی شده توسط تسمه نقاله به راحتی صورت گیرد بدون این که دست و پا گیر باشد و یا سرراه وسایل قرار گیرد.

لوله‌ها و اتصالات

- بهترین جنس برای صنایع غذایی لوله‌های استیل است.

- مشخصات لوله‌ها برای شیر و مایعات نزدیک به آب:

قطرهای خارجی (inch)	$\frac{lb}{h}$ ظرفیت بر حسب
1 in	4000 یا کمتر
1.5	15000 تا 4000
2	34000 تا 15000
2.5	52000 تا 34000
3	82000 تا 52000
4	160000 تا 82000

توجه: اگر از مایعات غلیظ‌تر استفاده کنیم، از یک قطر بالاتر استفاده می‌کنیم. مثلاً برای ظرفیت 4000 یک ماده‌ی غلیظ از قطر 1.5

استفاده می‌کنیم.

خصوصیات لوله‌هایی که در صنایع غذایی استفاده می‌شوند:

سطح داخلی باید صاف وبدون درز و سوراخ وبدون رزوه در داخل باشد.

از استیل مقاوم به خوردنگی و یا شیشه مناسب ومقاوم به حرارت استفاده شود.

در سیستم شستشوی لوله‌ها باید سیکل برگشت مواد شوییده برای دور زدن مواد در لوله‌ها وشستشوی آنها را در نظر گرفت.

از به کار گیری اتصالات تند ولوله های ته بسته خودداری شود و اتصالات یا باید جوش بدون درز و بدون خلل و خروج باشد و یا اتصالات و اشردار یا و اشردار از نوع مناسب باشد اتصالات دائمی، جوش داده شود و به صورت پیچ و مهره نباشد.

پمپ ها باید قابلیت شستشو داشته و ' Bearing باید خارج از منطقه مواد غذایی باشد.

پمپ ها باید به گونتهای باشند که سرعتی برابر 5 فوت بر ثانیه ایجاد کنند.

پمپ ها با پیچ پروانه ای بسته شوند.

شیرها قابل شستشو و بدون سوراخ و منفذ باشند. خود به خود قابل تخلیه باشند.

در صورت روغن کاری باید از روغن های خوراکی بادام مناسب استفاده کرد. برای عمر بیش تر لوله ها و استفاده راحت تر از آن ها باید

تکیه گاه های مناسب استفاده شود و نباید همه قسمت های لوله را به صورت محکم روی تکیه گاه ها بست (تغییر درجه حرارت باعث

تغییر طول لوله ها می شود). برای هر لوله فقط یک تکیه گاه را محکم کنید.

برای لوله های مستقیم، هر 10 فوت یک تکیه گاه لازم است. در دو طرف هر شیر و نزدیک محل های ورودی و خروجی پمپ ها و نزدیک اتصال به تانک ها تکیه گاه لازم است. در جاهایی که جهت لوله تغییر می کند، نیاز به تکیه گاه داریم و نزدیک ترین تکیه گاه تا

گوشه باید 4-6 فوت فاصله داشته باشد.

لوله ها را تحت استرس و فشار نایجا نیندیم.

لوله ها باید حداقل $\frac{1}{16}$ اینچ در فوت شیب داشته باشند.

تأحد امکان از و اشرد استفاده نشود و فاصله گام پیچ ها زیاد باشند.

لوله ها حداقل 8 اینچ از کف زمین فاصله داشته باشد تا شستشوی آن ها راحت باشد.

در جاهایی که لرزش و حرکت وجود دارد از لوله های پلاستیکی استفاده کنیم تا دچار مشکل نشویم.

میزان تخصیص مساحت برای قسمت های اداری:

۱- به طور کلی باید از ایجاد اتاق های انفرادی جز در موارد ضروری پرهیز کرد.

۲- هیچ گاه اتاق انفرادی نباید در محلی که نور طبیعی و تهویه وجود ندارد احداث گردد.

۳- مساحت پیشنهادی برای اتاق های انفرادی که احتیاج به تمرکز حواس زیاد دارد، عبارتند از:

اتاق مدیر عامل 30 تا 40 متر مربع - اتاق هیأت مدیره 15 تا 30 متر مربع

اتاق مدیران بخش ها 10 تا 20 متر مربع - اتاق کارمندان اداری 6 تا 12 متر مربع

۴- اتاق های عمومی به دلیل اعمال کنترل و سرپرستی ساده، برقراری ارتباط بدون واسطه، استفاده از نور و تهویه کارآتر و یکسان،

بهتر از اتاق انفرادی است ولی معایبی از قبیل سر و صدا، مکالمات، مزاحمت های ناشی از ترافیک کارکنان و آریاب رجوع در اتاق و

راهروها دارد. پهنای استاندارد راهروهای اصلی در اتاق های عمومی حدود 2 تا 2.5 متر و راهروهای فرعی آن 1 تا 2 متر می باشد. عرض

میز کارمندان اداری کمتر از 1 متر و بهتر است حداقل 10 سانتی متر از دو طرف باز باشد.

معمولاً هر کارمند با میز کار، صندلی و سهمش از راهرو به اندازه ی 5 تا 8 متر مربع مساحت احتیاج دارد.

مشخصات بخش ارسال:

- در بسیاری از موارد جهت تحویل و ارسال، نیاز به سکوی بارگیری می‌باشد. در این صورت جهت هر کامیون که از عقب پهلوی می‌گیرد می‌بایست ۴ متر طول سکو منظور شود. فاصله ستون‌ها حدود ۸ متر باشد تا حداقل برای ۲ کامیون جا باشد. عرض سکو بین ۳.۵ تا ۴.۵ متر و ارتفاع آن از زمین بین ۱.۱۰ تا ۱.۳۰ متر باشد.

- ارتفاع درب انبار بین ۲.۵ تا ۳.۲۵ متر و حداقل فاصله بین درب انبار تا کالای چیده شده وقتی لیفت تراک استفاده شود ۳ متر و ارتفاع لامپ تا زمین ۳.۷۵ متر است. فضای لازم برای گردش به راست کامیون ۱۰۰ فوت و برای گردش به چپ ۴۰ فوت است و روشنایی بخش تخلیه حداقل ۲۰ فوت کندل باید باشد. درب سالن کشویی انبار ۹ × ۹ فوت و از نوع بالارونده مناسب است.

دیگ بخار:

بهترین روش برای حرارت‌دهی در کارخانه استفاده از بخار است. دیگ بخار باید خارج از سالن تولید و نزدیک پرمصرف‌ترین دستگاه باشد. دیگ بخار نباید زیاد از سالن تولید دور باشد زیرا بخار در طی رسیدن به سالن تولید، انرژی خود را از دست داده و کندانس می‌شود. علاوه بر مسئله از دست رفتن انرژی، آب کندانس شده جلوی حرکت بخار را گرفته و یک دفعه میسر عبور بخار ممکن است باز شود که این مسئله باعث لرزش لوله‌ها می‌شود. باید توجه داشت بخاری که حاوی ذرات آب است علاوه بر این که انرژی کمتری دارد، ضریب انتقال حرارت کمتری نیز دارد. برای جداکردن قطرات آب از تله بخار (steam trap) استفاده می‌شود که اجازه خروج آب را می‌دهد ولی اجازه خروج بخار را نمی‌دهد.

توجه: کف ساختمان دیگ بخار باید استحکام کافی داشته باشد چون وزن این دیگ‌ها ۲۰ تا ۴۰ تن می‌باشد. ضمناً کف باید قابل شستشو باشد و دارای سیستم دفع فاضلاب مناسب هم باشد، زیرا هرازگاهی دیگ را شستشو می‌دهیم. دیوارها لازم نیست کاشی باشد. در محل استقرار دیگ بخار باید هواکش مناسب نصب شود و درب بزرگ درست مقابل جایی که دیگ نصب می‌شود منظور گردد.

سیستم‌های تولید بخار را به دو گروه عمده می‌توان تقسیم کرد.

۱- لوله - آتش (FTb یا Fire tube) ۲- لوله - آب (wtb یا water tube)

هر دو در صنایع غذایی استفاده می‌شود اما نوع WTb برای موارد استفاده پیشرفته‌تری طراحی شده‌اند. در نوع لوله - آتش، گازهای داغ درون لوله و آب در اطراف لوله قرار دارد و در نوع لوله - آب برعکس است. انواع wtb معمولاً ظرفیت بیشتر داشته و در فشار بالاتر کار می‌کنند و ایمنی بیش‌تری نسبت به FTb دارند.

توجه: در کتاب Introduction to Food Engineering ذکر شده تقریباً تمام دیگ‌های مورد استفاده در صنایع غذایی از نوع لوله - آب می‌باشند اما در جزوه درسی برخی دانشگاه‌ها برعکس ذکر شده است که توصیه می‌شود برای کنکور همین حالت اخیر

(جزوه درسی) مد نظر قرار گیردا

توجه: در مورد FTb مشکل دوده گرفتن و در مورد wtb مشکل رسوب‌گذاری داریم.

توجه : برای دیگ بخار از آب کندانس و آب سختی گرفته استفاده می‌شود و از آن جا که فشار دیگ بالا می‌باشد، برای تزریق آب به داخل دیگ از پمپهای سانتریفوژ چند طبقه (6 یا 7 طبقه) استفاده می‌گردد.

توجه : سختی آب روی جداره داخلی دیگ رسوب می‌کند و مانع انتقال حرارت می‌شود و عمر دیگ را نصف می‌کند. بنابراین از دستگاه سختی گیر استفاده می‌شود که Ca و Mg را گرفته و Na و کلر را وارد آب می‌کند (محلولند). بعد از مدت کلرید کلسیم و

کربنات سدیم به شکل لجن باید خارج شوند.

توجه : مسئله سختی گرفتن یا خروج گازها توسط دی اریتر و مسئله تنظیم pH در مورد آب دیگ بخار بسیار مهم است. زیرا گازها باعث خوردگی و کاهش pH می‌شوند و pH هم اگر کم باشد باز خوردگی دیواره دیگ را خواهیم داشت به نظر می‌رسد

مهم‌ترین مسئله در نگهداری دیگ، تنظیم pH باشد.

توجه : در کارخانه باید همیشه یک دیگ بخار رزرو داشته باشیم که ظرفیت آن مشابه ظرفیت دیگ بخار اول باشد تا اگر دیگ خراب شد کارخانه نتواند.

توجه : فاصله دیگهای بخار از یکدیگر می‌بایست به اندازه قطر دیگ و فاصله از دیوارها به اندازه حداقل نصف قطر دیگ می‌باشد.

توجه : برای کنترل کار دیگ می‌توان ترکیبات دود را تجزیه کرد که نباید مقدار Co زیاد باشد ولی راه راحت‌تر کنترل اختلاف دمایی دود دیگ و آب دیگ است که نباید این اختلاف از ۱۵۰ درجه فارنهایت بیشتر شود.

توجه : در برخی زمان‌ها در طی روز همه‌ی دستگاههای مصرف کننده بخار با هم کار می‌کنند و می‌توان در طی روز مصرف بخار را تابع زمان رسم کرد و مشخص کرد حداکثر مصرف بخار چه قدر و در چه زمانی است که به این نقطه peak demand (PD) گویند. در این لحظه نیز می‌توان از هر دو دیگ بخار استفاده کرد.

توجه : هر چه قدر منحنی رسم شده یکنواخت باشد بهتر است. (یعنی بخار مورد نیاز در P.D کم باشد).

توجه : اصولاً بر مبنای اصلاح PD آمده‌ی مگنری، ظرفیت دیگ بخار را تعیین می‌کنند.

توجه : هر Lb (پوند) بخار 970 BTU انرژی دارد.

سوال: می‌خواهیم دمای 1000 لیتر شیر را از 50°F به 170°F برسانیم. اگر گرمای ویژه شیر $0.95 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}}$ باشد چه مقدار بخار نیاز

داریم. (دانسیته شیر $1.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ، راندمان 0.95)

$$1000 \text{ lb} = 1035 \text{ kg} = 2284.77 \text{ lb}$$

$$\frac{2284.77 \text{ lb} (170^\circ\text{F} - 50^\circ\text{F}) \times 0.95 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot \text{F}}}{970 \text{ Btu/lb} \times 0.95} = 282.6 \text{ lb}$$

توجه : مقدار گرمای نهان، معادل $970 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$ برای بخار خشک در فشار یک اتمسفر می‌باشد. اگر درجه خشکی بخار 100٪ نباشد،

مقدار این عدد کمتر خواهد بود.

توجه: گاهی ظرفیت دیگ بخار را بر اساس اسب بخار می دهند.
یک اسب بخار برابر است با 34 پوند آب 212 درجه فارنهایت که به بخار 212 درجه تبدیل شود.

توجه: برای این یک اسب بخار تقریباً 10 فوت مربع سطح انتقال حرارت لازم است.

توجه: وقتی مطابق مثال فوق مقدار بخار را حساب کردیم، برای محاسبه ظرفیت دیگ بخار این مقدار را در فاکتور تبخیر (F) ضرب

$$F = \frac{H_1 - H_2}{970}$$

می کنیم.

H_1 : مقدار آنتالپی بخار از 32°F تا فشار دیگ

H_2 : مقدار آنتالپی آب ورودی دیگ از 32°F

970: مقدار انرژی بخار در 212°F و فشار یک اتمسفر

یادآوری: در پاستوریزاسیون شیر به روش Batch به ازای هر 1000 پوند شیر حدود 140 تا 220 پوند بخار احتیاج است. ولی در روش HTST حدود 14-134 پوند بخار لازم است.

توجه: مصرف بخار بعضی از دستگاهها در جدول زیر ارائه شده است:
نوع دستگاه

مصرف بخار بر حسب Lb/h در زمان P.D

2500	اتوکلاو با لوله ورودی یک اینچ
3500	اتوکلاو با لوله ورودی $\frac{1}{4}$ اینچ
4500	اتوکلاو با لوله ورودی $\frac{1}{2}$ اینچ
6000	اتوکلاو با لوله ورودی 2 اینچ
2000	دیگ پخت از نوع open kettle
3000	بلاچر
500	توتل اگزانت (به ابعاد 4 فوت در 20 فوت)

توجه: بیشترین بخار موقعی لازم است که عمل هواگیری (venting) برای اتوکلاو انجام می شود.

توجه: باید سرعت برداشت بخار بالاتر از ظرفیت دیگ باشد. قبل از شروع به کار دیگ، هوا را از دیگ خارج کنیم. برای اضافه کردن یک دیگ به دیگ اول که در حال کار است، اجازه دهیم فشار به دیگ اول برسد. سطح آب دیگ کنترل شود که پایین نیاید و اگر

آمد مشعل را خاموش کنیم.

سوال: اگر هر لیتر گازوئیل 30000 Btu انرژی داشته باشد، برای یک دیگ با ظرفیت ساعتی 20 چه مقدار گازوئیل احتیاج داریم؟

$$20000 \text{ lb} = 44150 \%$$

(راندمان 90%)

$$44150_{\text{hp}} \times 970 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 42825607 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$\text{مقدار گاز ویتیل مورد نیاز} = \frac{42825607 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}}{30000 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}} = 1427.52_{\text{lb}}\%$$

$$\text{مقدار گاز ویتیل مورد نیاز} = \frac{1427.52}{\%90} = 1586.13_{\text{lb}}\%$$

چون راندمان 90٪ است:

توجه: در مورد دیگ باید درجه حرارت را طوری تنظیم کرد که درجه حرارت آب دیگ از 170°F کمتر نشود تا بخار روی لوله‌های طرف آتش تقطیر نشود.

توجه: قطر عایق‌بندی لوله‌ها در صورتی که فشار بخار صفر تا 25 psi باشد و یا درجه حرارت 212°F تا 267°F باشد، برای لوله‌های 4 مختلف یک اینچ است. ولی در صورتی که فشار بخار بین 25 psi تا 100 psi باشد یا درجه حرارت $267 - 338$ باشد، برای لوله‌های با قطر اینچی همان یک اینچ عایق کافی است. ولی برای لوله‌های بزرگ‌تر از 4 اینچ، قطر عایق 1.5 اینچ باید باشد. برای لوله‌های با قطر کمتر از 1.5 اینچ وقتی درجه حرارت بالای 338°F باشد، باز هم یک اینچ کافی است.

توجه: معمولاً برای شستشوی دستگاه‌ها از آب 120°F برای شستشوی شیشه و قوطی از آب 140°F استفاده می‌شود.

توجه: بهتر است محل موتورخانه بخار و هوای فشرده در قسمت جنوب یا جنوب شرقی کارخانه باشد تا وزش باد شمال غرب دود حاصل از سوخت را در محیط کارخانه پراکنده نکند.

توجه: در مواقعی که از آب سخت استفاده می‌کنیم، گرم کردن آب تا بیش از 140°F رسوب زیادی ایجاد می‌کند.

توجه: فشار دیگ بخار در صنایع غذایی معمولاً $200 \text{ psi} - 100$ است.

توجه: سوخت مناسب در درجه اول گاز، بعد گازوئیل و نهایتاً نفت می‌باشد. مخزن گازوئیل را در زیرزمین قرار می‌دهند.

تأمین برق کارخانه و موتورهای الکتریکی

براساس زمان ماکزیم مصرف کارخانه (Peak demand) یا (Peak load)، میزان برق تعیین می‌شود.

توجه: load عبارت است از وات یا کیلووات مصرفی یک دستگاه که معمولاً برای دستگاه‌ها روی پلاک دستگاه مشخص می‌شود.

در کارخانجاتی که احتمال قطع برق وجود دارد و به قطع برق حساسند، ژنراتور خریداری می‌شود.

اگر زمانی که از عدم تولید کارخانه در طول سال، در اثر قطع برق متوجه ما می‌شود بیش‌تر از هزینه راه‌اندازی و بهربرداری از

ژنراتور باشد، باید ژنراتور بخریم. البته برای کارخانجات حساس، چه اقتصادی باشد و چه غیراقتصادی باید ژنراتور بخریم. مثلاً برای

استرلیزاتور.

- توصیه می‌شود برای انتقال کابل‌ها در خط تولید از دیوار و سقف استفاده کنیم. در کشیدن کابل‌ها از زیر زمین باید دقت شود که کابل‌ها در بستر از ماسه دفن شوند و روی این بستر را بایست با صفحات بتنی رنگی، پوشاند. کابل زیرزمینی، انعطاف‌پذیری کمی دارد، با جابه‌جایی دستگاه مشکل خواهیم داشت و احتمال اتصال برق به زمین مرطوب نیز وجود دارد.

توجه: کابل‌ها و سیم‌هایی که در محل‌های با درجه حرارت بالای 60°C و بالاتر عبور می‌کنند باید دارای عایق مقاوم نسبت به حرارت باشند. (مثلاً استفاده از آزیست)

موتورهای الکتریکی که در صنایع غذایی استفاده می‌شود باید در محیط خشک بکار روند. در محیط‌های مرطوب با امکان ریزش آب، باید از موتورهای الکتریکی که مقاوم به آب هستند و آب در آنها نفوذ نمی‌کند استفاده کنیم. موتورهای کوچک (تا دو اسب بخار) می‌توانند کاملاً بسته باشند. ولی موتورهای بزرگ‌تر تولید حرارت می‌کنند بنابراین سعی می‌کنند طوری طراحی کنند که آب به درون نفوذ نکند.

روش‌های تصفیه فاضلاب

۱- لجن فعال: در این فرایند از موجودات بیولوژیکی که به سرعت رشد می‌کنند استفاده می‌شود. این موجودات قادرند مواد آلی فاضلاب را جذب نموده و به مواد ساده مثل CO_2 ، NO_3 و SO_4 تبدیل نمایند. بنابراین در این سیستم، مواد غذایی، اکسیژن و میکروارگانیسم زنده باید در محیطی کاملاً متوازن وجود داشته باشد.

۲- هضم غیر هوازی: فرایندی است جهت اکسیداسیون مواد آلی در مخازن بسته و بدون حضور هوا. این سیستم جهت مواردی مؤثر است که حجم فاضلاب کم و غلظت آن زیاد باشد.

- در این سیستم هیچ گونه انرژی مکانیکی وارد سیستم نمی‌شود. بنابراین هزینه‌های عملیاتی آن پایین است.
- سپتیک تانک که جهت تصفیه فاضلاب انسانی به کار می‌رود، نمونه‌ای از این روش است.

۳- فیلترهای بیولوژیک: فیلترهای ریزی که حتی اجازه عبور به میکروارگانیسم‌ها هم نمی‌دهند.

۴- فیلترهای شنی

۵- اکسیداسیون در دریاچه مصنوعی

دریاچه‌های مصنوعی در مجاورت کارخانه ساخته می‌شوند. این دریاچه‌ها جهت جذب مواد معلق در فاضلاب ساخته شده ولی به علت بالابودن زمان ماندگاری، قابلیت هضم مواد آلی را نیز دارا می‌باشند.

۶- آبیاری بارانی: این روش جهت مجتمع‌های کشت و صنعت بسیار مفید و مؤثر است. فاضلاب حداکثر اکسیژن را به خود جذب می‌نماید. سبک با نازل‌های مخصوص به روی سطح مزرعه پاشیده می‌شود. در حین این عمل، فاضلاب حداکثر اکسیژن را به خود جذب می‌نماید و لازم به ذکر است که این عمل در سطح زمین نیز ادامه می‌یابد.

توجه ۱: در کارخانجات کنسرو به ازای هر جعبه کنسرو 300 لیتر آب مصرف می‌شود. در تولید بتیر بین 0.5 تا 3 لیتر آب به ازای هر لیتر شیر مصرفی و در کارخانجات شیر خشک 0.7 لیتر آب به ازای هر لیتر شیر دریافتی مصرف می‌شود.

توجه ۲: مقدار BOD کارخانجات لبنی حدود 1000 PPM می‌باشد.

توجه: در کشتارگاه‌ها از دبیج هر راس گاو، حدود 395 گالن (1500 لیتر) فاضلاب حاصل می‌شود. و دبیج یک قطعه مرغ بالغ بر 3.26 گالن (12.4 لیتر) فاضلاب ایجاد می‌کند. فاضلاب کشتارگاه‌ها عمدتاً مربوط به سالن کشتار است.

توجه: فاضلاب کارخانجات چغندر قند مربوط به سیستم انتقال با آب چغندر از محوطه به داخل کارخانه و شستشوی آن است و دارای BOD و مواد محلول کم می‌باشد. در بخش تولید حجم فاضلاب کم اما مواد مضر آن بالاست.

هر تن چغندر در مرحله اول 2000 تا 3000 گالن فاضلاب ایجاد می‌کند ولی در مرحله تولید حجم فاضلاب تولیدی حدود 325 گالن است.

گالن است.

توجه: فاضلاب کارخانجات نوشابه سازی عمدتاً ناشی از شستشوی شیشه‌های مرجوعی، تولید شربت، تصفیه آب جهت مصرف در فرآیند و شستشوی کف و ماشین‌آلات کارخانه است. فاضلاب این کارخانجات حالت اسیدی دارند ($PH = 3.8$) و جهت هر 1000

جعبه نوشابه بین 10 تا 15 هزار گالن فاضلاب ایجاد می‌شود. (1.7 تا 2.4 لیتر جهت هر بطری نوشابه)

نور لازم در کارخانه:

لوکس (lux): شدت روشن‌سازی در یک نقطه برحسب لوکس اندازه‌گیری می‌شود و برابر است با مقدار روشن‌سازی در فاصله یک متری یک شمع استاندارد (واحد روشن‌سازی در سیستم SI که برابر است با

لومن

متر مربع

لومن: منبع نور برحسب لومن بیان می‌شود. لومن مقدار نور در یک متر مربع از سطح است در صورتی که شدت آن یک لوکس باشد.

در کارخانجات فراوری مواد غذایی از دو نوع منبع نور استفاده می‌شود لامپ خیابی یا رشته‌ای و لامپ فلورسنت.

- در لامپ رشته‌ای از یک رشته تنگستن برای ایجاد مقاومت در برابر جریان استفاده می‌شود. این نوع لامپ‌ها، بازدهی حدود 20 لومن

بر وات دارند.

- لامپ فلورسنت راندمان 2 تا 3 برابر لامپ خیابی دارد. (عمر طولانی‌تری دارد) البته به دلیل داشتن ترانس، هویج راه‌اندازی بالاتری دارند و نیز نسبت به خاموش و روشن کردن متوالی و رطوبت حساسند.

- لامپ خیابی گرمای زیاد تولید می‌کند و برای سردخانه مناسب نیست و لامپ فلورسنت نیز به رطوبت نسبی بالا حساس است. بنابراین لامپ فلورسنت داخل پوشش برای سردخانه مناسب است.

استاندارد برای فعالیت‌های مختلف در کارخانه میزان روشنایی (روشن‌سازی) مختلفی ارائه کرده:

شدت نور	محل تامین نور	شدت نور	محل تامین نور
50	درجه بندی مواد اولیه	30	اتبار
100	درجه بندی گوجه فرنگی	150	محل های تمیز کردن مواد
100	جدا کردن هسته زردآلو	100	محل بازرسی
30	محل برچسب زنی	100	آزمایشگاه
70	اتاق ترازو	150	دفاتر حساب رسی
30	بطری شویی	50	تخلیه مواد
		30	سردخانه

مقدار روشنایی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$(\text{روشنایی}) = \frac{(FC)(A)}{(CU)(MF)}$$

F_C (فوت کندل): میزان روشن سازی در سیستم انگلیسی که برای نقاط مختلف کارخانه در جدول فوق آمده است.

A: سطحی که قرار است روشن شود.

CU: ضریب بهره‌وری که تابعی است از نسبت ابعادی محل روشن شونده (یک سالن دراز و باریک داشته باشیم یا مربع) و خصوصیات سطحی این محل (دیوارها و سقف و کف کاشی براق شده باشند یا سیمانی باشند).

MF: فاکتور نگهداری: از آن جا که قدرت روشنایی لامپ، در طول عمرش کاهش می یابد، می بایست این کاهش در روشنایی را در محاسبه مقدار لومن لازم در نظر بگیریم که MF برای رفع این مشکل در رابطه قرار می گیرد و معمولاً حدود 0.7 است.

توجه: نور یا مستقیم به ما می رسد، یا حاصل یک انعکاس است (نیمه مستقیم)، یا حاصل دو انعکاس است. و یا یک انعکاس و عبور از یک حائل می باشد که به آن نیمه غیرمستقیم می گویند.

سردخانه

امروزه بیش تر از پلی اورتان و پلی استایرن جهت عایق بندی سردخانه استفاده می شود. پلی استایرن ارزان تر ولی پلی اورتان بهتر است. مقدار عایق برای سالن های بالای صفر: برای دیوارها 4 اینچ و برای سقف 4-6 اینچ است و برای کف منظور نمی کنند. مقدار عایق برای اتاق های زیر صفر: دیوارها 4-8 اینچ، سقف 10-6 اینچ و کف 4-8 اینچ منظور می شود.

توجه: اگر عایق ضد رطوبت نباشد، با نفوذ رطوبت در عایق، عایق از عایق بودن می افتد.

توجه: برای عایق بندی رطوبت از لایه های خاص مثل کاغذ قیری یا صفحات پلاستیکی مناسب یا فویل های فلزی مثل آلومینیوم استفاده می شود.

توجه: کف سردخانه ها را می توان سرامیک کرد. برای دیوارها پلاستر سیمان یا سرامیک مناسب است و البته روی پلاستر سیمان می باید رنگ قابل شستشو زد.

توجه: درب سردخانه بهتر است کشویی و از ساندویچ استیل باشد و اصولاً ایمنی در مورد درب بسیار مهم است (درب سردخانه از دو طرف باز شود).

خوردگی

انواع خوردگی

- ۱- در نتیجه اکسیداسیون
- ۲- خوردگی الکتروشیمیایی
- ۳- خوردگی مکانیکی

۱- بسیاری از فلزات در صورت تماس با اکسیژن به سرعت لایه‌ای از اکسید در سطح خود تشکیل می‌دهند. زنگ‌زدگی واژه‌ای است که برای خوردگی آهن و فولاد در نتیجه اکسیداسیون به کار می‌رود. اگر اکسید تشکیل شده روی فلز باقی بماند، جایی اکسید شدن بیش‌تر را می‌گیرد، مثل اکسید آلومینیوم، اما در صورت جدا شدن لایه اکسید شده مثل زنگ آهن، اکسید شدن به تدریج تا مصرف کامل آهن ادامه خواهد یافت.

توجه ۱: اکسید کرم لایه مقاوم و خوبی برای استیل می‌باشد و آن را از خوردگی حفظ می‌کند.

توجه ۲: هرچه درجه حرارت بالاتر رود، فلز بیش‌تر اکسید می‌شود.

توجه ۳: اگر آهن را با سرنج رنگ کنیم، نسبت به زنگ زدگی مقاوم می‌شود.

توجه ۴: برای افزایش مقاومت مس، آن را با قلع پوش می‌دهیم.

توجه ۵: یون‌های مس و آهن، در غنا ایجاد رنگ قهوه‌ای می‌کنند.

توجه ۶: اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) نسبت به خوردگی مقاوم است.

مقاومت به خوردگی بیشتر از مس است.

استحکام بیشتر از آلومینیوم

توجه ۷: ویژگی‌های آلیاژ مس و آلومینیوم

توجه ۸: اساس فولاد زنگ نزن (Stainless Steel) بر مبنای آلیاژ آهن و کرم است که لایه مقاوم و ترمیم‌پذیر Cr_2O_3 روی فلز تشکیل می‌شود و محافظ خوبی است.

تذکره: در زمان تماس استیل با مواد خورنده، نباید لایه محافظ اکسید کرم را از بین برد (مثلاً با شستشو به وسیله سیم).

توجه ۹: رطوبت و CO_2 و مواد شیمیایی موجود در هوا، سرعت خوردگی فلزات در برابر اکسیژن را افزایش می‌دهند.

توجه ۱۰: از قلع برای پوشاندن سطح مس و برنج استفاده می‌شود. از ورق قلع اندود این فلزات ظروف حمل مواد غذایی ساخته می‌شود.

خوردگی الکتروشیمیایی

در اثر تشکیل پیل الکتروشیمیایی به وجود می‌آید. همان‌طور که باتری یک پیل الکتروشیمیایی است، در طبیعت هم این پیل تشکیل می‌شود و الکترولیت مورد نیاز می‌تواند از اسیدها و املاح طبیعی که در کلیه آب‌ها و مایعات و حتی در شبنم وجود دارند تأمین شود.

این خوردگی به سه دسته تقسیم می‌شود:

I. خوردگی الکترولیت

II. خوردگی گالوانیک

III. خوردگی ناشی از اختلاف غلظت

I خوردگی الکترولیت : وقتی فلز در مجاورت الکترولیت قرار می‌گیرد، بخش‌هایی از فلز نقش آند و بخشی نیز نقش کاتد را بازی می‌کنند. الکترولیت از آند کنده شده (اکسیداسیون) وارد الکترولیت می‌شود و به کاتد منتقل می‌شود (احیا).

توجه : در مورد خوردگی الکتروشیمیایی فازات یا آلیاژهای حاوی لایه اکسید مقاوم، در صورت لطمه دیدن این لایه معمولاً موضع آندی در محل آسیب دیده تشکیل شده و به همین علت آن را خوردگی حفزهای می‌نامند. این حالت در مورد آلومینیوم و فولادزنگ نزن مسایل جدی‌تر و حادثه‌تری را نسبت به حالت خوردگی عمومی ایجاد کند.

II خوردگی گالوانیک:

برخلاف خوردگی الکترولیتیک، خوردگی گالوانیک نیازی به منبع انرژی الکتریکی خارجی نداشته و تنها به علت اختلاف پتانسیل بین مواضع آندی و کاتدی مولد جریان است.

فازات بالای هیدروژن الکترولیت می‌دهند (خورده می‌شوند) و فازات پایین هیدروژن الکترولیت دریافت می‌کنند.

مثلاً در حلبی که از آهن و قلع تشکیل شده آهن الکترولیت می‌دهد و قلع الکترولیت می‌گیرد. پس آهن خورده می‌شود.

ولی در آهن گالوانیزه (در کابینت آشپزخانه) چون آهن با روی پوشش داده شده لذا روی خورده می‌شود.

از همه زودتر خورده می‌شود

منیزیم	Mg^{2+}	-2.24
آلومینیوم	Al^{3+}	-1.67
روی	Zn^{2+}	-0.76
آهن	Fe^{2+}	-0.44
قلع	Sn^{2+}	-0.14
هیدروژن	H^{+}	0
مس	Cu	+0.34
نقره	Ag	+0.8
طلا	Au	+1.49

از همه کمتر خورده می‌شود

توجه : در صورتی که برای نصب آلومینیوم از میخ آهنی یا فولادی استفاده شود، آلومینیوم تمایل به جایگزینی آهن دارد که پس از مدتی اتصال سست می‌شود.

توجه: آهن در محلول قلیایی مقاوم است - زیرا اغلب املاح تشکیل دهنده محلول های قلیایی از آهن بالاترند. سرعت خوردگی در روش خوردگی گالوانیک با افزایش قلیائیت کم می شود.

III خوردگی در نتیجه اختلاف غلظت:

این نوع خوردگی در فلزاتی که با الکترولیت های متفاوت تماس دارند، با تشکیل یک پیل غلظتی صورت می گیرد. به عنوان مثال خوردگی خط لوله های زیرزمینی که با خاک هایی که دارای ترکیبات متفاوت در تماس هستند، از این نوع است. این خوردگی در مخازنی که غلظت محلول داخل آن ها در قسمت های مختلف متفاوت است، ایجاد می شود. در عبور خط لوله از مناطقی با قابلیت نفوذ متفاوت، محلی که مقدار اکسیژن در آن زیاد است، می تواند موضع کاتدی و محلی که مقدار اکسیژن کمتر است، موضع آندی را تشکیل دهد.

توجه: اکسیژن هم باعث خوردگی از طریق اکسیداسیون می شود، هم از طریق خوردگی اختلاف غلظت و هم با مصرف الکترون های حاصل از انحلال فلز باعث خوردگی می شود. البته بعضی مواقع از طریق ایجاد لایه محافظ مانع خوردگی می شود.

روش های جلوگیری از خوردگی

۱- جداسازی یا ایزولاسیون

استفاده از پوشش های فلزی نظیر آلومینیوم، روی، قلع، نیکل و کروم.

توجه ۱: لوله ها و مخازن آهنی یا فولادی در مکان های مرطوب می توانند به وسیله پوششی از فلزات فعال تر نظیر منیزیم و یا روی، در برابر خوردگی الکتروشیمیایی محافظت شوند.

توجه ۲: قلع از نظر میل ترکیبی نسبت به آهن در سطح پایین تری است و نمی تواند آهن را از عمل الکترولیز محافظت کند.

توجه ۳: رنگ کردن با ایجاد مانعی در عبور یون ها، خوردگی فلزات را کاهش می دهد.

توجه ۴: وجود روی در رنگ، خوردگی را افزایش می دهد.

توجه ۵: متداول ترین رنگ، آستری مورد استفاده برای محافظت آهن و آلیاژهای آهنی سرنج است (ضد رنگ).

۲- محافظت کاتدی

الف: استفاده از یک جریان ضعیف الکتریکی یکسو (D.C) در خلاف جهت به طوری که فلز نتواند به عنوان آند عمل کند.

ب: استفاده از آند فداشوند

مثل منیزیم که قبلاً ذکر شد (برای محافظت لوله ها و مخازن فولادی)

تذکر: اگر منیزیم مصرف شد (فدا شد)، یک قطعه دیگر جایگزین می کنیم.

ج: مساملت کننده ها

بعضی از این مواد با جذب در سطح فلز، سرعت انحلال فلز و واکنش احیا را کاهش می دهند. مثل ترکیبات آلی آمینه.

- برخی از این مواد خوردگی محلول را کاهش می دهند. مثلاً سولفیت سدیم و هیدرازین با مصرف کردن اکسیژن محلول

می توانند سرعت خوردگی را کم کنند.

- برخی مواد مثل کرومات ها و نترات ها احتمالاً به طریق تجدید یوزوتیه فلزاتی نظیر آهن و فولاد باعث کاهش خوردگی آن ها

شود.

توجیه اقتصادی طرح

I. سرمایه

الف - سرمایه ثابت

بخشی از سرمایه گذاری است که عملاً مصرف نمی شود.

A - سرمایه های غیر قابل استهلاك

سرمایه های غیر قابل استهلاك، اقلام سرمایه ای هستند که بر اثر مصرف و یا گذشت زمان ارزش و کارایی خود را از دست نمی دهد.

توجه: این سرمایه را نمی توان جزء اقلام هزینه به حساب آورد.

مثال:

A_1 میلیون ریال

۱- زمین و حق امتیاز آب و برق ...

B - سرمایه های مستهلك، شونده

اکثر سرمایه گذاری های انجام شده در احداث یک واحد صنعتی، سرمایه های مستهلك شونده می باشند. اقلام این نوع سرمایه ها بر اثر مصرف و یا مرور زمان فرسوده می شوند و به تدریج از بین می روند. بنابراین می بایست همه ساله هزینه ای جهت آن ها منظور نمود.

هزینه استهلاك سالانه = $\frac{\text{قیمت خرید اولیه} - \text{قیمت فروش در پایان عمر مفید}}{\text{عمر مفید}}$

یا

قیمت خرید اولیه

عمر مفید

A_2 میلیون ریال

۲- ساختمان ها

A_3 میلیون ریال

۳- دستگاه ها و تجهیزات و تأسیسات

$$A_4 = \left[\frac{5}{100} \times (A_2 + A_3) \right]$$

۴- خدمات مهندسی

A_5

۵- هزینه های قبل از تأسیس

$$A_6 = \frac{5}{100} [A_1 + A_2 + \dots + A_5]$$

هر هزینه های پیش بینی نشده

۶ میلیون ریال

مجموع A_1

ب: سرمایه در گردش
بعد از ساختن کارخانه معادل 3 ماه سرمایه احتیاج است تا کارخانه بتواند تولید داشته باشد و تولید تبدیل به پول شود و به

کارخانه برگردد.

1- مواد اولیه (برای سه ماه) B_1 میلیون ریال

2- مواد بسته‌بندی (برای سه ماه) B_2 میلیون ریال

3- مواد افزودنی B_3 میلیون ریال

4- انرژی (برای سه ماه) B_4 میلیون ریال

5- حقوق پرسنل (برای سه ماه) B_5 معادل چهارده ماه (12 ماه + 1 ماه برای بازخرید + 1 ماه برای پاداش سالانه)

6- لوازم و قطعات یدکی $\left[\left(\frac{2}{100} \times A_3 \right) \right]$ یا کل سرمایه‌گذاری برای ماشین آلات $\times \left[\frac{2}{100} \right]$ برای یک سال

B_6

که برای سه ماه می‌شود

7- پرداخت اقساط بانک B_7 (برای سه ماه)

$$B_8 = \%5 [B_1 + B_2 + \dots + B_7]$$

مجموع 8 تا 1 میلیون ریال

B_8

8- موارد متفرقه پیش‌بینی نشده

$$\text{سرمایه گذاری کل} = A + B$$

سرمایه‌گذاری کل: (مجموع 1 تا 8) میلیون ریال

توجه 1: معمولاً 60% این سرمایه‌گذاری $(A + B)$ رایانک و 40% مابقی را متقاضی پرداخت می‌کند. البته در مناطق محروم سهم متقاضی کمتر هم می‌شود.

توجه 2: در مورد مسئله استهلاک، معمولاً ساختمان‌ها 20 ساله و ماشین‌آلات 10 تا 15 ساله مستهک می‌شوند.

II. هزینه‌های تولید

ج- هزینه‌های ثابت تولید

هزینه‌هایی که کارخانه چه کار کند و چه کار نکند باید پرداخت شود.

1- بهره وام (وام همان سهم بانک است) $C_1 = \frac{20}{100} \left[(A + B) \times \frac{60}{100} \right]$ مثلاً بهره سالانه سهم بانک 20% قیمت می‌شود.

2- انرژی (25% از کل انرژی سالانه) $C_2 = \frac{25}{100} \times [4 \times B_4]$

3- استهلاک ساختمان $C_3 = \frac{5}{100} \times (A_3)$

4- بیمه کارخانه $C_4 = \frac{5}{1000} (A + B)$

5- موارد دیگر C_5

6- هزینه ثابت پیش‌بینی نشده $C_6 = \frac{10}{100} (C_1 + \dots + C_5)$

مجموع 1 تا 6 C

د- هزینه متغیر (هزینه‌ها برای یک سال تولیدی محاسبه می‌شوند):

C_7

$$C_8 = \left[\frac{10}{100} \times A_3 \right]$$

$$C_9 = \frac{A_2}{100}$$

$$C_{10} = \frac{3}{100} \times A_3$$

C_{11}

C_{12}

C_{13}

C_{14}

$$C_{15} = \frac{75}{100} \times B_4$$

$$C_{16} = \frac{10}{100} [C_7 + \dots + C_{15}]$$

$$C = C_{16} \text{ تا } C_7 \text{ مجموع}$$

۱۰- هزینه متغیر پیش‌بینی شده

توجه: سرمایه برای تأسیس و راه‌اندازی کارخانه لازم است ولی هزینه در محاسبه قیمت فروش واحد کالا به کار می‌آید.

توجه: معمولاً ۴ تا ۶٪ کل هزینه‌ها را به‌عنوان هزینه پیش‌بینی نشده محاسبه می‌کنند.

محاسبه قیمت فروش:

قیمت فروش بستگی به بازار عرضه و تقاضا دارد ولی سرمایه‌گذار می‌تواند با احتساب هزینه تمام شده برای کل تولید در یک سال و با در نظر گرفتن سود سرمایه‌گذاری، حداقل قیمت فروش را محاسبه کند. چنانچه مبلغ محاسبه شده کمتر یا برابر قیمت فروش در بازار باشد، سرمایه‌گذاری انجام می‌شود.

قیمت تمام شده (C_q)

$$C_q = \frac{\text{کل هزینه ثابت} + \text{کل هزینه متغیر}}{\text{مقدار یا تعداد محصول تولیدی در سال}}$$

سود سرمایه‌گذاری در واحد محصول

$$[(A+B) \times \text{درصد سود درخواستی}] - \text{مبلغ وام} = \frac{\text{مقدار یا تعداد محصول تولیدی در سال}}{\text{سود در واحد محصول } (C_k)}$$

- قیمت فروش واحد محصول

$$C_k = C_q + C_k$$

توجه: مقدار سود باید طوری باشد که اصل و فرع سرمایه بانک، ظرف ۵ سال مستهلک شود.

$$C_k = \frac{60\% (A+B)}{\text{سال} \times \text{تعداد محصول}}$$

با فرض این که ۶۰٪ از کل سرمایه را وام گرفته باشیم.

سوالات چهارگزینه‌ای

- ۱- برای انتقال مایعات با دبی بالا و ارتفاع کم کدام نوع پمپ مناسب‌تر است؟
 (۱) پمپ پروانه‌ای (۲) پمپ جابجایی مثبت (۳) پمپ دنده‌ای (۴) پمپ‌های با جریان محوری
- ۲- مهم‌ترین خواص میردها برای سیستم‌های سردکننده سردخانه‌ها کدام است؟
 (۱) نقطه جوش پایین و گرمای نهان تبخیر بالا پ (۲) نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر بالا، سمیت کم
 (۳) نقطه جوش و دمای بحرانی بالا، غیر قابل اشتعال (۴) نقطه جوش و دمای بحرانی پایین، بخار متراکم
- ۳- مولکول آبی با فشار 101.325 KPa و دمای 91°C در چه سانتیگراد چه نوع فازي دارد؟
 (۱) بخار اشباع (۲) بخار فراگرم (۳) مایع فروسرد (۴) مخلوط مایع و بخار اشباع
- ۴- زمانی که هوا تا زیر نقطه شبنم سرد می‌شود گرمای نهان و گرمای محسوس
 (۱) به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. (۲) به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد.
 (۳) هر دو کاهش می‌یابند. (۴) هر دو افزایش می‌یابند.
- ۵- مشخصات نقطه سه‌گانه آب در نمودار فاز آب تقریباً عبارتست از:
 (۱) $0^\circ\text{C} - 46\% \text{ آتمسفر}$ (۲) $0.0075^\circ\text{C} - 0.0061 \text{ آتمسفر}$
 (۳) $0.02^\circ\text{C} - 0.52 \text{ آتمسفر}$ (۴) $273\text{K} - 0.45 \text{ آتمسفر}$
- ۶- برای یک پمپ سانتریفیوژ کدام گزینه صحیح است؟
 (۱) می‌توان دبی و هد را با هم افزایش داد. (۲) می‌توان با کاهش دبی، هد را افزایش داد.
 (۳) تغییرات دبی و هد در یک جهت وثابت است. (۴) در دبی ثابت هد می‌تواند افزایش یابد.
- ۷- در یک مبدل حرارتی صفحه‌ای، ضخامت صفحات برابر 1 cm می‌باشد. دمای محیط حرارتی 110°C ، دمای ماده‌ی غذایی گرم شونده 90°C و ضریب هدایت حرارتی صفحات که از جنس استیل ضد زنگ است، برابر $17 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$ آبی‌باشد. میزان گرمای انتقال یافته در یک مترمربع از این صفحات چند کیلو وات است؟
 (۱) 0.34 (۲) 3.4 (۳) 34 (۴) 340
- ۸- یک ماده‌ی غذایی مایع با شدت جریان (لیتر بر ثانیه) $10 \frac{\text{Lit}}{\text{s}}$ در حال عبور از یک لوله است. اگر سرعت مایع برابر با $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ باشد، قطر لوله چند سانتی متر خواهد بود؟
 (۱) 4 (۲) 5 (۳) 6 (۴) 7
- ۹- کدام یک از عبارات‌های زیر تابع حالت نیست؟
 (۱) کار و گرما (۲) تغییرات آنتالپی و انرژی داخلی
 (۳) تغییرات آنتالپی و انتروبی (۴) تغییرات انرژی داخلی و انرژی آزاد
- ۱۰- کدامیک از دستگاه‌های زیر برای همگن سازی سیالات استفاده نمی‌شود؟
 (۱) مخلوط کن‌های توربینی با سرعت بالا (۲) امواج فراصوت 18 تا 30 کیلوهرتز
 (۳) آسیاب‌های کلونیدی از نوع Disc mill (۴) آسیاب‌های ایجاد کننده Shear از نوع Roller mill

۱۱- کدام یک از موارد زیر در مقاوم سازی Stainless steel بر برابر خوردگی مؤثر ترند؟

(۱) به وجود آمدن Cr_2O_3 روی فلز

(۲) وجود فلز نیکل به عنوان فلز مهم موجود در آلیاژ استیل

(۳) وجود اکسید آلومینیوم Al_2O_3 به عنوان محافظ روی استیل

(۴) کرومینه کاری روی استیل به عنوان ایجاد محافظ مقاوم به خوردگی

۱۲- برای شیرین کردن آب شور از کدام یک از روش های غشایی زیر می توان استفاده کرد؟

(۱) اولترافیلتراسیون
(۲) اسمز معکوس
(۳) میکروفلتراسیون
(۴) فیلترهای الکترولستاتیک

۱۳- برای شروع کریستالیزاسیون کدام یک از روش های زیر مؤثر نیست؟

(۱) استفاده از امواج اولتراسونیک
(۲) استفاده از امواج همزمان IR, UV
(۳) کاهش ناگهانی دمای محلول فوق اشباع
(۴) ایجاد تکان های شدید در محلول فوق اشباع

۱۴- مقدار شتاب ذره ها (a) در دستگاه های سانتریفیوژ معادل کدام یک از فرمول های زیر است؟

$$a = \frac{2\pi m}{60} \cdot \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2 \cdot r$$

$$a = r \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2$$

۱۵- کدام یک از فرآورده های زیر کمترین ظرفیت گرمایی را داراست؟

(۱) شیر کم چرب
(۲) شیر پرچرب
(۳) بستنی پرچرب خانگی
(۴) بستنی پرچرب با overrun بالا

۱۶- برای بهبود کیفیت بخار (درجه خشکی) باید:

(۱) در دمای ثابت انتالی آن را افزایش داد
(۲) در دمای ثابت فشار آن را افزایش داد
(۳) در دمای ثابت فشار آن را افزایش داد
(۴) در دمای ثابت فشار آن را افزایش داد

۱۷- در مورد انتخاب دیگ بخار مورد استفاده در کارخانه های صنایع غذایی کدام مورد صحیح است؟

(۱) نوع fire-jube برای ظرفیتهای کم و نوع water tube برای ظرفیتهای بالا کاربرد دارند.
(۲) نوع water tube و fire-jube هر دو فقط برای ظرفیتهای بیشتر از 5000 پوند در ساعت کاربرد دارند.
(۳) نوع fire-jube برای فشارهای کم و نوع water tube برای فشارهای بالا کاربرد دارند.
(۴) نوع water tube و fire-jube هر دو برای کارخانجات صنایع غذایی استفاده می شوند.

۱۸- دستمزد کارگران فصلی و کارکنان غیر تولیدی مثل نگهداران در کارخانه های صنایع غذایی، به ترتیب در کدام یک از گزینه های زیر منظور و محاسبه می شود؟

(۱) هزینه های ثابت- سرمایه گذاری اولیه
(۲) هزینه های ثابت- سرمایه گذاری اولیه
(۳) سرمایه گذاری اولیه- هزینه های ثابت
(۴) سرمایه گذاری اولیه- هزینه های ثابت

۱۹- برای تأمین حداکثر نور طبیعی در سالن های کارخانه، کدام یک از موارد ذیل را توصیه نمی کنید؟

(۱) ساخت سالن ها از جهت شرق به غرب
(۲) ساخت پنجره ها در بالای دیوارها و زیر سقف
(۳) افزایش ارتفاع سالن ها برای افزایش دامنه ی نورگیری
(۴) ایجاد پنجره های شیشه ای در سقف

۲۰- کدام یک از موارد زیر از اهداف طراحی کارخانجات صنایع غذایی نیست؟

(۱) استفاده بهینه از زمین و فضای کارخانه
(۲) استفاده از پرسنل با تخصص بیشتر
(۳) حمل و نقل کمتر در کارخانه و خط تولید
(۴) جریان صحیح و روان مواد در خط تولید

۲۱- کدام یک از موارد زیر برای استفاده از آب شهری و مطمئن در کارخانجات نوشابه‌سازی صحیح است؟

- ۱) استفاده از سختی‌گیری برای دیگ بخار و فیلترهای ماسه‌ای و کربن فعال تهیه نوشابه
- ۲) چون منبع آب شهری مطمئن است از فیلترهای کربن فعال برای هر دو منظور نوشابه و دیگ بخار استفاده می‌شود
- ۳) چون سختی آب در نوشابه نیز اثر نامطلوب دارد از سختی‌گیر برای نوشابه و دیگ بخار استفاده می‌شود
- ۴) استفاده از فیلترهای شنی - ماسه‌ای و کربن فعال برای نوشابه‌ها و دیگ بخار

۲۲- کدام یک از خصوصیات بخار زیر برای استفاده از دستگاه‌های صنایع غذایی صحیح است؟

- ۱) بخار فوق اشباع با فشار مناسب هر دستگاه
- ۲) بخار اشباع با فشار حدود ۱ تا ۳ اتمسفر
- ۳) بخار اشباع با فشار معادل فشار دیگ بخار
- ۴) بخار اشباع آتشفشان یک برای همه دستگاه‌ها بجز اتوکلاد

۲۳- برای جلوگیری از بخار، بو و غیره در هوای سالیان تولید کدام تهیه مناسب‌تر است؟

- ۱) از تهویه با فشار مثبت در درون سالن استفاده شود.
- ۲) تهویه عمومی به گونه‌ای باشد که نیازی به تهویه در محل‌های خاص نباشد.
- ۳) ضمن تهویه با فشار مثبت در محل‌هایی در پیچ برای خروج هوای بیشتر استفاده شود.
- ۴) علاوه بر تهویه عمومی مناسب، تهویه خاص برای محلهایی که بخار، بو و غیره تولید می‌شود منظور شود.

۲۴- کدام یک از خصوصیات دیگ بخار صحیح است؟

- ۱) کربن نداشته باشد و مقدار CO_2 ، CO مجموعاً حدود ۱۰ درصد باشد.
- ۲) کربن نداشته باشد و ماکزیم CO آن یک درصد باشد.
- ۳) کربن و CO نداشته باشد و ماکزیم اکسیژن آن یک درصد باشد.
- ۴) CO نداشته باشد حداقل مقدار $10CO_2$ در صد و مقدار اکسیژن تقریباً ۳ درصد باشد.

۲۵- خصوصیات برق کارخانه بعد از پست برق کدام است؟

- ۱) سه فاز، ۳۸۰ ولت، فرکانس ۵۰ سیکل در ثانیه
- ۲) تک فاز، ۲۲۰ ولت، فرکانس ۵۰ سیکل در ثانیه
- ۳) سه فاز، ۲۲۰ ولت، فرکانس ۶۰ سیکل در ثانیه
- ۴) تک فاز، ۳۸۰ ولت، فرکانس ۵۰ سیکل در ثانیه

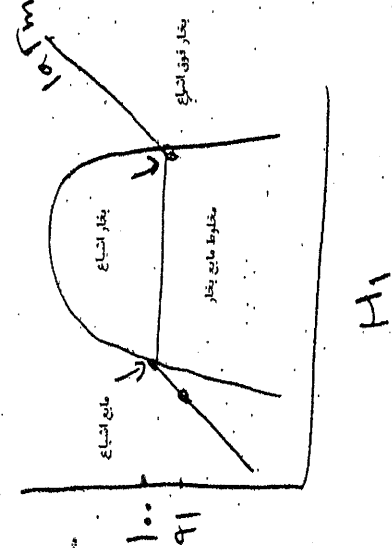
پاسخنامه سوالات آزمون

۱- گزینه ۴ صحیح می باشد.

سه گزینه اول که هر سه از نوع جابه جایی مثبت می باشند برای دبی پایین و ارتفاع بالا طراحی شده اند، ولی گزینه ۴ از نوع دینامیک می باشد که برخلاف جابه جایی مثبت ها برای ارتفاع کم مناسب است.

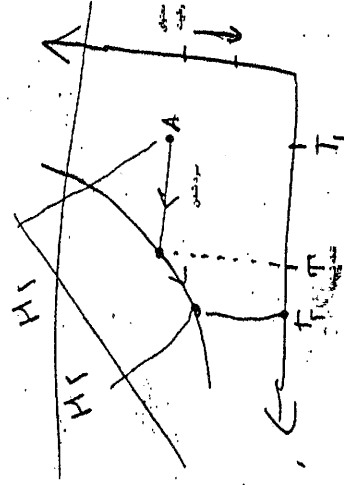
۲- گزینه ۱ صحیح می باشد.

میرد باید نقطه جوش پایین داشته باشد تا باعث ایجاد سرما در دمای پایین شود پس گزینه دوم و سوم غلط است. دمای بحرانی هم باید بالا باشد یعنی بخار در دمای بالا به سیال فوق بحرانی تبدیل شود. پس گزینه ۴ هم غلط است.

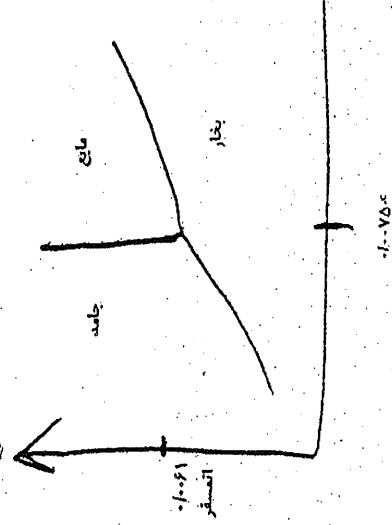


۴- گزینه ۳ صحیح می باشد.

مطابق شکل ملاحظه می شود هم مقداری آب کندانس شده پس محتوای رطوبت هوا کاهش یافته پس گرمای نهان تبخیر آزاد شده و محتوای انرژی هوای A کاهش یافته از سوی دیگر دمای محسوس هوا از T_1 به T_2 کاهش یافته پس گرمای محسوس هم کاهش یافته.



۵- گزینه صحیح می باشد.

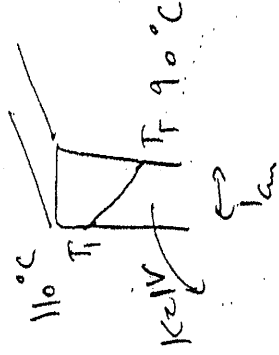


۶- گزینه ۲ صحیح می باشد.

پمپ سانتریفوژ مطابق رابطه $p = \frac{\gamma Q h}{A \Delta x}$ مقدار معینی توان دریافت می کند و بخشی از آن را تحویل سیال می دهد. این توان

تحویلی یا ارتفاع زیاد دبی کم می دهد یا ارتفاع کم دبی زیاد.

۷- گزینه ۲ صحیح می باشد.



$$\frac{q}{A} = k \frac{\sigma T}{\sigma x}$$

$$\frac{q}{A} = 17 \frac{20}{1} = 3400 = 34 \text{ kW} \quad \frac{1}{100} (\text{m})$$

$$Q = Av$$

$$\frac{10}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{4 \text{ m}}{\text{s}} \Rightarrow D = \left(\frac{1}{\pi \times 100} \right) \text{m}$$

۸- گزینه ۲ صحیح می باشد.

حدود 6cm که البته بدون ماشین حساب کمی مشکل است.

۹- گزینه ۱ صحیح می باشد.

کار و گرما تابع مسیر هستند. در حالی که گزینه های دیگر تابع مسیر نیستند و تابع حالت می باشند.

۱۰- گزینه ۴ صحیح می باشد.

این گزینه برای خرد کردن و مخلوط کردن دانه ها به کار می رود.

۱۱- گزینه ۱ صحیح می باشد.

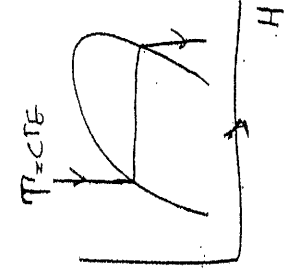
۱۲- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۱۳- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۱۴- گزینه ۱ صحیح می باشد.

$$\left. \begin{aligned} a &= r \omega^2 \\ \frac{\text{Rad}}{\text{min}} \leftarrow w &= 2\pi N \\ N &= \text{دور} \\ \frac{\text{Rad}}{\text{s}} &= \frac{2\pi N}{60} \end{aligned} \right\} a = r \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2$$

۱۵- گزینه ۴ صحیح می باشد.
over run بالا به معنی وجود هوای زیاد در محصول است که چون هوا گرمای ویژه پایین تری نیست به آب و چربی و پروتئین دارد
لذا گزینه ۴ پاسخ سؤال است.



۱۶- گزینه ۱ صحیح می باشد.
مطابق شکل، اگر در دمای ثابت مطابق جهت فلش انتقالی زیاد شود مطابق فلش روی محور افقی آنگاه مخلوط مایع بخار به بخار اشباع تبدیل می شود.

۱۷- گزینه ۳ صحیح می باشد.
نوع fire tube برای ظرفیت بالا فشار کم و برای صنایع غذایی است (مطابق جزوه درس اساتید برخی دانشگاه ها) پس گزینه ۳

پاسخ سؤال است.

۱۸- گزینه ۴ صحیح می باشد.
دستمزد فصلی هزینه در گردش است اما دستمزد کارگران دائمی که کارخانه چه کار کند و چه کار نکند باید پرداخت شود هزینه ثابت است.

۱۹- گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲۰- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۱- گزینه صحیح می باشد.
یک سختی مسأله خیلی مهمی برای دیگ می باشد اما برای نوشابه سختی آب شهری اگر با کیفیت باشد مطلوبست و فقط برای جدا کردن رسوبات و مواد بودار از فیلترها استفاده می شود. اما آب چاه باید سختی گیری شود.

۲۲- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۳- گزینه ۴ صحیح می باشد.

۲۴- گزینه ۲ صحیح می باشد.

۲۵- گزینه ۱ صحیح می باشد.
اغلب دستگاه ها موتورهای سنگین دارند که با برق سه فاز 380 فاز کار می کنند.

یادداشت

یادداشت