

Termodinamik 1

Ders 09: İzotropik Hal Değişimleri ve Tersinir Sürekli Akış İşi (Bölüm 2)

Sabit bir kütlenin entropisi,

ısı geçişi ve
tersinmezlikler ile değişir.

Entropi, işten tersinir ve adyabatik hal değişimleri sırasında değişmez.

Hal değişimi sırasında
entropi sabit kalıyorsa, } İzotropik hal değişimi göz önüne
(Isentropic Processes) alınır.

$$\text{sistem için } \left\{ \begin{array}{l} \Delta S = 0 \text{ J/kgK} \\ S_2 = S_1 \end{array} \right\} \text{ izotropik hal değişimi}$$

Pompa }
Türbin }
Lüle }
Yayılcı }
Yalıtımlı ise $\rightarrow$ adyabatik olarak çalışırlar.
En yüksek verim; sürtünme gibi tersinmezlikler
en aza indirildiğinde ulaşırlar $\rightarrow$ izotropik değeri-
dime.

İzotropik hal değişimleri $\rightarrow$ Sistemlerde gerçekleştirilebilecek
hal değişimlerinin üst sınırıdır.
Bu gerçeğe verim tanımlamaları
yapılabilir.

Tersinir-adyabatik hal değişimi $\rightarrow$ izotropik hal değişimidir.

Her izotropik hal değişimi $\rightarrow$ tersinir-adyabatik hal de-
ğişimi değildir.

İzotropik hal değişimi $\rightarrow$ işten tersinir-adyabatik hal değişimi

Örnek: İzotropik buhar türbini

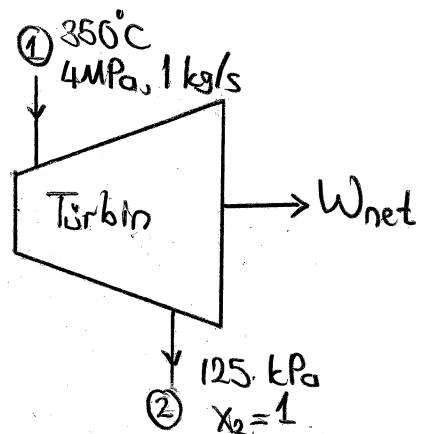
$$W_{\text{net}} = ?$$

Buhar türbini $\rightarrow$ Su ile çalışır.

Energi dengesi:

$$E_{gires} - E_{gikar} = \Delta E_{sistem}$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow = 0 \text{ J (Sıcaklık akışı)}$
 E_{kettle_1} E_{kettle_2} W_{net}



$$E_{kettle,1} - E_{kettle,2} - W_{net} = 0, \quad E_{kettle} = m(h + k + p_e) \text{ (J)}$$

$$W_{\text{net}} = m(h_1 - h_2) \quad (\text{J})$$

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{m} (h_1 - h_2) \quad (W)$$

Hal 1: $P_1 = 4 \text{ MPa}$, $T_1 = 350^\circ\text{C}$ } 4 MPa için $T_d = 250,35^\circ\text{C}$
 $T_1 > T_d \rightarrow$ KB bölgesi (Türbin girişleri KB olur).

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = 3093,3 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6,5843 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \text{Table A6}$$

Hal 2: $P_2 = 125 \text{ kPa}$
 (Gerçek) $x_2 = 1$

D.B. noktası
 $h_{2,g} = 2684,9 \text{ kJ/kg}$
 ↳ gerçek

Hal 2:
(ideal)
(isotropik)

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 125 \text{ kPa} \\ S_2 = S_1 \end{array} \right\} 125 \text{ kPa isin}$$
$$S_2 = 6,5843 \text{ kJ/kgK}$$
$$\left. \begin{array}{l} S_f = 1,3741 \text{ kJ/kgK} \\ S_g = 7,2841 \text{ kJ/kgK} \\ S_{fg} = 5,9100 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\}$$

$$S_f < S_2 < S_g \rightarrow \text{IB bölgesi}$$

$$S_2 = S_f + X_2 S_{fg}$$

$$6,5843 \text{ kJ/kgK} = 1,3741 \text{ kJ/kgK} + x_2 (5,9100 \text{ kJ/kgK})$$

$$x_2 = 0,8816$$

②

$$125 \text{ kPa katn } h_f = 444,36 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fg} = 2240,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{2,s} = h_f + x_2 h_{fg}$$

$$= (444,36 \text{ kJ/kg}) + (0,8816)(2240,6 \text{ kJ/kg})$$

$$h_{2,s} = 2419,67 \text{ kJ/kg}$$

↓ izotropik

$$\dot{W}_{net,a} = (1 \text{ kg/s})(3093,3 - 2684,9) \text{ kJ/kg}$$

$$= 408,4 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{net,s} = (1 \text{ kg/s})(3093,3 - 2419,67) \text{ kJ/kg}$$

$$= 673,63 \text{ kW}$$

↓ Wlasılabılnecek en yşksek değer

$$\text{Sonuç} \quad \dot{W}_{net,a} < \dot{W}_{net,s}$$

$$\text{İzotropik verim, } \eta_{T, \text{izot.}} = \frac{408,4 \text{ kW}}{673,63 \text{ kW}} = 0,61 \text{ (\%61)}$$

İdeal gazların izotropik hal değişimleri:

Sabit özgül ısılar yaklaşımı: $s_2 - s_1 = c_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$ (J/kgK)

$$s_2 - s_1 = c_{p,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (\text{J/kgK})$$

$s_2 = s_1$ ise, $c_{v,ort} \ln \frac{T_2}{T_1} = -R \ln \frac{v_2}{v_1} \rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = -\frac{R}{c_{v,ort}} \ln \frac{v_2}{v_1}$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{-R/c_{v,ort}}$$

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{R/c_{v,ort}}$$

$$R = c_p - c_v, \quad k = \gamma / c_v$$

$$\frac{R}{c_v} = \frac{c_p - c_v}{c_v} = \frac{c_p}{c_v} - 1 = k - 1$$

$$(c_{v,ort} \rightarrow c_v)$$

$$(c_{p,ort} \rightarrow c_p)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \quad (s_1 = s_2 \text{ için})$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (s_1 = s_2 \text{ için})$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k \quad (s_1 = s_2 \text{ için})$$

Değişken özgül ısılar yaklaşımı: $s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{p_2}{p_1}$

$$s_1 = s_2 \rightarrow s_2^\circ = s_1^\circ + R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$s_2^\circ - s_1^\circ = R \ln \frac{p_2}{p_1} \rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \exp \frac{s_2^\circ - s_1^\circ}{R}$$

Bu ifadeye bağlı basınç oranı denir. p_{r2}/p_{r1} olarak gösterilir.

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_{r2}}{p_{r1}} \quad (s_1 = s_2 \text{ için})$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}} \quad \text{esitliği} \quad P_0 = RT \rightarrow \frac{P_1 v_1}{P_2 v_2} = \frac{R T_1}{R T_2}$$

$$\frac{P_{r1}}{P_{r2}} \cdot \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2 P_{r1}}{T_1 P_{r2}}$$

yaklaşımı altında

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{v_{r2}}{v_{r1}} \quad (s_1 = s_2) \quad \text{olarak da yazılabilir.}$$

bağıl özgül hacim oranı $(v_r = T/P_r)$

P_r ve v_r değerleri sıcaklığa göre hesaplanmış ve tablo olarak verilmiştir.

(Hava için Tablo A17)

Örnek: İzotropik kompresör

$W_{net} = ?$

Enerji dengesi:

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (J)$$

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

$$\dot{m}_1 h_1 \quad \dot{m}_2 h_2 \quad = 0 \quad J \quad (\text{Sürekli akış})$$

$$W_{net}$$

$$W_{net} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m})$$

Hava için değişken özgül ısılar yaklaşımı uygulanacaktır.

Tablo A17 $\rightarrow T_1 = 300 \text{ K}$ için $h_1 = 300,19 \text{ kJ/kg}$

$P_{r1} = 1,3860$

$T_2 = 550 \text{ K}$ için $h_2 = 554,74 \text{ kJ/kg}$ (gerçek)

$$\left. \begin{array}{l} \text{İzotropik} \\ \text{komp.} \end{array} \right\} \text{ için } \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}} \rightarrow \frac{600 \text{ kPa}}{95 \text{ kPa}} = \frac{P_{r2}}{1,3860}$$

$$P_{r2} = 8,754 \rightarrow \text{Tablo A17'den}$$

$$h_{2,s} = 508,72 \text{ kJ/kg (interpolasyon ile)}$$

$\downarrow$ izentropik durumu gösterir.

$$\xrightarrow{\text{gerçek}} W_{\text{net}} = \dot{m} (h_2 - h_1) = (1 \text{ kg/s}) (554,74 - 300,19) \text{ kJ/kg} \\ = 254,55 \text{ kW}$$

$$\xrightarrow{\text{ideal}} W_{\text{net},s} = \dot{m} (h_{2,s} - h_1) = (1 \text{ kg/s}) (508,72 - 300,19) \text{ kJ/kg} \\ = 208,53 \text{ kW}$$

İzentropik durumda kompresöre daha az iş girişi (elektrik girişi) olacaktır

$$\eta_{\text{Komp, izent.}} = \frac{208,53 \text{ kW}}{254,55 \text{ kW}} = 0,82 \text{ (%82)}$$

$$W_{\text{net},s} < W_{\text{net}}$$

Tersinir sürekli akış işi:

Açık sistem $\rightarrow$ kütle girişi/gıkışı $\rightarrow$ sürekli akış
($E_{\text{kütle}}$) ($\sum \dot{m}_{\text{giren}} = \sum \dot{m}_{\text{gıkın}}$)

$$e_{\text{kütle}} = h + ke + pe \quad (\text{J/kg}) \quad (\text{Özgöl kütle ile enerji geğısi})$$

$\downarrow$
($h = u + Pv$)

⊗ Akışkanın ıfın - tersinir bir hal değışiminden geğıtiği sürekli akışlı sistem:

Enerji dengesi: $E_{\text{giren}} - E_{\text{gıkın}} = \Delta E_{\text{sistem}} \quad (\text{J})$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 δQ δW $= 0 \text{ J (sürekli akış)}$
 $\delta E_{\text{kütle,g}}$ $\delta E_{\text{kütle,g}}$

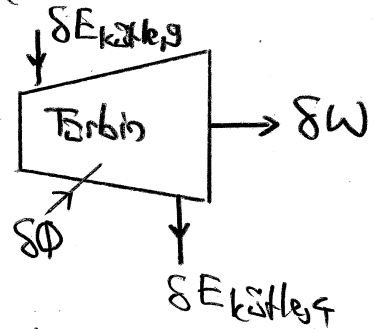
Sistem sınırından diferansiyel formda ısı ve kütle girişi ve iş ve kütle gıkışı olsun. Tersinir işi hesaplayalım.

$$\delta Q + \delta E_{\text{kütle,g}} - \delta W - \delta E_{\text{kütle,g}} = 0$$

$$\delta Q - \delta W = \delta E_{\text{kütle,g}} - \delta E_{\text{kütle,g}}$$

$$\delta Q - \delta W = m(dh + dke + dpe) \quad (\text{J})$$

$$\delta q - \delta w = dh + dke + dpe \quad (\text{J/kg})$$



$$\left. \begin{aligned} \text{ıfın tersinir} &\rightarrow \delta q_{\text{tr}} = T ds \\ T ds &= dh - v dp \end{aligned} \right\} \text{ Daha önce elde edilen eşitlikler}$$

$$\delta q_{\text{tr}} - \delta w_{\text{tr}} = dh + dke + dpe$$

$\downarrow$
 $T ds$
 $dh - v dp$

$$\cancel{dh} - v dp - \cancel{\delta w_{tr}} = \cancel{dh} + dke + dpe$$

$$-\delta w_{tr} = v dp + dke + dpe$$

$$-\int \delta w_{tr} = \int v dp + \int dke + \int dpe$$

$$-w_{tr} = \int_1^2 v dp + \Delta ke + \Delta pe$$

$$\boxed{w_{tr} = - \int_1^2 v dp - \Delta ke - \Delta pe} \quad (\text{J/kg})$$

Sürekli akışlı bir sistemde
işten-tersinir bir hal değişimi
sırasında yapılan TERSİNİR İŞ (Sistenden çıkan
tersinir iş)

⊗ Sıkıştırılabilir akışkan için v : sabit

$$w_{tr} = -v \int_1^2 dp - \Delta ke - \Delta pe$$

$$w_{tr} = -v \Delta P - \Delta ke - \Delta pe \quad (\text{J/kg})$$

Bir sıvının borudaki /ışledeki/ yayıcıdaki sürekli akışında iş etki-
leşimi yok ise,

$$v \Delta P + \Delta ke + \Delta pe = 0 \quad \text{J/kg olur.}$$

$$v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) = 0 \quad (\text{Bernoulli denklemi})$$

(Sürtünme yok, sok dalgaları etkili değil, tersinir akış)

$$\left. \begin{array}{l} \text{Türbin} \\ \text{Kompresör} \\ \text{Pompa} \end{array} \right\} \text{ için } \boxed{w_{tr} = - \int_1^2 v dp} \quad (\Delta ke, \Delta pe \rightarrow \text{ihmal})$$

$v \uparrow \rightarrow$ tersinir iş $\uparrow$

Sıkırmada v küçük } olursa w_{giren} "az"
Genişlemede v büyük } $w_{çıkan}$ "çok" olur.

TERSİNİR SÜREKLİ AKIŞ İŞİ EŞİTLİĞİNİN MÜHENDİSLİK AÇISINDAN ÖNEMLİ SONUÇLARI

$$w_{tr,çıkan} = -\int_1^2 v dP \quad (\text{kJ} / \text{kg})$$

$$w_{tr,çıkan} = -\int_1^2 v dP \cong v_1 (P_1 - P_2) \quad (\text{J} / \text{kg})$$

İzantropik işlem : $ds = 0 \text{ J} / \text{kgK}$ ise, $Tds = dh - v dP$

$$T(0) = dh - v dP \rightarrow dh = v dP$$

$$w_{tr,çıkan} = -\int_1^2 v dP = -\int_1^2 dh = h_1 - h_2 \quad (\text{J} / \text{kg}) \quad [\text{İzantropik işlem için}]$$

$$w_{tr,giren} = \int_1^2 v dP \cong v_1 (P_2 - P_1) \quad (\text{J} / \text{kg})$$

$$w_{tr,giren} = \int_1^2 v dP = \int_1^2 dh = h_2 - h_1 \quad (\text{J} / \text{kg}) \quad [\text{İzantropik işlem için}]$$

Yukarıda verilen denklemin mühendislikte yaygın olarak kullanılan **türbin, kompresör ve pompa** gibi sürekli akışlı makinaların çözümlemesinde büyük önemi vardır.

Bu denklemden açıkça görüleceği gibi, tersinir sürekli akış işi, **akışkanın özgül hacmiyle** yakından ilgilidir. Düzenekte akan akışkanın özgül hacminin **daha büyük olması, tersinir işin daha fazla olması** demektir.

Elde edilen ve yukarıda verilen sonuç gerçek sürekli akışlı düzenekler için de geçerlidir. Bu nedenle, mühendislerin **sıkıştırma** işlemi (kompresör-fan-pompa kullanımı) sırasında akışkanın özgül hacmini olabildiğince **küçük** tutarak işi **azaltmaya**, **genişleme** işlemi (türbin-otomobil motoru kullanımı) sırasında da akışkanın **özgül hacmini** olabildiğince **büyük** tutarak işi **artırmaya** çabalaması gerekir.

Buharlı veya gaz türbinli güç santrallerinde, pompa veya kompresördeki **basınç artışıyla** türbindeki **basınç düşüşü** birbirine **eşittir**.

Buharlı güç santrallerinde, pompadaki akışkan sıvıdır ve özgül hacmi çok **küçüktür**. Diğer yandan türbindeki akışkan su buharıdır ve özgül hacmi çok daha **büyüktür**. **Bu nedenle türbinde yapılan iş, pompaya verilen işe oranla çok daha fazladır**. Buharlı güç santrallerinin elektrik üretiminde çok yaygın olarak kullanılmasının nedenlerinden biri de budur.

Isı makinalarında, yoğuşturucudan çevreye verilen ısıyı "kazanmak" için türbinden çıkan kullanılmış buhar doğrudan pompaya gönderilseydi (yani $Q_{çıkan} = 0 \text{ J}$ olabilseydi) pompaya verilmesi gereken iş, türbinden elde edilen işe **eşit** olurdu. Hatta genişleme ve sıkıştırma işlemlerindeki tersinmezliklerden dolayı daha da fazla olurdu. O zaman ısı makinası kullanmanın bir anlamı olmazdı.

Gaz türbini kullanan güç santrallerinde, çevrimde dolaşan akışkan (genellikle hava), hem genişleme hem de sıkıştırma sırasında **gaz** fazındadır. Bu nedenle **türbinde üretilen işin önemli bir bölümü** kompresörde kullanılır. Bunun sonucu olarak gaz türbini çevrimlerinde birim akışkan kütlesi için yapılan net iş, buhar türbini çevrimlerinde birim akışkan kütlesi için yapılan net işe oranla daha küçük olur.

Sürekli Akışlı Dözeneklerde İzotropik Verim Hesabı:

$$\sum \dot{M}_{giren} = \sum \dot{m}_{çıkan} \text{ (kg/s) (Sürekli akış)}$$

$$\Delta S_{sistem} = 0 \text{ J/K}, \Delta E_{sistem} = 0 \text{ J (Sürekli akış)}$$

İzotropik hal değişimi, sürekli akışlı dözeneklerin mükemmelliğe ulaşmasını sağlayan bir mühendislik modelidir.

Gerçek hal değişimi, izotropik hal değişimine ne kadar yakın olursa, dözenekğin gelişmesi de o ölçüde iyi olacaktır.

"İzotropik verim" (Adyabatik verim)

Gerçek hal değişiminin izotropik hal değişiminden sapma oranını gösterir.

Türbin:

Enerji dengesi:

$$\begin{aligned} \dot{E}_g - \dot{E}_q &= \Delta \dot{E}_{sistem} \\ \dot{m}h_1 - \dot{m}h_2 - \dot{W}_T &= 0 \text{ W (Sürekli akış)} \\ (\Delta ke, \Delta pe: \text{ihmal}) \\ (\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2) \end{aligned}$$

$$\dot{m}h_1 - \dot{m}h_2 - \dot{W}_T = 0$$

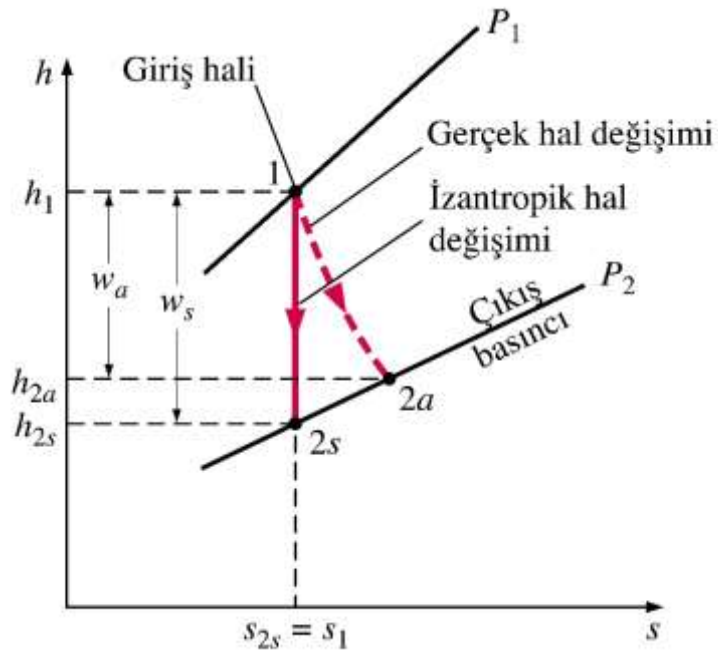
$$\dot{W}_{T,a} = \dot{m}(h_1 - h_{2a}) \text{ (Gerçek durum)}$$

$$\dot{W}_{T,s} = \dot{m}(h_1 - h_{2s}) \text{ (İzotropik durum)} \\ s_1 = s_2, h_{2s} < h_{2a}$$

İzotropik verim:

$$\eta_{T, izot.} = \frac{\text{Gerçek türbin işi}}{\text{İzotropik türbin işi}} = \frac{\dot{W}_{T,a}}{\dot{W}_{T,s}} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Büyük türbinlerde $\eta_{T, izot.} \cong 0,90$ civarındadır.



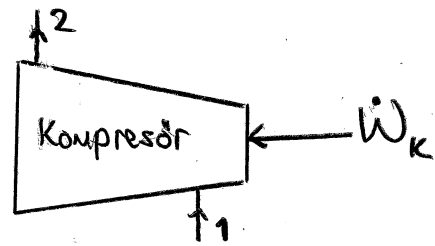
Adyabatik bir türbinin gerçek ve izantropik hal değişimleri için h-s diyagramı

Kompresör:

Enerji dengesi:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_q = \Delta \dot{E}_{\text{system}}$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 $\dot{W}_k \quad \dot{m}h_1 \quad \dot{m}h_2$
 $\dot{W}_k + \dot{m}h_1 - \dot{m}h_2 = 0$ (Sürekli akış)
 $(\Delta ke, \Delta pe: \text{ihmal})$
 $(\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2)$



$$\dot{W}_k + \dot{m}h_1 - \dot{m}h_2 = 0$$

$$\dot{W}_{k,a} = \dot{m}(h_{2a} - h_1) \quad (\text{Gerçek durum})$$

$$\dot{W}_{k,s} = \dot{m}(h_{2s} - h_1) \quad (\text{İzotropik durum})$$

$S_1 = S_2, \quad h_{2a} > h_{2s}$

$$\eta_{k, \text{izon.}} = \frac{\text{İzotropik kompresör işi}}{\text{Gerçek kompresör işi}} = \frac{\dot{W}_{k,s}}{\dot{W}_{k,a}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

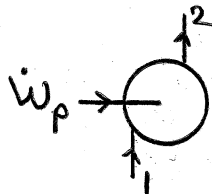
(İzotropik veya adyabatik verim)

Pompa:

Enerji dengesi:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_q = \Delta \dot{E}_{\text{system}}$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 $\dot{m}h_1 \quad \dot{W}_p \quad \dot{m}h_2$
 $\dot{m}h_1 + \dot{W}_p - \dot{m}h_2 = 0$ (Sürekli akış)
 $(\Delta ke, \Delta pe: \text{ihmal})$
 $(\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2)$



$$\dot{m}h_1 + \dot{W}_p - \dot{m}h_2 = 0$$

$$\dot{W}_{p,a} = \dot{m}(h_{2a} - h_1) \quad (\text{Gerçek durum})$$

$$\dot{W}_{p,s} = \dot{m}(h_{2s} - h_1) \quad (\text{İzotropik durum})$$

$S_1 = S_2, \quad h_{2a} > h_{2s}$

$$h_{2s} - h_1 = u_{2s} + P_{2s}v_{2s} - (u_1 + P_1v_1)$$

$$= u_{2s} - u_1 + v(P_{2s} - P_1)$$

$\approx 0 \text{ J/kg}$

Pompalarda iş enerji değişimi önemsizdir.
Sıkıştırılmaz akışkonda: $u_1 \approx u_{2s} = u$

$$h_{2s} - h_1 \approx v(P_2 - P_1) \text{ alınabilir.}$$

$$\text{İzotropik verim: } \eta_{p, \text{izon.}} = \frac{\text{İzotropik pompa işi}}{\text{Gerçek pompa işi}} \\ = \frac{\dot{W}_{p,s}}{\dot{W}_{p,g}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} = \frac{v(P_2 - P_1)}{h_{2a} - h_1}$$

Kompresörde: $\eta_{k, \text{izon.}} \approx 0,75 - 0,85$ olabilir.

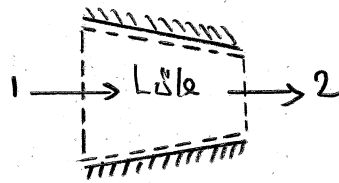
Pompalarda: $\eta_{p, \text{izon.}} \approx 0,85 - 0,90$ olabilir.

Araştır: Kompresörlerde izotermal verim nedir?

Lüle:

Enerji dengesi:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_q = \Delta \dot{E}_{\text{system}} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \dot{m}h_1 \quad \dot{m}h_2 \quad = 0 \text{ W (sürekli akış)} \\ \dot{m} \frac{V_1^2}{2} \quad \dot{m} \frac{V_2^2}{2} \quad (\Delta p_e: \text{ihmal}) \\ (\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2)$$



$$\dot{m} \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left(h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) \quad \text{Giriş } h_{2s}, V_1 \ll V_2 \\ V_1 \approx 0 \text{ m/s}$$

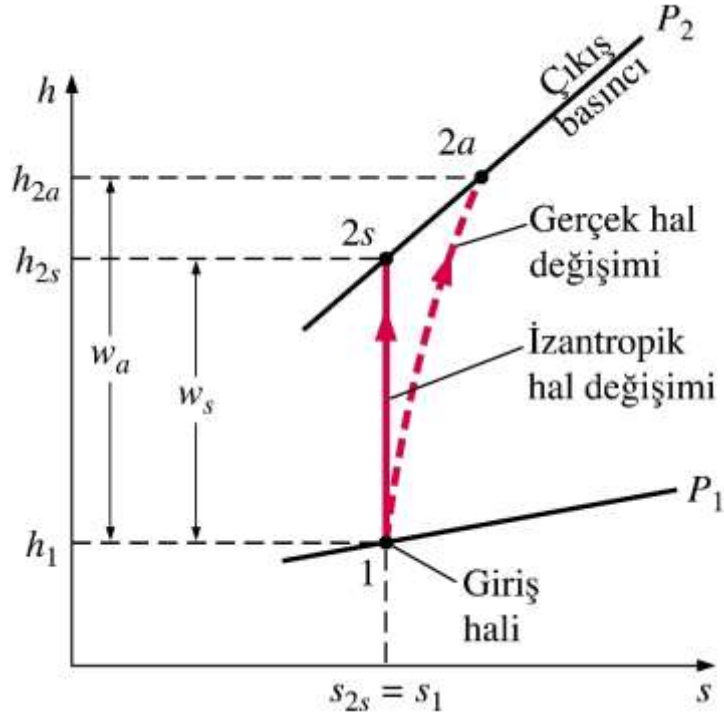
$$h_1 = h_2 + \frac{V_2^2}{2} \rightarrow h_1 - h_2 = \frac{V_2^2}{2}$$

$$h_1 - h_{2a} = \frac{V_{2a}^2}{2} \quad (\text{Gerçek durum})$$

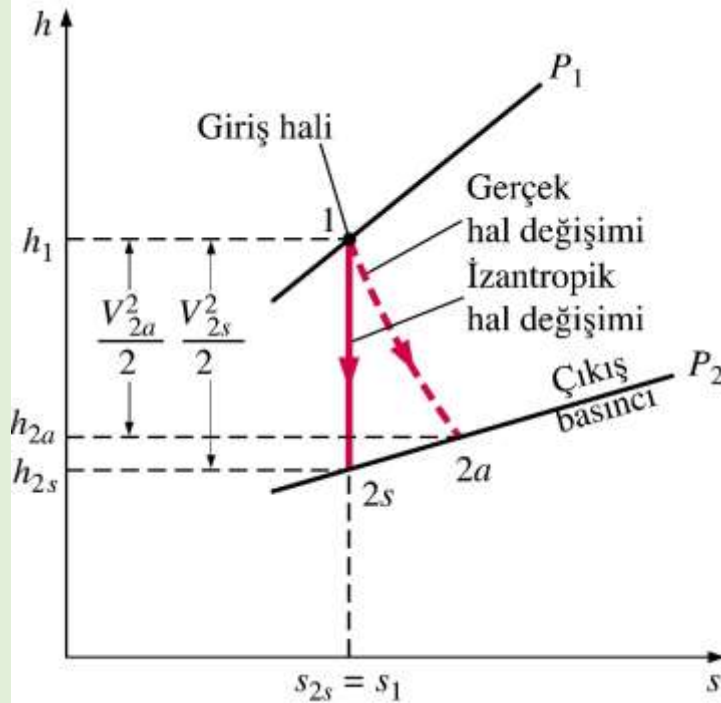
$$h_1 - h_{2s} = \frac{V_{2s}^2}{2} \quad (\text{İzotropik durum})$$

$$\text{İzotropik verim: } \eta_{L, \text{izon.}} = \frac{\text{Lüle girişindeki gerçek KE}}{\text{Lüle gir. izotropik KE}} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2}$$

$\eta_{L, \text{izon.}} \approx 0,90$ olabilir.



Adyabatik bir kompresörün gerçek ve izantropik hal değişimleri için h - s diyagramı



Adyabatik bir lülenin gerçek ve izantropik hal değişimleri için h - s diyagramı

Maddelerin basınç, sıcaklık, entalpi, entropi ve özgül hacim bağlantılarını gösteren grafiklere **Mollier diyagramları** denilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“Thermodynamics: An Engineering Approach”, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

“Termodinamiğin Temelleri”, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

“Principles of Engineering Thermodynamics”, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

“Engineering Thermodynamics”, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo1/termo1.html> sayfasında verilen “Termodinamik I” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

“Termodinamik I” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.

(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).