



## Dimensional Unit Analysis Applications for Heat Pipe Design

\*Emin Taner ELMAS

Assistant Professor Dr., Vocational School of Higher Education for Technical Sciences, Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Department of Automotive Technology, Iğdır University, Turkey & Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences, Iğdır University, Turkey

DOI: [10.5281/zenodo.13741540](https://doi.org/10.5281/zenodo.13741540)

Submission Date: 26 July 2024 | Published Date: 10 Sept. 2024

### \*Corresponding author: Emin Taner ELMAS

Assistant Professor Dr., Vocational School of Higher Education for Technical Sciences, Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Department of Automotive Technology, Iğdır University, Turkey & Graduate School of Natural and Applied Sciences - Major Science Department of Bioengineering and Bio-Sciences, Iğdır University, Turkey-76000

### Abstract

This article explains the dimensional unit analysis applications used for heat pipe design.

Heat pipe: It is a two-phase, closed, heat transfer device with high heat transfer capability. While it can be made classically in a circular shape (pipe type), it can also be made in planar or many different shapes. The heat pipe essentially consists of a closed, air-emptied chamber containing some working fluid. A suitable wick is placed on the chamber wall to regulate the flow of the working fluid.

During operation, the heat in the evaporator area evaporates some of the working liquid and in a short time the interior of the chamber becomes saturated with pure vapor. Since the chamber wall in the condenser region will be relatively cold due to heat withdrawal from the system, condensation begins in this region.

The condensed liquid particles return to the evaporator and the cycle is completed. Gravitational force or capillary, centrifugal, osmotic, magnetic, etc. forces are used to bring the condensed fluid back to the evaporator. The most commonly used method is to take advantage of capillary forces.

The fluid, which transforms from gas phase to liquid phase by giving up its latent heat in the condenser, is returned to the evaporator with the help of a wick with a porous structure in the heat pipes. This porous structure can be knitted or woven materials from a separate material, or it can be a groove-shaped mechanically formed on the inner surface of the heat pipe, or a porous structure produced by powder metallurgy. Depending on the operating conditions, many different fluids can be used as heat carrier fluids through phase transformation in the heat pipe.

The most commonly used fluids at medium temperatures are water, methanol, ammonia and other refrigerants. Aluminum, copper, steel, ceramics or other materials that can work in harmony with the working fluid used, depending on the operating conditions, can also be used as heat pipe materials.

Heat pipes can be manufactured in a wide temperature range, in different sizes, in fixed or flexible shapes, cylindrical, planar, rotational or in accordance with the place of use and purpose. It is possible to use heat pipes and systems in many other industrial applications, from cooling computer CPUs to nuclear power plants, from their use in spacecraft to the electronics industry, from controlling various processes to solar energy applications, air conditioning facilities and many other industrial applications. In addition, it can be used in both air conditioning systems and in the design and application of systems that provide heat recovery from high-temperature waste exhaust gases. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33]

**Keywords:** Heat Pipe, Heat Pipe Design, Dimensional Unit Analysis, Capillary Limit, Viscous Limit, Sonic Limit, Entrainment Limit, Boiling Limit, Condenser Limit.

## Introduction & Method, Findings and Discussion & Conclusion

Isı borusu için güç-kapasite değerinin belirlenmesi hesaplarında kullanılacak en temel eşitlik aşağıda belirtilmektedir.

$$\Delta P_c = \Delta P_v + \Delta P_l + \Delta P_g$$

olmak üzere,

$\Delta P_c$ , kapiler (kılcal) etki nedeni ile meydana gelen basınç düşümü,

$\Delta P_v$ , buharın evedoratörden kondensere olan akışını sağlayan basınç düşümü,

$\Delta P_l$ , sıvının kondenserden evaporatöre dönüşü için gerekli basınç düşümü,

$\Delta P_g$ , yerçekimi yükü nedeni ile oluşan basınç düşümü,

Her bir parametre aşağıda belirtilen eşitlikler ile ifade edilir ise;

$$\Delta P_c = \frac{2 \sigma \cos \theta}{r_e}$$

$$\Delta P_v = \frac{8 \mu_v \dot{m}}{\rho_v \pi r_v^4} \left[ \frac{l_e + l_c}{2} + l_a \right]$$

$$\Delta P_l = \frac{\mu l_{eff} \dot{m}}{\rho_l K A_w} \quad (\text{Dary Yasası})$$

$$\Delta P_g = \rho_l g l_{eff} \sin \phi$$

$$Q_{maks} = \dot{m}_{maks} \times L$$

$L = (h_{sb})$  Buharlaştırma gizli ısısı

$$\Delta P_c = \Delta P_v + \Delta P_l + \Delta P_g$$

İlk önce  $\Delta P_v$  ihmal edilerek eşitlik oluşturulur ise (bir sonraki adımda  $\Delta P_v$  hesaba dahil edilecektir) aşağıdaki durum elde edilecektir.

$\Delta P_c = \Delta P_v + \Delta P_l + \Delta P_g$  eşitliğinden; ( $\Delta P_v$  ihmal edilerek)

$$\frac{2 \sigma \cos \theta}{r_e} = \frac{\mu l_{eff} Q_{maks}}{\rho_l K A_w L} + \rho_l g l_{eff} \sin \phi$$

Yukarıdaki eşitlikte  $Q_{maks} = \dot{m}_{maks} L$  denkleminde de yararlanılarak kütleli debi ifadesi oluşturulur ise,

$$\frac{2 \sigma \cos \theta}{r_e} = \frac{\mu l_{eff} \dot{m}}{\rho_l K A_w} + \rho_l g l_{eff} \sin \phi$$

$$\frac{\mu l_{eff} \dot{m}}{\rho_l K A_w} = \frac{2 \sigma \cos \theta}{r_e} - \rho_l g l_{eff} \sin \phi$$

$$\dot{m} = \frac{\rho_l K A_w}{\mu l_{eff}} \left\{ \left[ \frac{2 \sigma \cos \theta}{r_e} \right] - \left[ \rho_l g l_{eff} \sin \phi \right] \right\}$$

$$l_{eff} = l_a + \frac{l_e + l_c}{2}$$

$K$  Geçirgenlik değeri, ( $m^2$ )

$$L = (h_{sb}) \text{ Buharlaşma gizli ısısı, } \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$A_w \quad \text{Fıtıl kesit alanı, } (m^2)$$

$$l_a \quad \text{Adyabatik bölge uzunluęu, } (m)$$

$$l_c \quad \text{Kondenser bölgesi uzunluęu, } (m)$$

$$l_e \quad \text{Evaporatör bölgesi uzunluęu, } (m)$$

$$l_{eff} \quad \text{Etketif boy (ısı borusu boyu), birimi } (m)$$

$$\dot{m} \quad \text{Isı borusu içerisindeki akışkanın kütleel debisi, } \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$$r_c \quad (r, r_c, r_e, r_{eff}) \text{ etketif gözenek yarıçapı (fıtıl gözeneklerinin etketif yarıçapı), } (m)$$

$$g \quad \text{Yerçekimi ivmesi, } \left[ \frac{m}{s^2} \right]; (9.81 \frac{m}{s^2})$$

$$\sigma \quad \text{Sıvı – buhar ara-yüzü yüzey gerilimi (sıvı yüzey gerilimi), } \left[ \frac{N}{m} \right] \text{ ya da } \left[ \frac{kg}{s^2} \right]$$

$$\rho_l \quad \text{Sıvı özgül kütleli, } \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\theta \quad \text{Temas açısı, } (^\circ)$$

$$\phi \quad \text{Isı borusunun yatay eksen ile eğimini gösteren açı, } (^\circ)$$

$$\mu \quad \text{Sıvı fazı için dinamik viskozite, } \left[ \frac{kg}{ms} \right] \text{ ya da } \left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$$

$\mu$  , dinamik viskoziteyi temsil etmekte olup birim dönüşümü ve analizi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$1 \text{ poise} = 100 \text{ centipoise} = 1 \text{ g.cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = 0.1 \text{ Pa.s}$$

$$1 \text{ centipoise} = 0.001 \text{ Pa.s}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$1 \text{ N} = 1 \left[ \frac{kg \cdot m}{s^2} \right]$$

$$1 \text{ cp} = 0.001 \left[ \frac{N}{m^2} \right] \times s$$

$$1 \text{ cp} = 0.001 \left[ \frac{kg \cdot m}{s^2} \right] \times \left[ \frac{1}{m^2} \right] \times s$$

$$1 \text{ cp} = 0.001 \left[ \frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

$$\dot{m}_{maks} = \frac{\rho_l K A_w}{\mu l_{eff}} \left\{ \left[ \frac{2\sigma \cos\theta}{r_c} \right] - \left[ \rho_l g l_{eff} \sin\phi \right] \right\}$$

İlgili ifade için birim analizi aşağıdaki gibi yapılacaktır;

$$\begin{aligned}
&= \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{m^3} m^2 m^2 \\ \frac{kg}{m s} m \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{s^2} - \frac{kg}{m^3} \frac{m}{s^2} m \end{array} \right] \\
&= \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{m^3} m^4 \\ \frac{kg}{s} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{s^2 m} - \frac{kg m^2}{m^3 s^2} \end{array} \right] \\
&= \left[ \begin{array}{c} \frac{kg m}{kg} \\ s \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{m s^2} - \frac{kg}{m s^2} \end{array} \right] \\
&= \left[ \begin{array}{c} \frac{kg m}{1} \times \frac{s}{kg} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{m s^2} \end{array} \right] \\
&= \left[ \begin{array}{c} \frac{kg m s}{kg} \times \frac{kg}{m s^2} \end{array} \right] \\
&= \left[ \begin{array}{c} \frac{kg}{s} \end{array} \right] \text{ kütleli debi birimi olarak elde edilmektedir.}
\end{aligned}$$

Yukarıdaki hesaplamada ihmal edilmiş olan  $\Delta P_v$  değerini de işleme dahil ederek daha gerçekçi bir sonuca ulaşmak amacı ile kütleli debi ifadesi yeniden düzenlenecek olur ise;

Genel ifade olarak kullanılan;  $\Delta P_c = \Delta P_v + \Delta P_l + \Delta P_g$  eşitliğinden;

$$\left[ \frac{2\sigma \cos \theta}{r_c} \right] = \left\{ \left[ \frac{8\mu_v \dot{m}}{\rho_v \pi r_v^4} \right] \left[ \frac{l_e + l_c}{2} + l_a \right] \right\} + \left[ \frac{\mu l_{eff} \dot{m}}{\rho_l K A_w} \right] + [\rho_l g l_{eff} \sin \phi]$$

$$l_{eff} = l_a + \frac{l_e + l_c}{2} \text{ olmak üzere}$$

$$\left[ \frac{2\sigma \cos \theta}{r_c} \right] = \left[ \frac{8\mu_v \dot{m} l_{eff}}{\rho_v \pi r_v^4} \right] + \left[ \frac{\mu l_{eff} \dot{m}}{\rho_l K A_w} \right] + [\rho_l g l_{eff} \sin \phi]$$

$$\left[ \frac{2\sigma \cos \theta}{r_c} \right] = \dot{m} \left\{ \left[ \frac{8\mu_v l_{eff}}{\rho_v \pi r_v^4} \right] + \left[ \frac{\mu l_{eff}}{\rho_l K A_w} \right] \right\} + [\rho_l g l_{eff} \sin \phi]$$

$$\dot{m} = \frac{1}{\left\{ \left[ \frac{8\mu_v l_{eff}}{\rho_v \pi r_v^4} \right] + \left[ \frac{\mu l_{eff}}{\rho_l K A_w} \right] \right\}} \times \left\{ \left[ \frac{2\sigma \cos \theta}{r_c} \right] - [\rho_l g l_{eff} \sin \phi] \right\}$$

Viskoz limit hesabı için kullanılacak eşitlikler aşağıda tanımlanmaktadır;

$$q_v = \left[ \frac{r_v^2 L \rho_v P_v}{16 \mu_w l_{eff}} \right] \left[ 1 - \frac{P_{v,c}^2}{P_v^2} \right]$$

$$P_{v,c}, \text{ kondenserdeki buhar basıncı, Pa } \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$P_v, \text{ buhar doyma basıncı, Pa } \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

olmak üzere,

$$\frac{P_{v,c}}{P_v} \approx 0.3 \quad (\text{Buse, 1973})$$

Viskoz limite çoğunlukla bu durumda erişilmektedir.

Kondenser bölgesi kapama kepindeki (kondenser sonundaki) basınç sıfıra yaklaştıkça viskoz ısı transfer limitine ulaşılır.

Bu ifade matematiksel olarak gösterilecek olur ise;

$$\frac{P_{v,c}}{P_v} = 0 \text{ olacaktır.}$$

Bu durumda,

$$q_v = \left[ \frac{r_v^2 L \rho_v P_v}{16 \mu_w l_{eff}} \right] [1 - 0]$$

$$q_v = \left[ \frac{r_v^2 L \rho_v P_v}{16 \mu_w l_{eff}} \right] [1]$$

$$q_v = \frac{r_v^2 L \rho_v P_v}{16 \mu_w l_{eff}} \quad [\text{viskoz limit ısı akısı}]$$

ya da aynı eşitlik aşağıdaki gibi de düzenlenebilir,

$$q_v = \frac{D_v^2 L \rho_v P_v}{64 \mu_w l_{eff}} \quad [\text{viskoz limit ısı akısı}]$$

$Q_v = q_v \times A_v$  olduğundan,

$$Q_v = \frac{A_v r_v^2 L \rho_v P_v}{16 \mu_v l_{eff}} \quad [\text{viskoz limit ısı miktarı}]$$

Yukarıda viskoz limit için tanımlanan  $q_v$  ve  $Q_v$  değerleri için birim analizi yapmakta fayda vardır.

$q_v$  için birim analizi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$q_v = \left[ \frac{m^2 \frac{kJ}{kg} \frac{kg}{m^3} \frac{N}{m^2}}{16 \frac{Ns}{m^2} m} \right]$$

$$q_v = \left[ \frac{\frac{kJ}{m^3}}{\frac{ms}{m^2}} \right] = \left[ \frac{\frac{kJ}{m^3}}{\frac{s}{m}} \right]$$

$$q_v = \left[ \frac{kJ}{m^3} \times \frac{m}{s} \right] = \left[ \frac{kJ}{m^2 s} \right]$$

$$q_v = \left[ \frac{kW}{m^2} \right] \text{ olarak elde edilmektedir.}$$

Bu durumda  $Q_v$  için birim analizi düzenlendiğinde

$Q_v = q_v \times A_v$  eşitliği ile

$$Q_v = \left[ \frac{kW}{m^2} \right] \times [m^2]$$

$Q_v = [kW]$  şeklindedir.

$q_v$ , viskoz limit ısı akısı,  $\frac{kW}{m^2}$

$Q_v$ , viskoz limit ısı miktarı,  $kW$

$r_v$ , buhar boşluğu yarıçapı,  $m$

$L$ , Buharlaşma gizli ısı,  $\frac{kJ}{kg}$

$\rho_v$ , buhar özgül kütlesi,  $\frac{kg}{m^3}$

$P_v$ , buhar doyma basıncı, Pa  $\left[ \frac{N}{m^2} \right]$

$A_v$ , buhar boşluğu kesit alanı,  $m^2$

$\mu_v$ , buhar fazı için dinamik viskozite,  $\left[ \frac{kg}{ms} \right]$  ya da  $\left[ \frac{Ns}{m^2} \right]$

$l_{eff}$ , efektif boy,  $m$

olarak tanımlanmakta olup, öncelikle  $A_v$ , buhar boşluğu kesit alanının tespiti yapılacak olur ise;

$$A_v = \frac{\pi D_v^2}{4}$$

$D_v$ , buhar boşluğu çapı olmak üzere,

$$D_v = 2 \times r_v$$

$\Delta P_v$  için birim analizi yapılacak olur ise;

$$\Delta P_v = \left[ \frac{\frac{Ns}{m^2} \frac{kg}{s} m}{\frac{kg}{m^3} m^4} \right]$$

$$\Delta P_v = \left[ \frac{\frac{N \ kg}{m}}{\frac{kg \ m}{1}} \right] = \left[ \frac{N \ kg}{m} \frac{1}{kg \ m} \right]$$

$$\Delta P_v = \left[ \frac{N}{m^2} \right], \quad [Pa]$$

Sonik limit hesabı için kullanılacak eşitlik aşağıda verilmiştir;

$$Q_s = \frac{A_v \rho_v c_o L}{\sqrt{2(\gamma+1)}}, \quad \text{sonik limit ısı miktarı, } kW$$

sonik limit için kullanılacak diğer bir ifade ise aşağıdaki gibi olmaktadır;

$$Q_s = A_v \rho_v L \sqrt{\frac{\gamma R_v T_v}{2(\gamma+1)}}$$

$$q_s = \rho_v L \sqrt{\frac{\gamma R_v T_v}{2(\gamma+1)}}, \quad \text{sonik limit ısı akısı, } \frac{kW}{m^2}$$

$$Q_s = \frac{A_v \rho_v c_o L}{\sqrt{2(\gamma+1)}} = A_v \rho_v L \sqrt{\frac{\gamma R_v T_v}{2(\gamma+1)}}$$

$$Q_s = \frac{A_v \rho_v c_o L}{\sqrt{2(\gamma+1)}} = A_v \rho_v L \left[ \frac{\gamma R_v T_v}{2(\gamma+1)} \right]^{1/2}$$

$$R_v = \frac{R_o}{M_w}$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

Bu kısımdaki yeni parametreler aşağıda tanımlanmıştır;

$Q_s$  , sonik limit ısı miktarı,  $kW$

$q_s$  , sonik limit ısı akısı,  $\frac{kW}{m^2}$

$c_o$  , ısı borusu çalışma koşulları için ses hızı,  $\frac{m}{s}$

$\gamma$  (k), izentropik üs,  $\frac{c_p}{c_v}$  özgül ısıların oranı , boyutsuz

$c_p$  , sabit basınçtaki özgül ısı,  $\frac{J}{kg - K}$

$c_v$  , sabit hacimdeki özgül ısı,  $\frac{J}{kg - K}$

$R_o$  , universal gaz sabiti,  $8.3143 \frac{kJ}{kmol - K}$

$R_v$  , kullanılan akışkan için gaz sabiti,  $\frac{kJ}{kg - K}$

$T_v$  , ısı borusu için iş yapan akışkanın sıcaklığı olup, birimi °K'dir.

$M_w$  , gazın moleküler kütlesi,  $\frac{kg}{kmol}$

Bu aşamada hesaplama için kullanılacak ifade aşağıdaki gibidir;

$$Q_s = \frac{A_v \rho_v c_o L}{\sqrt{2(\gamma+1)}}$$



Söz konusu ifade için birim analizi yapılacak olur ise;

$$Q_s = \left[ m^2 \frac{kg}{m^3} \frac{m}{s} \frac{kJ}{kg} \right]$$

$$Q_s = \left[ \frac{kJ}{s} \right] = [ kW ]$$

Köpürme limiti hesabı için kullanılacak eşitlik aşağıda verilmiştir;

$$Q_{ent} = \pi r_v^2 L \sqrt{\frac{2 \pi \rho_v \sigma}{W}} \quad , \quad \text{köpürme limiti ısı miktarı, } kW$$

$$A_v = \pi r_v^2$$

olmak üzere denklem tekrar düzenlenecek olur ise;

$$Q_{ent} = A_v L \sqrt{\frac{2 \pi \rho_v \sigma}{W}}$$

$$q_{ent} = \sqrt{\frac{2 \pi \rho_v L^2 \sigma}{W}} \quad \text{ya da,}$$

$$q_{ent} = L \sqrt{\frac{2 \pi \rho_v \sigma}{W}} \quad , \quad \text{köpürme limiti ısı akısı, } \frac{kW}{m^2}$$

Bu kısımdaki yeni parametreler aşağıda tanımlanmıştır;

$$Q_{ent} \quad , \quad \text{köpürme limiti ısı miktarı, } kW$$

$$q_{ent} \quad , \quad \text{köpürme limiti ısı akısı, } \frac{kW}{m^2}$$

Söz konusu ifade için birim analizi yapılacak olur ise;

$$Q_{ent} = A_v L \sqrt{\frac{2 \pi \rho_v \sigma}{W}}$$

$$Q_{ent} = \left[ m^2 \frac{kJ}{kg} \sqrt{\frac{\frac{kg}{m^3} \frac{N}{m}}{m}} \right]$$

$$N = \left[ kg \frac{m}{s^2} \right] \quad \text{olmak üzere yerine konur ise,}$$

$$Q_{ent} = \left[ m^2 \frac{kJ}{kg} \sqrt{\frac{\frac{kg}{m^3} \frac{kg}{s^2} \frac{m}{m}}{m}} \right]$$

$$Q_{ent} = \left[ m^2 \frac{kJ}{kg} \sqrt{\frac{kg^2}{m^3 s^2} \frac{1}{m}} \right]$$

$$Q_{ent} = \left[ m^2 \frac{kJ}{kg} \sqrt{\frac{kg^2}{m^4 s^2}} \right]$$

$$Q_{ent} = \left[ m^2 \frac{kJ}{kg} \frac{kg}{m^2 s} \right]$$

$$Q_{ent} = \left[ \frac{kJ}{s} \right] = [ kW ]$$

Kaynama limiti hesabı için kullanılacak eşitlik aşağıda verilmiştir;

$$Q_b = \frac{2 \times \pi \times l_e \times k_{eff} \times \Delta T_{krit}}{\ln(r_i / r_v)}$$

$$\Delta T_{krit} = T_w - T_v$$

$k_{eff}$  hesabı için;

$$k_{eff} = \frac{k_l \times \left[ (k_l + k_w) - (1 - \varepsilon) \times (k_l - k_w) \right]}{\left[ (k_l + k_w) + (1 - \varepsilon) \times (k_l - k_w) \right]}$$

Bu kısımdaki yeni parametreler aşağıda tanımlanmıştır;

$Q_b$  , kaynama limiti ısı miktarı,  $kW$

$q_b$  , kaynama limiti ısı akısı,  $\frac{kW}{m^2}$

$k_{eff}$  , fitil için efektif ısı iletkenlik,  $\frac{W}{mK}$  ya da  $\frac{W}{mC}$

$T_w$  , ısı borusu cidar sıcaklığı, K ya da  $C^\circ$

$\Delta T_{krit}$  , kritik sıcaklık farkı olup, ısı borusu cidar sıcaklığı ile boru içerisindeki iş yapan akışkanın sıcaklığı arasındaki farkı göstermektedir, K ya da  $C^\circ$

$r_i$  , ısı borusu iç yarıçapı, m

$k_l$  , ısı borusu iş yapan akışkanının sıvı ısı iletkenliği,  $\frac{W}{mK}$  ya da  $\frac{W}{mC}$

$k_w$  , fitil malzemesi ısı iletkenliği,  $\frac{W}{mK}$

Söz konusu eşitlikler için birim analizi yapılacak olur ise;

Öncelikle fitil için efektif ısı iletkenlik ifadesi ele alınır ise;

$$k_{eff} = \frac{k_l \times \left[ (k_l + k_w) - (1 - \varepsilon) \times (k_l - k_w) \right]}{\left[ (k_l + k_w) + (1 - \varepsilon) \times (k_l - k_w) \right]}$$

Bu durumda  $k_{eff}$  değerinin diğer ısı iletkenlik değerleri ile aynı birime sahip olacağı aşikardır.

Yani  $k_{eff}$  değerinin birimi  $\frac{W}{mK}$  ya da  $\frac{W}{mC}$  şeklinde olacaktır.

Kaynama limiti hesabı için kullanılacak genel eşitlik ele alındığında ise;

$$Q_b = \frac{2 \times \pi \times l_e \times k_{eff} \times \Delta T_{krit}}{\ln(r_i / r_v)}$$

$$Q_b = \left[ \frac{m \frac{W}{mC} C}{\frac{m}{m}} \right]$$

$$Q_b = [ W ] \text{ olmaktadır.}$$

Kondenser limiti hesabı için kullanılacak eşitlikler aşağıda verilmiştir;

$$Q_{con} = Q_{konv} + Q_{rad}$$

genel ifadesi aşağıdaki gibi iki parçaya ayrılır ise;

$$Q_{konv} = S_c \times h_c \times (T_c - T_\infty)$$

$$Q_{rad} = \varepsilon \times S_c \times \sigma \times (T_c^4 - T_d^4)$$

$$S_c = 2 \times \pi \times r_d \times l_c$$

Bu durumda ilgili ifadeler yeniden düzenlenir ise;

$$Q_{konv} = 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times h_c \times (T_c - T_\infty)$$

$$Q_{rad} = 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times \varepsilon \times \sigma \times (T_c^4 - T_d^4)$$

olarak elde edilirler.

Genel ifade  $Q_{con} = Q_{konv} + Q_{rad}$  şeklinde idi.

Yukarıdaki kısmi denklemler genel ifadede yerlerine konacak olur ise;

$$Q_{con} = \left\{ \left[ 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times h_c \times (T_c - T_\infty) \right] + \left[ 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times \epsilon \times \sigma \times (T_c^4 - T_d^4) \right] \right\}$$

Bu kısımdaki yeni parametreler aşağıda tanımlanmıştır;

$Q_{con}$  , kondenser limiti ısı miktarı,  $kW$

$Q_{konv}$  , kondenser limit için konvektif ısı miktarı,  $kW$

$Q_{rad}$  , kondenser limit için radyatif ısı miktarı,  $kW$

$S_c$  , kondenser bölgesi ısı transfer yüzey alanı,  $m^2$

$h_c$  , kondenser bölgesi dış yüzeyi ile hava arasındaki konveksiyon ısı transfer katsayısı,  $W/m^2K$

$\sigma$  , Stefan - Boltzmann sabiti ,  $W/m^2K^4$

$\epsilon$  , kondenser dış yüzeyinin emisivitesi, boyutsuz

$T_\infty$  , reküperatör hava tarafı sıcaklığı,  $C^\circ$ , K

$T_c$  , kondenser bölgesi dış yüzey sıcaklığı,  $C^\circ$ , K

$T_d$  , reküperatör hava tarafı gövde kasası yüzey sıcaklığı,  $C^\circ$ , K

$r_d$  , boru dış yarıçapı, m

Söz konusu ifadeler için birim analizi yapılacak olur ise;

$$Q_{con} = Q_{konv} + Q_{rad}$$

$$Q_{konv} = S_c \times h_c \times (T_c - T_\infty)$$

$$Q_{rad} = \epsilon \times S_c \times \sigma \times (T_c^4 - T_d^4)$$

$$S_c = 2 \times \pi \times r_d \times l_c$$

$$Q_{konv} = 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times h_c \times (T_c - T_\infty)$$

$$Q_{rad} = 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times \epsilon \times \sigma \times (T_c^4 - T_d^4)$$

$$Q_{con} = \left\{ \left[ 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times h_c \times (T_c - T_\infty) \right] + \left[ 2 \times \pi \times r_d \times l_c \times \epsilon \times \sigma \times (T_c^4 - T_d^4) \right] \right\}$$

$$Q_{konv} = \left[ m \ x \ m \ x \ \frac{W}{m^2 K} \ x \ K \right]$$

$$Q_{konv} = \left[ m^2 \ x \ \frac{W}{m^2 K} \ x \ K \right]$$

$$Q_{konv} = [ W ] \text{ olarak elde edilecektir.}$$

$$Q_{rad} = \left[ m \ x \ m \ x \ \frac{W}{m^2 K^4} \ x \ K^4 \right]$$

$$Q_{rad} = \left[ m^2 \ x \ \frac{W}{m^2 K^4} \ x \ K^4 \right]$$

$$Q_{rad} = [ W ] \text{ olarak elde edilecektir.}$$

Bu durumda;

$$Q_{con} = Q_{konv} + Q_{rad} \text{ olduğu için;}$$

$$Q_{con} = [ W ] + [ W ]$$

$$Q_{con} = [ W ] \text{ olarak elde edilecektir.}$$

[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33]

## References

1. Emin Taner ELMAS, Doktora Tezi, “Yüksek Sıcaklıklı, Isı Borulu, Isı Geri Kazanım Ünitelerinin Tasarım Parametrelerinin Termodinamiksel ve Deneysel Analizi”, Tez Danışmanı:Prof. Dr. Ali Güngör, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalı, İzmir, 2011
2. Emin Taner E. (2023). Thermodynamical And Experimental Analysis of Design Parameters of a Heat Pipe Air Recuperator. Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences, 3(6), 6–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10116309>
3. Emin T. Elmas, & İhsan Ö. Bucak. (2023). Modeling and Simulation of Smart-Drug Algorithms Through Frequency Modulation for the Treatment of Covid-19 and Similar Viruses. Global Journal of Research in Medical Sciences, 3(5), 1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10051793>
4. Emin T. E., & İhsan Ömür B. (2024). FM Modulated Smart Drug Algorithm for the treatment of Cancer Cells. In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 4, Number 1, pp. 1–6). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10463529>
5. Emin Taner ELMAS. (2023). Prototype Design, Production and Functioning of a Portable (Movable), Home-Type (Domestic) Hemodialysis Machine (Unit). In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 11–12). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10252972>
6. Elmas, Emin Taner (2019) Thermodynamical Balance Associated with Energy Transfer Analysis of the Universe Space as a Pressure Vessel Analogy. Journal of Applied Sciences, Redelve International Publications 2019(1): RDAPS- 10002.
7. Elmas, Emin Taner (2017) Productivity and Organizational Management (The Book) (Chapter 7): Prospective Characteristics of Contemporary Engineer (By the Approach of Mechanical Engineering) Contribution and Role of the Mechanical Engineer to the Organization Management and Productivity. Machado Carolina, Davim J Paulo (Eds.), DEGRUYTER, Walter de Gruyter GmbH, Berlin / Boston, Spain (ISBN:978-3-11-035545-1)
8. Elmas, Emin Taner (2017) Prospective Characteristics of Contemporary Engineer (By the Approach of MechanicalEngineering) Contribution and Role of the Mechanical Engineer to the Organization Management and Productivity). DeGruyter, Germany (DOI 10.1515 / 9783110355796-007)

9. Elmas, Emin Taner, Evaporation Plant for Recycling of Caustic Soda, INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIES-IJET Emin Taner Elmas., Vol.3, No.3, 2017
10. Elmas, Emin Taner, (2014), Çağımızın Mühendisinden Beklenenler, Gece Kitaplığı, ISBN:9786053244158
11. Emin T. E. (2023). Design, Production, Installation, Commissioning, Energy Management and Project Management of an Energy Park Plant Consisting of Renewable Energy Systems Established at Iğdır University. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 67–82). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10406670>
12. ÇELİK ÜRETİMİNDE ELEKTRİK ARK OCAKLARINDA ENERJİ MALİYETLERİNİN VE ENERJİ VERİMLİLİK FAKTÖRLERİNİN ARAŞTIRILMASI INVESTIGATION ON ENERGY COSTS AND ENERGY EFFICIENCY FACTORS OF ELECTRIC ARC FURNACE FOR STEEL PRODUCTION, Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi - Journal of Design, Architecture & Engineering Hasan TAMSOZ \*, Emin Taner ELMAS \*\* FBU-DAE 2021 1 (3): 163-180
13. SİNERJİ TESİSLERİNDE ENERJİ KULLANIM NOKTALARI VE ENERJİYİ VERİMLİ KULLANACAK YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ DETERMINATION OF ENERGY UTILIZATION POINTS AND THE METHODS USING THE EFFICIENT ENERGY FOR SINTERING PLANTS, Fenerbahçe Üniversitesi Tasarım, Mimarlık ve Mühendislik Dergisi - Journal of Design, Architecture & Engineering Adem KAYA\*, Emin Taner ELMAS\*\* FBU-DAE 2022 2 (2): 170-181
14. Emin Taner ELMAS. (2024). The Electrical Energy Production Possibility Research Study by using the Geothermal Hot Water Resources, which is a kind of Renewable Energy Resource, located at the Region of Mollakara Village which is a part of Diyadin Town and City of Ağrı, Turkey. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 1, pp. 90–101). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10729333>
15. ELMAS, Emin Taner. (2024). Energy Analysis, Energy Survey, Energy Efficiency and Energy Management Research carried out at Iğdır University. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 2, pp. 12–30). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10828077>
16. ELMAS, Emin Taner. (2024). A Research Study of Salt Dome (Salt Cave) Usage Possibility for CAES – Compressed Air Energy Storage Systems. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 2, pp. 128–131). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10980421>
17. ELMAS, Emin Taner. (2024). Wankel Rotary Piston Engine Design Project. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 3, pp. 1–4). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11117047>
18. Emin Taner ELMAS\*. Project for “Amphibious Mobile Snow Track Ambulance” for Healthcare System. Am J Biomed Sci & Res. 2024 22(4) AJBSR.MS.ID.002990, DOI: 10.34297/AJBSR.2024.22.002990
19. Emin Taner ELMAS\*. The first “Olive Seedlings” and “Artichoke Seedlings” Planted in Iğdır Province, Turkey. Am J Biomed Sci & Res. 2024 22(5) AJBSR.MS.ID.002996, DOI: 10.34297/AJBSR.2024.22.002996
20. ELMAS, Emin Taner. (2024). An innovative solar dish type collector – concentrator system having an original – unique geometrical mathematical model called as DODECAGON which has 12 equal segments. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 3, pp. 31–38). <https://doi.org/10.5281/zenodo.11397848>
21. Emin Taner ELMAS\*. Waste Heat Recovery Boilers (WHRBs) and Heat Recovery Steam Generators (HRSGs) used for Co-generation and Combined Cycle Power Plants. Op Acc J Bio Sci & Res 12(1)-2024. DOI: 10.46718/JBGRS.2024.12.000284
22. ELMAS, Emin Taner. (2024). Presentation and Curriculum of Division of Motor Vehicles and Transportation Technologies & Department of Automotive Technology at Vocational School of Higher Education for Technical Sciences at Iğdır University, Turkey. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 3, pp. 60–67). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12536211>
23. Elmas, Emin Taner (2020) Medical Treatment Method of “Bio-robotic Resonance and Thermodynamical Interaction” with Analogy of “Frequency – Resonance Setting Formation” on the Application of “Algorithm for Smart Drugs Controlled by a Bio-robotic System” developed for the “Treatment of Covid-19, Coronavirus and Virus Infections”. Open Access Journal of Biogeneric Science and Research (BGRS), Op Acc J Bio Sci & Res 1: 1. DOI: 10.46718/JBGRS.2020.01.000007.
24. Elmas Emin Taner (2020) Scope of Applications for Medical Technique at Science and Engineering, Open Access Journal of Biogeneric Science and Research (BGRS), Op Acc J Bio Sci & Res 1: 1. DOI: 10.46718/JBGRS.2020.01.000002.
25. Elmas, Emin Taner, ELMAS’s Theory of Thermodynamics”: A Scientific Approach for 5th Law of Thermodynamics -A Theoretical Application Example for Medical Thermodynamics. Op Acc J Bio Sci & Res 2(1)-2020. DOI: 10.46718/JBGRS.2020.01.000030
26. Emin Taner ELMAS. (2023). Design and Production of a Unique Hand-Made Energy-Efficient 4 x 4 – Four Wheel Drive (4wd – 4 Matic) Traction System Electric Automobile. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 3, Number 6, pp. 48–51). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10359170>

27. Emin Taner ELMAS\*. Medical Treatment Method of Alzheimer's Disease & Parkinson's Disease by the Help of the Natural Musical Sound of Nây-ı Şerîf, Instrument of Ney (Ney: Turkish Reed Flute, Nay). IJCMCR. 2024; 42(3): 004  
DOI: 10.46998/IJCMCR.2024.42.001039
28. ELMAS, Emin Taner. (2024). Three – Pass Fire Tube Boilers for production of Steam, Hot Water and Superheated Water. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 4, pp. 29–38). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12741030>
29. Emin Taner ELMAS (2024) Design of Bionic Eye and Artificial Vision System; a Unique Project “Mobile Bio-Eye-Tronic System”. Herculean Res 4(1):97-100 <https://dx.doi.org/10.70222/hres23>
30. Emin Taner ELMAS (2024) System Design and Development of a Novel Unique Neuro-Physical Medical Treatment Method for SMA-SPINAL MUSCULAR ATROPHIA-Disease and for Similar Neurological Muscle Diseases. Herculean Res 4(1):90-97
31. ELMAS, Emin Taner. (2024). Design of Bionic Ear - Cochlear Implant and Artificial Hearing System; a Unique Project "Mobile Bio-Ear-Tronic System". In Global Journal of Research in Medical Sciences (Vol. 4, Number 2, pp. 6–11). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12751385>
32. Emin Taner Elmas. Design of Bio-Artificial Liver Organ. J Biomed Sci Biotech Res. 2024. 2(3): 1-4. DOI: [doi.org/10.61440/JBSBR.2024.v2.12](https://doi.org/10.61440/JBSBR.2024.v2.12)
33. Emin Taner Elmas. A Review for Combined Cycle Power Plants. Biomed J Sci & Tech Res 58(1)-2024. BJSTR. MS.ID.009087. DOI: 10.26717/BJSTR.2024.58.009087

#### CITATION

ELMAS, Emin Taner. (2024). Dimensional Unit Analysis Applications for Heat Pipe Design. In Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences (Vol. 4, Number 5, pp. 12–26). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13741540>