4. SIKIŞTIRILABİLEN AKIŞKANLAR

(Ref. e_makaleleri)

Akışkanlar dinamiğinin en önemli uygulamalarında yoğunluk değişiklikleri dikkate alınır. Sıkıştırılabilen akışkanlarda basınç, sıcaklık ve hız önemlidir. Sıkıştırılamayan akışkanlarda temel parametre Reynolds sayısı iken, sıkıştırılabilenlerde "Mach sayısı" dır; çok düşük olmayan yoğunluklarda ve yüksek hızlarda etkindir.

Mach sayısı N_{Ma} ile gösterilir ve akışkan hızının (u), akışkandaki (akış koşullarında) ses hızına (a) oranı şeklinde tarif edilir.

$$N_{Ma} \frac{u}{a} \tag{27}$$

$N_{Ma} < 1$ ise akışkan subsonik, $N_{Ma} = 1$ ise sonik, $N_{Ma} > 1$ ise süpersoniktir. Sıkıştırılabilen akışkanda en ilginç sorunlar yüksek hız aralığında (süpersonik) görülür.

Sıkıştırılabilen akışkanlarla ilgili matematik modellerin çıkarılmasında bazı kabuller yapılır. Bunlar,

- akış yatışkındır,
- akış bir-boyutludur,
- bir kesitteki hız dalgalanması ihmal edilir, dolayısıyla a = b = 1 ve **V** = u,
- sürtünme sadece duvar kayması şeklindedir,
- şaft işi sıfırdır,
- ağırlık etkileri ihmal edilir düzeydedir ve mekanik-potansiyel enerji sıfırdır,
- akışkan sabit öz ısılı ideal bir gazdır.

Bu kabullerden hareket edilerek aşağıdaki temel bağıntılar kullanılır:

- Devamlılık eşitliği,
- Yatışkın-akış toplam-enerji dengesi,
- Mekanik enerji dengesi (duvar sürtünmesiyle),

- Ses hızı denklemi,
- ideal gaz denklemi.

Bu eşitliklerin her biri uygun şekillerde düzenlenir.

Devamlılık eşitliği

Denklem(12) logaritmik şekilde yazılır ve diferensiyali alınır.

$m = \rho\ u\ S = \text{sabit}$ (Denklem-12)

$\ln \rho + \ln S + \ln u = \text{sabit}$

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dS}{S} + \frac{du}{u} = 0 \qquad (28)$$

Toplam enerji dengesi

Yatışkın-akış toplam-enerji dengesi, potansiyel enerji ve şaft işi ihmal edilerek yazılır, diferensiyali alınır.

$$\frac{Q}{m} = H_b - H_a + \frac{u_b^2}{2\ g_c\ J} - \frac{u_a^2}{2\ g_c\ J}$$

$$\frac{dQ}{m} = dH + d\left(\frac{u^2}{2\ g_c\ J}\right) \qquad (29)$$

Mekanik enerji dengesi

Denklem(24) diferensiyal şekilde yazılır ve potansiyel enerji terimleri ihmal edilir; $\alpha_a = \alpha_b = 1.0$, $u = \mathbf{V}$ ve sürtünme sadece duvar kaymasıdır. Bu durumda,

$$\frac{dp}{\rho} + d\left(\frac{u^2}{2\ g_c}\right) + dh_{fs} = 0 \qquad (30a)$$

$$h_{fs} = f\frac{\Delta L}{\rho_H}\frac{\mathbf{V}^2}{2\ g_c}$$ olduğundan,

$$dh_{fs} = \frac{u^2}{2\ g_c}\frac{f\ dL}{\rho_H} \qquad (30b)$$

Denklem(30a) ve (30b) den dh_{fs} ler götürülerek sıkıştırılabilen akışkanlar için mekanik enerji denklemi çıkarılır.

$$\frac{dp}{\rho} + d\left(\frac{u^2}{2\,g_c}\right) + \frac{u^2\ f\,dL}{2\,g_c\ \rho_H} = 0$$

Ses hızı

Sürekli bir malzeme (ortam) boyunca olan ses hızı (buna akustik, işitilebilir hız da denir), adyabatik ve sürtünmesiz, küçük bir dalga sıkışma-açılma hareketidir. Bir ses dalgasının hareketi, termodinamik yönden sabit entropili (isentropik) bir prosestir. Herhangi bir ortamda akustik hızın büyüklüğü (ft/sn) aşağıdaki eşitlikle verilir (alt S, işlemin isentropik olduğunu belirtir).

$$a = \sqrt{\ } g_c \left(\frac{dp}{d\rho}\right)_S \qquad (31)$$

İdeal gaz eşitlikleri

Yukarıda belirtilen kabullerden 1-6 arası ve Denklem(28)den (31)e kadarki eşitlikler, herhangi bir akışkan için doğrudur. Yoğunluğun (ρ) sabit olduğu kabul edildiğinde, bunlar sıkıştırılamayan akışkanlar için geçerlidir. Bu yorumları sıkıştırılabilen akışkanlara uygulayabilmek için yoğunluğun sıcaklık ve basınca bağlılığı dikkata alınmalıdır. En basit bağıntı ideal gaz kanunudur.

$$p = \frac{R_0}{M}\,\rho\,T \qquad (32)$$

R_0 = molal gaz sabiti (1545 ft.lb_f / lb mol. ^0F), M=molekül ağırlığı, ρ = yoğunluk (lb / ft^3)tur. Gaz saf veya bir karışım olabilir. Denklem(32) logaritmik şekilde yazılıp diferensiyali alındığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\frac{dp}{p} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dT}{T}$$

Öz (spesifik) ısı c_p, sıcaklığa bağlı olmadığından, T sıcaklığındaki gazın entalpisi,

$$H = H_0 + c_p\,(T - T_0) \qquad (33)$$

dır. H = entalpi (btu / lb), T = sıcaklık (^0R), H_0 = T_0 sıcaklığındaki entalpidir. Bu eşitliğin diferensiyal hali,

$dH = c_p\,dT$ dir.

İdeal bir gaz için,

$$\gamma \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_p}{c_p - (R_0 / M\,J)} \qquad (34)$$

c_p sıcaklığa bağlı olmadığından c_v ve γ da sıcaklıktan bağımsız miktarlardır.

Akustik ses hızı (a), ideal gaz kanunu ile aşağıdaki şekilde verilir.

$$a = \sqrt{\frac{g_c\,\gamma\,p}{\rho}} = \sqrt{\frac{g_c\,\gamma\,T\,R_0}{M}} \qquad (35)$$

Bir gazın N_{Ma} değerinin karesi, Denklem(27) ve (35) ten çıkarılır.

$$N_{Ma}^2 = \frac{\rho\,u^2}{g_c\,\gamma\,p} = \frac{u^2}{g_c\,\gamma\,T\,R_0 / M} \qquad (36)$$

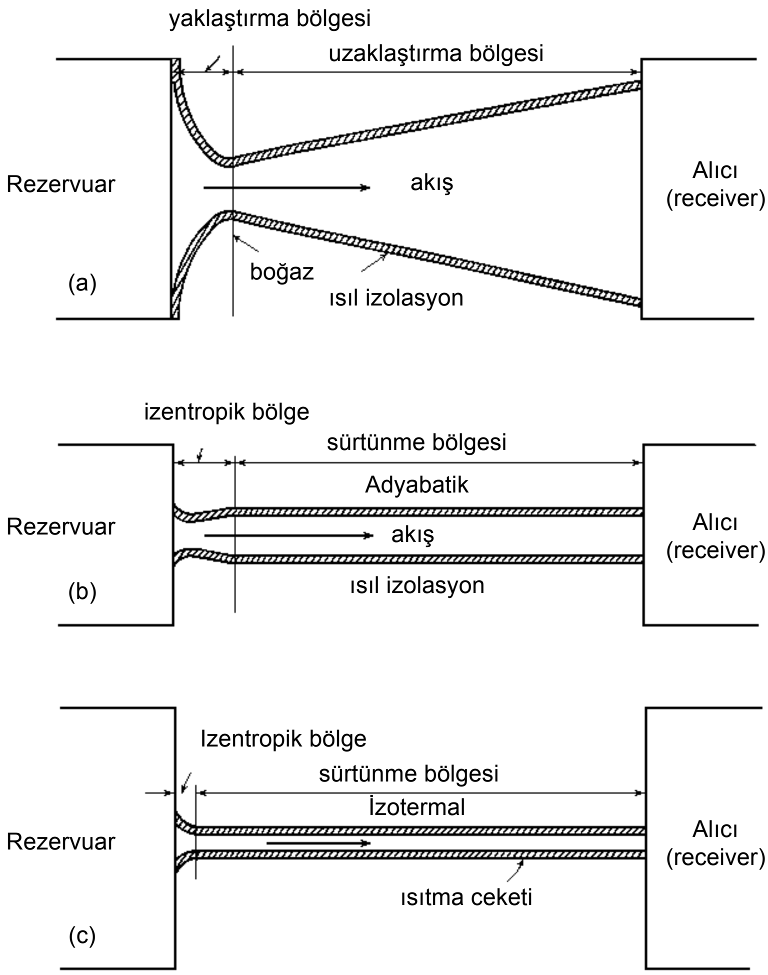
Akımın Sıkıştırılması

Çok büyük miktarda, belirli sıcaklık ve basınçtaki bir gazın sıkıştırılmasını inceleyelim (Şekil-.13).

Gazın başlangıç noktası rezervuardır; burada, sıcaklık ve basınç rezervuar koşullarındadır ve hız sıfırdır. Rezervuar sıcaklığı durgun haldeki değerdir ve akış sisteminde hiçbir noktayla aynı olamaz.

Rezervuardan akan gazın, girişte ve akım yolu boyunca sürtünmesiz hareket ettiği kabul ediliyor. Gaz akım yolunu geçip çıkışa (eksoz alıcı) geldiğinde belirli bir sıcaklık, basınç ve hızdadır; buradaki basınç sabittir ve rezervuardakinden küçüktür. Akış, aşağıdaki üç yolla olabilir.

- İsentropik genişleme: Bu proseste geçilen yolun kesit alanı değişmelidir. İşlem adyabatik olduğundan, yol boyunca sıcaklık değişmez (Şekil-.13a).
- Adyabatik sürtünmeli akış: Kesit alanı sabittir, değişmez. İşlem tersinmezdir (irreversibil) ve gazın entropisi artar fakat Q = 0 olduğundan, sıcaklık sabit kalır (Şekil-.13b).
- İzotermal sürtünmeli akış: Kesit alanı sabittir ve yol boyunca sıcaklık değişmez. Bu işlem non-adyabatik ve non-isentropiktir; rezervuar sıcaklığı proses sırasında T = sabit oluncaya kadar değişir (Şekil-.13c).



Şekil-.13: (a) Yaklaştırıcı-ayırıcı nozulda isentropik genişleme, (b) Adyabatik sürtünmeli akış, (c) izotermal sürtünmeli akış