

DÜŞEY DÜZLEM LEVHALARDAN SERBEST KONVEKSİYONLA ISI GEÇİŞİNDE FİLM KATSAYISININ İNCELENMESİ

Bekir Sami YILBAŞ Ertuğrul BALTACIOĞLU Semir GÖKPINAR

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

ÖZET

İçinde elektrik enerjisi ile ısı elde edilen dikdörtgen prizması şeklindeki bakır bir malzeme için, oda şartlarında ısı iletimi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki film katsayısı, deney verileri kullanılarak boyut analizi ve en küçük kareler metodu yardımıyla ampirik olarak çıkartılmıştır. Isı iletimi sürekli rejim durumunda incelenmiştir. Ampirik denklemle hesaplanan değerlerin, deney ölçüleri ve analitik yaklaşımla iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

THE EXAMINATION OF FILM COEFFICIENT FOR A VERTICAL FLAT PLATE IN A FREE CONVECTION

SUMMARY

The heat transfer mechanism taking place between a diagonal shaped copper material having a heat production inside and free atmosphere was examined both experimentally and theoretically. The heat transfer coefficient between the free surface of the material and atmosphere was derived empirically from the least square method using experimental data available. In the analysis, the heat transfer mechanism was examined considering steady state case. It is found that the results obtained from the empirical formulation is in a good agreement with the analytical solutions.

1. GİRİŞ

Isınarak yoğunluğu düşen akışkan ile ; bu ısı transferinden etkilenmeyen akışkanın yoğunlukları arasındaki fark akışkanın hareketine sebep olur.

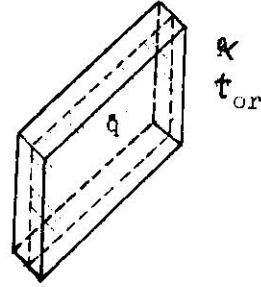
$$Q = A \alpha (t_1 - t_2) \quad (1)$$

(1) denklemindeki " α " film katsayısı olup ; yüzeyin biçim ve boyutları, pürüzlülük, yön akış hızı, yoğunluk, viskozite, özgül ısı, iletkenlik gibi termodinamik özelliklerin fonksiyonudur. Deneysel araştırmalar sonucunda;

$$Nu = C (Gr Pr)^m \quad (2)$$

genel denkleminin, serbest konveksiyon ısı iletimi çalışmalarında kullanılabilceği görülmüştür [1] .

2. ANALİTİK YAKLAŞIM



Şekil-1 : İçinde ısı üretimi olan düşey levha (Şematik)

Bu çalışma, içerisinde ısı üretimi olan katı cisimde sürekli rejimde yüzey film katsayısının incelenmesini içermektedir. Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen ısının ortama transferi ;

$$Q = A \alpha (t_y - t_{or}) \quad (3)$$

denkleminle gösterilir. Sürekli rejimde transfer olan ısı üretilen ısıya eşit olduğu için ;

$$\dot{q} = A \alpha (t_y - t_{or}) \quad (4)$$

olur. Böylece, film katsayısı :

$$\alpha = \dot{q}/A (t_y - t_{or}) \quad (5)$$

elde edilir. Burada $\dot{q} = V^2/R$ üretilen ısı gücü, A cismin yüzey alanı,

t_y yüzey sıcaklığı, t_{or} ortam sıcaklığıdır.

3. BOYUT ANALİZİ

Bu çalışmada daha kısa bir yol olduğu için yoketme metodu kullanılmıştır. α yüzey film katsayısına tesir eden fiziki büyüklükler; hacimsel genişleme katsayısı (β), yerçekimi ivmesi (g), sıcaklık farkı ($t_y - t_{or} = \Delta t$) yoğunluk (ρ), dinamik viskozite (μ), özgül ısı (C_p) ısı iletim katsayısı (k) gibi akışkanın ısıl özellikleri ve levhanın yüksekliği (L) dir. Bu özelliklere göre boyut analizi aşağıdaki şekilde yapılabilir.

$$\alpha = f(L, \beta \Delta t g, \rho, \mu, C_p, k) \quad (6)$$

$$M/T^3 \theta = f(L, L/T^2, M/L^3, M/LT, L^2/T^2 \theta, ML/T^3 \theta) \quad (7)$$

Dört temel boyut olduğu için işlem dört adımda yapılır :

1) M 'yi yok ederek ;

$$\alpha / k = f_1(L, \beta \Delta t g, \rho / k, \mu / k, C_p) \quad (8)$$

$$1/L = f_1(L, L/T^2, T^3 \theta / L^4, T^2 \theta / L^2, L^2/T^2 \theta) \quad (9)$$

2) θ 'yı yok ederek ;

$$\alpha / k = f_2(L, \beta \Delta t g, \rho / k, \mu / k, C_p) \quad (10)$$

$$1/L = f_2(L, L/T^2, T/L^2) \quad (11)$$

3) L 'yi yok ederek ;

$$\alpha L/k = f_3(\beta \Delta t g/L, \rho C_p L^2/k, \mu C_p/k) \quad (12)$$

$$/ = f_3(1/T^2, T) \quad (13)$$

4) T 'yi yok ederek ;

$$\alpha L/k = f_4 (\beta \Delta t_p)^2 g C_p^2 L^3/k, \mu C_p/k \quad (14)$$

$$/ = f_4 (/) \quad (15)$$

Şeklinde boyutsuz gruplar elde edilir. Birinci grup $(k/\mu C_p)^2$ ile çarpılırsa;

$$hL/k = f (\beta \Delta t g L^3/\nu^2, \mu C_p/k) \quad (16)$$

elde edilir. Bu ise

$$Nu = f (Gr, Pr) \quad (17)$$

dir. Analiz Nusselt sayısının, Grashof ve Prandtl sayılarının fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Serbest konveksiyonda düşey levhalar için kullanılan ampirik yaklaşımlar aşağıda verilmiştir [1] , [3] , [4] .

$Nu = C (Gr Pr)^m$ olmak üzere

$$10^{-1} < Gr Pr < 10^4 : \text{Grafikten}$$

$$10^4 < Gr Pr < 10^9 : C = 0.59, m = 1/4$$

$$10^9 < Gr Pr < 10^{12} : C = 0.129, m = 1/3$$

Bu çalışmada deneysel veriler ve en küçük kareler metodu kullanılarak C ve m değerleri hesaplanmıştır. Deneysel veriler Tablo-1 de verilmiştir. Neticede.

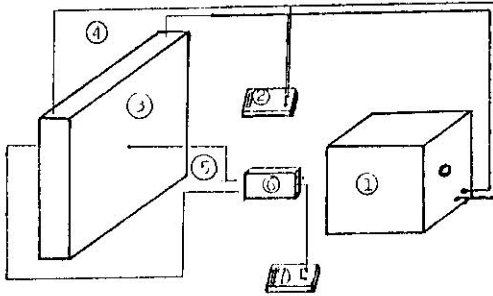
$$Nu^* = 0.029 (Gr.Pr)^{0.462} \quad (18)$$

denklemini elde edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

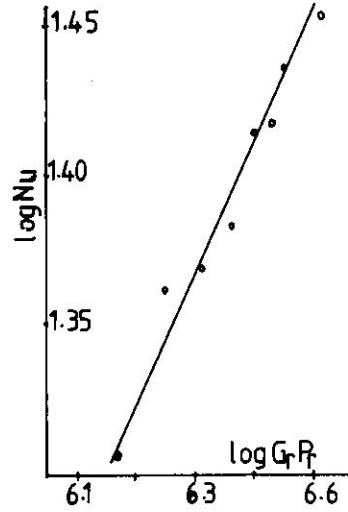
Deney numunesi olarak 78x10x100 mm ebadında bakır levha kullanılmıştır. 100 mm'lik boyda yanyana delikler açılmış ve içerisinde 0.1 mm çapında

Cr-Ni çelik tel geçirilmiştir. Bu telin direnci 33 Ohm'dur. Levha ile teması önlemek üzere ateş toprağı çamur halinde boşluklara doldurularak fırınlanmıştır. Daha sonra her iki yüzeyin ortasına ısı ölçer (Termokupl) lehimlenmiştir. Deney numunesi olarak bakır levhanın seçilmesinin nedenlerinin başında, lehim kolaylığı ve bakırın ısı iletim katsayısının yüksek olduğu gelmiştir. Deney düzeneği Şekil-2'de gösterilmiştir. Termokupl



- 1) Varyak
- 2) Dijital Voltmetre
- 3) Bakır Levha
- 4) Direnci Teli
- 5) Termokupl (Isıölçer)
- 6) Komitatör
- 7) Dijital Voltmetre

Şekil-2. Düşey levha için serbest konveksiyon deney düzeneği



Şekil-3 Log Nu'nin Log GrPr'a göre değişimi

Ni-Cr/Ni-Al malzemeden imal edilmiş olup ; kablo kalınlığı 1.315 mm, E.M.K. çıkışı 40 mV/°C'dir. Termokuplun sıcak ucu bakır levha üzerine lehimlenmiş ; soğuk ucu ise dijital voltmetreye bağlanmıştır. Okunan gerilim yardımıyla yüzey sıcaklığındaki değişim termokupl çıkışları ile ölçülmüştür. Dijital voltmetre ME-501 tipi SOAR markadır. Elektriki besleme, Ruhstrat KG Alman firmasının imal ettiği bir varyaktan alınmıştır.

Deneyler, 11 ile 25 besleme voltajlarında ikişer volt arttırılarak yapılmıştır. Her besleme voltajında yüzey sıcaklığı, sürekli rejime gelinceye kadar beklenmiş ve deney altışar defa tekrarlanmıştır. Böylece ölçüm hataları minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Daha yüksek voltajlarda, yüzey sıcaklığı lehimin erime sıcaklığına yaklaştığı için çalışılamamıştır. Her deneyde bekleme süresi iki saat olarak alınmıştır ve bütün ölçmeler sabit ortam sıcaklığında yapılmıştır. Deney sonuçlarının irdelenmesi beşinci bölümde ele alınmıştır.

5. İRDELEME VE NETİCELER

Serbest konveksiyona ait hesaplamalar Tablo-1'de verilmiştir. Bu tabloda verilen değerler ($1.4 \times 10^6 < GrPr < 2.8 \times 10^6$ için)

$$Nu = \alpha L/k$$

$$Nu^* = 0.029 (Gr.Pr)^{0.462}$$

$$Nu^{**} = 0.590 (Gr.Pr)^{0.250} \quad (\text{Bölüm 3})$$

$$H_1 = |Nu^* - Nu| / Nu^*$$

$$H_2 = |Nu^{**} - Nu| / Nu^{**}$$

(Burada "H" hata oranıdır)

$$\alpha = V^2 / (R A \Delta t)$$

$$\alpha^* = Nu^* k/L$$

$$\alpha^{**} = Nu^{**} k/L$$

denklemlerine göre hesaplanmıştır. Havanın ısıl özellikleri ise ortalama film sıcaklığında (t_f) alınmıştır.

$$t_f = (t_y + t_{or})/2$$

dir. Elde edilen ampirik yaklaşımda gerek Nu sayısının ve gerekse Gr.Pr kümesinin logaritması alındığı için ; Nu sayısındaki ve GrPr kümesindeki çok küçük değişimler, logaritmik ifadede daha da küçülmektedir. Bu ise ampirik yaklaşım için yapılan hesaplamalarda birinci tür hataların meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu küçük hatalar, özellikle ampirik yaklaşımda çarpan ve üstel ifadede görülmektedir.

Şekil-3'den görüldüğü gibi $\log Nu$ ile $\log GrPr$ lineer bir değişim göstermektedir. Serbest konveksiyonda, film sıcaklığı ortalama sıcaklık olarak

alınmıştı ; halbuki film sıcaklığı ısı sınırları boyunca değişkendir. Bu ise ampirik yaklaşımlarda ikinci tür hataların meydana gelmesine neden olmaktadır. Fakat bu hatalar diğer kaynakların sebep olduğu hatalar ile kıyaslandığında ihmal edilebilecek türdedir. Hesaplamalarda, deneysel metod esas alındığı için birinci ve ikinci tür hatalar ihmal edilebilir. Çünkü ampirik yaklaşım, neticede tesirli olan parametrelerin bir araya getirilmesi ile ortaya çıkmıştır.

Şekil-4'de ısı transfer katsayısının sıcaklık farkı ile değişimi gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ampirik denklemde elde edilen yüzey film katsayıları (α^*), analitik olarak elde edilenlerle (α) çok az farklılıklar göstermektedir. Gerçekte her iki eğri için de her noktada $\alpha \cdot \Delta t$ değeri sabittir. Yani transfer olan ısı miktarı sabittir. Bu farkın meydana gelmesinin sebepleri şöyle açıklanabilir :

- i) Ölçümler sırasında yapılabilecek hatalı okumalar (düşük sıcaklıklarda voltmetre ölçüm hassasiyetinin azlığı).
- ii) Ampirik yaklaşımda boyutsuz grupların üstel ifadeleri logaritmik formlar yardımıyla çıkarıldığı için üstel ifadedeki küçük hatalar düşük sıcaklıklarda görülmüş olabilir.

Şekil-5'de hata yüzdelerinin Δt sıcaklık farkları ile değişimi gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi düşük sıcaklık farklarında hata oranı daha büyüktür. Bunun nedeni, daha öncede kısaca belirtildiği gibi düşük sıcaklıklarda ölçüm yapan cihazların yeterince hassas olmamasından kaynaklanmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen Nu^{**} formuna bağlı hata oranlarının, $50^{\circ}C$ 'lik sıcaklık farkının üstünde arttığı görülmektedir. Bunun nedeni de bu formun $10^4 < Gr \cdot Pr < 10^9$ değerleri arasında; yani geniş bir sahada genel bir form oluşundandır. Bu çalışmada $Gr \cdot Pr$ kümesi 10^7 mertebesinde. Dolayısıyla (18) denklemi, bu çalışma için daha hassas neticeler vermektedir.

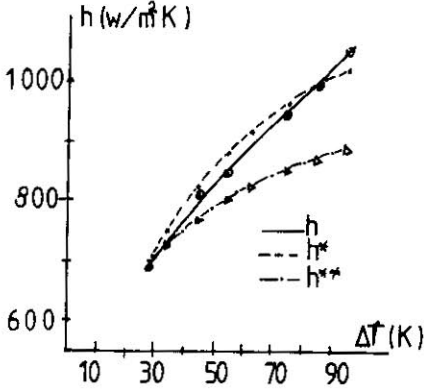
Yapılan irdelemeler sonunda bu çalışmadan şu sonuçlar çıkarılabilir :

- 1- Düzgün ve sürekli rejimde ısıtıcı eleman yüzey film katsayısı, cismin geometrisine ve ortamın termo-fizik özelliklerine bağlıdır.

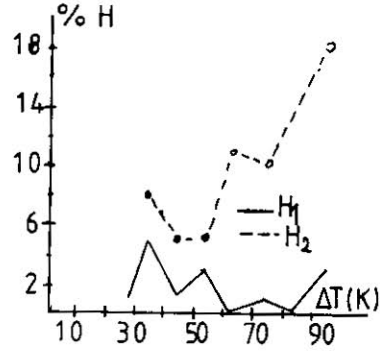
- 2- Nu sayısı ile Nu^* sayısı arasında hata oranı maksimum % 5'dir.
 3- Nu^{**} formundaki denklem % 18'e kadar hata verdiği için; bu çalışma için Nu^* formu uygundur.
 4- Boyut analizi yardımıyla bulunan denklemlerle, geçen ısı miktarının bilinmesine gerek kalmadan yüzey film katsayısı hesap edilebilir.

Tablo-1. Deneysel ölçümler ve grafik değerleri $T_{or} = 10^\circ C$

V	T_w	T_f	ΔT	ρ	β	k	ν	Gr	Pr	h	h^*	h^{**}	Nu	Nu^*	Nu^{**}	H_1	H_2
Volt	$^\circ C$	$^\circ C$	$^\circ K$	kg/m^3	$1/^\circ K 10^{-3}$	$W/K 10^{-3}$	$m^2/sn 10^{-6}$			$W/m^2-^\circ C$	$W/m^2-^\circ C$	$W/m^2-^\circ C$				%	%
11	36	24	38	1.1720	3.372	26.32	15.40	2149731	0.69	6.83	7.94	6.94	20.24	20.59	20.58	1	1
13	44	27	34	1.1602	3.339	26.54	15.74	2149731	0.69	7.86	7.47	7.25	23.10	21.32	21.96	5	8
15	54	32	44	1.1412	3.294	26.30	16.19	2928712	0.69	8.38	8.18	7.67	23.42	22.24	23.74	1	5
17	64	37	54	1.1227	3.231	27.27	16.64	3253375	0.69	8.46	8.76	8.00	24.19	22.30	25.06	3	5
19	72	41	62	1.1084	3.189	27.56	17.01	3626077	0.69	9.20	9.13	8.23	26.33	23.30	25.36	0	11
21	84	47	74	1.0876	3.129	27.99	17.58	3793338	0.69	9.42	9.59	8.51	26.25	23.71	26.75	1	10
23	94	52	84	1.0709	3.081	28.36	18.07	3951443	0.69	9.36	9.91	8.71	27.39	23.97	27.26	0	14
25	104	57	94	1.0547	3.034	28.72	18.57	4050764	0.69	10.51	10.16	8.88	28.54	24.13	27.61	3	18



Şekil-4 Isı transfer katsayısının sıcaklıkla farkına göre değişimi



Şekil-5 Hata oranlarının sıcaklık farklarına göre değişimi

KAYNAKLAR

- 1- Çiğdemoglu, M., Isı İletim Prensipleri, Ankara, 1980.
- 2- Ersoy, Y. ve Mert, M., Boyut Analizi ve Fiziksel Ölçmeler, O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayın No 55, Ankara, 1977.
- 3- Simonson, J.R., An Introduction to Engineering Heat Transfer, McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1967.
- 4- Chapman, A.S., Heat Transfer, Third Edition, Collier MacMillan International Editions, 1974.