

TERMODİNAMİK II

Ders02-B: İkinci Yasa Verimi

İKİNCİ YASA VERİMİ, η_{II}

Isı makinaları, soğutma makinaları, ısı pompaları gibi makinaların çalışma etkinliklerinin bir ölçüsü; *ısıl verim* ve *etkinlik katsayısı* olarak tanımlanabilir. Bu tanımlar birinci yasa gözönüne alınarak yapılabilir ve bu nedenle birinci yasa verimi olarak da bilinir. Birinci yasa verimi olabilecek en iyi ölçü olarak almaz, bu nedenle bazen yanlış değerlendirmelere yol açabilir.

Birinci yasa verimi, mühendislik sistemleri için tek başına bir başarı ölçüsü olarak ele alınamaz. Bu yetersizliği gidermek için **ikinci yasa verimi** η_{II} tanımlanmıştır. İkinci yasa verimi, gerçek ısıl verimin, aynı koşullarda olabilecek en yüksek (tersinir) ısıl verime oranıdır:

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{\text{ısıl}}}{\eta_{\text{ısıl, tr}}} \quad (\text{ısı makinaları})$$

İkinci yasa verimi, makinadan elde edilen yararlı iş çıktısının, elde edilebilecek en çok (tersinir) iş çıktısına oranı olarak da tanımlanabilir:

$$\eta_{II} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (\text{iş üreten makinalar})$$

Bu tanım daha geneldir, çünkü hal değişimlerine (türbinlere, piston-silindir ve benzeri düzeneklere) ve çevrimlere uygulanabilir. İkinci yasa veriminin %100'den daha büyük olamayacağı bilinmelidir.

İkinci yasa verimi, kompresörler ve soğutma makinaları gibi iş gerektiren makinalar için de tanımlanabilir. Bu durumda ikinci yasa verimi gerekli en az (tersinir) iş girişinin, yapılan yararlı iş girişine oranı olur:

$$\eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (\text{iş tüketen makinalar})$$

Soğutma makinası ve ısı pompası için ikinci yasa verimi, etkinlik katsayısıyla ifade edilebilir:

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} \quad (\text{soğutma makinası ve ısı pompaları})$$

İkinci yasa verimliliği tanımlama şekli nedeniyle %100 oranını aşamaz. Yukarıda verilen bağıntılarda, tersinir iş W_{tr} , gerçek hal değişimindeki gibi, aynı başlangıç ve bitiş halleri kullanılarak belirlenmelidir.

İkinci yasa verimi için ortaya konan bağıntılar iş üreten ve iş tüketen makinalar için tanımlandığı için bu tür bir amaca yönelik olmayan hal değişimlerini de kapsayacak daha

genel bir ikinci yasa veriminin tanımlanmasına gerek vardır. Fakat üzerinde görüş birliği sağlanmış genel bir ikinci yasa verimi tanımı yoktur. Kaynaklarda aynı sistem için farklı ikinci yasa verimi tanımlarına rastlanabilir, ikinci yasa verimini tanımlamaktaki amaç tersinir hal değişimlerine hangi ölçüde yaklaşıldığını belirtmektir. Bu bakımdan ikinci yasa veriminin değeri en kötü durumda sıfır (ekserjinin tamamen yok oluşu), en iyi durumda bir (ekserjinin tümüyle korunması) olacaktır. Bu düşünceyle ikinci yasa verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\eta_{II} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Sağlanan ekserji}} = 1 - \frac{\text{Ekserji yok oluşu}}{\text{Sağlanan ekserji}}$$

Bu nedenle ikinci yasa verimini belirlerken ilk yapılacak işlem, hal değişimi sırasında ne kadar ekserjinin veya iş potansiyelinin tüketildiğini hesaplamaktır. Tersinir bir hal değişimi sırasında, sağlanan ekserjinin tümünün sistemden elde edilmesi (geri kazanılması), başka bir deyişle tersinmezliğin sıfır olması gerekir. Sisteme sağlanan ekserjinin tümü hal değişimi sırasında yok olursa ikinci yasa verimi sıfır olacaktır. Bir sisteme ekserjinin ısı, iş, kinetik enerji, potansiyel enerji, iç enerji ve entalpi gibi değişik şekillerde ve çeşitli miktarlarda sağlanabileceği veya elde edilebileceği bilinmelidir. Bazen sisteme sağlanan ekserjinin tanımı konusunda farklı (fakat geçerli) düşünceler öne sürülmekte ve buna bağlı olarak farklı ikinci yasa verimleri önerilmektedir. Fakat sistemden elde edilen ekserji ile ekserji yok oluşu (tersinmezlik) toplamı her zaman sisteme sağlanan ekserjiye eşit olmak zorundadır. Ayrıca her zaman olduğu gibi sistemle çevre arasındaki etkileşimleri doğru belirleyebilmek için sistemin özenle tanımlanması gerekir.

Bir ısı makinasına sağlanan ekserji, makinaya sıcak kaynaktan verilen ısının ekserjisindeki azalmadır. Bu da makinaya verilen ısının ekserjisi ile makinanın düşük sıcaklıktaki ısı enerji deposuna verdiği ısının ekserjisi arasındaki farktır. (Isı çevreye veriliyorsa o zaman ekserjisi sıfırdır). Makinanın net iş çıktısı, makinadan elde edilen veya geri kazanılan ekserjidir.

Bir soğutma makinası veya ısı pompası için, sağlanan ekserji iş girişi W 'dir çünkü çevrim yapan düzenden sağlanan iş, tamamıyla kullanılabilir. Elde edilen ekserji ise, ısı pompası için sıcak ortama verilen ısının ekserjisi (tersinir iş), soğutma makinası için soğuk ortamdan çekilen ısının ekserjisidir.

Birbiriyle karışmayan iki akış arasındaki bir ısı değiştiricisi için, sağlanan ekserji, sıcak akışın ekserjisindeki azalmadır. Elde edilen veya geri kazanılan ekserji ise soğuk akışın ekserjisindeki artıştır.

Elektrikli dirençlerden oluşan bir ısıtma sisteminde, elektrik şebekesi kaynağından elektrik enerjisinin kullanıldığı dirençli ısıtıcıya doğru ekserjide bir azalma olacaktır. Elde edilen ekserji, odaya sağlanan ısının ekserji içeriğidir ki bu ısı, Carnot ısı makinası tarafından üretilen ıstır. Eğer ısıtıcı T_0 çevre sıcaklığında ve T_H sabit sıcaklığında hacmi ısıtıyorsa, elektrikli ısıtıcı için ikinci yasa verimliliği aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II, \text{elektrikli ısıtıcı}} = \frac{\dot{X}_{\text{elde edilen}}}{\dot{X}_{\text{sağlanan}}} = \frac{\dot{X}_{\text{ısı}}}{\dot{W}_e} = \frac{\dot{Q}_e(1 - T_0/T_H)}{\dot{W}_e} = 1 - \frac{T_0}{T_H}$$

Birinci yasa gereği $\dot{Q}_e = \dot{W}_e$ olacaktır. ısıtıcı açık alanda ise (radyant ısıtıcılarda olduğu gibi), elektrikli ısıtıcının ikinci yasa verimliliğinin sıfır olacağı dikkate alınmalıdır. Yani, çevreye verilen ısının ekserjisi tekrar kazanılabilir olmayacaktır.

SÜREKLİ AKIŞLI DÜZENEKLERİN İKİNCİ YASA VERİMLİLİĞİ, η_{II}

Çeşitli sürekli akışlı düzeneklerin *ikinci yasa verimleri*, genel tanım olan $\eta_{II} = (\text{elde edilen ekserji}) / (\text{sağlanan ekserji})$ bağıntısından belirlenebilir. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri gözardı edildiği zaman, *adyabatik türbinin* ikinci yasa verimi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II, \text{türbin}} = \frac{w}{w_{tr}} = \frac{h_1 - h_2}{\Psi_1 - \Psi_2} \quad \text{veya} \quad \eta_{II, \text{türbin}} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{\Psi_1 - \Psi_2}$$

Burada sürekli akış için $\dot{S}_{\text{üretim}} = s_2 - s_1$ olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerjiler gözardı edilirse, bir *adyabatik kompresör* için ikinci yasa verimi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II, \text{kompresör}} = \frac{w_{tr, \text{giren}}}{w_{\text{giren}}} = \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{h_2 - h_1} \quad \text{veya} \quad \eta_{II, \text{kompresör}} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{h_2 - h_1}$$

Burada yine, $\dot{S}_{\text{üretim}} = s_2 - s_1$ olmaktadır.

Akışların karışmadığı iki akışlı *adyabatik ısı değiştiricisi* için sağlanan ekserji, sıcak akışın ekserjisindeki azalmadır ve elde edilen ekserji ise, soğuk akış sıcaklığı çevre sıcaklığının altında olmamak koşuluyla, soğuk akışın ekserjisindeki artıştır. Bu durumda ısı değiştirici için ikinci yasa verimi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II, \text{ısı değiştirici}} = \frac{\dot{m}_{\text{soğuk}} (\Psi_4 - \Psi_3)}{\dot{m}_{\text{sıcak}} (\Psi_1 - \Psi_2)} \quad \text{veya} \quad \eta_{II, \text{ısı değiştirici}} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{\dot{m}_{\text{sıcak}} (\Psi_1 - \Psi_2)}$$

Burada $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}_{\text{sıcak}} (s_2 - s_1) + \dot{m}_{\text{soğuk}} (s_4 - s_3)$ olmaktadır. Isı değiştiricisi *adyabatik* değilse analizin nasıl yapılacağı sorusu merak edilebilir, bu durumda ısı değiştiricisinden T_0 sıcaklığındaki çevreye ısı geçişi olacaktır. Eğer sistem sınırının (ısı değiştiricisinin dış yüzeyinin) sıcaklığı T_s , T_0 sıcaklığına eşit ise yukarıdaki tanımlar geçerliliğini koruyacaktır (ancak ikinci tanımda entropi üretimi teriminde bir düzeltme yapmak gerekir). Bununla birlikte, $T_s > T_0$ ise, sınırdaki ısı kaybının ekserjisi, geri kazanılan ekserjiye eklenmelidir. Uygulamada bu ekserjiden yararlanılması düşünülmez ve yok olmasına göz yumulur, bu yok oluşun ısı değiştiricisinin sınırları dışında olduğu bilinmelidir. Eğer sadece düzenek sınırları içindeki ekserji yok oluşu değil de yapılan işlem sırasında oluşan toplam ekserji yok oluşu hesaplanmak istenirse o zaman *genişletilmiş bir sistemi* gözönüne almak gerekir. Bu sistem, sınırları T_0 sıcaklığında olacak şekilde seçilmelidir. Genişletilmiş sistemin ikinci yasa verimi, düzenek sınırları içinde ve dışında oluşan tersinmezlikleri gözönüne alacaktır.

Soğuk akışın sıcaklığı, değiştirici boyunca çevre sıcaklığının altındaysa ilginç bir durum ortaya çıkar: Soğuk akışın ekserjisi artacağı yerde azalır. Bu durumda çıkan akışların ekserjilerinin toplamı ile giren akışların ekserjilerinin toplamının oranı için, ikinci yasa verimi yeniden tanımlanmalıdır.

Sıcak akış 1 ile soğuk akış 2'nin karışarak 3 akışını oluşturduğu *adyabatik karışma odası* için sağlanan ekserji, sıcak ve soğuk akışların ekserjilerinin toplamıdır ve geri kazanılan ekserji

ise karışımın ekserjisidir. Bu durumda karışma odası için ikinci yasa verimi aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$\eta_{II, \text{karışım}} = \frac{\dot{m}_3 \Psi_3}{\dot{m}_1 \Psi_1 + \dot{m}_2 \Psi_2} \quad \text{veya} \quad \eta_{II, \text{karışım}} = 1 - \frac{T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}}{\dot{m}_1 \Psi_1 + \dot{m}_2 \Psi_2}$$

Burada $\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$ ve $\dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_1 s_1$ olarak yazılabilir.

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