

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEKERLİ AĞDA KAYNATMA TANKLARINDA
KARIŞTIRMANIN ISI GEÇİŞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Ufuk DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Temmuz 2013

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEKERLİ AĞDA KAYNATMA TANKLARINDA
KARIŞTIRMANIN ISI GEÇİŞİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ


DOKTORA TEZİ

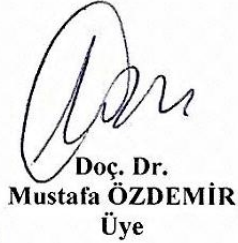
Ufuk DURMAZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

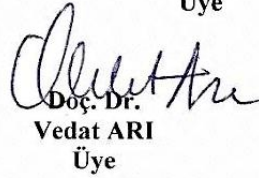
Bu tez 26 / 07 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Hasan Rıza GÜVEN
Jüri Başkanı


Prof. Dr.
Halil İbrahim SARAC
Üye


Doç. Dr.
Mustafa ÖZDEMİR
Üye

Doç. Dr.
İmdat TAYMAZ
Üye


Doç. Dr.
Vedat ARI
Üye



ÖNSÖZ

Doktora tez konumun belirlenmesinden bitimine kadar olan bütün çalışmalarım boyunca, karşılaştığım her güçlükte gerek bilimsel gerekse maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen bilgisi ve öngörüsü ile bana akademik çalışmayı öğreten ve sevdiren çok değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Mustafa Özdemir'e minnettarlığımı sunarım.

Tez izleme jürimdeki saygıdeğer hocalarım sayın Prof. Dr. Hasan Rıza Güven ve sayın Doç. Dr. İmdat Taymaz'a tüm bilimsel katkılarından, destek ve ilgilerinden dolayı en derin teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışmada önemli bir adım olan deney düzeneğinin oluşturulmasındaki yardımlarından dolayı tekniker Metin Günay'a, tez yazımı ve yayın aşamasındaki yardımlarından dolayı Y. Doç. Dr. Hüseyin Dal'a, Y. Doç. Dr. Erman Aslan'a, Y. Doç. Dr. Hüseyin Pehlivan, Y. Doç. Dr. Cemil Yiğit, Y. Doç. Dr. Yüksel Korkmaz ve Meral Korkmaz'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında sabırla her türlü özveride bulunan her zaman yanımda olan ve bana her daim moral veren aileme, özellikle de eşim Emel Durmaz'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından 2010-50-02-012 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.2. Çalışmanın Mevcut Bilime Katkısı	5
1.3. Literatür Araştırması	5
1.4. Çalışmanın İçeriği	11

BÖLÜM 2.

TEMEL TEORİK VE BİLİMSEL ESASLAR	13
2.1. Karıştırıcı Tanklar ve Karıştırıcılar	13
2.2. Karışım ve Çözeltiler	14
2.3. Kaynama	15
2.4. Saf Suyun Kaynaması	16
2.4.1. Sulu çözeltilerin kaynaması	17
2.5. Isı Geçişi	19
2.5.1. İletim ile ısı geçişi	19
2.5.2. Taşınım ile ısı geçişi	20
2.5.3. Işınım ile ısı geçişi	22
2.6. Akışların Sınıflandırılması	23

BÖLÜM 3.

DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇME TEKNİĞİ.....	24
3.1. Öncül Doğrulama Testleri	32
3.2. Kütle ve Enerji Denkliği Denklemleri	34
3.3. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi	36
3.4. Havuz Kaynamasında Isı Geçiş Mekanizması.....	37
3.5. Isı Geçiş Katsayısının Belirlenmesi	39
3.6. Nusselt Fonksiyonunun Belirlenmesi	41

BÖLÜM 4.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	47
4.1. Boru Akışı Benzeşimi	51
4.2. İki Paralel Levha Arası Akış Benzeşimi	55
4.3. Kısa Tip Kanatlar ile Yapılan Deneylere Ait Bazı Sonuçlar	60

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR.....	65
EKLER.....	69
ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Yüzey alanı [m^2]
C	: Sabit [-]
c	: Derişiklik [kg/kg]
c_p	: Sabit basınçtaki özgül ısı [kJ/kgK]
c_s	: Şeker derişikliği [kg/kg]
c_{su}	: Suyun derişikliği [kg/kg]
D	: Çap [m]
D_h	: Hidrolik çap [m]
h	: Isı taşınım katsayısı [W/m^2K]
h_o	: Havuz kaynaması esnasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]
h_a	: Karıştırmalı kaynama esnasındaki ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]
h_f	: Doymuş sıvının entalpisi [kJ/kg]
h_g	: Doymuş buharın entalpisi [kJ/kg]
h_t	: Toplam ısı geçiş katsayısı [W/m^2K]
k	: Isı iletim katsayısı [W/mK]
L	: Uzunluk, boy [m]
l	: Karakteristik uzunluk [m]
m	: Kütle [kg]
\dot{m}	: Kütleli debi [kg/s]
m_s	: Şeker kütlesi [kg]
m_{su}	: Suyun kütlesi [kg]
m_t	: Toplam kütle [kg]
n	: Sabit [-], devir sayısı [dev/dak]
Nu	: Nusselt sayısı [-]
Nu_o	: Kaynama esnasındaki Nusselt sayısı
Nu_a	: Karıştırmalı kaynama esnasındaki Nusselt sayısı

Nu_t	: Toplam Nusselt sayısı
Nu_y	: Yerel Nusselt sayısı
Pe	: Peclet sayısı [-]
Pr	: Prandtl sayısı [-]
r	: Yarıçap [m]
Re	: Reynolds sayısı [-]
u	: Hız [m/s]
T	: Sıcaklık [$^{\circ}C$]
T_a	: Akışkan sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_b	: Kaynama sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_d	: Doyma sıcaklığı [$^{\circ}C$]
T_y	: Yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$]
t	: Zaman [s]
Q	: Isı [kJ]
\dot{Q}	: Isıl güç [W]
\dot{q}	: Isı akısı [W/m^2]
\dot{q}_o	: Havuz kaynaması esnasındaki ısı akısı [W/m^2]
\dot{q}_a	: Karıştırmalı kaynama esnasındaki ısı akısı [W/m^2]
\dot{q}_t	: Toplam ısı akısı [W/m^2]
x	: Kanat ile taban arası boşluk [m]
\vec{V}	: Vektörel hız [m/s]
\vec{V}_{maks}	: Maksimum vektörel hız [m/s]
\vec{V}_{ort}	: Ortalama vektörel hız [m/s]
α	: Isıl yayılım katsayısı [m^2/s]
ν	: Kinematik vizkozite [m^2/s]
ε	: Işınım yayma katsayısı [-]
μ	: Dinamik vizkozite [Pa.s],[kg/ms]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
σ	: Stefan-Boltzman sabiti [W/m^2K^4]

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Su için 1 atm basınçtaki tipik kaynama eğrisi	16
Şekil 2.2. Kaynama noktası yükselmesi.....	18
Şekil 2.3. Sulu şeker çözeltisi için kaynama noktası yükselmesi	18
Şekil 2.4. Düzlemsel plakalar için taşınım ile olan ısı geçişinde sınır tabaka gelişimi	21
Şekil 3.1. Deney düzeneği.....	24
Şekil 3.2. Deney düzeneğinin fotoğrafı.....	25
Şekil 3.3. Kanat tiplerinin fotoğrafı	27
Şekil 3.4. Kanat yapısı	27
Şekil 3.5. Kanadın merkezden kaçık konumlandırılması.....	31
Şekil 3.6. Dalgakıranlı karıştırma kabı	31
Şekil 3.7. Merkezden az, orta ve çok kaçıklık konumları	32
Şekil 3.8. Taban yüzeyindeki sıcaklık dağılımı	33
Şekil 3.9. Taban yüzeyindeki sıcaklık dağılımı	34
Şekil 3.10. Sulu şeker çözeltisinin ısı iletim katsayısının şeker derişikliği ile değişimi	40
Şekil 3.11. Tam gelişmiş laminer akış hız profilleri, (a) boru akışı için, (b) kanal akışı için.....	41
Şekil 3.12. Birinci tip kanat, 4 mm boşluk ve 40 dev/dak için Nu-Re ve Nu-Pr grafikleri.....	42
Şekil 3.13. Düzlemsel plaka üzerinde dairesel yörünge hareketi	44
Şekil 4.1. Şekersiz su karıştırma testi.....	48
Şekil 4.2. Şekerli su karıştırma öncül doğrulama testi.....	48
Şekil 4.3. Uzun dar tip kanat ile 12 mm boşluk 0-40-80-120 dev/dak	49
Şekil 4.4. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	51

Şekil 4.5.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	52
Şekil 4.6.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	52
Şekil 4.7.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	53
Şekil 4.8.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	53
Şekil 4.9.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	54
Şekil 4.10.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Isı taşınım katsayıları	55
Şekil 4.11.	Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Isı taşınım katsayıları	55
Şekil 4.12.	İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	56
Şekil 4.13.	İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	56
Şekil 4.14.	İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	57
Şekil 4.15.	İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	57

Şekil 4.16. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	58
Şekil 4.17. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları	58
Şekil 4.18. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Isı taşınım katsayıları.....	59
Şekil 4.19. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80%(◆), 85%(●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Isı taşınım katsayıları.....	59
Şekil 4.20. 4 mm boşluklu, dalgakıransız, kısa ince tip kanat	60
Şekil 4.21. 4 mm boşluklu, dalgakıranlı, kısa ince tip kanat	61

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Belirsizlik analizi	26
Tablo 3.2. Kanat boyutları	28
Tablo 3.3. Merkezci karıştırıcı deneyler	29
Tablo 3.4. Merkezci/merkezden kaçık, dalgakıranlı/dalgakıransız deneyler.....	30
Tablo 3.5. Su ve şekerin ısı iletim katsayıları	40
Tablo 3.6. Devir sayısı ve karakteristik uzunluklar	42
Tablo 4.1. Öncül doğrulama test tablosu	47

ÖZET

Anahtar kelimeler: Havuz tipi kaynama, ısı geçişi, karıştırıcılı tanklar, şekerli su çözeltileri

Günümüzde şekerleme endüstrisinde, akide şekeri, helva ve birçok yöresel ve modern şekerleme üretiminde şekerden üretilen gıdalara şekil verilebilmesi ve katkı maddeleri (renk, aroma vs.) ilave edilebilmesi için şeker su ilave edilerek şeker su çözeltileri oluşturulmaktadır. Bu çözeltiler karıştırıcılı tanklarda kaynatılarak su uzaklaştırılır ve helva türündeki bu tatlıların üretiminde esas bileşen olarak kullanılan yoğun kıvamlı sulu şeker çözeltileri başka bir deyişle şeker ağdası elde edilir. Helva ve helva türündeki bu tatlılar, Yunanistan, Türkiye ve Arap ülkeleri gibi birçok orta doğu ülkesinde oldukça yaygın olarak tüketilmektedirler.

Karıştırma sayesinde ısı geçişinin iyileştiği iyi bilinmektedir. Bu yüzden ısı geçişini iyileştirmek için endüstriyel üretimde karıştırıcılı kaplara oldukça fazla rastlanılmaktadır. Buna rağmen bu özel konu ile ilgili çok az araştırma bulunmaktadır. Mevcut araştırmalar ise genellikle saf maddelerin ısıtılması veya soğutulması sırasında karıştırmanın ısı geçişine olan etkisi incelenmektedir. Yapılan literatür araştırması, öngörülen çalışmanın henüz yapılmadığını göstermektedir.

Bu çalışmada, kaynatma yapılan karıştırıcılı tanklarda havuz kaynaması esnasındaki ısı geçiş mekanizması deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak gıda endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanıldığından ve sabit basınçta farklı sıcaklıklarda doymuş haller elde etmek mümkün olduğundan sulu şeker çözeltileri kullanılmıştır. Taban yüzeyinden ısıtılan karıştırıcılı tanklarda, farklı derişikliklere sahip sulu şeker çözeltileri için karıştırıcı kanadın dönme hızı, kanat boyutu ve kanat ile taban arasındaki mesafe gibi parametrelerin ısı geçişine olan etkileri araştırılmıştır. Isı geçişinin derişiklik ve devir sayısına büyük oranda bağlı olduğu görülmüştür. Reynolds sayısının maksimum 1100 olduğu laminer akış durumunda ısı akısını hesaplayabilmek için Peclet sayısına bağlı iki farklı tipte Nusselt fonksiyonu önerilmiştir. Deneysel verilerden elde edilen Nusselt sayıları ile önerilen fonksiyonlardan hesaplanan Nusselt sayılarının birbirlerine yakın çıktığı görülmüştür.

INVESTIGATION OF AGITATION EFFECTS ON HEAT TRANSFER IN BOILING VESSELS OF SUGAR SYRUP

SUMMARY

Key Words: Pool boiling, heat transfer, agitated vessels, aqueous sugar solutions

Contemporarily, in the confectionary industry, whether in hard akide candy, halwa candy, or other regional and modern confectionary production, in order to shape foods produced with sugar and to add ingredients such as color, aroma, etc. to the food, water is added to the sugar, thus forming an aqueous sugar solution. Water is removed from the solution by boiling it in agitator tanks. Thus, the main component in the production of these types of sweets, a high viscosity aqueous sugar solution or in other words, sugar syrup is obtained. Halwa candy and candies of this type are very widely consumed in many Middle Eastern countries such as Greece, Turkey, as well as many Arab countries.

It is well known that heat transfer is improved by means of agitating. Therefore, agitated vessels are often encountered in industrial production to improve heat transfer. Although this is known, there is very little research on this particular topic. Moreover, in current research, the effects of agitating on heat transfer while heating and cooling of pure substances are examined. The literature research shows that the discussed study has not been conducted yet.

In this study, the heat transfer mechanism in boiling tanks equipped with agitators has been studied experimentally during pool boiling. Aqueous sugar solutions have been used throughout the experiments because they are quite commonly used in the food industry and because it is possible to obtain saturated liquid-vapor with constant pressure at different temperatures. On bottom surface heated agitator tanks, the effects of parameters such as the agitator blade's rotational speed, blade size, and the gap between the bottom edge of blade and the base of the tank on heat transfer have been investigated for aqueous sugar solutions of different concentrations. Heat transfer was found to be largely dependent on concentration of sugar and cycle speed of agitator. Two different types of Nusselt functions depending on the Peclet number have been proposed in order to calculate the heat flux in the case of laminar flow for which the maximum Reynolds number is 1100. The Nusselt numbers obtained through experimental data were close to the Nusselt numbers calculated from the proposed functions.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Tüm üretim sektörlerinde özellikle de gıda ve şekerleme endüstrilerinde değişik tiplerde ve boyutlarda karıştırıcı tanklar kullanılmaktadır. Bu karıştırıcı tanklar bazen sadece mekanik bir karıştırma işlemi için kullanılırken bazen de ısıtma, soğutma ya da kaynatma süreçlerinin iyileştirilmesi için kullanılmaktadırlar.

Karıştırıcı mili üzerinden verilen mil işi sistemde iç enerjiye dönüştüğünden ve iç enerji de sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan sıcaklığın bir miktar artışına neden olabilmektedir. Bu artış soğutmada soğutma makinesi tarafından elektrik akımı işi (enerjisi) kullanılarak atılmak zorunda olduğundan arzulanmaz. Hatta bu durum soğutma makineleri için bir kalite göstergesi olan enerji verimlilik (C, B, A, A+, A++,...) sınıflarını bile etkileyebilir. Mil işinin iç enerjiye dönüşmesi, ısıtma ve kaynatmada ise arzulan bir etki olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ısı iletkenliği düşük olan çeşitli katı veya koyu (hamur) kıvamlı maddelerin ısıtılması ya da kaynatılması sırasında sıcaklık gradyanının büyük değerlerde olmaması gereken durumlar için yüksek basınç ve hareketlilik sağlanması önem arz etmektedir.

Şekerleme endüstrisinde kullanılan karıştırıcı tanklarda kaynatma ve koyulaştırma işlemi son ürüne ulaşmak için hammaddeye uygulanan en önemli süreçlerden biridir. Kaynatılarak koyulaştırılması söz konusu olan karışımların derişikliğe bağlı maddesel niteliklerinin farklılaşması sonucu azalan ısı geçişinin iyileştirilmesi için karıştırma vazgeçilmezdir.

Şekerleme endüstrisinin bir diğer vazgeçilmezi ise et, süt, şeker, yağ ve un gibi temel gıda maddelerinden biri olan şekerdir. Şeker kamışından elde edilen kristal şeker bir diğer adıyla sakarozun keşfedilmesi ve kullanılmaya başlanması milattan önceye kadar gitmektedir. Şeker pancarından üretilen sakaroz ise 18. yüzyıldan beri

kullanılan bir gıda maddesidir. Dolayısıyla günümüzde gıda ve şekerleme endüstrilerinde tüm dünyada en çok kullanılan maddelerin başında gelir.

Şekerleme endüstrisinde şekerden üretilen gıdalara şekil verilebilmesi ve katkı maddeleri (renk, aroma vs.) ilave edilebilmesi için sakaroz ve/veya diğer şekerlerin sıvı fazda başka bir deyişle mayi durumda olması gerekmektedir. Toz kristal şekerin ısı iletim katsayısı düşük olduğundan şekeri sıvı faza geçirmek için doğrudan ısı verilmesi oldukça güçtür. Sakarozun sıvılaştırma sıcaklığının 120-135 °C aralığında bulunması nedeni ile ve 140 °C derecenin üzerinde karamelleşme tabir edilen, şekerin renk ve kimyasal yapı itibari ile dönüşüme uğraması sıvılaştırma işlemi için gerekli olan ısının küçük sıcaklık farklarında aktarılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıklara maruz kalan şeker kimyasal dönüşüm sürecinde diğer katkı maddeleri ile etkileşime girerek kısmen Hydroxy Methyl Furfural (HMF) oluşmaktadır. Önemli toksik etkileri bilinen bu maddenin oluşmaması için kaynama sıcaklığı kritik bir büyüklüktür. Bundan dolayı şekerlere bir miktar su ilave edilerek sulu şeker çözeltisi oluşturulmakta ve daha sonra bir kap içerisinde bir yandan kaynatılırken bir yandan da karıştırılarak su uzaklaştırılmakta ve çözelti koyulaştırılmaktadır. Bu şekilde istenilen kritik sıcaklıkta sıvı-mayi durumda şeker elde edilebilmektedir.

Sulu şeker çözeltileri başka bir deyişle şerbet, genellikle helva türündeki tatlıların üretiminde kullanılan esas bileşendir. Helva, geçtiğimiz yüzyıla kadar Yunanistan, Türkiye ve Arap ülkeleri gibi birçok orta doğu ülkesinde çok yaygın olarak tüketilirken yakın coğrafyalara da yayılarak bugün kuzey ve batı Avrupa'nın da tatlı menüsünde yer almaktadır.

Koyulaştırma işlemi sırasında sıvı fazındaki suyu uçurabilmek için belli bir miktarda ısı enerjisi gerekli olduğu ve bu ısının küçük sıcaklık farklarında aktarılması gerektiğinden, doğal olarak ısı geçiş yüzeyinin büyütülmesinin veya sürenin uzamasının söz konusu olduğu bilinen bir gerçektir. Endüstriyel üretimde süre ve tesis kapasitesi üretim maliyetleri ile doğru orantılı olduğundan, mühendislik becerisi ile mümkün olduğu kadar küçük yüzeyden, küçük sıcaklık farkında ve kısa zamanda istenilen miktarda ısının geçişinin sağlanması gerekmektedir. Akışkan maddelere ısı

ve kütle geçiş hızı akışkanın akış hızı ve niteliği ile değişmektedir. Bundan dolayı ısı geçişini hızlandırmak için karıştırıcılar kullanılarak bu probleme çözüm bulunabilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Kaynama sırasında doymuş sıvı fazından doymuş buhar fazına geçişte oluşan ve yüzeyde tutunan buhar fazı baloncukları ısı transfer edilen yüzeyde büyürler ve akışkan ile ısıtıcı yüzey arasındaki teması engelledikleri için ısı geçişini zorlaştırırlar. Ancak kaldırma kuvvetinin etkisiyle de buhar baloncukları yüzeyden ayrılırken akışkanın hareketine dolayısıyla da bir miktar karışmasına neden olurlar. Bu durumda akışkan hareketli olduğu için taşınım yoluyla gerçekleşen ısı geçişini de bir miktar iyileştirir. Bu eş zamanlı birbirine zıt iki olayın ısı geçişine olan birleşik etkileri, ısıtıcı yüzeyin yapısı, baloncukların büyüklüğü, akışkanın yüzey gerilimi ve viskozitesi ile ilişkilidir [1,2]. İster saf madde olsun ister karışım faz değişimi esnasında buharlaşma gizli ısıyı değiştirmeyeceği için çok fazlı akışta taşınım işlemleri tek fazlı akışta taşınım işlemlerinden çok daha karmaşıktır. Çok fazlı ve çok karışanlı, bir karışımda çözücünün faz değiştirmesi, çözünen oranının artarak karışımın ısı iletkenlik, özgül ısı ve viskozite gibi özelliklerinin değişmesine neden olduğundan çok bilinmeyenli ve karmaşık bir problem halini almaktadır. Şekerli su karışımlarının karıştırılırken kaynatılarak koyulaştırılması çok fazlı akışta taşınım yoluyla ısı geçişine bir örnek olarak verilebilir.

Kaynama sırasında karışımın şeker derişikliğinin arttığı ve ısı geçiş hızının ise artan şeker derişikliği ile azaldığı bilinmektedir. Ayrıca şeker derişikliği arttıkça faz değişim sıcaklığı da yükselmektedir. Buna literatürde kaynama sıcaklığı yükselmesi adı verilmektedir [3]. Şeker derişikliği %90-95'lere ulaştığında kaynama sıcaklığı da 120-150 °C sıcaklıklarına ulaşmaktadır [4,5]. Şekerin 150 °C üzerinde renk, 170 °C üzerindeki sıcaklıklarda ise kimyasal değişime uğrayarak lezzet değiştirmesi göz önüne alındığında kaynamanın sürdürülebilmesi için ısıtıcı yüzey sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklarda olmaması gerekmektedir. Şekerin diğer ürünlere işlenebilmesi için karışımın içindeki suyun, maksimum 150 °C'nin altındaki bir sıcaklıkta mümkün olan en hızlı şekilde buharlaştırılarak sıvı-mayı duruma getirilmesi gerekmektedir.

Kristal şeker bir diğer adıyla sakaroz üretiminde kullanılan donatıların boyutlandırılması için gerekli ısı geçiş katsayılarının belirlenmesini sağlayan çeşitli veri ve kaynaklar bulunmakla birlikte endüstriyel boyuttaki şeker ağdalı tatlı gıdaların üretimi sırasında kullanılan donatı ve düzeneklerin farklı yapıda olmaları nedeni ile boyutlandırılmasına esas teşkil edecek mühendislik bilgi ve verileri bulunmamaktadır.

Bu çalışmada düzlemsel bir yüzeyden ısıtılan karıştırıcı bir tankta şeker-su çözeltisinin havuz kaynamasında şeker derişikliğine bağlı olarak 100-150 °C'lik bir sıcaklık aralığında ısı geçiş katsayısının parametrelere bağlı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Kanat boyutu, karıştırıcı kanadın devir sayısı, taban ile kanadın alt yüzeyi arasında kalan boşluk ve şeker derişikliği parametre olarak seçilerek ısı geçişi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler atmosferik basınçta iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama laminer akış şartlarını oluşturmak için dalgakırsız, merkezci yerleştirilmiş ve kanat uzunluğu 168 mm olan genişliği ise sırasıyla 16, 26 ve 39 mm olan 3 farklı boyutta kanat, 40-80 ve 120 dev/dak olan 3 farklı devir hızında yapılmıştır.

İkinci aşama ise türbülanslı akış şartlarını oluşturabilmek için dalgakıranlı ve dalgakırsız, merkezci ve merkezden kaçık yerleştirilmiş kanat ile kanat uzunluğu önceki kanat uzunluğunun yarısı, kanat genişlikleri ise aynı boyutlarda olan 3 farklı kanat, 80-120-160-200-240 dev/dak olan 5 farklı devir sayısında yapılmıştır.

Şeker oranı yüksek şekerli su çözeltilerinde iyi bir ısı geçişi için viskozitenin de yüksek olmasından dolayı akışkanın hareketsiz kalmaması için sıyrıcı kanatlar kullanılması gerekli olmasına rağmen uygulamada yaşanan problemler nedeni ile boşluklu (4-12 mm) karıştırıcı kanatlar kullanılmaktadır. Bu yüzden deney düzeneğinde endüstriyel üretim şartları da göz önünde bulundurularak deneyler %70-90 şeker derişikliğinde ve 4-12 mm kanat taban arası boşlukta yapılmıştır.

1.2. Çalışmanın Mevcut Bilime Katkısı

Endüstriye üretimde kullanılan donatı ve düzeneklerin boyutlandırılmasına esas teşkil edecek veriler veya araştırma sonuçları bulunmamaktadır. Akide şekeri, helva ve birçok yöresel ve modern şekerleme üretiminde yaygın olarak aynı teknolojiler kullanılmasına rağmen bu özel konu ile ilgili çok az araştırma bulunmaktadır. Konu ile ilgili mevcut araştırmalar ise daha çok saf maddelerin ısıtılması veya soğutulması sırasında karıştırmanın ısı geçişine olan etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada şekerli su çözeltisi kullanılarak elde edilen sonuçların gıda sektöründe yaygın bir kullanım alanı bulması ve bu konudaki bilimsel veri boşluğunun doldurulması hedeflenmiştir. Şekerleme ürünlerinin imalatında kullanılan karıştırıcı kaynatma tanklarının boyutlandırılması ve tasarımındaki en önemli sorun, ısı geçişinin hangi parametrelere ve bu parametrelere ne kadar bağlı olarak değiştiğinin saptanmasıdır. Söz konusu etki ve ilişkiler yeteri kadar araştırılmadığı için mühendislik çalışmalarında kullanılabilecek bir ilişkiler zinciri de bulunmamaktadır.

1.3. Literatür Araştırması

Yapılan literatür araştırması sonucunda merkezcil yada merkezden kaçık yerleştirilmiş karıştırıcı tanklarda havuz kaynamasında şekerli su çözeltileri için ısı geçişinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysaki günümüzde kullanılan endüstriyel üretim tesislerinde karıştırıcı ve sıyırıcı kanatlı tanklar (kazanlar) oldukça fazla kullanılmaktadır. Mevcut çalışmalar ancak konunun bazı kısımlarıyla belli ölçülerde benzerlik göstermektedir. Konu ile dolaylı olarak ilgisi nedeniyle yapılan çalışmalara ait araştırmalara yayınladıkları yıllara göre sırasıyla aşağıda yer verilmiştir.

Konu ile ilgili kapsamlı ve önemli çalışmalardan birisi Cryder ve Gilliland tarafından yapılmıştır. İçlerinde %25 derişikliğe sahip şekerli suyun da bulunduğu 11 farklı akışkan için kaynama sıvı film katsayısını deneysel olarak incelemiştirlerdir. Isı geçiş katsayısı için ısıl iletkenlik, özgül ısı, özgül ağırlık, sıcaklık farkı, yüzey gerilimi,

ısıtıcının çapı, viskozite, gizli ısı ve transfer edilen ısı parametrelerine bağlı aşağıda verilen formülü önermişlerdir [6].

$$\frac{hD}{K} = 0,38 \left(\frac{CZ}{K} \right)^{0,425} \left(\frac{\Delta t S^2 D^2 K}{Z^3} \right)^{2,39} \left(\frac{Z^2}{SD\gamma} \right)^{1,65} \quad (1.1)$$

Burada, h; ısı geçiş katsayısı, D; ısıtıcı birimin çapı, K; ısı iletkenlik, C; özgül ısı, Z; viskozite, Δt ; sıcaklık farkı, S; özgül ağırlık ve γ ; yüzey gerilimini ifade etmektedir.

Aypak, karıştırıcı sistemlerde ısı transferi adlı yüksek lisans tezinde sabit tank geometrisinde karıştırıcı tipi ve karıştırma hızının ısı geçiş hızına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneylerde 1 mm et kalınlığında galvanizli saçtan yapılmış 0.26 m çapında bombeli tabanlı ve ceketli bir tank kullanılmıştır. Düz kanatlı, eğimli ve diskli 3 farklı tipte türbin kanat kullanılarak karıştırıcı tipinin, karıştırıcı hızının, cekete sıcak su giriş yönünün ısı geçiş katsayısına etkisi araştırılmıştır [7].

Kaytaç, yüksek lisans tezinde dairesel kesitli yatay borular içinde buharlaşarak akmakta olan Freon 11 akışkanının söz konusu olduğu hallerde ısı taşınım katsayısının ısı akısı, kuruluk derecesi ve debiye göre nasıl değiştiğini deneysel olarak çalışmış ve nümerik yöntemler yardımıyla ampirik bir ifade elde etmiştir. Bağlantıyı elde etmek için 50 farklı matematiksel metodu ayrı ayrı incelemiş ve bunlardan en uygun ve olayın fiziksel yanını en iyi yansıtan ($y = ax^b$) aşağıdaki bağlantıyı tercih etmiştir [8].

$$h = aq^b G^c x^d \quad (1.2)$$

Burada h; ısı taşınım katsayısı, a; akışkana ait sabit, G; akışkan debisi ve x; kuruluk derecesini ifade etmektedir.

Değişken kanat hızında karışmanın etkisi ve karıştırıcı bir kap içerisinde bulunan yüksek viskoziteli akışkanların akış davranışları Yao ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Sürekli olarak belli bir aralıkta azalıp artan karıştırıcı hızı ile belirli bir değere kadar artan 2 farklı durum deneysel olarak çalışılmış ancak çalışmada akış hızı ve şeklinin ısı geçişine olan etkisi incelenmemiştir [9].

Peixoto ve Nunhez, yakın geçmişte bu çalışmanın hedefine benzer serpantin soğutuculu karıştırıcı tanklarda iç akışı inceleyerek serpantin yerleştirilmesindeki ufak değişikliklerin iç akışı nasıl etkilediği üzerine nümerik bir çalışma yapmışlardır [10].

Kawase ve arkadaşları, ceketli bir karıştırma tankında Newton tipi olmayan akışkanlardaki ceketten çevrim akışkanına olan ısı geçişini değişik boyutlardaki kanat tipleri için deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. Isı geçişi ve değişik boyutlardaki kanat tipleri ile çalışmaları bu tezdeki çalışma ile benzerlik gösterirken, çalıştıkları akışkanın Newton tipi olmayan bir akışkan olması, kaynamanın olmaması ve karıştırıcı tankın ceketli olması bu çalışma ile arasındaki farklılıkları oluşturmaktadır [11].

Karcz ve Cudak, merkezden kaçık yerleştirilmiş ceketli bir karıştırıcı tankta Newton tipi akışkan ile türbülanslı akış için ısı geçiş katsayısı ve güç tüketimini tez fazlı ve saf madde için incelemiştir [12].

Derksen, rushton türbinli karıştırıcı bir tankta türbülanslı akışta su+kayı (cam) partiküllerden oluşan karışımda katı partiküllerin birbirleriyle ve kanatlarla ilişkisi ve katı partiküllerden dolayı sıvı akışındaki değişiklikleri nümerik olarak incelemiştir. Bu çalışmada sadece iki fazlı (katı+sıvı) akış incelenmiştir [13].

Karcz ve Szoplik, merkezden kaçık yerleştirilmiş karıştırıcı tanklarda merkezden kaçıklık ile karıştırıcının tek ve çift olması durumunun karışma zamanına etkisi incelemişler ve merkezden kaçıklığın ve karıştırıcı sayısının artmasıyla karışma zamanının düştüğünü görmüşlerdir. Yazarların bu yayınında sadece momentum geçişi incelenmiştir [14].

Choi ve arkadaşları tarafından kalma süresi dağılımı dalgakıranlı ve dalgakıransız laboratuvar tipi bir reaktörde farklı besleme akış hızı ve karıştırıcı hızlarında deneysel ve CFD olarak araştırılmıştır [15].

Szalai ve arkadaşları, dörtlü merkezci bir karıştırıcı karıştırma tankında iz maddesi kullanarak sadece kütleli bir karışım için karışma performansını deneysel ve sayısal benzetim olarak araştırmışlardır [16].

Bu çalışmaya hedefleri ve yöntemleri bakımından en yakın olan çalışmalardan biri Tiwari ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında palmye şekeri üretimi için şeker kamışı suyunun karıştırmanın olmadığı havuz kaynaması esnasındaki taşınım ısı ve kütle geçişini deneysel olarak incelemişlerdir. 160-340 Watt ısı gücü aralığında ısı geçiş katsayısının 50,65-345,20 W/m²oC aralığında değerler aldığını tespit etmişlerdir. Şeker derişikliği ile ısı geçiş katsayısı ve aktarılan ısı gücü ilişkilendirmemişlerdir [17].

Yu ve arkadaşları, karıştırıcının olmadığı ve doyma sıcaklığının altında gerçekleşen kaynama ısı geçiş karakteristiğini su ve %25 ile %50 arasındaki 4 farklı şeker çözeltisi için şeker fabrikalarında kullanılan ısı değiştiricilerinin çalışma şartlarına benzer şartları sağlayan bir düzenekte zorlanmış taşınım ve çekirdek kaynamasını da kapsayan bir deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel veriler çeşitli kaynama akış modelleriyle ve iyileştirilmiş Chen modeliyle kıyaslanmıştır. Dairesel kesitte şeker çözeltilerinin ısı geçiş katsayısı için yeni model daha iyi sonuçlar vermiştir [18].

Karcz ve arkadaşları, deneysel olarak çalıştıkları merkezden kaçık konumlanmış karıştırıcılarda boyutsuz kayma hızının, sürtünme katsayısının ve ısı geçiş katsayısının büyük oranda merkezden kaçıklığa bağlı olduğunu matematiksel olarak ispatlamışlardır. Karcz ve arkadaşlarının merkezden kaçık konumlanmış karıştırıcı tanklarda ısı geçişi çalışmaları bu tez ile benzerlik gösterirken kaynamanın ve şekerli suyun olmaması en belirgin farklılıktır [19].

Lakghomi ve arkadaşları, CFD kullanarak serpantin borulu ve ceketli karıştırma tanklarında ısıtma/soğutma için türbülanslı akışta akış davranışını ve sıcaklık dağılımını incelemişlerdir. Çalışmanın neticesinde serpantin borulu karıştırma tanklarında daha homojen sıcaklık dağılımı ve yüksek ısı geçiş katsayısı elde etmişlerdir [20].

Adamiak ve Karcz, geçici ve türbülanslı akış için dalgakıranlı bir tankta, sıvı yüksekliği tank çapına eşit veya 2 katı olması durumunda, 5 farklı karıştırıcı kanat için kaynamanın olmadığı farklı derişikliklerde şeker-su karışımı kullanarak karıştırıcı sayısı tipinin güç karakteristiğine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Türbülanslı rejimdeki bir sıvı akışında güç karakteristiğinin karıştırıcı kanatların arasındaki boşluğa bağlı olduğu görülmüştür [21].

Cudak ve Karcz, şekerli su çözeltisinden farklı bir Newton tipi akışkan ile kaynamanın olmadığı türbülanslı rejimde ceketli karıştırıcılı bir tankta, deneysel olarak tespit edilen yerel ısı geçiş katsayıları, ısı geçiş yüzey alanı üzerindeki ölçüm noktalarının ve karıştırıcının merkezden kaçıklığının bir fonksiyonu olarak incelemişlerdir. Bu tezde gravimetrik ölçüm metodu kullanılarak hesaplanan ısı geçiş katsayıları, Cudak ve Karcz'ın bu yayınlarında bilgisayar destekli elektro-kimyasal metot ile ölçülmüş, ölçümler iç çapı 0,3 metre, sıvı yüksekliği tank çapına eşit olan karıştırıcılı bir tanka uygulanmıştır. Sonuçlar, merkezden kaçık konumlanmış pervane ve HE 3 tipi karıştırıcılı bir tanktan elde edilen datalar ile kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmadan, karıştırıcının merkezden kaçıklığının artmasıyla ısı geçiş katsayısının da arttığı, ısı geçiş katsayısı dağılımının ise karıştırıcı kanat tipi ve karıştırıcılı tanktaki sıvı akış yönüne bağlı olduğu görülmüştür. Merkezden kaçık ve radyal akış sağlayan karıştırıcılarda daha yüksek yerel ısı geçiş katsayılarının meydana geldiği tespit edilmiştir [22].

Cabaret ve arkadaşları, rushton tipi kanatlı bir karıştırıcılı tankta merkezden kaçıklık ve Reynolds sayısının laminer akış şartlarında ($Re < 10$) karışma performansına etkilerini incelemişlerdir. Akışkan olarak Newton tipi ve viskoz olan mısır şurubu kullanmışlardır. Her iki parametrenin de karışma performansında oldukça etkili olduğunu görmüşlerdir. Merkezden kaçıklığın ise kanadın güç tüketimine bir etkisinin olmadığını göstermişlerdir [23].

Triveni ve arkadaşları, ısıtma/soğutma yapılan serpantin borulu karıştırıcılı tanklarda Newton tipi ve Newton tipi olmayan hintyağı ve onun metil esteri, sabun çözeltisi, CMC ve tebeşir çamuru olarak isimlendirilen bazı önemli endüstriyel sistemlerdeki akışkanların ısı geçiş katsayılarını deneysel olarak belirlemişlerdir. Kanat geometrisi

ve hızı ile gaz etkisi araştırılmıştır. Karıştırılan akışkanda katı madde bulunması ve bulunmaması durumlarında ısı geçiş katsayısında, hızla birlikte bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Bu çalışmada geliştirilen bağıntılar ticari tip reaktör tasarımına uygulanmış ve güvenilir bir reaktör tasarımı için birim hacim başına güç tespit edilmiştir [24].

Adip ve Vasseur, inceleme türündeki kapsamlı yayınlarında kaynama ısı geçiş katsayısının tahmini ile ilgili 16 farklı bağıntıyı incelemişlerdir. Sıvı gıda buharlaştırıcıların tasarımlarında kullanılabilmesi için derişiklikle birlikte artan viskozite durumunu göz önüne alan birçok bağıntı, bağılı olduğu sıvı viskozitesi ve ısı akısı başta olmak üzere, düşey film akışı, kaynama rejimi gibi faktörler açısından ele alınmıştır [25].

Özdemir ve Pehlivan, değişik derişikliklere sahip şekerli su karışımının ısı geçişini ve kaynama sıcaklığını deneysel olarak inceleyerek şekerli su karışımının derişikliğe bağılı kaynama sıcaklığı ve ısı akısını hesaplayabilmek için aşağıdaki fonksiyonları önermişlerdir [26].

$$T_b = T_d + (c_s T_d / 2.1)^{c_s^{2.1}} \quad (1.3)$$

$$h = C(1 - c_s) \left(T_y - (T_d + (c_s T_d / 2.1)^{c_s^{2.1}}) \right)^{0.3} \quad (1.4)$$

Karcz ve Mackiewicz, askıda kalan katı parçacık tekniği ile karıştırıcılı bir tankta dalgakıran etkilerinin incelenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneyle dalgakıranın uzunluğu, konumu ve sayısıyla bağılantılı olarak 12 farklı konfigürasyon için yapılmıştır. Sonuçlar boyutsuz denklem formunda tanımlanmıştır [27].

Adip ve arkadaşları, deney akışkanı olarak Newton tipi bir akışkan olan ve gıda endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılan şeker çözeltisi kullanarak buharlaştırıcı tasarımı için gerekli olan kaynama ısı geçiş katsayısını şeker derişikliği ve kaynama noktası yükselmesini de hesaba katarak incelemişlerdir. Araştırmalarında buharlaştırıcı sıcaklığını ve basıncını, ısı akısı ve ısıtıcı yüzey ile akışkan sıcaklıklarının farkını ve kütle akış hızını da dikkate almışlardır [28].

Vakili ve Esfahany, karıştırıcı hızı, kanat çapı, dalgakıran genişliği ve karıştırıcının tabandan olan uzaklığının türbülans akış alanına etkilerini araştırmışlardır. Tanktaki 3 farklı bölge CFD metodu ile incelenmiştir. 4 adet dalgakıran, iki kanatlı karıştırıcı ve akışkan olarak su kullanılmıştır. 3 farklı dalgakıran genişliği incelenmiştir. Sonuçlar başka bir nümerik çalışma ile kıyaslanmıştır [29].

Literatür araştırması sonunda yüksek şeker derişikliğine sahip sulu şeker çözeltilerini havuz kaynaması esnasında karıştırmanın ısı geçişine olan etkilerinin incelendiği özel bir çalışmaya rastlanmamıştır. Araştırmacılar karıştırma türlerinin etkinliği konusunda yeni bilgi ve bulgulara ulaşmakla birlikte bu araştırmanın konusu olan kaynayan sulu şeker çözeltileri için karıştırıcılı kaplarda ısı geçiş mekanizmasını incelememişlerdir.

Saf maddelerin havuz kaynaması sırasında ısı geçiş karakteristiğini ortaya koymak için çok uzun yıllardan beri çalışmalar yapılmaktadır. Bu alandaki öncülerden birisi olan Rohesnow [30] ve onun bazı temel hesaplamaları sonraki birçok çalışmada kullanılmıştır. Nukiyama [31] havuz kaynamasını deneysel olarak çalışmaya odaklanmış ve kendi adıyla bilinen kaynama eğrisini bulmuştur. Fakat bu çalışmaların çoğu saf maddeler için uygulanabiliridir.

Çözeltiler için ise karıştırmanın olmadığı havuz kaynamasında şeker derişikliğine bağlı kaynama noktası ve ısı geçiş katsayısını hesaplayabilmek için Özdemir ve Pehlivan bir fonksiyon önermişlerdir [26]. Ancak bu yayımdan elde edilen ilişkiler karıştırıcısız havuz kaynaması ile sınırlı olduğu için endüstriyel uygulamalarda kullanılan karıştırıcılı tanklar için yeterli değildir. Buradaki eksikliği gidermek amacı ile yapılmış olan bu tez önceki çalışmanın devamı niteliğinde olup söz konusu bilimsel boşluğun doldurulması amaçlanmıştır.

1.4. Çalışmanın İçeriği

Bu tez çalışmasında, araştırma alanının kapsamı çok geniş olduğu için çalışmanın makul bir sürede tamamlanıp elde edilen bilimsel bulguların daha sonraki çalışmalara ışık tutmak üzere paylaşımını sağlamak amacıyla çalışma kapsamı

sınırlandırılmıştır ve karıştırıcı kaynatma tanklarında karıştırmanın ısı geçişine etkisinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma 5 bölüm ve ekinde oluşmaktadır. İlk bölümde karıştırma ve kaynatma süreçlerine daha çok nerelerde ve neden ihtiyaç duyulduğundan, çalışmanın amacından ve kapsamından, mevcut bilime katkısından ve literatür araştırmalarından bahsedilmiştir.

Bölüm 2’de bazı temel teorik ve bilimsel esaslara kısaca da olsa değinerek hatırlamanın faydalı olacağı düşünülmüştür.

Bölüm 3’te amacı ve kapsamı açıklanan çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için deney düzeneği ve elemanları, deneylerin yapılışı anlatılarak, deney sistematüğinden ve öncü deneylerden bahsedilmiştir.

Bölüm 4’te deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiş ve bu sonuçların irdelemesi yapılmıştır.

Bölüm 5’de çalışma boyunca elde edilen sonuçların genel bir özeti ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Ekler kısmında ise deney sonuçlarında deney ölçümlerini yaparken kullanılan aletlerin duyarlılığından kaynaklanabilecek hataların ve deney sonuçları kullanılarak hesaplanan verilerin hata analizine, deneyler yapılırken kullanılan şablona, bazı deneysel verilere ve tablolara yer verilmiştir.

BÖLÜM 2. TEMEL TEORİK VE BİLİMSEL ESASLAR

Bu bölümde karıştırıcı tanklar ve karıştırıcılar, karışımlar, kaynama, ısı geçişi ve akışların sınıflandırılması gibi bazı temel teorik ve bilimsel esaslardan kısaca bahsedilecektir.

2.1. Karıştırıcı Tanklar ve Karıştırıcılar

Karıştırıcı tanklar tek ve çok fazlı bileşenleri homojenleştirmek ve/veya ısı ve kütle geçişini hızlandırmak için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Uygulamalarda çoğunlukla silindirik tanklar kullanılmakta olup tank tabanının şekline göre bombeli, düz ve konik tabanlı silindirik tanklar olarak gruplandırmak mümkündür. Bu çalışmadaki deneylerde tabanı düz silindirik bir kap kullanılmıştır.

Karıştırıcı tanklarda kullanılan karıştırıcılar radyal ya da aksel olmak üzere 2 tipte akış yörüngesi oluşturabilir. Radyal karıştırıcılarda akım, karıştırıcı çapı boyunca gelişirken, aksel karıştırıcılarda akım, karıştırıcı miline paralel gelişir. Karıştırıcıları yapı itibarı ile de 3 ana grupta toplamak mümkündür. Yüksek hızlarda ve viskozitesi düşük karışımlarda verimli olan pervane tipli karıştırıcılar, çok fazlı bileşenlerin ve viskozitesi yüksek karışımlarda verimli olan türbin tipi karıştırıcılar ve son olarak da kanat çapı / tank çapı oranı yüksek olan yatay ve dikey çalışabilen çark tipi karıştırıcılar.

Bu çalışmada dönme eksenine monte edilmiş 2 düz kanatlı farklı boyutlarda türbin tipi karıştırıcı kanatlar kullanılmıştır.

2.2. Karışım ve Çözeltiler

Karışım iki saf maddenin kimyasal özelliklerini kaybetmeden her türlü oranda bir araya gelmesiyle oluşur. Karışımda bulunan maddelerin birden fazla fazı bulunabilir. Başka bir deyişle karışım katı-katı, katı-sıvı, sıvı-sıvı, sıvı-gaz ya da gaz-gaz fazlarından oluşabilir. Karışımlar buldukları fazlara göre homojen, heterojen, süspansiyon veya emülsiyon olmak üzere değişik isimler alırlar.

Homojen karışımlarda madde dağılımı ve özellikleri her yerde aynı iken heterojen karışımlarda farklıdır. Süspansiyon, katı-sıvı ve heterojen karışımların özel halidir. Emülsiyon ise sıvı-sıvı ve heterojen karışımlara verilen özel addır.

Bazı saf maddelerin birbirleriyle oluşturdukları homojen karışımlara özel olarak çözelti adı verilir. Çözeltiyi oluşturan sıvı maddeye çözücü, sıvı içerisinde dağılan saf maddeye de çözülen denir. Bu tezde incelenen sulu şeker çözeltisi, şekerin-su içinde homojen olarak çözünmesiyle oluşan sıvı katı çözeltilerine bir örnek olarak gösterilebilir.

Faz bir sistemin fiziksel olarak sistemin diğer kısımlarından belirgin bir sınırla ayrılan homojen ve aynı molekül düzenine sahip kısmıdır. Saf bir maddenin 3 temel fazı katı, sıvı ve gaz (buhar) halidir. Katı halden sıvı ya da gaz haline veya sıvı halden gaz haline geçişe faz değişimi denir.

Saf bir maddenin katı, sıvı ve gaz halini ya da bir karışımın fiziksel görünümünün değişimini, sıcaklık, basınç veya karışımın içeriğinin fonksiyonu olarak gösteren grafiklere faz diyagramı denmektedir.

Fazlar arasında oluşan denge incelenirken ilgili bağımsız değişken sayısı

$$BD = B - F + 2 \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilen Gibbs faz kuralı ile verilmektedir. Denklem (2.1)'de BD bağımsız değişken sayısı, B, bileşen sayısı ve F dengede bulunan faz sayısıdır.

Örneğin bu tez çalışmasında incelenen iki bileşenli, iki fazlı bir sistem için iki tane sıcaklık ya da basınç gibi bağımsız özelliğin belirlenmesi gerekir.

Bu tez çalışmasında buharlaşmanın söz konusu olduğu iki fazlı hal söz konusudur. İki fazlı hallerde söz konusu olan iki fazlı akışları daha kolay hesaplayabilmek için ortaya atılan teorilerin tamamına yakını deneyleri temel alarak yola çıkıldıktan sonra elde edilmiştir. Sıvı halden buhar haline geçiş esnasındaki karmaşık oluşumlar ve olaylar daha kolay hesaplanabilen ve önceden incelenmiş olan daha basit hallere indirgenmeye çalışılır. Bunun mümkün olabildiği durumlarda çözüm için mevcut bazı teoriler yeterli olmaktadır. Konumuz gereği bu tezde de incelenen karıştırılarak kaynatılan sulu şeker çözeltisinde su ve şekerin sıvı fazları ile suyun buharlaşmasına bağlı olarak gerçekleşen suyun gaz hali bulunmaktadır. Şekerin sıvı fazının doyma sıcaklığı ve doyma basıncı deneylerin yapıldığı sıcaklık ve basınçtan daha düşük olduğundan bu bağlamda iki fazlı hal buharlaşmakta olan suyun sıvı ve gaz hallerini ifade edecektir.

2.3. Kaynama

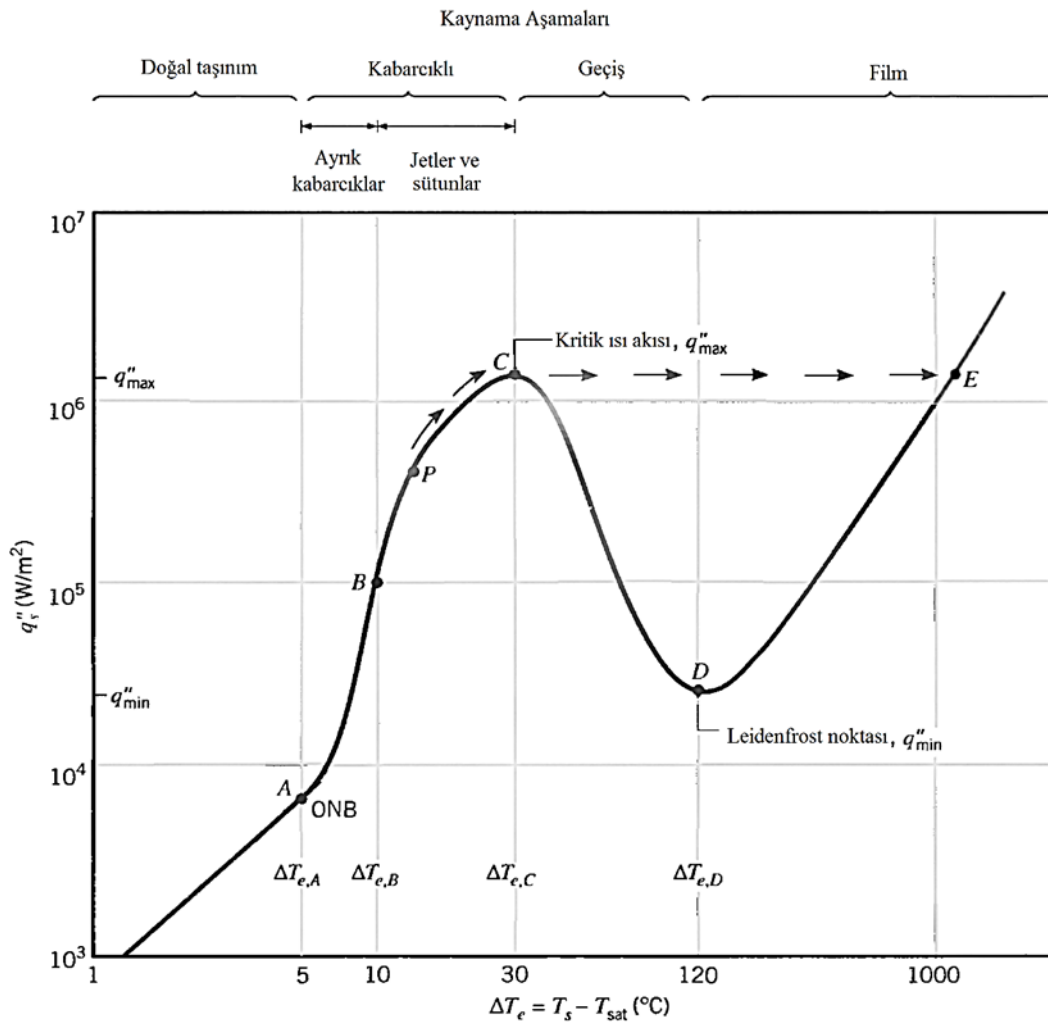
Genel olarak kaynama, akışkan ile katı yüzey arasında akışkanın sıvı fazdan buhar fazına geçmesidir. Süreç, yüzey sıcaklığının sıvının belli bir basınçtaki doyma sıcaklığını aştığı anda başlar.

Kaynama, çeşitli koşullarda gerçekleşebilir. Örneğin, havuz kaynamasında, akışkanın kitlesel bir akışı yoktur ve yüzey etrafındaki hareketi, kabarcık büyümesi ve ayrılmasından kaynaklanan karışma ve doğal taşınım ile olur. Buna karşın, zorlanmış taşınımlı kaynamada akışkan hareketi, doğal taşınım ve kabarcık kaynaklı kaynama kadar, bir dış kuvvetin etkisiyle de gerçekleşir. Kaynama, aşırı soğutulmuş veya doymuş olarak da sınıflandırılır. Aşırı soğutulmuş kaynamada, sıvının sıcaklığı, doyma sıcaklığından küçüktür ve yüzeyde oluşan kabarcıklar, sıvının içinde yoğunlaşabilir. Buna karşın, doymuş kaynamada, sıvının sıcaklığı, doyma sıcaklığını biraz aşar. Yüzeyde oluşan kabarcıklar da, kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle, sıvının içinde yukarı doğru itilir ve sonuçta serbest yüzeyden dışarı çıkar.

2.4. Saf Suyun Kaynaması

Kaynama sürecinin Şekil 2.1'de verilen kaynama eğrisinde gösterilen havuz kaynamasının aşamaları incelenerek daha iyi kavranması mümkündür.

Birinci bölgede, doğal taşınım ile kaynama, ısıtıcı yüzey ile akışkanın sıcaklıklarının farkı $\Delta T_{e,A} \approx 5^\circ C$ veya daha küçük olduğu durumlarda doğal taşınım ile kaynama olur. A noktasının (kabarcıklı kaynamanın başlangıcı ONB olarak da bilinir) altında kalan bu bölgede henüz faz değişimi söz konusu değildir.



Şekil 2.1. Su için 1 atm basınçtaki tipik kaynama eğrisi [32]

İkinci bölgede, kabarcıklı kaynama, $\Delta T_{e,C} \approx 30^{\circ}C$ olmak üzere $\Delta T_{e,A} \leq \Delta T_e \leq \Delta T_{e,C}$ aralığında gerçekleşir. Bu aralığa kabarcıklı kaynama aralığı denir. Bu aralıkta iki farklı akış düzenine rastlanabilir. A-B bölgesinde kabarcıklanma odaklarında ayrı kabarcıklar oluşur ve yüzeyden ayrılır. Sıcaklık farkı B noktasını aşınca, kabarcıklanma odakları artar ve kabarcık oluşumundaki artış, kabarcıkların etkileşmesine ve birleşmesine neden olur. B-C bölgesinde ise buhar, jet veya sütunlar halinde yükselir ve daha sonra birleşerek, buhar yastıkları oluşturur. P noktası, kaynama eğrisi üzerinde, eğimin en fazla olduğu ve bu yüzden ısı taşınım katsayısının en yüksek değere ulaştığı noktaya karşı gelir [32].

Üçüncü bölgede $\Delta T_{e,D} \approx 120^{\circ}C$ olmak üzere $\Delta T_{e,C} \leq \Delta T_e \leq \Delta T_{e,D}$ aralığına karşı gelen aşamaya geçiş kaynaması, kararsız film kaynaması veya kısmi film kaynaması adı verilir. Bu bölgede kabarcık oluşumu o denli hızlıdır ki, yüzey üzerinde bir buhar filmi veya örtüsü oluşmaya başlar [32].

Dördüncü bölgede ise $\Delta T_e \geq \Delta T_{e,D}$ olduğu zaman film kaynaması gerçekleşir. Leidenfrost noktası olarak adlandırılan, kaynama eğrisinin D noktasında, ısı akışı en küçük değerini alır. Yüzey tümüyle bir buhar örtüsüyle kaplıdır. Yüzeyden sıvıya ısı geçişi, buhar üzerinden iletim ile gerçekleşir [32].

2.4.1. Sulu çözeltilerin kaynaması

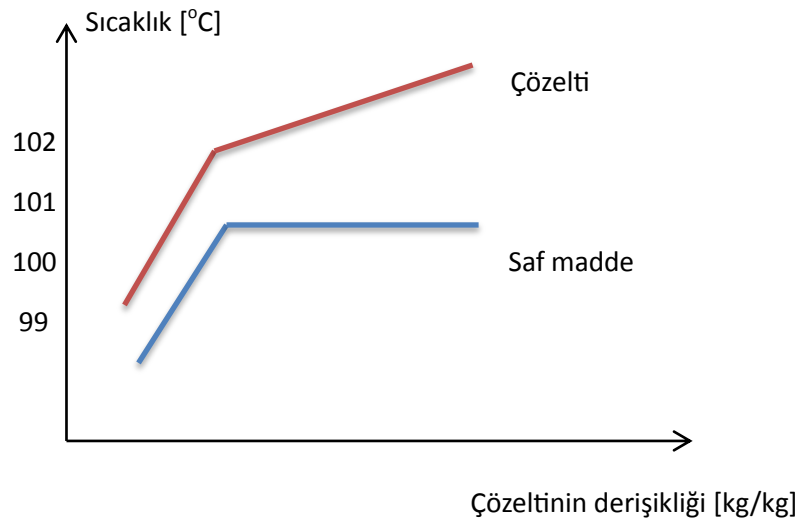
Sulu çözeltilerde, çözünen maddenin cinsine ve çözünen miktarına göre suyun kaynama noktası değişir. Sıvı katı çözeltilerinde, çözeltilinin kaynamaya başlama sıcaklığı saf sıvının kaynama noktasından yüksektir. Çözünene ait derişiklik arttıkça kaynamaya başlama sıcaklığı da artar. Saf maddelerin kaynama noktası kaynama süresince sabit kalırken, çözeltilerin kaynama noktası sabit kalmaz. Kaynama süresince çözücü buharlaşarak derişiklik arttığından kaynama noktası çözelti doymuş hale gelinceye kadar yükselir.

Bir çözünen etkisi ile buhar basıncı düşürülen bir çözeltilinin, buhar basıncını atmosferik basınca eşit yapabilmek için daha yüksek sıcaklığa gereksinim vardır. Bu

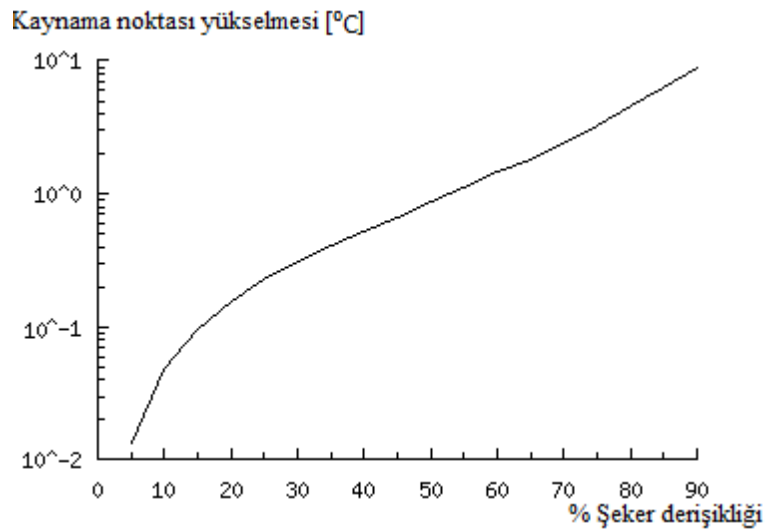
etki çözeltilerde kaynama noktası yükselmesi şeklinde ortaya çıkar. Koligatif bir özellik olan kaynama noktası yükselmesi,

$$\Delta T_b = K_b \cdot m \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ΔT_b , kaynama sıcaklığındaki değişme, m , molalite, K_b , molal kaynama noktası yükselmesi sabiti olup çözücünün bir özelliğidir. Su için K_b değeri $0,512 [^{\circ}\text{C}(\text{kgH}_2\text{O})/\text{mol}]$ olarak verilir.



Şekil 2.2. Kaynama noktası yükselmesi



Şekil 2.3. Sulu şeker çözeltisi için kaynama noktası yükselmesi [3]

Sulu şeker çözeltisi için kaynama noktası yükselmesi Şekil 2.3'te verilmiştir [3]. Örneğin saf suyun kaynama noktası şeker derişikliği %60 olduğunda 1,47 °C, derişiklik %90 civarında 8,75 °C ve doymuş çözelti durumunda ise 16,03 °C artış göstermektedir.

2.5. Isı Geçişi

Isı, bir enerji türü olup dışarıdan herhangi bir zorlama olmadığı takdirde kendiliğinden yüksek sıcaklıktaki kaynaktan düşük sıcaklıktakine akma eğilimi gösterir [33]. “Isı Geçişi” yüzyıllardır derinlemesine incelenen ve kapsamı oldukça geniş olan bir konudur. Konunun bu derece geniş ve yerine göre karmaşık olması nedeniyle günümüzde artık ısı geçişi yerine problemin durumuna uygun olarak özel adlar kullanılmaktadır. Bu adlar, genel olarak ısı geçişinin meydana geldiği şartları temsil etmektedirler [8].

Isı geçişi; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) veya ışıınım (radyasyon) yolu ile gerçekleşebilir. Isı geçişi tek bir yolla olabileceği gibi birden fazla yolla da gerçekleşebileceği olasılıkları göz önüne alındığında konunun görüldüğü kadar basit olmadığı anlaşılmaktadır.

2.5.1. İletim ile ısı geçişi

Isı iletiminin bu türü atomik ve moleküler düzeyde hareketle ilişkilidir. İletim bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklardan daha düşük enerjili parçacıklarına, bu parçacıklar arasındaki etkileşimler sonucunda enerjinin aktarılması olarak düşünülebilir.

Bir boyutlu düz duvar için Fourier Yasası olarak da bilinen ısı iletim denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Isı akısı q_x'' (W/m^2) ,ısı geçiş doğrultusuna dik birim yüzeyden, birim zamanda, x doğrultusunda geçen ısıdır ve bu doğrultudaki sıcaklık gradyanı dT/dx ile doğru orantılıdır. Orantı katsayısı k, ısı iletim katsayısı (W/mK) olarak adlandırılan bir aktarım özelliğidir ve duvar malzemesi ile ilişkilidir. Eksi işareti, ısı geçişinin, sıcaklığın azaldığı yönde gerçekleşmesinin bir sonucudur [32].

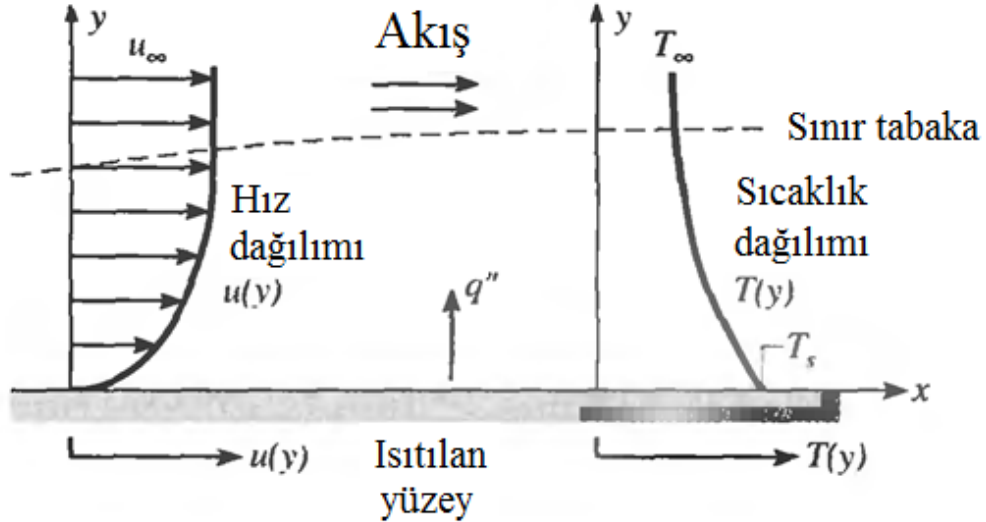
Bu deneysel çalışmada kullanılan elektrikli ısıtıcı ile ısıtılan karıştırıcı kabın tabanında sıcaklığın ölçüldüğü yer ile sıvının temas ettiği yüzey arasındaki cidar kalınlığı yaklaşık 0,1 mm'dir. Paslanmaz çelik için ısı iletim katsayısı k ise yaklaşık $15 W/m^{\circ}C$ 'dir. Deneyler esnasındaki maksimum sıcaklık $150^{\circ}C$ 'den daha az ve ortalama ısı akısının yaklaşık 500 W civarlarında olduğu göz önüne alınırsa, iletim ile olan ısı geçişi sonucunda yüzey sıcaklığındaki düşüş taban et kalınlığının çok ince olması nedeniyle % 0,002 mertebelerinde olmaktadır. Başka bir deyişle en yüksek şeker derişikliğinde maksimum $150^{\circ}C$ olan termik çift göstergesine karşın gerçek yüzey sıcaklığı $149,99^{\circ}C$ olmaktadır. Bu yüzden iletim ile olan ısı geçişi sırasındaki sıcaklık gradyeni ihmal edilebilmiştir.

2.5.2. Taşınım ile ısı geçişi

Gaz veya sıvı haldeki akışkan ile akışkanın temas ettiği yüzey arasındaki moleküllerin hareketleri ile meydana gelen ısı geçiş şekline ısı taşınımı denir [33].

Sabit sıcaklıkta düz bir levha üzerindeki akışta hız ve ısı sınır tabakaların oluşumu aşağıdaki şekilde görülmektedir. Akışkan parçacıklarının hızları yüzey ile temas ettikleri yerde sıfır olmaktadır. Hızı sıfır olan akışkan parçacıkları temas ettikleri akışkan parçacıklarının hareketlerini de yavaşlatırlar. Bu etki kesikli çizgi ile gösterilen sınırdan sonra göz ardı edilebilir bir değere gelir. Yüzey ile kesikli çizgi arasında kalan bu alana hız (hidrodinamik) sınır tabaka denir. Bir yüzeyde akış olduğunda nasıl bir hız sınır tabaka oluşuyor ise akışkan sıcaklığı yüzey sıcaklığından farklı olduğu durumlarda da ısı sınır tabaka oluşmaktadır. Yine aşağıdaki şekil incelenirse, akışkan parçacıkları levha ile temas ettiklerinde sıcaklıkları levha ile aynı sıcaklığa ulaşır. Bu parçacıkların komşu akışkan parçacıklarıyla teması akışkan içinde bir sıcaklık farkının oluşmasına sebep olur.

Kesikli çizgi ile gösterilen akışkan sıcaklık farkının olduğu bu bölgeye ısı sınır tabaka denir.



Şekil 2.4. Düzlemsel plakalar için taşınım ile olan ısı geçişinde sınır tabaka gelişimi [32]

Isı geçişinin ağırlıklı olarak taşınım ile ilgili kaldığı problemlerde bir akış veya buharlaşma (veya her ikisi birden) söz konusu ise ısı taşınım katsayısının değişiminin doğru olarak saptanması için problemin fiziksel yapısının iyi anlaşılması büyük önem arz etmektedir.

Gerçekte ısı taşınımına etki eden geometri, akışkan hızı, akışkanın fiziksel özellikleri gibi birçok faktör, h ısı taşınım katsayısı içinde gizlidir. Basit bir eşitlik ile ifade edilmesine rağmen, ısı taşınımında en büyük güçlük istenilen geometride ve koşullarda taşınım katsayısının belirlenebilmesidir. Bu değer ancak düzlem levha etrafında, silindirik boru içinde laminar akış gibi bazı basit geometriler için teorik olarak hesaplanabilir. Olaydaki etkenlerin fazlalığı nedeniyle birçok durumda analitik çözüm imkânsızdır. Bu durumlarda deneysel bulgulardan yararlanılır [34].

Taşınım ile olan ısı geçişi bu çalışmanın asıl konusu olduğundan daha sonraki bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

2.5.3. Işınım ile ısı geçişi

Isı ışınımı (radyasyon) ile ısı geçişi, iletim ve taşınım ile ısı geçişinden tamamen farklıdır. En önemli ayrılık; ısı ışınımında ısı geçişi için, ısı geçiş edilen cisimler arasında sürekli bir sıcaklık farkının bulunmasının zorunlu olmadığıdır. Bunun en güzel örneği, dünyayı ısıtan güneşin yüzey sıcaklığı 5712 K ve dünya ortalama yüzey sıcaklığı 280 K kabul edilirse; ikisi arasında uzay sıcaklığının yaklaşık 0 K olmasına rağmen ısı ışınimleri bundan dolayı engellenmemektedir ve dünyaya ulaşarak ısıtmaktadır. Isı ışınım dalgaları elektromanyetik dalgalara benzetilebilirler. Bir cisimden neşredilen, enerji ihtiva eden bu dalgalar, diğer bir cisme vardığında tekrar ısı enerjisine dönüşürler [35].

Işınım ile ısı geçişi, ideal bir radyatörden (kara cisim) toplam ısıyı veren esas eşitlik 1879 da Stefan tarafından ampirik olarak verilmiş ve 1884 de Boltzman tarafından termodinamiğin birinci kanunundan hareket edilerek teorik olarak elde edilmiştir [36].

$$Q = A\sigma T^4 \quad (2.4)$$

Siyah olmayan bir cisim için ışınım yolu ile gerçekleşen ısı geçişi

$$Q = A\epsilon\sigma T^4 \quad (2.5)$$

olarak verilmektedir. Burada Q ışıma yolu ile A yüzeyinden yayılan ısı, T ; yüzeyin mutlak sıcaklığı, σ ; Stefan-Boltzman sabiti [W/m^2K^4] ve ϵ ; değeri siyah cisimler için 1 farklı renklerdeki cisimleri için 0 ile 1 arasında olan ışınım yayma oranıdır.

Bu çalışmada ortalama yüzey sıcaklığının 450 K, ortalama akışkan sıcaklığının 400 K, ısıtıcı yüzey alanının $0,02 m^2$ ve Stefan-Boltzman sabitinin de $5,6 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ olduğu göz önüne alınırsa ışınım ile olan ısı geçişi yaklaşık 17,255 W civarlarında olmaktadır. Maksimum ısı akısının yaklaşık 750 W civarlarında olduğu göz önüne alınırsa iletim ile ısı geçişinde olduğu gibi ışınım ile ısı geçişi de ihmal edilebilmiş ve toplam ısı geçiş katsayısı toplam ısı taşınım katsayısı olarak düşünülmüştür.

2.6. Akışların Sınıflandırılması

Uygulamada çok çeşitli akış problemleriyle karşılaşmak mümkündür. Burada olabilecek çok farklı sınıflandırmalardan bazılarını kısaca değinilecektir [37].

Sürtünme etkilerinin önemli olduğu akışlar, viskoz akışlar olarak adlandırılır. Bununla beraber, uygulamada karşılaşılan akışların çoğunda viskoz kuvvetlerin atalet ve basınç kuvvetlerinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kaldığı bölgeler (tipik olarak katı yüzeylerden uzak bölgeler) vardır. Bu gibi viskoz olmayan akış bölgelerinde viskoz terimlerin ihmal edilmesi, sonuçların doğruluğunda önemli bir kayba neden olmaksızın analizi bir hayli basitleştirir.

Bir akışkanın bir plaka, bir tel ya da boru gibi bir yüzeyin üzerinden herhangi bir sınır olmaksızın akması dış akıştır. Şayet akışkan katı yüzeyler ile tamamen sınırlandırılmış ise, yani akış bir boru ya da kanal içerisindeyse iç akıştır.

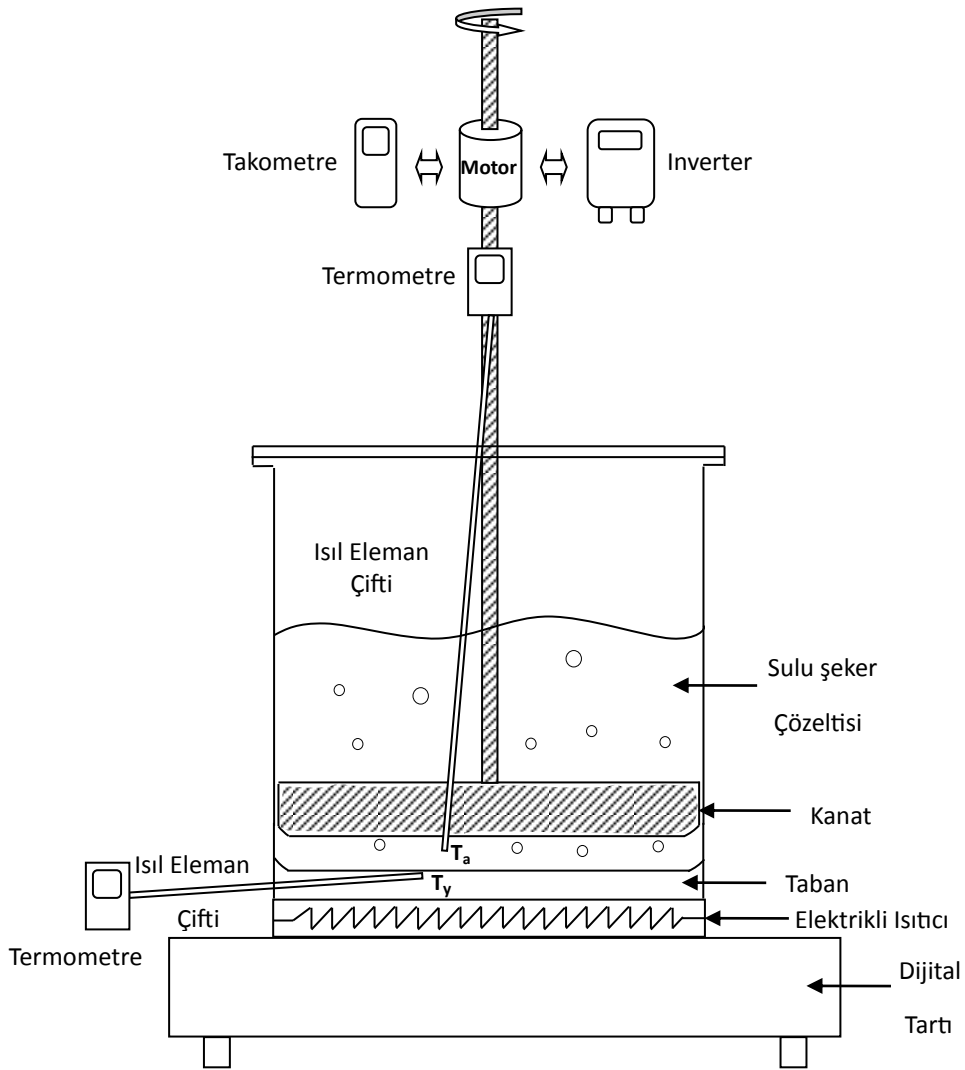
Sıkıştırılamazlık bir yaklaşımdır ve yoğunluk akış boyunca her yerde yaklaşık sabit kalıyorsa, akışın sıkıştırılamaz olduğu söylenebilir. Bu yüzden akış (ya da akışkan) sıkıştırılamaz kabul ediliyorsa, akışkanın hacmi, hareketi boyunca değişmez. Sıvıların yoğunluğu esas itibari ile sabittir ve sıvı akışları genellikle sıkıştırılamazdır.

Bazı akışlar düzenli ve çalkantısız, bazıları da oldukça düzensizdir. Çalkantısız akışkan tabakaları ile karakterize edilen çok düzenli akışkan hareketi laminer olarak adlandırılır. Genellikle yüksek hızlarda görülen ve hız çalkantıları ile nitelendirilen çok düzensiz akışkan hareketleri ise türbülanslı olarak adlandırılır.

Akışkanın hareketi, örneğin hava akımının vantilatör, su akımının pompa ile meydana getirildiği gibi, dıştan bir enerji sarfı ile oluyorsa ısı taşınımı Zorlanmış Isı Taşınımı (cebri konveksiyon) olarak adlandırılır. Eğer akışkan hareketi, örneğin bir ısıtıcının etrafındaki havanın yükselmesi gibi, sıcaklık farkı nedeniyle özgül ağırlıktaki değişimlerden meydana geliyorsa Doğal Isı Taşınımı veya Serbest Isı Taşınımı (tabii konveksiyon) adı verilir [33].

BÖLÜM 3. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇME TEKNİĞİ

Literatürde şekerli su çözeltilerinin karıştırılarak kaynatılması sırasında kanat taban arasındaki mesafe, şeker derişikliği, kanat boyutu ve karıştırma hızı ile ısı geçişi arasındaki ilişkiyi veren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu parametrelerin ısı geçişine etkilerinin araştırılabilmesi için aşağıdaki şekilde gösterilen deney düzeneği kurulmuştur.



Şekil 3.1. Deney düzeneği



Şekil 3.2. Deney düzeneğinin fotoğrafı

Deneyleerde üç temel büyüklük olan sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), zaman (s) ve kütle (kg) ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü için k tipi (kromel-alumel) ısı çift ve termometre kullanılmıştır. Isıl çiftler ile suyun atmosfer basıncında donma sıcaklığı 0°C 'de ve kaynama sıcaklığı 100°C de ölçüm yapılarak ölçüm hatasının $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ sınırında olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ölçümlerindeki hatayı minimize etmek için deneyler esnasında ölçülen sıcaklıklar kendinden önceki 4 ölçümle birlikte ortalaması alınarak kaydedilmiş ve hesaplamalarda bu ortalaması alınmış değerler kullanılmıştır.

Kütle ölçümü 30 kg 'a kadar gram hassasiyetinde ölçüm yapabilen elektronik bir terazi ile yapılmıştır. 100ml 'lik bir kap ile darası alındıktan sonra 25°C sıcaklığındaki su $0,099\text{ kg}$ olarak ölçülmüştür (25°C sıcaklığında 100 ml su yoğunluğu ile çarpıldığında $0,0997\text{ kg}$). Ayrıca deneyler esnasında mutlak kütleler değil kütle farkları ölçüldüğünden, ölçme hassasiyetinin oransal olarak daha da düşük değerlerde olacağı aşikârdır

Ekler bölümünde ayrıntılı hesaplamaları verilen belirsizlikler ve bu belirsizliklere ait bağıl hata ve mutlak hata değer aralıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1. Belirsizlik analizi

Belirsizlikler	Bağıl Hata Aralığı [%]	Mutlak Hata Aralığı
ΔT	0,47 - 1,17	0,140 - 0,141 [$^{\circ}\text{C}$]
Δm	0,49 - 20,2	1,413 - 1,414 [g]
\dot{Q}_a	7,44 - 20,2	55,8 - 151,5 [W]
h_a	7,5 - 20,2	127,5 - 343,4 [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$]
Nu_a	7,5 - 20,2	4,5 - 12,12

Deneylere başlamadan önce termik çiftler iki nokta kalibrasyonu ile (kaynayan su ve buzlu su) kalibre edilmiştir. Termik çiftlerin sıcaklık ölçme hassasiyeti $\pm 0,1$ [$^{\circ}\text{C}$] olduğu saptanmıştır. Sıcaklık farkı için bağıl ve mutlak hatalar maksimum 30 [$^{\circ}\text{C}$] ve minimum 12 [$^{\circ}\text{C}$] sıcaklıklar göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

Ağırlık ölçümü için ± 1 gram hassasiyetli dijital bir tartı kullanılmıştır. Ağırlık farkı için bağıl ve mutlak hatalar maksimum 290 [g] ve minimum 7 [g] ağırlık göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

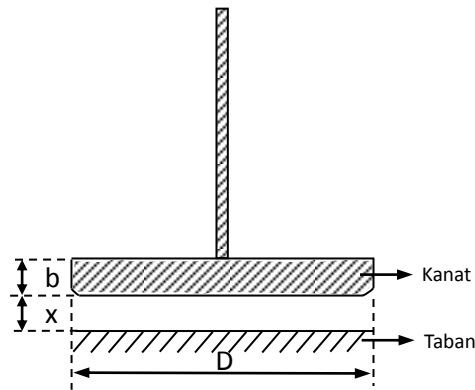
(μ, ρ, c_p) gibi malzeme özellikleri ile şeker derişikliğiyle birlikte değişen sıcaklıkla ilgili faz değişim entalpisi ilgili tablolardan okunmuştur [3,38].

Deneylerde kullanılan kanat tipleri AISI 304 paslanmaz çelik malzemedен imal edilmiştir.



Şekil 3.3. Kanat tiplerinin fotoğrafı

Aşağıdaki şekilde x ile gösterilen mesafe kanadın alt yüzeyi ile ısıtılan taban arasındaki boşluktur. Boşluk ne kadar az olursa karıştırıcı kanat o bölgeden o kadar çok akışkanı hareketlendirmekte dolayısıyla ısı geçişini de o kadar hızlandırmaktadır. Bu yüzden taban ile kanat arasındaki boşluğun gıda sektöründe özellikle de koyu kıvamlı maddelerin karıştırılması esnasında mümkün olduğunca az olması istenir.



Şekil 3.4. Kanat yapısı

Şekilde gösterilen b kanat genişliğidir. Genişlik dar tip kanatta 16 mm, orta tip kanatta 26 mm ve geniş tip kanatta ise 39 mm'dir. Şekilde D ile gösterilen kanat çapı, uzun tip kanatlarda 168 mm, kısa tip kanatlarda ise 84 mm'dir.

Deneylerde kullanılan bütün kanat tipleri ve boyutları aşağıdaki tabloda bir arada gösterilmiştir

Tablo 3.2. Kanat boyutları

Kanat Tipi	Kanat çapı D (mm)	Kanat genişliği b (mm)
Uzun dar	168	16
Uzun orta	168	26
Uzun geniş	168	39
Kısa dar	84	16
Kısa orta	84	26
Kısa geniş	84	39

Deneyler iki etapta yapılmıştır. İlk etap merkezci yerleştirilen uzun tip kanatlar ile 40-80 ve 120 dev/dak karıştırma hızlarında 4 ve 12 mm taban kanat arası boşlukta ve %70-90 şeker derişikliğinde gerçekleştirilmiştir. Merkezci karıştırıcı ile sistematik olarak yapılan deneyler Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

İkinci etapta ise deneyler kısa tip kanatlar dalgakıranlı ya da dalgakıransız merkezci ya da merkezden kaçık olarak yerleştirilerek 80-120-160-200-240 dev/dak karıştırma hızlarında 4 ve 12 mm taban kanat arası boşlukta ve %70-90 şeker derişikliğinde sistematik olarak tamamlanmıştır. Tablo 3.4'de kısa dar tip kanat için yapılan deneyler gösterilmiştir.

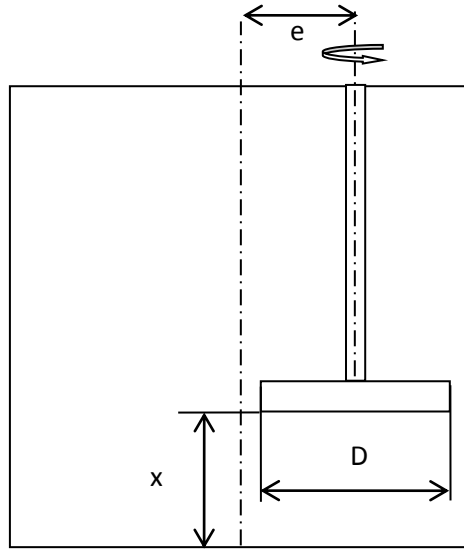
Tablo 3.3. Merkezil karıştırıcı deneyler

Deney No	Kanat Tipi	Boşluk x (mm)	Devir sayısı n(dev/dak)
Deney 2_1	Uzun dar	12	40
Deney 2_2	Uzun dar	12	80
Deney 2_3	Uzun dar	12	120
Deney 3_1	Uzun dar	4	40
Deney 3_2	Uzun dar	4	80
Deney 3_3	Uzun dar	4	120
Deney 4_1	Uzun orta	12	40
Deney 4_2	Uzun orta	12	80
Deney 4_3	Uzun orta	12	120
Deney 5_1	Uzun orta	4	40
Deney 5_2	Uzun orta	4	80
Deney 5_3	Uzun orta	4	120
Deney 6_1	Uzun geniş	12	40
Deney 6_2	Uzun geniş	12	80
Deney 6_3	Uzun geniş	12	120
Deney 7_1	Uzun geniş	4	40
Deney 7_2	Uzun geniş	4	80
Deney 7_3	Uzun geniş	4	120

Tablo 3.4. Merkezci/merkezden kaçık, dalgakıranlı/dalgakıransız deneyler

Deney	Kanat tipi	Boşluk x(mm)	Devir sayısı (dev/dak)				
			80	120	160	200	240
Merkezci	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı merkezci	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Az merkezden kaçık	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Orta merkezden kaçık	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Çok merkezden kaçık	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı az merkezden kaçık	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı orta merkezden kaçık	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı çok merkezden kaçık	Kısa dar	12	80	120	160	200	240
Merkezci	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı merkezci	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Az merkezden kaçık	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Orta merkezden kaçık	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Çok merkezden kaçık	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı az merkezden kaçık	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı orta merkezden kaçık	Kısa dar	4	80	120	160	200	240
Dalgakıranlı çok merkezden kaçık	Kısa dar	4	80	120	160	200	240

Benzer deney sistematığı kısa geniş tip kanat içinde yapılmıştır. Kısa geniş olan tip kanat ile 160 200 ve 240 dev/dak'lık deneyler karıştırma kabından taşma sebebiyle yapılamamıştır. Kısa dar ve kısa geniş tipteki kanatlar ile yapılan deney sonuçları birbirleriyle aynı karakteristikte çıktığı için deneyler kısa orta kanat tipi ile benzer karakteristiğin çıkacağı aşikâr gözüktüğü için tekrarlanmamıştır.



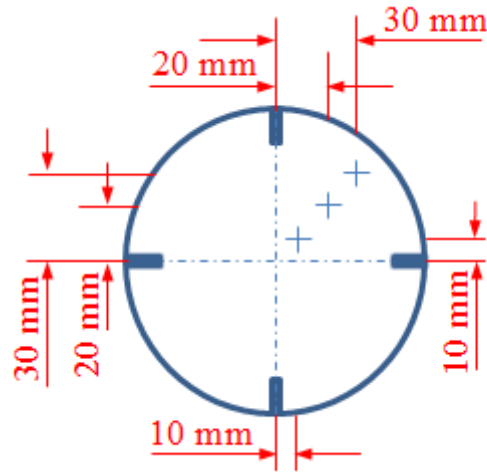
Şekil 3.5. Kanadın merkezden kaçık konumlandırılması

Şekillerde karıştırıcı kanadın merkezden kaçık yerleştirilmesi ve dalgakıranın karıştırma kabına yerleştirilmiş fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 3.6. Dalgakıranlı karıştırma kabı

Merkezden kaçıklık 3 farklı konum için araştırılmıştır. Bu konumlar aşağıdaki şekilde de gösterilmiş olup bunlara az, orta ya da çok merkezden kaçıklık denmiştir.



Şekil 3.7. Merkezden az, orta ve çok kaçıklık konumları

Deney sonuçları irdelenirken başlangıç ve son ölçüm değerleri rejime girme hatası nedeni ile değerlendirmeye alınmamıştır.

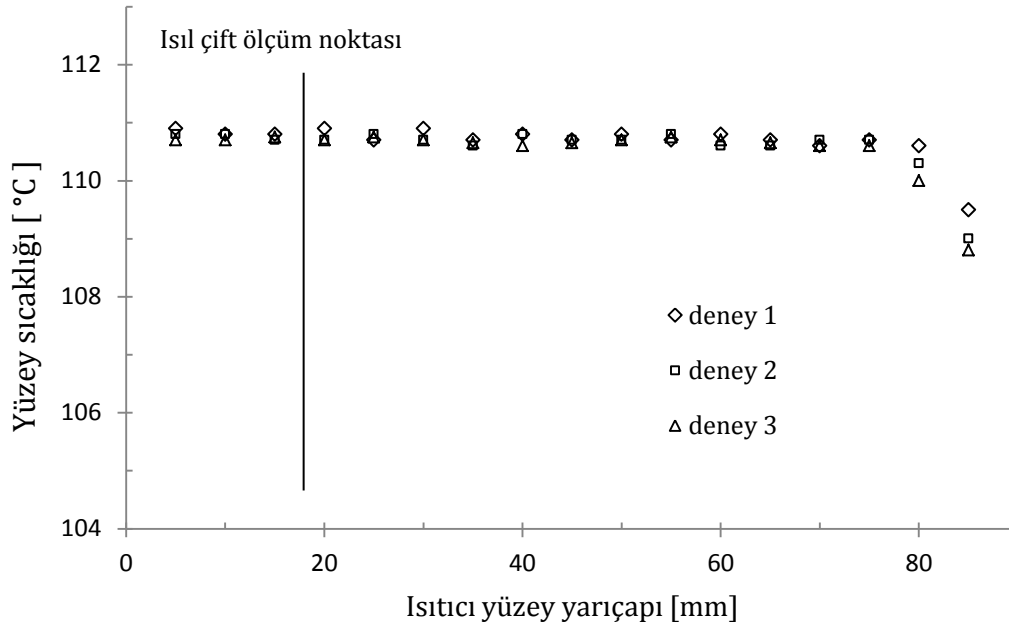
3.1. Öncül Doğrulama Testleri

Tasarımı gerçekleştirilen deney düzeneğinin kullanıma hazır olduğunun anlaşılması için aşağıdaki üç koşulu da sağlaması gerekir.

- Tekrarlanabilirlik: Tekrarlanan deneylerde belirli ve kabul edilebilir bir aralıkta farklılık göstermesi beklenmektedir. Aynı şartlar altında yapılan deneylerden birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmelidir.
- Ölçülebilirlik: Deneyler ve gözlemler ölçülebilir ya da başka bir deyişle sayısal olarak ifade edilebilir olmalıdır.
- Değerlendirilebilirlik: Ölçülen büyüklükler ile çalışmanın ana konusu olan ısı geçiş katsayısının hesaplanabilir olması ve yapılan deney sonuçlarının irdelenebilmesi gerekir.

Deneylere başlamadan önce karıştırıcılı kapta en geniş karıştırıcı kanat ile maksimum kaç kilogramlık kütlenin maksimum hangi devirde karıştırılabileceği belirlenmiştir. Deneylere şekerli su karışımı için %70 şeker derişikliğine tekabül eden 1200 gramlık başlangıç kütlesi belirlenmiştir. Daha sonra da karıştırıcılı ve

karıştırıcısız, şekerli ve şekerli ve şekerli su ile 4 öncül doğrulama testi yapılarak karıştırmanın şekerli ve şekerli suya etkisi ile deneylerin tekrarlanabilir, ölçülebilir ve değerlendirilebilir olduğu görülmüştür.

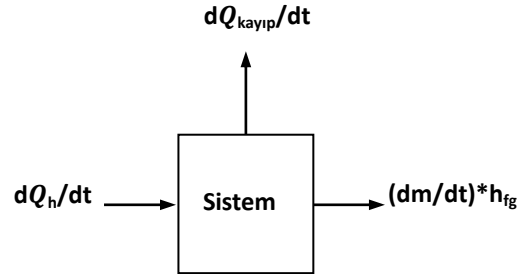


Şekil 3.8. Taban yüzeyindeki sıcaklık dağılımı

Deney düzeneğinde ısıtıcı yüzey yarıçapına bağlı olarak taban yüzey sıcaklıkları 3 tekrar yapılarak ölçülmüştür. Yarıçapa bağlı sıcaklık dağılımı yukarıdaki şekilde verilmiştir. Sıcaklık merkezden itibaren 75 mm boyunca yaklaşık olarak sabit kalmıştır. O yüzden ısıl eleman çifti ölçüm noktası yaklaşık olarak merkezden 17 mm uzaklığa yerleştirilmiştir.

3.2. Kütle ve Enerji Denkliği Denklemleri

Şeker su çözeltisinin enerji ve kütle dengesi aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Taban yüzeyindeki sıcaklık dağılımı

Karıştırma tankının yan yüzeyinden çevreye olan ısı kaybı, düşey duvar laminer doğal konveksiyon ile olan ısı kaybı hesabı [36] benzeşimi ile deney düzeneği için 17 W olarak hesaplanmıştır. Bu değer transfer edilen ısı güce göre çok küçük olduğundan ihmal edilebilmiştir.

Kütle denklemini kullanarak şekerin (c_s) ve suyun (c_{su}) derişiklikleri yazılacak olursa;

$$c_s = \frac{m_s}{m_s + m_{su}} \quad (3.1)$$

$$c_{su} = \frac{m_{su}}{m_s + m_{su}} \quad (3.2)$$

dolayısıyla,

$$c_s + c_{su} = 1 \quad (3.3)$$

olur.

$$(c_{su})' = \left(\frac{m_{su}}{m_{su} + m_s} \right)' \quad (3.4)$$

$$dc_{su} = \frac{dm_{su}m_t - dm_{su}m_{su}}{m_t^2} \quad (3.5)$$

$$dc_{su} = \frac{dm_{su}(m_t - m_{su})}{m_t^2} \quad (3.6)$$

$$dc_{su} = \frac{dm_{su}m_s}{m_t^2} \quad (3.7)$$

$$dc_{su} = \frac{dm_{su}c_s}{m_t} \quad (3.8)$$

$$\frac{dc_{su}}{c_s} = \frac{dm_{su}}{m_t} \quad (3.9)$$

Buharlaşma süresince şeker miktarı sabit olacağından, toplam kütle değişimi suyun değişimine eşit olacaktır. Bu durumda yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{d(1 - c_s)}{c_s} = \frac{dm_t}{m_t} \quad (3.10)$$

$$-\frac{dc_s}{c_s} = \frac{dm_t}{m_t} \quad (3.11)$$

Yukarıdaki eşitlik belirli bir zaman aralığı için;

$$\frac{dm_t}{m_t} dt = -\frac{dc}{c} dt \quad (3.12)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (3.12)'nin integrali alınırsa,

$$\int_1^2 \frac{dm_t}{m_t} dt = -\int_1^2 \frac{dc}{c} dt \quad (3.13)$$

elde edilir. Buradan,

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{c_1}{c_2} \quad (3.14)$$

ve dolayısıyla

$$m_1 - m_2 = m_1 \left(1 - \frac{c_1}{c_2}\right) \quad (3.15)$$

eşitliği elde edilir. Burada ilk ve son kütle farkını aşağıdaki şekilde ifade edersek,

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (3.16)$$

Birim zaman değişimi için kütle analizine dayanarak şekerin kütle derişimi hesaplanabilir. Her bir zaman adımı için enerji dengesi sürekli rejimde kaynama için aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dm}{dt} h_{fg} \quad (3.17)$$

ya da ısı transfer edilen yüzey bilindiği için ısı akısı

$$\frac{dq}{dt} = \frac{dm}{dt} \frac{h_{fg}}{A} \quad (3.18)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanabilir.

3.3. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi

Kütle ve zaman ölçümlerinden buharlaşan kütle debisi belirlenebilmektedir. Faz değişimi sırasında ısıtıcı yüzeyden şekerli suya geçen ısı sadece suyun faz değişim entalpisini karşıladığından geçen ısı miktarının ve yüzeyin bilinmesi ile ısı akısı hesaplanabilmektedir. Bu sayede Newton soğuma yasası gereği, ısı akısı ve sıcaklık farkı sayesinde ısı geçiş katsayısı hesaplanabilmektedir.

Deneylerde, buharlaşma miktarları (\dot{m}) 60 saniye aralıklarla gravimetrik olarak ölçülmüştür. Bu değer o sıcaklıktaki suyun faz değişim entalpisini (h_{fg}) çarpılarak birim zamanda geçen toplam ısı miktarı,

$$\dot{Q} = \Delta H = \dot{m}(h_g - h_f) \quad (3.19)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Diğer taraftan termometre ve K tipi ısı çift kullanılarak yapılan sıcaklık ölçümleriyle ısıtılan yüzey alanı (0,02 m²) ve akışkan sıcaklıkları ölçülerek Newton'un soğuma yasası gereği taşınım ile olan ısı geçişi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$\dot{Q} = hA\Delta T \quad (3.20)$$

$$\Delta T = T_y - T_a \quad (3.21)$$

Bu eşitliklerden bilinmeyen tek değer olan taşınım ile gerçekleşen ısı geçiş katsayısı h bulunmuştur.

3.4. Havuz Kaynamasında Isı Geçiş Mekanizması

Yüzeyden akışkana geçen ısı Newton'un soğuma kanunu gereği aşağıdaki gibi,

$$\dot{q} = h(T_y - T_d) \quad (3.22)$$

ifade edilir. Baloncuk oluşum bölgesinde ise saf akışkanlar için ısı geçişi denklem (3.23)'deki gibi ifade edilebilir [39].

$$\dot{q} = C(T_y - T_d)^n \quad (3.23)$$

Yukarıdaki eşitliğe benzer olarak kaynamakta olan farklı derişikliğe sahip şekerli su karışımları için ise aşağıdaki denklem kullanılabilir [26].

$$\dot{q} = C(1 - c_s)(T_y - T_b)^{1.3} \quad (3.24)$$

Yeni bir mühendislik yaklaşımıyla karıştırmanın olmadığı durum için ısı akısı bu denklemden hesaplanabilmektedir. Ayrıca denklem (3.24)'deki terimlerden karışımın şeker derişikliğine bağlı kaynama sıcaklığı (T_b) ise aşağıdaki eşitlikten

hesaplanabilmektedir [26]. Burada C sabit ve $(1 - c_s)$ 'de su derişikliğini ifade etmektedir.

$$T_b = T_d + (c_s T_d / 2.1)^{c_s^{2.1}} \quad (3.25)$$

(3.25) numaralı denklem, (3.24) numaralı denklemde yerine yazılır ve (3.22) numaralı denkleme eşitlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$h = C(1 - c_s) \left(T_y - \left(T_d + (c_s T_d / 2.1)^{c_s^{2.1}} \right) \right)^{0.3} \quad (3.26)$$

Karıştırmanın olmadığı havuz kaynamasında şekerli su karışımları için şeker derişikliğine bağlı ısı taşınım katsayısı yukarıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir.

Karıştırmanın söz konusu olduğu havuz kaynaması sırasında ısı geçiş hızı karıştırmaz duruma göre daha yüksek olmaktadır. Bu durum süper pozisyon ilkesi göz önüne alınarak $\dot{q}_{toplam} = \dot{q}_{karıştırmaz} + \dot{q}_{karıştırma \text{ etkisi}}$ şeklinde ifade edilebilir ve genel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\dot{q}_t = \dot{q}_o + \dot{q}_a \quad (3.27)$$

Burada ifade edilen \dot{q}_o ve \dot{q}_{ke} ise ayrı ayrı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{q}_o = h_o \Delta T \quad (3.28)$$

$$\dot{q}_a = h_a \Delta T \quad (3.29)$$

Isı akısı için yazılan bu durumun toplam ısı taşınım katsayısı h için de geçerli olduğu yukarıdaki eşitliklerden görülmektedir. O halde toplam ısı taşınım katsayısı,

$$h_t = h_o + h_a \quad (3.30)$$

şeklinde yazılabilir.

Boyutsuz bir parametre olan ve taşınım ile olan ısı geçişinin iletim ile olan ısı geçişine oranı şeklinde de ifade edilen Nusselt sayısının artışı iletim ile olan ısı geçişi ihmal edildiğinden taşınım ile olan ısı geçişindeki iyileşmeyi ifade eder. Bu durumda Nusselt sayısı ne kadar büyükse taşınım ile olan ısı geçişi de o kadar hızlı olacaktır. Havuz kaynamasında karıştırmanın varlığı Nusselt sayısını dolayısıyla da ısı geçiş hızını da iyileştirir. O halde yukarıda yazılan eşitlikler benzer olarak Nusselt fonksiyonu için de aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Nu_t = Nu_0 + Nu_a \quad (3.31)$$

İstenildiği takdirde Nu_0 ve Nu_a terimleri boyutsuz Nusselt sayısı bağıntısından yazılabilir.

$$Nu = hl/k \quad (3.32)$$

Burada h , ısı taşınım katsayısı, l karakteristik uzunluk ve k ise ısı iletim katsayısıdır.

3.5. Isı Geçiş Katsayısının Belirlenmesi

Deney sonuçlarından her bir şeker derişikliği için (derişiklik 0,7'den 0,9'a kadar) ısı geçiş katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$h = \frac{\dot{q}}{\Delta T} \quad (3.33)$$

Ayrıca buradan ısı taşınım katsayısı çekilerek aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

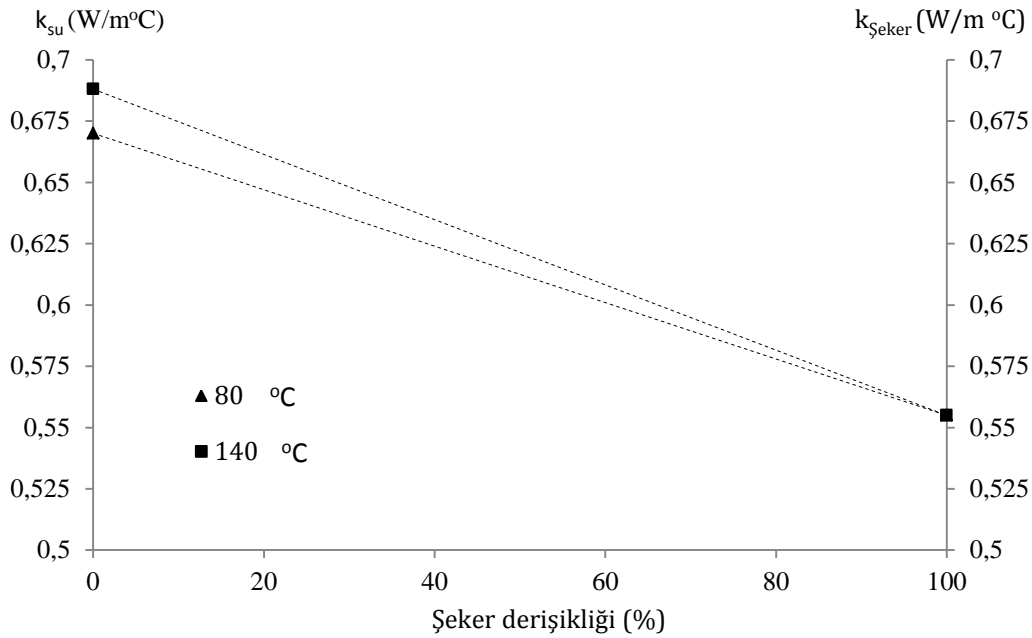
$$h = \frac{Nu \cdot k}{l} \quad (3.34)$$

Burada k ısı iletim katsayısı su için, sıvı şeker için ve sulu şeker çözeltileri için ayrı ayrı aşağıdaki tabloda verilmiştir. Ayrıca 'te sulu şeker çözeltisinin derişikliğe bağlı değişim grafiği verilmiştir.

Tablo 3.5. Su ve şekerin ısı iletim katsayıları

Malzeme	Sıcaklık [°C]	Değer [W/mK]	Değişiklik [%]
Saf Su	80-140	0,670-0,688 [40]	100
Sıvı Şeker	140	0,555 [41]	100
Sulu Şeker Çözeltisi	100-140	0,594-0,574	70-85

Tablo 3.5 ve Şekil 3.10 göz önüne alınarak ısı iletim katsayısı bütün deneylerde sabit ve 0,58 [W/m°C] olarak alınmıştır.



Şekil 3.10. Sulu şeker çözeltisinin ısı iletim katsayısının şeker derişikliği ile değişimi

Mühendislik çalışmalarında ısı taşınım katsayısı (h) Nu benzerliği yardımı ile (3.34) numaralı denklemden hesaplanabilmektedir. Nu sayısı ise bir Nu fonksiyonu ile belirlenmektedir. Bu çalışmanın amacı ilgili ısı geçişi durumu için geçerli bir Nu fonksiyonunu bulmaktır.

Deney sonuçlarından her bir derişiklik için hesaplanabilen ısı taşınım katsayıları kullanılarak yine o derişiklik için Nu sayıları hesaplanabilmektedir. Dolayısıyla deneysel verilere dayanarak hesaplanan Nu sayıları Nu fonksiyonu vasıtası ile de hesaplanabilmelidir.

3.6. Nusselt Fonksiyonunun Belirlenmesi

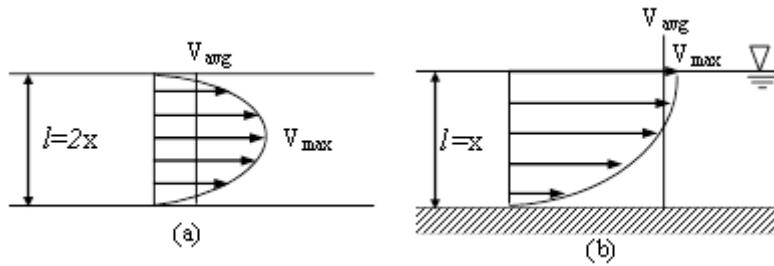
Laminer zorlanmış düz yatay levha üzerinden akış için a,b ve c birer sabit olmak üzere genel Nusselt fonksiyonu,

$$Nu = a.Re^b.Pr^c \quad (3.35)$$

şeklinde ifade edilmektedir [32]. Yukarıdaki eşitlik doğrusallaştırıldığında,

$$\ln(Nu) = \ln(a) + b.\ln(Re) + c.\ln(Pr) \quad (3.36)$$

elde edilir. Burada, $Re = \frac{V.l}{\nu}$ olup, Nu ifadesindeki karakteristik uzunluk l ile Re ifadesinde kullanılan karakteristik uzunluklar aynıdır.



Şekil 3.11. Tam gelişmiş laminar akış hız profilleri, (a) boru akışı için, (b) kanal akışı için

Deneylerde, maksimum çizgisel hız, ortalama çizgisel hız ve Reynolds sayıları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\vec{V}_{maks} = \vec{V}_{r/2} \quad (3.37)$$

$$\vec{V}_{ort} = \vec{V}_{r/2}(l_x/l) \quad (3.38)$$

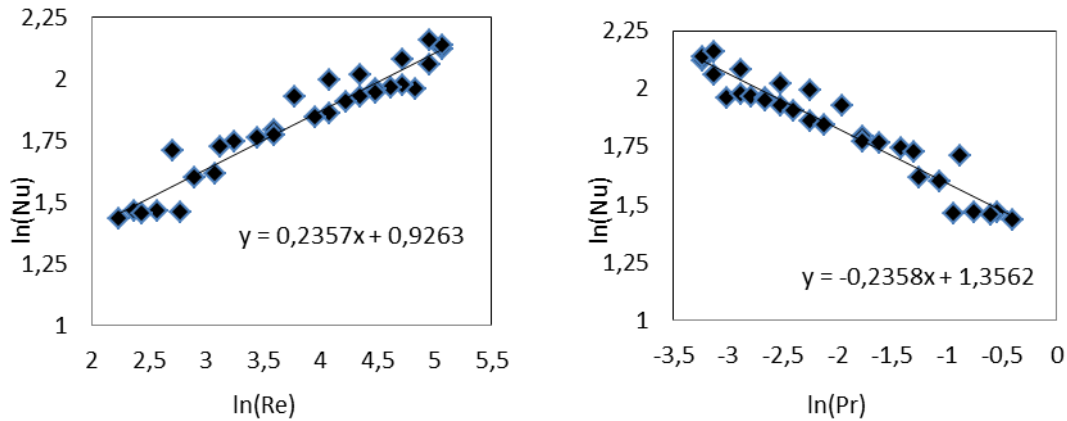
$$Re = (\rho\vec{V}_{ort}l)/\mu \quad (3.39)$$

Maksimum Reynolds sayısı 1100 olarak hesaplandığı için deneyler laminar akış rejiminde gerçekleşmiştir.

Tablo 3.6. Devir sayısı ve karakteristik uzunluklar

Dakikadaki devir sayısı	Boşluk x=4 [mm]	Boşluk x=12 [mm]
40	$l_x = 2,66 [mm]$ $\vec{V}_{ort} = 0,117 [m/s]$	$l_x = 8 [mm]$ $\vec{V}_{avg} = 0,117 [m/s]$
80	$l_x = 2,66 [mm]$ $\vec{V}_{ort} = 0,234 [m/s]$	$l_x = 8 [mm]$ $\vec{V}_{avg} = 0,234 [m/s]$
120	$l_x = 2,66 [mm]$ $\vec{V}_{ort} = 0,351 [m/s]$	$l_x = 8 [mm]$ $\vec{V}_{avg} = 0,351 [m/s]$

Her bir ölçüm noktası için (sabit sıcaklık ve derişiklik) $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ sayısı sabittir. Dolayısıyla $\ln(Nu) = b \cdot \ln(Re) + [\ln(a) + c \cdot \ln(Pr)]$ denklemiyle birinci dereceden bir doğrusal eşitlik elde edilmiş olur. Buradan b bulunur. Ayrıca her bir ölçüm noktası için c değeri de aynı yöntemle hesaplanabilir. Deneysel verilerden Re ve Pr'a bağlı Nu sayıları hesaplanmış ve aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 3.12. Birinci tip kanat, 4 mm boşluk ve 40 dev/dak için Nu-Re ve Nu-Pr grafikleri

Yukarıdaki grafiklerde sunulmuş olan dağılımın eğilim çizgileri eşitliklerinde Reynolds ve Prandtl sayılarının üslerinin yani b ve c sayılarının yaklaşık olarak birbirlerine eşit oldukları görülmüştür. Bu durumun diğer kanat tipleri, devir sayıları ve kanat taban arası boşluklar için de benzer olduğu saptanmıştır. O halde $\ln(Nu)$ fonksiyonunun Reynolds ve Prandtl sayılarına bağlı eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\ln(Nu) = a_1 + b \cdot \ln(Re) \quad (3.40)$$

$$\ln(Nu) = a_2 - b \cdot \ln(Pr) \quad (3.41)$$

Yukarıdaki denklemler taraf tarafa toplanırsa,

$$2 \ln(Nu) = -b[\ln(Pr) - \ln(Re)] + (a_1 + a_2) \quad (3.42)$$

$$2 \ln(Nu) = -b \ln\left(\frac{Pr}{Re}\right) + (a_1 + a_2) \quad (3.43)$$

Boyutsuz bir sayı olan Peclet sayısının Reynolds ve Prandtl sayılarının çarpımı olduğu göz önüne alınarak yukarıdaki denklem düzenlenirse,

$$2 \ln(Nu) = -b \ln\left(\frac{Pr^2}{Pe}\right) + (a_1 + a_2) \quad (3.44)$$

$$\ln(Nu) = \ln\left(\frac{Pe^{b/2}}{Pr^b}\right) + \frac{(a_1 + a_2)}{2} \quad (3.45)$$

$$\ln(Nu) - \ln\left(\frac{Pe^{b/2}}{Pr^b}\right) = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \quad (3.46)$$

$$\ln\left(\frac{Nu \cdot Pr^b}{Pe^{b/2}}\right) = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \quad (3.47)$$

$$e^{\left(\frac{a_1+a_2}{2}\right)} = \frac{Nu \cdot Pr^b}{Pe^{b/2}} \quad (3.48)$$

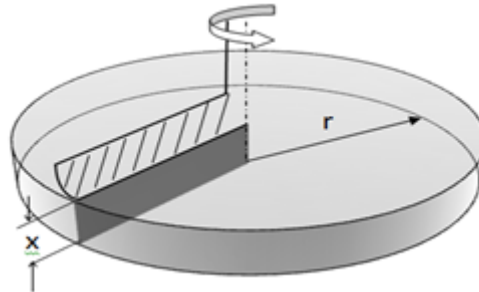
$$Nu = \frac{e^{\frac{a_1+a_2}{2}}}{Pr^b} \cdot Pe^{b/2} \quad (3.49)$$

elde edilir. Denklem (3.49)'da Prandtl bir nokta fonksiyonudur. Başka bir deyişle bir noktanın sıcaklık değeri (T_b), özgül ısısı (c_p) ve ısı iletim katsayısı (k) için Pr sayısı sabit bir değerdir. Dolayısıyla a ve b sabit olmak üzere denklem genel olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Nu = a.Pe^b \quad (3.50)$$

Bu karakteristik diğer tüm kanat tipleri, devir sayıları ve kanat taban arası boşluklar içinde benzer olduğundan denklem (3.50)'de gösterildiği gibi Nu fonksiyonunun Peclet sayısının bir fonksiyonu olduğu anlaşılmaktadır.

Nusselt fonksiyonunun Peclet sayısına bağlı bir fonksiyon olması beklenen bir sonuçtur çünkü şeker derişikliğine bağlı olarak artması beklenen viskoz etkilerin çözeltinin derişikliğinden bağımsız olarak sabit devirde dönmesi sebebiyle görülmediği anlaşılmıştır. Bu durum zorlanmış taşınım olarak literatürde de yer almaktadır. Bu çalışmadaki ısı geçiş olayının boru ve paralel levhalar arasında akan zorlanmış taşınımına benzerliği görülmektedir. Çünkü karıştırıcı kanatlar yardımı ile düzlemsel bir plaka üzerinde dairesel yörüngede hareket eden zorlanmış bir akış katmanı söz konusudur. Bu yüzden ısı geçiş olayı zorlanmış paralel levha akışı şeklinde ele alınabilir. Bu, d_r genişliğinde, x yüksekliğinde ve $2\pi r$ uzunluğunda bir diferansiyel kanalda (tabandan) ısı geçişi olarak öngörülebilir.



Şekil 3.13. Düzlemsel plaka üzerinde dairesel yörünge hareketi

Şekil 3.11 (a) ve (b)'de [37] görüldüğü gibi maksimum akış hızı borularda merkezde, kanallarda ise kanalın açık olan üst yüzeyinde oluşmaktadır. Bu çalışmada da maksimum akış hızı akışkanın temas ettiği kanadın alt yüzeyinde oluşmaktadır. Bu benzerlik göz önüne alınır, karıştırıcılı tankın tabanı ile karıştırıcı kanadın altında kalan boşlukta meydana gelen akış yarıçapı bu boşluğa eşit bir boruda meydana gelen akışa ya da levhalar arası mesafenin kanat taban arası boşluğa eşit iki paralel levha arası akışa benzetilebilir. Bu durumda karakteristik uzunluk boru akışı benzetiminde boşluğun iki katına ($l=2x$), levha akışı benzetiminde ise doğrudan

boşluğa ($l=x$) eşit alınabilir. Ayrıca literatürde bir sıvı filminin geniş bir yüzeyde akışı için hidrolik yarıçap sıvı katmanının kalınlığına eşit olarak verilmektedir [37].

Termal giriş bölgesinde gelişmekte olan laminer akışlar için Peclet sayısına bağlı Nusselt fonksiyonlarının temel literatürde zorlanmış taşınım olarak yer aldığı bilinmektedir. Aşağıda literatürden bu konu ile ilgili bazı Nusselt fonksiyonu örnekleri verilmiştir.

L uzunluğunda dairesel bir boru için termal giriş bölgesindeki ortalama Nusselt sayısı laminer akışlarda sabit yüzey sıcaklığı için aşağıdaki gibi verilmektedir [42].

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065 \left(\frac{D}{L}\right) Pe}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{D}{L}\right) Pe\right]^{2/3}} \quad (3.51)$$

Yine termal giriş bölgesi için paralel ve L uzunluğunda eş sıcaklığa sahip plakalar arasındaki akış için ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Nu = 7,54 + \frac{0,03 \left(\frac{D_h}{L}\right) Pe}{1 + 0,016 \left[\left(\frac{D_h}{L}\right) Pe\right]^{2/3}} \quad (3.52)$$

Burada D_h plakalar arasındaki boşluğun iki katına eşit uzunlukta olan hidrolik çaptır. Bu eşitlik $Re \leq 2800$ için kullanılabilir [42].

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen bütün detaylar göz önüne alınarak karıştırma durumu için yerel Nusselt sayısı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmiştir.

$$Nu_y = \frac{aPe}{1 + bPe^c} \quad (3.53)$$

Burada Peclet sayısı Reynolds sayısına, Reynolds sayısı da bilindiği gibi akış hızına bağlıdır. Aynı zamanda akış hızının sabit dönme hızı için karıştırıcının yarıçapına bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Yukarıda verilen yerel Nusselt fonksiyonunun $r = 0$ dan $r = r$ ye kadar integrali alınarak, karıştırmanın olmadığı ve Nusselt sayısının minimum değerini aldığı Nu_o terimi eklenirse ortalama Nusselt fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$Nu_a = Nu_o + \int_0^r \frac{aPe}{1 + bPe^c} dr \quad (3.54)$$

Burada Nu_o , daha önceki çalışmada önerilen denklem (3.26) ve denklem (3.34) kullanılarak hesaplanabilmektedir. Yukarıda verilen denklem (3.54)'de ($a=b.c$) kabulü göz önüne alınırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$Nu_a = Nu_o + \ln(1 + bPe^c) \quad (3.55)$$

Diğer yandan karıştırıcı kanat hızı için ortalama yarıçap dikkate alınarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$Nu_a = Nu_o + \frac{aPe}{1 + bPe^c} \quad (3.56)$$

Bu tezde birincisi laminer zorlanmış boru akışı ve diğeri laminer zorlanmış iki paralel levha arası akış olmak üzere iki yaklaşımda bulunularak iki yeni Nusselt fonksiyonu önerilmiştir.

Yukarıda verilen denklem (3.51) ve denklem (3.52)'de değerleri 3,66 ve 7,54 olan iki sabit sayı yer almaktadır. Bu tez çalışmasında denklem (3.31)'de gösterilmiş olan sabit Nu_o sayıları mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan Nu_o sayıları karıştırmanın olmadığı durumdaki Nusselt sayılarını ifade etmektedir ve daha önce verilen denklem (3.26) ve (3.32) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Burada sabit bir karıştırma hızı olduğu için hidrodinamik olarak gelişmiş bir akış söz konusudur. Karıştırıcı kanatlar akışkanın tekrarlı bir şekilde yer değiştirmesine sebep olur. Böylelikle karıştırıcı kanat ile tankın tabanı arasındaki boşluktaki akış karakteristiği de kendini tekrar eder. Bu durum sürekli tekrarlandığı için ısı geçişi sanki termal giriş bölgesinde laminer zorlanmış boru veya levha akışı gibi düşünülebilir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL SONUÇLAR

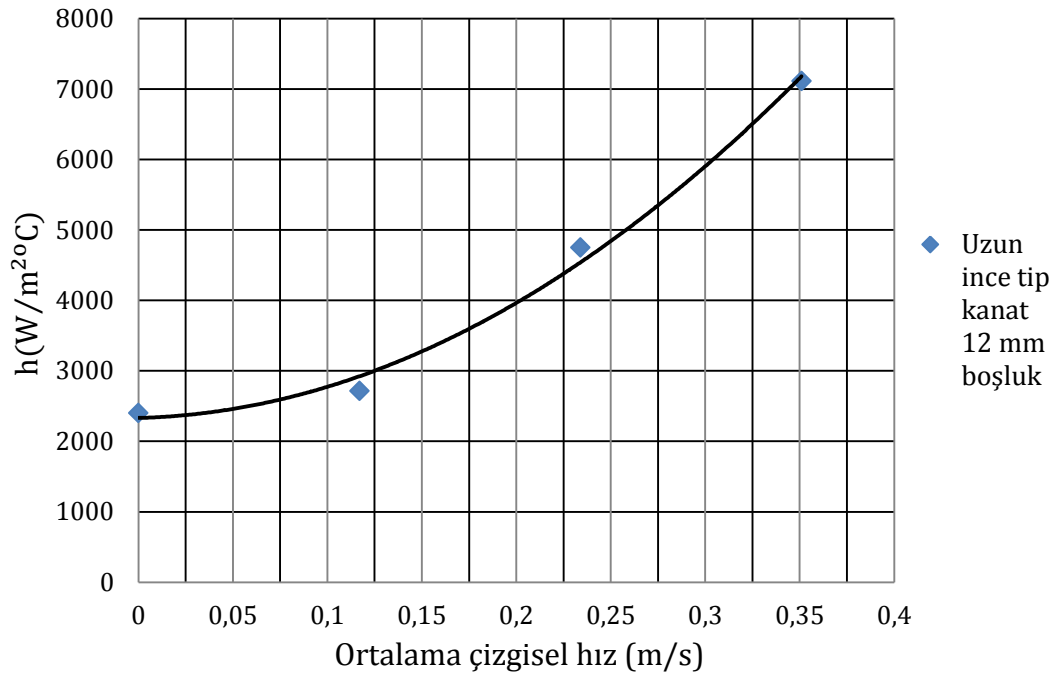
Bu bölümde öncelikle aşağıdaki tabloda da gösterilen öncül doğrulama test sonuçları verilmiştir. Daha sonra detaylı bir şekilde uzun tip kanatlar ile laminer zorlanmış akışa ait deneysel sonuçlara yer verilmiştir. Kısa tip kanatlar ile yapılan deneylere ait grafik ve tablolar ekler kısmına konulmuştur.

Tablo 4.1. Öncül doğrulama test tablosu

Test 1_1	Test 1_2	Test 1_3	Test 1_4
Karıştırıcısız	Karıştırıcısız	Karıştırıcılı	Karıştırıcılı
Şekersiz Su	Şekerli Su	Şekersiz Su	Şekerli Su

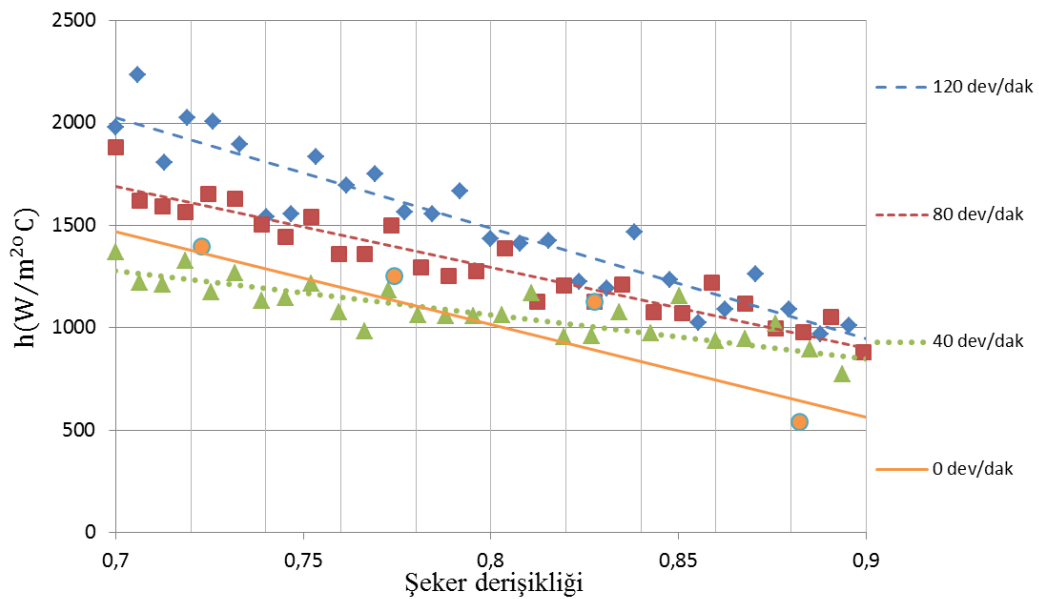
Karıştırıcısız kaynamakta olan şekersiz su testinde (Test 1_1) Özdemir ve Pehlivan [26] ortalama ısı taşınım katsayısını 2446,74 [W/m²C] bulurken bu çalışmada benzer şartlarda yapılan testlerde ortalama ısı taşınım katsayısı 2166,44 [W/m²C] bulunmuştur.

Bir sonraki öncül doğrulama testinde (Test 1_3) karıştırıcının kaynamakta olan şekersiz suyun ısı taşınım katsayısına olan etkisi incelenmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi karıştırma olmadığında ortalama ısı taşınım katsayısı yaklaşık 2200-2500 [W/m²C] iken, 16 mm’lik dar tip karıştırıcı ile 40 devir/dakikada 3000 [W/m²C] civarlarına yaklaşırken devir sayısı 120’lere ulaştığında ısı geçiş katsayısının da 7000 [W/m²C] mertebelerine kadar yükseldiği görülmüştür



Şekil 4.1. Şekersiz su karıştırma testi

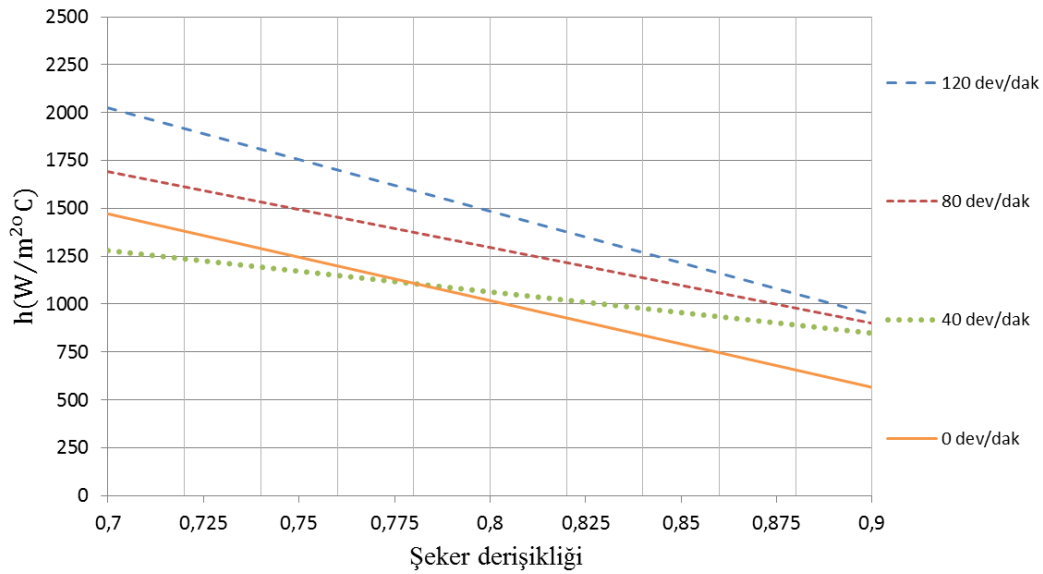
Öncül doğrulama testlerinin sonucunu, bu tezin asıl konusu olan ve sistematik olarak yapılan diğer deneylerin ilki olan karıştırıcılı şekerli su testi (Test 1_4), uzun dar tip kanat ile 12 mm boşlukta, 40-80-120 dev/dak dönme hızında yapılmıştır.



Şekil 4.2. Şekerli su karıştırma öncül doğrulama testi

Bazı grafiklerde ölçüm değerlerinde görünür bir dalgalanma oluşmuştur. Bunun nedeni ısıtıcı yüzeyin termostatının periyodik olarak çalışması nedeni ile oluşan endüksiyon akımı ve onun oluşturduğu dalga şeklindedir. Bu dalgalanmayı elimine etmek için grafik eğrilerinin eğim doğruları (ortalama değerleri) belirlenerek deney sonuçları matematiksel olarak doğru denklemleri yardımıyla ifade edilmiştir. Bu şekilde farklı parametre değerlerinde yapılan deney sonuçlarını eşdeğer şartlarda kıyaslamak mümkün olmaktadır.

Şekil 4.2’de hem deneysel veriler hem lineer enterpolasyon yapılarak oluşturulan eğim doğruları birlikte gösterilmiştir. Bu gösterim şekli grafiğin daha karmaşık görünmesine sebep verdiği için Şekil 4.3 ve bundan sonraki grafiklerde sadece deneysel veriler veya o verilere ait eğim doğruları gösterilmiştir



Şekil 4.3. Uzun dar tip kanat ile 12 mm boşluk 0-40-80-120 dev/dak

Kaynama altında şekerli ve şekersiz su ile karıştırıcılı ve karıştırıcısız olarak öncül doğrulama testleri yapılmıştır. Şeker derişikliği ile ısı taşınım katsayısı arasında ters orantı, karıştırma ile ısı taşınım katsayısı arasında ise doğru orantı olduğu görülmüş ve deneyler sistematik bir şekilde yapılarak taban ile kanat arasındaki boşluğun, kanat boyutunun ve devir sayısının ısı taşınım katsayısına etkileri detaylı olarak araştırılmıştır.

Karıştırıcı ve karıştırıcısız deneylerde şeker derişikliği arttıkça ısı taşınım katsayısının küçüldüğü görülmüştür. Karıştırıcısız şekerli su deneyi ile karıştırıcı kıyaslandığında taşınım katsayısının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu artış karıştırıcısız deneyden en düşük devirlerdeki karıştırıcı deneye geçişte bir sıçrama şeklinde olmaktadır. Devir sayısı arttığında ise büyümenin daha az olduğu saptanmış hatta derişiklik arttıkça önemi gittikçe azalmış, derişiklik %90'ın üzerine çıktığında ise önemli bir etkisi kalmamıştır. Başka bir deyişle derişiklik çok arttığında sulu şeker çözeltisi bir katı gibi davranış gösterdiği için devir sayısının az ya da çok olması önemini yitirmiştir.

Deney sonuçlarından görülen başka bir önemli nokta da kanatların çözeltinin içine dalma oranı ve kanat ile taban arasındaki mesafenin dalma oranı ile doğrudan ilgili olduğudur. Kanat genişledikçe kanadın dönme esnasında önünde kalan çözelti kütesinin karışmaktan çok ötelenme hareketine maruz kaldığı görülmüştür. Bunun neticesinde devir sayısına bağlı olarak ısı taşınım katsayısında kısmen bir iyileşme görülse de toplamdaki düşüşün daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Dalma oranının belli bir değere kadar artması 4 mm boşluğu avantajlı hale getirirken dalma oranının çok artması başka bir deyişle çözeltiden dışarı taşması ısı geçişinin büyük ölçüde düşmesine sebep olmaktadır.

Önceden de belirtildiği gibi ısı geçiş hızı ve kaynama sıcaklığı, hızlı bir buharlaştırma için çok önemlidir. Kaynama ve yüzey sıcaklıklarının karmelleşme olmaması için 150 °C den daha yüksek olmaması gerekmektedir. Bu sebepten küçük sıcaklık farklarında ısı geçiş hızının yüksek olması önem taşımaktadır.

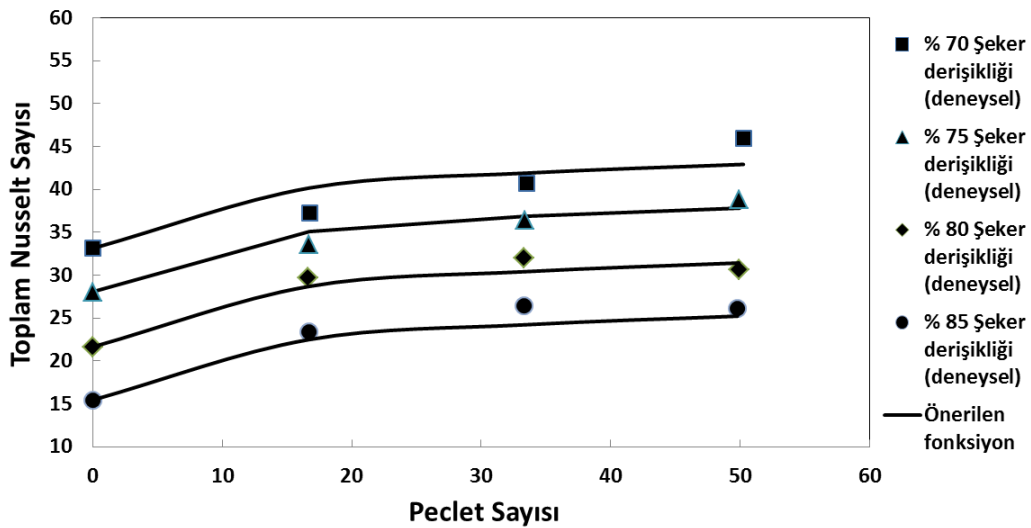
Isı geçişi karıştırma hızına bağlı olan Peclet sayısı ile önemli olarak artmaktadır.

Şekil 4.4'den Şekil 4.19'a kadar olan grafiklerde deneysel sonuçlar ile hesaplanan sonuçlar arasında iyi bir örtüşme olduğu görülmüştür. Boru akışı yaklaşımı ve iki paralel levha arası akış yaklaşımının deneysel sonuçları ayrı alt başlıklarda tartışılmıştır.

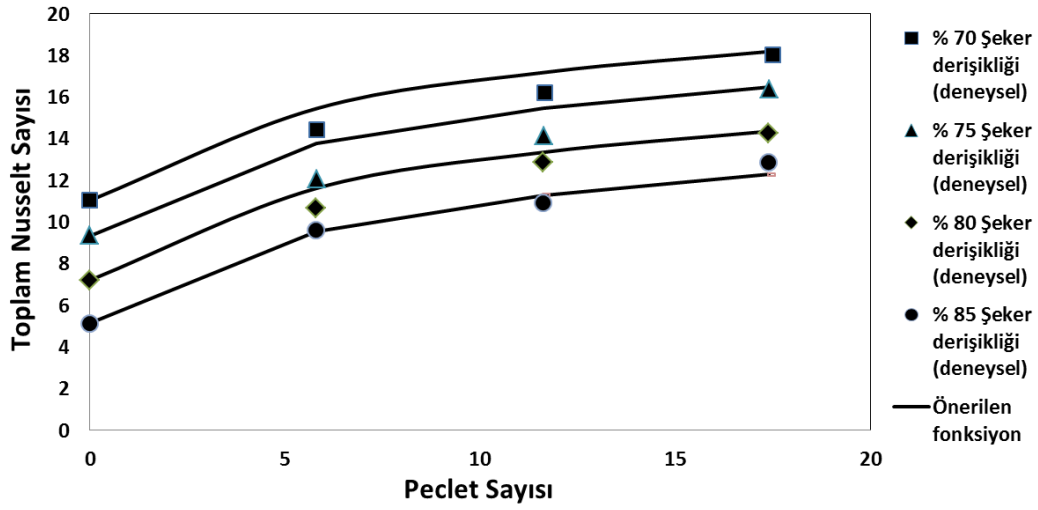
4.1. Boru Akışı Benzeşimi

Şekil 4.4'den Şekil 4.11'e kadar 1,2 ve 3. tip kanatlar ile 4 ve 12 mm boşluklu %70 ila % 85 arası şeker derişikliğine sahip sulu şeker çözeltisi için deneysel sonuçlar ve önerilen fonksiyon kullanılarak hesaplanan Peclet sayısına bağlı toplam Nusselt sayıları verilmiştir. Denklem (4.1) ile önerilen Nusselt fonksiyonunda c katsayısı en küçük kareler metodu ile $c=2,5$ olarak belirlenmiştir. Korelasyon katsayısı 0,992 bulunmuştur. Karakteristik uzunluk boşluğun iki katı alınmıştır.

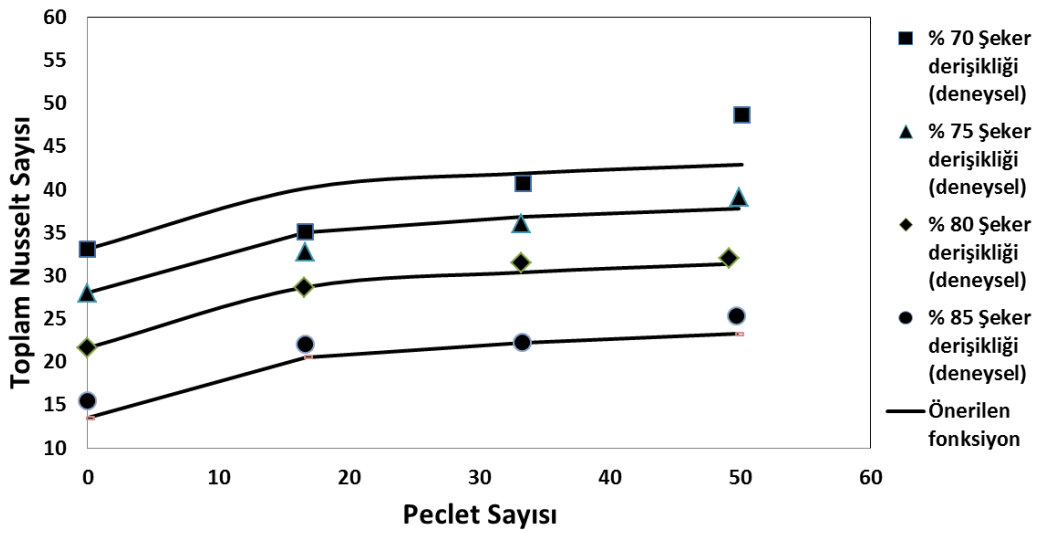
$$Nu_t = (h_o l/k) + \ln(1 + Pe^{2,5}) \quad (4.1)$$



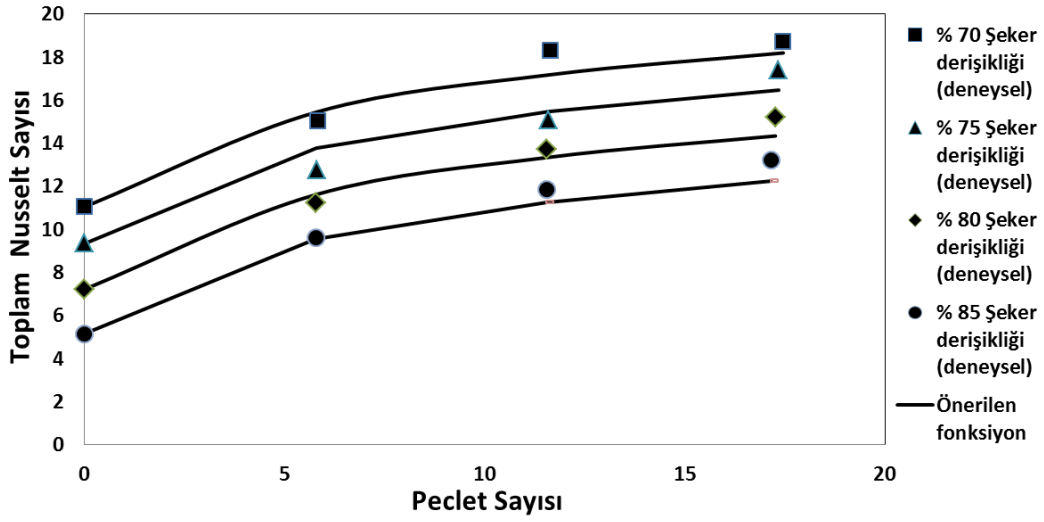
Şekil 4.4. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



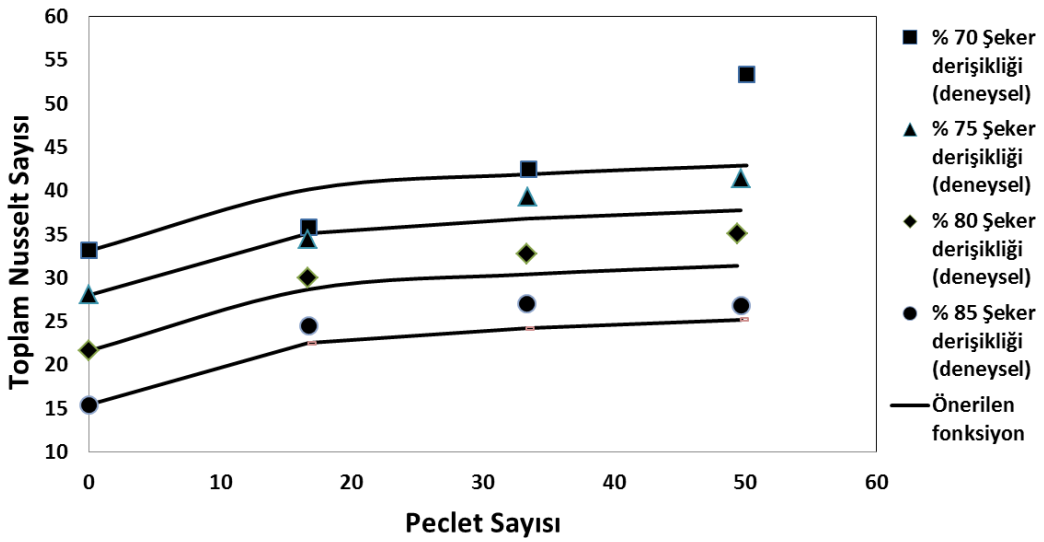
Şekil 4.5. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



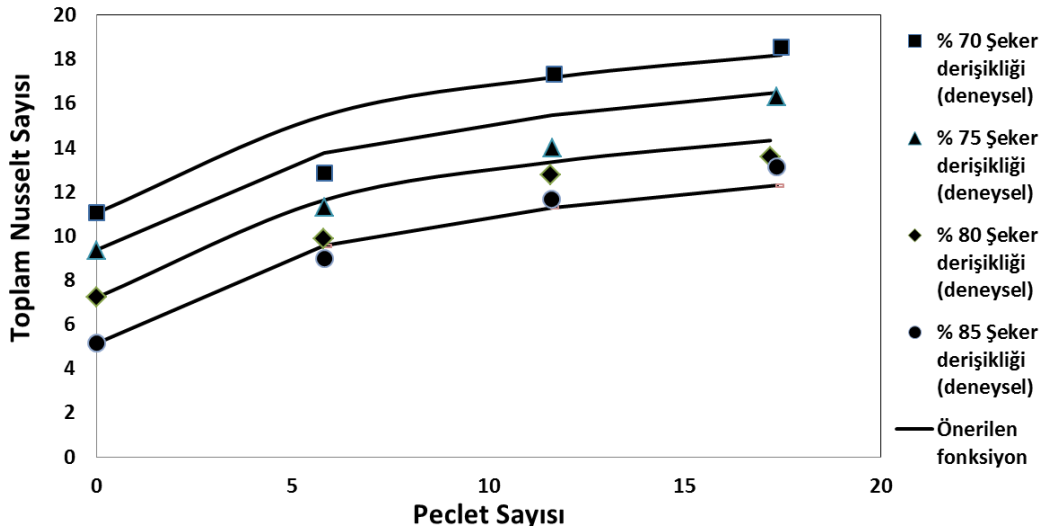
Şekil 4.6. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



Şekil 4.7. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



Şekil 4.8. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları

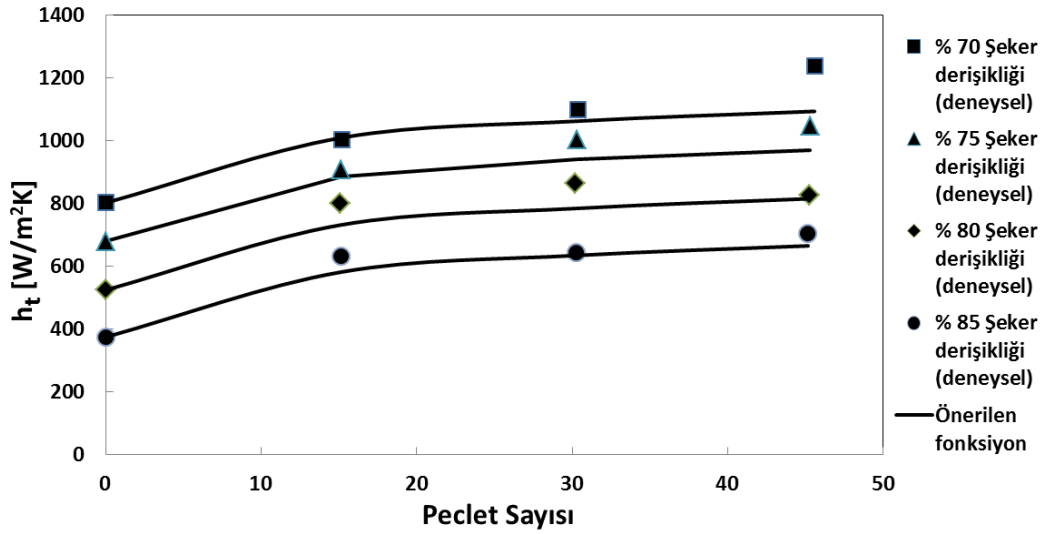


Şekil 4.9. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları

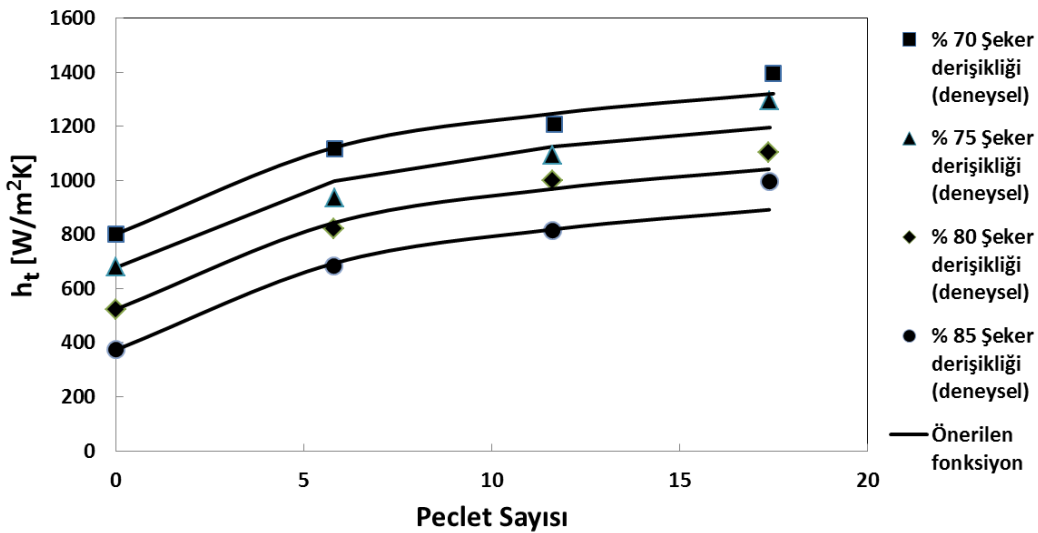
Şekil 4.5 ve Şekil 4.7'de gösterilen 1. tip ve 2. tip kanatların 4 [mm] boşluklu durumu en iyi uyumu göstermiştir. Şekil 4.8'de %70 şeker derişikliğinde ve 120 dev/dak'da görülen sapma çözelti seviyesinin 3. tip kanadın genişliğinin altında kalarak vortex oluşturması ve akışkanın karışmak yerine kanat ile birlikte sanki katı gibi davranarak dönmesidir.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de 1. tip kanat ile 4 ve 12 mm boşluklu %70 ila % 85 arası şeker derişikliğine sahip sulu şeker çözeltisi için deneysel sonuçlar ve denklem (4.2) kullanılarak hesaplanan toplam ısı geçiş katsayıları 40, 80 ve 120 dev/dak karıştırma hızı için verilmiştir. Denklem (4.2) ile önerilen toplam ısı taşınım katsayısına ait fonksiyon (h_o), denklem (3.26) kullanılarak hesaplanmış ve karakteristik uzunluk boşluğun iki katı alınmıştır.

$$h_t = h_o + (k/l) \ln(1 + Pe^{2,5}) \quad (4.2)$$



Şekil 4.10. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Isı taşınım katsayıları



Şekil 4.11. Boru akışı yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Isı taşınım katsayıları

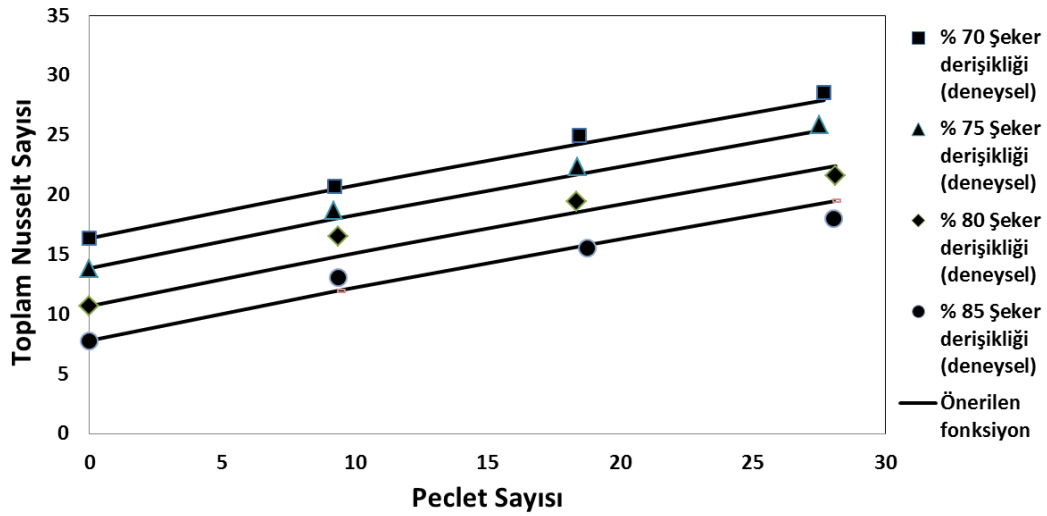
Yukarıdaki şekilden boru akışı yaklaşımı için 4 [mm] boşluklu durumdaki ısı geçiş katsayısının 12 [mm] boşluklu durumdan daha yüksek olduğu görülmüştür.

4.2. İki Paralel Levha Arası Akış Benzeşimi

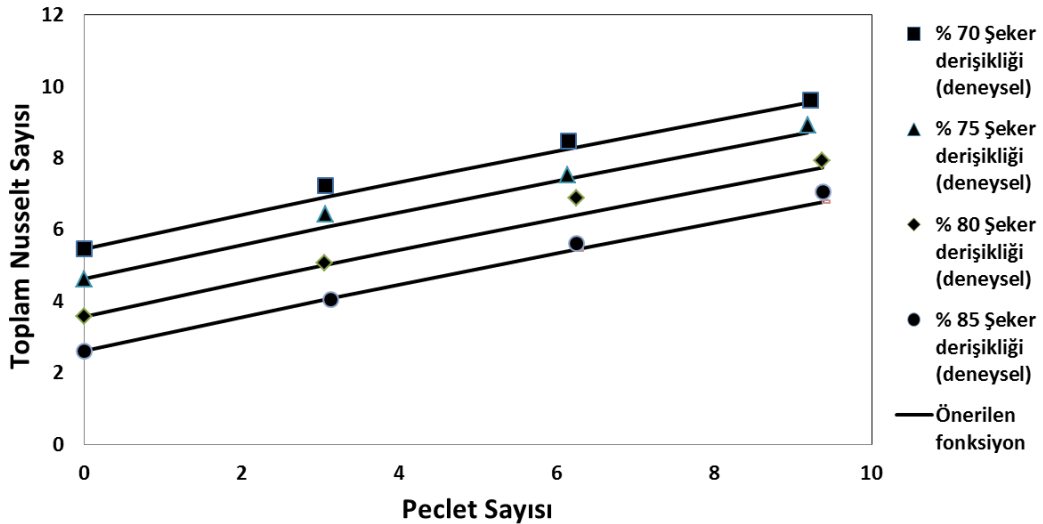
Şekil 4.12'den Şekil 4.19'a kadar 1,2 ve 3. tip kanatlar ile 4 ve 12 mm boşluklu %70 ila % 85 arası şeker derişikliğine sahip sulu şeker çözeltisi için deneysel sonuçlar ve önerilen fonksiyon kullanılarak hesaplanan Peclet sayısına bağlı toplam Nusselt

sayıları verilmiştir. Denklem (4.3) ile önerilen toplam Nusselt fonksiyonunda c katsayısı en küçük kareler metoduyla $c=0,1$ olarak tayin edilmiştir. Korelasyon katsayısı 0,995 olarak hesaplanmış ve karakteristik uzunluk taban ile kanat arasındaki boşluğa eşit alınmıştır.

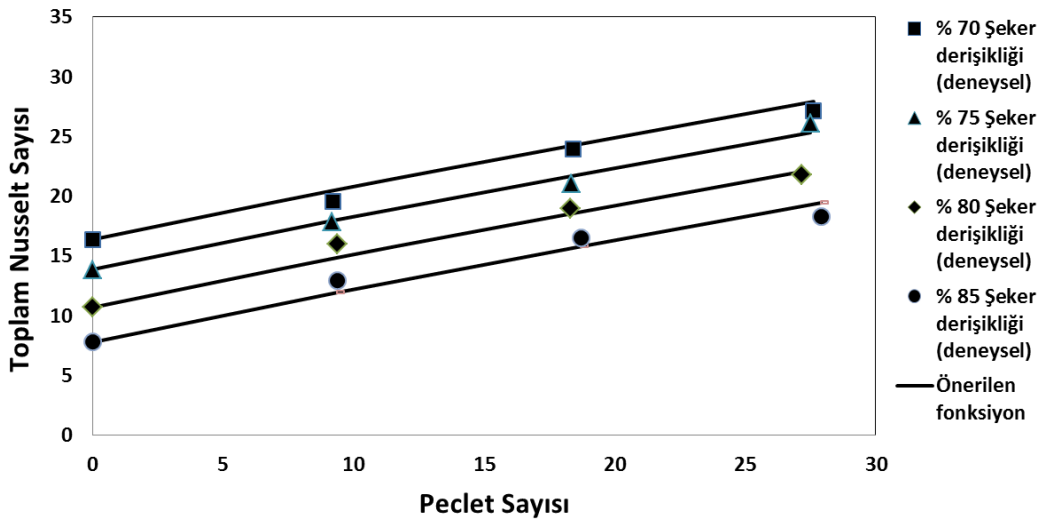
$$Nu_t = \frac{h_o l}{k} + \frac{Pe}{1 + Pe^{0,1}} \quad (4.3)$$



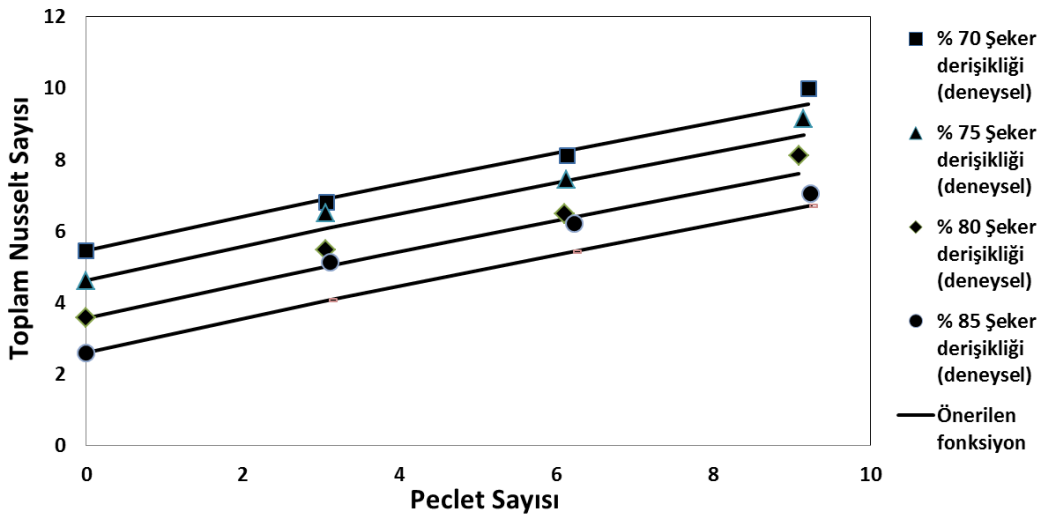
Şekil 4.12. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



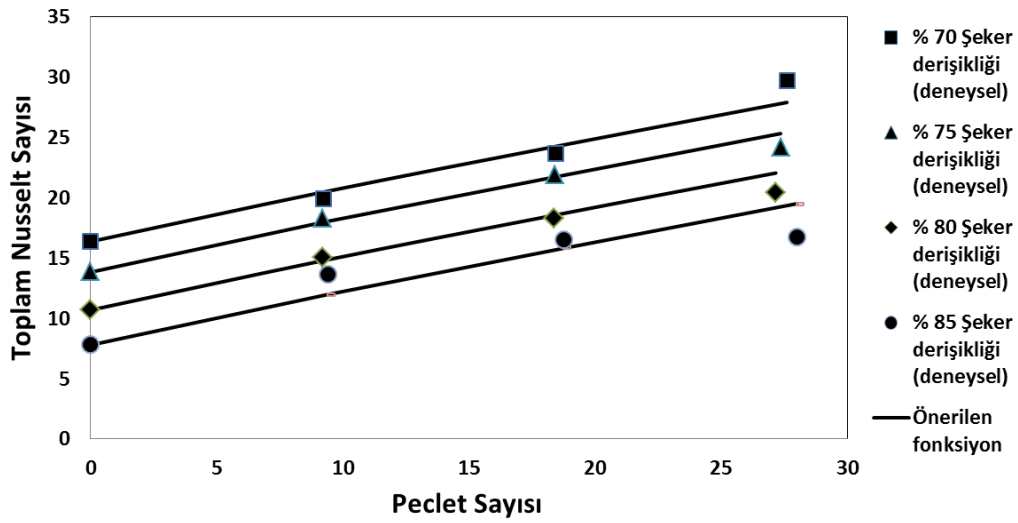
Şekil 4.13. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



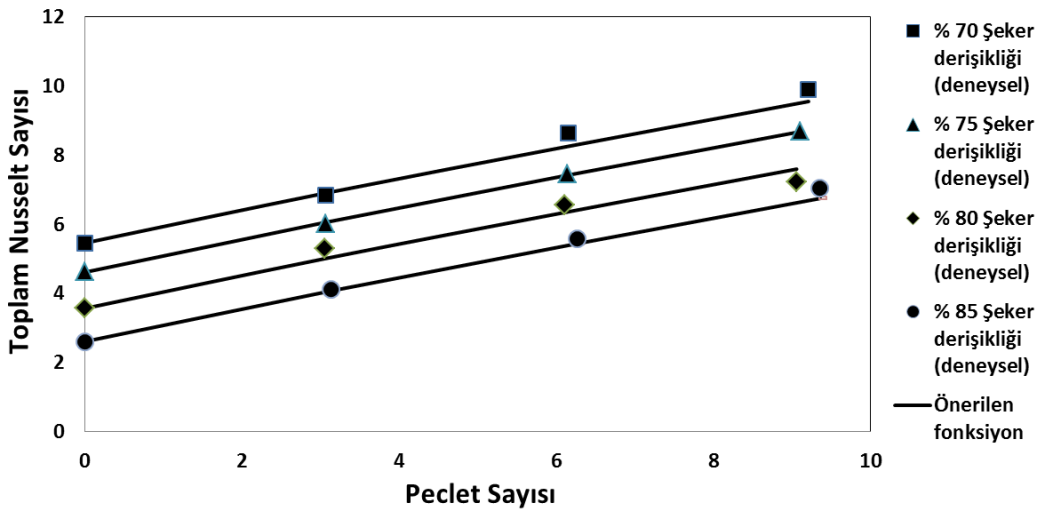
Şekil 4.14. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



Şekil 4.15. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 2.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



Şekil 4.16. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları



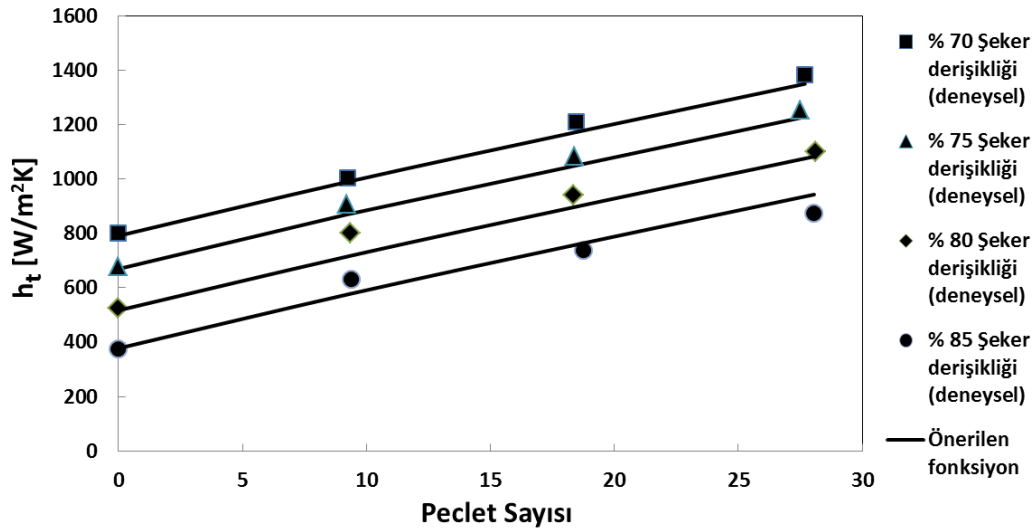
Şekil 4.17. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 3.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) Nusselt sayıları

Denklem (4.3)'te Peclet sayısı ortalama hız değerleri kullanılarak hesaplanmasına ve literatürde bilinen Nusselt fonksiyonlarından farklı olmasına rağmen beklenenin aksine iyi bir eşleşme sağlamıştır. En iyi uyum iki paralel levha arası akış yaklaşımında görülmüştür.

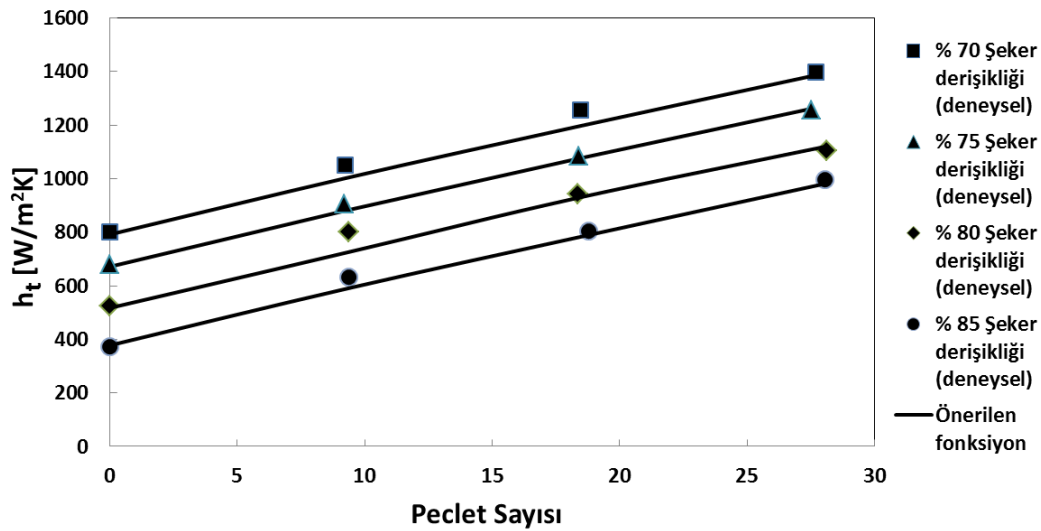
Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da 1. tip kanat ile 4 ve 12 mm boşluklu %70 ila % 85 arası şeker derişikliğine sahip sulu şeker çözeltisi için deneysel sonuçlar ve denklem (4.4) kullanılarak hesaplanan toplam ısı geçiş katsayıları 40, 80 ve 120 dev/dak karıştırma

hızı için verilmiştir. Denklem (4.4) ile önerilen toplam ısı taşınım katsayısına ait fonksiyonda h_o denklem (3.26) kullanılarak hesaplanmış ve karakteristik uzunluk boşluğa eşit alınmıştır.

$$h_t = h_o + \frac{k}{l} \left(\frac{Pe}{1 + Pe^{0,1}} \right) \quad (4.4)$$



Şekil 4.18. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 12 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) ısı taşınım katsayıları



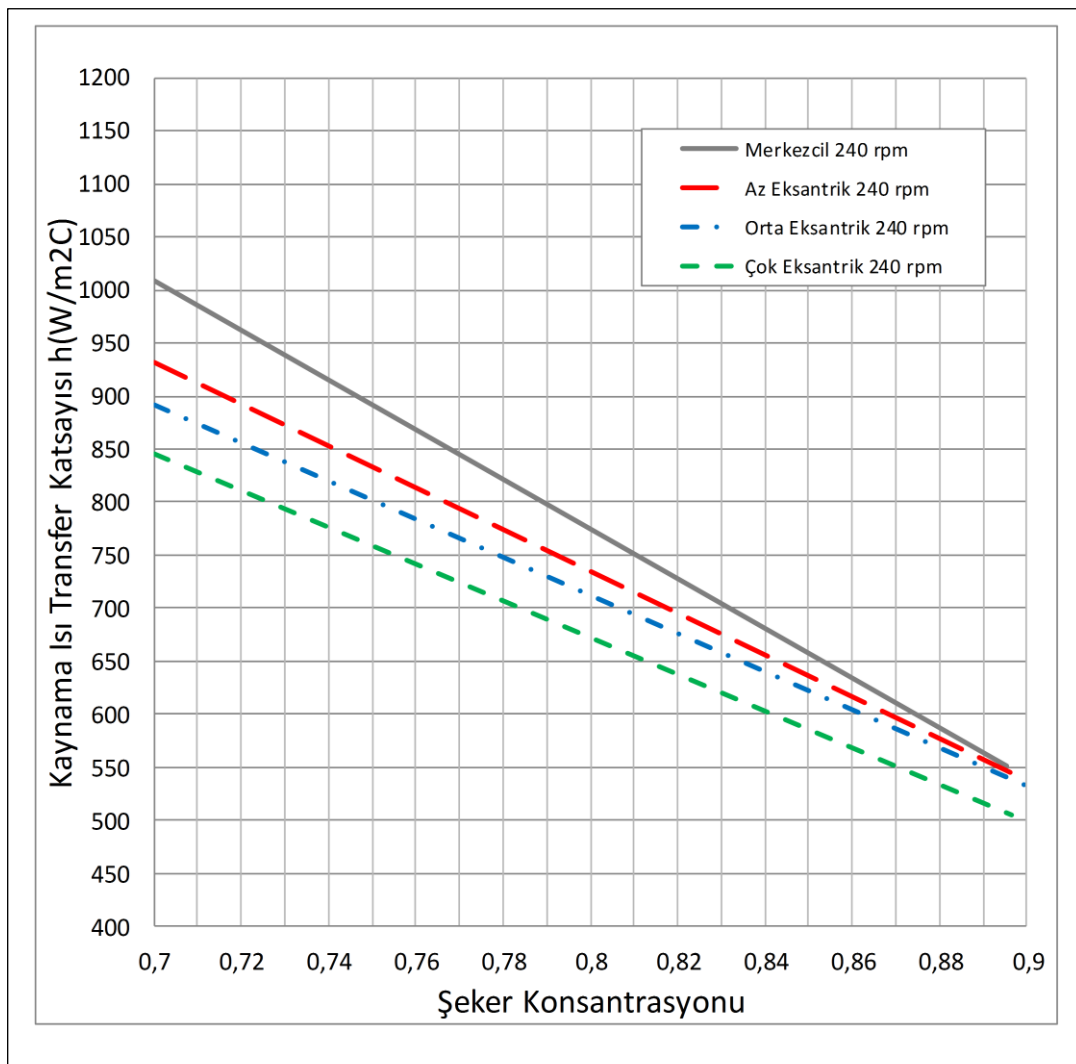
Şekil 4.19. İki paralel levha akış yaklaşımı, 70% (■), 75% (▲), 80% (◆), 85% (●) şeker derişikliği, 1.kanat tipi ve 4 mm boşluk için deneysel ve hesaplanan (—) ısı taşınım katsayıları

İki paralel levha arası akış benzetiminde de boru akışı benzetimindeki olduğu gibi 4 [mm] boşluklu durumdaki ısı taşınım katsayısının [12] mm boşluklu durumdan daha

yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca 12 [mm] boşluklu duruma endüstriyel uygulamalarda pek rastlanmadığı bilinmektedir.

4.3. Kısa Tip Kanatlar ile Yapılan Deneylere Ait Bazı Sonuçlar

Kısa tip kanatlar merkezden kaçık olarak yerleştirilmiş, türbülans şartları oluşturularak toplam ısı taşınım katsayısının artırılması hedeflenmiştir. Ancak deneyler yüksek şeker derişikliğinde yapıldığından arzulanan etki görülememiştir.

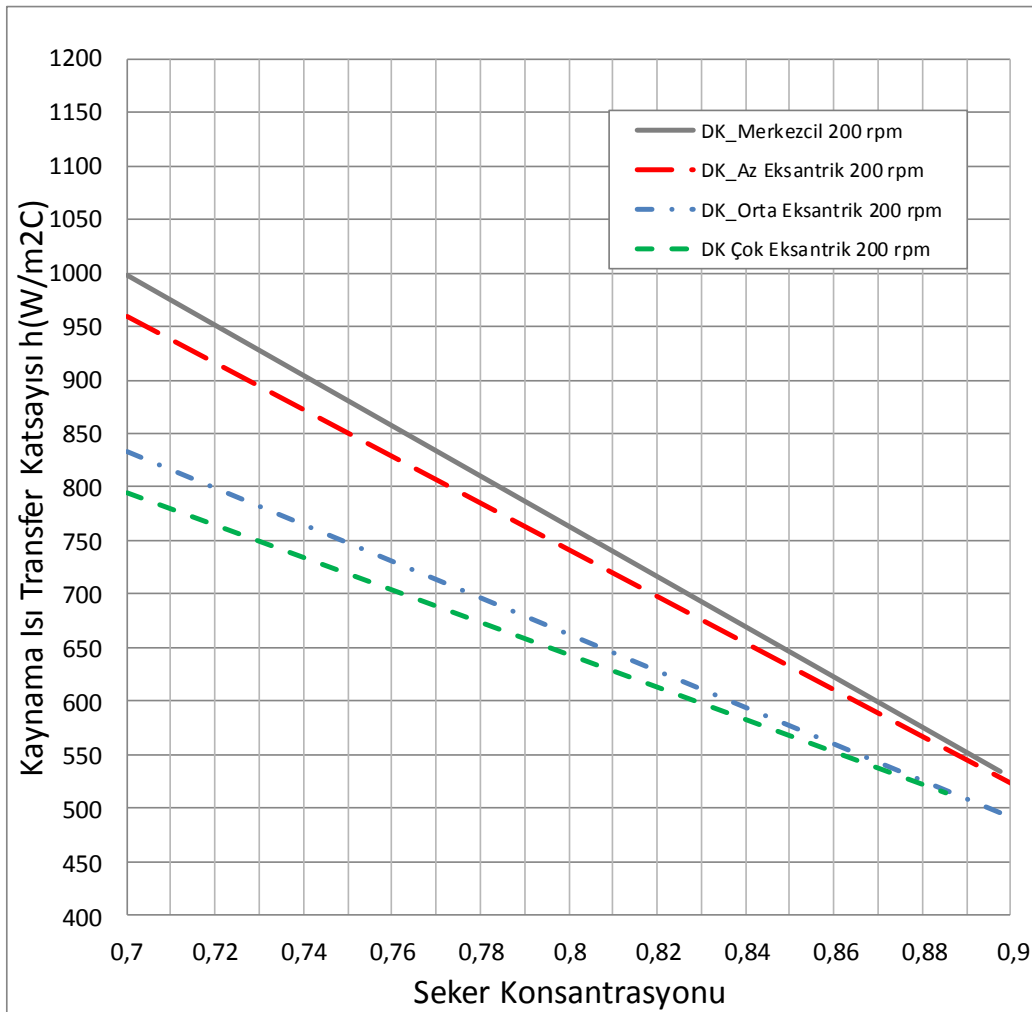


Şekil 4.20. 4 mm boşluklu, dalgakıranız, kısa ince tip kanat

Kısa ince tip kanatlarda da uzun tip kanatlarda olduğu gibi 4 mm boşluklu durumlardaki ısı taşınım katsayılarının, 12 mm boşluklu durumdaki ısı taşınım katsayılarından yüksek olduğu görülmüştür.

Şekil 4.20'den görüldüğü üzere 4 mm boşluklu kısa ince tip kanat ile dalgakıranlı olarak 240 dev/dak için yapılan deneyde en iyi sonucu merkezci karıştırıcı deney vermiştir. Eksantriklik durumunda ise merkezden kaçıklık arttıkça kaynama ısı geçiş katsayısında düşüş görülmüştür.

Merkezcil karıştırıcı deneylerde elde edilen ısı taşınım katsayısı merkezden kaçık olarak yerleştirilerek yapılan deneylerden daha yüksek çıkmıştır. Merkezden kaçıklık arttıkça ısı taşınım katsayısında da düşüş görülmüştür.



Şekil 4.21. 4 mm boşluklu, dalgakıranlı, kısa ince tip kanat

Dalgakıran eklenerek yapılan deney ise 200 dev/dak için incelenmiştir. Bu durumda da benzer sonuç ile karşılaşılmıştır. Başka bir deyişle yine merkezci durum en iyi sonucu vermiş, merkezden kaçıklık arttıkça ısı taşınım katsayısı kötüleşmiştir.

Dalgakıranlı ve dalgakıransız durumlar birbirleriyle kıyaslandığında ise daha düşük devir sayılarında dalgakıranın etkisiyle ısı geçiş katsayısında önemli bir düşüş görülmemiştir. Devir sayısının daha düşük olmasına rağmen yüksek devirli dalgakıransız durumdaki ısı geçiş katsayılarına yakın katsayılar elde edilmiştir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sulu şeker çözeltilerinde kaynama süreci boyunca şeker derişikliği arttıkça ısı geçişinin de derişikliğe bağlı olarak değiştii bilinmektedir. Karıştırıcının olmadığı durum için derişikliğe bağlı olan ısı geçiş katsayısı önceki çalışmada önerilen fonksiyon ile hesaplanabilmektedir. Yüksek şeker derişikliğinde düşen ısı geçiş katsayısını arttırmak için karıştırma vazgeçilmezdir. Bu tez çalışmasının asıl konusu olan karıştırıcılı havuz kaynamasında çözelti karıştırıldığında ısı geçiş hızı hesaplanabilen bu değerden başlayarak, karıştırma ile doğru orantılı, şeker derişikliği ile ters orantılı olarak değişmektedir. Karıştırma sayesinde ısıtıcı taban ile akışkan arasındaki küçük sıcaklık farklarında daha yüksek ısı geçiş katsayıları elde etmek mümkün olmaktadır. Bu yol ile hem daha hızlı bir ısı geçişi gerçekleştirilir hem de yüksek sıcaklıkta kimyasal yapısı bozulan şeker gibi gıda maddeleri için karamelleşme olmadan düşük sıcaklık farkında kaynama sürecine devam edilebilir.

Bu çalışmada araştırılan karıştırıcılı tanklarda kanat ile taban arasındaki boşlukta oluşan akışın ısı geçiş mekanizması borularda laminer zorlanmış akış ve paralel levhalar arasındaki zorlanmış laminer akış ile bir benzerlik göstermektedir. Bu benzerlikten faydalanarak karıştırıcılı tanklardaki ısı geçiş mekanizmasını tanımlayabilmek için iki farklı yaklaşım ile iki farklı Nusselt fonksiyonu önerilmiştir.

Söz konusu sürecin zorlanmış laminer boru veya zorlanmış laminer paralel levha akışına benzetilmesiyle elde edilen bu modellerden, paralel levha akışı yaklaşımı elde edilme ve kullanım kolaylığı bakımından mühendislik çalışmalarında tercih edilebilir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda ısı geçiş katsayısının kanat-taban arası boşluğun azalmasıyla arttığı ifade edilebilir. Karıştırıcı kanat ile ısı geçiş yüzeyi arasındaki mesafenin küçük olduğu (4 mm) durumlarda deneysel sonuçlar ve

önerilen model yardımıyla hesaplanan Nusselt sayılarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durum karıştırıcı devir sayılarının yüksek değerlerde olduğu durum için de geçerlidir. Önerilen bu iki modelin daha az uyum gösterdiği düşük devir sayıları ve kanat ile taban yüzeyi arası büyük boşluklara (12 mm) endüstriyel uygulamalarda hemen hemen hiç rastlanmamaktadır. Yüksek devirlerde özellikle düşük derişikliklerde vokteks etkisi nedeniyle çeperde oluşan yığılmadan dolayı laminer akış bölgesi sınırına ulaşılmaktadır. Bunun sonucu olarak ısı geçiş hızında da sıçrama şeklinde bir artış gözlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada Reynolds sayısı 1100'yi aşmadığından önerilen Nusselt fonksiyonları $Re < 1100$ değerleri için başka bir deyişle laminer akış bölgesi için uygundur.

Endüstriyel uygulamalarda da olduğu gibi kanat genişliğinin kanat-taban arası boşluktan daha büyük olduğu durumlarda karıştırıcı kanat boyutunun ısı geçişine çok büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Kısa tip kanatlarla karıştırıcılı tankın merkezinden kaçık olarak yerleştirilerek yapılan deney sonuçlarından görüldüğü üzere derişikliğı yüksek çözeltilerde merkezden kaçıklık toplam ısı geçişini olumsuz etkileyerek ısı taşınım katsayısını düşürmektedir. Merkezden kaçıklık arttıkça ısı taşınım katsayısı daha fazla düşmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] HAHNE, E., BARTHAU, G., Heat transfer and nucleation in pool boiling, *Int. J. of Therm. Sci.*, Elsevier, 45:209-216, 2006.
- [2] KOTTHOFF, S., GORENFLO, D., DANGER, E., LUKE, A., Heat transfer and bubble formation in pool boiling: Effect of basic surface modifications for heat transfer enhancement, *Int. J. of Therm. Sci.*, Elsevier, 45:217-236, 2006.
- [3] <http://www.sugartech.com>, Erişim Tarihi: 30.07.2013.
- [4] HOLVEN, A.L., Sucrose solutions influence of pressure on boiling point elevation, *Industrial and Engineering Chemistry*, 28(4):452-455, 1936.
- [5] PERES, A.M., MACEDO, E.A., A modified UNIFAC model for the calculation of thermodynamic properties of aqueous and non-aqueous solutions containing sugars, *Fluid Phase Equilibria*, 139:47-74, 1997.
- [6] CRYDER, D.S., GILLILAND, E.R., Heat transmission from metal surfaces to boiling liquids, *Ind. Eng. Chem.*, 24(12):1382-1387, 1932.
- [7] AYPAK, T., Karıştırıcı sistemlerde ısı transferi, Dokuz Eylül Üniversitesi FBE Yüksek Lisans Tezi, 1989.
- [8] KAYTAZ, G., Yatay borular içinde akmakta olan soğutucu akışkanın buharlaşması esnasında ısı taşınım katsayısının değişiminin çeşitli parametrelere göre incelenmesi, İTÜ FBE Yüksek Lisans Tezi, 1997.
- [9] YAO, W.G., SATO, H., TAKAHASHI, K., KOYAMA, K., Mixing performance experiments in impeller stirred tanks subjected to unsteady rotational speeds, *Chem. Eng. Sci.*, Pergamon, 53(17):3031-3040, 1998.
- [10] PEIXOTO, S.M.C., NUNHEZ, J.R., Improving internal flow of coiled stirred tanks, 2th Int. Conf. on CFD in the Minerals and Process Industries, Csiro, Melbourne, Australia, 363-368, 1999.
- [11] KAWASE, Y., HOSHINO, M., TAKAHASHI, T., Non Newtonian laminar boundary layer heat transfer in stirred tanks, *Heat and Mass Transfer*, 38:679-686, 2002.

- [12] KARCZ, J., CUDAK, M., Efficiency of the heat transfer process in a jacketed agitated vessel equipped with an eccentrically located impeller, 29th International Conference of the Slovak Society of Chemical Engineering, 382-386, 2002.
- [13] DERKSEN, J.J., Numerical simulation of solids suspension in a stirred tank, *AIChE Journal*, 49(11):2700-2714, 2003.
- [14] KARCZ, J., SZOPLIK, J., An effect of the eccentric position of the propeller agitator on the mixing time, 30th International Conference of the Slovak Society of Chemical Engineering, 9-14, 2004.
- [15] CHOI, B.S., WAN, B., PHILYAW, S., DHANASEKHARAN, K., RING, T.A., Residence time distributions in a stirred tank: comparison of CFD predictions with experiment, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43:6548-6556, 2004.
- [16] SZALAI, E.S., ARRATIA, P., JOHNSON, K., MUZZIO, F.J., Mixing analysis in a tank stirred with ekato intermig impellers, *Chemical Engineering Science*, Elsevier, 59:3793-3805, 2004.
- [17] TIWARI, G.N., PRAKASH, O., KUMAR, S., Evaluation of convective heat and mass transfer for boiling of sugarcane juice, *Energy Conversion and Management*, Pergamon, 45:171-179, 2004.
- [18] YU, H., SHIKHOESLAMI, R., DOHERTY, W.O.S., Flow boiling heat transfer of water and sugar solutions in an annulus, *AIChE Journal*, 50:1119-1128, 2004.
- [19] KARCZ, J., CUDAK, M., SZOPLIK, J., Stirring of a liquid in a stirred tank with an eccentrically located impeller, *Chemical Engineering Science*, Elsevier, 60:2369-2380, 2005.
- [20] LAKGHOMI, B., KOLAHCHIAN, E., JALALI, A., FERHADI, F., Coil and Jacket's effects on internal flow behavior and heat transfer in stirred tanks, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 24:147-151, 2006.
- [21] ADAMIAK, R., KARCZ, J., Effects of type and number of impellers and liquid viscosity on the power characteristics of mechanically agitated gas liquid systems, 33rd Int. Conf. of the Slovak Society of Chem. Eng., 61(1), 16-23, 2007.
- [22] CUDAK, M., KARCZ, J., Distribution of local heat transfer coefficient values in the wall region of an agitated vessel, *Chem. Papers*, 62(1):92-99, 2008.

- [23] CABARET, F., FRADETTE, L., TANGUY, P.A., Effect of shaft eccentricity on the laminar mixing performance of a radial impeller, *The Canadian Journal of Chem. Eng.*, 86:971-977, 2008.
- [24] TRIVENI, B., VISHWANADHAM, B., VENKATESHWAR, S., Studies on heat transfer to Newtonian and non-Newtonian fluids in agitated vessel, *Heat Mass Transfer*, 44:1281-1288, 2008.
- [25] ADIP, T.A., VASSEUR, J., Bibliographic analysis of predicting heat transfer coefficients in boiling for applications in designing liquid food evaporators, *Journal of Food Engineering*, Elsevier, 87:149-161, 2008.
- [26] ÖZDEMİR, M., PEHLİVAN, H., Prediction of the boiling temperature and heat flux in sugar-water solutions under pool boiling conditions, *Heat Mass Transfer*, Springer, 44:827-833, 2008.
- [27] KARÇZ, J., MACKIEWICZ, B., Effects of vessel baffling on the drawdown of floating solids, *35th Int. Conf. of the Slovak Society of Chem. Eng.*, 63(2):164-171, 2009.
- [28] ADIP, T.A., HEYD, B., VASSEUR, J., Experimental results and modeling of boiling heat transfer coefficients in falling film evaporator usable for evaporator design, *Chem. Eng. and Proc.*, Elsevier, 48, 961-968, 2009.
- [29] VAKILI, M.H., ESFAHANY, M.N., CFD analysis of turbulence in a baffled stirred tank a three compartment model, *Chem. Eng. Sci.*, 64:351-362, 2009.
- [30] ROHSENOW, W.M., A method of correlating heat transfer data for surface boiling of liquids, *Trans ASME*, 74:969-976, 1952.
- [31] NUKIYAMA, S., The maximum and minimum values of heat Q transmitted from metal to boiling water under atmospheric pressure, *J. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, 37:367-374, 1934.
- [32] INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., *Fundamentals of heat and mass transfer*, Wiley, New York, 583, 2006.
- [33] DAĞSÖZ, A.K., *Isı Geçişi Isı Transferi*, 5. baskı, Beta basım yayım dağıtım, İstanbul, 1995.
- [34] SARI, B., *Boru ve kanallarda ısı taşınım katsayısının artırılması*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2000.
- [35] YILMAZ, T., *Teorik ve Uygulamalı Isı Transferi*, Papatya Yayıncılık, s:307, 1999.

- [36] KAKAC, S., Örneklerle Isı Transferi, 4. baskı, Güven Kitabevi, Ankara, s:73, 1972.
- [37] ÇENGEL, Y.A., CIMBALA, J.M., Fluid mechanics: fundamentals and applications, New York, McGraw-Hill, 1st ed., pp. 682-683, 2006.
- [38] ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A., Thermodynamics an engineering approach, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1998.
- [39] JESCHAR, R., ALT, R., SPECHT, E., Grundlagen der Wärmeübertragung, Goslar, 1990.
- [40] http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_eigenschaften.html#kap05, Erişim Tarihi: 30.07.2013.
- [41] LIPINSKI, G.W.V.R., Handbuch Süßungsmittel.
- [42] ÇENGEL, Y.A., Heat and Mass Transfer A Practical Approach, Third Edition, McGraw-Hill, New York, pp. 470, 2006.
- [43] GENÇELİ, O.F., Ölçme tekniği, Birsen yayınevi, İstanbul, 2008.
- [44] HOLMAN, J.P., Experimental methods for engineers, McGraw-Hill, International Editions, Singapore, pp. 287-341, 1989.
- [45] KLINE, S.J., McCLINTOCK, F.A., Describing Uncertainties in Single Sample Experiments, Mech. Eng., 3, 1953.

EKLER

Ek A. Hata Analizi

A1. Giriş

Günümüzde bilgisayarların gelişimiyle birlikte sayısal çalışmaların sayısı da artmıştır. Ancak bu sayısal çalışmaların güvenilirliğinin sağlanması için deneysel çalışmalar oldukça önem arz etmektedir. Deneysel çalışmalarda ise elde edilen sonuçların hangi ölçülerde geçerli olduğunu bilmek önemlidir. Zira deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların doğruluğu ölçülen değerlerin doğruluğuna bağlıdır. Bundan dolayı tüm deneysel çalışmalarda ölçülen büyüklüklerin ölçüm hataları dikkate alınarak yorumlanması gerekir. Bu yüzden hata analizi yapılması zorunludur.

Genel olarak deneysel hataları üç grupta toplamak mümkündür [43]. Bunlardan birinci gruptakiler, dikkatsizlik ve tecrübesizlikten olabilen hatalardır. İkinci grup hatalar, sabit veya sistematik olarak adlandırılan hatalardır. Bunlar genel olarak tekrar edilen okumalarda görülen ve nedenleri çoğunlukla bilinmeyen hatalardır. Üçüncü grup hatalar ise rastgele hatalardır. Bunlar ise deneyi yapan elemanların değişmesinden, deneyi yapanların dikkatlerinin azalmasından, elektrik geriliminin değişmesinden, cihazların ısınmasından ortaya çıkan elektronik ölçme aletindeki salınımlardan veya ölçme aletlerindeki histerisiz olaylarından kaynaklanabilir. Çoğu zaman sabit hatalar ile rastgele hataları birbirinden ayırt etmek zordur [44].

A2. Hata Analizi

Deneysel esnasında farklı nedenlerden dolayı oluşan hataların belirlenmesinde farklı metotlar olmakla birlikte en çok kullanılanlardan belirsizlik analizi adı verilen hassas bir yöntem, Kline ve McClintock [45] tarafından ortaya konulmuştur. Holman'a göre [44], eğer $R, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, değişkenlerine bağlı bir fonksiyon $R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ise ve $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ de her bir bağımsız değişkene ait hata oranları ise R büyüklüğünün hata oranı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{(1/2)} \quad (5.1)$$

Deneylerde yapılan maksimum hata bu şekilde ifade edilmiştir. Buradaki W değeri parametrelerin mutlak hatasıdır. Parametrelerin mutlak hata değerleri ise aşağıdaki gibidir.

Sıcaklık farkı için;

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (5.2)$$

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{W_{T_1}}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_2}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.3)$$

Sıcaklık ölçümlerindeki hata oranı $\pm 0,1$ °C ve ölçülen sıcaklık farkı bütün deneyler içinde en fazla 30 °C ve en az 12 °C olduğu göz önüne alınırsa;

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{0,1}{30} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{30} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,00471 \quad (5.4)$$

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{0,1}{12} \right)^2 + \left(\frac{0,1}{12} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,0117 \quad (5.5)$$

30 °C için maksimum bağıl hata % 0,47 maksimum mutlak hata 0,141°C olarak hesaplanmıştır.

12 °C için maksimum bağıl hata % 1,17, maksimum mutlak hata 0,140°C olarak hesaplanmıştır.

Kütle farkı için;

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (5.6)$$

$$\frac{W_{\Delta m}}{\Delta m} = \left[\left(\frac{W_{m_1}}{\Delta m} \right)^2 + \left(\frac{W_{m_2}}{\Delta m} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.7)$$

yazılabilir. Kütle ölçümündeki hata oranı ± 1 gram ve ölçülen kütle farkı bütün deneyler içinde toplamda en fazla 290 g ve her bir adım için en fazla 19 g en az 7 g olduğu göz önüne alınırsa mutlak hata:

$$\frac{W_{\Delta m}}{\Delta m} = \left[\left(\frac{1}{290} \right)^2 + \left(\frac{1}{290} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,00487 \quad (5.8)$$

$$\frac{W_{\Delta m}}{\Delta m} = \left[\left(\frac{1}{19} \right)^2 + \left(\frac{1}{19} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,0744 \quad (5.9)$$

$$\frac{W_{\Delta m}}{\Delta m} = \left[\left(\frac{1}{7} \right)^2 + \left(\frac{1}{7} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,202 \quad (5.10)$$

olarak hesaplanmıştır. 290 g için toplam kütle değişimdeki bağıl hata % 0,487, maksimum mutlak hata 1,414 g, her bir adımdaki en fazla 19 g için bağıl hata % 7,44 ve mutlak hata ise 1,413 g, her bir adımdaki en az 7 g için bağıl hata % 20,2 ve mutlak hata ise 1,414 g olarak hesaplanmıştır.

Kayıp ısı Q_l için;

Karıştırma tankının yan yüzeyinden çevreye olan ısı kaybı Q_l , düşey duvar laminer doğal konveksiyon ile olan ısı kaybı hesabı [36] benzeşimi ile kullanılan deney düzeneği için 17 W olarak hesaplanmıştır. Deneyler boyunca hesaplanan en büyük Q_h değeri ise yaklaşık 750 W olduğu göz önüne alındığında bağıl hata % 2,26 olarak tespit edilmiştir.

Isı iletim katsayısı $k(W/mK)$ için;

Burada şekerli su çözeltisinin ısı iletim katsayısı deneylerin yapıldığı sıcaklık sınırlarında fazla değişmediği için ortalama değer olarak 0,580 (W/mK) alınmıştır .

Sıcaklık ve derişiklik ile değişen malzeme özellikleri (μ, ρ, c_p) için;

Sıcaklık ve derişiklik ile değişen malzeme özellikleri (μ, ρ, c_p) her bir sıcaklık ve derişiklik için ilgili tablolardan okunmuştur [3].

Taşıyım yoluyla transfer edilen ısı $\dot{Q}_h(W)$ için;

$$\dot{Q}_h = \Delta\dot{m} \cdot h_{fg} \quad (5.11)$$

Burada h_{fg} yine her bir sıcaklık değeri için tablodan okunmuştur [38].

$$\frac{W_{\dot{Q}_h}}{\dot{Q}_h} = \left[\left(\frac{W_{\Delta\dot{m}}}{\Delta\dot{m}} \right)^2 + \left(\frac{W_{h_{fg}}}{h_{fg}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.12)$$

$$\frac{W_{\dot{Q}_h}}{\dot{Q}_h} = \left[\left(\frac{1,414}{7} \right)^2 + (0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,202 \quad (5.13)$$

Burada her bir adımda \dot{Q}_h 'ta yapılan maksimum bağıl hata % 20,2 ve maksimum mutlak hata 151,5 W'dır.

Isı taşınım katsayısı h(W/m²K) için;

$$h = \frac{\dot{Q}_h}{A \cdot \Delta t} \quad (5.14)$$

$$\frac{W_h}{h} = \left[\left(\frac{W_{\dot{Q}_h}}{\dot{Q}_h} \right)^2 + \left(\frac{W_A}{A} \right)^2 + \left(\frac{W_{\Delta t}}{\Delta t} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.15)$$

$$\frac{W_h}{h} = \left[\left(\frac{151,5}{750} \right)^2 + (0)^2 + \left(\frac{0,140}{12} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,202 \quad (5.16)$$

hesaplanmıştır. Burada her bir adımda hesaplanan ısı taşınım katsayısı h için yapılan maksimum bağıl hata %20,2 ve maksimum mutlak hata 343,4 (W/m²K)'dir.

Nu sayısı için;

$$Nu = \frac{h \cdot l}{k} \quad (5.17)$$

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{W_h}{h} \right)^2 + \left(\frac{W_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{W_k}{k} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.18)$$

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{343,4}{1700} \right)^2 + (0)^2 + (0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,202 \quad (5.19)$$

Son olarak Nu sayısı hesaplanırken maksimum h değeri için yapılan maksimum bağıl hata %20,2 ve maksimum mutlak hata ise 12,12'dir.

Ek B Test Protokol Örneği

DENEY NO	Tarih/Saat	DENEY NO	Tarih/Saat	DENEY NO	Tarih/Saat
Tcevre	Konum	Tcevre	Konum	Tcevre	Konum
Kanat	Bosluk	Kanat	Bosluk	Kanat	Bosluk
Devir		Devir		Devir	
Sure (dk)	m(g)	Sure (dk)	m(g)	Sure (dk)	m(g)
0		0		0	
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	
5		5		5	
6		6		6	
7		7		7	
8		8		8	
9		9		9	
10		10		10	
11		11		11	
12		12		12	
13		13		13	
14		14		14	
15		15		15	
16		16		16	
17		17		17	
18		18		18	
19		19		19	
20		20		20	
21		21		21	
22		22		22	
23		23		23	
24		24		24	
25		25		25	
26		26		26	
27		27		27	
28		28		28	
29		29		29	
30		30		30	

Ek B1. Örnek Test Protokol Örneği

Deneyler sırasında kullanılan test protokolünün örnek bir deney için doldurulmuş şekli:

DENEY NO	Tarih/Saat
E0-80-24	25.05.2012 19=14
Tcevre	Konum
25,3-25,2	Eksen
Kanat	Bosluk
3. kanat	4 mm
Devir	
80	f=13.3

DENEY NO	Tarih/Saat
E9-3-4	23.05.2012 20.52
Tcevre	Konum
24,3-23,8	Eksen
Kanat	Bosluk
3. kanat	4 mm
Devir	
120	18.4

DENEY NO	Tarih/Saat
E5-3-4	23.05.2012 21=46
Tcevre	Konum
24,2-23,8	Eksen
Kanat	Bosluk
3. kanat	4 mm
Devir	
80	f=13.3

825

Sure (dk)	m(g)
0	1200
1	1185
2	1171
3	1159
4	1149
5	1139
6	1130
7	1121
8	1112
9	1103
10	1094
11	1085
12	1075
13	1066
14	1056
15	1046
16	1036
17	1027
18	1017
19	1008
20	999
21	989
22	980
23	971
24	963
25	954
26	946
27	938
28	930
29	922
30	914

908

820

Sure (dk)	m(g)
0	1200
1	1186
2	1173
3	1161
4	1150
5	1139
6	1128
7	1118
8	1109
9	1099
10	1089
11	1079
12	1069
13	1060
14	1050
15	1039
16	1029
17	1019
18	1009
19	1000
20	990
21	980
22	971
23	963
24	954
25	945
26	937
27	929
28	920
29	913
30	905

899

824

Sure (dk)	m(g)
0	1200
1	1188
2	1177
3	1166
4	1157
5	1147
6	1138
7	1128
8	1119
9	1109
10	1099
11	1089
12	1079
13	1070
14	1060
15	1050
16	1040
17	1031
18	1020
19	1010
20	1001
21	991
22	982
23	973
24	964
25	955
26	946
27	938
28	930
29	922
30	914

91 907

Ek C1. Kısa Tip Kanatlar ile Yapılabilen Deneyler

1	Merk.	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
2	DK_Merk.	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
3	Ekst_A	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
4	Ekst_O	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
5	Ekst_C	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
6	DK_Eks_A	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
7	DK_Eks_O	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
8	DK_Eks_C	1.Tip	12mm	80	120	160	200	240
9	Merk.	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
10	DK_Merk.	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
11	Ekst_A	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
12	Ekst_O	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
13	Ekst_C	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
14	DK_Eks_A	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
15	DK_Eks_O	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
16	DK_Eks_C	1.Tip	4mm	80	120	160	200	240
17	Merk.	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
18	DK_Merk.	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
19	Ekst_A	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
20	Ekst_O	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
21	Ekst_C	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
22	DK_Eks_A	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
23	DK_Eks_O	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
24	DK_Eks_C	2.Tip	12mm	80	120	160	200	240
25	Merk.	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
26	DK_Merk.	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
27	Ekst_A	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
28	Ekst_O	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
29	Ekst_C	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
30	DK_Eks_A	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
31	DK_Eks_O	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
32	DK_Eks_C	2.Tip	4mm	80	120	160	200	240
33	Merk.	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
34	DK_Merk.	3.Tip	12mm	80	120	160	180	240
35	Ekst_A	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
36	Ekst_O	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
37	Ekst_C	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
38	DK_Eks_A	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
39	DK_Eks_O	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
40	DK_Eks_C	3.Tip	12mm	80	120	160	200	240
41	Merk.	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
42	DK_Merk.	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
43	Ekst_A	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
44	Ekst_O	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
45	Ekst_C	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
46	DK_Eks_A	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
47	DK_Eks_O	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240
48	DK_Eks_C	3.Tip	4mm	80	120	160	200	240

Ek D1. Örnek Bir Deney için Ölçülen ve Hesaplanan Verilere Ait Excel Tablosu

DENEY NO	Tarih/Saat	Çevre Sıcaklığı(C)	A(m ²)	n (rpm)	Kanat Tipi	Bosluk	Konum	Frekans	ilk seker	
M_1_4_80	24.04.2012/12:33	27,4-27,9	0,02	80	1. tip	4 mm	Merk.	13	809	
Zaman (dk)	Zaman(s)	f_Ty (C)	Ty(C)	f_Ta (C)	Ta(C)	(f_Ty)-(f_Ta)	m(g)	m1-m2	C _{şeker}	h(W/m ² C)
0	0	135,25	135,25	105,55	105,55	29,7	1200		0,7	672,06
1	60	135,565	135,88	105,525	105,5	30,04	1182	18	0,71066	672,06
2	120	136,0966667	137,16	105,68667	106,01	30,41	1164	18	0,721649	597,3867
3	180	136,1275	136,22	105,8125	106,19	30,315	1148	16	0,731707	522,7133
4	240	135,802	134,5	105,944	106,47	29,858	1134	14	0,740741	448,04
5	300	135,36	133,04	106,278	107,22	29,082	1122	12	0,748663	410,7033
6	360	134,678	132,47	106,772	107,97	27,906	1111	11	0,756076	335,61
7	420	133,582	131,68	107,266	108,48	26,316	1102	9	0,76225	298,32
8	480	132,542	131,02	107,72	108,46	24,822	1094	8	0,767824	335,19
9	540	131,832	130,95	108,288	109,31	23,544	1085	9	0,774194	297,9467
10	600	131,436	131,06	108,512	108,34	22,924	1077	8	0,779944	297,5733
11	660	131,282	131,7	108,718	109	22,564	1069	8	0,785781	297,5733
12	720	131,4	132,27	108,924	109,51	22,476	1061	8	0,791706	297,5733
13	780	131,848	133,26	109,174	109,71	22,674	1053	8	0,797721	297,5733
14	840	132,456	133,99	109,228	109,58	23,228	1045	8	0,803828	297,5733
15	900	133,184	134,7	109,582	110,11	23,602	1037	8	0,810029	334,35
16	960	133,986	135,71	109,848	110,33	24,138	1028	9	0,817121	297,2
17	1020	134,732	136	110,082	110,68	24,65	1020	8	0,823529	297,2
18	1080	135,566	137,43	110,4	111,3	25,166	1012	8	0,83004	334,35
19	1140	136,292	137,62	110,912	112,14	25,38	1003	9	0,837488	333,96
20	1200	136,988	138,18	111,45	112,8	25,538	994	9	0,84507	296,8533
21	1260	137,626	138,9	112,084	113,5	25,542	986	8	0,851927	333,57
22	1320	138,334	139,54	112,82	114,36	25,514	977	9	0,859775	296,16
23	1380	138,892	140,22	113,596	115,18	25,296	969	8	0,866873	295,8133
24	1440	139,602	141,17	114,442	116,37	25,16	961	8	0,874089	295,8133
25	1500	140,35	141,92	115,326	117,22	25,024	953	8	0,881427	258,5333
26	1560	141,264	143,47	116,436	119,05	24,828	946	7	0,887949	295,0933
27	1620	142,428	145,36	117,638	120,37	24,79	938	8	0,895522	257,5533
28	1680	143,73	146,73	118,954	121,76	24,776	931	7	0,902256	220,48
29	1740	145,246	148,75	120,57	124,45	24,676	925	6	0,908108	256,5733
30	1800	147,158	151,48	122,276	125,75	24,882	918	7	0,915033	183,0333
31	1860	149,042	152,89	124,11	128,22	24,932	913	5	0,920044	

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

Çeşer	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	40 dev/dak									
					k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe				
0,7	1004,15707	105,04	7,665	1295,9	5,91481E-06	425,288513	2,98	0,03938224	37,22306393	16,74881486				
0,70826307	1000	104,985	7,665	1295,9	5,91481E-06	425,288513	2,97	0,03925009	37,06896552	16,69261079				
0,71550256	883,418669	105,01	8,607	1302,2	6,60958E-06	380,583723	2,96	0,04392538	32,74741617	16,71728437				
0,72289157	825,239146	105,16	8,607	1308,6	6,57726E-06	382,4542	2,94	0,04362859	30,59076146	16,68593604				
0,72980017	841,27796	105,32	8,607	1308,6	6,57726E-06	382,4542	2,94	0,04362859	31,18530368	16,68593604				
0,73684211	850	105,57	11,033	1315	8,39011E-06	299,817139	2,93	0,05573567	31,50862069	16,71050987				
0,74270557	905,270969	105,856	12,606	1321,5	9,53916E-06	263,702463	2,91	0,06324734	33,55745834	16,67848062				
0,75	769,440374	106,144	14,023	1327,4	1,05643E-05	238,114148	2,9	0,070115	28,52235868	16,6953735				
0,75607561	791,627403	106,356	14,023	1327,4	1,05643E-05	238,114148	2,9	0,070115	29,3448089	16,6953735				
0,76225045	807,842288	106,608	16,225	1333,9	1,21636E-05	206,805883	2,88	0,08056552	29,94587791	16,66142292				
0,76852699	906,769769	106,798	16,225	1333,9	1,21636E-05	206,805883	2,88	0,08056552	33,61301732	16,66142292				
0,77562327	822,654182	107,022	18,243	1340	1,36142E-05	184,770597	2,87	0,0902714	30,4949395	16,67949983				
0,78212291	823,299971	107,258	21,417	1346,6	1,59045E-05	158,162782	2,85	0,10523871	30,51887822	16,64484665				
0,78873239	916,601037	107,544	21,417	1346,6	1,59045E-05	158,162782	2,85	0,10523871	33,97745223	16,64484665				
0,79620853	826,976216	107,874	25,372	1353,3	1,87482E-05	134,172558	2,83	0,12379786	30,65515285	16,61027587				
0,80305927	800	108,218	29,112	1359,5	2,14138E-05	117,471223	2,82	0,14154455	29,65517241	16,62741163				
0,81081081	836,841316	108,678	35,131	1366,3	2,57125E-05	97,8317625	2,81	0,17020364	31,02084188	16,65132189				
0,81791626	839,864526	109,11	33,627	1365,8	2,46207E-05	102,169979	2,81	0,16291702	31,13290915	16,64522831				
0,82514735	800	109,59	40,954	1372,6	2,98368E-05	84,3086219	2,8	0,19770897	29,65517241	16,66857041				
0,83333333	839,231928	110,04	48,115	1379	3,48912E-05	72,09549	2,78	0,23062017	31,10945939	16,62667433				
0,84084084	838,000602	110,574	59,984	1386	4,32785E-05	58,1235496	2,77	0,28647531	31,06381543	16,65096191				
0,84848485	832,65184	111,066	56,998	1385,4	4,11419E-05	61,1420348	2,77	0,27221459	30,86554235	16,64375371				
0,85626911	738,607679	111,728	71,889	1392,5	5,16259E-05	48,7255874	2,76	0,34209248	27,37942258	16,66865716				
0,86330935	826,650476	112,424	86,99	1399	6,21801E-05	40,4550466	2,75	0,41245259	30,64307798	16,68578858				
0,87136929	734,596686	113,262	106,337	1405,7	7,5647E-05	33,2531325	2,74	0,50235066	27,23073923	16,70473289				
0,87866109	730,114852	114,142	100,091	1405,2	7,1229E-05	35,3156687	2,74	0,47284369	27,06460226	16,69879111				
0,88607595	632,172666	115,192	123,164	1411,9	8,72328E-05	28,836628	2,73	0,57972021	23,43398674	16,71717595				
0,89266738	620,510109	116,334	153,133	1418,7	0,000107939	23,3048386	2,72	0,71814097	23,00166784	16,7361593				
0,8993576	604,869266	117,53	143,007	1418,3	0,00010083	24,9479651	2,73	0,67311916	22,42187795	16,79295321				
0,90614887	774,955478	118,742	178,719	1425,2	0,000125399	20,0599298	2,72	0,83813048	28,72679791	16,81283868				

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80 dev/dak										
Cşeker	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1271,3961	105,88	7,665	1295,9	5,91481E-06	850,5770254	2,98	0,039382241	47,1293397	33,49762973
0,7070707	1099,7545	106,175	7,458	1295,3	5,75774E-06	873,7804103	2,98	0,03831869	40,76676316	33,48212037
0,713073	1209,6112	105,95667	8,607	1302,2	6,60958E-06	761,1674451	2,96	0,0433925379	44,83303701	33,43456874
0,7197943	1101,8641	105,9575	8,607	1302,2	6,60958E-06	761,1674451	2,96	0,0433925379	40,84496412	33,43456874
0,7260156	1003,9137	106,144	9,432	1308	7,21101E-06	697,6832061	2,95	0,047973103	37,21404303	33,47002862
0,7317073	1254,5923	106,312	10,697	1314,4	8,13831E-06	618,1870057	2,93	0,054038293	46,50643848	33,40577061
0,7387863	1024,2319	106,316	10,697	1314,4	8,13831E-06	618,1870057	2,93	0,054038293	37,96721678	33,40577061
0,7446809	1022,0794	106,542	12,207	1320,9	9,24143E-06	544,3964856	2,91	0,061245466	37,88742696	33,34181619
0,7506702	1136,059	106,728	14,023	1327,4	1,05643E-05	476,2282964	2,9	0,0707115	42,1125312	33,390747
0,7574391	1003,3784	106,736	14,023	1327,4	1,05643E-05	476,2282964	2,9	0,0707115	37,19419851	33,390747
0,7636364	1083,6336	106,854	16,225	1333,9	1,21636E-05	413,6117658	2,88	0,080565517	40,16917715	33,32284585
0,7706422	1054,9395	107,026	18,243	1340	1,36142E-05	369,5411939	2,87	0,090271397	39,10551443	33,35899966
0,7777778	927,61194	107,21	18,243	1340	1,36142E-05	369,5411939	2,87	0,090271397	34,38561503	33,35899966
0,7843137	1002,4194	107,44	21,417	1346,6	1,59045E-05	316,3255638	2,85	0,105238707	37,1586485	33,28969329
0,7917059	976,28534	107,766	25,372	1353,3	1,87482E-05	268,3451167	2,83	0,123797862	36,18988778	33,22055174
0,7992388	865,22974	108,03	24,382	1352,8	1,80234E-05	279,1377574	2,84	0,119387724	32,07317127	33,32562157
0,806142	863,34331	108,512	29,112	1359,5	2,14138E-05	234,9424464	2,82	0,141544552	32,00324321	33,25482326
0,8131655	951,41873	108,932	35,131	1366,3	2,57125E-05	195,6635251	2,81	0,170203638	35,26810809	33,30264378
0,8211144	941,78313	109,292	40,954	1372,6	2,98368E-05	168,6172437	2,8	0,197708966	34,91092652	33,33714083
0,8292201	754,69782	109,73	40,954	1372,6	2,98368E-05	168,6172437	2,8	0,197708966	27,97586732	33,33714083
0,8358209	845,25736	110,282	48,115	1379	3,48912E-05	144,1909799	2,78	0,230620172	31,33281581	33,25334866
0,8433735	736,82817	110,756	59,984	1386	4,32785E-05	116,2470992	2,77	0,28647531	27,31345804	33,30192383
0,8502024	643,31946	111,452	71,889	1392,5	5,16259E-05	97,45117473	2,76	0,342092483	23,84718702	33,33731431
0,8562691	645,12466	112,312	68,119	1392	4,89361E-05	102,8076161	2,76	0,324152483	23,91410378	33,325344
0,862423	730,39361	112,986	86,99	1399	6,21801E-05	80,91009311	2,76	0,413952414	27,07493545	33,49292834
0,8695652	639,35547	113,638	82,17	1398,5	5,87558E-05	85,62557503	2,75	0,389599138	23,70024571	33,35965022
0,8759124	650,21269	114,336	100,091	1405,2	7,1229E-05	70,63133748	2,74	0,47284369	24,10271169	33,39758222
0,8823529	732,65886	114,956	131,374	1412,4	9,30147E-05	54,08820923	2,73	0,618363828	27,15890616	33,44619209
0,8898305	714,09673	115,618	123,164	1411,9	8,72328E-05	57,67325598	2,73	0,579720207	26,47082712	33,43435189
0,8974359	695,22551	116,564	153,133	1418,7	0,000107939	46,60967721	2,72	0,718140966	25,77129061	33,47231859

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak										
Çeşer	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1476,2064	105,96	7,665	1295,9	5,91481E-06	1275,86554	2,98	0,039382241	54,7214444	50,24644
0,7076664	1620,3141	106,02	7,458	1295,3	5,75774E-06	1310,67062	2,98	0,03831869	60,063368	50,22318
0,7161125	1436,6396	106,04	8,365	1301,6	6,42671E-06	1174,24081	2,97	0,042834569	53,2547434	50,2981
0,7235142	1238,5691	106,0275	9,432	1308	7,21101E-06	1046,52481	2,95	0,047973103	45,9124767	50,20504
0,7298002	1383,9579	105,922	9,716	1308,6	7,42473E-06	1016,40077	2,94	0,049250069	51,301886	50,05781
0,7368421	1312,2686	105,874	11,033	1315	8,39011E-06	899,451418	2,93	0,055735672	48,6444401	50,13153
0,7433628	1495,86	105,812	12,606	1321,5	9,53916E-06	791,107389	2,91	0,063247345	55,4499843	50,03544
0,7506702	1254,7797	105,79	14,502	1328	1,09202E-05	691,059992	2,89	0,072259966	46,5133849	49,93597
0,7567568	1263,2707	105,86	14,502	1328	1,09202E-05	691,059992	2,89	0,072259966	46,8281372	49,93597
0,7629428	1410,208	106,042	16,225	1333,9	1,21636E-05	620,417649	2,88	0,080565517	52,2749512	49,98427
0,7699358	1250,1116	106,22	16,225	1333,9	1,21636E-05	620,417649	2,88	0,080565517	46,3403441	49,98427
0,7763401	1215,0978	106,51	18,92	1340,6	1,41131E-05	534,716591	2,86	0,093295172	45,0424168	49,88648
0,7828518	1159,6752	106,77	22,252	1347,2	1,65172E-05	456,886788	2,85	0,109341724	42,9879596	49,95679
0,7894737	1100,505	106,972	22,252	1347,2	1,65172E-05	456,886788	2,85	0,109341724	40,7945813	49,95679
0,7962085	1047,9953	107,188	25,372	1353,3	1,87482E-05	402,517675	2,83	0,123797862	38,8480999	49,83083
0,8030593	1003,4427	107,518	30,357	1360,1	2,23197E-05	338,10965	2,82	0,147597828	37,1965829	49,90425
0,8100289	970,44007	107,73	36,719	1366,9	2,6863E-05	280,925702	2,8	0,177264138	35,9732095	49,79805
0,8171206	944,19718	107,95	36,719	1366,9	2,6863E-05	280,925702	2,8	0,177264138	35,0004128	49,79805
0,8243376	825,70299	108,338	42,893	1373,2	3,12358E-05	241,597785	2,79	0,206330121	30,6079556	49,8489
0,8308605	705,16918	108,778	53,045	1380,1	3,84356E-05	196,341307	2,77	0,253335603	26,1398919	49,74024
0,8366534	789,31919	109,25	50,508	1379,5	3,66133E-05	206,113819	2,78	0,242090069	29,2592457	49,89811
0,8433735	874,6207	109,726	63,159	1386,5	4,55528E-05	165,664786	2,76	0,300549724	32,4212845	49,79051

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 devir										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1118,07999	104,88	7,881	1296,5	6,07867E-06	144,357156	2,97	0,0402867	14,43304635	5,815672784
0,71005917	1050,09363	104,87	8,858	1302	6,80338E-06	128,980018	2,96	0,04512854	13,55542555	5,820679518
0,71979434	935,585747	105,096667	8,607	1302	6,6106E-06	132,741373	2,96	0,04384978	12,07726867	5,820679518
0,72853426	752,455017	105,225	9,716	1308	7,42813E-06	118,131947	2,94	0,0491653	9,713274743	5,807992771
0,73555166	772,38292	105,32	11,033	1315	8,39011E-06	104,587374	2,93	0,05563974	9,970519623	5,819214501
0,74270557	734,626686	105,608	12,606	1321,5	9,53916E-06	91,9892313	2,91	0,06313849	9,483132774	5,808060736
0,74933095	621,604373	105,894	12,606	1321,5	9,53916E-06	91,9892313	2,91	0,06313849	8,024152836	5,808060736
0,75471698	735,10238	106,044	14,023	1327,4	1,05643E-05	83,0630749	2,9	0,06999432	9,489273409	5,81394346
0,76086957	509,878004	106,292	16,225	1333,9	1,21636E-05	72,1415871	2,88	0,08042685	6,58190195	5,80212062
0,76502732	782,818623	106,544	16,225	1333,9	1,21636E-05	72,1415871	2,88	0,08042685	10,10523179	5,80212062
0,77134986	790,712468	106,698	18,92	1340,6	1,41131E-05	62,1763478	2,86	0,0931346	10,20713169	5,790769002
0,77777778	789,447685	106,884	18,92	1340,6	1,41131E-05	62,1763478	2,86	0,0931346	10,19080489	5,790769002
0,78431373	782,380642	107,192	21,417	1346,6	1,59045E-05	55,1730635	2,85	0,10505757	10,09957799	5,79634815
0,79096045	767,91598	107,408	25,372	1353,3	1,87482E-05	46,8043808	2,83	0,12358478	9,912856888	5,784309333
0,7977208	755,749459	107,724	25,372	1353,3	1,87482E-05	46,8043808	2,83	0,12358478	9,755801965	5,784309333
0,8045977	749,396351	108,196	29,112	1359,5	2,14138E-05	40,9783337	2,82	0,14130093	9,673791109	5,790276635
0,8115942	822,862284	108,638	35,131	1366,3	2,57125E-05	34,127359	2,81	0,16991069	10,62214652	5,798603068
0,8195122	735,822929	109,092	33,627	1365,8	2,46207E-05	35,6406905	2,81	0,16263661	9,498574821	5,796481059
0,82677165	736,648453	109,546	40,954	1372,6	2,98368E-05	29,4099844	2,8	0,19736867	9,509231325	5,804609639
0,83416087	743,06605	110,102	48,115	1379	3,48912E-05	25,1495895	2,78	0,23022324	9,59207466	5,79001988
0,84168337	827,904209	110,59	59,984	1386	4,32785E-05	20,2756568	2,77	0,28598224	10,68723162	5,798477711
0,85020243	669,614124	111,214	71,889	1392,5	5,16259E-05	16,9972979	2,76	0,34150368	8,643900048	5,804639845
0,85714286	676,832238	111,836	71,889	1392,5	5,16259E-05	16,9972979	2,76	0,34150368	8,737077078	5,804639845
0,86419753	682,899834	112,616	86,99	1399	6,21801E-05	14,1122255	2,75	0,41174269	8,815402332	5,810605637
0,87136929	681,140754	113,36	106,337	1405,7	7,5647E-05	11,5999299	2,74	0,50148602	8,792694764	5,817202745
0,87866109	677,600635	114,272	100,091	1405,2	7,1229E-05	12,3194193	2,74	0,47202985	8,746996152	5,815133597
0,88607595	587,789499	115,268	123,164	1411,9	8,72328E-05	10,0592888	2,73	0,57872241	7,587644138	5,821535873
0,89266738	578,109141	116,368	153,133	1418,7	0,000107939	8,12959486	2,72	0,71690492	7,462682541	5,828146575
0,8993576	564,760401	117,558	143,007	1418,3	0,00010083	8,70277854	2,73	0,6719606	7,290366624	5,847924307
0,90614887	551,562455	118,902	178,719	1425,2	0,000125399	6,99764994	2,72	0,83668792	7,119997272	5,854849157

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80_devir											
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1208,7498	105,09	7,665	1295,9	5,91481E-06	296,7129159	2,98	0,039314458	15,60348221	11,66510742	
0,706476	1232,2945	105,165	7,665	1295,3	5,91755E-06	296,5755382	2,98	0,039314458	15,90741578	11,65970649	
0,713073	1139,2727	105,39333	8,607	1302,2	6,60958E-06	265,5235274	2,96	0,043849776	14,70661773	11,64314726	
0,7191781	1256,7421	105,51	8,607	1302,2	6,60958E-06	265,5235274	2,96	0,043849776	16,22300533	11,64314726	
0,7260156	1032,5406	105,588	9,716	1308,6	7,42473E-06	236,3722725	2,94	0,049165301	13,32883684	11,62131398	
0,7317073	1162,7014	105,764	11,033	1315	8,39011E-06	209,1747485	2,93	0,055639742	15,00905394	11,638429	
0,7381371	1045,6497	105,952	11,033	1315	8,39011E-06	209,1747485	2,93	0,055639742	13,49806031	11,638429	
0,7440213	1035,8508	106,04	12,207	1320	9,24773E-06	189,7763578	2,91	0,061140052	13,37156801	11,60293632	
0,75	1030,0086	106,168	14,023	1327,4	1,05643E-05	166,1261499	2,9	0,06999432	13,2961521	11,62788692	
0,7560756	1016,6707	106,314	14,023	1327,4	1,05643E-05	166,1261499	2,9	0,06999432	13,12397634	11,62788692	
0,7622505	999,55325	106,552	16,225	1333,9	1,21636E-05	144,2831741	2,88	0,08042685	12,903011	11,60424124	
0,768527	1093,5484	106,77	16,225	1333,9	1,21636E-05	144,2831741	2,88	0,08042685	14,11637333	11,60424124	
0,7756233	977,08746	107,146	18,243	1340	1,36142E-05	128,9097188	2,87	0,090116024	12,61300505	11,61683133	
0,7821229	1066,1597	107,492	21,417	1346,6	1,59045E-05	110,3461269	2,85	0,105057573	13,76281823	11,5926963	
0,7894737	935,03124	107,796	21,417	1346,6	1,59045E-05	110,3461269	2,85	0,105057573	12,07011071	11,5926963	
0,7962085	916,62109	108,116	24,382	1352,8	1,80234E-05	97,37363629	2,84	0,119182238	11,83245813	11,60520785	
0,8030593	997,73182	108,436	29,112	1359,5	2,14138E-05	81,95666735	2,82	0,141300929	12,87949852	11,58055327	
0,8108108	871,97854	108,704	35,131	1366,3	2,57125E-05	68,25471806	2,81	0,169910688	11,25617733	11,59720614	
0,8179163	853,83085	108,996	35,131	1366,3	2,57125E-05	68,25471806	2,81	0,169910688	11,02191288	11,59720614	
0,8251473	846,74727	109,432	40,954	1372,6	2,98368E-05	58,81996875	2,8	0,197368875	10,93047248	11,60921928	
0,8325074	832,13041	109,87	50,508	1379,5	3,66133E-05	47,93344619	2,78	0,241673391	10,74178674	11,58423847	
0,84	730,58014	110,44	59,984	1386	4,32785E-05	40,55131368	2,77	0,285982238	9,430896786	11,59695542	
0,8467742	814,77506	111,026	56,998	1385,4	4,11419E-05	42,65723359	2,77	0,271746059	10,51775029	11,59193509	
0,854527	717,93382	111,69	71,889	1392,5	5,16259E-05	33,99459584	2,76	0,341503683	9,267648248	11,60927969	
0,8615385	804,63624	112,492	86,99	1399	6,21801E-05	28,22445109	2,75	0,411742685	10,38687058	11,62121127	
0,8695652	625,76065	113,294	82,17	1398,5	5,87558E-05	29,86938664	2,75	0,388928571	8,077805281	11,61705787	
0,8759124	629,71163	114,228	100,091	1405,2	7,1229E-05	24,63883866	2,74	0,472029845	8,128807562	11,63026719	
0,8823529	627,44717	115,158	123,164	1411,9	8,72328E-05	20,11857767	2,73	0,57872241	8,099576249	11,64307175	
0,8888889	621,94495	116,242	115,539	1411,5	8,18555E-05	21,44022797	2,74	0,544882719	8,028549307	11,68240972	
0,8955224	608,89686	117,224	143,007	1418,3	0,00010083	17,40555707	2,73	0,671960602	7,860114428	11,69584861	

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 devir											
Çeşer	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1599,7913	105,53	7,665	1295,9	5,91481E-06	445,069374	2,98	0,039314458	20,6513501	17,49766	
0,7076664	1593,4887	105,57	7,665	1295,9	5,91481E-06	445,069374	2,98	0,039314458	20,5699922	17,49766	
0,7155026	1226,5659	105,54667	8,607	1302,2	6,60958E-06	398,285291	2,96	0,043849776	15,8334672	17,46472	
0,7216495	1376,1211	105,6775	9,716	1308,6	7,42473E-06	354,558409	2,94	0,049165301	17,7640414	17,43197	
0,7285343	1396,9501	105,74	9,716	1308,6	7,42473E-06	354,558409	2,94	0,049165301	18,0329188	17,43197	
0,7355517	1295,5124	105,85	11,033	1315	8,39011E-06	313,762123	2,93	0,055639742	16,7234816	17,45764	
0,7420495	1337,8482	105,966	12,606	1321,5	9,53916E-06	275,967694	2,91	0,063138485	17,269985	17,42418	
0,7486631	1387,1551	106,222	12,207	1320,9	9,24143E-06	284,858626	2,91	0,061140052	17,9064772	17,41627	
0,7553957	1407,656	106,338	14,023	1327,4	1,05643E-05	249,189225	2,9	0,06999432	18,1711182	17,44183	
0,7622505	1141,2395	106,55	16,225	1333,9	1,21636E-05	216,424761	2,88	0,08042685	14,7320071	17,40636	
0,7678245	1291,8014	106,73	16,225	1333,9	1,21636E-05	216,424761	2,88	0,08042685	16,6755773	17,40636	
0,7741935	1267,7924	106,884	18,92	1340,6	1,41131E-05	186,529043	2,86	0,093134596	16,3656504	17,37231	
0,7806691	1229,3407	106,95	22,252	1347,2	1,65172E-05	159,379112	2,85	0,109153528	15,8692856	17,39679	
0,787254	1064,6681	107,13	21,417	1346,6	1,59045E-05	165,51919	2,85	0,105057573	13,743564	17,38904	
0,7932011	1149,6643	107,244	25,372	1353,3	1,87482E-05	140,413142	2,83	0,123584785	14,8407611	17,35293	
0,8	1103,7605	107,516	30,357	1360,1	2,23197E-05	117,945227	2,82	0,147343787	14,2481997	17,3785	
0,8069164	1073,2262	107,904	30,357	1360,1	2,23197E-05	117,945227	2,82	0,147343787	13,8540384	17,3785	
0,8139535	926,33586	108,278	35,131	1366,3	2,57125E-05	102,382077	2,81	0,169910688	11,957864	17,39581	
0,8203125	893,50629	108,688	42,893	1373,2	3,12358E-05	84,2782972	2,79	0,205974991	11,5340743	17,35922	
0,8267717	977,83035	109,242	40,954	1372,6	2,98368E-05	88,2299531	2,8	0,197368675	12,6225949	17,41383	
0,8341609	1000	109,82	50,508	1379,5	3,66133E-05	71,9001693	2,78	0,241673391	12,908778	17,37636	
0,84	1025,903	110,414	59,984	1386	4,32785E-05	60,8269705	2,77	0,285982238	13,2431542	17,39543	
0,8484848	996,20561	111,116	56,998	1385,4	4,11419E-05	63,9858504	2,77	0,271746059	12,8597971	17,3879	

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 dev/dak										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d_vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k_vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	773,181661	104,56	7,881	1296,5	6,07867E-06	413,823848	2,97	0,04035616	28,66104435	16,70033944
0,70469799	946,653161	104,655	7,881	1296,5	6,07867E-06	413,823848	2,97	0,04035616	35,09145339	16,70033944
0,7106599	842,951395	104,843333	8,858	1302,9	6,79868E-06	369,998301	2,96	0,04520634	31,24733618	16,72627078
0,71611253	832,900111	104,9525	8,858	1302,9	6,79868E-06	369,998301	2,96	0,04520634	30,87474551	16,72627078
0,72164948	909,8358	105,036	9,716	1308,6	7,42473E-06	338,800257	2,94	0,04925007	33,72667188	16,68593604
0,72790295	885,022096	105,22	9,716	1308,6	7,42473E-06	338,800257	2,94	0,04925007	32,80685356	16,68593604
0,73426573	862,639222	105,392	11,033	1315	8,39011E-06	299,817139	2,93	0,05573567	31,97714358	16,71050987
0,74074074	838,041009	105,496	12,666	1321,5	9,58456E-06	262,45328	2,91	0,06354838	31,06531327	16,67848062
0,74733096	820,009371	105,694	12,666	1321,5	9,58456E-06	262,45328	2,91	0,06354838	30,39689909	16,67848062
0,7540395	805,780962	105,892	14,502	1328	1,09202E-05	230,353331	2,89	0,07225997	29,8694667	16,64532372
0,76086957	794,532403	106,104	16,225	1333,9	1,21636E-05	206,805883	2,88	0,08056552	29,45249424	16,66142292
0,7678245	788,891706	106,456	16,225	1333,9	1,21636E-05	206,805883	2,88	0,08056552	29,24339945	16,66142292
0,77490775	704,885323	106,774	18,92	1340,6	1,41131E-05	178,238864	2,86	0,09329517	26,12936973	16,62882551
0,78139535	776,810266	107,018	21,417	1346,6	1,59045E-05	158,162782	2,85	0,10523871	28,79555296	16,64484665
0,78873239	776,357428	107,384	21,417	1346,6	1,59045E-05	158,162782	2,85	0,10523871	28,77876674	16,64484665
0,79620853	773,453508	107,724	25,372	1353,3	1,87482E-05	134,172558	2,83	0,12379786	28,67112143	16,61027587
0,80382775	697,556813	108,034	29,112	1359,5	2,14138E-05	117,471223	2,82	0,14154455	25,85770946	16,62741163
0,81081081	699,186483	108,39	35,131	1366,3	2,57125E-05	97,8317625	2,81	0,17020364	25,91811963	16,65132189
0,81791626	704,067469	108,826	35,131	1366,3	2,57125E-05	97,8317625	2,81	0,17020364	26,09905272	16,65132189
0,82514735	709,0782	109,254	40,954	1372,6	2,98368E-05	84,3086219	2,8	0,19770897	26,28479536	16,66857041
0,83250743	714,789636	109,812	50,508	1379,5	3,66133E-05	68,7046062	2,78	0,24209007	26,49651236	16,63270285
0,84	719,403563	110,362	59,984	1386	4,32785E-05	58,1235496	2,77	0,28647531	26,66754587	16,65096191
0,84762866	722,669437	110,994	59,984	1386	4,32785E-05	58,1235496	2,77	0,28647531	26,78860842	16,65096191
0,85539715	720,57807	111,694	71,889	1392,5	5,16259E-05	48,7255874	2,76	0,34209248	26,71108362	16,66865716
0,86330935	636,171187	112,416	86,99	1399	6,21801E-05	40,4550466	2,75	0,41245259	23,58220778	16,68578858
0,87046632	628,096369	113,244	106,337	1405,7	7,5647E-05	33,2531325	2,74	0,50235066	23,28288265	16,70473289
0,87774295	693,543681	114,108	100,091	1405,2	7,1229E-05	35,3156687	2,74	0,47284369	25,7089468	16,69879111
0,88607595	529,824849	115,142	123,164	1411,9	8,72328E-05	28,8366628	2,73	0,57972021	19,64005906	16,71717595
0,89266738	594,658499	116,288	153,133	1418,7	0,000107939	23,3048386	2,72	0,71814097	22,04337538	16,7361593
0,90032154	509,845066	117,522	192,367	1425,6	0,000134938	18,6419542	2,71	0,89881822	18,89942916	16,75572815

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80 dev/dak												
Cşeker	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k.vizk.(m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe		
0,7	1135,3304	104,69	7,881	1296,5	6,07867E-06	827,647697	2,97	0,040356155	42,08552302	33,40067889		
0,706476	1146,4083	104,765	7,881	1296,5	6,07867E-06	827,647697	2,97	0,040286695	42,49617072	33,34319063		
0,713073	1159,0098	104,82667	8,858	1302,9	6,79868E-06	739,9966019	2,96	0,045128537	42,96329323	33,39496403		
0,7197943	1068,5532	104,9075	8,858	1302,9	6,79868E-06	739,9966019	2,96	0,045128537	39,61016133	33,39496403		
0,7260156	1077,4537	104,992	10,012	1309,2	7,64742E-06	657,8690771	2,94	0,050663133	39,94009379	33,32970824		
0,7323452	1099,3805	105,158	11,033	1315	8,39011E-06	599,634279	2,93	0,055639742	40,75289655	33,36349647		
0,7387863	1002,6523	105,322	11,033	1315	8,39011E-06	599,634279	2,93	0,055639742	37,1672829	33,36349647		
0,7446809	1128,8144	105,582	12,606	1321,5	9,53916E-06	527,4049262	2,91	0,063138485	41,84398383	33,29954822		
0,7513417	1017,7793	105,812	14,502	1328	1,09202E-05	460,7066612	2,89	0,072135594	37,72802424	33,23334857		
0,7574391	1014,3383	106,036	14,023	1327,4	1,05643E-05	476,2282964	2,9	0,06999432	37,60047236	33,33327583		
0,7636364	1007,1634	106,318	16,225	1333,9	1,21636E-05	413,6117658	2,88	0,08042685	37,3345057	33,26549155		
0,7699358	1101,5597	106,594	16,225	1333,9	1,21636E-05	413,6117658	2,88	0,08042685	40,83367967	33,26549155		
0,7770583	971,76859	106,792	18,92	1340,6	1,41131E-05	356,4777273	2,86	0,093134596	36,02245633	33,20040894		
0,7835821	1061,7882	107,14	21,417	1346,6	1,59045E-05	316,3255638	2,85	0,105057573	39,3593885	33,23239606		
0,7909605	1045,2405	107,462	25,372	1353,3	1,87482E-05	268,3451167	2,83	0,123584785	38,74598397	33,16337351		
0,7984791	917,52436	107,714	25,372	1353,3	1,87482E-05	268,3451167	2,83	0,123584785	34,01167894	33,16337351		
0,8053691	1003,4307	108,102	29,112	1359,5	2,14138E-05	234,9424464	2,82	0,141300929	37,19613749	33,19758604		
0,8131655	787,21905	108,476	35,131	1366,3	2,57125E-05	195,6635251	2,81	0,169910688	29,18139588	33,24532426		
0,8195122	960,36008	108,814	35,131	1366,3	2,57125E-05	195,6635251	2,81	0,169910688	35,59955474	33,24532426		
0,8275862	848,46411	109,272	40,954	1372,6	2,98368E-05	168,6172437	2,8	0,197368675	31,45168691	33,27976193		
0,8349901	835,37378	109,828	50,508	1379,5	3,66133E-05	137,4092124	2,78	0,241673391	30,96644169	33,20815028		
0,8425276	800	110,344	59,984	1386	4,32785E-05	116,2470992	2,77	0,285982238	29,65517241	33,24460554		
0,8510638	810,03202	110,966	75,908	1393	5,44925E-05	92,32469568	2,75	0,359289157	30,02704891	33,17126205		
0,8588957	712,07173	111,6	71,889	1392,5	5,16259E-05	97,45117473	2,76	0,341503683	26,39576225	33,27993511		
0,8659794	700	112,358	86,99	1399	6,21801E-05	80,91009311	2,76	0,413239931	25,94827586	33,43528131		
0,8740895	698,3588	113,116	106,337	1405,7	7,5647E-05	66,50626499	2,74	0,501486024	25,88743828	33,35196241		
0,8814271	692,57664	114,024	131,374	1412,4	9,30147E-05	54,08820923	2,73	0,617299518	25,67309949	33,38862549		
0,8888889	598,78945	114,972	131,374	1412,4	9,30147E-05	54,08820923	2,73	0,617299518	22,19650551	33,38862549		
0,8955224	600	116,018	153,133	1418,7	0,000107939	46,60967721	2,72	0,716904923	22,24137931	33,41470703		
0,9041981	505,30358	117,088	192,367	1425,6	0,000134938	37,28390836	2,71	0,897271205	18,73108115	33,45377738		

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak												
Çşeker	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk. (m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe		
0,7	1466,3309	103,63	8,105	1297,2	6,24807E-06	1207,81244	2,97	0,04150319	54,3553699	50,12807		
0,7082631	1496,9056	103,695	8,105	1297,2	6,24807E-06	1207,81244	2,97	0,04150319	55,4887438	50,12807		
0,7167235	1313,9626	103,74	9,12	1303,5	6,99655E-06	1078,60337	2,95	0,046386207	48,7072328	50,03232		
0,7241379	1347,1285	103,7525	10,32	1309,9	7,87846E-06	957,864375	2,93	0,052133793	49,9366601	49,9371		
0,7317073	1377,2382	103,732	11,747	1316,3	8,92426E-06	845,616579	2,92	0,059140069	51,0527941	50,00982		
0,7394366	1442,1472	103,626	11,747	1316,3	8,92426E-06	845,616579	2,92	0,059140069	53,4589037	50,00982		
0,747331	1500,2669	103,332	13,459	1322,7	1,01754E-05	741,641693	2,9	0,067295	55,6133412	49,90878		
0,7553957	1412,3727	102,886	16,075	1329,8	1,20883E-05	624,282159	2,87	0,079543534	52,3551936	49,65761		
0,7629428	1434,6496	102,276	18,716	1336,4	1,40048E-05	538,851389	2,86	0,092289241	53,1809769	49,73019		
0,7706422	1428,4923	101,514	22,833	1343,6	1,69939E-05	444,071186	2,83	0,111409293	52,9527324	49,47366		
0,7784986	1262,2088	100,72	23,736	1344,2	1,76581E-05	427,367935	2,83	0,11581531	46,7887738	49,49575		
0,7857811	1096,1912	100,002	28,227	1350,8	2,08965E-05	361,136933	2,81	0,136754948	40,6346744	49,38726		
0,7924528	1055,4447	99,566	35,41	1358,1	2,60732E-05	289,435234	2,79	0,17033431	39,1242425	49,30075		
0,7992388	1007,1632	99,418	35,41	1358,1	2,60732E-05	289,435234	2,79	0,17033431	37,3344994	49,30075		
0,806142	964,49333	99,594	43,121	1364,8	3,15951E-05	238,850286	2,77	0,205939948	35,7527701	49,18882		
0,8131655	731,07828	100,176	50,682	1371	3,69672E-05	204,140553	2,76	0,241176414	27,1003155	49,23389		
0,8187135	915,0877	101,108	48,332	1370,4	3,52685E-05	213,972598	2,76	0,229993655	33,9213544	49,21234		
0,8259587	786,91275	102,048	57,186	1376,6	4,15415E-05	181,661804	2,75	0,271140517	29,1700417	49,25588		
0,8325074	777,60487	103,262	68,295	1382,9	4,93853E-05	152,808476	2,74	0,322635	28,8250081	49,30136		
0,8391608	673,5389	104,614	64,862	1382,3	4,69232E-05	160,826477	2,75	0,307535345	24,9673902	49,45983		
0,8450704	700	106,002	73,958	1388,1	5,328E-05	141,638452	2,74	0,349387793	25,9482759	49,48675		
0,8510638	863,71367	107,536	89,66	1394,6	6,42908E-05	117,380648	2,73	0,422020345	32,0169721	49,53702		
0,8588957	683,76225	109,16	80,196	1393,5	5,75501E-05	131,12933	2,73	0,377474276	25,3463594	49,49795		
0,8650875	880,04638	110,526	97,661	1400	6,97579E-05	108,181362	2,73	0,459680224	32,6224089	49,72883		
0,8731809	884,42571	111,762	120,24	1406,6	8,54827E-05	88,2809955	2,72	0,563884138	32,7847461	49,78025		
0,8814271	698,11422	112,98	149,757	1413,3	0,000105963	71,218497	2,71	0,699726672	25,8783721	49,83348		
0,8879493	896,042	114,03	131,374	1412,4	9,30147E-05	81,1323139	2,73	0,618363828	33,2153501	50,16929		
0,8964781	789,0052	114,996	175,94	1419,6	0,000123936	60,890141	2,71	0,822064483	29,2476065	50,05562		
0,9041981	706,87327	116,156	207,204	1426	0,000145304	51,9358169	2,71	0,968142828	26,2030607	50,28129		
0,9110629	700	117,182	264,438	1433	0,000184535	40,8947825	2,7	1,231004483	25,9482759	50,34166		

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 devir										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1165,39553	103,45	8,105	1297,2	6,24807E-06	140,443307	2,97	0,04143176	15,0438321	5,818812754
0,71126164	989,808847	103,695	9,12	1303,5	6,99655E-06	125,418997	2,95	0,04630637	12,77722264	5,807698257
0,72103004	944,968024	103,79	10,32	1309,9	7,87846E-06	111,379578	2,93	0,05204406	12,19838241	5,796645684
0,73043478	782,305817	103,865	11,747	1316,3	8,92426E-06	98,3275092	2,92	0,05903828	10,09861209	5,805086902
0,73813708	745,683931	104,03	11,383	1315,6	8,65233E-06	101,417816	2,92	0,05720888	9,6258683	5,801999793
0,74534161	721,258831	104,29	13,023	1322,1	9,85024E-06	89,0841396	2,9	0,06500293	9,310570109	5,790729733
0,75201432	696,592507	104,478	15,003	1328,6	1,12923E-05	77,7075585	2,89	0,07462766	8,992158005	5,799133193
0,75812274	749,598966	104,698	15,003	1328,6	1,12923E-05	77,7075585	2,89	0,07462766	9,676406621	5,799133193
0,76433121	794,63864	105,03	16,806	1334,6	1,25925E-05	69,6841307	2,87	0,08301759	10,25781376	5,785008614
0,7706422	822,938069	105,258	19,63	1341,2	1,46361E-05	59,9543046	2,86	0,0966296	10,62312481	5,793360723
0,77705828	842,602808	105,5	19,63	1341,2	1,46361E-05	59,9543046	2,86	0,0966296	10,87697257	5,793360723
0,78358209	851,484898	105,868	23,128	1347,8	1,71598E-05	51,136912	2,84	0,11305253	10,99162949	5,781157281
0,79021637	843,872426	106,19	26,413	1353,9	1,95088E-05	44,9796407	2,83	0,1286554	10,89336178	5,786873868
0,79696395	920,801684	106,406	26,413	1353,3	1,95175E-05	44,9597073	2,83	0,1286554	11,88642449	5,784309333
0,8045977	893,987342	106,644	31,67	1360,7	2,32748E-05	37,7017446	2,81	0,1531716	11,5402841	5,774836562
0,81237911	870,936099	106,972	38,395	1367,5	2,80768E-05	31,2535812	2,79	0,1843753	11,24272072	5,762388447
0,8203125	852,615694	107,192	44,944	1373,7	3,27175E-05	26,8205267	2,78	0,21505046	11,00622669	5,767766721
0,82840237	758,348416	107,54	44,944	1373,7	3,27175E-05	26,8205267	2,78	0,21505046	9,789351329	5,767766721
0,8358209	832,216065	107,904	55,738	1380,6	4,03723E-05	21,7351986	2,77	0,26573883	10,7428924	5,775886239
0,84422111	835,801915	108,38	66,535	1387	4,79704E-05	18,2925152	2,75	0,3149247	10,78918135	5,760764845
0,85279188	843,691405	108,916	84,772	1394	6,08121E-05	14,4297056	2,74	0,39978534	10,89102502	5,768784682
0,86153846	812,864219	109,44	103,568	1400,5	7,39507E-05	11,8660083	2,73	0,48664482	10,49308372	5,774531476
0,87046632	812,768006	109,986	136,295	1407,6	9,68279E-05	9,06246744	2,71	0,63573055	10,49184172	5,761287418
0,87958115	744,449398	110,77	127,976	1407,1	9,09502E-05	9,6481391	2,72	0,59913033	9,60993199	5,780492737
0,88794926	750,472462	111,556	160,08	1413,8	0,000113227	7,74993441	2,71	0,74667263	9,687682386	5,786663933
0,89647812	500,810738	112,318	202,697	1420,5	0,000142694	6,14951751	2,7	0,9419654	6,464854618	5,792632745
0,90225564	357,923233	113,234	260,076	1427,3	0,000182215	4,81572983	2,69	1,20413845	4,620351546	5,798805452
0,90614887	284,844906	114,288	240,923	1426,9	0,000168844	5,19711588	2,69	1,11546105	3,676999641	5,79718034
0,90909091	250	115,096	223,347	1426,5	0,00015657	5,60452457	2,7	1,03792926	3,227194492	5,817100043
0,91007584	235,336651	115,986	311,259	1433,8	0,000217087	4,04216264	2,68	1,4357558	3,037908575	5,803558451

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80_devir										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1418,601	103,69	8,105	1297,2	6,24807E-06	280,8866132	2,97	0,041431756	18,31240506	11,63762551
0,7094595	1176,5796	103,77	8,105	1297,2	6,24807E-06	280,8866132	2,97	0,041431756	15,18820516	11,63762551
0,7173356	1120,9449	103,86333	9,12	1303,5	6,99655E-06	250,8379934	2,95	0,046306368	14,47002927	11,61539651
0,7247627	1158,4784	104,0375	10,012	1309,2	7,64742E-06	229,4892129	2,94	0,050663133	14,95454046	11,62664241
0,7323452	999,50158	104,154	11,383	1315,6	8,65233E-06	202,8356321	2,92	0,057208881	12,90234403	11,60399959
0,7387863	1068,181	104,358	11,383	1315,6	8,65233E-06	202,8356321	2,92	0,057208881	13,78891076	11,60399959
0,7453416	1138,6249	104,564	13,023	1322,1	9,85024E-06	178,1682792	2,9	0,065002926	14,69825627	11,58145947
0,7520143	1080,9986	104,758	15,003	1328,6	1,12923E-05	155,415117	2,89	0,074627659	13,95437074	11,59826639
0,7581227	1127,967	104,886	15,003	1328,6	1,12923E-05	155,415117	2,89	0,074627659	14,5606757	11,59826639
0,7643312	1150,9647	105,044	16,806	1334,6	1,25925E-05	139,3682613	2,87	0,08301759	14,85754771	11,57001723
0,7706422	1156,0267	105,228	19,63	1341,2	1,46361E-05	119,9086093	2,86	0,096629604	14,92289152	11,58672145
0,7770583	1166,9329	105,542	19,63	1341,2	1,46361E-05	119,9086093	2,86	0,096629604	15,06367781	11,58672145
0,7835821	1159,3638	105,828	23,128	1347,8	1,71598E-05	102,2738239	2,84	0,11305253	14,96596971	11,56231456
0,7902164	1249,5538	106,1	26,413	1353,9	1,95088E-05	89,95928141	2,83	0,128655404	16,13021219	11,57374774
0,7977208	1092,5673	106,362	26,413	1353,9	1,95088E-05	89,95928141	2,83	0,128655404	14,10370874	11,57374774
0,8045977	1188,1851	106,728	31,67	1360,7	2,32748E-05	75,40348911	2,81	0,153171601	15,33801716	11,54967312
0,8123791	1024,2004	106,936	38,395	1367,5	2,80768E-05	62,50716239	2,79	0,184375301	13,22117607	11,52477689
0,8195122	1103,385	107,182	36,719	1366,9	2,6863E-05	65,33155859	2,8	0,176959036	14,24335219	11,56100964
0,8275862	1082,7809	107,522	44,944	1373,7	3,27175E-05	53,64105331	2,78	0,215050465	13,97737879	11,53553344
0,8358209	1063,3661	107,868	55,738	1380,6	4,03723E-05	43,47039722	2,77	0,26573883	13,72675653	11,55177248
0,8442211	940,59378	108,182	66,535	1387	4,79704E-05	36,58503044	2,75	0,314924699	12,14191629	11,52152969
0,851927	1033,2407	108,64	84,772	1394	6,08121E-05	28,85941113	2,74	0,399785336	13,33787531	11,53756936
0,8606557	918,58742	109,078	103,568	1400,5	7,39507E-05	23,73201665	2,73	0,486644819	11,85784107	11,54906295
0,868666	909,94448	109,548	103,568	1400,5	7,39507E-05	23,73201665	2,73	0,486644819	11,74627127	11,54906295
0,8768267	901,01865	110,126	127,976	1407,1	9,09502E-05	19,29627821	2,72	0,599130327	11,63104968	11,56098547
0,8851423	991,52059	110,768	171,159	1414,3	0,00012102	14,50170017	2,7	0,79540327	12,79931918	11,53469974
0,8945687	396,77787	111,416	217,794	1421	0,000153268	11,45052205	2,69	1,008374974	5,121917463	11,54641988
0,8983957	607,66204	112,182	202,697	1420,5	0,000142694	12,29903501	2,7	0,941965404	7,844174349	11,58526549
0,9041981	215,43296	113,056	260,076	1427,3	0,000182215	9,63145965	2,69	1,204138451	2,780976259	11,5976109
0,9061489	360,49006	113,814	260,076	1427,3	0,000182215	9,63145965	2,69	1,204138451	4,653486092	11,5976109

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 devir											
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d_vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k_vizk. (m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1555,7332	103,56	8,105	1297,2	6,24807E-06	421,32992	2,97	0,041431756	20,082614	17,45644	
0,7076664	1669,0021	103,55	8,105	1297,2	6,24807E-06	421,32992	2,97	0,041431756	21,544778	17,45644	
0,7161125	1451,5295	103,56	9,12	1303,5	6,99655E-06	376,25699	2,95	0,046306368	18,737472	17,42309	
0,7235142	1610,0358	103,5875	10,32	1309,9	7,87846E-06	334,138735	2,93	0,052044062	20,7835952	17,38994	
0,7317073	1401,1388	103,626	11,747	1316,3	8,92426E-06	294,982527	2,92	0,059038279	18,0869895	17,41526	
0,7387863	1327,6115	103,702	11,747	1316,3	8,92426E-06	294,982527	2,92	0,059038279	17,1378418	17,41526	
0,7453416	1542,8907	103,796	13,459	1322,7	1,01754E-05	258,712219	2,9	0,067179174	19,9168333	17,38007	
0,7526882	1466,3637	103,876	15,527	1329,2	1,16815E-05	225,357055	2,88	0,076966885	18,9289638	17,34503	
0,7594937	1665,1839	103,916	15,527	1329,2	1,16815E-05	225,357055	2,88	0,076966885	21,4954888	17,34503	
0,7671233	1373,9804	103,9	18,05	1335,8	1,35125E-05	194,819584	2,86	0,088851979	17,7364082	17,31011	
0,7734807	1540,72	103,812	21,155	1342,4	1,57591E-05	167,046467	2,85	0,103772375	19,8888125	17,33481	
0,7806691	1529,3893	103,682	25,016	1349	1,85441E-05	141,958846	2,83	0,12185074	19,7425473	17,29779	
0,7879925	1348,8949	103,532	25,016	1349	1,85441E-05	141,958846	2,83	0,12185074	17,4125853	17,29779	
0,794702	1612,8456	103,4	29,871	1355,7	2,20336E-05	119,476424	2,81	0,144470757	20,8198656	17,26085	
0,8030593	1277,8072	103,302	36,05	1362,4	2,64607E-05	99,4873232	2,79	0,173114458	16,49493	17,22269	
0,8100289	1362,5897	103,248	44,018	1369,2	3,21487E-05	81,8851152	2,78	0,21061969	17,5893677	17,24662	
0,8179163	1178,3468	103,228	44,018	1369,2	3,21487E-05	81,8851152	2,78	0,21061969	15,2110178	17,24662	
0,8251473	1258,9582	103,256	54,442	1376	3,95654E-05	66,5353955	2,76	0,258622926	16,2516114	17,20758	
0,8333333	1212,6801	103,308	68,295	1382,9	4,93853E-05	53,3052822	2,74	0,32207969	15,6542185	17,16855	
0,8416834	1057,468	103,392	87,027	1389,8	6,26184E-05	42,040384	2,72	0,407424165	13,6506199	17,12827	
0,8493428	1023,7632	103,626	87,027	1389,8	6,26184E-05	42,040384	2,72	0,407424165	13,2155321	17,12827	
0,8571429	886,83566	103,996	112,848	1396,8	8,07904E-05	32,58432358	2,71	0,526365026	11,4479647	17,15125	
0,8641975	754,82674	104,506	140,175	1403,2	9,98967E-05	26,3522311	2,7	0,651415663	9,74389076	17,16626	
0,8704663	946,78636	105,292	176,471	1409,7	0,000125183	21,0291507	2,68	0,814014251	12,2218549	17,11803	
0,8786611	834,60161	106,508	165,271	1409,2	0,00011728	22,4462791	2,69	0,765196196	10,7736869	17,17581	
0,8860759	1042,7633	107,862	210,191	1415,8	0,000148461	17,7319367	2,68	0,969555731	13,4607997	17,1921	
0,8955224	941,42295	109,2	251,987	1422	0,000177206	14,8555878	2,68	1,162349673	12,1526198	17,26739	
0,9041981	646,15742	110,532	328,661	1428,7	0,000230042	11,4435627	2,67	1,510369828	8,34110264	17,28401	
0,9100758	346,64547	111,682	435,438	1435,5	0,000303335	8,67851164	2,66	1,993571566	4,47476937	17,30123	
0,9130435	383,89035	112,378	399,886	1435,1	0,000278647	9,4474444	2,66	1,830803373	4,95555525	17,29641	

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 dev/dak										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d_vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k_vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1261,67475	105,906	7,665	1295,9	5,91481E-06	425,288513	2,98	0,03938224	46,76897781	16,74881486
0,71005917	964,810103	105,906	8,607	1302,2	6,60958E-06	380,583723	2,96	0,04392538	35,76451244	16,71728437
0,71794872	964,810103	105,906	8,607	1302,2	6,60958E-06	380,583723	2,96	0,04392538	35,76451244	16,71728437
0,72601556	928,15711	106,144	9,432	1308	7,21101E-06	348,841603	2,95	0,04797931	34,40582389	16,73501431
0,73362445	888,506692	106,168	10,697	1314,4	8,13831E-06	309,093503	2,93	0,05403829	32,93602393	16,7028853
0,74074074	849,043716	106,5	12,207	1320,9	9,24143E-06	272,198243	2,91	0,06124547	31,47317223	16,67090809
0,74733096	885,41172	106,742	12,207	1320,9	9,24143E-06	272,198243	2,91	0,06124547	32,82129652	16,67090809
0,7540395	812,693723	106,892	14,023	1327,4	1,05643E-05	238,114148	2,9	0,070115	30,12571561	16,6953735
0,760181	813,323963	107,068	15,67	1333,4	1,17519E-05	214,050268	2,89	0,07807983	30,14907793	16,71300802
0,76642336	810,338999	107,372	15,67	1333,4	1,17519E-05	214,050268	2,89	0,07807983	30,03842843	16,71300802
0,77276909	789,35098	107,548	18,243	1340	1,36142E-05	184,770597	2,87	0,0902714	29,26042425	16,67949983
0,77922078	770,056056	107,896	18,243	1340	1,36142E-05	184,770597	2,87	0,0902714	28,54518138	16,67949983
0,7857811	836,928839	108,23	20,621	1346	1,53202E-05	164,194898	2,86	0,10168286	31,02408627	16,69580721
0,79320113	824,175013	108,654	24,382	1352,8	1,80234E-05	139,568879	2,84	0,11938772	30,55131512	16,66281079
0,80076263	730,173617	109,076	27,93	1359	2,05519E-05	122,397583	2,83	0,13627914	27,06678064	16,68023713
0,80769231	808,945214	109,618	27,93	1359	2,05519E-05	122,397583	2,83	0,13627914	29,98676224	16,68023713
0,81553398	808,733891	110,112	32,202	1365,2	2,35878E-05	106,644326	2,82	0,15656834	29,9789287	16,69712568
0,82352941	809,552899	110,742	39,121	1372,1	2,85118E-05	88,2267209	2,8	0,18886	30,00928849	16,66249852
0,83168317	729,743904	111,358	45,857	1378,5	3,32659E-05	75,6180463	2,79	0,22058798	27,0508516	16,6804323
0,83916084	815,367242	112,032	43,727	1378	3,17322E-05	79,2727377	2,8	0,21109586	30,22482016	16,7341469
0,84762866	822,959274	112,808	54,189	1384,9	3,91285E-05	64,2882495	2,78	0,25973348	30,50624897	16,69781093
0,85626911	662,248888	113,606	64,581	1391,5	4,64111E-05	54,2004343	2,77	0,30842995	24,5488812	16,71703716
0,86330935	751,015526	114,404	77,66	1398,1	5,55468E-05	45,2861261	2,76	0,36955448	27,83936865	16,73569089
0,87136929	757,796827	115,408	94,267	1404,7	6,71083E-05	37,4841975	2,75	0,44695556	28,09074443	16,75377213
0,87958115	753,19902	116,382	88,833	1404,3	6,32579E-05	39,7658151	2,76	0,42272255	27,9203085	16,80990682
0,88794926	678,07841	117,408	108,452	1411,4	7,684E-05	32,7368486	2,75	0,51421207	25,13566519	16,83368263
0,89552239	705,664237	118,444	133,638	1417,9	9,42507E-05	26,6894704	2,74	0,63132434	26,15824328	16,84971244
0,90322581	470,291116	119,386	166,156	1424,8	0,000116617	21,5705987	2,73	0,7820791	17,43320517	16,8699145
0,90810811	413,894215	120,166	154,583	1424,5	0,000108517	23,1806198	2,73	0,72760619	15,34263037	16,86636244
0,91205212	333,920437	120,61	208,277	1431,9	0,000145455	17,2940097	2,72	0,97674731	12,37808518	16,89187742

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80 dev/dak										
Çşeker	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1146,8209	105,846	7,665	1295,9	5,91481E-06	850,5770254	2,98	0,039382241	42,51146542	33,49762973
0,7070707	1433,5262	105,846	7,665	1295,9	5,91481E-06	850,5770254	2,98	0,039382241	53,13933178	33,49762973
0,7161125	1433,5262	105,846	8,607	1302,2	6,60958E-06	761,1674451	2,96	0,043925379	53,13933178	33,43456874
0,7253886	1390,1162	105,996	9,716	1308,6	7,42473E-06	677,6005146	2,94	0,049250069	51,53016813	33,37187208
0,7349081	1210,4156	106,19	10,697	1314,4	8,13831E-06	618,1870057	2,93	0,054038293	44,86885516	33,40577061
0,7433628	1260,4524	106,53	12,207	1320,9	9,24143E-06	544,3964856	2,91	0,061245466	46,72366722	33,34181619
0,7520143	1112,2289	106,72	14,023	1327,4	1,05643E-05	476,2282964	2,9	0,070115	41,2291729	33,390747
0,7594937	1060,8216	106,944	14,023	1327,4	1,05643E-05	476,2282964	2,9	0,070115	39,32355838	33,390747
0,7664234	1105,8719	107,3	15,067	1333,4	1,12997E-05	445,2336497	2,89	0,075075224	40,99352681	33,42601604
0,7734807	1018,8146	107,63	18,243	1340	1,36142E-05	369,5411939	2,87	0,090271397	37,76640289	33,35899966
0,7799443	1107,6414	107,948	18,243	1340	1,36142E-05	369,5411939	2,87	0,090271397	41,05911965	33,35899966
0,787254	884,5347	108,278	20,621	1346	1,53202E-05	328,3897968	2,86	0,101682862	32,78878611	33,39161441
0,7932011	985,42918	108,714	24,382	1352,8	1,80234E-05	279,1377574	2,84	0,119387724	36,52884018	33,32562157
0,8	1078,9148	109,022	27,93	1359	2,05519E-05	244,7951665	2,83	0,136279138	39,99425554	33,36047426
0,8076923	954,19564	109,458	27,93	1359	2,05519E-05	244,7951665	2,83	0,136279138	35,37104545	33,36047426
0,814743	956,26931	109,778	33,627	1365,8	2,46207E-05	204,339959	2,81	0,162917017	35,44791391	33,29045662
0,8219178	937,39486	110,206	39,121	1372,1	2,85118E-05	176,4534419	2,8	0,18886	34,74825788	33,32499703
0,8292201	1012,7365	110,62	39,121	1372,1	2,85118E-05	176,4534419	2,8	0,18886	37,54109572	33,32499703
0,8374875	894,7594	111,078	45,857	1378,5	3,32659E-05	151,2360926	2,79	0,220587983	33,1678055	33,36086459
0,8450704	879,01866	111,566	56,998	1385,4	4,11419E-05	122,2840696	2,77	0,272214586	32,58431229	33,28750741
0,8527919	870	112,176	68,119	1392	4,89361E-05	102,8076161	2,76	0,324152483	32,25	33,325344
0,8615385	860,39665	112,918	86,99	1399	6,21801E-05	80,91009311	2,75	0,412452586	31,89401387	33,37157716
0,8695652	800	113,676	82,17	1398,5	5,87558E-05	85,62557503	2,75	0,389599138	29,65517241	33,35965022
0,8786611	746,50497	114,59	100,091	1405,2	7,1229E-05	70,63133748	2,74	0,47284369	27,67216695	33,39758222
0,8860759	750	115,6	123,164	1411,9	8,72328E-05	57,67325598	2,73	0,579720207	27,80172414	33,43435189
0,8945687	740	116,666	153,133	1417,8	0,000108007	46,58010879	2,72	0,718140966	27,43103448	33,4510843
0,9022556	730,6063	117,594	192,367	1425,6	0,000134938	37,28390836	2,71	0,898818224	27,08281979	33,5114563
0,9090909	701,35977	118,402	178,719	1425,2	0,000125399	40,11985967	2,72	0,838130483	25,99868099	33,62567735
0,9150327	556,00948	119,142	225,358	1432,2	0,000157351	31,97311921	2,71	1,052965828	20,61069632	33,66660193
0,9190372	624,01472	119,4725	225,358	1432,2	0,000157351	31,97311921	2,71	1,052965828	23,13158004	33,66660193

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1724,5086	104,14	7,881	1296,5	6,07867E-06	1241,47155	2,97	0,040356155	63,9257498	50,10102
0,7088608	1839,4758	104,14	7,881	1296,5	6,07867E-06	1241,47155	2,97	0,040356155	68,1874665	50,10102
0,7185629	1609,5414	104,14	8,858	1302,9	6,79868E-06	1109,9949	2,96	0,045206345	59,6640332	50,17881
0,7272727	1722,3172	103,986	10,32	1309,9	7,87846E-06	957,864375	2,93	0,052133793	63,8445156	49,9371
0,7361963	1574,3726	103,654	11,747	1316,3	8,92426E-06	845,616579	2,92	0,059140069	58,3603649	50,00982
0,7440213	1776,2749	102,946	13,913	1323,3	1,05139E-05	717,766366	2,89	0,069325121	65,8446713	49,75924
0,7526882	1705,4545	102,28	16,075	1329,8	1,20883E-05	624,282159	2,87	0,079543534	63,2194357	49,65761
0,7608696	1439,5335	101,508	19,415	1337	1,45213E-05	519,68429	2,85	0,09899819	59,0651434	49,57855
0,7678245	1593,3853	100,934	20,147	1337,6	1,50621E-05	501,027369	2,85	0,11581531	53,178808	49,49575
0,7756233	1434,5911	100,508	23,736	1344,2	1,76581E-05	427,367935	2,83	0,136754948	51,3269599	49,38726
0,7828518	1384,6343	100,08	28,227	1350,8	2,08965E-05	361,136933	2,81	0,17033431	48,8862474	49,30075
0,7902164	1318,7918	99,782	35,41	1358,1	2,60732E-05	289,435234	2,79	0,17033431	41,4126026	49,30075
0,7977208	1117,1772	99,632	35,41	1358,1	2,60732E-05	289,435234	2,79	0,17033431	41,4126026	49,30075
0,8045977	1170,5262	99,756	43,121	1364,8	3,15951E-05	238,850286	2,77	0,205939948	43,3901964	49,18882
0,8123791	990,2282	99,99	53,173	1371,6	3,87671E-05	194,662317	2,75	0,252113362	36,7067351	49,07697
0,8195122	947,39939	100,738	50,682	1371	3,69672E-05	204,140553	2,76	0,241176414	35,1191155	49,23389
0,8267717	720,11406	101,924	60,098	1377,2	4,36378E-05	172,93487	2,75	0,284947414	26,6938833	49,27734
0,8325074	810,30631	103,34	68,295	1382,9	4,93853E-05	152,808476	2,74	0,322635	30,0372165	49,30136
0,8391608	796,57646	104,748	64,862	1382,9	4,69029E-05	160,896285	2,75	0,307535345	29,5282654	49,48129
0,8459215	803,37099	106,47	73,958	1388,1	5,328E-05	141,638452	2,74	0,349387793	29,7801315	49,48675
0,8527919	716,13925	108,198	84,772	1394	6,08121E-05	124,095468	2,74	0,400474621	26,5465412	49,69709
0,8588957	722,84301	109,652	80,196	1393,5	5,75501E-05	131,12933	2,74	0,378856966	26,7950425	49,67926
0,8650875	734,24544	110,972	97,661	1400	6,97579E-05	108,181362	2,73	0,459680224	27,2177189	49,72883
0,8713693	749,74955	112,258	113,041	1406,2	8,03876E-05	93,8764546	2,73	0,532072293	27,7924401	49,94906
0,8777429	972,50438	113,25	106,337	1405,7	7,5647E-05	99,7593975	2,74	0,502350655	36,0497313	50,1142
0,8860759	1094,7616	114,092	131,374	1412,4	9,30147E-05	81,1323139	2,73	0,618363828	40,5816788	50,16929
0,8955224	1017,3849	114,764	175,94	1419,6	0,000123936	60,890141	2,71	0,822064483	37,7134064	50,05562
0,9041981	953,97994	115,174	223,347	1426,5	0,00015657	48,1989113	2,7	1,039718793	35,3630495	50,11331
0,9120521	764,77084	115,072	311,259	1433,8	0,000217087	34,7625987	2,6	1,395298966	28,3492641	48,50422
0,9180328	533,14086	115,095	311,259	1433,8	0,000217087	34,7625987	2,6	1,395298966	19,7629803	48,50422

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40_devir										
Çşeker	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d. vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k. vizk. (m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	994,481733	104,766	7,881	1296,5	6,07867E-06	144,357156	2,97	0,0402867	12,83754389	5,815672784
0,70766639	917,983138	104,766	7,881	1296,5	6,07867E-06	144,357156	2,97	0,0402867	11,85004051	5,815672784
0,71489362	800	104,766	8,858	1302,9	6,79868E-06	129,069175	2,96	0,04512854	10,32702238	5,824703029
0,72727273	735,056366	104,974	10,012	1309,2	7,64742E-06	114,744606	2,94	0,05066313	9,488679428	5,813321205
0,73298429	767,730011	105,208	11,033	1315	8,39011E-06	104,587374	2,93	0,05563974	9,10456252	5,819214501
0,73878628	780,62645	105,35	11,033	1315	8,39011E-06	104,587374	2,93	0,05563974	10,07693352	5,819214501
0,74468085	687,979854	105,592	12,606	1321,5	9,53916E-06	91,9892313	2,91	0,06313849	8,88097918	5,808060736
0,75	761,62738	105,82	14,502	1328	1,09202E-05	80,355813	2,89	0,07213559	9,831678742	5,796514286
0,75607561	826,324953	106,028	14,023	1327,4	1,05643E-05	83,0630749	2,9	0,06999432	10,66684535	5,81394346
0,76294278	728,094124	106,244	16,225	1333,9	1,21636E-05	72,1415871	2,88	0,08042685	9,398805384	5,80212062
0,76923077	874,232737	106,54	16,225	1333,9	1,21636E-05	72,1415871	2,88	0,08042685	11,28527629	5,80212062
0,77705828	699,070988	106,756	18,92	1340,6	1,41131E-05	62,1763478	2,86	0,0931346	9,024152171	5,790769002
0,78358209	771,219391	107,084	21,417	1346,6	1,59045E-05	55,1730635	2,85	0,10505757	9,955499886	5,79634815
0,79096045	766,589919	107,418	25,372	1353,3	1,87482E-05	46,8043808	2,83	0,12358478	9,895739052	5,784309333
0,79847909	688,1056	107,844	25,372	1353,3	1,87482E-05	46,8043808	2,83	0,12358478	8,882602413	5,784309333
0,80536913	764,18527	108,192	29,112	1359,5	2,14138E-05	40,9783337	2,82	0,14130093	9,864697981	5,790276635
0,81316554	767,384607	108,684	35,131	1366,3	2,57125E-05	34,127359	2,81	0,16991069	9,905997508	5,798603068
0,82111437	768,907447	109,172	40,954	1372,6	2,98368E-05	29,4099844	2,8	0,19736867	9,925655515	5,804609639
0,82922014	695,577099	109,766	40,954	1372,6	2,98368E-05	29,4099844	2,8	0,19736867	8,979050333	5,804609639
0,83665339	694,536768	110,37	48,115	1379	3,48912E-05	25,1495895	2,78	0,23022324	8,965620926	5,79001988
0,84422111	695,112813	111,058	56,998	1385,4	4,11419E-05	21,3286168	2,77	0,27174606	8,97305697	5,795967547
0,85192698	692,168825	111,724	71,889	1392,5	5,16259E-05	16,9972979	2,76	0,34150368	8,935053675	5,804639845
0,85977482	687,829924	112,492	68,119	1392	4,89361E-05	17,9315609	2,76	0,32359456	8,879043771	5,802555594
0,8677686	680,959778	113,256	82,17	1398,5	5,87558E-05	14,9346933	2,75	0,38892857	8,790358575	5,808528937
0,87591241	596,686569	114,112	100,91	1405,7	7,17863E-05	12,2237811	2,74	0,47589225	7,702494433	5,817202745
0,88328076	586,942127	115,13	123,164	1411,9	8,72328E-05	10,0592888	2,75	0,58296213	7,576705596	5,864184488
0,89077413	584,019422	116,276	153,133	1418,7	0,000107939	8,12959486	2,72	0,71690492	7,538977043	5,828146575
0,89839572	522,955873	117,464	143,007	1418,3	0,000100083	8,70277854	2,73	0,6719606	6,75072125	5,847924307
0,90517241	392,726858	118,688	178,719	1425,2	0,000125399	6,99764994	2,72	0,83668792	5,069623815	5,854849157
0,91007584	242,019759	119,35	225,358	1432,2	0,000157351	5,57670684	2,71	1,05115349	3,124179327	5,86197488

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80_devir										
Çşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d_vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k_vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1342,6635	105,278	7,665	1295,9	5,91481E-06	296,7129159	2,98	0,039314458	17,3321455	11,66510742
0,7088608	1253,1526	105,278	7,665	1295,3	5,91755E-06	296,5755382	2,98	0,039314458	16,17666913	11,65970649
0,7173356	1253,1526	105,278	8,607	1302,2	6,60958E-06	265,5235274	2,96	0,043849776	16,17666913	11,64314726
0,7260156	1028,2473	105,464	9,716	1308,6	7,42473E-06	236,3722725	2,94	0,049165301	13,2734163	11,62131398
0,7329843	1081,1397	105,666	11,033	1315	8,39011E-06	209,1747485	2,93	0,055639742	13,9561918	11,638429
0,7400881	1033,5696	105,878	12,606	1321,5	9,53916E-06	183,9784626	2,91	0,063138485	13,34211992	11,61612147
0,7466667	962,39546	106,182	12,207	1320	9,24773E-06	189,7763578	2,91	0,061140052	12,42334936	11,60293632
0,7526882	1084,3595	106,364	14,023	1327,4	1,05643E-05	166,1261499	2,9	0,06999432	13,99775616	11,62788692
0,7594937	982,00492	106,572	14,023	1327,4	1,05643E-05	166,1261499	2,9	0,06999432	12,67648342	11,62788692
0,7657247	971,99374	106,796	16,225	1333,9	1,21636E-05	144,2831741	2,88	0,08042685	12,54725143	11,60424124
0,7720588	955,28293	107,034	18,243	1340	1,36142E-05	128,9097188	2,87	0,090116024	12,33153528	11,61683133
0,7784986	1044,7719	107,294	18,243	1340	1,36142E-05	128,9097188	2,87	0,090116024	13,48672897	11,61683133
0,7857811	915,11958	107,566	21,417	1346,6	1,59045E-05	110,3461269	2,85	0,105057573	11,81307548	11,5926963
0,7924528	990,30348	107,956	25,372	1353,3	1,87482E-05	93,60876163	2,83	0,123584785	12,78360777	11,56861867
0,8	969,27268	108,328	29,112	1359,5	2,14138E-05	81,95666735	2,82	0,141300929	12,51212578	11,58055327
0,8076923	950,93227	108,782	29,112	1359,5	2,14138E-05	81,95666735	2,82	0,141300929	12,27537353	11,58055327
0,815534	929,54485	109,252	33,627	1365,8	2,46207E-05	71,28138103	2,81	0,162636609	11,99928806	11,59296212
0,8235294	918,28159	109,732	40,954	1372,6	2,98368E-05	58,81996875	2,8	0,197368675	11,85389316	11,60921928
0,8316832	820,20901	110,318	48,115	1379	3,48912E-05	50,29917905	2,78	0,230223236	10,58789597	11,58003976
0,8391608	725,0228	111,008	45,857	1378,5	3,32659E-05	52,7567765	2,79	0,220208313	9,359158288	11,61748077
0,8459215	902,92665	111,716	56,998	1385,4	4,11419E-05	42,65723359	2,77	0,271746059	11,65567971	11,59193509
0,854527	810,26525	112,396	68,119	1392	4,89361E-05	35,86312189	2,76	0,323594561	10,45953427	11,60511119
0,862423	799,75996	113,19	82,17	1398,5	5,87558E-05	29,86938664	2,75	0,388928571	10,32392377	11,61705787
0,8704663	790,55017	114,012	100,091	1405,2	7,1229E-05	24,63883866	2,74	0,472029845	10,20503663	11,63026719
0,8786611	692,21879	114,858	100,091	1405,2	7,1229E-05	24,63883866	2,74	0,472029845	8,935698616	11,63026719
0,8860759	774,56836	115,81	123,164	1411,9	8,72328E-05	20,11857767	2,73	0,57872241	9,998731008	11,64307175
0,8945687	801,48907	116,916	153,133	1418,7	0,000107939	16,25918972	2,72	0,716904923	10,3462445	11,65629315
0,9032258	385,79567	118,066	178,719	1425,2	0,000125399	13,99529988	2,72	0,836687917	4,980150684	11,70969831
0,9071274	324,54074	118,976	178,719	1425,2	0,000125399	13,99529988	2,72	0,836687917	4,189424409	11,70969831
0,9100758	233,34923	119,5475	225,358	1432,2	0,000157351	11,15341368	2,71	1,051153494	3,012253387	11,72394976

Ek D2. Boru akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 devir												
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk. (m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe		
0,7	1555,9321	103,862	8,105	1297,2	6,24807E-06	421,32992	2,97	0,041431756	20,0851824	17,45644		
0,7076664	1675,6192	103,862	8,105	1297,2	6,24807E-06	421,32992	2,97	0,041431756	21,6301964	17,45644		
0,7161125	1436,245	103,862	9,12	1303,5	6,99655E-06	376,25699	2,95	0,046306368	18,5401684	17,42309		
0,7235142	1515,7241	103,602	10,32	1309,9	7,87846E-06	334,138735	2,93	0,052044062	19,5661461	17,38994		
0,7310705	1569,5937	103,014	11,747	1316,3	8,92426E-06	294,982527	2,92	0,059038279	20,2615372	17,41526		
0,7387863	1618,404	102,23	12,127	1316,9	9,20875E-06	285,869485	2,91	0,060739363	20,8916182	17,36353		
0,7466667	1627,5274	101,252	14,388	1324	1,08671E-05	242,245621	2,89	0,071568537	21,0093904	17,33716		
0,754717	1474,6661	100,254	17,248	1331,1	1,29577E-05	203,16099	2,86	0,084904096	19,0361372	17,2492		
0,7622505	1433,2434	99,252	20,915	1338,2	1,56292E-05	168,434688	2,84	0,102235112	18,5014203	17,21994		
0,7699358	1263,9318	98,566	21,721	1338,9	1,6223E-05	162,269428	2,83	0,105801084	16,3158148	17,16828		
0,7770583	1210,7585	98,074	25,682	1345,4	1,90887E-05	137,908477	2,82	0,124652737	15,6294125	17,19067		
0,7843137	1051,1899	98,064	30,659	1352	2,26768E-05	116,087935	2,8	0,147754217	13,5695768	17,15248		
0,7909605	1016,0537	98,386	36,99	1358,7	2,72246E-05	96,6958029	2,78	0,176991738	13,1160113	17,11436		
0,7977208	1001,9219	99,21	35,41	1358,1	2,60732E-05	100,965779	2,79	0,170041136	12,9335879	17,16834		
0,8045977	869,41779	100,118	41,204	1364,2	3,02038E-05	87,157958	2,78	0,197155112	11,2231213	17,18364		
0,8108108	967,79457	101,394	48,332	1370,4	3,52685E-05	74,6416039	2,76	0,229597797	12,4930453	17,13755		
0,8179163	842,64568	102,51	46,113	1369,8	3,3664E-05	78,1991738	2,77	0,219850275	10,877526	17,19211		
0,8243376	826,70789	103,828	54,442	1376	3,95654E-05	66,5353955	2,76	0,258622926	10,6717886	17,20758		
0,8308605	711,09601	105,22	61,634	1381,7	4,46074E-05	59,0149147	2,75	0,291727194	9,17938057	17,21626		
0,8366534	711,48604	106,756	58,597	1381,2	4,24247E-05	62,0511118	2,76	0,278360964	9,18441538	17,27261		
0,8425276	607,42633	108,146	66,535	1387	4,79704E-05	54,8775457	2,75	0,314924699	7,84113169	17,28229		
0,8476287	1018,3662	109,56	63,159	1386,5	4,55528E-05	57,7900418	2,76	0,300032427	13,1458635	17,33889		
0,8562691	820,39944	110,728	75,908	1393	5,44925E-05	48,3094338	2,75	0,359289157	10,5903542	17,35706		
0,8633094	1023,0577	111,606	92,145	1399,5	6,58414E-05	39,9824597	2,74	0,434556454	13,2064243	17,37464		
0,8722741	923,96007	112,51	113,041	1406,2	8,03876E-05	32,7476004	2,73	0,531156506	11,9271954	17,3941		
0,8805031	820,29692	113,328	140,22	1412,8	9,92497E-05	26,5240051	2,72	0,656451635	10,5890308	17,41173		
0,8879493	732,41841	114,17	131,374	1412,4	9,30147E-05	28,3019699	2,73	0,617299518	9,45462666	17,47079		
0,8945687	981,9213	114,774	175,94	1419,6	0,000123936	21,2407468	2,71	0,82064957	12,6754041	17,43121		
0,9032258	561,43338	114,594	240,923	1426,9	0,000168844	15,5913477	2,69	1,11546105	7,24741882	17,39154		
0,9081081	342,45093	114,6475	240,923	1426,9	0,000168844	15,5913477	2,69	1,11546105	4,42062308	17,39154		

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40_devir										
Çşeker	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k.vizk.(m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1004,15707	105,04	7,665	1295,9	5,91481E-06	237,370333	2,98	0,03931446	20,73990513	9,332085935
0,70826307	1000	104,985	7,665	1295,9	5,91481E-06	237,370333	2,97	0,03918253	20,65404475	9,30077021
0,71550256	883,418669	105,01	8,607	1302,2	6,60958E-06	212,418822	2,96	0,04384978	18,24616872	9,314517811
0,72289157	825,239146	105,16	8,607	1308,6	6,57726E-06	213,462809	2,94	0,04355349	17,04452626	9,297051181
0,72980017	841,27796	105,32	8,607	1308,6	6,57726E-06	213,462809	2,94	0,04355349	17,37579263	9,297051181
0,73684211	850	105,57	11,033	1315	8,39011E-06	167,339799	2,93	0,05563974	17,55593804	9,310743201
0,74270557	905,270969	105,856	12,606	1321,5	9,53916E-06	147,18277	2,91	0,06313849	18,69750711	9,292897177
0,75	769,440374	106,144	14,023	1327,4	1,05643E-05	132,90092	2,9	0,06999432	15,89205591	9,302309535
0,75607561	791,627403	106,356	14,023	1327,4	1,05643E-05	132,90092	2,9	0,06999432	16,35030781	9,302309535
0,76225045	807,842288	106,608	16,225	1333,9	1,21636E-05	115,426539	2,88	0,08042685	16,68521076	9,283392991
0,76852699	906,769769	106,798	16,225	1333,9	1,21636E-05	115,426539	2,88	0,08042685	18,7284634	9,283392991
0,77562327	822,654182	107,022	18,243	1340	1,36142E-05	103,127775	2,87	0,09011602	16,99113628	9,29346506
0,78212291	823,299971	107,258	21,417	1346,6	1,59045E-05	88,2769015	2,85	0,10505757	17,00447444	9,27415704
0,78873239	916,601037	107,544	21,417	1346,6	1,59045E-05	88,2769015	2,85	0,10505757	18,93151884	9,27415704
0,79620853	826,976216	107,874	25,372	1353,3	1,87482E-05	74,8870093	2,83	0,12358478	17,08040378	9,254894933
0,80305927	800	108,218	29,112	1359,5	2,14138E-05	65,5653339	2,82	0,14130093	16,5232358	9,264442616
0,81081081	836,841316	108,678	35,131	1366,3	2,57125E-05	54,6037744	2,81	0,16991069	17,28415799	9,277764909
0,81791626	839,864526	109,11	33,627	1365,8	2,46207E-05	57,0251048	2,81	0,16263661	17,3465995	9,274369694
0,82514735	800	109,59	40,954	1372,6	2,98368E-05	47,055975	2,8	0,19736867	16,5232358	9,287375422
0,83333333	839,231928	110,04	48,115	1379	3,48912E-05	40,2393432	2,78	0,23022324	17,33353379	9,264031807
0,84084084	838,000602	110,574	59,984	1386	4,32785E-05	32,4410509	2,77	0,28598224	17,30810194	9,277564337
0,84848485	832,65184	111,066	56,998	1385,4	4,11419E-05	34,1257869	2,77	0,27174606	17,19762837	9,273548076
0,85626911	738,607679	111,728	71,889	1392,5	5,16259E-05	27,1956767	2,76	0,34150368	15,25523606	9,287423752
0,86330935	826,650476	112,424	86,99	1399	6,21801E-05	22,5795609	2,75	0,41174269	17,07367592	9,296969019
0,87136929	734,596686	113,262	106,337	1405,7	7,5647E-05	18,5598879	2,74	0,50148602	15,17239283	9,307524392
0,87866109	730,114852	114,142	100,091	1405,2	7,1229E-05	19,7110709	2,74	0,47202985	15,07982482	9,304213756
0,88607595	632,172666	115,192	123,164	1411,9	8,72328E-05	16,0948621	2,73	0,57872241	13,05692253	9,314457398
0,89266738	620,510109	116,334	153,133	1418,7	0,000107939	13,0073518	2,72	0,71690492	12,81604356	9,32503452
0,8993576	604,869266	117,53	143,007	1418,3	0,00010083	13,9244457	2,73	0,6719606	12,49299688	9,356678892
0,90614887	774,955478	118,742	178,719	1425,2	0,000125399	11,1962399	2,72	0,83668792	16,00596513	9,367758651

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80_devir											
Çşeker	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k.vizk.(m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1271,3961	105,88	7,665	1295,9	5,91481E-06	474,7406654	2,98	0,039314458	26,25947279	18,66417187	
0,7070707	1099,7545	106,175	7,458	1295,3	5,75774E-06	487,6913918	2,98	0,038252737	22,7143795	18,65553038	
0,713073	1209,6112	105,95667	8,607	1302,2	6,60958E-06	424,8376438	2,96	0,043849776	24,9833645	18,62903562	
0,7197943	1101,8641	105,9575	8,607	1302,2	6,60958E-06	424,8376438	2,96	0,043849776	22,75795143	18,62903562	
0,7260156	1003,9137	106,144	9,432	1308	7,21101E-06	389,4045802	2,95	0,047890534	20,73487888	18,64879312	
0,7317073	1254,5923	106,312	10,697	1314,4	8,13831E-06	345,0346078	2,93	0,053945284	25,91240538	18,61298991	
0,7387863	1024,2319	106,316	10,697	1314,4	8,13831E-06	345,0346078	2,93	0,053945284	21,15453139	18,61298991	
0,7446809	1022,0794	106,542	12,207	1320,9	9,24143E-06	303,8492013	2,91	0,061140052	21,11007418	18,57735586	
0,7506702	1136,059	106,728	14,023	1327,4	1,05643E-05	265,8018398	2,9	0,06999432	23,46421304	18,60461907	
0,7574391	1003,3784	106,736	14,023	1327,4	1,05643E-05	265,8018398	2,9	0,06999432	20,72382193	18,60461907	
0,7636364	1083,6336	106,854	16,225	1333,9	1,21636E-05	230,8530786	2,88	0,08042685	22,3814172	18,56678598	
0,7706422	1054,9395	107,026	18,243	1340	1,36142E-05	206,2555501	2,87	0,090116024	21,7887668	18,58693012	
0,7777778	927,61194	107,21	18,243	1340	1,36142E-05	206,2555501	2,87	0,090116024	19,15893853	18,58693012	
0,7843137	1002,4194	107,44	21,417	1346,6	1,59045E-05	176,5538031	2,85	0,105057573	20,70401421	18,54831408	
0,7917059	976,28534	107,766	25,372	1353,3	1,87482E-05	149,7740186	2,83	0,123584785	20,1642412	18,50978987	
0,7992388	865,22974	108,03	24,382	1352,8	1,80234E-05	155,7978181	2,84	0,119182238	17,8704937	18,56833256	
0,806142	863,34331	108,512	29,112	1359,5	2,14138E-05	131,1306678	2,82	0,141300929	17,83153126	18,52888523	
0,8131655	951,41873	108,932	35,131	1366,3	2,57125E-05	109,2075489	2,81	0,169910688	19,65064503	18,55552982	
0,8211144	941,78313	109,292	40,954	1372,6	2,98368E-05	94,11194999	2,8	0,197368675	19,451631	18,57475084	
0,8292201	754,69782	109,73	40,954	1372,6	2,98368E-05	94,11194999	2,8	0,197368675	15,58756247	18,57475084	
0,8358209	845,25736	110,282	48,115	1379	3,48912E-05	80,47868648	2,78	0,230223236	17,45798327	18,52806361	
0,8433735	736,82817	110,756	59,984	1386	4,32785E-05	64,88210189	2,77	0,285982238	15,21848201	18,55512867	
0,8502024	643,31946	111,452	71,889	1392,5	5,16259E-05	54,39135334	2,76	0,341503683	13,28714899	18,5748475	
0,8562691	645,12466	112,312	68,119	1392	4,89361E-05	57,38099502	2,76	0,323594561	13,3244336	18,5681779	
0,862423	730,39361	112,986	86,99	1399	6,21801E-05	45,15912174	2,76	0,413239931	15,08558226	18,66155236	
0,8695652	639,35547	113,638	82,17	1398,5	5,87558E-05	47,79101862	2,75	0,388928571	13,2052764	18,5872926	
0,8759124	650,21269	114,336	100,091	1405,2	7,1229E-05	39,42214185	2,74	0,472029845	13,42952195	18,60842751	
0,8823529	732,65886	114,956	131,374	1412,4	9,30147E-05	30,18876794	2,73	0,617299518	15,13236896	18,6355119	
0,8898305	714,09673	115,618	123,164	1411,9	8,72328E-05	32,18972427	2,73	0,57872241	14,74898585	18,6289148	
0,8974359	695,22551	116,564	153,133	1418,7	0,000107939	26,01470356	2,72	0,716904923	14,35921888	18,65006904	

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak											
Çşeker	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1476,2064	105,96	7,665	1295,9	5,91481E-06	712,110998	2,98	0,039314458	30,4896332	27,99626	
0,7076664	1620,3141	106,02	7,458	1295,3	5,75774E-06	731,537088	2,98	0,038252737	33,4660402	27,9833	
0,7161125	1436,6396	106,04	8,365	1301,6	6,42671E-06	655,390221	2,97	0,042760843	29,6724184	28,02504	
0,7235142	1238,5691	106,0275	9,432	1308	7,21101E-06	584,10687	2,95	0,047890534	25,5814624	27,97319	
0,7298002	1383,9579	105,922	9,716	1308,6	7,42473E-06	567,293454	2,94	0,049165301	28,5843275	27,89115	
0,7368421	1312,2686	105,874	11,033	1315	8,39011E-06	502,019396	2,93	0,055639742	27,1036547	27,93223	
0,7433628	1495,86	105,812	12,606	1321,5	9,53916E-06	441,54831	2,91	0,063138485	30,8955603	27,87869	
0,7506702	1254,7797	105,79	14,502	1328	1,09202E-05	385,707902	2,89	0,072135594	25,9162758	27,82327	
0,7567568	1263,2707	105,86	14,502	1328	1,09202E-05	385,707902	2,89	0,072135594	26,0916491	27,82327	
0,7629428	1410,208	106,042	16,225	1333,9	1,21636E-05	346,279618	2,88	0,08042685	29,1264989	27,85018	
0,7699358	1250,1116	106,22	16,225	1333,9	1,21636E-05	346,279618	2,88	0,08042685	25,8198611	27,85018	
0,7763401	1215,0978	106,51	18,92	1340,6	1,41131E-05	298,446469	2,86	0,093134596	25,0966834	27,79569	
0,7828518	1159,6752	106,77	22,252	1347,2	1,65172E-05	255,006579	2,85	0,109153528	23,9519833	27,83487	
0,7894737	1100,505	106,972	22,252	1347,2	1,65172E-05	255,006579	2,85	0,109153528	22,7298792	27,83487	
0,7962085	1047,9953	107,188	25,372	1353,3	1,87482E-05	224,661028	2,83	0,123584785	21,6453409	27,76468	
0,8030593	1003,4427	107,518	30,357	1360,1	2,23197E-05	188,712363	2,82	0,147343787	20,7251505	27,80559	
0,8100289	970,44007	107,73	36,719	1366,9	2,6863E-05	156,795741	2,8	0,176959036	20,0435126	27,74642	
0,8171206	944,19718	107,95	36,719	1366,9	2,6863E-05	156,795741	2,8	0,176959036	19,5014909	27,74642	
0,8243376	825,70299	108,338	42,893	1373,2	3,12358E-05	134,845275	2,79	0,205974991	17,0541065	27,77475	
0,8308605	705,16918	108,778	53,045	1380,1	3,84356E-05	109,585846	2,77	0,25289957	14,5645957	27,71421	
0,8366534	789,31919	109,25	50,508	1379,5	3,66133E-05	115,040271	2,78	0,241673391	16,3026338	27,80217	
0,8433735	874,6207	109,726	63,159	1386,5	4,55528E-05	92,4640669	2,76	0,300032427	18,064455	27,74222	

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 devir										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1118,07999	104,88	7,881	1296,5	6,07867E-06	76,9904834	2,97	0,0402867	7,69762472	3,101692151
0,71005917	1050,09363	104,87	8,858	1302	6,80338E-06	68,789343	2,96	0,04512854	7,229560296	3,10436241
0,71979434	935,585747	105,096667	8,607	1302	6,6106E-06	70,7953991	2,96	0,04384978	6,44120996	3,10436241
0,72853426	752,455017	105,225	9,716	1308	7,42813E-06	63,0037052	2,94	0,0491653	5,180413196	3,097596145
0,73555166	772,38292	105,32	11,033	1315	8,39011E-06	55,7799329	2,93	0,05563974	5,317610465	3,103581067
0,74270557	734,626686	105,608	12,606	1321,5	9,53916E-06	49,0609234	2,91	0,06313849	5,057670813	3,097632392
0,74933095	621,604373	105,894	12,606	1321,5	9,53916E-06	49,0609234	2,91	0,06313849	4,279548179	3,097632392
0,75471698	735,10238	106,044	14,023	1327,4	1,05643E-05	44,3003066	2,9	0,06999432	5,060945818	3,100769845
0,76086957	509,878004	106,292	16,225	1333,9	1,21636E-05	38,4755131	2,88	0,08042685	3,510347707	3,09446433
0,76502732	782,818623	106,544	16,225	1333,9	1,21636E-05	38,4755131	2,88	0,08042685	5,389456956	3,09446433
0,77134986	790,712468	106,698	18,92	1340,6	1,41131E-05	33,1607188	2,86	0,0931346	5,443803568	3,088410134
0,77777778	789,447685	106,884	18,92	1340,6	1,41131E-05	33,1607188	2,86	0,0931346	5,435095941	3,088410134
0,78431373	782,380642	107,192	21,417	1346,6	1,59045E-05	29,4256338	2,85	0,10505757	5,386441594	3,091385668
0,79096045	767,91598	107,408	25,372	1353,3	1,87482E-05	24,9623364	2,83	0,12358478	5,286857007	3,084964978
0,7977208	755,749459	107,724	25,372	1353,3	1,87482E-05	24,9623364	2,83	0,12358478	5,203094381	3,084964978
0,8045977	749,396351	108,196	29,112	1359,5	2,14138E-05	21,8551113	2,82	0,14130093	5,159355258	3,088147539
0,8115942	822,862284	108,638	35,131	1366,3	2,57125E-05	18,2012581	2,81	0,16991069	5,665144809	3,092588303
0,8195122	735,822929	109,092	33,627	1365,8	2,46207E-05	19,0083683	2,81	0,16263661	5,065906571	3,091456565
0,82677165	736,648453	109,546	40,954	1372,6	2,98368E-05	15,685325	2,8	0,19736867	5,07159004	3,095791807
0,83416087	743,06605	110,102	48,115	1379	3,48912E-05	13,4131144	2,78	0,23022324	5,115773152	3,088010602
0,84168337	827,904209	110,59	59,984	1386	4,32785E-05	10,8136836	2,77	0,28598224	5,699856864	3,092521446
0,85020243	669,614124	111,214	71,889	1392,5	5,16259E-05	9,06522556	2,76	0,34150368	4,610080026	3,095807917
0,85714286	676,832238	111,836	71,889	1392,5	5,16259E-05	9,06522556	2,76	0,34150368	4,659774442	3,095807917
0,86419753	682,899834	112,616	86,99	1399	6,21801E-05	7,52652029	2,75	0,41174269	4,70154791	3,098989673
0,87136929	681,140754	113,36	106,337	1405,7	7,5647E-05	6,1866293	2,74	0,50148602	4,689437207	3,102508131
0,87866109	677,600635	114,272	100,091	1405,2	7,1229E-05	6,57035698	2,74	0,47202985	4,665064615	3,101404585
0,88607595	587,789499	115,268	123,164	1411,9	8,72328E-05	5,36495405	2,73	0,57872241	4,04674354	3,104819133
0,89266738	578,109141	116,368	153,133	1418,7	0,000107939	4,33578393	2,72	0,71690492	3,980097355	3,10834484
0,89935576	564,760401	117,558	143,007	1418,3	0,00010083	4,64148189	2,73	0,6719606	3,888195533	3,118892964
0,90614887	551,562455	118,902	178,719	1425,2	0,000125399	3,73207997	2,72	0,83668792	3,797331878	3,122586217

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

Çşeker	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	80_dev/dak		Re	Cp	Pr	Nu	Pe
					k.vizk.(m2/s)	k.vizk.(m2/s)					
0,7	1208,7498	105,09	7,665	1295,9	5,91481E-06	158,2468885	2,98	0,039314458	8,321857178	6,221390623	
0,706476	1232,2945	105,165	7,665	1295,3	5,91755E-06	158,1736204	2,98	0,039314458	8,483955085	6,218510127	
0,713073	1139,2727	105,39333	8,607	1302,2	6,60958E-06	141,6125479	2,96	0,043849776	7,843529455	6,20967854	
0,7191781	1256,7421	105,51	8,607	1302,2	6,60958E-06	141,6125479	2,96	0,043849776	8,652269508	6,20967854	
0,7260156	1032,5406	105,588	9,716	1308,6	7,42473E-06	126,065212	2,94	0,049165301	7,108712981	6,19803412	
0,7317073	1162,7014	105,764	11,033	1315	8,39011E-06	111,5598659	2,93	0,055639742	8,004828768	6,207162134	
0,7381371	1045,6497	105,952	11,033	1315	8,39011E-06	111,5598659	2,93	0,055639742	7,198965498	6,207162134	
0,7440213	1035,8508	106,04	12,207	1320	9,24773E-06	101,2140575	2,91	0,061140052	7,131502936	6,188232702	
0,75	1030,0086	106,168	14,023	1327,4	1,05643E-05	88,60061328	2,9	0,06999432	7,09128112	6,20153969	
0,7560756	1016,6707	106,314	14,023	1327,4	1,05643E-05	88,60061328	2,9	0,06999432	6,99945405	6,20153969	
0,7622505	999,55325	106,552	16,225	1333,9	1,21636E-05	76,95102619	2,88	0,08042685	6,881605868	6,188928661	
0,768527	1093,5484	106,77	16,225	1333,9	1,21636E-05	76,95102619	2,88	0,08042685	7,528732441	6,188928661	
0,7756233	977,08746	107,146	18,243	1340	1,36142E-05	68,75185002	2,87	0,090116024	6,726936026	6,195643373	
0,7821229	1066,1597	107,492	21,417	1346,6	1,59045E-05	58,85126768	2,85	0,105057573	7,340169723	6,18277136	
0,7894737	935,03124	107,796	21,417	1346,6	1,59045E-05	58,85126768	2,85	0,105057573	6,437392379	6,18277136	
0,7962085	916,62109	108,116	24,382	1352,8	1,80234E-05	51,93260602	2,84	0,119182238	6,310644334	6,189444186	
0,8030593	997,73182	108,436	29,112	1359,5	2,14138E-05	43,71022259	2,82	0,141300929	6,869065878	6,176295077	
0,8108108	871,97854	108,704	35,131	1366,3	2,57125E-05	36,4025163	2,81	0,169910688	6,003294576	6,185176606	
0,8179163	853,83085	108,996	35,131	1366,3	2,57125E-05	36,4025163	2,81	0,169910688	5,878353534	6,185176606	
0,8251473	846,74727	109,432	40,954	1372,6	2,98368E-05	31,37065	2,8	0,197368675	5,829585324	6,191583614	
0,8325074	832,13041	109,87	50,508	1379,5	3,66133E-05	25,56450463	2,78	0,241673391	5,72895293	6,178260516	
0,84	730,58014	110,44	59,984	1386	4,32785E-05	21,6273673	2,77	0,285982238	5,029811619	6,185042892	
0,8467742	814,77506	111,026	56,998	1385,4	4,11419E-05	22,75052458	2,77	0,271746059	5,609466824	6,182365384	
0,854527	717,93382	111,69	71,889	1392,5	5,16259E-05	18,13045111	2,76	0,341503683	4,942745732	6,191615835	
0,8615385	804,63624	112,492	86,99	1399	6,21801E-05	15,05304058	2,75	0,411742685	5,539664309	6,197979346	
0,8695652	625,76065	113,294	82,17	1398,5	5,87558E-05	15,93033954	2,75	0,388928571	4,308162816	6,1957642	
0,8759124	629,71163	114,228	100,091	1405,2	7,1229E-05	13,14071395	2,74	0,472029845	4,335364033	6,20280917	
0,8823529	627,44717	115,158	123,164	1411,9	8,72328E-05	10,72990809	2,73	0,57872241	4,319773999	6,209638265	
0,8888889	621,94495	116,242	115,539	1411,5	8,18555E-05	11,43478825	2,74	0,544882719	4,281892964	6,23061852	
0,8955224	608,89686	117,224	143,007	1418,3	0,00010083	9,282963771	2,73	0,671960602	4,192061028	6,237785928	

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 1. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120_dev/dak											
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1599,7913	105,53	7,665	1295,9	5,91481E-06	237,370333	2,98	0,039314458	11,0140534	9,332086	
0,7076664	1593,4887	105,57	7,665	1295,9	5,91481E-06	237,370333	2,98	0,039314458	10,9706625	9,332086	
0,7155026	1226,5659	105,54667	8,607	1302,2	6,60958E-06	212,418822	2,96	0,043849776	8,44451581	9,314518	
0,7216495	1376,1211	105,6775	9,716	1308,6	7,42473E-06	189,097818	2,94	0,049165301	9,47415539	9,297051	
0,7285343	1396,9501	105,74	9,716	1308,6	7,42473E-06	189,097818	2,94	0,049165301	9,61755672	9,297051	
0,7355517	1295,5124	105,85	11,033	1315	8,39011E-06	167,339799	2,93	0,055639742	8,91919019	9,310743	
0,7420495	1337,8482	105,966	12,606	1321,5	9,53916E-06	147,18277	2,91	0,063138485	9,21065864	9,292897	
0,7486631	1387,1551	106,222	12,207	1320,9	9,24143E-06	151,924601	2,91	0,061140052	9,55012117	9,288678	
0,7553957	1407,656	106,338	14,023	1327,4	1,05643E-05	132,90092	2,9	0,06999432	9,69126306	9,30231	
0,7622505	1141,2395	106,55	16,225	1333,9	1,21636E-05	115,426539	2,88	0,08042685	7,85707043	9,283393	
0,7678245	1291,8014	106,73	16,225	1333,9	1,21636E-05	115,426539	2,88	0,08042685	8,89364121	9,283393	
0,7741935	1267,7924	106,884	18,92	1340,6	1,41131E-05	99,4821564	2,86	0,093134596	8,72834688	9,26523	
0,7806691	1229,3407	106,95	22,252	1347,2	1,65172E-05	85,0021931	2,85	0,109153528	8,463619	9,278289	
0,787254	1064,6681	107,13	21,417	1346,6	1,59045E-05	88,2769015	2,85	0,105057573	7,32990082	9,274157	
0,7932011	1149,6643	107,244	25,372	1353,3	1,87482E-05	74,8870093	2,83	0,123584785	7,91507258	9,254895	
0,8	1103,7605	107,516	30,357	1360,1	2,23197E-05	62,904121	2,82	0,147343787	7,59903984	9,268531	
0,8069164	1073,2262	107,904	30,357	1360,1	2,23197E-05	62,904121	2,82	0,147343787	7,3888205	9,268531	
0,8139535	926,33586	108,278	35,131	1366,3	2,57125E-05	54,6037744	2,81	0,169910688	6,37752745	9,277765	
0,8203125	893,50629	108,688	42,893	1373,2	3,12358E-05	44,9484252	2,79	0,205974991	6,15150627	9,258251	
0,8267717	977,83035	109,242	40,954	1372,6	2,98368E-05	47,055975	2,8	0,197368675	6,73205063	9,287375	
0,8341609	1000	109,82	50,508	1379,5	3,66133E-05	38,3467569	2,78	0,241673391	6,88468158	9,267391	
0,84	1025,903	110,414	59,984	1386	4,32785E-05	32,4410509	2,77	0,285982238	7,0630156	9,277564	
0,8484848	996,20561	111,116	56,998	1385,4	4,11419E-05	34,1257869	2,77	0,271746059	6,85855844	9,273548	

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40_dev/dak										
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	773,181661	104,56	7,881	1296,5	6,07867E-06	230,97145	2,97	0,0402867	15,96932864	9,305076454
0,70469799	946,653161	104,655	7,881	1296,5	6,07867E-06	230,97145	2,97	0,0402867	19,55221675	9,305076454
0,7106599	842,951395	104,843333	8,858	1302,9	6,79868E-06	206,51068	2,96	0,04512854	17,41035583	9,319524847
0,71611253	832,900111	104,9525	8,858	1302,9	6,79868E-06	206,51068	2,96	0,04512854	17,20275617	9,319524847
0,72164948	909,8358	105,036	9,716	1308,6	7,42473E-06	189,097818	2,94	0,0491653	18,79178932	9,297051181
0,72790295	885,022096	105,22	9,716	1308,6	7,42473E-06	189,097818	2,94	0,0491653	18,27928598	9,297051181
0,73426573	862,639222	105,392	11,033	1315	8,39011E-06	167,339799	2,93	0,05563974	17,8169891	9,310743201
0,74074074	838,041009	105,496	12,666	1321,5	9,58456E-06	146,485552	2,91	0,063439	17,3089365	9,292897177
0,74733096	820,009371	105,694	12,666	1321,5	9,58456E-06	146,485552	2,91	0,063439	16,93651024	9,292897177
0,7540395	805,780962	105,892	14,502	1328	1,09202E-05	128,569301	2,89	0,07213559	16,64263605	9,274422857
0,76086957	794,532403	106,104	16,225	1333,9	1,21636E-05	115,426539	2,88	0,08042685	16,4103078	9,283392991
0,7678245	788,891706	106,456	16,225	1333,9	1,21636E-05	115,426539	2,88	0,08042685	16,2938046	9,283392991
0,77490775	704,885323	106,774	18,92	1340,6	1,41131E-05	99,4821564	2,86	0,0931346	14,55873301	9,265230403
0,78139535	776,810266	107,018	21,417	1346,6	1,59045E-05	88,2769015	2,85	0,10505757	16,04427399	9,27415704
0,78873239	776,357428	107,384	21,417	1346,6	1,59045E-05	88,2769015	2,85	0,10505757	16,03492107	9,27415704
0,79620853	773,453508	107,724	25,372	1353,3	1,87482E-05	74,8870093	2,83	0,12358478	15,97494337	9,254894933
0,80382775	697,556813	108,034	29,112	1359,5	2,14138E-05	65,5653339	2,82	0,14130093	14,40736964	9,264442616
0,81081081	699,186483	108,39	35,131	1366,3	2,57125E-05	54,6037744	2,81	0,16991069	14,44102891	9,277764909
0,81791626	704,067469	108,826	35,131	1366,3	2,57125E-05	54,6037744	2,81	0,16991069	14,54184101	9,277764909
0,82514735	709,0782	109,254	40,954	1372,6	2,98368E-05	47,055975	2,8	0,19736867	14,64533288	9,287375422
0,83250743	714,789636	109,812	50,508	1379,5	3,66133E-05	38,3467569	2,78	0,24167339	14,76329712	9,267390775
0,84	719,403563	110,362	59,984	1386	4,32785E-05	32,4410509	2,77	0,28598224	14,85859339	9,277564337
0,84762866	722,669437	110,994	59,984	1386	4,32785E-05	32,4410509	2,77	0,28598224	14,92604688	9,277564337
0,85539715	720,57807	111,694	71,889	1392,5	5,16259E-05	27,1956767	2,76	0,34150368	14,8828517	9,287423752
0,86330935	636,171187	112,416	86,99	1399	6,21801E-05	22,5795609	2,75	0,41174269	13,13950816	9,296969019
0,87046632	628,096369	113,244	106,337	1405,7	7,5647E-05	18,5598879	2,74	0,50148602	12,97273052	9,307524392
0,87774295	693,543681	114,108	100,091	1405,2	7,1229E-05	19,7110709	2,74	0,47202985	14,32448223	9,304213756
0,88607595	529,824849	115,142	123,164	1411,9	8,72328E-05	16,0948621	2,73	0,57872241	10,94302614	9,314457398
0,89266738	594,658499	116,288	153,133	1418,7	0,000107939	13,0073518	2,72	0,71690492	12,28210324	9,32503452
0,90032154	509,845066	117,522	192,367	1425,6	0,000134938	10,4048116	2,71	0,89772712	10,5303628	9,335937873

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

Çşeker	80_dev/dak										
	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k.vizk.(m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1135,3304	104,69	7,881	1296,5	6,07867E-06	461,9429006	2,97	0,040286695	23,44916465	18,61015291	
0,706476	1146,4083	104,765	7,881	1296,5	6,07867E-06	461,9429006	2,97	0,040286695	23,67796887	18,61015291	
0,713073	1159,0098	104,82667	8,858	1302,9	6,79868E-06	413,0213592	2,96	0,045128537	23,93823967	18,63904969	
0,7197943	1068,5532	104,9075	8,858	1302,9	6,79868E-06	413,0213592	2,96	0,045128537	22,06994539	18,63904969	
0,7260156	1077,4537	104,992	10,012	1309,2	7,64742E-06	367,1827407	2,94	0,050663133	22,25377679	18,60262786	
0,7323452	1099,3805	105,158	11,033	1315	8,39011E-06	334,6795976	2,93	0,055639742	22,70665332	18,6214864	
0,7387863	1002,6523	105,322	11,033	1315	8,39011E-06	334,6795976	2,93	0,055639742	20,70882512	18,6214864	
0,7446809	1128,8144	105,582	12,606	1321,5	9,53916E-06	294,3655402	2,91	0,063138485	23,31458411	18,58579435	
0,7513417	1017,7793	105,812	14,502	1328	1,09202E-05	257,1386016	2,89	0,072135594	21,02125835	18,54884571	
0,7574391	1014,3383	106,036	14,023	1327,4	1,05643E-05	265,8018398	2,9	0,06999432	20,95018914	18,60461907	
0,7636364	1007,1634	106,318	16,225	1333,9	1,21636E-05	230,8530786	2,88	0,08042685	20,80199813	18,56678598	
0,7699358	1101,5597	106,594	16,225	1333,9	1,21636E-05	230,8530786	2,88	0,08042685	22,75166397	18,56678598	
0,7770583	971,76859	106,792	18,92	1340,6	1,41131E-05	198,9643129	2,86	0,093134596	20,07095193	18,53046081	
0,7835821	1061,7882	107,14	21,417	1346,6	1,59045E-05	176,5538031	2,85	0,105057573	21,93022007	18,54831408	
0,7909605	1045,2405	107,462	25,372	1353,3	1,87482E-05	149,7740186	2,83	0,123584785	21,58844402	18,50978987	
0,7984791	917,52436	107,714	25,372	1353,3	1,87482E-05	149,7740186	2,83	0,123584785	18,95058924	18,50978987	
0,8053691	1003,4307	108,102	29,112	1359,5	2,14138E-05	131,1306678	2,82	0,141300929	20,72490229	18,52888523	
0,8131655	787,21905	108,476	35,131	1366,3	2,57125E-05	109,2075489	2,81	0,169910688	16,25925752	18,55552982	
0,8195122	960,36008	108,814	35,131	1366,3	2,57125E-05	109,2075489	2,81	0,169910688	19,83532009	18,55552982	
0,8275862	848,46411	109,272	40,954	1372,6	2,98368E-05	94,11194999	2,8	0,197368675	17,52421574	18,57475084	
0,8349901	835,37378	109,828	50,508	1379,5	3,66133E-05	76,6935139	2,78	0,241673391	17,25384735	18,53478155	
0,8425276	800	110,344	59,984	1386	4,32785E-05	64,88210189	2,77	0,285982238	16,5232358	18,55512867	
0,8510638	810,03202	110,966	75,908	1393	5,44925E-05	51,53006271	2,75	0,359289157	16,73043753	18,51419277	
0,8588957	712,07173	111,6	71,889	1392,5	5,16259E-05	54,39135334	2,76	0,341503683	14,70716129	18,5748475	
0,8659794	700	112,358	86,99	1399	6,21801E-05	45,15912174	2,76	0,413239931	14,45783133	18,66155236	
0,8740895	698,3588	113,116	106,337	1405,7	7,5647E-05	37,11977581	2,74	0,501486024	14,42393391	18,61504878	
0,8814271	692,57664	114,024	131,374	1412,4	9,30147E-05	30,18876794	2,73	0,617299518	14,30450886	18,6355119	
0,8888889	598,78945	114,972	131,374	1412,4	9,30147E-05	30,18876794	2,73	0,617299518	12,36742412	18,6355119	
0,8955224	600	116,018	153,133	1418,7	0,000107939	26,01470356	2,72	0,716904923	12,39242685	18,65006904	
0,9041981	505,30358	117,088	192,367	1425,6	0,000134938	20,80962327	2,71	0,897271205	10,43656285	18,67187575	

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak												
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe		
0,7	1466,3309	103,63	8,105	1297,2	6,24807E-06	674,127872	2,97	0,041431756	30,2856642	27,9303		
0,7082631	1496,9056	103,695	8,105	1297,2	6,24807E-06	674,127872	2,97	0,041431756	30,9171562	27,9303		
0,7167235	1313,9626	103,74	9,12	1303,5	6,99655E-06	602,011184	2,95	0,046306368	27,1386415	27,87695		
0,7241379	1347,1285	103,7525	10,32	1309,9	7,87846E-06	534,621977	2,93	0,052044062	27,8236524	27,8239		
0,7317073	1377,2382	103,732	11,747	1316,3	8,92426E-06	471,972044	2,92	0,059038279	28,4455387	27,86442		
0,7394366	1442,1472	103,626	11,747	1316,3	8,92426E-06	471,972044	2,92	0,059038279	29,7861722	27,86442		
0,747331	1500,2669	103,332	13,459	1322,7	1,01754E-05	413,93955	2,9	0,067179174	30,9865793	27,80812		
0,7553957	1412,3727	102,886	16,075	1329,8	1,20883E-05	348,436554	2,87	0,079406627	29,1712082	27,66817		
0,7629428	1434,6496	102,276	18,716	1336,4	1,40048E-05	300,754264	2,86	0,092130396	29,6313173	27,70861		
0,7706422	1428,4923	101,514	22,833	1343,6	1,69939E-05	247,853685	2,83	0,111217539	29,5041442	27,56568		
0,7784986	1262,2088	100,72	23,736	1344,2	1,76581E-05	238,53094	2,83	0,115615972	26,0697167	27,57799		
0,7857811	1096,1912	100,002	28,227	1350,8	2,08965E-05	201,5648	2,81	0,13651957	22,6407824	27,51754		
0,7924528	1055,4447	99,566	35,41	1358,1	2,60732E-05	161,545247	2,79	0,170041136	21,7992017	27,46934		
0,7992388	1007,1632	99,418	35,41	1358,1	2,60732E-05	161,545247	2,79	0,170041136	20,8019946	27,46934		
0,806142	964,49333	99,594	43,121	1364,8	3,15951E-05	133,311788	2,77	0,205585491	19,9206884	27,40697		
0,8131655	731,07828	100,176	50,682	1371	3,69672E-05	113,938913	2,76	0,240761308	15,0997235	27,43208		
0,8187135	915,0877	101,108	48,332	1370,4	3,52685E-05	119,426566	2,76	0,229597797	18,9002623	27,42008		
0,8259587	786,91275	102,048	57,186	1376,6	4,15415E-05	101,392635	2,75	0,270673838	16,2529312	27,44433		
0,8325074	777,60487	103,262	68,295	1382,9	4,93853E-05	85,2884516	2,74	0,32207969	16,0606858	27,46968		
0,8391608	673,5389	104,614	64,862	1382,3	4,69232E-05	89,7636151	2,75	0,307006024	13,9113026	27,55797		
0,8450704	700	106,002	73,958	1388,1	5,328E-05	79,0540198	2,74	0,348786437	14,4578313	27,57297		
0,8510638	863,71367	107,536	89,66	1394,6	6,42908E-05	65,5147803	2,73	0,421293976	17,8391807	27,60098		
0,8588957	683,76225	109,16	80,196	1393,5	5,75501E-05	73,1884633	2,73	0,376824578	14,1224562	27,57921		
0,8650875	880,04638	110,526	97,661	1400	6,97579E-05	60,3802951	2,73	0,458889036	18,1765173	27,70786		
0,8731809	884,42571	111,762	120,24	1406,6	8,54827E-05	49,2731138	2,72	0,562913597	18,2669681	27,73651		
0,8814271	698,11422	112,98	149,757	1413,3	0,000105963	39,7498588	2,71	0,698522324	14,4188824	27,76616		
0,8879493	896,042	114,03	131,374	1412,4	9,30147E-05	45,2831519	2,73	0,617299518	18,5068916	27,95327		
0,8964781	789,0052	114,996	175,94	1419,6	0,000123936	33,985195	2,71	0,82064957	16,2961487	27,88994		
0,9041981	706,87327	116,156	207,204	1426	0,000145304	28,9874327	2,71	0,966476489	14,5997921	28,01567		
0,9110629	700	117,182	264,438	1433	0,000184535	22,8249949	2,7	1,228885714	14,4578313	28,04931		

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 dev/dak										
Çşeker	h(W/m2C)	f _{Ta} (C)	d. vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k. vizk. (m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1165,39553	103,45	8,105	1297,2	6,24807E-06	74,9030969	2,97	0,04143176	8,023377118	3,103366802
0,71126164	989,808847	103,695	9,12	1303,5	6,996555E-06	66,8901316	2,95	0,04630637	6,81451874	3,097439071
0,72103004	944,968024	103,79	10,32	1309,9	7,87846E-06	59,4024419	2,93	0,05204406	6,505803953	3,091544365
0,73043478	782,305817	103,865	11,747	1316,3	8,92426E-06	52,4413382	2,92	0,05903828	5,385926449	3,096046348
0,73813708	745,683931	104,03	11,383	1315,6	8,65233E-06	54,0895019	2,92	0,05720888	5,133796426	3,09439989
0,74534161	721,258831	104,29	13,023	1322,1	9,85024E-06	47,5115411	2,9	0,06500293	4,965637391	3,088389191
0,75201432	696,592507	104,478	15,003	1328,6	1,12923E-05	41,4440312	2,89	0,07462766	4,795817603	3,092871036
0,75812274	749,598966	104,698	15,003	1328,6	1,12923E-05	41,4440312	2,89	0,07462766	5,160750198	3,092871036
0,76433121	794,63864	105,03	16,806	1334,6	1,25925E-05	37,1648697	2,87	0,08301759	5,470834007	3,085337928
0,7706422	822,938069	105,258	19,63	1341,2	1,46361E-05	31,9756291	2,86	0,0966296	5,665666566	3,089792386
0,77705828	842,602808	105,5	19,63	1341,2	1,46361E-05	31,9756291	2,86	0,0966296	5,801052037	3,089792386
0,78358209	851,484898	105,868	23,128	1347,8	1,71598E-05	27,2730197	2,84	0,11305253	5,862202393	3,083283883
0,79021637	843,872426	106,19	26,413	1353,9	1,95088E-05	23,9891417	2,83	0,1286554	5,80979295	3,08633273
0,79696395	920,801684	106,406	26,413	1353,3	1,95175E-05	23,9785106	2,83	0,1286554	6,339426393	3,084964978
0,8045977	893,987342	106,644	31,67	1360,7	2,32748E-05	20,1075971	2,81	0,1531716	6,154818188	3,079912833
0,81237911	870,936099	106,972	38,395	1367,5	2,80768E-05	16,6685766	2,79	0,1843753	5,996117719	3,073273838
0,8203125	852,615694	107,192	44,944	1373,7	3,27175E-05	14,3042809	2,78	0,21505046	5,869987567	3,076142251
0,82840237	758,348416	107,54	44,944	1373,7	3,27175E-05	14,3042809	2,78	0,21505046	5,220987375	3,076142251
0,8358209	832,216065	107,904	55,738	1380,6	4,03723E-05	11,5921059	2,77	0,26573883	5,729542615	3,080472661
0,84422111	835,801915	108,38	66,535	1387	4,79704E-05	9,75600812	2,75	0,3149247	5,754230052	3,072407917
0,85279188	843,691405	108,916	84,772	1394	6,08121E-05	7,69584297	2,74	0,39978534	5,808546679	3,076685164
0,86153846	812,864219	109,44	103,568	1400,5	7,39507E-05	6,32853777	2,73	0,48664482	5,96311319	3,07975012
0,87046632	812,768006	109,986	136,295	1407,6	9,68279E-05	4,83331597	2,71	0,63573055	5,59564892	3,072686623
0,87958115	744,449398	110,77	127,976	1407,1	9,09502E-05	5,14567419	2,72	0,59913033	5,125297061	3,08292946
0,88794926	750,472462	111,556	160,08	1413,8	0,000113227	4,13329835	2,71	0,74667263	5,166763939	3,086220764
0,89647812	500,810738	112,318	202,697	1420,5	0,000142694	3,27974267	2,7	0,9419654	3,447922463	3,089404131
0,90225564	357,923233	113,234	260,076	1427,3	0,000182215	2,56838924	2,69	1,20413845	2,464187491	3,092696241
0,90614887	284,844906	114,288	240,923	1426,9	0,000168844	2,77179514	2,69	1,11546105	1,961066475	3,091829515
0,90909091	250	115,096	223,347	1426,5	0,00015657	2,98907977	2,7	1,03792926	1,721170396	3,102453356
0,91007584	235,336651	115,986	311,259	1433,8	0,000217087	2,15582007	2,68	1,4357558	1,620217907	3,095231174

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80_dev/dak										
Cşeker	h(W/m2C)	f_Ta (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k.vizk.(m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1418,601	103,69	8,105	1297,2	6,24807E-06	149,8061937	2,97	0,041431756	9,766616034	6,206733604
0,7094595	1176,5796	103,77	8,105	1297,2	6,24807E-06	149,8061937	2,97	0,041431756	8,100376083	6,206733604
0,7173356	1120,9449	103,86333	9,12	1303,5	6,99655E-06	133,7802632	2,95	0,046306368	7,717348945	6,194878141
0,7247627	1158,4784	104,0375	10,012	1309,2	7,64742E-06	122,3942469	2,94	0,050663133	7,975754912	6,200875952
0,7323452	999,50158	104,154	11,383	1315,6	8,65233E-06	108,1790038	2,92	0,057208881	6,88125015	6,18879978
0,7387863	1068,181	104,358	11,383	1315,6	8,65233E-06	108,1790038	2,92	0,057208881	7,354085738	6,18879978
0,7453416	1138,6249	104,564	13,023	1322,1	9,85024E-06	95,02308224	2,9	0,065002926	7,839070009	6,176778382
0,7520143	1080,9986	104,758	15,003	1328,6	1,12923E-05	82,88806239	2,89	0,074627659	7,442331059	6,185742072
0,7581227	1127,967	104,886	15,003	1328,6	1,12923E-05	82,88806239	2,89	0,074627659	7,765693706	6,185742072
0,7643312	1150,9647	105,044	16,806	1334,6	1,25925E-05	74,32973938	2,87	0,08301759	7,924025447	6,170675855
0,7706422	1156,0267	105,228	19,63	1341,2	1,46361E-05	63,95125828	2,86	0,096629604	7,958875477	6,179584771
0,7770583	1166,9329	105,542	19,63	1341,2	1,46361E-05	63,95125828	2,86	0,096629604	8,033961496	6,179584771
0,7835821	1159,3638	105,828	23,128	1347,8	1,71598E-05	54,54603943	2,84	0,11305253	7,981850512	6,166567766
0,7902164	1249,5538	106,1	26,413	1353,9	1,95088E-05	47,97828342	2,83	0,128655404	8,602779832	6,17266546
0,7977208	1092,5673	106,362	26,413	1353,9	1,95088E-05	47,97828342	2,83	0,128655404	7,521977996	6,17266546
0,8045977	1188,1851	106,728	31,67	1360,7	2,32748E-05	40,21519419	2,81	0,153171601	8,180275817	6,159825666
0,8123791	1024,2004	106,936	38,395	1367,5	2,80768E-05	33,33715328	2,79	0,184375301	7,051293903	6,146547676
0,8195122	1103,385	107,182	36,719	1366,9	2,6863E-05	34,84349792	2,8	0,176959036	7,596454499	6,165871807
0,8275862	1082,7809	107,522	44,944	1373,7	3,27175E-05	28,60856177	2,78	0,215050465	7,454602021	6,152284503
0,8358209	1063,3661	107,868	55,738	1380,6	4,03723E-05	23,18421185	2,77	0,26573883	7,320936818	6,160945322
0,8442211	940,59378	108,182	66,535	1387	4,79704E-05	19,51201623	2,75	0,314924699	6,475688686	6,144815835
0,851927	1033,2407	108,64	84,772	1394	6,08121E-05	15,39168593	2,74	0,399785336	7,113533499	6,153370327
0,8606557	918,58742	109,078	103,568	1400,5	7,39507E-05	12,65707554	2,73	0,486644819	6,324181906	6,159500241
0,868666	909,94448	109,548	103,568	1400,5	7,39507E-05	12,65707554	2,73	0,486644819	6,264678008	6,159500241
0,8768267	901,01865	110,126	127,976	1407,1	9,09502E-05	10,29134838	2,72	0,599130327	6,203226494	6,165858919
0,8851423	991,52059	110,768	171,159	1414,3	0,00012102	7,734240093	2,7	0,79540327	6,826303565	6,151839862
0,8945687	396,77787	111,416	217,794	1421	0,000153268	6,106945095	2,69	1,008374974	2,731689314	6,158090602
0,8983957	607,66204	112,182	202,697	1420,5	0,000142694	6,55948534	2,7	0,941965404	4,183559653	6,178808262
0,9041981	215,43296	113,056	260,076	1427,3	0,000182215	5,13677848	2,69	1,204138451	1,483187338	6,185392482
0,9061489	360,49006	113,814	260,076	1427,3	0,000182215	5,13677848	2,69	1,204138451	2,481859249	6,185392482

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 2. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak											
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d.vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk. (m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1555,7332	103,56	8,105	1297,2	6,24807E-06	224,709291	2,97	0,041431756	10,7107275	9,3101	
0,7076664	1669,0021	103,55	8,105	1297,2	6,24807E-06	224,709291	2,97	0,041431756	11,4905482	9,3101	
0,7161125	1451,5295	103,56	9,12	1303,5	6,99655E-06	200,670395	2,95	0,046306368	9,99331851	9,292317	
0,7235142	1610,0358	103,5875	10,32	1309,9	7,87846E-06	178,207326	2,93	0,052044062	11,0845841	9,274633	
0,7317073	1401,1388	103,626	11,747	1316,3	8,92426E-06	157,324015	2,92	0,059038279	9,6463944	9,288139	
0,7387863	1327,6115	103,702	11,747	1316,3	8,92426E-06	157,324015	2,92	0,059038279	9,14018232	9,288139	
0,7453416	1542,8907	103,796	13,459	1322,7	1,01754E-05	137,97985	2,9	0,067179174	10,6223111	9,269372	
0,7526882	1466,3637	103,876	15,527	1329,2	1,16815E-05	120,19043	2,88	0,076966885	10,0954474	9,250683	
0,7594937	1665,1839	103,916	15,527	1329,2	1,16815E-05	120,19043	2,88	0,076966885	11,4642607	9,250683	
0,7671233	1373,9804	103,9	18,05	1335,8	1,35125E-05	103,903778	2,86	0,088851979	9,4594172	9,232056	
0,7734807	1540,72	103,812	21,155	1342,4	1,57591E-05	89,0914488	2,85	0,103772375	10,6073667	9,245231	
0,7806691	1529,3893	103,682	25,016	1349	1,85441E-05	75,7113847	2,83	0,12185074	10,5293586	9,225488	
0,7879925	1348,8949	103,532	25,016	1349	1,85441E-05	75,7113847	2,83	0,12185074	9,28671215	9,225488	
0,794702	1612,8456	103,4	29,871	1355,7	2,20336E-05	63,7207593	2,81	0,144470757	11,1039283	9,205786	
0,8030593	1277,8072	103,302	36,05	1362,4	2,64607E-05	53,0599057	2,79	0,173114458	8,797296	9,185437	
0,8100289	1362,5897	103,248	44,018	1369,2	3,21487E-05	43,6720614	2,78	0,21061969	9,3809961	9,198196	
0,8179163	1178,3468	103,228	44,018	1369,2	3,21487E-05	43,6720614	2,78	0,21061969	8,1125428	9,198196	
0,8251473	1258,9582	103,256	54,442	1376	3,95654E-05	35,4855442	2,76	0,258622926	8,6675261	9,177375	
0,8333333	1212,6801	103,308	68,295	1382,9	4,93853E-05	28,4294839	2,74	0,32207969	8,34891654	9,156559	
0,8416834	1057,468	103,392	87,027	1389,8	6,26184E-05	22,4215381	2,72	0,407424165	7,28033061	9,135076	
0,8493428	1023,7632	103,626	87,027	1389,8	6,26184E-05	22,4215381	2,72	0,407424165	7,04828378	9,135076	
0,8571429	886,83566	103,996	112,848	1396,8	8,07904E-05	17,3783071	2,71	0,526365026	6,10558116	9,147333	
0,8641975	754,82674	104,506	140,175	1403,2	9,98967E-05	14,0545233	2,7	0,651415663	5,19674174	9,155337	
0,8704663	946,78636	105,292	176,471	1409,7	0,000125183	11,215547	2,68	0,814014251	6,5183226	9,129615	
0,8786611	834,60161	106,508	165,271	1409,2	0,00011728	11,9713489	2,69	0,765196196	5,74596634	9,160431	
0,8860759	1042,7633	107,862	210,191	1415,8	0,000148461	9,45703289	2,68	0,969555731	7,17909315	9,16912	
0,8955224	941,42295	109,2	251,987	1422	0,000177206	7,92298015	2,68	1,162349673	6,48139723	9,209273	
0,9041981	646,15742	110,532	328,661	1428,7	0,000230042	6,10323342	2,67	1,510369828	4,44858808	9,21814	
0,9100758	346,64547	111,682	435,438	1435,5	0,000303335	4,62853954	2,66	1,993571566	2,38654366	9,227325	
0,9130435	383,89035	112,378	399,886	1435,1	0,000278647	5,03863701	2,66	1,830803373	2,6429628	9,224754	

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40_dev/dak										
Cşker	h(W/m2C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k.vizk.(m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1261,67475	105,906	7,665	1295,9	5,91481E-06	237,370333	2,98	0,03931446	26,05868675	9,332085935
0,71005917	964,810103	105,906	8,607	1302,2	6,60958E-06	212,418822	2,96	0,04384978	19,92723105	9,314517811
0,71794872	964,810103	105,906	8,607	1302,2	6,60958E-06	212,418822	2,96	0,04384978	19,92723105	9,314517811
0,72601556	928,15711	106,144	9,432	1308	7,21101E-06	194,70229	2,95	0,04789053	19,17019848	9,324396558
0,73362445	888,506692	106,168	10,697	1314,4	8,13831E-06	172,517304	2,93	0,05394528	18,35125698	9,306494954
0,74074074	849,043716	106,5	12,207	1320,9	9,24143E-06	151,924601	2,91	0,06114005	17,5361869	9,288677928
0,74733096	885,41172	106,742	12,207	1320,9	9,24143E-06	151,924601	2,91	0,06114005	18,28733329	9,288677928
0,7540395	812,693723	106,892	14,023	1327,4	1,05643E-05	132,90092	2,9	0,06999432	16,78541253	9,302309535
0,760181	813,323963	107,068	15,67	1333,4	1,17519E-05	119,469917	2,89	0,07794544	16,79842952	9,312135119
0,76642336	810,338999	107,372	15,67	1333,4	1,17519E-05	119,469917	2,89	0,07794544	16,73677796	9,312135119
0,77276909	789,35098	107,548	18,243	1340	1,36142E-05	103,127775	2,87	0,09011602	16,30329046	9,29346506
0,77922078	770,056056	107,896	18,243	1340	1,36142E-05	103,127775	2,87	0,09011602	15,90477224	9,29346506
0,7857811	836,928839	108,23	20,621	1346	1,53202E-05	91,6436642	2,86	0,10150785	17,28596569	9,302551188
0,79320113	824,175013	108,654	24,382	1352,8	1,80234E-05	77,898909	2,84	0,11918224	17,02254759	9,284166279
0,80076263	730,173617	109,076	27,93	1359	2,05519E-05	68,3149302	2,83	0,13604458	15,08103856	9,293875869
0,80769231	808,945214	109,618	27,93	1359	2,05519E-05	68,3149302	2,83	0,13604458	16,70799065	9,293875869
0,81553398	808,733891	110,112	32,202	1365,2	2,35878E-05	59,5224148	2,82	0,15629886	16,70362597	9,303285811
0,82352941	809,552899	110,742	39,121	1372,1	2,85118E-05	49,242821	2,8	0,18853494	16,7205418	9,283992289
0,83168317	729,743904	111,358	45,857	1378,5	3,32659E-05	42,2054212	2,79	0,22020831	15,07216324	9,293984613
0,83916084	815,367242	112,032	43,727	1378	3,17322E-05	44,2452489	2,8	0,21073253	16,8406315	9,323913253
0,84762866	822,959274	112,808	54,189	1384,9	3,91285E-05	35,8818137	2,78	0,25928644	16,99743768	9,303667621
0,85626911	662,248888	113,606	64,581	1391,5	4,64111E-05	30,2514052	2,77	0,30789909	13,67811817	9,314380069
0,86330935	751,015526	114,404	77,66	1398,1	5,55468E-05	25,2759773	2,76	0,36891842	15,51150829	9,324773535
0,87136929	757,796827	115,408	94,267	1404,7	6,71083E-05	20,9214126	2,75	0,44618632	15,65156957	9,334848021
0,87958115	753,19902	116,382	88,833	1404,3	6,32579E-05	22,1948735	2,76	0,42199497	15,55660626	9,366125081
0,88794926	678,07841	117,408	108,452	1411,4	7,684E-05	18,2717294	2,75	0,51332702	14,00506182	9,379372461
0,89552239	705,664237	118,444	133,638	1417,9	9,42507E-05	14,8964486	2,74	0,63023773	14,57482074	9,388303931
0,90322581	470,291116	119,386	166,156	1424,8	0,000116617	12,0394039	2,73	0,78073301	9,713413763	9,399560096
0,90810811	413,894215	120,166	154,583	1424,5	0,000108517	12,9380204	2,73	0,72635386	8,548589628	9,397580964
0,91205212	333,920437	120,61	208,277	1431,9	0,000145455	9,65247051	2,72	0,97506616	6,896807655	9,41179737

Ek D2. Paralel Levha yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80 dev/dak										
Cşeker	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1146,8209	105,846	7,665	1295,9	5,91481E-06	474,7406654	2,98	0,039314458	23,68649076	18,66417187
0,7070707	1433,5262	105,846	7,665	1295,9	5,91481E-06	474,7406654	2,98	0,039314458	29,60811345	18,66417187
0,7161125	1433,5262	105,846	8,607	1302,2	6,60958E-06	424,8376438	2,96	0,043849776	29,60811345	18,62903562
0,7253886	1390,1162	105,996	9,716	1308,6	7,42473E-06	378,1956361	2,94	0,049165301	28,71152145	18,59410236
0,7349081	1210,4156	106,19	10,697	1314,4	8,13831E-06	345,0346078	2,93	0,053945284	24,99997854	18,61298991
0,7433628	1260,4524	106,53	12,207	1320,9	9,24143E-06	303,8492013	2,91	0,061140052	26,03344065	18,57735586
0,7520143	1112,2289	106,72	14,023	1327,4	1,05643E-05	265,8018398	2,9	0,06999432	22,97202445	18,60461907
0,7594937	1060,8216	106,944	14,023	1327,4	1,05643E-05	265,8018398	2,9	0,06999432	21,91025628	18,60461907
0,7664234	1105,8719	107,3	15,067	1333,4	1,12997E-05	248,5025022	2,89	0,074946007	22,84072742	18,62427024
0,7734807	1018,8146	107,63	18,243	1340	1,36142E-05	206,2555501	2,87	0,090116024	21,04264213	18,58693012
0,7799443	1107,6414	107,948	18,243	1340	1,36142E-05	206,2555501	2,87	0,090116024	22,87727437	18,58693012
0,787254	884,5347	108,278	20,621	1346	1,53202E-05	183,2873285	2,86	0,101507849	18,26921917	18,60510238
0,7932011	985,42918	108,714	24,382	1352,8	1,80234E-05	155,7978181	2,84	0,119182238	20,35309832	18,56833256
0,8	1078,9148	109,022	27,93	1359	2,05519E-05	136,6298604	2,83	0,136044578	22,28395457	18,58775174
0,8076923	954,19564	109,458	27,93	1359	2,05519E-05	136,6298604	2,83	0,136044578	19,70799955	18,58775174
0,814743	956,26931	109,778	33,627	1365,8	2,46207E-05	114,0502097	2,81	0,162636609	19,75082903	18,54873939
0,8219178	937,39486	110,206	39,121	1372,1	2,85118E-05	98,48564198	2,8	0,18853494	19,36099546	18,56798458
0,8292201	1012,7365	110,62	39,121	1372,1	2,85118E-05	98,48564198	2,8	0,18853494	20,91710573	18,56798458
0,8374875	894,7594	111,078	45,857	1378,5	3,32659E-05	84,4108424	2,79	0,220208313	18,48040077	18,58796923
0,8450704	879,01866	111,566	56,998	1385,4	4,11419E-05	68,25157374	2,77	0,271746059	18,15529068	18,54709615
0,8527919	870	112,176	68,119	1392	4,89361E-05	57,38099502	2,76	0,323594561	17,96901893	18,5681779
0,8615385	860,39665	112,918	86,99	1399	6,21801E-05	45,15912174	2,75	0,411742685	17,7067098	18,59393804
0,8695652	800	113,676	82,17	1398,5	5,87558E-05	47,79101862	2,75	0,388928571	16,5232358	18,5872926
0,8786611	746,50497	114,59	100,091	1405,2	7,1229E-05	39,42214185	2,74	0,472029845	15,41834703	18,60842751
0,8860759	750	115,6	123,164	1411,9	8,72328E-05	32,18972427	2,73	0,57872241	15,49053356	18,6289148
0,8945687	740	116,666	153,133	1417,8	0,000108007	25,99820026	2,72	0,716904923	15,28399312	18,63823774
0,9022556	730,6063	117,594	192,367	1425,6	0,000134938	20,80962327	2,71	0,897271205	15,08997524	18,67187575
0,9090909	701,35977	118,402	178,719	1425,2	0,000125399	22,39247981	2,72	0,836687917	14,485916	18,7355173
0,9150327	556,00948	119,142	225,358	1432,2	0,000157351	17,84546189	2,71	1,051153494	11,48384472	18,75831961
0,9190372	624,01472	119,4725	225,358	1432,2	0,000157351	17,84546189	2,71	1,051153494	12,8884279	18,75831961

Ek D2. Paralel Levha yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=12 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120 dev/dak												
Cşeker	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe		
0,7	1724,5086	104,14	7,881	1296,5	6,07867E-06	692,914351	2,97	0,040286695	35,6180778	27,91523		
0,7088608	1839,4758	104,14	7,881	1296,5	6,07867E-06	692,914351	2,97	0,040286695	37,9926163	27,91523		
0,7185629	1609,5414	104,14	8,858	1302,9	6,79868E-06	619,532039	2,96	0,045128537	33,2435393	27,95857		
0,7272727	1722,3172	103,986	10,32	1309,9	7,87846E-06	534,621977	2,93	0,052044062	35,5728158	27,8239		
0,7361963	1574,3726	103,654	11,747	1316,3	8,92426E-06	471,972044	2,92	0,059038279	32,5171628	27,86442		
0,7440213	1776,2749	102,946	13,913	1323,3	1,05139E-05	400,613786	2,89	0,0692058	36,6872603	27,7248		
0,7526882	1705,4545	102,28	16,075	1329,8	1,20883E-05	348,436554	2,87	0,079406627	35,2245345	27,66817		
0,7608696	1439,5335	101,508	19,415	1337	1,45213E-05	290,056348	2,85	0,095237091	29,7321884	27,62412		
0,7678245	1593,3853	100,934	20,147	1337,6	1,50621E-05	279,643183	2,85	0,098827797	32,9098505	27,63652		
0,7756233	1434,5911	100,508	23,736	1344,2	1,76581E-05	238,53094	2,83	0,115615972	29,6301088	27,57799		
0,7828518	1384,6343	100,08	28,227	1350,8	2,08965E-05	201,5648	2,81	0,13651957	28,5982981	27,51754		
0,7902164	1318,7918	99,782	35,41	1358,1	2,60732E-05	161,545247	2,79	0,170041136	27,2383846	27,46934		
0,7977208	1117,1772	99,632	35,41	1358,1	2,60732E-05	161,545247	2,79	0,170041136	23,0742276	27,46934		
0,8045977	1170,5262	99,756	43,121	1364,8	3,15951E-05	133,311788	2,77	0,205585491	24,1761011	27,40697		
0,8123791	990,2282	99,99	53,173	1371,6	3,87671E-05	108,648735	2,75	0,251679432	20,4522176	27,34465		
0,8195122	947,39939	100,738	50,682	1371	3,69672E-05	113,938913	2,76	0,240761308	19,5676295	27,43208		
0,8267717	720,11406	101,924	60,098	1377,2	4,36378E-05	96,5217877	2,75	0,284456971	14,873268	27,4563		
0,8325074	810,30631	103,34	68,295	1382,9	4,93853E-05	85,2884516	2,74	0,32207969	16,7361027	27,46968		
0,8391608	796,57646	104,748	64,862	1382,9	4,69029E-05	89,8025778	2,75	0,307006024	16,4525259	27,56993		
0,8459215	803,37099	106,47	73,958	1388,1	5,328E-05	79,0540198	2,74	0,348786437	16,5928603	27,57297		
0,8527919	716,13925	108,198	84,772	1394	6,08121E-05	69,2625867	2,74	0,399785336	14,7911722	27,69017		
0,8588957	722,84301	109,652	80,196	1393,5	5,75501E-05	73,1884633	2,74	0,378204888	14,9296318	27,68023		
0,8650875	734,24544	110,972	97,661	1400	6,97579E-05	60,3802951	2,73	0,458889036	15,1651382	27,70786		
0,8713693	749,74955	112,258	113,041	1406,2	8,03876E-05	52,3961607	2,73	0,531156506	15,4853607	27,83056		
0,8777429	972,50438	113,25	106,337	1405,7	7,5647E-05	55,6796637	2,74	0,501486024	20,0861489	27,92257		
0,8860759	1094,7616	114,092	131,374	1412,4	9,30147E-05	45,2831519	2,73	0,617299518	22,6112544	27,95327		
0,8955224	1017,3849	114,764	175,94	1419,6	0,000123936	33,985195	2,71	0,82064957	21,0131136	27,88994		
0,9041981	953,97994	115,174	223,347	1426,5	0,00015657	26,901718	2,7	1,03792926	19,7035443	27,92208		
0,9120521	764,77084	115,072	311,259	1433,8	0,000217087	19,4023807	2,6	1,392897418	15,7956113	27,02553		
0,9180328	533,14086	115,095	311,259	1433,8	0,000217087	19,4023807	2,6	1,392897418	11,0115153	27,02553		

Ek D2. Paralel Levha yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=40 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

40 dev/dak										
Çşeker	h(W/m2C)	f _{Ta} (C)	d. vizk. (mPa.s)	yoğunluk(kg/m3)	k. vizk. (m2/s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	994,481733	104,766	7,881	1296,5	6,07867E-06	76,9904834	2,97	0,0402867	6,846690073	3,101692151
0,70766639	917,983138	104,766	7,881	1296,5	6,07867E-06	76,9904834	2,97	0,0402867	6,320021606	3,101692151
0,71489362	800	104,766	8,858	1302,9	6,79868E-06	68,8368932	2,96	0,04512854	5,507745267	3,106508282
0,72727273	735,056366	104,974	10,012	1309,2	7,64742E-06	61,1971235	2,94	0,05066313	5,060629028	3,100437976
0,73298429	767,730011	105,208	11,033	1315	8,39011E-06	55,7799329	2,93	0,05563974	5,285576667	3,103581067
0,73878628	780,62645	105,35	11,033	1315	8,39011E-06	55,7799329	2,93	0,05563974	5,374364545	3,103581067
0,74468085	687,979854	105,592	12,606	1321,5	9,53916E-06	49,0609234	2,91	0,06313849	4,736522229	3,097632392
0,75	761,62738	105,82	14,502	1328	1,09202E-05	42,8564336	2,89	0,07213559	5,243561996	3,091474286
0,75607561	826,324953	106,028	14,023	1327,4	1,05643E-05	44,3003066	2,9	0,06999432	5,688984184	3,100769845
0,76294278	728,094124	106,244	16,225	1333,9	1,21636E-05	38,4755131	2,88	0,08042685	5,012696205	3,09446433
0,76923077	874,232737	106,54	16,225	1333,9	1,21636E-05	38,4755131	2,88	0,08042685	6,018814021	3,09446433
0,77705828	699,070988	106,756	18,92	1340,6	1,41131E-05	33,1607188	2,86	0,0931346	4,812881158	3,088410134
0,78358209	771,219391	107,084	21,417	1346,6	1,59045E-05	29,4256338	2,85	0,10505757	5,309599939	3,09138568
0,79096045	766,589919	107,418	25,372	1353,3	1,87482E-05	24,9623364	2,83	0,12358478	5,2772727495	3,084964978
0,79847909	688,1056	107,844	25,372	1353,3	1,87482E-05	24,9623364	2,83	0,12358478	4,737387954	3,084964978
0,80536913	764,18527	108,192	29,112	1359,5	2,14138E-05	21,8551113	2,82	0,14130093	5,261172257	3,088147539
0,81316554	767,384607	108,684	35,131	1366,3	2,57125E-05	18,2012581	2,81	0,16991069	5,283198671	3,092588303
0,82111437	768,907447	109,172	40,954	1372,6	2,98368E-05	15,685325	2,8	0,19736867	5,293682941	3,095791807
0,82922014	695,577099	109,766	40,954	1372,6	2,98368E-05	15,685325	2,8	0,19736867	4,788826844	3,095791807
0,83665339	694,536768	110,37	48,115	1379	3,48912E-05	13,4131144	2,78	0,23022324	4,781664494	3,088010602
0,84422111	695,112813	111,058	56,998	1385,4	4,11419E-05	11,3752623	2,77	0,27174606	4,785630384	3,091182692
0,85192698	692,168825	111,724	71,889	1392,5	5,16259E-05	9,06522556	2,76	0,34150368	4,76536196	3,095807917
0,85977482	687,829924	112,492	68,119	1392	4,89361E-05	9,56349917	2,76	0,32359456	4,735490011	3,094696317
0,8677686	680,959778	113,256	82,17	1398,5	5,87558E-05	7,96516977	2,75	0,38892857	4,68819124	3,0978821
0,87591241	596,686569	114,112	100,91	1405,7	7,17863E-05	6,51934992	2,74	0,47589225	4,107997031	3,102508131
0,88328076	586,942127	115,13	123,164	1411,9	8,72328E-05	5,36495405	2,75	0,58296213	4,040909651	3,12756506
0,89077413	584,019422	116,276	153,133	1418,7	0,000107939	4,33578393	2,72	0,71690492	4,020787756	3,10834484
0,89839572	522,955873	117,464	143,007	1418,3	0,00010083	4,64148189	2,73	0,6719606	3,600384667	3,118892964
0,90517241	392,726858	118,688	178,719	1425,2	0,000125399	3,73207997	2,72	0,83668792	2,703799368	3,122586217
0,91007584	242,019759	119,35	225,358	1432,2	0,000157351	2,97424365	2,71	1,05115349	1,666228974	3,126386602

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=80 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

80_dev/dak										
Çeşer	h(W/m ² C)	f _{Ta} (C)	d.vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k.vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe
0,7	1342,6635	105,278	7,665	1295,9	5,91481E-06	158,2468885	2,98	0,039314458	9,243810933	6,221390623
0,7088608	1253,1526	105,278	7,665	1295,3	5,91755E-06	158,1736204	2,98	0,039314458	8,627556871	6,218510127
0,7173356	1253,1526	105,278	8,607	1302,2	6,60958E-06	141,6125479	2,96	0,043849776	8,627556871	6,20967854
0,7260156	1028,2473	105,464	9,716	1308,6	7,42473E-06	126,065212	2,94	0,049165301	7,079155361	6,19803412
0,7329843	1081,1397	105,666	11,033	1315	8,39011E-06	111,5598659	2,93	0,055639742	7,443302294	6,207162134
0,7400881	1033,5696	105,878	12,606	1321,5	9,53916E-06	98,12184674	2,91	0,063138485	7,115797292	6,195264785
0,7466667	962,39546	106,182	12,207	1320	9,24773E-06	101,2140575	2,91	0,061140052	6,625786323	6,188232702
0,7526882	1084,3595	106,364	14,023	1327,4	1,05643E-05	88,60061328	2,9	0,06999432	7,465469952	6,20153969
0,7594937	982,00492	106,572	14,023	1327,4	1,05643E-05	88,60061328	2,9	0,06999432	6,760791158	6,20153969
0,7657247	971,99374	106,796	16,225	1333,9	1,21636E-05	76,95102619	2,88	0,08042685	6,69186743	6,188928661
0,7720588	955,28293	107,034	18,243	1340	1,36142E-05	68,75185002	2,87	0,090116024	6,576818815	6,195643373
0,7784986	1044,7719	107,294	18,243	1340	1,36142E-05	68,75185002	2,87	0,090116024	7,192922218	6,195643373
0,7857811	915,11958	107,566	21,417	1346,6	1,59045E-05	58,85126768	2,85	0,105057573	6,300306924	6,18277136
0,7924528	990,30348	107,956	25,372	1353,3	1,87482E-05	49,92467287	2,83	0,123584785	6,817924141	6,169929955
0,8	969,27268	108,328	29,112	1359,5	2,14138E-05	43,71022259	2,82	0,141300929	6,673133747	6,176295077
0,8076923	950,93227	108,782	29,112	1359,5	2,14138E-05	43,71022259	2,82	0,141300929	6,546865885	6,176295077
0,815534	929,54485	109,252	33,627	1365,8	2,46207E-05	38,01673655	2,81	0,162636609	6,399620301	6,182913129
0,8235294	918,28159	109,732	40,954	1372,6	2,98368E-05	31,37065	2,8	0,197368675	6,32207635	6,191583614
0,8316832	820,20901	110,318	48,115	1379	3,48912E-05	26,82622883	2,78	0,230223236	5,646877852	6,176021205
0,8391608	725,0228	111,008	45,857	1378,5	3,32659E-05	28,13694747	2,79	0,220208313	4,991551087	6,195989742
0,8459215	902,92665	111,716	56,998	1385,4	4,11419E-05	22,75052458	2,77	0,271746059	6,216362513	6,182365384
0,854527	810,26525	112,396	68,119	1392	4,89361E-05	19,12699834	2,76	0,323594561	5,578418276	6,189392633
0,862423	799,75996	113,19	82,17	1398,5	5,87558E-05	15,93033954	2,75	0,388928571	5,506092679	6,1957642
0,8704663	790,55017	114,012	100,091	1405,2	7,1229E-05	13,14071395	2,74	0,472029845	5,442686203	6,20280917
0,8786611	692,21879	114,858	100,091	1405,2	7,1229E-05	13,14071395	2,74	0,472029845	4,765705929	6,20280917
0,8860759	774,56836	115,81	123,164	1411,9	8,72328E-05	10,72990809	2,73	0,57872241	5,332656538	6,209638265
0,8945687	801,48907	116,916	153,133	1418,7	0,000107939	8,671567853	2,72	0,716904923	5,517997065	6,21668968
0,9032258	385,79567	118,066	178,719	1425,2	0,000125399	7,464159938	2,72	0,836687917	2,656080365	6,245172434
0,9071274	324,54074	118,976	178,719	1425,2	0,000125399	7,464159938	2,72	0,836687917	2,234359685	6,245172434
0,9100758	233,34923	119,5475	225,358	1432,2	0,000157351	5,948487296	2,71	1,051153494	1,60653514	6,252773205

Ek D2. Paralel Levha akışı yaklaşımı için 3. Tip Kanat, n=120 dev/dak, x=4 mm boşluk için ölçülen ve hesaplanan verilere ait excel tablosu

120_dev/dak											
Cşeker	h(W/m ² C)	f_Ta (C)	d_vizk.(mPa.s)	yoğunluk(kg/m ³)	k_vizk.(m ² /s)	Re	Cp	Pr	Nu	Pe	
0,7	1555,9321	103,862	8,105	1297,2	6,24807E-06	224,709291	2,97	0,041431756	10,7120973	9,3101	
0,7076664	1675,6192	103,862	8,105	1297,2	6,24807E-06	224,709291	2,97	0,041431756	11,5361048	9,3101	
0,7161125	1436,245	103,862	9,12	1303,5	6,99655E-06	200,670395	2,95	0,046306368	9,8880898	9,292317	
0,7235142	1515,7241	103,602	10,32	1309,9	7,87846E-06	178,207326	2,93	0,052044062	10,4352779	9,274633	
0,7310705	1569,5937	103,014	11,747	1316,3	8,92426E-06	157,324015	2,92	0,059038279	10,8061532	9,288139	
0,7387863	1618,404	102,23	12,127	1316,9	9,20875E-06	152,463726	2,91	0,060739363	11,1421964	9,26055	
0,7466667	1627,5274	101,252	14,388	1324	1,08671E-05	129,197665	2,89	0,071568537	11,2050082	9,246488	
0,754717	1474,6661	100,254	17,248	1331,1	1,29577E-05	108,352528	2,86	0,084904096	10,1526065	9,199573	
0,7622505	1433,2434	99,252	20,915	1338,2	1,56292E-05	89,8318336	2,84	0,102235112	9,86742413	9,183968	
0,7699358	1263,9318	98,566	21,721	1338,9	1,6223E-05	86,543695	2,83	0,105801084	8,70176788	9,156417	
0,7770583	1210,7585	98,074	25,682	1345,4	1,90887E-05	73,5511876	2,82	0,124652737	8,33568668	9,168357	
0,7843137	1051,1899	98,064	30,659	1352	2,26768E-05	61,9135653	2,8	0,147754217	7,23710765	9,14799	
0,7909605	1016,0537	98,386	36,99	1358,7	2,72246E-05	51,5710949	2,78	0,176991738	6,995206	9,127658	
0,7977208	1001,9219	99,21	35,41	1358,1	2,60732E-05	53,8484157	2,79	0,170041136	6,89791353	9,156446	
0,8045977	869,41779	100,118	41,204	1364,2	3,02038E-05	46,4842442	2,78	0,197155112	5,98566467	9,164606	
0,8108108	967,79457	101,394	48,332	1370,4	3,52685E-05	39,8088554	2,76	0,229597797	6,66295747	9,140026	
0,8179163	842,64568	102,51	46,113	1369,8	3,3664E-05	41,706226	2,77	0,219850275	5,8013472	9,169125	
0,8243376	826,70789	103,828	54,442	1376	3,95654E-05	35,4855442	2,76	0,258622926	5,6916206	9,177375	
0,8308605	711,09601	105,22	61,634	1381,7	4,46074E-05	31,4746212	2,75	0,291727194	4,89566964	9,182003	
0,8366534	711,48604	106,756	58,597	1381,2	4,24247E-05	33,0939263	2,76	0,278360964	4,89835487	9,212057	
0,8425276	607,42633	108,146	66,535	1387	4,79704E-05	29,2680243	2,75	0,314924699	4,1819369	9,217224	
0,8476287	1018,3662	109,56	63,159	1386,5	4,55528E-05	30,8213556	2,76	0,300032427	7,01112722	9,247406	
0,8562691	820,39944	110,728	75,908	1393	5,44925E-05	25,7650314	2,75	0,359289157	5,64818891	9,257096	
0,8633094	1023,0577	111,606	92,145	1399,5	6,58414E-05	21,3239785	2,74	0,434556454	7,04342631	9,266472	
0,8722741	923,96007	112,51	113,041	1406,2	8,03876E-05	17,4653869	2,73	0,531156506	6,36117085	9,276854	
0,8805031	820,29692	113,328	140,22	1412,8	9,92497E-05	14,1461361	2,72	0,656451635	5,6474831	9,286254	
0,8879493	732,41841	114,17	131,374	1412,4	9,30147E-05	15,094384	2,73	0,617299518	5,04246755	9,317756	
0,8945687	981,9213	114,774	175,94	1419,6	0,000123936	11,3283983	2,71	0,82064957	6,76021552	9,296645	
0,9032258	561,43338	114,594	240,923	1426,9	0,000168844	8,31538541	2,69	1,11546105	3,86529004	9,275489	
0,9081081	342,45093	114,6475	240,923	1426,9	0,000168844	8,31538541	2,69	1,11546105	2,35766565	9,275489	

ÖZGEÇMİŞ

Ufuk Durmaz, 25.05.1977'de İstanbul'da doğdu. İlk ve ortaokulu Bahçelievler'de tamamladı. 1994 yılında Bakırköy Ticaret Meslek Lisesi, Muhasebe Bölümünden mezun oldu. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne girdi. Bir yıl İngilizce hazırlık okudu. 2000 yılında çift anadal programı kapsamında Makine Mühendisliği Bölümüne başladı. 2002 yılında Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden, 2003 yılında Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2007 yılında Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansını tamamlayarak doktora eğitimine başladı. Halen Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.