تحلیل حجم کنترل :

تعداد بسیاری از فرآیند های مهندسی شامل ورود و خروج جرم از سیستم بوده و بنابراین به صورت حجم کنترل مدل می‌شوند . آبگرمکن، رادیاتور اتومبیل، توربین و کمپرسور همگی دارای انتقال جرم بوده و به جای تحلیل براساس جرم کنترل (سیستم های بسته) باید به صورت حجم کنترل (سیستم های باز) تحلیل شوند . عموماً، هر ناحیه ی دلخواهی از فضا را می‌توان به عنوان حجم کنترل انتخاب نمود . هیچ قانون مشخصی برای انتخاب حجم کنترل وجود ندارد، اما انتخاب مناسب حجم کنترل تحلیل را به مقدار بسیار زیادی ساده می‌نماید . به عنوان مثال اگر خواسته باشیم جریان هوا از یک نازل را تحلیل نماییم، انتخاب فضای درون نازل به عنوان حجم کنترل، انتخاب خوبی خواهد بود.

مرزهای حجم کنترل را، سطح کنترل می‌نامند . سطوح کنترل می‌توانند فرضی یا حقیقی باشند. در نازل، سطوح داخلی دیواره ی نازل، قسمت های حقیقی سطح کنترل را تشکیل داده و سطوح ورودی و خروجی، قسمت فرضی سطح کنترل (اگرچه سطح حقیقی‌ایی در دو انتها وجود ندارد) می‌باشد.

یک حجم کنترل مانند حالت مربوط به نازل می‌تواند از نظر شکل و اندازه ثابت باشد و یا دارای مرز متحرک باشد . با این وجود غالب حجم های کنترل، دارای حجمی ثابت بوده و بنابراین کار جداره در این سیستم ها صفر است . یک سیستم باز، مثل سیستم های بسته می‌تواند شامل تقابل بین گرما و کار باشد . علاوه بر فعل و انفعال بین گرما و کار دراین گونه سیستم ها دخول و خروج جرمی نیز می‌تواند وجود داشته باشد .

کلمات دائم و یکنواخت بطور وسیعی دراین فصل مورد استفاده قرار می‌گیرند . بنابراین داشتن درک صحیح و روشنی از مفاهیم آنها بسیار مهم است . کلمه ی دائم ثابت بودن با زمان را در ذهن تداعی می‌کند، متضاد حالت دائم حالت غیر دائم یاحالت گذرا می‌باشد. با وجود این، واژه یکنواخت، به معنی ثابت بودن در طول ناحیه ای خاص می باشد.

اصل بقای جرم :

بقای جرم یکی از پایه ای ترین اصول درطبیعت می‌باشد . حتی معادلات شیمیایی بر پایه اصل بقای جرم موازنه می‌شوند . همانند انرژی، جرم یک خاصیت ماندگار بوده و قابل تولید شدن و یا از بین رفتن نمی‌باشد .

که در این رابطه c سرعت نور می‌باشد . این معادله بیان می‌دارد که جرم یک سیستم با تغییر کردن مقدار انرژی آن تغییر می‌کند.

برای سیستم های بسته همواره اصل بقای انرژی با این فرض که جرم یک سیستم بسته در طی یک فرآیند ثابت است، به طور ضمنی مورد استفاده قرار گرفته است . با این وجود برای حجم های کنترل جرم می‌تواند از مرز سیستم عبور نماید، بنابراین به مقدار جرم وارد شده و یا خارج شده از سیستم باید توجه نماییم .

FIGURE 5–5
Conservation of mass principle for an ordinary bathtub.

اصل بقای جرم برای یک حجم معیار (CV) در طی یک فرآیند به صورت زیر بیان می‌شود :

(تغییرات خالص جرم در CV) = (کل جرم خروجی از CV) – (کل جرم ورودی به CV)

دبی جرمی و دبی حجمی :

مقدار جرم عبوری ازیک سطح مقطع در واحد زمان، نرخ جریان جرمی و یادبی جرمی نامیده می‌شود و با $\dot{m}$ نشان داده می‌شود . مانند قبل، نقطه ی بالای حرف m سمبلی برای نشان دادن مقدار جرم در واحد زمان می‌باشد .

یک مایع یا گاز که از طریق لوله ها یاکانال هایی به داخل یا خارج حجم کنترل جریان می‌یابد را در نظر بگیرید . دبی سیالی که از یک لوله یا یک کانال می گذرد متناسب است با سطح مقطع لوله یا کانال، چگالی ρ و سرعت v سیال . دبی جرمی از یک سطح کوچک دیفرانسیلی dA به صورت زیر قابل بیان است .

$$d\dot{m} = \rho V_n dA$$

که در این رابطه v_n مؤلفه ی سرعت قائم بر سطح dA می‌باشد . دبی جرمی از کل سطح مقطع لوله، با انتگرال گیری از رابطه ی فوق بدست می آید .

$$\dot{m} = \int_A \rho V_n dA \quad (kg/s)$$

در بسیاری از کاربردهای مهندسی، جریان سیال ازیک لوله یا کانال را می توان جریان یک بعدی فرض نمود . یعنی، می توان فرض کرد که خواص در تنها یک جهت (در جهت جریان) تغییر می کنند . در نتیجه، همه ی خواص در هر سطح مقطعی عمود بر جهت جریان یکنواخت بوده وفرض می‌شود که خواص در کل سطح مقطع دارای مقدار متوسط بالک باشند . اما ممکن است که مقادیر خواص در یک سطح مقطع با زمان تغییر نمایند.

فرض جریان یک بعدی بر غالب خواص یک سیال مثل دما، فشار و چگالی که در یک لوله و یا یک کانال جریان دارد تأثیر کمی داشته و این خواص در طول سطح مقطع ثابت باقی می مانند . اما این حلت در مورد سرعت که مقدار آن به خاطر اثرات و یکسوزی (اصطکاک بین لایه های سیال) از صفر در مجاورت دیواره لوله تا یک مقدار ماکزیمم در مرکز لوله تغییر می کند صادق نیست . با فرض جریان یک بعدی، سرعت در کل سطح مقطع را می توان یک مقدار متوسط معادل ثابت فرض نمود.

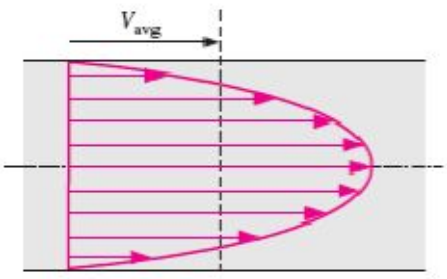


FIGURE 5–3
The average velocity V_{avg} is defined as the average speed through a cross section.

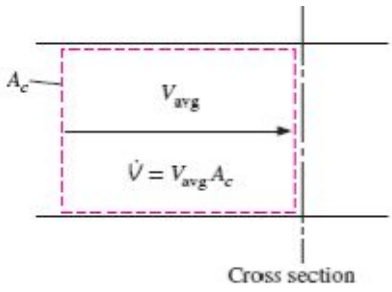


FIGURE 5–4
The volume flow rate is the volume of fluid flowing through a cross section per unit time.

پس از انتگرال گیری برای جریان یک بعدی داریم :

$$\dot{m} = \rho V_{ave} A \quad (kg/s)$$

ρ = چگالی $(=1/v)$ (kg/m^3)

V_{ave} = A وسط سیال عمود بر سطح (m^2)

حجم سیالی که در واحد زمان از یک سطح مقطع می گذرد، دبی حجمی $\dot{V}$ نامیده می‌شود، و از رابطه ی زیر به دست می آید :

$$\dot{V} = \int V_n dA = V_{ave} A \qquad \left(m^3 / s\right)$$

دبی جرمی و دبی حجمی توسط رابطه ی زیر به یکدیگر مربوط می‌شوند.

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{\vartheta}$$

این رابطه مشابه رابطه ی $m = V / \vartheta$ است که در حقیقت رابطه ی بین جرم و حجم یک سیال می باشد .

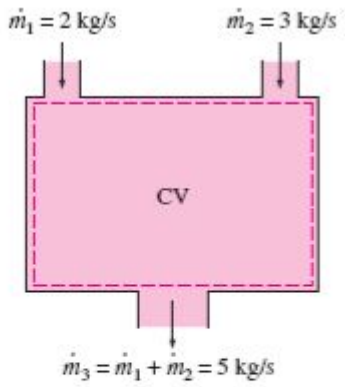


FIGURE 5–7
Conservation of mass principle for a two-inlet–one-outlet steady-flow system.

اصل بقای انرژی :

برای حجم های کنترل، انرژی یک سیستم از یک راه دیگر نیز قابل تغییر است و آن عبور جرم به داخل و یا خارج حجم کنترل می باشد . با ورود جرم به داخل حجم کنترل، انرژی سیستم افزایش می یابد، چرا که جرم عبوری، مقداری انرژی را با خود حمل می نماید . مشابهاً، وقتی که مقدار جرم معینی، حجم کنترل را ترک می کند، انرژی موجود در سیستم کاهش می یابد . چرا که جرم های خروجی، مقدار انرژی همراه خود را نیز از سیستم خارج می نمایند . به عنوان مثال وقتی که مقداری آب گرم از آبگرمکن خارج شده و همان میزان آب سرد جایگزین می گردد، انرژی آب داغ مخزن (حجم کنترل) به خاطر تقابل جرمی کاهش می یابد .

پس معادله ی بقای انرژی برای یک حجم کنترل در یک فرآیند را می توان به صورت زیر بیان نمود .

(کل انرژی ورودی به حجم کنترل در اثر ورود جرم) + (کل انرژی عبوری از مرز به صورت گرما و کار)

(تغییرات خالص انرژی در حجم کنترل) + (کل انرژی خروجی از حجم کنترل در اثر خروج جرم) –

$$Q - W + \Sigma E_{in} - \Sigma E_{out} = \Delta E_{CV}$$

به وضوح می توان دید که اگر هیچ جرمی وارد حجم کنترل نشده و یا از آن خارج نشود، ترم دوم و سوم معادله ی فوق حذف شده و معادله ی فوق به رابطه ای که برای سیستم های بسته ارائه گردید تبدیل می‌شود . برخلاف ظاهر ساده معادله ی

بدست آمده، این معادله را می توان برای هر حجم کنترلی که هر فرآیند دلخواهی را طی می نماید، بکار برد. این معادله را همچنین می توان به شکل دبی انرژی در واحد زمان نیز نوشت .

انتقال گرما به حجم کنترل یا از آن را نباید با انرژی انتقال یافته از طریق انتقال جرم به حجم کنترل یا از حجم کنترل اشتباه گرفت . به خاطر داشته باشید که گرما شکلی از انتقال انرژی است که در اثر اختلاف دما بین حجم کنترل و محیط اطراف بوجود می آید.

یک حجم کنترل، مثل یک سیستم بسته، ممکن است در یک زمان شامل یک یا چند شکل کار باشد . اگر مرز حجم کنترل ثابت باشد، بطوری که در اکثر موارد همین طور است، کار جداره صفر خواهد بود . در این صورت جمله ی مربوط به کار در معادله ی فوق، غالباً به شکل کار شفت و کار الکتریکی برای سیستم های تراکم پذیر در خواهد آمد. همانند قبل هنگامی که حجم کنترل بی در رو (ایزوله) باشد، جمله ی مربوطه به انتقال گرما صفر خواهد گردید .

انرژی مورد نیاز برای راندن سیال به داخل حجم کنترل یا ازداخل حجم کنترل به بیرون از سیستم به کار جریان یا انرژی جریان موسوم است . این انرژی بخشی از انرژی انتقابل یافته ی همراه سیال تلقی شده و در زیر مورد بحث قرار می گیرد .

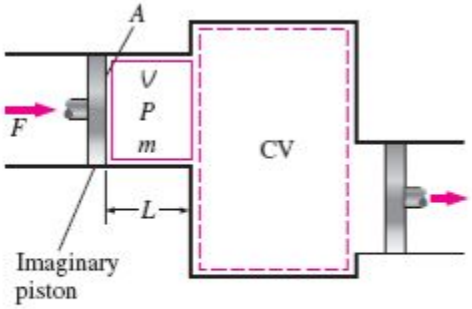


FIGURE 5–11
Schematic for flow work.

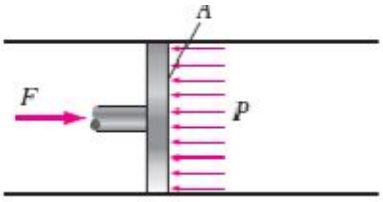


FIGURE 5–12
In the absence of acceleration, the force applied on a fluid by a piston is equal to the force applied on the piston by the fluid.

کار جریان :

برخلاف سیستم های بسته، حجم های کنترل شامل جریان جرم از مرزهایشان می باشند. برای راندن این جرم به داخل حجم کنترل و یا راندن آن به بیرون از حجم کنترل، نیاز به مقداری کار می باشد . این کار به صورت کار جریان یا انرژی جریان دانسته شده و این کار برای داشتن یک جریان پیوسته از حجم کنترل لازم می باشد.

برای بدست آوردن رابطه ای برای کار جریان، یک المان از سیال به حجم V را در نظر بگیرید . سیال بالادست جهت وارد کردن المان سیال بداخل حجم معیار به آن نیرو وارد می کند، پس می توان سیال را به صورت یک پیستون فرضی تصور کرد . المان سیال را می توان به اندازه ی کافی کوچک فرض نمود، بنابراین خواص در همه جای المان یکسان است . اگر فشار سیال P و سطح مقطع المان سیال A باشد، نیروی اعمالی بر المان سیال توسط پیستون فرضی برابر است با :

$$F = PA$$

برای راندن کل المان سیال به داخل حجم کنترل، این نیرو باید در طول فاصله ی L اعمال گردد . بنابراین کار انجام شده برای راندن المان سیال به داخل حجم کنترل از طریق مرز، (یعنی کار جریان) برابر است با :

$$W_{flow} = FL = PAL = PV$$

کار جریان بر واحد جرم را می توان از تقسیم کردن دو طرف معادله ی فوق بر جرم المان سیال بدست آورد :

$$W_{flow} = P\upsilon \qquad (kJ/kg)$$

رابطه ی کار جریان، برای راندن سیال به داخل حجم کنترل و یا راندن آن از حجم کنترل یکسان می باشد . کار جریان برحسب خواص ماده بیان می گردد . در حقیقت، این کار حاصل ضرب دو خاصیت سیال می باشد .

انرژی کل یک سیال جاری :

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \qquad (kJ/kg)$$

که در این رابطه V سرعت و Z ارتفاع سیستم نسبت به یک نقطه ی مرجع خارجی می باشد.

سیال ورودی به حجم کنترل یا خروجی از یک حجم کنترل، یک شکل دیگری از انرژی را به خود می گیرد که آن را انرژی جریان $P\vartheta$ می گویند . پس انرژی کلی یک سیال جاری برمبنای واحد جرم (که با θ نشان داده می‌شود) عبارت است از :

$$\theta = P\vartheta + e = P\vartheta + (U + KE + PE)$$

اما پیشتر از این عبارت $P\vartheta + u$ را به صورت آنتالپی h تعریف نمودیم . پس رابطه ی فوق به رابطه ی زیر ساده می‌شود .

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz$$

فرآیند جریان دائم :

تعداد بسیاری از آلات مهندسی مثل توربین ها، کمپرسورها و نازل ها، برای مدت زمان مدیدی تحت شرایط عملکرد مشابه، کار می کنند و لذا آن ها را جزو آلات جریان دائم دسته می نمایند .

یک فرآیند جریان دائم رامی توان به صورت فرآیندی که طی آن یک سیال از حجم کنترل به طور دائم جریان می یابد، تعریف نمود . یعنی، در یک حجم کنترل خواص سیال می توانند از نقطه ای به نقطه ی دیگر تغییر فرآیند ثابت باقی می مانند (بیاد آورید که دائم به مفهوم ثابت بودن نسبت به زمان می باشد) . یک فرآیند جریان دائم با استفاده از راه های زیر شناخته می گردد :

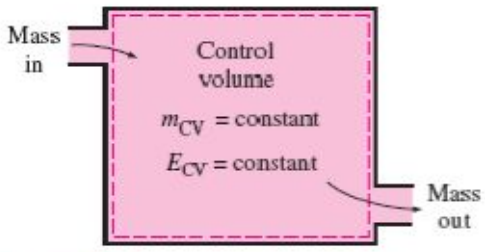


FIGURE 5–18

Under steady-flow conditions, the mass and energy contents of a control volume remain constant.

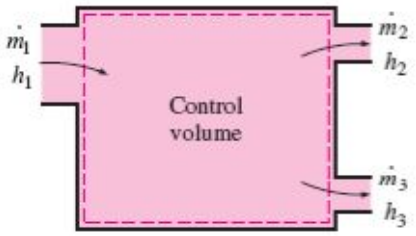


FIGURE 5–19

Under steady-flow conditions, the fluid properties at an inlet or exit remain constant (do not change with time).

1ـ هیچ خاصیتی (کیفی یا کمی) در داخل حجم کنترل با زمان تغییر نمی کند . بنابراین حجم v، جرم m و کل انرژی موجود E داخل حجم کنترل در طی یک فرآیند جریان دائم، ثابت باقی می ماند . نتیجتاً، کارجداره سیستم های جریان دائم صفر انرژی ورودی به حجم کنترل، باید مساوی کل جرم یا انرژی خروجی از حجم کنترل باشد (چرا که، m_{cv} و E_{cv} هر دو ثابت می باشند) . این مشاهدات به مقدار زیادی تحلیل را ساده می نماید.

2ـ درمرز حجم کنترل، هیچ خاصیتی با زمان تغییر نمی کند . بنابراین خواص سیال در یک ورودی یا یک خروجی، در طی کل فرآیند ثابت باقی می ماند .با این وجود، در مکان های مختلف (ورودی ها و خروجی های مختلف)، خواص ممکن است متفاوت باشند. حتی ممکن است که، خواص درنقاط مختلف سطح مقطع یک ورودی یا خروجی متفاوت باشند . اما همه ی خواص شامل سرعت و ارتفاع در یک نقطه مشخص، باید نسبت به زمان ثابت باقی بمانند . این منجربه این نتیجه می گردد که درطی یک فرآیند جریان دائم، دبی جرمی سیال دریک ورودی یا خروجی، باید ثابت باقی بماند (شکل 16ـ4) .

3ـ تقابل بین گرما و کار بین یک سیستم جریان دائم و محیط اطرافش با زمان تغییر نمی کنند . بنابراین قدرت تولید شده توسط یک سیستم و دبی انتقال گرما به سیستم یا از سیستم، در طی یک فرآیند جریان دائم ثابت باقی می ماند.

بعضی از وسائل سیکلی، مثل موتورهای رفت و برگشتی یاکمپرسورها، هیچیک از شرایط ذکر شده فوق راارضاء نمی نمایند، چرا که جریان در ورودی ها و خروجی ها، به صورت پالسی بوده و دائم نیست.

بقای جرم :

پس اصل بقای جرم نیاز به این دارد که مقدارکل جرم ورودی به حجم کنترل مساوی مقدار کل جرم خروجی از آن باشد . یعنی دبی جرمی m مورد نظر ماست . اصل بقای جرم برای یک سیستم جریان دائم عمومی، که دارای چندین ورودی و خروجی می باشد، برای واحد زمان به صورت زیر بیان می گردد:

(کل جرم خروجی درواحد زمان ازحجم کنترل) = (کل جرم ورودی درواحد زمان به حجم کنترل)

یا :

$$\Sigma \dot{m}_i = \Sigma \dot{m} \qquad (kg/s)$$

برای سیستم های جریان دائم که دارای یک جریان عبوری می باشند، داریم :

$$\dot{m}_1 = m_2 \qquad (kg/s)$$

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

یا

$$\frac{1}{\vartheta_1} V_1 A_1 = \frac{1}{\vartheta_2} V_2 A_2$$

ρ : چگالی، kg/m^3

V = سرعت متوسط جریان در جهت جریان، m/s

A = سطح مقطع عمود بر جهت جریان، m^2

موضوعی که به نام اصل بقای حجم وجود ندارد . بنابراین، دبی حجمی ($v=VAm^3/s$) به داخل وسیله جریان دائم و یا خارج شدن از آن ممکن است متفاوت بادش . دبی حجم درخروجی یک کمپرسور هوا، بسیار کمتر از دبی حجمی در ورودی آن می باشد . حتی تحت چنین شرایطی، دبی جریان جرمی هوا از کمپرسور ثابت است . این به خاطر چگالی بیشترهوا

در خروجی کمپرسور می بادش . با این وجود برای جریان مایعات، دبی جریان حجمی، مثال دبی جریان جرمی ثابت باقی می ماند چرا که مایعات اساساً موادی غیر قابل تراکم (چگالی ثابت) می باشند .

بقای انرژی :

درد طی یک فرآیند جریان دائم، تغییرات درانرژی کلی حجم کنترل صفر می باشد . بنابراین ف مقدار انرژی ورودی به یک حجم کنترل درهر شکلی (گرما، کار، انتقال جرم) باید مساوی مقدار انرژی خروجی، از آن، برای یک فرآیند جریان دائم باشد .

قانون اول ترمودینامیک یا اصل بقای انرژی برای یک سیستم عمومی جریان دائم که دارای چندین ورودی و خروجی می باشد، در واحد زمان به صورت زیر بیان می گردد:

(کل انرژی عبوری از جداره به صورت گرما و کار) = (کل انرژی خروجی از CV توسط جرم) –(کل انرژی ورودی به CV توسط جرم)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_e \theta_e - \Sigma \dot{m}_i \theta_i$$

که θ انرژی کلی سیال جاری است که شامل کار جریان برای واحد جرم می باشد . این رابطه همچنین، به صورت زیر قابل بیان است : Type equation here.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Sigma \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) - \Sigma \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) \qquad (kW)$$

که مقدار θ با استفاده از رابطه ی

$$\theta = h + ke + pe$$

معادله ی بقای انرژی برای سیستم های جریان دائم با جریان منفرد به صورت زیر در می آید :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_1 - z_2) \right] \ (kW)$$

یا :

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(\Delta h + \Delta ke + \Delta pe) \quad (kw)$$

با تقسیم این معادلات بر ، رابطه ی قانون اول برای واحد جرم به صورت زیر بدست می آید :

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_1 - z_2] \qquad (kJ/kg$$

$$q - w = \Delta h + \Delta ke + \Delta pe \qquad (kJ/kg)$$

که :

(انتقال گرما بر واحد زمان kJ/kg)
$$q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$$

(کار انجام شده در واحد زمان kJ/kg)
$$w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}}$$

اگر انرژی های جنبشی و پتانسیل یک سیال، با عبور از حجم کنترل به اندازه ی خیلی کمی (قابل اغماض باشد) تغییر نماید، در آن صورت معادله ی انرژی یک جریان منفرد، برای سیستم جریان دائم به رابطه ی زیر ساده می‌شود :

$$q - w = \Delta h \qquad kJ/kg$$

$\dot{Q}$: نرخ انتقال گرمای بین حجم معیار و محیط اطراف است . وقتی که گرما از حجم کنترل خارج می‌شود مثل حالتی که حجم کنترل یک آبگرمکن باشد)، منفی است . اگر حجم کاملا، ایزوله باشد (حجم کنترل آدیاباتیک)، داریم $\dot{Q} = 0$

$\dot{W}$: همان قدرت است . برای وسائل جریان دائم، هم اندازه، حجم کنترل ثابت بوده و بنابراین کار جداره صفر می باشد .

پس $\dot{W}$ بیانگر اشکال دیگری از کار انجام شده بر واحد زمان می باشد . بسیاری از وسائل جریان دائم مثل توربین ها، کمپرسورها و پمپ ها قدرت را از طریق یک شفت انتقال داده و $\dot{W}$ به بیان ساده همان کار شفت برای این نوع دستگاه می باشد . اگر هیچکدام از انواع کار وجود نداشته باشند درآن صورت $\dot{W} = 0$

$\Delta h = h_{exit} - h_{\text{int}\,er}$: تغییر آنتالپی یک سیال را به سادگی با خواندن مقادیر آنتالپی در حالت ورودی و خروجی از روی جداول می توان محاسبه کرد . برای گازهای ایده آل، این مقدار را می توان با رابطه $\Delta h = C_{p,ave}(T_2 - T_1)$ تقریب زد . توجه کنید که $(\text{kg/s})\ (\text{kJ/kg}) = \text{kW}$

$\Delta ke = (V_1^2 - V_2^2)/2$: واحد انرژی جنبشی عبارت است از m^2/s^2 که مساوی با J/kg می باشد . آنتالپی معمولاً برحسب kJ/kg داده شده است . برای جمع کردن این دو مقدار، انرژی جنبشی باید بر حسب kJ/kg بیان شود . با تقسیم کردن مقدار آن بر عدد 1000 این مسأله به سادگی تحقق می یابد .

بعضی از دستگاه های مهندسی جریان دائم

1ـ نازل ها و دیفیوزرها

نازل دستگاهی است که سرعت سیال را در قبال کاهش فشار زیاد می کند . دیفیوزر، وسیله ای است که فشار سیال را با کم کردن سرعت آن بالا می برد .

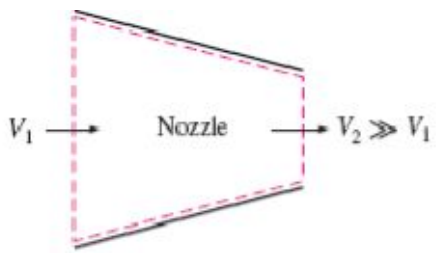
$\dot{Q} \cong 0$: در این حالت نرخ انتقال گرما، بین سیال عبوری از نازل یا دیفیوزر و محیط اطراف، حتی وقتی که این وسائل عایق بندی نشده باشد معمولاً بسیار کوچک است . این موضوع دردرجه ی اول به خاطر بالا بودن سرعت سیال و بنابراین ناکافی بودن زمان برای بوجود آمدن انتقال گرما در این مسائل می باشد .

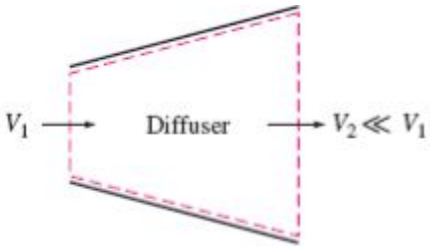
$\dot{W} = 0$: در این حالت جمله ی مربوط به کار نازل ها و دیفیوزرها صفر است . چرا که این وسائل اساساً دارای شکل مناسبی برای عبور سیال بوده و شامل هیچگونه شفت یا سیم های مقاومت الکتریکی نمی باشد .

$\Delta ke \neq 0$: در این حالت سرعت سیال در نازل های و دیفیوزرها معمولاً بسیار بالا بوده و با عبور یک سیال از یک نازل یا دیفیوزر، تغییر زیادی در سرعت سیال پدید نمی آید .

بنابراین، تغییرات انرژی جنبشی باید در تحلیل عبور جریان از این وسائل مورد استفاده قرار گیرند.

$\Delta P_e \approx 0$: در این حالت تغییر ارتفاع سیال عبوری از نازل ها و دیفیوزرها معمولاً کوچک بوده و یا اصلاً تغییر ارتفاعی صورت نمی گیرد، و بنابراین از ترم انرژی پتانسیل می توان صرف نظر کرد .





2ـ توربین ها و کمپرسورها :

کمپرسورها نیز مانند پمپ ها و فن ها، وسائلی هستند که فشار سیال را افزایش می دهند. کار داده شده به این وسائل از یک منبع خارجی و از طریق یک شفت در حال گردش فراهم می گردد . بنابراین، جمله ی مربوط به کار برای کمپرسورها منفی است چرا که کار بر روی سیال انجام شده است .

یک فن، فشار یک گاز را به اندازه ی کمی بالا برده و اساساً برای پراکنده کردن سیال در محیط اطراف بکار می رود . یک کمپرسور قادر است که یک سیال را تا فشارهای بالایی متراکم نماید . پمپ ها بسیار شبیه کمپرسورها می باشند با این تفاوت که به جای، گاز از مایع استفاده می کنند .

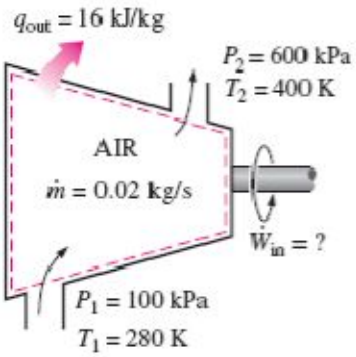
برای توربین ها و کمپرسورها مقادیر نسبی جملات مختلف، که درمعامله ی انرژی ظاهر می‌شوند به شرح زیر است :

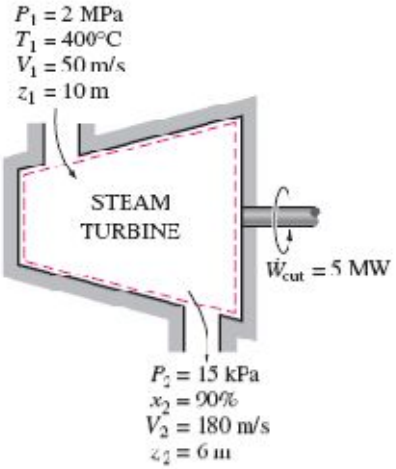
$\dot{Q} \cong 0$ انتقال گرما برای این وسائل عموماً نسبت به کار شفت بسیار کوچک است، مگر این که مقدار افت دما زیاد باشد .

$\dot{W} \neq 0$: همه ی این وسائل شامل شفت گردانی بوده که مرز سیستم را قطع می نماید، بنابراین جمله ی مربوط به کار مهم است . برای توربین ها، $\dot{W}$ بیانگر قدرت خروجی و برای پمپ ها و کمپرسورها، $\dot{W}$ بیانگرقدرت ورودی می باشد .

$\Delta P_e \cong 0$: تغییر انرژی پتانسیل یک سیال در طی عبور سیال از توربین ها، کمپرسورها، فن ها و پمپ ها معمولاً بسیارکوچک بوده و عموماً از آن صرفنظر می‌شود.

$\Delta ke \cong 0$: سرعت های این وسائل، بجز در توربین ها، معمولاً بسیار کوچک تر از آن است که هیچ گونه تغییری در انرژی جنبشی ایجاد نماید . سرعت سیال درتوربین ها بسیار بالا بوده و بنابراین تغییر قابل توجهی در انرژی جنبشی آن ها در اثر عبور از توربین پدید می آید . با این وجود، تغییر فوق نسبت به تغییر آنتالپی بسیار کوچک بوده و بنابراین در اغلب موارد از آن صرف نظر می گردد .





3ـ شیرهای اختناق :

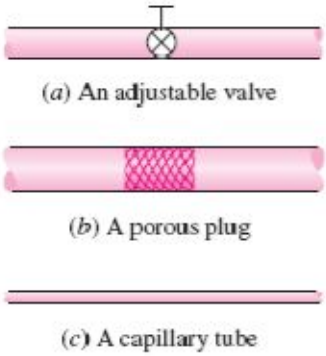


FIGURE 5–29
Throttling valves are devices that cause large pressure drops in the fluid.

شیرهای اختناق (کنترل جریان)، نوعی وسیله محدود کننده جریان سیال بوده که باعث افت فشار قابل ملاحظه ای در سیال می گردند . مثال های آشنای این مورد عبارتند از شیرهای قابل تنظیم معمولی لوله های موئینه و تیوب های متخلخل . برخلاف توربین ها، این وسائل افت فشار را بدون انجام هیچ کاری ایجاد می نمایند . افت فشار سیال معمولاً با افت زیاد دما همراه سات و به خاطر همین امر، وسائل اختناق در یخچال ها و کولرها مورد استفاده قرار می گیرند. مقدار افت دما (یا گاهی اوقات، افزایش دما) در طی یک فرآیند اختناق کردن، با استفاده یک خاصیت به نام ضریب ژول تامسون انجام می گردد .

شیرهای اختناق معمولاً وسائل کوچکی بوده و جریان سیال از میان آن ها را، به خاطر ناکافی بودن زمان برای انتقال گرما و همچنین سطح کوچک برای انتقال گرما می توان بی در رو فرض نمود $(q \cong 0)$. همچنین هیچ کاری نیز در این آلات انجام نمی‌شود $(W=0)$، و تغییر در انرژی پتانسیل (در صورت وجود) بسیار کوچک است $(\Delta pe \cong 0)$. اگرچه سرعت خروجی اغلب بیشتر از سرعت ورودی می باشد، در بسیاری از حالات، افزایش در انرژی جنبشی ناچیز است $(\Delta ke \cong 0)$. در این حالت معادله بقای انرژی برای سیستم جریان دائم تک جریانی به رابطه زیر ساده می‌شود :

$$h_2 \cong h_1 \qquad (kJ/kg)$$

یعنی این که، مقادیر آنتالپی در ورودی و خروجی شیرهای اختناق برابر یکدیگر می باشند. به خاطر همین دلیل، یک شیر اختناق را، گاهی اوقات یک وسیله آنتالپی ثابت می نامند.

ثابت = انرژی جریان + انرژی داخلی

بنابراین، خروجی نهایی یک فرآیند اختناق بستگی به این دارد که در طی فرآیند کدامیک از دو مقدار افزایش یابند . اگر انرژی جریان در طی فرآیند افزایش یابد $(P_2\vartheta_2 < P_1\vartheta_1)$ به خاطر مصرف انرژی داخلی است، و در نتیجه انرژی داخلی کاهش می یابد که معمولاً با کاهش دما همراه است . اگر حاصل ضرب $P\vartheta$ کاهش پیدا کند، انرژی داخلی و دمای سیال در طی فرآیند اختناق افزایش می یابد .

4ـ مبدل های حرارتی :

مبدل های حرارتی وسائلی هستند که در آن ها دو جریان سیال در حال حرکت، بدون مخلوط با یکدیگر، با همدیگر گرما مبادله می نمایند . از مبدل های حرارتی به طور وسیعی در صنایع مختلف استفاده شده و در طرح های مختلفی وجود دارند .

ساده ترین شکل یک مبدل گرمایی، دو لوله داخل یکدیگر می باشد (که همچنین به لوله و پوسته موسوم است) . این مبدل از دو لوله که یکی در داخل دیگری قرار دارد تشکیل شده و سیال در فضای بین دولوله در جریان است . گرما از طریق دیواره ی لوله از سیال سرد انتقال می یابد . گاهی اوقات لوله داخلی، در داخل پوسته چند چرخش دارد، که این چرخش ها برای افزایش سطح انتقال گرما در نظر گرفته شده اند و باعث افزایش نرخ انتقال گرما می‌شوند. اهی اوقات، مبدل های حرارتی اتصال مستقیم نامیده می‌شوند.

اصل بقای جرم برای یک مبدل حرارتی در عملکرد دائم نیاز به این دارد که مجموع دبی جرم ورودی به حجم کنترل مساوی مجموع دبی جرم خروجی از آن باشد . این اصل را همچنین می توان به صورت زیر بیان نمود : تحت عملکرد دائم، دبی جرمی هر یک از جریان های سیال در مبدل حرارتی، ثابت باقی می ماند.

مبدل های حرارتی عموماً دارای هیچ گونه تقابل کار نمی باشند $(w = 0)$، و تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل مربوط به هر یک ازدو سیال نیز قابل صرف نظر کردن می باشد. $\Delta ke \cong 0, \Delta pe \cong 0$. نرخ انتقال گرما برای مبدل حرارتی به نحوه انتخاب حجم کنترل بستگی دارد . مبدل های حرارتی برای انتقال گرما بین دو سیال داخل یک وسیله در نظر گرفته شده اند و پوسته بیرونی معمولاً کاملاً بی در رو می باشد تا ازهرگونه انتقال گرما با محیط اطراف جلوگیری شود.

وقتی که کل مبدل گرمایی به عنوان حجم کنترل انتخاب شد، $\dot{Q}$ مساوی صفر می باشد، چرا که مرز در این حالت دقیقاً با عایق پوشانده شده است و گرمای کمی مرز سیستم را قطع می کند (یا هیچ گرمایی از آن عبور نمی کند) .

اگر تنها یکی از سیال ها به عنوان حجم کنترل انتخاب گردد، گرما با انتقال یافتن از یک سیال به سیال دیگر مرز سیستم را قطع خواهد کرد . در حقیقت در حالت اخیر، $\dot{Q}$ صفر نبوده و معادل نرخ انتقال گرما بین دو سیال می باشد .

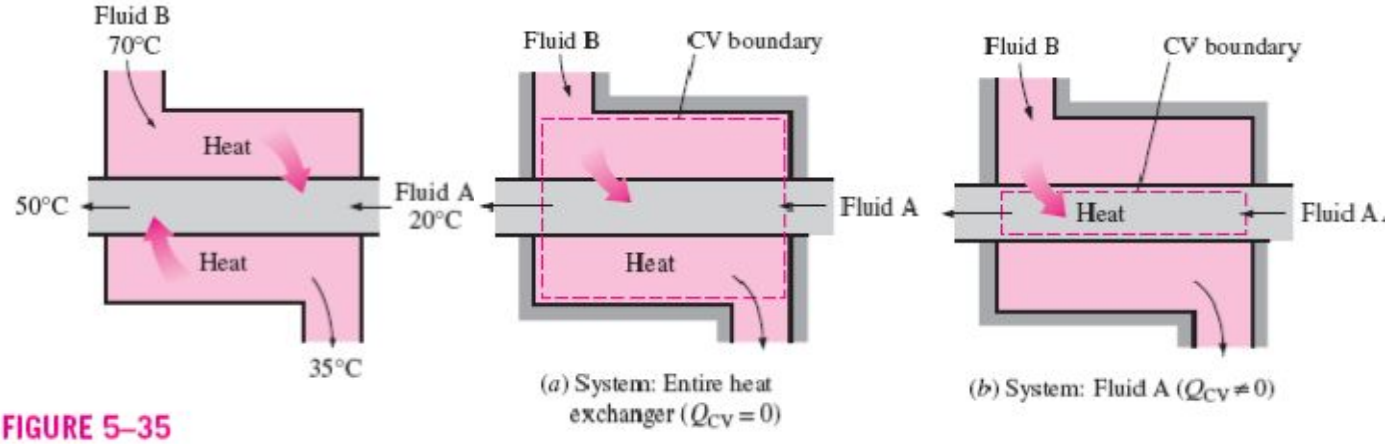


FIGURE 5–35

A heat exchanger can be as simple as two concentric pipes.

فرآیندهای جریان غیر دائم

بسیاری از فرآیندها دارای تغییراتی با زمان درحجم کنترل می باشند. چنان فرآیندهایی را، فرآیندهای جریان غیر دائم یا فرآیندهای جریان گذرا می نامند . وقتی که یک فرآیند جریان غیر دائم تحلیل می گردد، علاوه بر در نظر گرفتن تقابل انرژی درمرز، باید مقدار جرم و انرژی درون حجم کنترل را نیز در نظر گرفت . بعضی از فرآیندها با جریان غیر پایا عبارتند از : بارگیری مخزن های صلب، به حرکت درآوردن توربین گازی توسط هوای فشرده موجود در یک محفظه بزرگ، باد کردن تایرها یا بالن ها

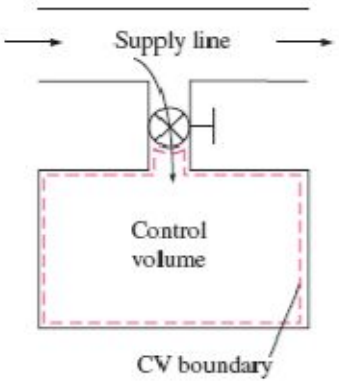


FIGURE 5–43

Charging of a rigid tank from a supply line is an unsteady-flow process since it involves changes within the control volume.

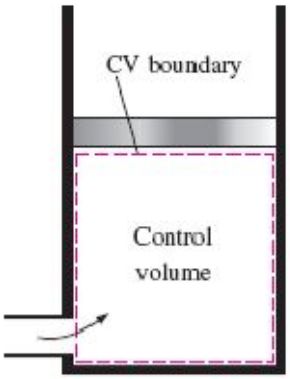


FIGURE 5–44
The shape and size of a control volume may change during an unsteady-flow process.

برخلاف فرآیندهای جریان دائم فرآیندهای جریان گذرا (غیر دائم)، به جای این که به طور پیوسته ادامه یابند، در طول یک بازه ی زمانی شروع شده و خاتمه می یابند. بنابراین در این مقطع، به جای نرخ تغییرات (تغییرات در واحد زمان) به بحث در مورد تغییراتی که در طول یک بازه ی زمانی Δt اتفاق می افتند، می پردازیم . یک سیستم جریان گذرا، از جهات بسیاری به یک سیستم بسته شباهت دارد با این تفاوت که مقدار جرم درون حجم کنترل ثابت نیست .فرق دیگر بین سیستم های جریان دائم و سیستم های جریان گذرا، این است که سیستم های جریان دائم از نظر مکان و شکل و اندازه ثابت می باشند، اما سیستم های جریان غیر دائم، این طور نمی باشند . این سیستم ها معمولاً ساکن بوده (یعنی مکان آن ها در فضا ثابت است)، اما ممکن است دارای مرزهای متحرک و بنابراین کار جداره باشند .

بقای جرم :

اصل بقای جرم برای یک حجم کنترل (CV) که هر نوع فرآیند جریان غیر دائمی را در مدت زمان Δt طی می کند به صورت زیر قابل بیان می باشد :

(کل جرم خروجی از حجم کنترل در زمان Δt) – (کل جرم ورودی به حجم کنترل در زمان Δt)

(تغییر خالص جرم، درون حجم کنترل CV در زمان Δt) =

$$\Sigma m_i - \Sigma m_e = \Delta m_{CV}$$

یا

$$\Sigma m_i - \Sigma m_e = (m_2 - m_1)_{cv}$$

$m_i = 0$ است اگر هیچ جرمی در طی فرآیند وارد حجم کنترل نشود؛ $m_e = 0$ است اگر در طی فرآیند هیچ جرمی از حجم کنترل خارج نگردد ؛ و $m_1 = 0$ است اگر حجم کنترل در حالت اولیه خالی باشد .

اصل بقای جرم برای یک فرآیند عمومی جریان غیر دائم را می توان به فرم نرخ (شدتی) نیز بیان کرد .

$$\Sigma \dot{m}_i - \Sigma \dot{m}_e = \frac{dm_{cv}}{dt} \qquad (kg/s)$$

که m_i، m_e دبی های جرم ورودی به حجم کنترل و خروجی از حجم کنترل بوده dm_{cv} تغییرات جرم موجود در حجم کنترل می باشد .

بقای انرژی :

اصل بقای انرژی برای یک حجم کنترل که هر فرآیند جریان غیر دائم دلخواهی را در طول زمان Δt طی نماید به صورت زیر قابل بیان است .

+ (کل انرژی عبوری از مرز به صورت گرما و کار در فاصله زمانی Δt)

+ (کل انرژی وارد شده به حجم کنترل CV، در اثر ورود جرم در زمان Δt)

– (کل انرژی خارج شده از حجم کنترل CV، در اثرخروج جرم در زمان Δt)

= (تغییر خالص در انرژی حجم کنترل CV ، در طول زمان Δt)

یا

$$Q - W + \Sigma\theta_i - \Sigma\theta_e = \Delta E_{cv}$$

که θ نشانگر کل انرژی انتقال یافته در طی فرآیند توسط جرم به حجم کنترل و یا از حجم کنترل و از طریق یک ورودی یا یک خروجی می باشد . معادله ی بقای انرژی برای یک حجم کنترل در فرم شدتی (نرخ) نیز قابل بیان است .

حالت خاص : فرآیندهای جریان یکنواخت

یک فرآیند جریان یکنواخت شامل مشخصات ایده آل زیر است .

1ـ در هر زمانی در طی فرآیند، حالت حجم کنترل یکنواخت است (یعنی خاصیت در همه جا یکسان بوده و برابر یک مقدار است) . حالت حجم کنترل ممکن است بازمان تغییر نماید، اما این تغییر به طور یکنواخت می باشد . در نتیجه، حالت جرم خروجی از حجم کنترل در هر لحظه مانند حالت جرم در حجم کنترل درهمان لحظه می باشد .

2ـ خواص سیال ممکن است از یک ورودی یا خروجی نسبت به ورودی یا خروجی دیگر فرق کند، اما جریان سیال در هر ورودی یا خروجی، یکنواخت و دائم می باشد . یعنی خواص نسبت به زمان و موقعیت در روی سطح مقطع ورودی یا خروجی تغییر نمی کنند. اگر خواص درروی سطح مقطع ورودی یا خروجی، مختلف، متغیر باشند، میانگین آن ها گرفته شده و میانگین به عنون مقدارثابت برای کل فرآیند در نظر گرفته می‌شود.

معادله بقای انرژی برای یک فرآیند جریان یکنواخت به صورت زیر در می آید .

$$Q - W = \Sigma m_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) - \Sigma m_i\left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i\right) + \left(m_2e_2 - m_1e_1\right)_{cb}$$

وقتی که تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل مربوط به حجم کنترل و جریان سیال ناچیز باشد داریم :

$$Q - W = \Sigma m_e h_e - \Sigma m_i h_i + \left(m_2u_2 - m_1u_1\right)_{cv}$$

توجه کنید در صورتی که هیچ جرمی وارد حجم کنترل نشده و یا از آن خارج نشود ($m_e = m_i = 0$)، جمله اول .

Q = انتقال گرمای کلی بین حجم کنترل و محیط اطراف در طی فرآیند . منفی است اگر گرما از حجم کنترل خارج شود و صفر است اگر حجم کنترل کاملاً ایزوله باشد .

W = کل کار مربوط به حجم کنترل . این کار ممکن است کار الکتریکی، کار شفت و حتی کار جداره (در صورتی که مرز در طی فرآیند حرکت کند) . کار برای یک حجم معیار برابر صفر است، اگر حجم معیار بدون حرکت جداره، شفت و مقاومت الکتریکی باشد .

m_e = جرم خروجی از حجم کنترل، در صورتی که در طول فرآیند هیچ مقدار جرمی از حجم کنترل خارج نشود برابر صفر است .

m_i = جرم ورودی به حجم کنترل . در صورتی که در طول فرآیند هیچ مقدار جرمی به حجم کنترل وارد نشود، برابر صفر است .

$m_1u_1 = U_1$ = انرژی داخلی کلی حجم کنترل در حالت اولیه . برای حجم کنترلی که در حالت اولیه خلاء باشد، صفر است .

$m_1u_1 = U_2$ = انرژی داخلی کلی حجم کنترل در حالت نهایی .