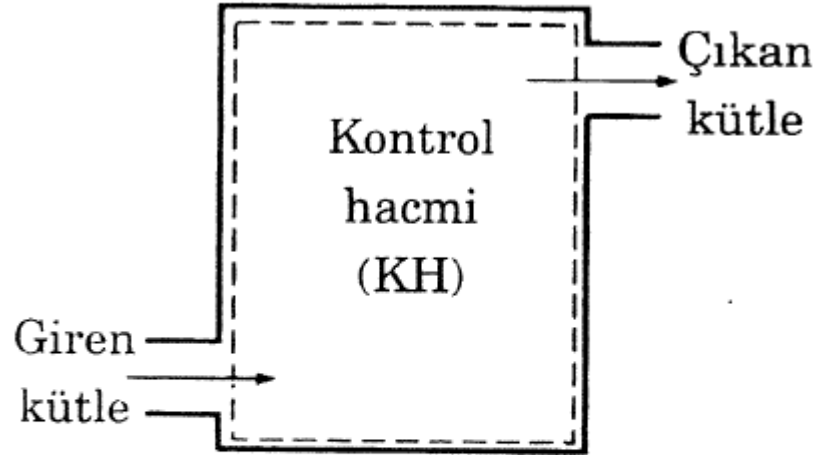


AÇIK SİSTEMLER için TERMODİNAMIĞIN BİRİNCİ YASASI

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI: AÇIK SİSTEMLER

Çok sayıda mühendislik probleminde sistem sınırlarından kütle girişi ve çıkışı vardır. Bu nedenle kontrol hacmi tanımına gerek duyulur.



ŞEKİL 4-1

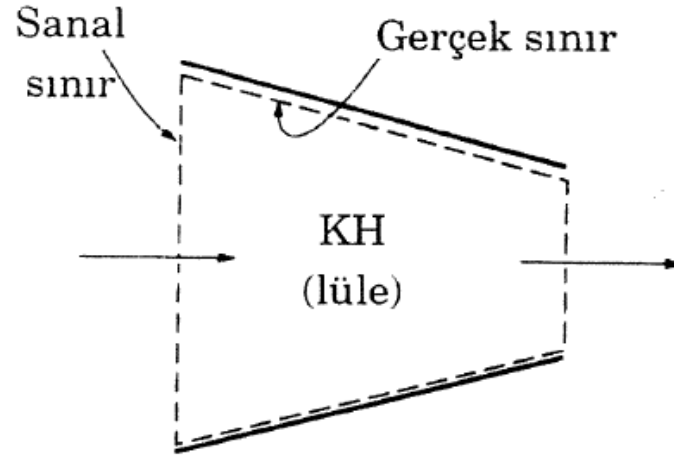
Kontrol hacmine kütle giriş çıkışı olabilir.

TERMODİNAMIĞIN BİRİNCİ YASASI: AÇIK SİSTEMLER

Su ısıtıcısı, otomobil radyatörü, türbin, kompresör, içinden kütle akışının olduğu sistemlerdir bu nedenle de kontrol hacmi olarak ele alınmalıdırlar. Genelde uzayın herhangi bir bölgesi kontrol hacmi olarak seçilebilir. Kontrol hacminin seçimi konusunda katı kurallar yoktur. Ancak doğru seçim analizi kolaylaştırır.

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI: AÇIK SİSTEMLER

Kontrol hacminin sınırları kontrol yüzeyi olarak adlandırılır. Kontrol yüzeyi gerçek veya sanal olabilir.

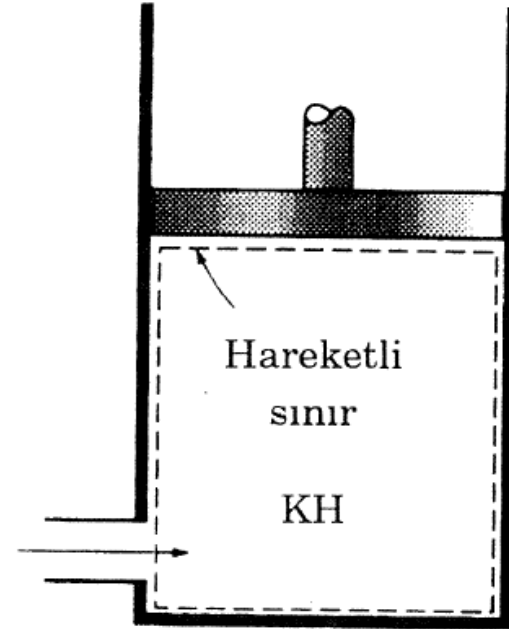


ŞEKİL 4-2

Bir kontrol hacminin gerçek ve sanal sınırları.

TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ YASASI: AÇIK SİSTEMLER

Kontrol hacminin büyüklüğü ve biçimi sabit olabileceği gibi hareketli bir sınıra sahip olması neticesinde değişebilir de.



ŞEKİL 4-3

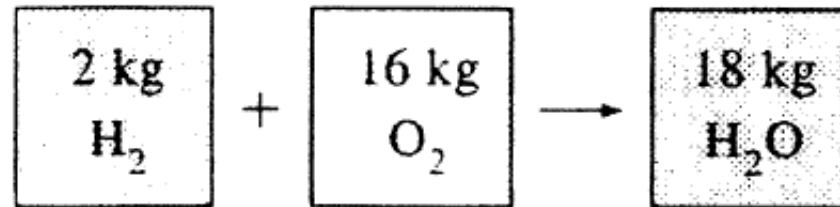
Bazı kontrol hacimlerinin hareketli sınırları vardır.

TERMODİNAMIĞIN BİRİNCİ YASASI: AÇIK SİSTEMLER

Kontrol hacminin sınırlarından kütle geçişine ek olarak, kapalı sistemde olduğu gibi enerji geçişi de olabilir.

Kütlenin Korunumu

Kapalı sistemlerde, sistemin kütlesi hal değişimi sırasında tanım gereği sabit kaldığından, kütlenin korunumu prensibi üstü kapalı bir biçimde uygulanmaktadır.



ŞEKİL 4-4

Kütle, kimyasal reaksiyonlarda bile korunur.

Kütlenin Korunumu

Öte yandan, kontrol hacmi sınırlarından kütle geçişi olduğu için, kontrol hacmine giren ve çıkan kütlenin hesabını yapmak gerekir.

Kütlenin Korunumu

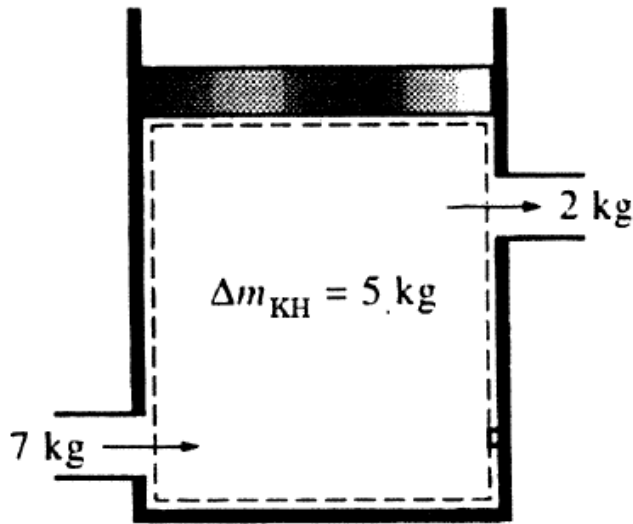
Kontrol hacmi veya açık sistem için kütlenin korunumu prensibi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmine} \\ \text{giren toplam kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacminden} \\ \text{çıkan toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmi içinde} \\ \text{toplam kütle değişimi} \end{array} \right)$$

$$\sum m_g - \sum m_{\dot{\varsigma}} = \Delta m_{KH}$$

Kütlenin korunumu prensibi birim zamanda olan geçiş ve değişimler göz önüne alınarak da ifade edilebilir.

Kütlenin Korunumu



$$\left(\begin{array}{c} \text{KH'ne} \\ \text{giren toplam} \\ \text{kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{KH'den} \\ \text{çıkan toplam} \\ \text{kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{KH içinde} \\ \text{toplam kütle} \\ \text{değişimi} \end{array} \right)$$

$$\Sigma m_g - \Sigma m_{\phi} = \Delta m_{KH}$$

ŞEKİL 4-5

Kontrol hacmi için kütlenin korunumu ilkesi.

Kütle debisi ve hacimsel debi

Bir kesitten birim zamanda akan kütle miktarına kütle debisi denir ve $\dot{m}$ ile gösterilir.

$$\dot{m} = \int_A \rho \mathbf{V}_n dA \quad (\text{kg/s})$$

Bir sıvı veya gaz, kontrol hacmine boru veya kanallardan geçerek girer. Bir boru veya kanalda akan akışkanın kütle debisi, boru veya kanalın kesit alanı A , akışkanın yoğunluğu ρ ve hızı $\vec{V}$ ile orantılıdır.

$$\dot{m} = \rho \mathbf{V}_{\text{ort}} A \quad (\text{kg/s})$$

Kütle debisi ve hacimsel debi

Bir kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmine, hacimsel debi adı verilir.

$$\dot{V} = \int_A \mathbf{V}_n dA = \mathbf{V}_{\text{ort}} A \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

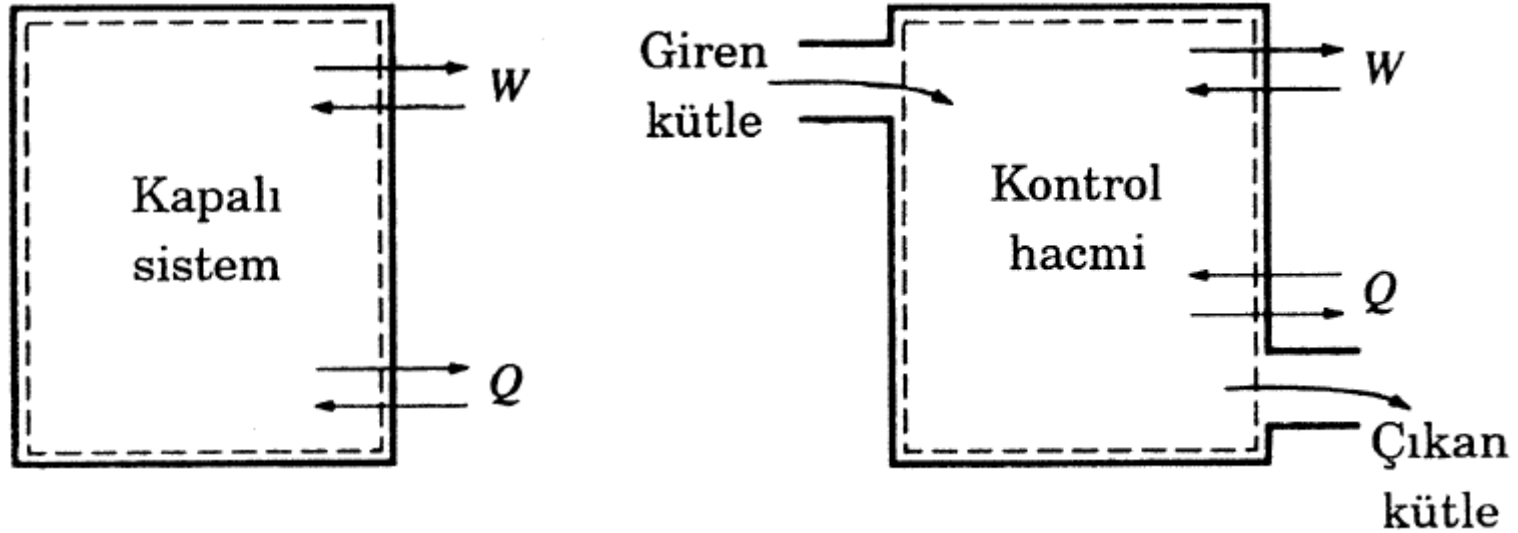
Kütle debisiyle hacimsel debi arasındaki ilişki,

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

Enerjinin Korunumu Prensibi

Kontrol hacmine kütle girdiği zaman, kontrol hacminin enerjisi artar, çünkü giren kütlenin bir enerjisi vardır. Benzer olarak, kontrol hacminden kütle çıktığı zaman, kontrol hacminin enerjisi azalır, çünkü çıkan kütle kendisiyle birlikte bir miktar enerjiyi de dışarı taşır.

Enerjinin Korunumu Prensibi



ŞEKİL 4-8

Kontrol hacminin enerjisi ısı ve iş etkileşimleri dışında, kütle akışıyla da değişebilir.

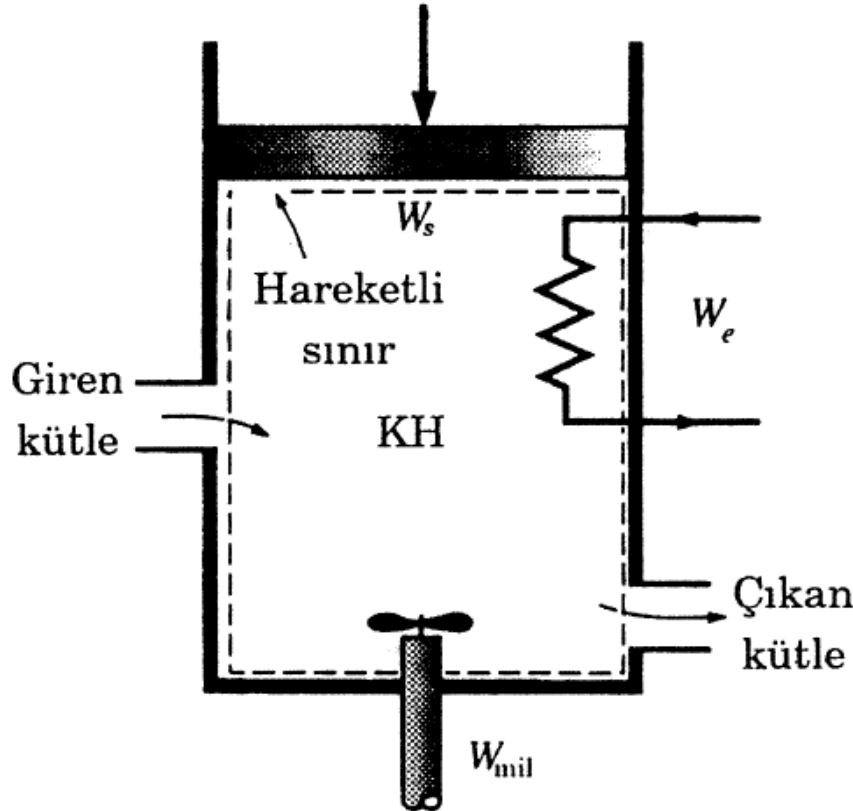
Enerjinin Korunumu Prensibi

Genel bir kontrol hacmi için, enerjinin korunumu ilkesi aşağıda gösterildiği gibi yazılabilir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Sınırları ısı ve iş} \\ \text{olarak geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{KH ne giren} \\ \text{kütlenin} \\ \text{toplam enerjisi} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{KH nden çıkan} \\ \text{kütlenin} \\ \text{toplam enerjisi} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{KH nin} \\ \text{net enerji} \\ \text{değişimi} \end{array} \right)$$

$$Q - W + \sum E_g - \sum E_{\dot{c}} = \Delta E_{KH}$$

Enerjinin Korunumu Prensibi



Şekil 4-9

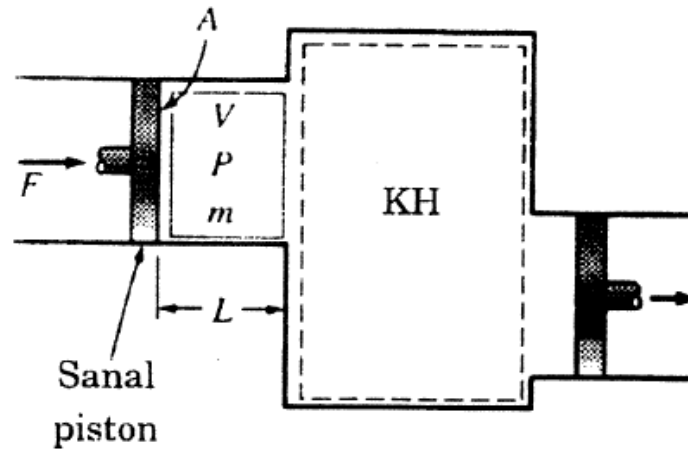
Bir kontrol hacminde elektrik ve mil işine ek olarak, hareketli sınır işi de gerçekleşebilir.

Akış işi

Akışkanın kontrol hacmine girmesi veya kontrol hacminden çıkması için yapılması gereken işe ***akış işi*** veya ***akış enerjisi*** adı verilir. Bu iş aşağıda kütle ile taşınan enerjinin bir bölümü olarak ele alınacaktır.

Akış işi

Akış işini matematiksel olarak ifade edebilmek amacıyla, Şekil 4-10'da gösterilen ve hacmi V olan bir akışkan parçasını ele alalım. Arkadan gelen akış, bu akışkan parçasını kontrol hacmi sınırlarından içeri zorlayacaktır. Bu bir bakıma akışkan parçasını iten bir piston gibidir. Özellikleri her noktada aynı olan küçük bir akışkan parçası ele alalım.

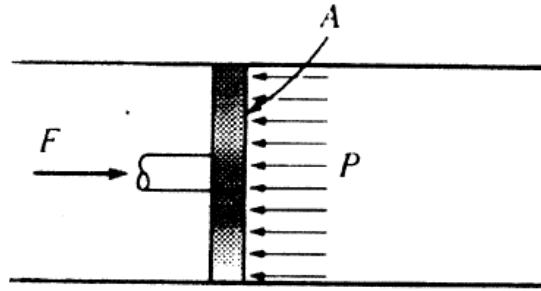


ŞEKİL 4-10

Akış işinin gösterimi.

Akış işi

Akışkan basıncı P ise ve akışkan parçasının kesit alanı A ise (Şekil 4-11), akışkan üzerinde sanal piston tarafından uygulanan kuvvet,



$$F = PA$$

ŞEKİL 4-11

Akışkan parçasının tümünü kontrol hacminden içeri itmek için sanal piston L kadar ilerleyecektir. Böylece akışkan parçasını sınırdan içeri itmek için yapılan iş (akış işi),

$$W_{\text{akış}} = FL = PAL = PV \quad (\text{kJ})$$

Akış işi

Kapalı sistemlerden farklı olarak kontrol hacimlerine kütle giriş ve çıkışı vardır, bu nedenle kütlenin kontrol hacmine girebilmesi veya kontrol hacminden çıkabilmesi için bir iş yapılması gerekir. Bu iş **akış işi** veya **akış enerjisi** diye bilinir ve kontrol hacminde akış olması için gereklidir.

$$W_{\text{akış}} = FL = PAL = PV \quad (\text{kJ})$$

Birim kütle için akış işi yukarıdaki denklemin her iki tarafını kütleyle bölerek elde edilir:

$$w_{\text{akış}} = Pv \quad (\text{kJ/kg})$$

Akışkanın toplam enerjisi

Bir kontrol hacmine giren veya çıkan akışkan, fazladan bir enerjiye, akış enerjisine (Pv) sahiptir. Bu nedenle, akış olan bir ortamda, akışkanın birim kütlesinin toplam enerjisi (θ)

$$\theta = Pv + e = Pv + (u + ke + pe)$$

şeklinde ifade edilebilir. $u+Pv$ nin entalpi olduğu dikkate alınır:

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

Akışkanın toplam enerjisi

Nonflowing fluid

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

Internal energy

Kinetic energy

Potential energy

Flowing fluid

$$\theta = Pv + u + \frac{V^2}{2} + gz$$

Flow energy

Kinetic energy

Internal energy

Potential energy

ŞEKİL 4-13

Akışın olmadığı bir ortamda toplam enerji üç terimden, akış olan bir ortamda ise dört terimden oluşur.

Akışkanın toplam enerjisi

Bir akış sırasında, akışkanın enerjisini belirtirken iç enerji yerine entalpinin kullanılması, akış işinin ayrıca hesaplanmasını gereksiz kılmaktadır.

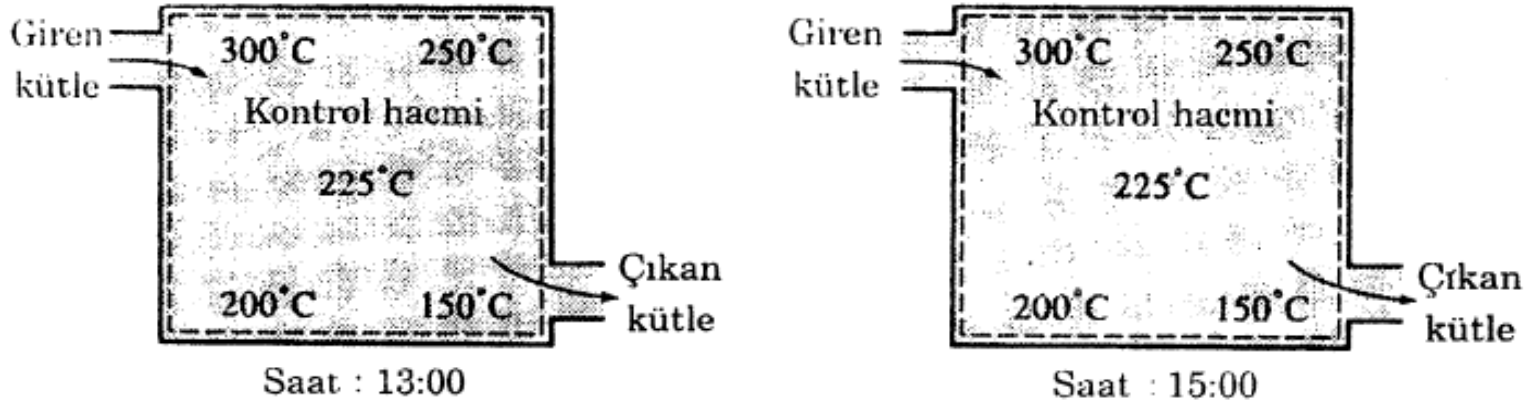
Akışkan kütesinin kontrol hacmine girmesi veya çıkması sırasında yapılan işle ilgili enerji böylece entalpi içinde doğrudan yer almaktadır.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Mühendislikte kullanılan türbin, kompresör, lüle ve benzeri birçok makinenin, çalıştıkları sürelerde giriş, çıkış ve diğer çalışma koşulları değişmez, bu nedenle sürekli akış makineleri olarak adlandırılırlar.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Sürekli akışlı açık sistemde, akışkanın kontrol hacminden sürekli bir akışı vardır. Akışkan özellikleri, kontrol hacmi içinde bir noktadan diğerine farklılıklar gösterebilir, fakat verilen bir noktada zamanla değişmez.



ŞEKİL 4-14

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Kütlenin Korunumu

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez ($m_{KH}=\text{sabit}$).

Bu durumda, kütlenin korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütlenin, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Kütlenin Korunumu

Birçok girişi ve çıkışı olan genel bir sürekli akışlı açık sistem için, kütlenin korunumu ilkesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda KH'ne} \\ \text{giren toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Birim zamanda KH'nden} \\ \text{çıkan toplam kütle} \end{array} \right)$$

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\chi \quad (kg/s)$$

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

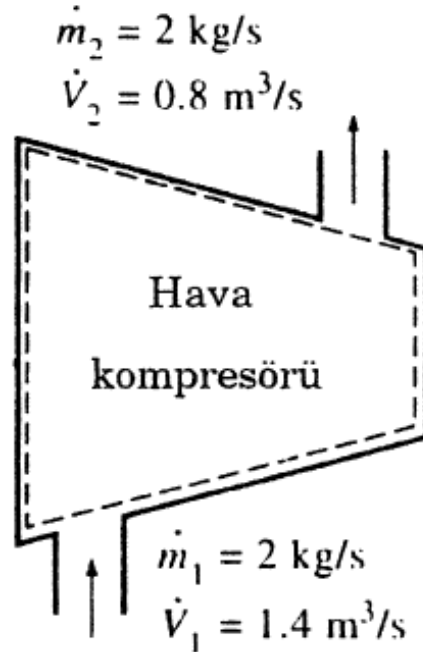
Lüle, türbin, kompresör, pompa gibi mühendislik uygulamalarının birçoğunda, sadece bir akış, bu nedenle de bir giriş ve bir çıkış söz konusudur. Bu durumlar için, giriş hali 1 indisiyle, çıkış hali de 2 indisiyle gösterilebilir. Ayrıca toplam işareti de bırakılırsa, tek akışlı sistemler için:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (\text{kg/s})$$

$$\rho_1 \mathbf{V}_1 A_1 = \rho_2 \mathbf{V}_2 A_2$$

$$\frac{1}{v_1} \mathbf{V}_1 A_1 = \frac{1}{v_2} \mathbf{V}_2 A_2$$

Hacmin korunumunun söz konusu olmadığı vurgulanmalıdır. Bu nedenle, sürekli akışlı açık bir sistemde giren ve çıkan akışların hacimsel debileri ($\dot{V} = \mathbf{V}A$, m^3/s) farklı olabilir. Kompresörden geçen kütle debisi sabit olmasına rağmen, hacimsel debi, kompresörün çıkışında giriştekine oranla çok daha küçük olacaktır (Şekil 4-19). Bunun nedeni kompresör çıkışında havanın yoğunluğunun daha büyük olmasındandır. Sıvı akışında hacimsel debi de kütle debisi gibi sabittir, çünkü sıvılar sıkıştırılamayan (yoğunluğu değişmeyen) maddelerdir.



ŞEKİL 4-19

Sürekli akışlı bir açık sistemde giren ve çıkan hacimsel debilerin eşit olması gerekmez.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacminin toplam enerjisinin sabit olduğu daha önce belirtilmişti ($E_{KH}=\text{sabit}$). Bu, kontrol hacminin toplam enerjisinde değişim olmadığı anlamına gelir. ($\Delta E_{KH}=0$). Böylece sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmine ısı, iş veya kütle akışı olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması zorunludur.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Burada θ akış işi de dahil olmak üzere akışkanın birim kütesinin toplam enerjisidir. $\theta = h + ke + pe$ olduğu göz önüne alınırsa enerjinin korunumu ilkesi,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\zeta} \left(h_{\zeta} + \frac{V_{\zeta}^2}{2} + gz_{\zeta} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (kW)$$

şeklini alır.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Genel bir sürekli akışlı açık sistem için, termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda} \\ \text{ısı ve iş olarak} \\ \text{sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{KH den çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Birim zamanda} \\ \text{kütle ile birlikte} \\ \text{KH ne giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\text{ç}} \theta_{\text{ç}} - \sum \dot{m}_{\text{g}} \theta_{\text{g}}$$

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Bir girişli ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu denklemi

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \quad (\text{kW})$$

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

$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{V}_2^2 - \mathbf{V}_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

Burada, $q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$ $w = \frac{\dot{W}}{\dot{m}}$

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

Akışkan kontrol hacminden geçerken, kinetik ve potansiyel enerjilerinde çok az bir değişim olursa, başka bir deyişle $\Delta ke \cong 0$ ve $\Delta pe \cong 0$ kabul edilirse, yukarıda verilen denklem daha sade yazılabilir.

$$q - w = \Delta h \quad (kJ/kg)$$

Bu bağıntı, kontrol hacmi için birinci yasanın en basit biçimi olup, kapalı sistemler için birinci yasanın yazılışına benzemektedir. Tek fark Δu 'nun yerini Δh 'ın almasıdır.

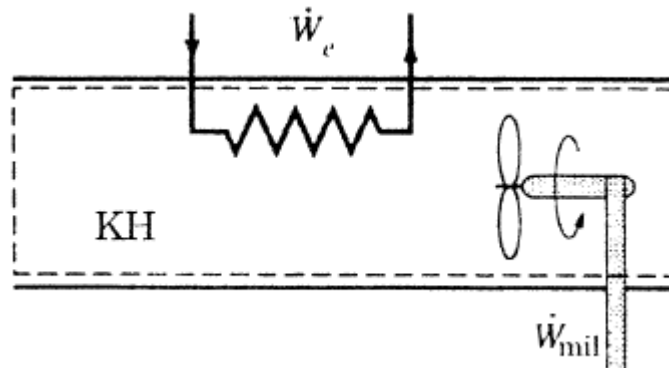
SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

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

$\dot{Q}$ = kontrol hacmi ile çevresi arasında birim zamanda olan ısı geçişi. Kontrol hacminden çevreye ısı geçişi olması durumunda $\dot{Q}$ eksidir. Kontrol hacmi yalıtılmışsa, başka bir deyişle adyabatikse, $\dot{Q} = 0$ olur.

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

$\dot{W} = \text{güç}$. Sürekli akışlı sistemler için kontrol hacminin sınırları sabittir, bu nedenle sınır işi yoktur. Kütlenin kontrol hacmine girişi ve kontrol hacminden çıkışı sırasında gereken iş de entalpi terimi içinde gözönüne alınmıştır. Bu nedenle $\dot{W}$, birim zamanda yapılan diğer iş biçimlerini kapsar (Şekil 4-22). Türbin, kompresör, pompa gibi sürekli akışlı makineler, gücü bir mil aracılığıyla iletirler. Bu makineler için $\dot{W}$, birim zamanda yapılan mil işidir. Elektrikli su ısıtıcısında olduğu gibi, eğer kontrol yüzeyini elektrik kabloları geçiyorsa, $\dot{W}$, birim zamanda yapılan elektrik işini gösterir.



ŞEKİL 4-22

Sürekli akışın olduğu basit sıkıştırılabilir bir açık sistemde sadece mil işi ve elektrik işi gerçekleşebilir.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

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

$\Delta h = h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}}$. Bir akışkanın entalpi değişimi, giriş ve çıkış halleri için entalpi değerlerini özellik tablolarından okuyarak kolayca bulunabilir. Mükemmel gazlar için, entalpi değişimi yaklaşık olarak $\Delta h = C_{p, \text{ort}} (T_2 - T_1)$ bağıntısıyla hesaplanabilir. $(\text{kg/s})(\text{kJ/kg}) = \text{kW}$ olduğu not edilmelidir.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

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

$\Delta ke = (V_2^2 - V_1^2)/2$. Kinetik enerjinin birimi m^2/s^2 'dır. Bu J/kg'a eşdeğerdir (Şekil 4-23). Entalpi genellikle kJ/kg olarak verilir. Kinetik enerjiyle entalpiyi toplayabilmek için, kinetik enerjinin de kJ/kg olarak ifade edilmesi gerekir. Bu işlem J/kg olarak bulunan değeri 1000'e bölerek kolayca yapılır.

SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEM (SASA)

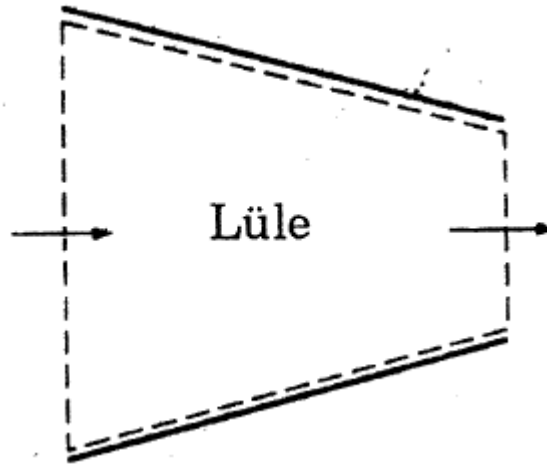
$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \quad (\text{kW})$$

$\Delta pe = g(z_2 - z_1)$. Benzer bir irdelemeyi potansiyel enerji terimi için yapabiliriz. 1 kJ/kg değerinde bir potansiyel enerji değişimi 102 m yükseklik farkına eşdeğerdir. Endüstride kullanılan türbin ve kompresör gibi makinelerin giriş ve çıkışları arasındaki yükseklik farkı bu değerin çok altındadır, bu nedenle bu sistemler için potansiyel enerji terimi rahatlıkla gözardı edilebilir. Potansiyel enerji teriminin önem kazanacağı tek uygulama, bir akışkanın çok yükseklerle pompalanmasıdır. Bu tür işlemlerde genellikle ısı geçişi pek yoktur.

Bazı Sürekli Akışlı Açık Sistemler

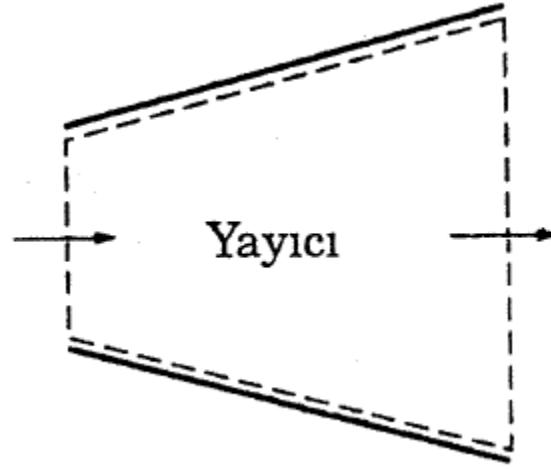
1. Lüleler ve Yayıcılar

Lüleler ve yayıcılar (difüzörler) jet motorlarında, roketlerde, uzay araçlarında ve hatta bahçe hortumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Lüleler, akış hızını arttırmak amacıyla yönelik mekanik sistemlerdir. Akışkan hız artışı, basıncını düşürerek sağlanır.



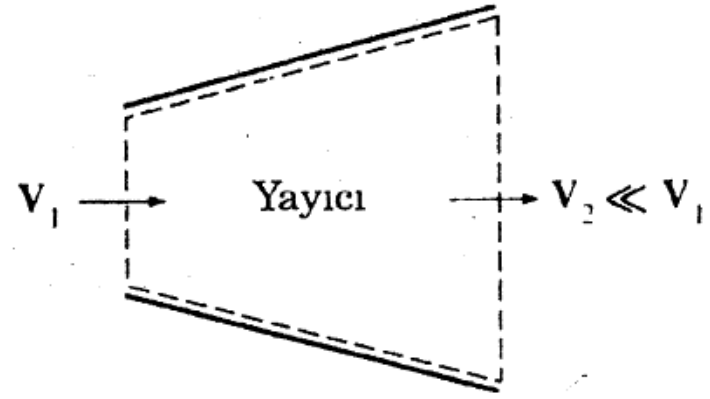
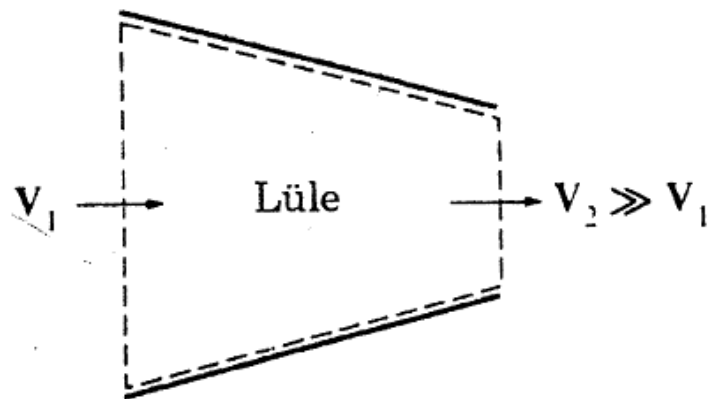
1. Lüleler ve Yayıcılar

Yayıcılar ise akışın basıncını arttırmak amacına yönelik olup, akışkanın basıncını arttırırken hızını azaltır. Başka bir deyişle, lüleler ve yayıcılar birbirine zıt işlevleri yerine getirirler.



1. Lüleler ve Yayıcılar

$\dot{Q} \cong 0$: Bir lüle veya yayıcıdan geçen akışkanın çevresiyle olan ısı alışverişi bu elemanlar yalıtılmamış olsa bile çok azdır. Bunun başlıca nedeni akışkanın yüksek hıza sahip olması ve akışkanla çevre ortam arasında ısı geçişinin gerçekleşmesi için yeterli zamanın olmayışıdır. Bu nedenle ısı geçişiyle ilgili sayısal bilgi verilmemişse, lülelerde ve yayıcılarda akış adyabatik kabul edilebilir.

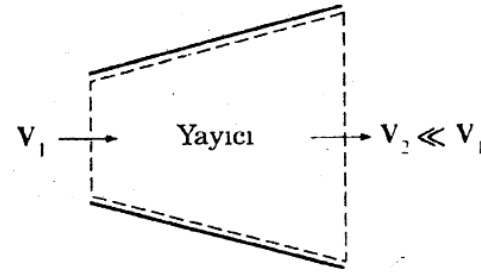
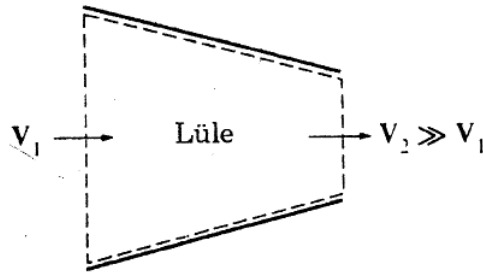


1. Lüleler ve Yayıcılar

$\dot{W} \cong 0$: Lülelerde ve yayıcılarda iş terimi sıfırdır, çünkü temelde bu elemanlar uygun bir şekil verilmiş boş kanallardır, içlerinde mekanik iş veya elektrik işi yapılabilmesi için bir düzenleme yoktur.

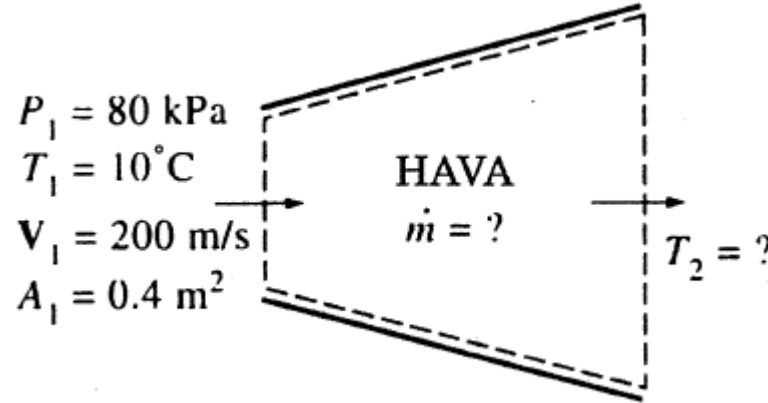
$\Delta ke \neq 0$: Lüleler ve yayıcılarda çok yüksek hızlar söz konusudur. Akışkan lüle veya yayıcıdan geçerken hızı önemli ölçüde değişir. Bu nedenle, akışın termodinamik çözümlemesi yapılırken kinetik enerji terimleri hesaba katılmalıdır.

$\Delta pe \cong 0$: Akışkan lüle veya yayıcıdan geçerken yükseklik değişimi ya çok az ya da sıfırdır. Bu nedenle potansiyel enerji terimi ihmal edilebilir.



ÖRNEK 26

10 °C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesitinin alanı 0.4 m² 'dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür. Yayıcıda sürekli akış olduğunu gözönüne alarak, (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayın.



ÖRNEK 26

10 °C sıcaklık ve 80 kPa basınçtaki hava, bir jet motorunun yayıcısına 200 m/s hızla girmektedir. Yayıcının giriş kesitinin alanı 0.4 m² 'dir. Yayıcının çıkışındaki hız giriş hızına göre çok küçüktür. Yayıcıda sürekli akış olduğunu gözönüne alarak, (a) havanın kütle debisini, (b) yayıcıdan çıkan havanın sıcaklığını hesaplayın.

(a) Kütle debisini hesaplamak için önce havanın yoğunluğunun belirlenmesi gerekir. Bu değer, giriş koşullarını gözönüne alarak, mükemmel gaz hal denklemiyle hesaplanır:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{[0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})](283 \text{ K})}{80 \text{ kPa}} = 1.015 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

4-5 numaralı denklemden:

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} \mathbf{V}_1 A_1 = \frac{1}{1.015 \text{ m}^3 / \text{kg}} (200 \text{ m/s})(0.4 \text{ m}^2) = 78.8 \text{ kg/s}$$

bulunur. Akış sürekli olduğundan yayıcı eksenini boyunca kütle debisi bu değerdedir olacaktır.

ÖRNEK 26

(b) Yayıcıda mil işi veya elektrik işi yoktur, bu nedenle $w = 0$ olur. Isı geçişi ihmal edilebilir: $q \cong 0$. Girişle çıkış arasında yükseklik farkı olmadığından veya çok az olduğundan, $\Delta pe \cong 0$ alınır. Bu durumda birim kütle için enerjinin korunumu ilkesi, bir giriş ve bir çıkış olduğu da gözönüne alınırsa,

$$\overset{0}{q} - \overset{0}{w} = \Delta h + \Delta ke + \overset{0}{\Delta pe}$$

$$0 = h_2 - h_1 + \frac{\mathbf{v}_2^2 - \mathbf{v}_1^2}{2}$$

şeklinde yazılır. Bir yayıcıda akışın çıkış hızı giriş hızına oranla çok küçüktür ($\mathbf{V}_2 \ll \mathbf{V}_1$), bu nedenle çıkıştaki kinetik enerji ihmal edilebilir. Yayıcı girişindeki havanın entalpisi hava tablosundan (Tablo A-17) okunur:

$$h_1 = h_{@283\text{ K}} = 283.14 \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK 26

$$h_1 = h_{@283\text{ K}} = 283.14 \text{ kJ/kg}$$

Sayısal değerler enerji denkleminde yerine konursa,

$$\begin{aligned} h_2 &= 283.14 \text{ kJ/kg} - \frac{0 - (200 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) \\ &= 303.14 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

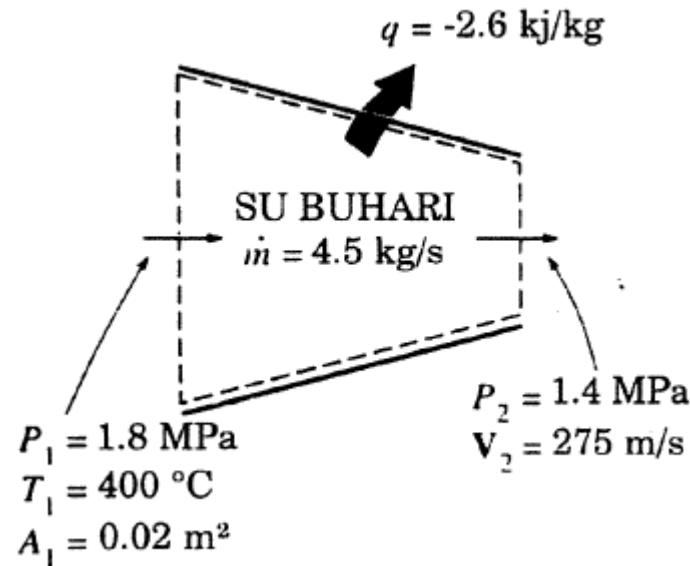
bulunur. Tablo A-17'den bu entalpi değerine karşı gelen sıcaklığın,

$$T_2 = 303.1 \text{ K}$$

olduğu görülür. Bu değer, havanın yayıcıda yavaşlarken sıcaklığının yaklaşık 20 °C yükseldiğini göstermektedir. Hava sıcaklığındaki artış, büyük ölçüde kinetik enerjinin iç enerjiye dönüşmesi sonucu gerçekleşmiştir.

ÖRNEK 27

Su buharı, giriş kesit alanı 0.02 m^2 olan bir lüleye 1.8 MPa basınç ve 400 °C sıcaklıkta girmektedir. Su buharının kütle debisi 4.5 kg/s olup, lüleden 1.4 MPa basınçta ve 275 m/s hızla çıkmaktadır. Lülede buharın birim kütlesinden çevreye olan ısı geçişi 2.6 kJ/kg 'dır. Su buharının, (a) lüleye giriş hızını, (b) lüleden çıkıştaki sıcaklığını hesaplayın.



ÖRNEK 27

Su buharı, giriş kesit alanı 0.02 m^2 olan bir lüleye 1.8 Mpa basınç ve $400 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta girmektedir. Su buharının kütle debisi 4.5 kg/s olup, lüleden 1.4 Mpa basınçta ve 275 m/s hızla çıkmaktadır. Lülede buharın birim kütlesinden çevreye olan ısı geçişi 2.6 kJ/kg 'dır. Su buharının, (a) lüleye giriş hızını, (b) lüleden çıkıştaki sıcaklığını hesaplayın.

$$(a) \quad \left. \begin{array}{l} P_1 = 1.8 \text{ MPa} \\ T_1 = 400 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} v_1 = 0.16847 \text{ m}^3/\text{kg} \\ h_1 = 3250.9 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad (\text{Tablo A-6})$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} \mathbf{V}_1 A_1$$

$$4.5 \text{ kg/s} = \frac{1}{0.16847} (\mathbf{V}_1)(0.02 \text{ m}^2)$$

$$\mathbf{V}_1 = 37.9 \text{ m/s}$$

ÖRNEK 27

Su buharı, giriş kesit alanı 0.02 m^2 olan bir lüleye 1.8 Mpa basınç ve $400 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta girmektedir. Su buharının kütle debisi 4.5 kg/s olup, lüleden 1.4 Mpa basınçta ve 275 m/s hızla çıkmaktadır. Lülede buharın birim kütlesinden çevreye olan ısı geçişi 2.6 kJ/kg 'dır. Su buharının, (a) lüleye giriş hızını, (b) lüleden çıkıştaki sıcaklığını hesaplayın.

$$q - \cancel{w} = \Delta h + \cancel{\Delta ke} + \cancel{\Delta pe}$$

$$q = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

$$-2.6 = h_2 - 3250.9 + \frac{(275 \text{ m/s})^2 - (37.9 \text{ m/s})^2}{2} \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right)$$

$$h_2 = 3211.2 \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK 27

Su buharı, giriş kesit alanı 0.02 m^2 olan bir lüleye 1.8 Mpa basınç ve $400 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta girmektedir. Su buharının kütle debisi 4.5 kg/s olup, lüleden 1.4 Mpa basınçta ve 275 m/s hızla çıkmaktadır. Lülede buharın birim kütlesinden çevreye olan ısı geçişi 2.6 kJ/kg 'dır. Su buharının, (a) lüleye giriş hızını, (b) lüleden çıkıştaki sıcaklığını hesaplayın.

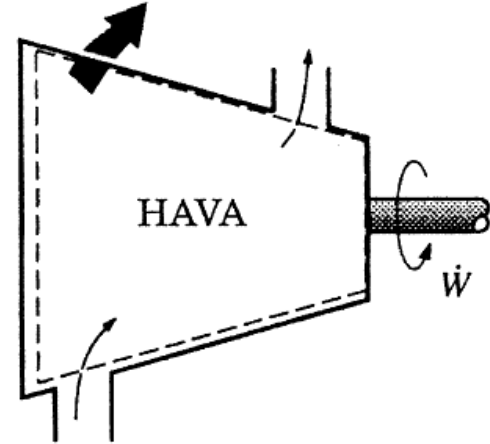
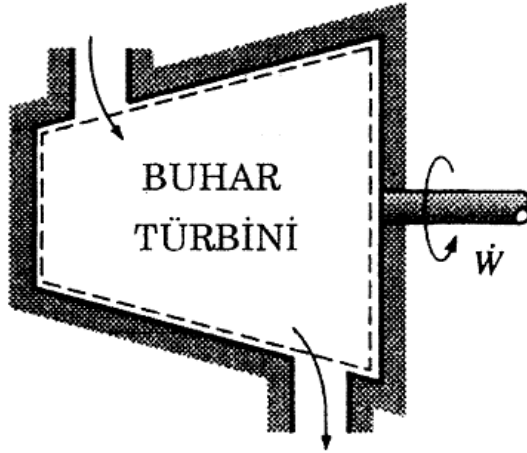
P_2 ve h_2 bilindiği için, çıkış hali belirlidir. Sıcaklık, Tablo A6'dan bulunur:

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1.4 \text{ MPa} \\ h_2 = 3211.2 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} T_2 = 378.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Görüldüğü gibi su buharının sıcaklığı, lülede akışı sırasında $21.5 \text{ }^\circ\text{C}$ azalmaktadır. Bu azalma daha çok iç enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Isı geçişinin bu örnekte önemli bir etkisi yoktur.

2. Türbinler ve Kompresörler

Buhar, gaz veya hidroelektrik güç santrallerinde, elektrik jeneratörünü döndüren makine türbindir. Akışkan türbinden geçerken mil üzerine yerleştirilmiş kanatçıklara karşı iş yapar. Bunun sonucu olarak mil döner ve türbin işi gerçekleşir. Türbinde yapılan iş artıdır, çünkü akışkan tarafından yapılmaktadır.



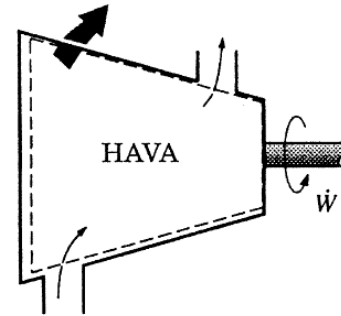
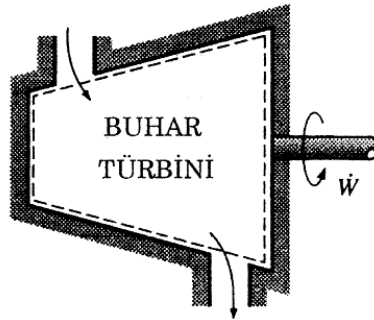
2. Türbinler ve Kompresörler

Kompresörler, pompalar ve fanlar, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bu makinelere, dönen bir mil aracılığı ile dışarıdan güç aktarılır. Bu bakımdan kompresörlerde iş terimi eksidir, çünkü akışkan üzerinde iş yapılmaktadır. Kompresör, pompa ve fanlar benzer işlevleri yüklenseler de değişik amaçlara yöneliktirler. Fanlar, genelde gaz akışını sağlamak amacıyla kullanılır. Kompresörler, gazları yüksek basınçlara sıkıştırmak amacına yöneliktir. **Pompalar**, sıvıları sıkıştırmak ve sıvı akışını sağlamak için kullanılırlar.

2. Türbinler ve Kompresörler

$\dot{Q} \cong 0$: Bu makinelerde ısı transferi, eğer bazı kompresörlerde olduğu gibi istenerek soğutma yapılmıyorsa, mil işine göre küçüktür. Çözümlemede ısı geçişi için deneysel çalışmalara dayanan yaklaşık bir değer kullanılabilir veya istenerek yapılan bir soğutma yoksa ısı geçişi göz ardı edilebilir.

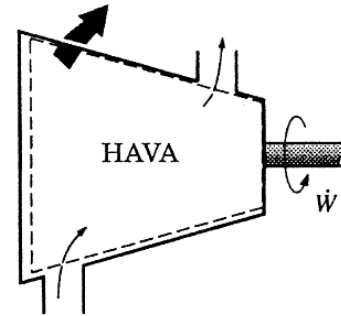
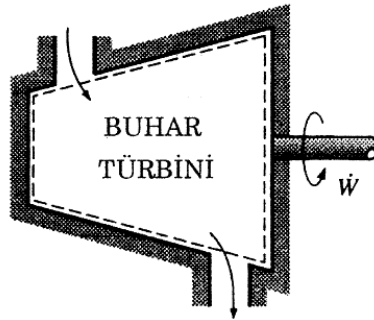
$\dot{W} \neq 0$: Bu makinelerin tümünde sınırları geçen dönen mil vardır, bu nedenle iş terimi önemlidir. Türbinler için $\dot{W}$, üretilen gücü gösterir, pompa, fan ve kompresörler için ise $\dot{W}$, sisteme dışarıdan sağlanan gücü belirtir.



2. Türbinler ve Kompresörler

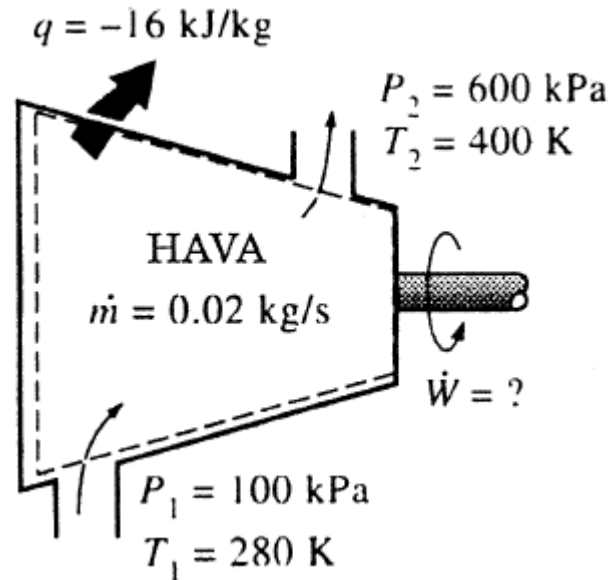
$\Delta ke \cong 0$: Türbin dışında bu makinelerde akışkanın hızı çok düşük olduğundan, kinetik enerjide önemli değişikliklerin olması beklenemez. Türbinlerde ise akışın hızı oldukça yüksektir ve akışkanın kinetik enerjisinde büyük değişiklikler olabilir. Ancak entalpi değişimleriyle karşılaştırıldığı zaman, bu değişiklikler gene de çok küçüktür ve göz ardı edilebilir.

$\Delta pe \cong 0$: Türbin, kompresör, pompa veya fandan geçen akışkanın potansiyel enerji değişimi genellikle çok küçüktür ve rahatlıkla göz ardı edilebilir.



ÖRNEK 28

100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava, sürekli akışlı açık bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın debisi 0.02 kg/s'dir ve sıkıştırma işlemi sırasında çevreye 16 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.



ÖRNEK 28

100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava, sürekli akışlı açık bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın debisi 0.02 kg/s'dir ve sıkıştırma işlemi sırasında çevreye 16 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

$$\begin{aligned} q - w &= \Delta h + \cancel{\Delta ke}^0 + \cancel{\Delta pe}^0 \\ &= h_2 - h_1 \end{aligned}$$

entalpiler hava tablosundan (Tablo A-17) bulunabilir:

$$h_1 = h_{@280\text{ K}} = 280.13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{@400\text{ K}} = 400.98 \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK 28

100 kPa basınç ve 280 K sıcaklıkta hava, sürekli akışlı açık bir sistemde 600 kPa basınç ve 400 K sıcaklığa sıkıştırılmaktadır. Havanın debisi 0.02 kg/s'dir ve sıkıştırma işlemi sırasında çevreye 16 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal ederek, kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

$$h_1 = h_{@280\text{ K}} = 280.13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_{@400\text{ K}} = 400.98 \text{ kJ/kg}$$

Sayısal değerler denkleme konursa,

$$- 16 \text{ kJ/kg} - w = (400.98 - 280.13) \text{ kJ/kg}$$

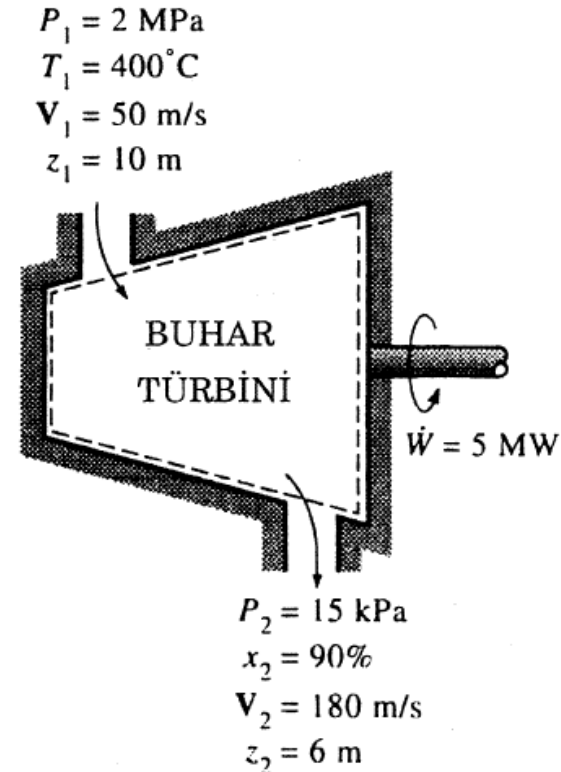
$$w = -136.85 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W} = \dot{m} w = (0.02 \text{ kg/s})(-136.85 \text{ kJ/kg}) = -2.74 \text{ kW}$$

ÖRNEK 29

Sürekli akışlı adyabatik bir türbinin ürettiği güç 5MW'tır. Su buharının türbine giriş ve çıkış koşulları Şekil 4-31'de gösterilmiştir.

- (a) Δh , Δke ve Δpe 'nin değerlerini hesaplayıp karşılaştırın.
- (b) Türbinden akan buharın birim kütlesi tarafından yapılan işi hesaplayın.
- (c) Buharın kütle debisini hesaplayın.



ÖRNEK 29

(a) Su buharı türbin girişinde kızgın buhardır, bu nedenle entalpisi kızgın buhar tablosundan belirlenir:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 2 \text{ MPa} \\ T_1 = 400^\circ \text{C} \end{array} \right\} h_1 = 3247.6 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Tablo A-6})$$

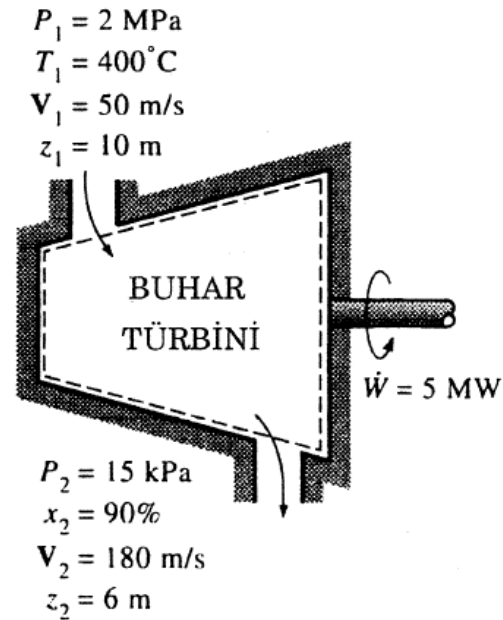
$$h_2 = h_f + x_2 h_{fg} = [(225.94 + (0.9)(2373.1)] \text{ kJ/kg} = 2361.73 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (2361.73 - 3247.6) \text{ kJ/kg} = -885.87 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta ke = \frac{\mathbf{v}_2^2 - \mathbf{v}_1^2}{2} = \frac{(180 \text{ m/s})^2 - (50 \text{ m/s})^2}{2} = \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = 14.95 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta pe = g(z_2 - z_1) = (9.807 \text{ m/s}^2)[(6 - 10) \text{ m}] \left(\frac{1 \text{ kJ/kg}}{1000 \text{ m}^2/\text{s}^2} \right) = -0.04 \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK 29



(b) Birim kütle için yapılan iş,

$$q - w = \Delta h + \Delta ke + \Delta pe$$

$$w = -(-885.87 + 14.95 - 0.04) \text{ kJ/kg} = 870.96 \text{ kJ/kg}$$

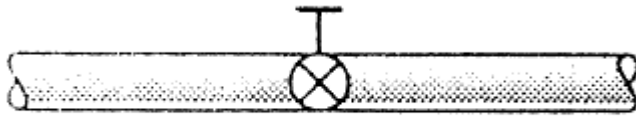
bulunur.

(c) 5 MW güç üretimi için gerekli kütle debisi ise,

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{w} = \frac{5000 \text{ kJ/s}}{870.96 \text{ kJ/kg}} = 5.74 \text{ kg/s}$$

3. Kısılma Vanaları

Kısılma vanaları akış kesitini herhangi bir şekilde azaltarak akışkanın basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır. Bilinen bazı örnekler arasında ayarlanabilir vana ve musluklar, kılcal (kapiler) borular ve gözenekli tapalar vardır.



(a) Ayarlanabilir vana



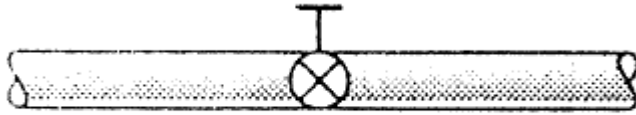
(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru

3. Kısılma Vanaları

Türbinlerden farklı olarak, basınç düşmesi sırasında herhangi bir iş yapılmaz. Akışkanın basıncı düşerken genellikle sıcaklığında da büyük bir düşme gözlenir. Bu nedenle kısılma vanaları soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.



(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa

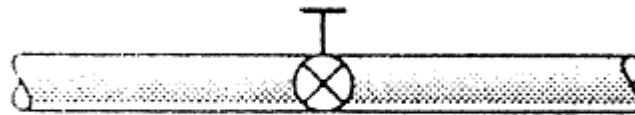


(c) Kılcal boru

3. Kısılma Vanaları

$q \cong 0$: Kısılma vanaları genellikle küçük elemanlardır, bu nedenle akışkanla çevre arasında ısı geçiş alanı küçüktür. Isı geçişi için alanın küçük, zamanın da kısa olması nedeniyle kısılma vanalarına akış adyabatik kabul edilebilir.

$w = 0$: Ayrıca, bir iş söz konusu olmadığı için enerji denkleminde işle ilgili terim de sıfır olacaktır.

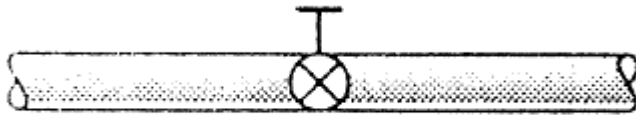


(a) Ayarlanabilir vana

3. Kısılma Vanaları

$\Delta ke \cong 0$: Akışkanın kısılma vanasından çıkış hızı, genellikle kısılma vanasına giriş hızına oranla çok yüksektir., fakat hız merteye olarak küçük olduğundan kinetik enerji değişimleri ihmal edilebilir.

$\Delta pe \cong 0$: Kısılma vanasından geçen akışkanın potansiyel enerji değişimi de çok küçüktür.



(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru

3. Kısılma Vanaları

Bu durumda bir girişi ve çıkışı olan, sürekli akışlı açık sistem için enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki biçimi alır.

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

Yani, bir kısılma vanasının giriş ve çıkışındaki entalpi değerleri eşittir. Bu nedenle kısılma vanalarına sabit entalpili sistemler denebilir.

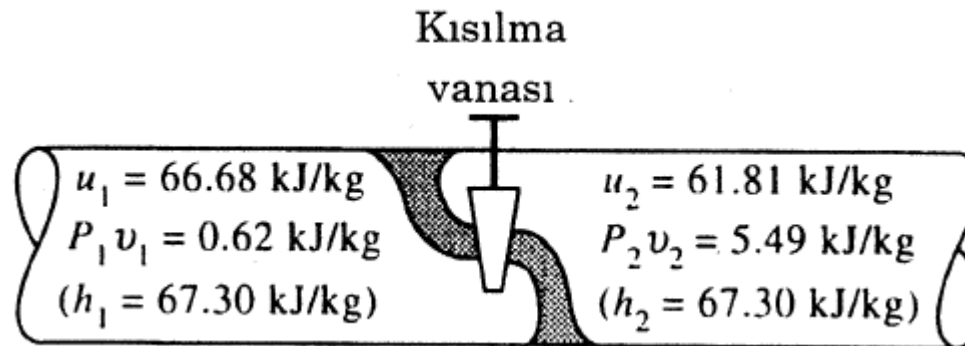
ÖRNEK 30

Soğutucu akışkan-12 bir buzdolabının kılcal borusuna 0.8 MPa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0.12 MPa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın çıkış halindeki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasındaki sıcaklık azalmasını hesaplayın.

ÖRNEK 30

Soğutucu akışkan-12 bir buzdolabının kılcal borusuna 0.8 MPa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0.12 MPa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın çıkış halindeki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasındaki sıcaklık azalmasını hesaplayın.

Çözüm Kılcal boru, akış alanını kısıtlayan basit bir eleman olup soğutma uygulamalarında büyük basınç düşüşleri sağlamak için kullanılır. Kılcal bir borudan akış bir kısılma işlemidir, bu nedenle soğutucu akışkanın entalpisi sabit kalır



ÖRNEK 30

Soğutucu akışkan-12 bir buzdolabının kılcal borusuna 0.8 MPa basınçta doymuş sıvı olarak girmekte ve 0.12 MPa basınca kısılmaktadır. Soğutucu akışkanın çıkış halindeki kuruluk derecesini ve bu işlem sırasındaki sıcaklık azalmasını hesaplayın.

$$\text{Girişte: } \left. \begin{array}{l} P_1 = 0.8 \text{ MPa} \\ \text{doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_1 = T_{\text{doyma}} @ 0.8 \text{ MPa} = 32.74 \text{ }^\circ\text{C} \\ h_1 = h_f @ 0.8 \text{ MPa} = 67.30 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

değerleri Tablo A-12' den bulunur.

$$\text{Çıkışta: } \begin{array}{l} P_2 = 0.12 \text{ MPa} \\ (h_2 = h_1) \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} h_f = 12.66 \text{ kJ/kg} \\ h_g = 176.14 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad T_{\text{doyma}} = -25.74 \text{ }^\circ\text{C}$$

Görüldüğü gibi, $h_f < h_2 < h_g$ olduğundan dolayı, soğutucu akışkan-12 çıkış halinde doymuş sıvı buhar karışımıdır. Bu haldeki kuruluk derecesi,

$$x_2 = \frac{h_2 - h_f}{h_{fg}} = \frac{67.30 - 12.66}{176.14 - 12.66} = 0.334$$

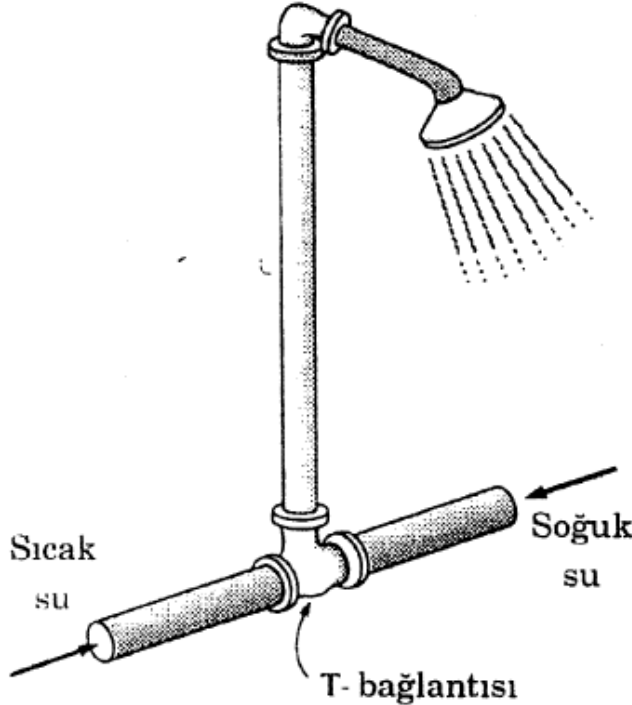
ÖRNEK 30

Çıkış hali 0.12 MPa basınçta doymuş sıvı-buhar karışımı olduğu için, çıkış halindeki sıcaklık, çıkış basıncına karşı gelen doyma sıcaklığı olacaktır. Bu değer tablodan $-25.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak bulunur. Bu işlem sırasında soğutucu akışkanın sıcaklık düşüşü,

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (-25.74 - 32.74)\text{ }^{\circ}\text{C} = -58.48\text{ }^{\circ}\text{C}$$

4. Karışma Odaları

İki akışın karıştırılması sıkça rastlanan bir mühendislik uygulamasıdır. Karışma işleminin gerçekleştiği yere **karışma odası** adı verilir. Karışma odasının ayrı bir bölme görünümünde olması gerekmez. Örnek olarak, duşlarda kullanılan T-bağlantısı veya Y-bağlantısı sıcak ve soğuk akışların karıştığı bir karışma odasıdır (Şekil 4-35).

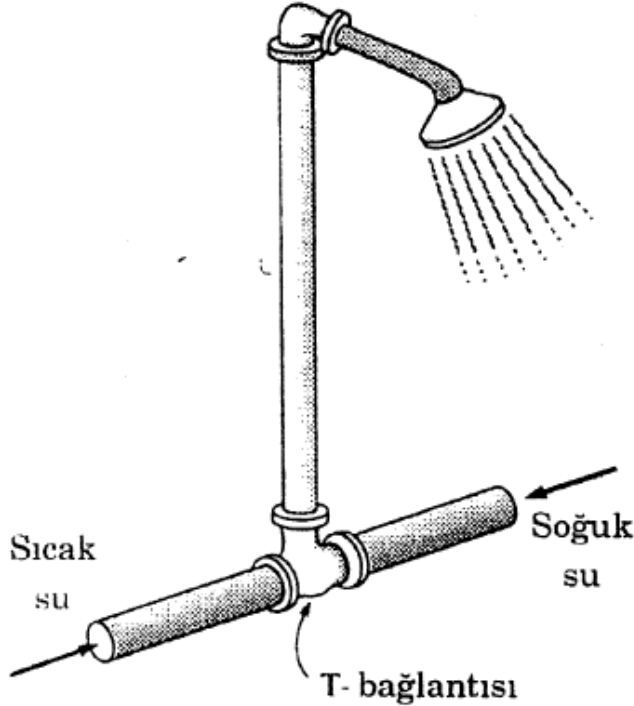


ŞEKİL 4-35

Bir duşun T bağlantısı sıcak ve soğuk akışların biraraya geldiği bir karışma odasıdır.

4. Karışma Odaları

Bir karışma odası için kütlenin korunumu ilkesi, giren akışların kütle debilerinin toplamının, çıkan akışın kütle debisine eşit olmasını zorunlu kılar.



ŞEKİL 4-35

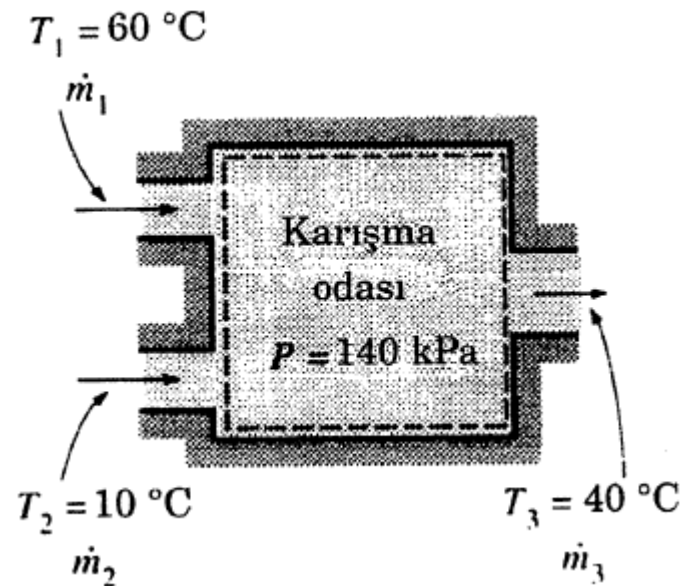
Bir duşun T bağlantısı sıcak ve soğuk akışların biraraya geldiği bir karışma odasıdır.

4. Karışma Odaları

Karışma odaları genellikle iyi yalıtılmıştır ($q \cong 0$) ve karışma odalarında iş söz konusu değildir ($w \cong 0$). Akışların kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim de genellikle ihmal edilebilir ($\Delta k_e \cong 0$, $\Delta p_e \cong 0$). Bu durumda enerji denkleminde (4-19) sadece giren ve çıkan akışkanların toplam enerjilerini gözönüne almak gerekecektir. Enerjinin korunumu ilkesi giren ve çıkan toplam enerjilerin eşit olmasını gerektirir. Böylece enerjinin korunumu denklemi, karışma odaları için kütlenin korunumu denklemine benzer olmaktadır.

ÖRNEK 31

60 °C sıcaklıktaki sıcak su ile 10 °C sıcaklıktaki soğuk suyun karıştırıldığı bir banyo duşu ele alınsın. Karıştıktan sonra su sıcaklığının 40 °C olması istenmektedir. Girişteki sıcak su debisinin soğuk su debisine oranını hesaplayın. Karışma odasından çevreye olan ısı geçişini ihmal edin ve karışma işleminin 150 kPa sabit basınçta gerçekleştiğini kabul edin.



ÖRNEK 31

60 °C sıcaklıktaki sıcak su ile 10 °C sıcaklıktaki soğuk suyun karıştırıldığı bir banyo duşu ele alınsın. Karıştıktan sonra su sıcaklığının 40 °C olması istenmektedir. Girişteki sıcak su debisinin soğuk su debisine oranını hesaplayın. Karışma odasından çevreye olan ısı geçişini ihmal edin ve karışma işleminin 150 kPa sabit basınçta gerçekleştiğini kabul edin.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

ÖRNEK 31

$$\vec{Q}^0 - \vec{W}^0 = \sum \dot{m}_\varsigma \left(h_\varsigma + \frac{V_\varsigma^2}{2} + gZ_\varsigma^0 \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{V_g^2}{2} + gZ_g^0 \right)$$

$$\sum \dot{m}_g h_g = \sum \dot{m}_\varsigma h_\varsigma$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

Bu denklem $\dot{m}_2$ ile bölünürse,

$$yh_1 + h_2 = (y + 1)h_3$$

Burada, $y = \dot{m}_1 / \dot{m}_2$, bulunmak istenen debi oranıdır.

ÖRNEK 31

Suyun 150 kPa basınçta doyma sıcaklığı 111.37 °C'dir. Giren ve çıkan akışların sıcaklıkları bu değerin altında olduklarından, ($T < T_{\text{doyma}}$), suyun giriş ve çıkış halleri sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir (Şekil 4-37). Sıkıştırılmış sıvının özellikleri, aynı sıcaklıktaki doymuş sıvının özelliklerine eşit alınabilir. Bu durumda

$$h_1 \cong h_f @ 60^\circ\text{C} = 251.13 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 \cong h_f @ 10^\circ\text{C} = 42.01 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 \cong h_f @ 40^\circ\text{C} = 167.57 \text{ kJ/kg}$$

$$y = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_3} = \frac{167.57 - 42.01}{251.13 - 167.57} = 1.5$$

bulunur. 40 °C sıcaklıkta su elde etmek için, sıcak su debisinin soğuk su debisinin 1.5 katı olması gerekmektedir.

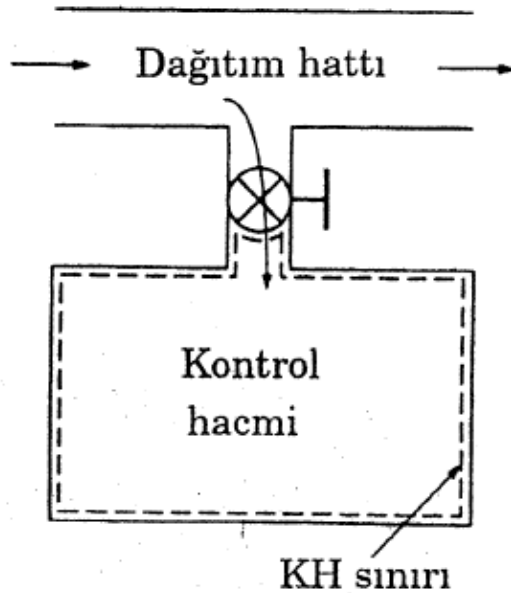
ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLER

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmi içinde zamanla bir değişiklik olmaz, bu nedenle sistem sınırlarının içinde ne olduğu ilgi alanının dışındadır. Kontrol hacmi içinde zamanla değişiklik olmaması çözümlemeyi oldukça kolaylaştırır.

Bununla birlikte, mühendislik açısından önemli birçok uygulamada, kontrol hacmi içinde zamanla *değişiklik* olur. Bu tür sistemlere **zamanla değişen açık sistemler** veya **geçici akışlı açık sistemler** adı verilir.

ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLER

Zamanla değişen açık sistemlere bilinen uygulamalardan örnekler verilebilir: Sabit hacimli bir kabın (tüpün) dağıtım hattından doldurulması (Şekil 4-47); bir akışkanın basınçlı kaptan boşaltılması; bir gaz türbininin, içinde sıkıştırılmış hava bulunan bir depodan çalıştırılması; lastik veya balonların şişirilmesi; hatta düdüklü tencerede yemek pişirilmesi bu kapsamda ele alınabilir.



ŞEKİL 4-47

Bir tüpün dağıtım hattından doldurulması zamanla değişen açık sistem çözümlemesine girer, çünkü tüp içindeki kütlenin hali zamanla değişmektedir.

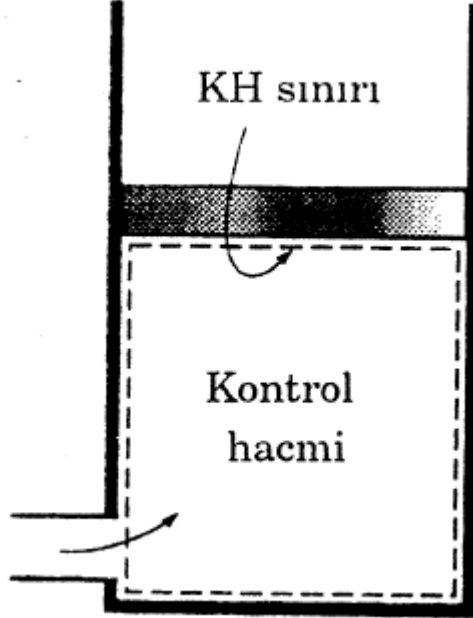
ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLER

Zamanla değişen açık sistemlerde, sürekli akışlı açık sistemlerden farklı olarak, akış sürekli olmak yerine, başladıktan belirli bir süre sonra sona erer. Bu nedenle, birim zamanda olan değişimler yerine belirli bir Δt zaman aralığı içinde gerçekleşen değişiklikler önem kazanır.

Zamanla değişen açık sistemin kapalı sisteme benzer yanları vardır, fakat sistem sınırları içindeki kütle hal değişimi sırasında sabit kalmaz.

ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLER

Sürekli ve zamanla değişen açık sistemler arasındaki bir başka fark da sürekli akışlı açık sistemlerin konumlarının, hacimlerinin ve biçimlerinin sabit kalmalarıdır. Zamanla değişen açık sistemler için de konum genellikle sabittir, başka bir deyişle, kontrol hacminin uzaydaki yeri değişmez, fakat sınırlar hareketli olabilir (Şekil 4-48).



ŞEKİL 4-48

Zamanla değişen açık sistemde, kontrol hacminin biçimi ve hacmi değişebilir.

Kütlenin Korunumu

Sürekli akışlı açık sistemlerden farklı olarak, zamanla değişen açık sistemlerde kontrol hacmi içindeki kütle zamanla *değişir*. Değişimin ne kadar olduğu, akışın olduğu süre içinde kontrol hacmine giren ve çıkan kütlelere bağlıdır.

(KH) için **kütlenin korunumu ilkesi** aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left(\begin{array}{c} \text{KH'ne} \\ \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında giren} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{KH'den} \\ \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında çıkan} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{KH'den} \\ \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında olan} \\ \text{net kütle değişimi} \end{array} \right)$$

veya
$$\sum m_g - \sum m_{\zeta} = \Delta m_{KH} \quad (4-28)$$

veya
$$\sum m_g - \sum m_{\zeta} = (m_2 - m_1)_{KH} \quad (\text{kg}) \quad (4-29)$$

Kütlenin Korunumu

zamanla değişen açık sistem için kütlenin korunumu ilkesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\varphi = \frac{dm_{KH}}{dt} \quad (\text{kg/s})$$

Burada, $\dot{m}_g$ ve $\dot{m}_\varphi$ birim zamanda kontrol hacmine giren ve çıkan kütleleri, dm_{KH}/dt ise kontrol hacmi içindeki kütlenin birim zamandaki değişimini göstermektedir.

Kütlenin Korunumu

$$\sum \left(\int_A \rho \mathbf{V}_n dA \right)_g - \sum \left(\int_A \rho \mathbf{V}_n dA \right)_\xi = \frac{d}{dt} \int_V \rho dV$$

Denklemin sağ tarafında, kontrol hacmi üzerinde alınan integralde ρdV terimi, diferansiyel kütle olan dm_{KH} 'ye eşittir, integral de kontrol hacminin toplam kütlesini vermektedir.

Enerjinin Korunumu

Sürekli akışlı açık sistemden farklı olarak, zamanla değişen açık sistemde kontrol hacminin enerjisi zamanla değişir. Kontrol hacminin enerjisinin ne kadar değiştiği, akışın olduğu süre içinde sistem sınırlarından ısı ve iş geçişine, ayrıca kütleyle birlikte kontrol hacminden içeriye ve dışarıya taşınan enerjiye bağlıdır. Zamanla değişen bir açık sistemi çözümlerken, hem giren ve çıkan akışların enerjisini, hem de kontrol hacminin enerjisini izlemek gerekir.

Enerjinin Korunumu

kontrol hacmi için **enerjinin korunumu ilkesi** aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\left(\begin{array}{c} \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında} \\ \text{sınırları ısı ve iş} \\ \text{olarak geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında} \\ \text{KH'ne} \\ \text{kütleyle taşınan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında} \\ \text{KH'den} \\ \text{kütleyle taşınan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \Delta t \text{ zaman} \\ \text{aralığında} \\ \text{KH içinde} \\ \text{net enerji} \\ \text{değişimi} \end{array} \right)$$

veya
$$Q - W + \sum \Theta_g - \sum \Theta_\xi = \Delta E_{KH} \quad (\text{kJ}) \quad (4-31)$$

Enerjinin Korunumu

4-31 numaralı denklem Δt ile bölünür ve $\Delta t \rightarrow 0$ limiti alınır, kontrol hacmi için enerji korunumu ilkesi en genel biçimiyle aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{\Theta}_g - \sum \dot{\Theta}_\zeta = \frac{dE_{KH}}{dt} \quad (\text{kW}) \quad (4-32)$$

Burada Θ_g ve Θ_ζ , kontrol hacmine giren veya çıkan kütleyle birlikte birim zamanda taşınan toplam enerjiyi, dE_{KH}/dt ise kontrol hacminin enerjisinin birim zamanda değişimini göstermektedir.

Enerjinin Korunumu

Örnek olarak bir giriş kesiti alınırsa,

$$\dot{\Theta}_g = \int_{m_g} \theta_g \delta m_g = \int_{m_g} \left(h_g + \frac{\mathbf{V}_g^2}{2} + gz_g \right) \delta m_g \quad (4-33)$$

elde edilir. Birim zamanda enerji girişi ise,

$$\dot{\Theta}_g = \dot{m}_g \left(h_g + \frac{\mathbf{V}_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (4-34)$$

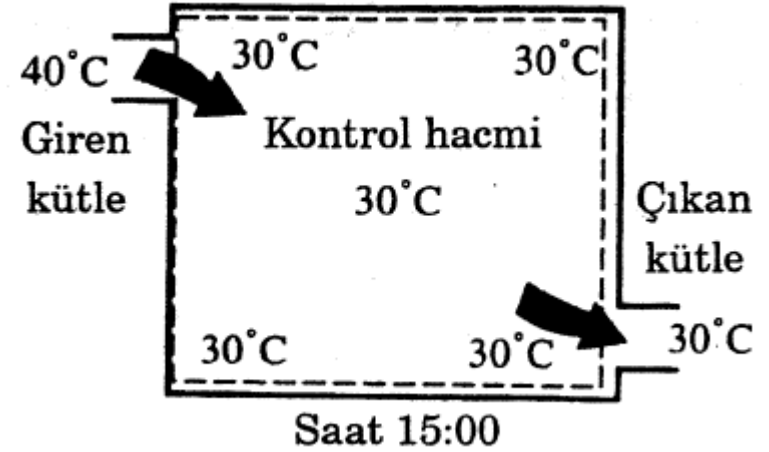
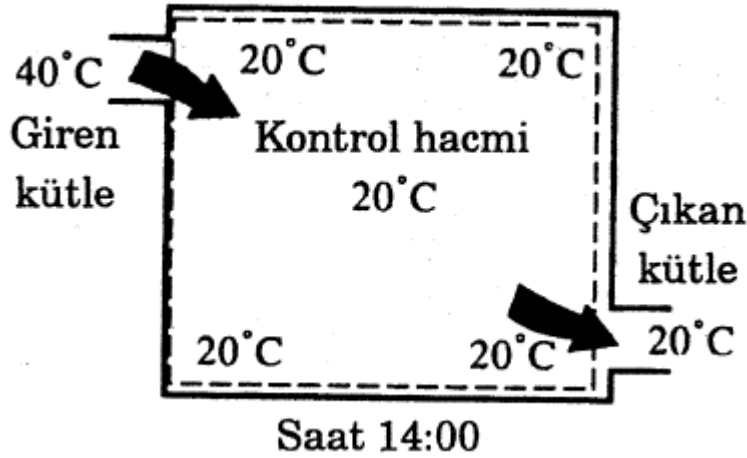
olur. Bu işlemi her giriş ve her çıkış için yapar, elde edilen terimleri 4-31 ve 4-32 numaralı denklemlerde yerine koyarsak,

$$Q - W = \sum \int_{m_\zeta} \left(h_\zeta + \frac{\mathbf{V}_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) \delta m_\zeta - \sum \int_{m_g} \left(h_g + \frac{\mathbf{V}_g^2}{2} + gz_g \right) \delta m_g + \Delta E_{KH}$$

Enerjinin Korunumu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{\epsilon} \left(h_{\epsilon} + \frac{\mathbf{V}_{\epsilon}^2}{2} + gz_{\epsilon} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{\mathbf{V}_g^2}{2} + gz_g \right) + \frac{dE_{KH}}{dt}$$

Düzgün Akışlı Dengeli Açık Sistem



ŞEKİL 4-51

Düzgün akışlı, dengeli açık sistemin gerçekleştiği kontrol hacmi.

Düzgün Akışlı Dengeli Açık Sistem

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi \left(h_\phi + \frac{\mathbf{V}_\phi^2}{2} + gz_\phi \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{\mathbf{V}_g^2}{2} + gz_g \right) + \frac{dE_{KH}}{dt}$$

$$Q - W = \sum m_\phi \left(h_\phi + \frac{\mathbf{V}_\phi^2}{2} + gz_\phi \right) - \sum m_g \left(h_g + \frac{\mathbf{V}_g^2}{2} + gz_g \right) + (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{KH}$$

Kontrol hacmiyle giren ve çıkan akışların kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse,

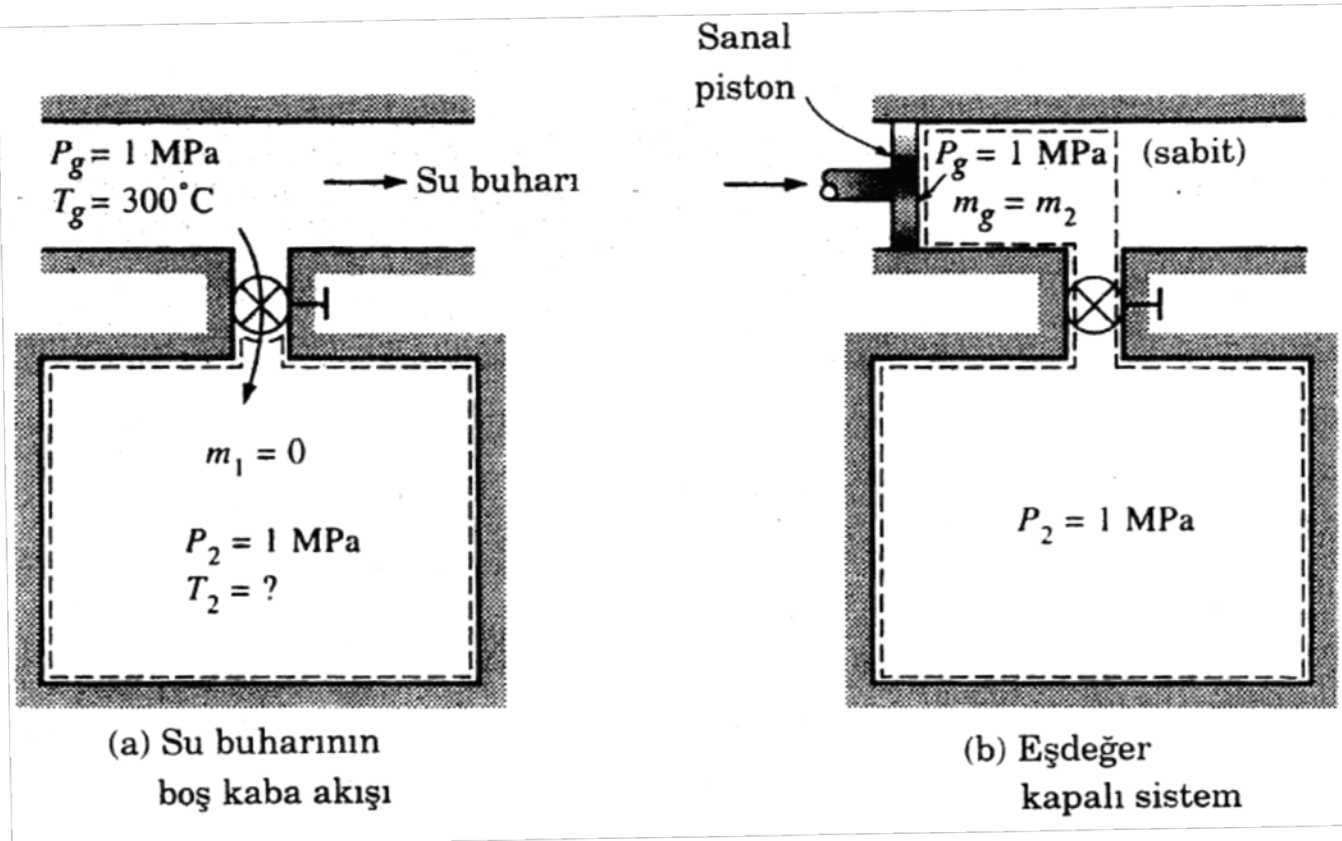
$$Q - W = \sum m_\phi h_\phi - \sum m_g h_g + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{KH} \quad (\text{kJ})$$

ÖRNEK 32

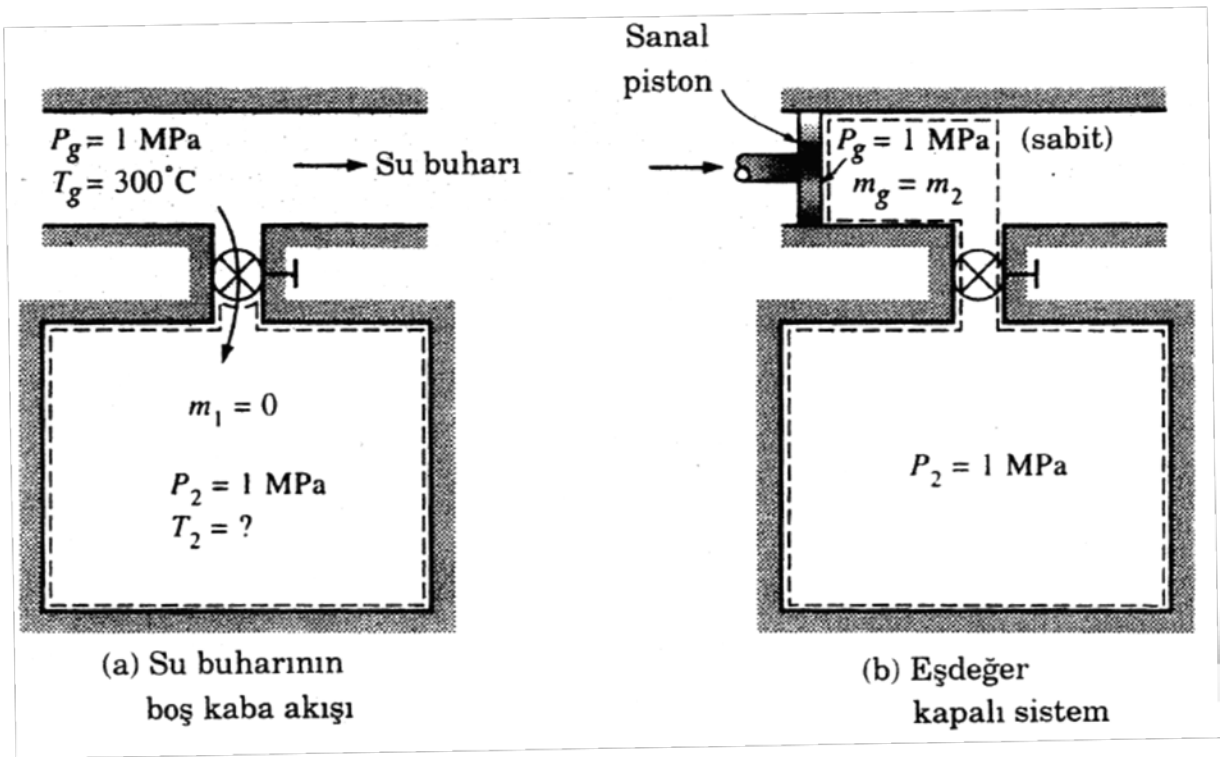
Sabit hacimli, yalıtılmış bir kap bir vana aracılığıyla içinden 1 MPa basınç ve 300 °C sıcaklıkta su buharı akan bir dağıtım hattına bağlanmıştır. Başlangıçta vana kapalı olup kabın içi boştur. Daha sonra vana açılmakta ve buhar, kap içindeki basınç 1 MPa oluncaya kadar kaba yavaşça akmaktadır. Bu noktada vana kapatılmaktadır. Kap içindeki buharın son haldeki sıcaklığını hesaplayın.

ÖRNEK 32

Sabit hacimli, yalıtılmış bir kap bir vana aracılığıyla içinden 1 MPa basınç ve 300 °C sıcaklıkta su buharı akan bir dağıtım hattına bağlanmıştır. Başlangıçta vana kapalı olup kabın içi boştur. Daha sonra vana açılmakta ve buhar, kap içindeki basınç 1 MPa oluncaya kadar kaba yavaşça akmaktadır. Bu noktada vana kapatılmaktadır. Kap içindeki buharın son haldeki sıcaklığını hesaplayın.



ÖRNEK 32



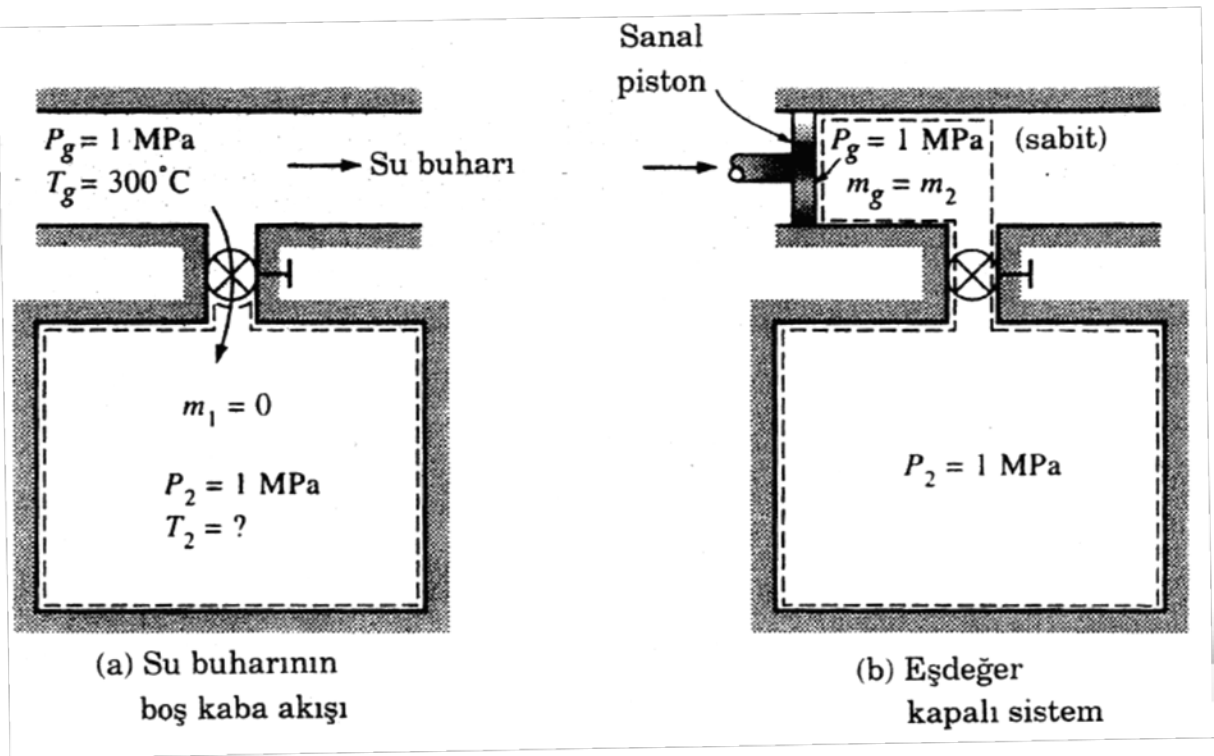
Kap başlangıçta boştur ($m_1 = 0$), ayrıca kontrol hacminden kütle çıkışı da olmamaktadır ($m_{\text{ç}} = 0$). Bir girişli bu açık sistem için kütle korunumu denklemi,

$$\sum m_g - \sum \cancel{m_{\text{ç}}}^0 = (\cancel{m_1}^0)_{\text{KH}}$$

$$m_g = m_2$$

olur. Başka bir deyişle, son halde kaptaki kütle, kontrol hacmine giren kütleye eşittir.

ÖRNEK 32



$$\cancel{\dot{Q}} - \cancel{\dot{W}} = \sum \cancel{\dot{m}}_{\text{ç}} h_{\text{ç}} - \sum m_g h_g + (m_2 u_2 - \cancel{m_1 u_1})_{\text{KH}}$$

$$0 = -m_g h_g + m_2 u_2$$

$$m_g = m_2 \text{ olduğundan, } u_2 = h_g$$

ÖRNEK 32

Giriş hali için buharın entalpisi Tablo A-6'dan bulunabilir:

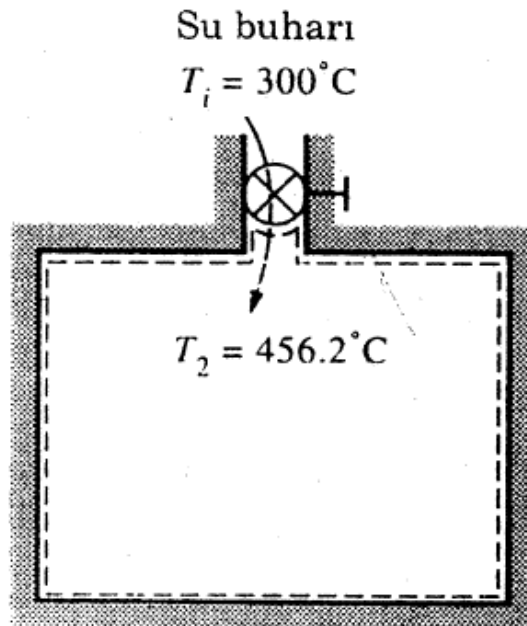
$$\left. \begin{array}{l} P_g = 1 \text{ MPa} \\ T_g = 300 \text{ °C} \end{array} \right\} h_g = 3051.2 \text{ kJ/kg}$$

Bu değer u_2 'ye eşittir. Kap içindeki buharın son haldeki iki özeliği bilinmektedir, bu nedenle hali bellidir. Tablo A-6'dan sıcaklık bulunabilir:

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1 \text{ MPa} \\ u_2 = 3051.2 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} T_2 = 456.2 \text{ °C}$$

ÖRNEK 32

Bu sonuca göre, kap içindeki buharın sıcaklığı $156.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ yükselmektedir. Bu sonuç başlangıçta garip gelebilir, buharın sıcaklığını yükseltmek için gerekli enerjinin nereden geldiği sorulabilir. Bunun yanıtı entalpinin tanımında saklıdır: $h = u + Pv$. Entalpinin simgelediği enerjinin bir bölümü, akış enerjisi Pv 'dir. Akış enerjisi kabın içinde duyulur iç enerjiye dönüşmekte ve kendini sıcaklık yükselişi olarak göstermektedir (Şekil 4-55).

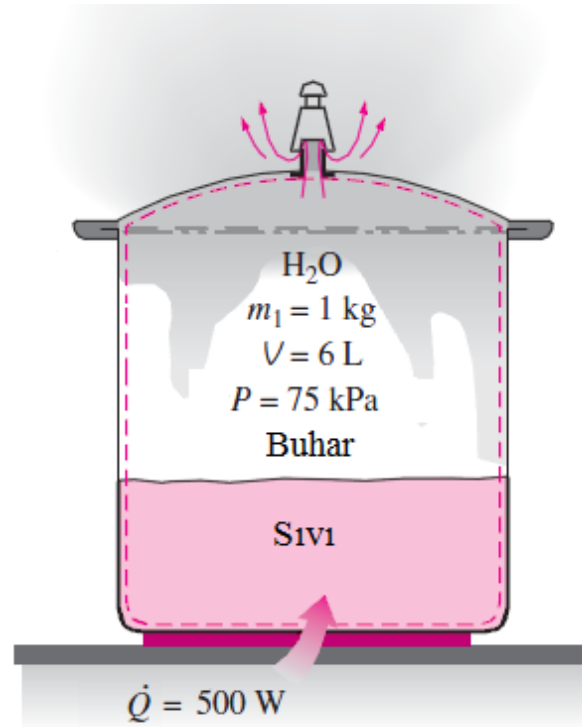


ŞEKİL 4-55

Su buharının sıcaklığı, akış enerjisinin iç enerjiye dönüşmesi nedeniyle 300°C 'den $456.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yükselir.

ÖRNEK 33

Bir düdüklü tencerenin hacmi 6 L olup, 75 kPa gösterge basıncında çalışmaktadır. Başlangıçta, tencerenin içinde 1 kg su bulunmaktadır. Çalışma basıncına ulaştıktan sonra tencereye ocaktan yarım saat süreyle 500 W ısı geçişi olmaktadır. Atmosfer basıncının 100 kPa olduğunu kabul edin. (a) Pişirmenin gerçekleştiği sıcaklığı, (b) pişirme sonunda tencerede kalan su kütlesini hesaplayın.



ÖRNEK 33

(a) Tencere içindeki mutlak basınç, atmosfer basıncına gösterge basıncı eklenerek bulunur:

$$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{gös}} + P_{\text{atm}} = 75 \text{ kPa} + 100 \text{ kPa} = 175 \text{ kPa}$$

Piştirme süresince tencere içinde doymuş sıvı buhar karışımı vardır (Şekil 4-57), bu nedenle doyma sıcaklığı, çalışma basıncına karşı gelen doyma sıcaklığıdır. Tablo A-5'den bu sıcaklık,

$$T = T_{\text{doyma @175 kPa}} = 116.06 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

olarak bulunur. Bu sıcaklık normal piştirme sıcaklığından $16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ daha yüksektir.

ÖRNEK 33

$$\sum \cancel{m_g}^0 - \sum m_\zeta = (m_2 - m_1)_{KH}$$

$$m_\zeta = (m_1 - m_2)_{KH}$$

$$Q - \cancel{W}^0 = \sum m_\zeta h_\zeta - \sum \cancel{m_g}^0 h_g + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{KH}$$

$$\begin{aligned} Q &= m_\zeta h_\zeta + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{KH} \\ &= (m_1 - m_2) h_\zeta + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{KH} \end{aligned}$$

İlk ve son haller arasındaki ısı geçişi

$$Q = \dot{Q} \Delta t = (0.5 \text{ kJ/s}) (30 \times 60 \text{ s}) = 900 \text{ kJ}$$

ÖRNEK 33

Buhar tencereden 175 kPa basınçta doymuş buhar olarak çıkmaktadır (Şekil 4-58), entalpi Tablo A-5'ten okunur:

$$h_{\zeta} = h_{g, @ 175 \text{ kPa}} = 2700.6 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = \frac{V}{m_1} = \frac{0.006 \text{ m}^3}{1 \text{ kg}} = 0.006 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$x_1 = \frac{v_1 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.006 - 0.001}{1.004 - 0.001} = 0.005$$

$$u_1 = u_f + x_1 u_{fg} = 486.8 + (0.005)(2038.1) \text{ kJ/kg} = 497.0 \text{ kJ/kg}$$

$$U_1 = m_1 u_1 = (1 \text{ kg})(497 \text{ kJ/kg}) = 497 \text{ kJ}$$

ÖRNEK 33

Son halde *sistemin* kütlesi, $m_2 = V/v_2$ olmaktadır.

$$Q = \left(m_1 - \frac{V}{v_2} \right) h_e + \left(\frac{V}{v_2} u_2 - m_1 u_1 \right)$$

Bu denklemde iki bilinmeyen vardır: u_2 ve v_2 . Çözüm elde edebilmek için u_2 ile v_2 arasında bir ilişki bulmak gerekir. Son halde tencere içinde bir miktar su bulunduğu bilinmektedir. Bu nedenle son hal doymuş sıvı buhar karışımıdır. u_2 ve v_2 aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v_2 = v_f + x_2 v_{fg} = 0.001 + x_2 (1.004 - 0.001) \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_2 = u_f + x_2 u_{fg} = 486.8 + x_2 (2038.1) \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK 33

Dikkat edilirse sabit basınçta kaynama sırasında her iki fazın özellikleri sabit kalmakta, sadece kütleler değişmektedir. Yukarıdaki bağıntılar enerji denkleminde yerine konduğu zaman, bilinmeyen olarak sadece x_2 kalmaktadır. Bu işlemler yapılırsa,

$$x_2 = 0.009$$

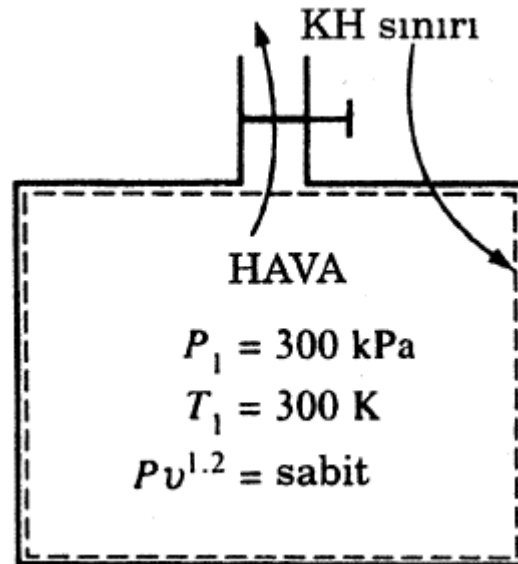
bulunur. Böylece

$$v_2 = 0.001 + (0.009) (1.004 - 0.0001) \text{ m}^3/\text{kg} = 0.010 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$m_2 = \frac{V}{v_2} = \frac{0.006 \text{ m}^3}{0.01 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.6 \text{ kg}$$

ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kapta başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.



ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.

$$\sum \overset{0}{\cancel{m_g}} - \sum m_\zeta = (m_2 - m_1)_{KH}$$
$$m_\zeta = (m_1 - m_2)_{KH}$$

ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.

politropik hal değişimi

$$T P^{(1-n)/n} = C = \text{sabit} \quad \text{veya} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n}$$

Böylece kap içindeki havanın son haldeki sıcaklığı,

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(n-1)/n} = (300 \text{ K}) \left(\frac{100 \text{ kPa}}{300 \text{ kPa}} \right)^{(1.2-1)/1.2} = 249.8 \text{ K}$$

ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{(300 \text{ kPa})(1 \text{ m}^3)}{[0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})](300 \text{ K})} = 3.484 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{P_2 V_2}{R T_2} = \frac{(100 \text{ kPa})(1 \text{ m}^3)}{[0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})](249.8 \text{ K})} = 1.395 \text{ kg}$$

$$m_\zeta = (m_1 - m_2)_{\text{KH}} = (3.484 - 1.395) \text{ kg} = 2.089 \text{ kg}$$

ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.

(a) Düzgün akışlı, dengeli açık sistem

$$Q - \cancel{W}^0 = \sum m_{\text{ç}} h_{\text{ç}} - \sum \cancel{m}_{\text{g}}^0 h_{\text{g}} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{\text{KH}}$$
$$Q = m_{\text{ç}} h_{\text{ç}} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{\text{KH}}$$

ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.

Özellikler Tablo A-17'den okunur:

$$u_1 = u_{@ 300\text{K}} = 214.07 \text{ kJ/kg}$$

$$u_2 = u_{@ 249.8\text{K}} = 178.14 \text{ kJ/kg}$$

$$h_\zeta \cong h_{@ T_{\text{ort}}} = h_{@ 274.9\text{K}} = 275.02 \text{ kJ/kg}$$

ÖRNEK 34

1 m³ hacmi olan sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 300 kPa basınç ve 300 K sıcaklıkta hava vardır. Daha sonra kabın üzerinde bulunan bir vana açılmakta ve havanın yavaşça dışarı akması sağlanmaktadır. Hava akışı, kap içindeki basınç, atmosfer basıncı olan 100 kPa'ye eşit oluncaya kadar sürmektedir. Kap içindeki havanın, $Pv^{1.2} = \text{sabit}$ şeklinde politropik bir hal değişiminden geçtiği gözlenmektedir. Bu işlem sırasında ısı geçişini, (a) düzgün akışlı, dengeli açık sistem modeliyle, (b) bu modeli kullanmadan hesaplayın.

$$Q - \cancel{W}^0 = \sum m_{\text{ç}} h_{\text{ç}} - \sum \cancel{m_{\text{g}}}^0 h_{\text{g}} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{\text{KH}}$$
$$Q = m_{\text{ç}} h_{\text{ç}} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)_{\text{KH}}$$

$$\begin{aligned} Q &= (2.089 \text{ kg})(275.02 \text{ kJ/kg}) + (1.395 \text{ kg})(178.14 \text{ kJ/kg}) \\ &\quad - (3.484 \text{ kg})(214.07 \text{ kJ/kg}) \\ &= (574.5 + 248.5 - 745.8) \text{ kJ} = 77.2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

ÖRNEK 34

(b) Şimdi de aynı problemi düzgün akışlı dengeli açık sistemin çözümlemeyi kolaylaştırıcı kabullerini yapmadan ele alacağız. Başka bir deyişle, kaptan çıkan havanın sabit ortalama bir sıcaklıkta olduğu kabulünü yapmayacağız. Çözümde tek değişiklik kontrol hacminden çıkan enerjinin (Θ) hesaplanmasında olacaktır. Bu durumda Θ_ζ integral olarak hesaplanacaktır.

$$\Theta_\zeta = \int_{m_\zeta} \left(h_\zeta + \frac{\mathbf{v}_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) \delta m_\zeta = \int_{m_\zeta} h_\zeta \delta m_\zeta = \int_{m_\zeta} C_p T_\zeta \delta m_\zeta$$

ÖRNEK 34

Bu denklemin h_ζ sabit olduğu zaman $\Theta_\zeta = h_\zeta m_\zeta$ şekline dönüşeceği not edilmelidir. İntegrali alabilmek için T_ζ ile δm_ζ arasında bir bağıntı bulmak gerekir.

Kontrol hacminden çıkan diferansiyel kütle δm_ζ , kontrol hacmindeki kütle değişimine eşit fakat ters işaretlidir:

$$m_{KH} = \frac{PV}{RT} \rightarrow dm_{KH} = \frac{V}{R} \left(\frac{dP}{T} - \frac{P dT}{T^2} \right) = -\delta m_\zeta \quad (V = \text{sabit})$$

ÖRNEK 34

Bu sonuç yukarıdaki bağıntıda yerine konursa,

$$\Theta_{\zeta} = \int_1^2 C_p T \frac{V}{R} \left(\frac{P dT}{T^2} - \frac{dP}{T} \right) = \int_1^2 \frac{kV}{k-1} \left(\frac{P dT}{T} - dP \right)$$

elde edilir. Burada $C_p/R = k/(k - 1)$ bağıntısından yararlanılmıştır. k özgül ısıların oranı olup, herhangi bir anda, kaptan çıkan havanın sıcaklığı T_{ζ} , kap içindeki havanın sıcaklığı T 'ye eşit alınmıştır.

ÖRNEK 34

Havanın özgül ısı bu hal değişimi sırasında hemen hemen sabit kalmaktadır (300 K'de 1.400'den 250 K'de 1.401'e değişmektedir); bu bakımdan, sabit olan hacim V ile birlikte integral dışına çıkarılabilir:

$$\Theta_{\zeta} = \frac{kV}{k-1} \left(\int_1^2 \frac{P dT}{T} - \int_1^2 dP \right)$$

İkinci integral kolaylıkla hesaplanabilir ve $P_2 - P_1$ 'e eşittir. Birinci integralde ise basınç P , politropik hal değişimi bağıntısını ($TP^{(1-n)/n} = \text{sabit}$) kullanarak, sıcaklık, T ile ifade edilebilir. Bu işlem yapılırsa integral kolaylıkla bulunabilir ve $(P_2 - P_1)(n - 1)/n$ sonucunu verir. Bu sonuçlar kullanılarak

$$\Theta_{\zeta} = \frac{kV(P_1 - P_2)}{(k-1)n}$$

ÖRNEK 34

Sayısal değerler yerine konursa,

$$\Theta_{\zeta} = \frac{1.4(1 \text{ m}^3)[(300 - 100) \text{ kPa}]}{(1.4 - 1)(1.2)} \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 583.3 \text{ kJ}$$

bulunur. Bu sonuç ortalama sıcaklıkta sabit entalpi kabulü yapılarak bulunan sonuçtan (574.5 kJ) sadece yüzde 1.5 farklıdır. Birçok zamanla değişen açık sistem için bu mertebe yaklaşık aynıdır. Bu bakımdan, düzgün akışlı açık sistem çözümlemesi mühendislik problemlerinde güvenle kullanılabilir. Bu özellikle, kontrol hacminin ilk ve son halleri birbirine yakınsa geçerlidir. Bu yolla ısı geçişi

$$Q = (583.3 + 248.5 - 745.8) \text{ kJ} = 86.0 \text{ kJ}$$