



**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ**

TR : 334

**DAR VE DÜŞEY KANALLARDA AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN
DENEYSEL ETÜDÜ**

NÜKLEER MÜHENDİSLİK

H. İ. Arıkan, A. Baykal, U. Adalıoğlu, H. Yavuz

Aralık 1997

P. K. 1, 34831 Havaalanı, İSTANBUL

(Basım tarihi : Ocak 1998)



**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ**

TR : 334

**DAR VE DÜŞEY KANALLARDA AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN
DENEYSEL ETÜDÜ**

NÜKLEER MÜHENDİSLİK

H. İ. Arıkan, A. Baykal, U. Adalıoğlu, H. Yavuz

Aralık 1997

P. K. 1, 34831 Havaalanı, İSTANBUL

(Basım tarihi : Ocak 1998)

ÖZET

DAR VE DÜŞEY KANALLARDA SERBEST AKIŞIN VE ISI TRANSFERİNİN DENEYSEL ETÜDÜ

Elektronik bordların ve bazı tesislerin sistemlerinde bulunan düşey kanal tipi yapıların serbest konveksiyonla soğutulması son senelerde önem kazanmıştır. ÇNAEM' deki TR-2 reaktörü gibi plaka yakıtlı ve havuz tipi araştırma reaktörleri çok dar (2.1 mm genişlikte) ve düşey dikdörtgen soğutma kanallarına sahiptir. Herhangi bir kaza veya soğutma sistemi kaybı halinde bu kanallarda soğuma serbest konveksiyonla olacaktır. Serbest akış ısı transferiyle yeterli soğumanın sağlandığının ispatı güvenlik düşüncelerini gerektirmektedir.

TR-2 reaktörü soğuma kanallarını simüle etmek üzere kurulan basit bir deney düzeneği çeşitli güç ve kanal aralıkları için çalıştırılmıştır. Yakıt plakaları doğru akım dirençleri ile ısıtılmakta olup kanal içinde ve civarında çeşitli noktalarda sıcaklık ölçmeleri bakır konstantan termociftlerle yapılmaktadır. Kanal için hesaplanan ortalama Nu ve Ra sayılarıyla nümerik sonuçlar mukayese edilmiştir. Akışkan havadır.

SUMMARY

EXPERIMENTAL STUDY OF FREE FLOW AND HEAT TRANSFER IN NARROW VERTICAL RECTANGULAR CHANNELS

Free convection cooling of electronic boards and vertical channel type structures of systems in the facilities of some installations, in the abnormal working situations, is becoming important recent years. Plate type fueled pool type research reactors, such as TR-2 reactor of ÇNAEM have very narrow (2.1 mm width) vertical cooling channels. In case of an accident or a loss of cooling event, the heat transfer in these channels should be accomplished by natural circulation. The adequacy of this cooling should be proved for safety consideration.

A simple experimental setup was constructed to simulate a TR-2 cooling channel. Plate powers and channel widths were the parameters changed. Dummy fuel plates were heated by DC current and temperature measurements were done by Cu-Constantan thermocouples located inside the channel and around it. Average Nu and Ra numbers were calculated for the channel and they are compared with the numerical results. Working fluid was air.

1. GİRİŞ	1
2. DENEY DÜZENEGİ	2
2.1. Yakıt plakaları	2
2.2. Sıcaklık ölçmeleri	3
2.3. Diğer kısımlar	4
3. ÖLÇMELER VE ANALİZ	5
4. SONUÇLAR	8
TEŞEKKÜR	8
REFERANSLAR	9

TABLOLAR

Tablo 2.1- Termoçift kalibrasyonu için ölçmeler	3
Tablo 3.1- Deneysel integral parametreler	7

ŞEKİLLER

Şekil 2.1- Deney düzeneği	2
Şekil 2.2- Termoçift kalibrasyon eğrisi	4
Şekil 3.1- Kanal boyunca güce göre kanal yüzey sıcaklıklarının değişimi	6
Şekil 3.2- Nusselt sayısının Ra sayısına göre değişimi	8

1. GİRİŞ

Enerji üretimi yapılan düşey plakalarda soğumanın incelenmesi son zamanlarda sanayide büyük önem kazanmıştır. Mesela elektronik cihazlardaki devre plakalarının soğuması tabii konveksiyonla olmakta ve devre plakalarının güvenliği için bu soğumanın bilinmesi gerekmektedir. Benzer olaylar diğer sahalarda da ortaya çıkmaktadır.

Nükleer reaktörlerde kaza durumlarında soğutucu akışkanı dolaştıran sistemlerin devre dışı kalması halinde reaktör kalbinin soğutulmasında tabii konveksiyonun önemi ortaya çıkmıştır. Plaka tipi yakıtlı havuz tipi reaktörlerde soğuma birbirine paralel, düşey ve dar kanallarda olmaktadır. Bu kanalların çeşitli işletme ve kaza durumlarında performansları nükleer güvenlik bakımından büyük önem arz etmektedir. Bu sebeplerden dolayı farklı şartlarda ve ortamlarda değişik akışkanlarla deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır.

ÇNAEM’de kurulu olan TR-2 reaktörü de plaka yakıtlı ve havuz tipi bir reaktördür. Bu reaktörde yakıt elemanları 23 adet yakıt plakası ve bunların arasındaki 22 adet soğuma kanalından ibarettir. Kanal boyutları 61x6.54x0.21 cm olup bu kanallar tam manasıyla dar düşey kanal olarak kabul edilebilir. Bu reaktörün güvenlik analiz çalışmaları kapsamında teorik olarak incelenen bir olayda pompaların durmasından sonra reaktör scram yapılmakta ve yaklaşık 250 sn. sonra yakıt zarf ve soğutucu sıcaklıkları kaynama sıcaklıklarının çok altındaki sıcaklıklarda sabit kalmaktadır (1). Bu sonuçlar reaktörde yapılan deney sonuçlarıyla çok iyi bir uyum içindedir. Ayrıca bu reaktörün yanmış yakıt elemanlarının soğuma kanallarının alttan ve üstten açık olması halinde havayla ve tabii konveksiyonla rahatlıkla soğutulabileceği deneyle de gösterilmiştir (2).

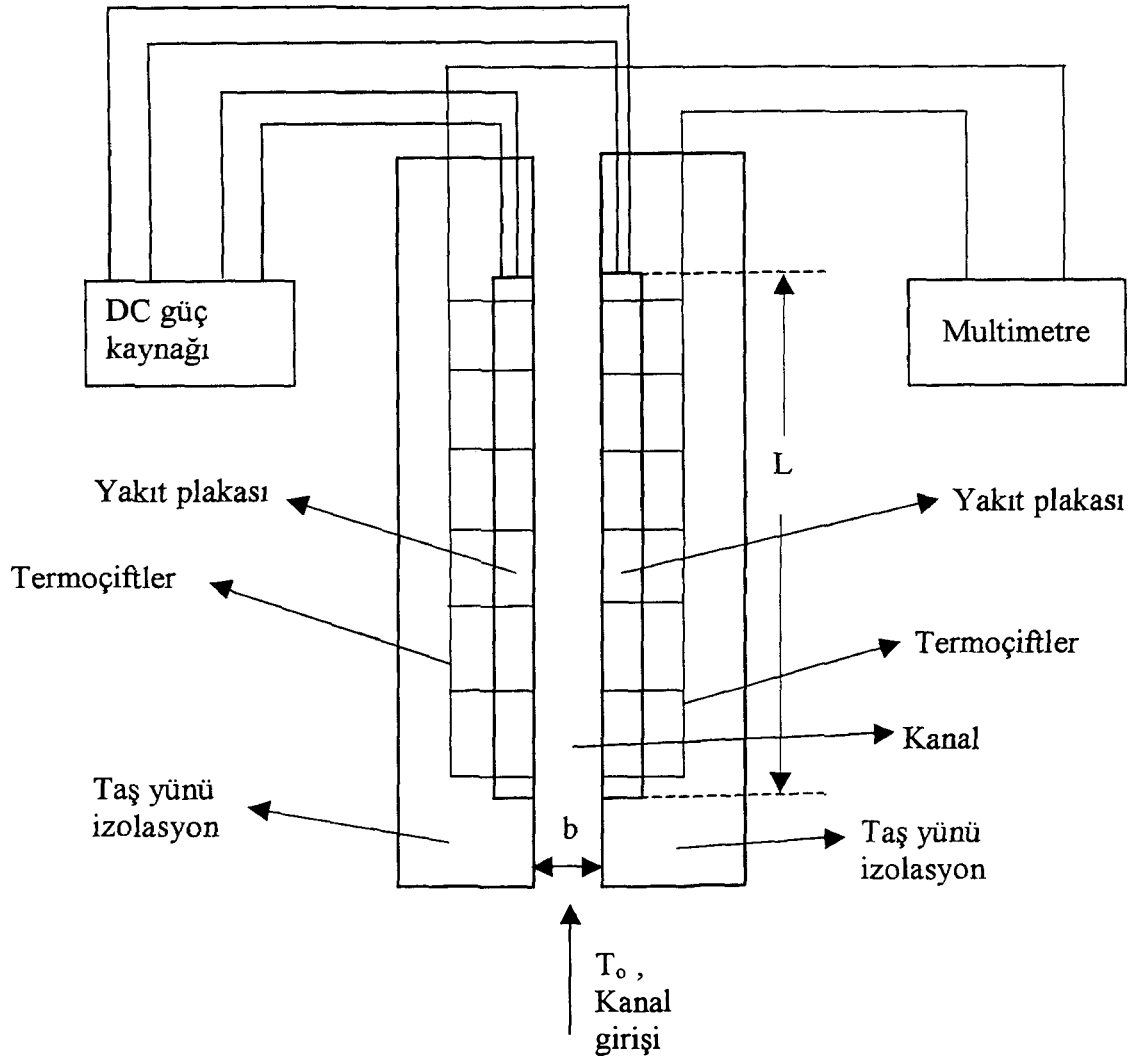
İlmi kaynaklarda bilhassa tabii konveksiyonla soğuma konusunda pek çok yayın bulunmaktadır. Bunların çok büyük bir kısmı teorik olarak dar ve düşey kanallar içindeki akışın ve ısı transferinin incelenmesine ayrılmıştır. Konuyla ilgili olan ve bulunabilen bazı çalışmalar aşağıdadır.

Çok erken yapılan klasik bir çalışmada içinde ısı doğan paralel plakaların hava ile soğuması problemi incelenmiştir (3). Hidrolik ve ısı transferi denklemlerinin analitik çözümü deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yatayla çeşitli açılarda tutulan paralel plakalar arasındaki ısı transferi su, silikon yağı ve cıva gibi akışkanlar için etüd edilmiştir (4). Isı transfer katsayısının deneysel değerlerden elde edilen Ra ve Pr sayılarının bir fonksiyonu olarak bulunmasına çalışılmıştır. Sabit ısı akısı veren silindirler etrafındaki ısı transferi silindirin çeşitli eğik durumlarında incelenmiş ve hava için Gr ve Pr sayıları ile eğiklik açısının bir fonksiyonu olarak bir korelasyon tesbit edilmiştir (5). Simetrik olarak ısıtılan düşey plakalar arasındaki serbest konveksiyonun incelendiği bir deneysel çalışmada (6) lokal Nusselt sayısı Ra, Pr ve x/L (yani kanal boyunca verilen birimsiz yer boyutu) parametrelerine göre verilmektedir. Deneyler sabit ısı akısı altında ve genişlikleri 8 mm ile 18 mm arasında değişen düşey kanallarda havayla yapılmıştır. Dik bir annulusun iç duvarındaki serbest konveksiyon için gene havayla yapılan deneyler sonucunda Nu sayısı Ra sayısının bir fonksiyonu olarak tesbit edilmiştir (7).

Bu yapılan çalışmalardan hareketle TR-2 reaktörü soğutma kanallarını simüle etmek üzere basit bir deney tesisatı kurulması gerçekleştirilmiştir. Deney kolaylığı sebebiyle önce hava ile soğumanın tetkik edilmesine karar verilmiştir. Tamamen dış atmosfere açık bir kanalda ölçmeler yapılarak korelasyon tesbitine çalışılmıştır.

2. DENEY DÜZENEGİ

Dış atmosfere açık akışkanın hava olduğu basit bir düzenek Şekil 2.1’de görülmektedir. Tesisat sabit ısı akısı altında deneylerin yapılmasını sağlamaktadır. TR-2 reaktörü soğuma kanalı bu reaktörün yakıt plakalarını aynı boyutlarda kopya eden homojen ısı kaynaklı yalancı yakıt plakaları ile simüle edilmektedir. Doğru akımla beslenen bir direnç ısı kaynağı olmaktadır.



Şekil 2.1- Deney düzeneği

2.1 Yakıt plakaları

Yakıt plakaları alüminyum levhalar arasına sandviç edilmiş ısıtıcı levha ile izolasyon levhalarından ibarettir. Alüminyum levhaların kalınlığı 1 mm olup TR-2 yakıt plakası boyutlarında yalancı bir yakıt plakası meydana getirecek şekilde kesilip gerekli form

verilmiştir. Alüminyum levhalar içindeki ısıtıcı ve izolasyon levhalarıyla beraber birbirlerine perçin edilerek sızdırmazlık temin edilmiştir.

Yakıt plakası boyutlarındaki bir mika levha üzerinde eşit aralıklarla sarılmış yassı bir direnç teli ile homojen bir ısı kaynağı elde edilmiştir. Bu ısıtıcı levhanın her iki tarafına birer adet mika levha elektriksel izolasyonu sağlamak için konmuştur.

Her iki plakadaki ısı kaynağını eşitlemek için ısıtıcı tellerin dirençlerinin değişik çalışma şartları altında 0.01 ohm'a kadar inen bir farkta olmasına çalışılmıştır.

Plakalar arasındaki kanal aralığı değişik kalınlıklardaki çıtalarla temin edilmiştir. Böylece kanal genişlikleri 0.1 mm 'lik hatayla elde edilmiş olmaktadır.

2.2. Sıcaklık ölçmeleri

Soğuma kanalı boyunca yerleştirilmiş 7 adet termočiftle kanal yüzey sıcaklık ölçmeleri yapılmıştır. Kanal giriş ve çıkışı ile çevre sıcaklıkları da ayrı termočiftlerle ölçülmektedir. Her iki plaka izolasyonu dış yüzeyi sıcaklıkları birer termočift ile tarafından tesbit edilmektedir. Dış ortam sıcaklıkları da iki adet termočiftle ölçülmektedir. Kanal boyunca yerleştirilen termočiftlerden bir tanesi merkezde olup diğerleri merkezin altında ve üstünde eşit aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Termočiftler kanal yüzeyine 120 °C' ye kadar dayanabilen reçine esaslı bir yapıştırıcıyla tutturulmuştur. Daha yüksek sıcaklıklara dayanacak bir yapıştırıcı temin edilememiştir. Dolayısıyla yüzey sıcaklık ölçmelerinde bu sınırın üstüne çıkılmamağa çalışılmıştır.

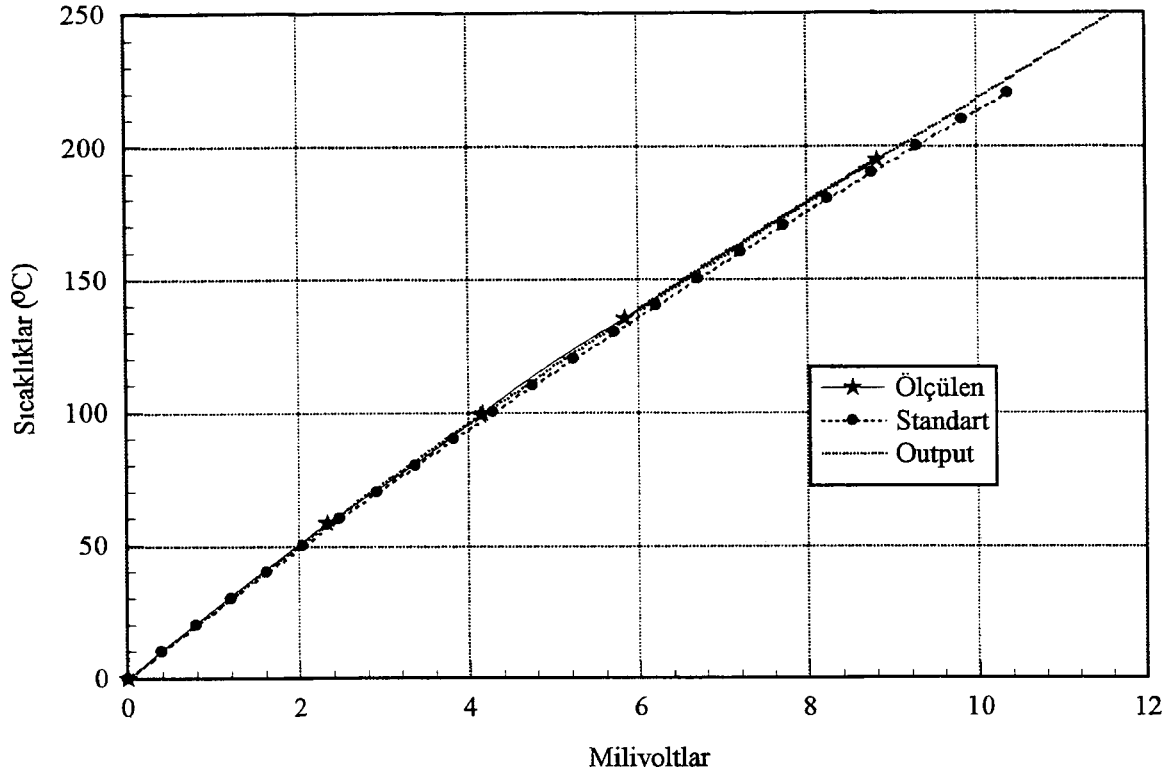
Termočiftlerin yapımında 0.2 mm çapta bakır ve konstantan teller kullanılmıştır. Bütün bu çiftlerin uç kaynakları vakumda elektrik arkıyla yapılmıştır. Bakır konstantan çiftler gözönüne alınan düşük sıcaklık ölçmeleri için oldukça iyi performans göstermektedir.

Termočiftler kaynama sıcaklıkları bilinen sıvılarla ölçmeler yapılarak kalibre edilmiştir. Tablo 2.1' de kullanılan sıvılar ve ölçülen değerler verilmektedir. Bütün ölçmelerde termočiftlerin bir ucu ölçülecek noktada diğer ucu ise bir referans sıcaklıkta (su-buz karışımı içinde) tutulmaktadır. Kalibrasyonda ölçülen sıcaklıklara ölçmenin yapıldığı günkü atmosfer basıncına göre düzeltme yapılmıştır (8).

Tablo 2.1- Termočift kalibrasyonu için ölçmeler

Malzeme	Hesaplanan sıcaklıklar (°C)	Okunan Milivoltlar
Buz	0	0.0003
Aseton	58.271	2.32
Asetik asit+su	99.479	4.155
Saf su	98.913	4.132
Etilen+ benzen	135.182	5.828
Etilen +glikol	194.788	8.817

Bu hesaplanan değerler ile Cu-Konstantan termoeiftleri için firmaların temin etmiş olduğu standart değerler (9) şekil 2.2' de görülmektedir. Standart eğriye deneyle bulunan değerler 100  C' a kadar çok iyi uymaktadır. Ondan sonra görülen fark deney okumalarının pek hassas yapılamamasından olabilir.



şekil 2.2- Termoeift kalibrasyon eğrisi

Deneyle  llen sıcaklık noktalarına denklemi aşağıda verilen nc dereceden bir polinom uydurulmuştur. Uydurulan eğri şekil 2.2' de görülmektedir (output olarak gösterilen eğri deneysel noktalara uydurulan eğridir).

$$T = 0.0298423 + 26.612V - 0.747979V^2 + 0.026685V^3 \quad (2.1)$$

2.3. Diğer kısımlar

12 adet termoeiftin okumalarını taramak üzere ÇNAEM Elektronik Bölümünde 32 kanallı bir otomatik tarayıcı ve kaydedici imal edilmiştir. Termoeiftler otomatik olarak taranıp milivoltları hassas bir multimetrenin kanallarına kaydedilmektedir. Okumalar daha sonra kayda geçirilmektedir.

Plakaların dış yüzeyleri 5 cm kalınlığında taşyn ile izole edilmiştir. Kanal giriş ve

çıkışları taş yünü izolasyonu arasında sağlanmaktadır. Giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçmesi metal plakalara yakın noktalarda ve taşıyıcı giriş ve çıkış kanalı içindeki noktalarda yerleştirilmiş termociftlerle yapılmaktadır.

3. ÖLÇMELER VE ANALİZ

Deney setinde kanal genişliği ve plaka güçleri parametre olarak alınmıştır. Tesbit edilen bir kanal genişliği için plaka güçleri artırılarak kanal içinde plaka yüzey sıcaklıkları, kanal giriş ve çıkış sıcaklıkları, izolasyon dış yüzü sıcaklıkları ile ortam sıcaklıkları ölçülmektedir. Plaka yüzey sıcaklıkları 120 °C' yi geçmeyecek şekilde plaka güçlerinin belli bir değerin üstüne çıkmasına müsaade edilmemiştir.

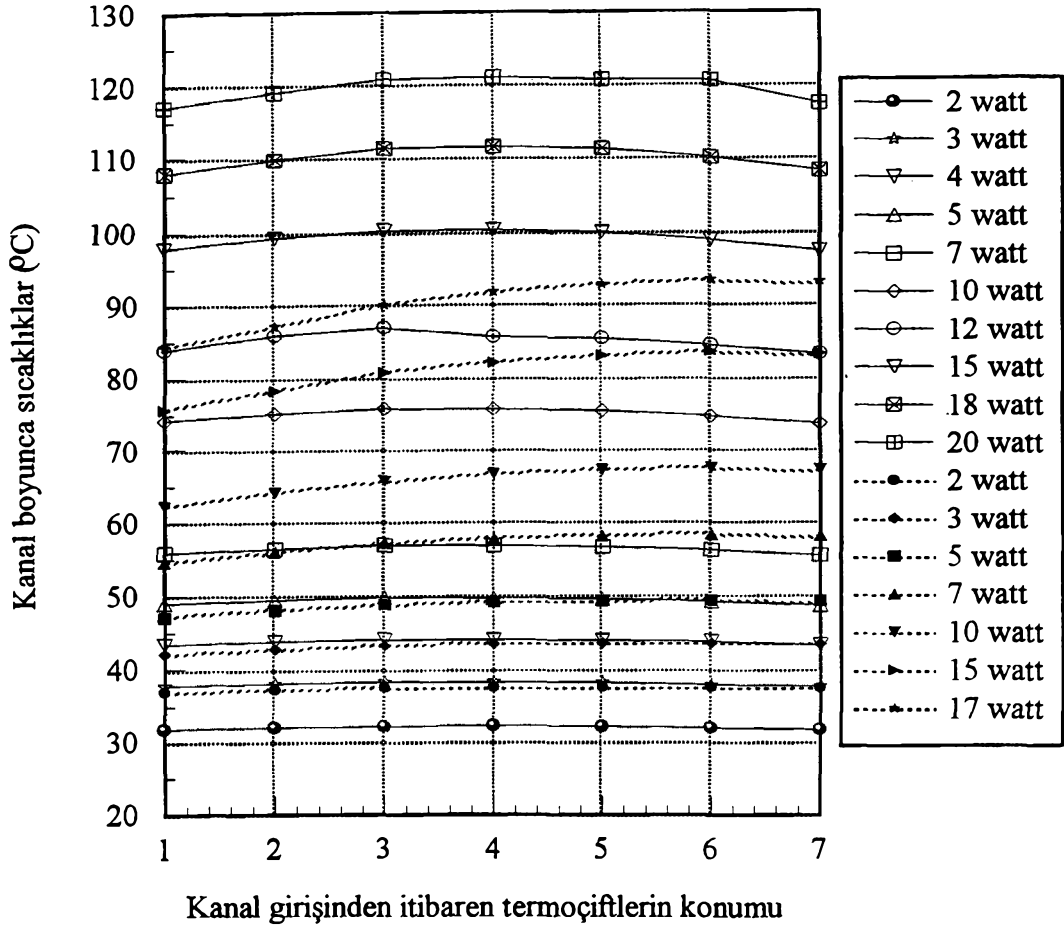
Plaka güçleri akım ve voltaj değerlerinden elde edilmektedir. Ölçmeler esnasında her iki plakanın güçleri arasında en fazla yüzde hanesinde bir fark görülmüştür.

Her ne kadar plakalar dıştan izole edilmiş ise de bir miktar enerji dış ortama kaçmaktadır. Bu kaçak enerji miktarı basit bir ısı hesabı ile bulunup kanala verilen ısı akısının doğru olarak hesap edilmesinde kullanılmaktadır.

Plaka gücü bir parametre olarak alınırsa kanal boyunca çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçme sonuçları Şekil 3.1' de görülmektedir. Dolu çizgiler $b=2.1$ mm, noktalı çizgiler ise $b=8$ mm içindir. Kanal duvar sıcaklıkları kanal boyunca artarak değişmekte ve maksimum noktası kanal çıkışına doğru olmaktadır. Artışın derecesi plaka gücü arttıkça artmakta yüksek güçlerde kanal çıkışına doğru olan maksimum bariz bir şekilde çıkışa doğru kaymaktadır. Nümerik analiz sonuçları ve beklentiler bu maksimumun tam kanal çıkışında olmasını gerektirmektedir. Ölçmelerdeki bu farklılığın bir sebebi karşılıklı plakaların bilhassa küçük kanal aralıklarında birbirlerini etkilemeleri ve kanal içine dökülen enerjinin rahatlıkla uzaklaştırılamaması olabilir. Bu halde ısı atılamadığından ortalarda sıcaklıkların bir maksimum göstermesi gerekir. İkinci bir sebep de plakalar dıştan izole edilmiş olduğundan ısı kayıpları ortalarda az, uçlara doğru fazla olabilecektir. Bu da sıcaklıkların ortalarda artmasına sebep olacaktır. Kurulan deney düzeneği dış izolasyonun her tarafda 5 cm olması bilhassa üst uçta yeterli olmayabilir. Ref. 6' daki çalışmada deney tesisatının izolasyonundan bahsedilmemekte fakat çizimden çıplak olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmada sıcaklıklar beklendiği gibi kanal boyunca artmakta ve maksimum çıkışta elde edilmektedir. Burada kanal genişlikleri 8 mm den 17.8 mm' ye kadar değişmekte ve kanal boyu 30.3 cm dir. Yani kanallar oldukça geniştir. Ref. 7' daki çalışmada ise annulus etrafında bir izolasyon bulunmakta fakat uçlarda izolasyonun bir tarafta olmadığı, diğer tarafta ise az olduğu görülmektedir. Ölçülen sıcaklıklar kanal ortalarında bir maksimum göstermektedir. Annulusun genişliği 3.18 cm ve boyu ise 92.2 cm dir. Annulusun oldukça dar ve uzun bir kanal olabileceği düşünülebilir. Ayrıca son (yani 7 inç i) termociftin tam olarak temas etmemesinden dolayı geniş aralıkta daha iyi görünen son nokta düşüklüğüne sebep olacağı da ihtimal dahilindedir.

Dolayısıyla bütün bu düşünceler sonucunda ölçülerde büyük bir hatanın mevcudiyeti düşünülmemektedir.

Kanal genişliği TR-2 kanal genişliğinden, (yani 2.1 mm' den) başlayarak 4, 6, 8 mm değerleri verilerek değiştirilmiştir.



Şekil 3.1- Kanal boyunca güce göre kanal yüzey sıcaklıklarının değişimi

Kanal içindeki ısı transferini gösterecek integral sabitleri şöyle tarif edilebilir:

$$Ra = \frac{g \beta q b^5}{L \nu \alpha k} \quad (3.1)$$

$$Nu = \frac{q b / k}{T_w - T_o} \quad (3.2)$$

Bu ifadelerde havaya ait özellikler ortalama plaka yüzey sıcaklıklarında, beta ise ortam sıcaklıklarında hesaplanmaktadır. Ayrıca

- q : kanala doğru plaka ısı akısı (kaçaklarla düzeltilmiş),
 T_w : ortalama kanal yüzey sıcaklığı,
 T_o : ortam sıcaklığı,
 L : kanal boyu,
 b : kanal genişliği,
 ν : kinematik viskozite,
 α : termal diffüzivite,
 β : genleşme katsayısı,
 k : kondaktivite,
 g : yerçekim ivmesi,

dir. Ortalama kanal yüzey sıcaklıkları burada basitlik olsun diye aritmetik ortalamayla hesaplanmıştır.

Tablo 3.1' de deneyde elde edilen sıcaklıklardan hesap edilen ortalama Ra ve Nu sayıları görülmektedir. Bu değerler laminar akış teorisi kullanan nümerik hesap sonuçlarıyla (10) karşılaştırılmıştır. Küçük kanal aralıklarında nümerik değerler ile deneysel değerler arasında fark fazladır. Ancak kanal genişliği arttıkça nümerik olarak bulunan Nu sayıları ile tablodaki değerler birbirine yaklaşmaktadır. Kanal genişliği 8 mm olduğunda bu değerler çakışmaktadır.

Tablo 3.1- Deneysel integral parametreler

b = 2.1 mm		b = 4 mm		b = 6 mm		b = 8 mm	
Ra	Nu	Ra	Nu	Ra	Nu	Ra	Nu
0.01088	0.3155	0.3262	0.5614	2.4708	0.8462	10.6290	1.11
0.01876	0.2930	0.7835	0.5763	4.3184	0.8979	18.5630	1.201
0.02187	0.2728	1.1340	0.5707	6.1054	0.9067	25.9450	1.233
0.03806	0.3557	1.5445	0.5918	8.7941	0.9156	40.0560	1.361
0.05099	0.3399	1.8972	0.5970	11.756	0.9382	53.5190	1.446
0.06229	0.2944	2.1620	0.5866	17.887	1.0363	79.8790	1.517
0.08798	0.3890	2.9845	0.6243	24.271	1.1399	94.9700	1.60
0.08583	0.3520	----	----	----	----	95.8330	1.615

Küçük aralıklarda ölçüm ve hesap arasındaki farkın ancak kullanılan laminar teorisinin tam geçerli olmamasıyla izah edilebilir.

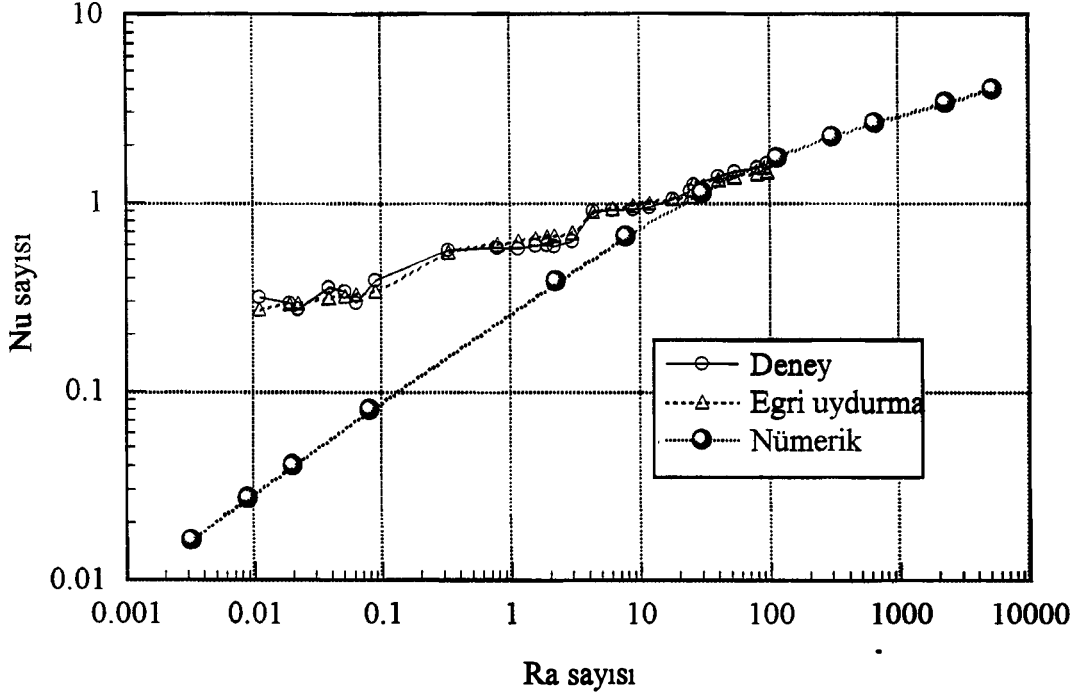
Kanal genişliğinin integral parametrelere etkisini görmek için

$$Nu = A.Ra^B.(b/L)^C \quad (3.3)$$

şeklinde bir eğriyi Tablo 3.1' deki değerlere en küçük kareler metoduyla uydurulmasına çalışılmıştır (10). Bu eğrinin sabitleri aşağıdadır.

$$\begin{aligned}
A &= 8.9660 \\
B &= 0.1061 \\
C &= 0.5228 \\
R^2 &= 0.8815
\end{aligned}$$

Deneysel değerler ve yukardaki (3.3) eğrisi Şekil 3.2’ de görülmektedir. Eğri uydurma sonucunun R^2 ’ si çok yüksek olmasa da deneysel değerleri verilen form çok iyi temsil edebilmekte veya kanal genişliğinin etkisi eğride açıkça gösterilebilmektedir. (3.3) eğrisi kademeli yapı gösteren Tablo 3.1’ deki deneysel datayı çok iyi takip etmektedir.



Şekil 3.2- Nusselt sayısının Ra sayısına göre değişimi

4. SONUÇLAR

Dar düşey kanallarda soğumanın tabii konveksiyonla ve akışkanın da hava olması halinde korelasyon tesbiti için kurulmuş olan atmosfere açık basit bir deney düzeneği ile oldukça manalı sonuçlar elde edilmiştir. Deney düzeneği için ÇNAEM imkanları kullanılmıştır.

Kanal içindeki plaka yüzey sıcaklıklarını 120 °C’ i geçmeyecek düşük güçlerde yapılan deneylerden elde edilen integral parametreler nümerik çözümün sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Laminar akış teorisini kullanan nümerik çözüm sonuçları büyük kanal genişliklerinde deneyle elde edilen integral parametrelere çok iyi uymaktadır. Kanal genişliklerinde azalmayla gittikçe artan bir uyumsuzluk görülmektedir.

Küçük kanal genişliklerindeki bu uyumsuzluk laminar teorisinin bu şartlar altında geçerli olmadığını ima eder. Laminar akışta kullanılan teori kenar tabakaların birbirine değmediği oldukça ayrı kanallar için ortaya konmuştur. Dar kanal aralıklarında plakalar birbirleriyle interaksiyona girmekte olup kenar tabakalar birbirine temas etmektedir. Bu halde teori yeniden kurulmalıdır. Kanala ait aspek oranlarını göz önüne alan veya kenar tabakaların birbirine yaklaşması halinde analizi yapan yeni modellerin geliştirilmesi gerekir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanması sırasında hiç bir şekilde yardımlarını esirgemeyen Teknik Servisler ve Nükleer Elektronik Bölümlerine teşekkürü borç biliriz.

Yazarlar

REFERANSLAR

1. H. İbrahim Arıkan, U. Adalıoğlu, “AIREK-MOD kodunun yeni versiyonu ve TR-2 transiyent analizinde uygulanışı”, ÇNAEM Teknik Rapor: 27, 1985.
2. Bülent Sevdik, “MTR tipi yakıt elemanı kullanan araştırma reaktörlerinde soğutucu kaybı kazası analizi“, İ.T.Ü. NEE doktora tezi, 1994.
3. W. Elenbaas, “Heat Dissipation of Parallel Plates by Free Convection”, Physica, IX, No.1, Jan. 1942.
4. D. Dropkin, E. Somerscales, “Heat Transfer by Natural Convection in Liquids Confined by Two Parallel Plates Which are Inclined at Various Angles with Respect to Horizontal”, Journal of Heat Transfer, Trans. of the ASME, Vol. 82, pp. 77-84, Feb. 1965.
5. M. Al-Arabi , Y. k. Salman, “Laminar Natural Convection Heat Transfer from an Inclined Cylinder”, Int.J. Heat Mass Transfer. Vol.23.pp.45-51. 1980.

6. R.A.Wirtz, R. J. Stutzman, "Experiments on Free Convection Between Vertical Plates with Symmetric Heating", Journal of Heat Transfer, Trans. of the ASME, Vol. 104, pp. 501-507, Aug. 1982
7. M. Keyhani, F.A. Kulacki, R. N. Christensen, "Free Convection in a Vertical Annulus with Constant Heat Flux on the Inner Wall", Journal of Heat Transfer, Trans. of the ASME, Vol. 105, pp. 454-459, Aug. 1983.
8. Handbook of Chemistry and Physics, 56 th edition, CRC Press, 1975-1976, pp.D176.
9. Omega Engineering, Inc., Temperature Measurement Handbook, 1982.
10. U. Adalıoğlu, H. İ. Arkan, A. Baykal, H. Yavuz, "Dar ve Düşey Dikdörtgen Kanallarda Akış ve Soğuma", ÇNAEM TR-333, Temmuz 1997.