

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

AKIŞKAN YATAK VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Asiye ASLAN

98328

Balıkesir, Eylül - 2000

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

AKIŞKAN YATAK VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Asiye ASLAN

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer MERTBAŞ

Sınav Tarihi: 13.10.2000

Jüri Üyeleri:Yard.Doç Dr. Ömer Samih MERTBAŞ

Prof. Sabri SAVAŞ

Yard.Doç.Dr. İlhami HORUZ

Balıkesir, Eylül - 2000

## ÖZET

### AKIŞKAN YATAK VE UYGULAMALARI

Asiye ASLAN

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi/Tez Danışmanı:Yard.Doç.Dr.Ömer S. MERTBAŞ)

Balıkesir, 2000

Bu çalışmada akışkan yatak sistemlerin temel çalışma prensibi tanıtılmış ve bunların tasarımı için akışkanlar mekaniği esasları biraraya toplanmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarla teorikte elde edilen bilgiler uygulamaya konulmuştur.

Akışkan yatak teknolojisi bir çok proste kullanılmaktadır. Mesela kömür yakılmasında ve gazlaştırılmasında, kuru atık gaz temizlenmesinde, kurutmada, kireç imalinde, cevherin redüksiyonunda, kavurmada iki fazlı akımın modellenmesinde olduğu gibi, temel anlamda tesislerin ısı ve reaksiyon tekniği hesap ve düşünceleri için kullanılmaktadır.

Akışkan yatak modelleri için şimdiye kadar yapılan yayınlarda genellikle ortalama partikül çapı ile hesap yapıldı, ender durumlarda tane büyüklüğü dağılımı dikkate alındı. Şimdiye kadar boşluk dağılımı amprik olarak bulundu. Tek boyutlu model yardımı ile uygun gözeneklilik ve basınç dağılımları akışkan yatak yüksekliği üzerine hesaplandı. Modellerde birkaç basitleştirme yapılarak ideal hale yaklaştırıldı. Akışkan yatak reaktöründe kesit yüzeyinde herhangi bir değişme olmamakta, yerdeğıştiren partiküller zamana bağı gecikme olmaksızın ayırma siklonunda ayrılmakta ve hemen tekrar üstte olan tabaka akışkan yatağa geri dönmektedir.

Modelin sürekliliği nedeni ile akışkan yatakta katı madde sirkülasyonu ile kesit değışimine yönelinmektedir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** akışkan yatak - partikül çapı - tane büyüklüğü - boşluk dağılımı - gözeneklilik - basınç dağılımı - ayırma siklonu

## **ABSTRACT**

### **FLUIDIZED BED AND APPLICATIONS**

**Asiye ASLAN**

**Balıkesir University, Institute of Science,  
Department of Mechanical Engineering**

**(Msc. Thesis Supervisor: Assist.Yard.Doç.Dr.Ömer S. MERTBAŞ)**

**Balıkesir - Turkey, 2000**

By this work, the principles of fluidized bed system is analyzed in order to obtain the basic design criteria. And also, related theoretical analyses on fluid mechanics are presented. Later on, in order to improve related estimation technique, some experimental works are performed.

Fluidized bed system is used in many processes such that, coal combustion, coal gasification, solid waste cleaning, drying, lime production, reduction of metals, etc. The technique used in two phase flow, basically can be applied in calculations and estimations of heat and reaction technique.

As a result of our literature surveying works, it may be stated that, up to now, the modelling procedure was depended on average particular diameter, rarely, in some cases, was depended on the distribution of particul diameter and the distribution of gap between particuls was been estimated empirically. In this work, by one dimensional model, the adequate gap distribution and pressure distribution are estimated by depending on bed height and then result are improved by some simplifications. During operation, no change in cross-section of bed reactor is observed and the displaced particuls flow towards the cyclone seperater is realized without any delay and upper layer is regularly returned back to the bed.

Continuity of the model lets to correlation between flow rate of solid material and cross section area.

**KEY WORDS:** fluidized bed - diameter of particul - grain size - gap distribution - gap size - pressure distribution - cyclon seperater

## İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
2. AKIŞKAN YATAK TEKNİĞİ	10
3. AKIŞKAN YATAK PRENSİBİNİN TEKNİK KULLANIMI	14
4. AKIŞKAN YATAKTA KABARCİK TEŞEKKÜLÜ	23
5. AKIŞKAN YATAKTA ISI TRANSFER MEKANİZMASI	36
5.1 Taneciklerle Akışkanlaştırma Ortamı Arasındaki Isı Transferi	36
5.2 Akışkan Yataktaki Bir Yüzeğe Isı Transferi	37
5.2.1 Tanecik Taşınımı ile Isı Transferi	37
5.2.2 Gaz Taşınımı ile Isı Transferi	38
5.2.3 Işınım ile Isı Transferi	38
5.3 Isı Transfer Katsayısını Etkileyen Faktörler	40
5.3.1 Akışkan Hızının, Tanecik Boyutunun ve Şeklinin Etkisi	40
5.3.2 Akışkanın Katı Taneciğin Termofiziksel Özelliklerinin Etkisi	41
5.3.3 Akışkan Yatak Ölçülerinin ve Isı Transfer Yüzeyinin Etkisi	41
5.3.4 Isı Transferi Tüp Çaplarının Etkisi	42
5.3.5 Boşluk Oranı	42
5.3.6 Mekanik Hareketlendirme	42
6. AKIŞKAN YATAK BOYUTLANDIRILMASI	43
7. AKIŞKAN YATAKTA DAĞITICI ELEK	52
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	56
8.1 Deney Cihazının Tanıtımı	58
8.2 Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar	60
9. SONUÇLAR	63

EK:1	1.Grup (100) Deney Tabloları ve Grafikleri	65
EK:2	2. Grup (80) Deney Tabloları ve Grafikleri	82
EK:3	3. Grup (60) Deney Tabloları ve Grafikleri	99
EK:4	4. Grup (54) Deney Tabloları ve Grafikleri	116

10. KAYNAKÇA		133
--------------	--	-----



## SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
f	Kaldırma kuvveti	N
$\Delta p$	Basınç düşüşü	$N/m^2$
H	Tabaka yüksekliği	cm
$\varepsilon$	Gözeneklilik	-
$\rho$	Yoğunluk	$g/cm^3$
$D_B$	Yatak çapı	cm
$V_b$	Kabarcık hacmi	$cm^3$
u	Gaz hızı	cm/s
$u_L$	Gevşeme hızı	cm/s
$T_h$	Bekleme zamanı	sn
h	Tabaka yüksekliği	cm (m)
$d_p$	Tane büyüklüğü	mm
$k, n$	Sabit sayı	-
Ar	Archimed sayısı	-
Re	Reynold sayısı	-
m	Kütle	g
h	Isı transfer katsayısı	$W/m^2K$
$c_p$	Özgül ısı	$j/kgK$
t	Sıcaklık	$^{\circ}C$
v	Yüzeysel hız	m/s

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No:	Adı	Sayfa
Şekil 2.1	Winkler Generatörü	12
Şekil 2.2	Akışkan yatak çeşitleri	12
Şekil 3.1	Akışkan yatakta tuz kurutulması	17
Şekil 3.2	Kellogg-Orthlow prosesine göre akışkan yatakta katalitik kraking	17
Şekil 3.3	Akışkan -Coking prosesi	18
Şekil 3.4	VAW / Lurgi sistemine göre genleşen akışkan yatakta $Al(OH)_3$ kavurma	18
Şekil 3.5	Yağ çamurunun akışkan yatakta yakılması	21
Şekil 3.6	Basınçlı - Akışkan yatak yakmalı Gaz-Buhar türbini prosesi	21
Şekil 3.7	Demir cevherinin akışkan yatakta HIB prosesi ile direkt redüksiyonu	22
Şekil 4.1	Gaz dağılımında yatak çapının etkisi	25
Şekil 4.2	Ortalama bekleme zamanı $T_h$ 'ın gaz kabarcık çapı $D_B$ 'ye etkisi	25
Şekil 4.3	r Boru eksen açıklığında yüzey yaratan V gaz akımının, kuars kumu akışkan yatağında lokal taşınan kabarcıkların, farklı $D_B$ kabarcık çapına bağlılığı	26
Şekil 4.4	V Ortalama lokal kabarcık hacminin, tabandan olan yükseklik h ve $D_B=100$ cm çapındaki kuars kumu akışkan yatağındaki f kabarcık frekansı ölçme değerleri	26
Şekil 4.5	Sürekli geçiş halindeki akışkan yatak	28
Şekil 4.6	Türbülanslı tabakada basınç düşüşünün debiye bağlılığı	30
Şekil 4.7	Akışkan yatağın oluşması ve şekilleri	31
Şekil 4.8	Akışkan yatak kolonu	32
Şekil 4.9	Yatay akışkan ayatak kurutucusu	32
Şekil 6.1	Tanecik büyüklüğü dağılımı ve bir akışkan yatak şekli	44
Şekil 6.2	Akışkan yatak yükseklik- Gözeneklilik bağıntısı	48
Şekil 6.3	Akışkan yatak yükseklik- Basınç kaybı bağıntısı	49
Şekil 6.4	Gaz hızı- Gözeneklilik bağıntısı	51
Şekil 7.1	Dağıtıcı elekte deliklerin yerleşim düzeni	54
Şekil 7.2	Dağıtıcı elek tipleri	55
Şekil 8.1	Deneysel çalışmaların yapıldığı akışkan yatak fotoğrafı	56
Şekil 8.2	Deneysel çalışmaların yapıldığı akışkan yatak şekli	57
Çizelge 8.1	Taneli materyal sıcaklık değerleri	61



## ÖNSÖZ

Enerji kaynaklarının en iyi değerlendirilmesine katkısı, akışkan yatak sistemlerinin kullanıldığı çok sayıda değişik şekillerde dönüşüm proseslerinin bulunması gibi nedenlerle bugüne kadar çeşitli akışkan yatakların geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Bu çalışmada akışkan yatak sistemlerinin temel çalışma prensibi tanıtılmış ve bunların tasarımı için akışkanlar mekaniği esasları bir araya toplanmıştır. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalar teorikte elde edilen bilgileri desteklemiştir.

Bu çalışmalar esnasında her konuda, teorik ve deneysel çalışmalarım aşamasında, sürekli ilgi ve desteğini esirgemeyen, olumlu eleştiri ve önerileri ile çalışmama sonsuz katkısı bulunan Sayın Hocam Yard. Doç. Dr. Ömer Samih Mertbaş 'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana maddi manevi destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, 2000

Mak. Müh. Asiye ASLAN

## 1. GİRİŞ

Akışkan yatak sistemleri, kimya ve maden endüstrisi, enerji dönüşümü ve çevre koruma ile ilgili birçok proseste kullanılmalarına rağmen, akışkan yataktaki gaz / katı ve sıvı / katı akışının karmaşık yapısından dolayı, tasarımı ve optimizasyonunda güçlüklerle karşılaşmaktadır. Enerji kaynaklarının en iyi değerlendirilmesine katkısı ve akışkan yataklı sistemlerin kullanıldığı çok sayıda ve değişik şekilli dönüşüm prosesi olması gibi nedenler, bugüne kadar çeşitli akışkan yatakların geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir.

Bunların kullanılma alanı, saf fiziksel olaylardan başlayarak örneğin, tanecikli maddelerin kurutulmasından, kısmen oldukça karmaşık ısı yayımlı gaz / katı reaksiyonların gerçekleştirilmesine kadar uzanmaktadır. Bu nedenlerle akışkan yatak tasarımında özel ve uygun kabullerin yapılması ve birbirleri ile iyi kombine edilmeleri gereklidir. Bunun yanında akış şartları, reaksiyon şartları, ısı ve madde transferi katı tanecik büyüklüğü, gaz hızı, katı ile gazın karışımı ve bekleme zamanı, işletme şekli, kullanılan madde, elde edilen ürün ve yan ürünler, çevre koruma ve emisyonlar gibi kriterler dikkate alınmalıdır.

100 yıla yakın bir zamandır akışkan yatak prensibi birçok fiziksel ve kimyasal proseslerde kullanılmıştır. Akışkan yatak tekniğinde sürekli olarak gelişme kaydedilmiştir. Özellikle akışkan yatakta yakma çalışmaları buna örnek olarak gösterilebilir.

Yeni teknik ilavelerin çabuk kullanılır hale gelmesine karşılık, gelişmeler pek fazla olmamıştır. Akışkan yatak için henüz genel olmayan bir takım düşünceler mevcuttur.

Akışkan yatağın ilk kullanımlarından biri literatürde 1556 yılındaki cevher arıtma uygulaması olarak gösterilmiştir. Ondokuzuncu yüzyılda, kum süzgeç ile su arıtılması ve 1910 yılında Phillips ve Bulteel tarafından ilk patentin alınması daha sonraki gelişmelerdir. İlk büyük ölçekli endüstriyel uygulama ise 1922 yılında Fritz Winkler tarafından patenti alınan, toz kömüründen gaz elde edilmesinde kullanılan Winkler gazlaştırıcısıdır. Gazlaştırıcı 1926 yılında üretime geçmiştir. Akışkan yataklı yakıcıların ilk örneği 1955 yılında yapılan Ignifluid kazandır.

Akışkan yatak içindeki bir yüzeye ısı transferi konusunda ilk yayın Mickley ve Trilling tarafından yapılmıştır. Mickley ve Trilling, yatak içinde hareket eden yaklaşık aynı sıcaklıktaki taneciklerin ısı transferi yüzeyi ile temasları neticesinde, taneciklerle yüzey arasındaki ısı akışının hızlandığını belirterek, tanecik yığınının yüzey üzerinde kalma süresine bağlı olarak sıcaklıkların birbirine yaklaşacağını söylemişlerdir. Onlara göre akışkan yatakta gaz akış hızının artışı ile taneciklerin ısı transferi yüzeyinde yer değiştirme hızı artmakta ve buna bağlı olarak da ısı transferi katsayısı artmaktadır. Bu olaya gaz akış hızının artmasıyla çoğalan ve taneciklerin ısı transferi yüzeyi ile temasta kalma süresini kısaltan kabarcıklar neden olmaktadır.

Baskov, toplam ısı transferi katsayısının ısı taşınımıyla ilgili bileşenin, taneciklerin ısı transferi yüzeyinde kalma süresine bağlı olarak değişeceğini ileri sürerken, Mickley ve Fairbanks, kabarcık hareketlerinin sebep olduğu sirkülasyonla, kısa bir süre için ısı transferi yüzeyine temasta kalan tanecik yığınının uniform ısı özelliklerinin yeni gelen tanecik yığınınında da devam edeceğini ve bunun neticesinde ısı özelliklerinin sürekli uniform kalacağını ileri sürmüşlerdir. Ancak, Mickley ve Fairbanks'ın taneciklerin ısı transfer yüzeyi ile kısa sürede temasta kalma modeline göre buldukları değerler deneysel çalışmalarda elde edilenlerden oldukça büyüktür.

Zamana bağlı rejimde ısı transferi sırasında Mickley ve Fairbanks'ın modeli kabul edilebilecek neticeler vermediğinden pek çok araştırmacı tarafından iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu konuda Zabrodsky, transfer yüzeyi ve tanecikler ile akışkanlaştırma gazı arasında bir ısı direncin olduğunu ileri sürerken, Baskakov,

Mickley ve Fairbanks'ın modelinde, ısı transferi yüzeyi yakınındaki boşlukların artması ile ısı dirençlerinin ortaya çıkacağını düşünerek, iyileştirme yoluna gitmiştir.

Akışkan yatağa daldırılmış tüplere olan ısı transferi üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri de Wender ve Cooper'inkidir. Dik tüp için yaptıkları çalışmaların korelasyonunu sunmuşlardır. Baerg, Olin ve Dean, Toomey ve Johnstone, Mickley ve Fairbanks'ta benzer korelasyonlar sunmuşlardır. Baerg, Klassen ve Gishler'in ısı transferi katsayısı deneyleri sonucunda, boş tüplerdeki ısı transferi katsayılarının sabit yataklardakinden yaklaşık on kez, akışkanlaştırılmış yataklardakinden ise onbeş ile yüz kez daha küçük olduğu bulunmuştur.

Vredenberg, yatay tüplerle ilgilenmiş, efektif tüp çapını, tanecik çapını ve yoğunluğunu gaz hızını, tanecik yüzey durumunu değiştirerek geniş yataklarda ısı transfer katsayısı ile ilgili korelasyonlarını çıkarmıştır.

Isı transferi mekanizması için fiziksel bir model geliştirenler arasında Dow ve Jakob, Reboux, Richardson, Leva ilk araştırmacılar sayılabilir. İletim ile olan ısı transferini, ısı transferi yüzeyi yakınındaki sınır tabakada incelemişlerdir. Isı transferi katsayısını gazın ısı iletim katsayısı ve sınır tabaka kalınlığı cinsinden elde etmişlerdir. Elde ettikleri ifadelerde sınır tabaka kalınlığının yalnızca akışkanın hızına ve akışkan özelliklerine bağlı olmadığını, aynı zamanda katı taneciklerin karışma hızına bağlı olduğunu eklemişlerdir. Levenspiel ve Walton, konuya biraz daha farklı bir yaklaşımda bulunmuşlar, Dow ve Jakob'un denklemlerinin temel fonksiyonunu koruyan bu çalışmada ısı transferi katsayısının ortalamasını kendilerine göre yorumlamaları esnasında matematiksel bir hataya düşmüşlerdir. Bu hatanın yanı sıra ısı iletiminde katı taneciklerin fiziksel özelliklerinin hesaba katılması gerektiğini dikkate almamışlardır. Sözü edilen araştırmacılar arasında en önemli çalışmayı Leva gerçekleştirmiştir. Çeşitli faktörlerin etkilediği deneysel çalışma sonuçları diğer çalışanlarınkine göre en iyi durumdadır.

Konuya diğer bir yaklaşıma göre, yatak içindeki bir yüzeye ısı transferinde katı taneciklerin hareketleri en etkin rol oynamaktadır. Zabrodsky, Sarkits, Zeigler

yüksek ısı transferi katsayısının katı taneciklerin hareketleri neticesinde meydana gelen yüksek sıcaklık gradyanına bağlı olduğunu belirtmişler ve katı taneciklerin termal ve fiziksel özelliklerini ayırarak, akışkan yatakta ısı transferi olayında katı taneciklerle transfer yüzeyi arasında zamana bağlı rejimdeki ısı transferi mekanizmasını ele almışlardır.

Aynı konuda üçüncü yaklaşım, daimi olmayan ısı transferine, gaz kabarcıkları tarafından transfer yüzeyinden sürüklenen tanecik yığının neden olduğunu belirten Mickley ve Fairbanks tarafından yapılmıştır. Onlara göre ısı transferi, sık olarak ısı transferi yüzeyine gelen ve birbirini takip eden tanecik yığınının sıcaklığına bağlı olmaktadır. Yine bu araştırmacılar birbirinden farklı sıcaklıktaki yüzey ve tanecikler arası ısı transferini tanecik yığınının yüzeyde kalma süresinin fonksiyonu olarak formüle etmişlerdir. Bu formülasyon daha sonraki araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir.

Mickley ve Fairbanks'ın sundukları ısı akışı denkleminde yararlanarak, yine Mickley ve grubu ısı transferinde yığın modelini geliştirmişlerdir. Sundukları bu fiziksel modelde, tanecik yığını ısı transfer yüzeyinde kısa süreli kaldığında ısı transferi katsayısının arttığını, uzun süreli kalmalarda bu katsayının azaldığını belirtmişlerdir. Baskakov, ortalama ısı iletim katsayısının, yüzeyde kalma süresinin çok küçük değerlerinde bile belli bir değeri aşamayacağını belirtmiştir. Baskakov ve Gelberin, akışkanlaştırılmış bir yatakta ısıtılan tanecik yığının yüzeye değdiği noktada, yığın ile yüzey arasında bir kontakt direncin ortaya çıktığını açıklamışlar ve bu direncin tanecik çapına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ortalama ısı transferi katsayısının tanecik etkisi ile oluşan kısmının sınır şartlarına bağlı olduğunu belirten Gelberin ile Luikov değişik sınır şartlarında ısı transfer katsayıları ve ısıl direnç ile ilgili ifadeler vermişlerdir.

Mersmann ve Malukovich, deneysel olarak, ısıl direnç ile kontakt direncinin, tanecik yığını boşluk oranı ile transfer yüzeyi yakınındaki boşluk oranına bağlı olduğunu göstermişlerdir. Söz konusu ısıl direnç, kontakt direnç, ısı iletim katsayısı ve

taneciklerin yüzeyde kalma süreleri gibi büyüklüklerin, katı taneciklerin ve akışkanın özelliklerine, yatağın ve ısı transfer yüzeyinin geometrik özelliklerine ve benzeri diğer özelliklere bağlı olduğunu belirten Gelberin, bu büyüklükler hakkında teorik bir çözümün henüz yapılmadığını ve bu büyüklüklerin gaz hızı, boşluk oranı, vs gibi teknolojik verilerle ifade edilebileceğini açıklamıştır.

Bakakov ve Mickley ise, Gelberin ve Einstein'in küçük parçacıklar için elde ettikleri eşitliklerin, kendi bulduklarına iyi bir yaklaşım sağladığını belirterek aralarındaki farkın yığındaki büyük taneciklerden kaynaklandığını açıklamışlardır.

Son yıllarda yapılan bir araştırmada Ganzha ve Upadhyay ile Saxena, akışkan yatağa daldırılmış yüzey ile akışkan yatak arasında, diğer araştırmacılar tarafında kabul edilen bir teori geliştirmişlerdir. Bu teori büyük tanecikler için geliştirilmiş olup, üç bileşeni bulunan toplam ısı transferi katsayısının yalnızca ısı taşınımı ve ısı iletimi ile ilgili bileşenleri gözönüne alınmıştır. Ganzha ve Saxena ısı iletimi ile ısı transferini, verilen başlangıç ve sınır şartları altında daimi olmayan rejim için, katı taneciklerin ve gazın paralel tabakalar halinde taşındığını düşünerek hesaplamışlardır. Isı taşınımı miktarı ise, ısı transfer yüzeyine temas eden ve küresel kabul edilen taneciğin yüzeyle temas halinde olan yarı parçasının türbülanslı sınır tabaka ile ilişkisi göz önüne alınarak hesaplanmış olup, elde edilen tanecik modeline ait sonuçlar büyük parçacıklarla yapılan deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sağlamıştır.

İzumi, Ryotaro, Yamashita, Hiroshi, Kago, Sadumu, Abeshinchi tarafından dik bir tüpe cam boncuk kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Konik bir dağıtıcı elek kullanılan yatakta ısıtma elektrik dirençleri ile yapılmış ve bu suretle ısı akışı sabit tutulmuştur. Yerel Nusselt sayısının sabit pompa gücü altında kontrolü yapılmıştır. Deney sonucunda akışkan yatağın çok iyi bir performans gösterdiği gözlenerek ısı transfer yüzeyinin efektif yüksekliği tayin edilmiştir.

Dik bir tüp belirli zaman aralıklarında kömür yakan akışkan yatağa daldırılarak, akışkan yatak sisteminin matematiksel modeli Mathur ve Saxena

tarafından yapılmış ve tanecik hali için karakteristik sıcaklık farkı ve ortalama logaritmik sıcaklık farkının korelasyonu ortaya konulmuştur.

Sabit yatak yüksekliği küçük olan bir akışkan yataktaki, gazdan gaza ısı transfer eden bir ısı eşanjörünün temel prensiplerini açıklayan, Newey ve Howard ısı eşanjöründe gerçekleştirdikleri yeniliğin genel olarak dağıtıcı plakada olduğunu belirtmişlerdir. Gazın mümkün olduğu kadar yatağa paralel olarak akmasını sağlayan Newey ve Howard, ısı eşanjörünün performansını tayin ederek dizaynını gerçekleştirmişlerdir.

Hoelen ve Stemerding, akışkan yatağa daldırılmış dik bir tüp parçası ile yatak arasındaki ısı değişiminde, yatağa verilen ısı enerjisinin miktarının arttırılması ya da azaltılmasıyla, ısı transferindeki değişimleri gözlemişlerdir.

Boradulya ve Kovensky, ışıma ile ısı transferinde, akışkanlaştırılmış izotermal bir yatağın yayma katsayısını hesaplayarak, izotermal olmayan yatak durumunda yatağın efektif yayma kabiliyetini ölçmüşlerdir.

Kubie, akışkanlaştırılmış yataklarda toplam ısı transfer katsayısının, ısı ışımasını, ısı iletimi ve ışıma ile olan ısı transferi katsayılarının toplamından oluştuğunu tekrarlamıştır.

Yanma şiddetinin ve ısı transferinin azalmaması için tüp demetlerindeki tüplerin çok yakın yerleştirilmemesi gerektiğini açıklayan Zhitomirskaya, Migai, Russodov, Shemyakin, bu durumda tanecik hareketlerinin birbirine girişimi önlenerek, taneciklerin ısı transferi alanına rasyonel olarak geleceğine dikkati çekmişlerdir.

Hussein, Maitra, Jackson, akışkan yataktaki ısı transferine değişik bir açıdan bakarak, hava ile akışkanlaştırılmış taneciklerin karışımının, yukarı ve aşağı hareketleri neticesinde, içten ısıtılmış tüplerden aldıkları ısıyı yoğun tanecik fazına ileticeğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ısı transferinin mertebesinin, düşen parçacıkların hava

akışı ile takviyesine, yüzeyde kalma zamanına, ve bu taneciklerle yatak arasındaki ısı transferi katsayısına bağlı olduğunu eklemiştir.

Gönderilen korozif etkili gaz ile akışkanlaştırılan bir yatakta, eşanjör borularındaki korozyonu, korozyonun değişik sıcaklıklardaki etkilerini karbon çeliği ve paslanmaz çelik üzerinde deneyen William ve Unmac, Nutkis, Laughnane, Ernest, Bernard, Matulevidus, basınçlı akışkan yataklı yakıcılarda kullanılan eşanjör yüzeylerinin, kok kömürü ile yapılan çalışma durumunda, erozyon ve korozyona karşı davranışlarını incelemiştir.

Cole, büyük dizel motorlarının egzost gazlarından ısı geri kazanımında akışkan yatağın ekonomikliğinin deneysel ve analitik araştırmasını, sığ akışkan yatak ısı eşanjörleri üzerinde denemiştir.

IEA Grimethorpe şirketi tarafından, akışkan yataklı kazanlarda yanmadan sonra ocak çıkışındaki yüksek gaz sıcaklığından yararlanmak üzere, bir ısı eşanjörünün dizaynı üzerinde çalışmalar yapılmış ve ısı eşanjörünün performansı incelenmiştir.

Seramik ısı eşanjörlerinin kullanım alanlarından biri olan basınçlı akışkan yatak yakıcı sistemlerinin performans ve ekonomikliği, Mcfarlin, Sgamboti ve Lessard, tarafından araştırılmıştır.

Vogel ve Grogan, ısı eşanjörü teknolojisinde akışkan yatak kullanımı durumunda, emiş kontrolü üzerinde çalışmışlar ve sonuçlarını açıklamışlardır.

Large, Bergougou, Abubakar, Muzyko, akışkanlaştırılmış bir yatakta gaz ile katı arasındaki direkt temas ile olan ısı transferini incelemiştir.

Grewal ve Saxena yaptıkları çalışmada, elektrikli olarak ısıtılan değişik çaplardaki tüp demetleri ile silika kumu ve alümina taneciklerini kullanmışlar ve akışkanlaştırma hızının fonksiyonu olarak ısı transferi katsayısını elde etmişlerdir. Bu çalışmada tüp demetlerinin yerleşimi bir eşkenar üçgenin köşeleri şeklindedir. Tüpler



arasındaki mesafe tp çaplarının katları olacak Şekilde deęiŐtirilerek elde edilen ısı transferi sonuçlarını, ideal durumdaki tek tüpten elde edilen sonuçlarla, daha önceki yapılan çalıŐmalara ait korelasyonlarla ve maksimum ısı transferi katsayısı için yapılan teorik modellerle karşılaştırmışlardır.

Dikdörtgen kesitindeki bir kolon için yapılan benzer çalışmada çeşitli çaplardaki kum tanecikleri kullanılarak, yatay tüpler etrafındaki ısı transfer katsayısı, George ve Grace tarafından ölçülmüş ve akışkanlaştırma hızının minimum akışkanlaştırma hızından belli bir değere kadar arttırılması durumunda, bu katsayının deęiŐimini gözlenmiştir.

Başka bir çalışmada George ve Grace, dikdörtgen kesitli bir yatağı, boru Őeklindeki ısıtıcılarla dışardan ısıtarak, yatay ve dikey sıralara sahip içi kanatçıklı tüplere ısı transferini çok küçük tanecikler kullanarak saęlamıŐlardır. AŞağıdan ikinci sıradaki tüplere ısı transferinin ilk sıradakinden daha fazla olduğunu ancak bu durumun üst sıralarda tersi olduğunu belirtmişlerdir.

Fillipovsky ve Baskakov tarafından, akışkan yatak içine yerleştirilmiş düz bir yzeyeye olan ısı transferi incelenmiŐ ve maksimum ısı transferi katsayısını elde etmek için yüzey normalinin yatayla yaptığı açı deęiŐken olarak ele alınmıştır.

Kellogg, Rubinsky ve Greif, kare kesitli akışkan yatak için piramit Şeklinde ve gözenekli bir dağıtıcıdan çıkan hava ile akışkanlaştırılan taneciklerin bombardıman ettikleri kare Őeklindeki alüminyum levhada uniform bir yüzey sıcaklığı elde etmişlerdir.

Fitzgerald, Catipovi, Jovanovi üzerinde çeşitli ölçü elemanları bulunan akışkan yatağa daldırılmış yatay tüplerle çalıŐmıŐlardır. Bu l elemanları ani ve ortalama ısı iletim katsayısını, boşluk oranını, tp çevresindeki yüzey basıncının çeşitli noktalarındaki değerlerini ölçebilmektedirler.

Bıyıklı, Tuzla ile Chen deneysel çalışmalar yapmışlar, akışkan yatak için serbest bölge yerel ve ortalama ısı transferi katsayılarını ölçmüşlerdir. Yapılan ölçümler, dikdörtgen kesitli akışkan yatakta oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta gerçekleştirilmiş olup, yerel ve ortalama ısı transferi katsayısının tanecik çapına, akış debisine sabit yatak yüksekliğine bağlı değişimleriyle ilgilidir.

Akışkan yatağa daldırılmış küçük düz yüzeylerden ısı transferi durumunda, akışkanın akışını incelemede oldukça kolaylık sağlayan yeni bir yöntem Rubinsky ve Starnes tarafından sunulmuş, ısı transferi katsayısının hava hızına göre değişimi verilmiştir. Bu çalışmada yüzeyin akım doğrultusu ile yaptığı açının ısı transferi üzerindeki etkisinin çok büyük olduğunu belirterek, yüzeye olan ısı transferi hava akış hızı ve eğim açısının fonksiyonu olarak elde edilmiştir.

Akışkanlaştırılmış yatakta, yatak sıcaklığının bir fonksiyonu olarak değişen gaz hızlarında ısı transferi katsayısını elde eden Zabrodsky, ampirik bir korelasyon sunmuştur. Bütün çalışmalarında operasyon sıcaklığı ile, ısı transferi katsayısının arttığını görmüştür. Küçük kum taneciklerle yapılan deneylerde, korelasyonun lineer bir değişim sağladığı görülürken, tanecik olarak kum yerine kömür külü tanecikleri kullanılmasıyla, artan yatak sıcaklığıyla birlikte ısı transferi katsayısının daha fazla artış gösterdiği gözlenmiştir. Zabrodsky, maksimum ısı iletim katsayıları ile ilgili deneysel sonuçların, analitik çözümlerden daha iyi olduğunu ileri sürmüştür.

Son yapılan deneysel çalışmalardan birinde, Barodulya, Ganzha, Podberesky, Upandhyay, Saxena, cam boncukları kullanarak, yüksek basınçlı sistemde, akışkan yatağa daldırılmış kare kesitli yatay tüp demetlerine ısı transferini incelemişler ve ısı transferinin akışkanlaştırma hızının ve sistem basıncının bir fonksiyonu olarak değiştiğini bulmuşlardır. Tanecik çapındaki artışlara göre ısı transferi katsayılarının nasıl değiştiğini bularak, bulunanları daha önceki literatür sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Ülkemizde akışkan yatak üzerine yapılan ve sayıca az olan çalışmalardan birini Aktaş ve Ekinçi gerçekleştirmişlerdir [1].

## 2. AKIŞKAN YATAK TEKNİĞİ

100 yıllık zaman içerisinde akışkan yatak prensibi birçok teknik prosese girmiş bulunmaktadır. Akışkan yatak tekniği, yoğun çalışmalarla devamlı gelişme halinde bulunmaktadır. Misal olarak akışkan yatakta yakma tekniğinde olduğu gibi. Yeni teknik ilavelerin çabuk kullanılır hale getirilmesine karşılık, gelişmeler pek fazla olmamıştır. Akışkan yatak için henüz genel olmayan bir takım düşünceler mevcuttur.

28 Eylül 1922'de boya endüstrisi, ince taneli kömürlerin gazlandırma prosesi için patentini aldı [2] ve bu ilk akışkan yatak tekniği olarak tarihe geçti. Prensip tasarımcısı olan Fritz Winkler, Winkler-Generatörü olarak bilinen gaz üreticisini elde etmiş oldu Şekil 2.1.

Burada görülen prensip, ince taneli katı madde dolgusu arasında, dışardan gönderilen gaz akımı vasıtası ile sıvı hareketine benzer türbülans durumunun elde edilmesi şeklindedir. Bu proses ikinci dünya savaşı sırasında A.B.D. de tekrar ele alınmış ve yüksek oktanlı uçak benzininin üretimi araştırmalarında kullanılmıştır.

Geliştirme çalışması genellikle Standart Oil Development Company tarafından yürütülmüştür. Nihayet 1942 yılında ilk defa bir büyük kapasiteli akışkan yatak teknik tesisi işletmeye açılmış ve katalitik (kraking) petrol destilasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada bir akışkan yatak reaktörü ile bir akışkan yatak regeneratörü arasında, katı maddenin sirkülasyonu yapılarak sürekli yenilenen katalizator ve bu şekilde ilk defa tam sürekli kraking prosesi gerçekleştirilmiştir.

Akışkan katalitik kraking prosesinin gerçekleştirilmesinden sonra 1962 yılına kadar takribi 350 akışkan yatak kraking tesisi kurulmuştur [2]. Bundan sonra akışkan

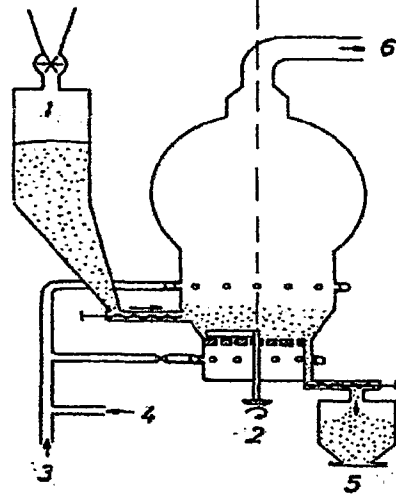
yatak prensibi, yoğun ve devamlı yeni ilavelerle başta kimya mühendisliği olmak üzere tüm mühendislik alanına girmiştir.

Akışkan yataklaştırma prensibi şekil 2.2 de görüldüğü gibi, dışardan yönlendirilen bir gazın bir dolgu tabakası arasından geçerken katı madde partiküllerinin bir sıvı akımına benzer duruma getirilmesidir. Burada akışkanın hacimsel debisi  $\dot{V}$  nin bir sınır değer  $\dot{V}_L$  'e erişmesi Şekil 2.2.b ve bu şekilde akışkanlaştırılmış katı madde kısımlarının gaz akımı vasıtası ile, gaz akımı içinde yüzer durumda tutulmasıdır. Bu, sıvı tabakaların yoğun karıştırılmasında olduğu gibidir. Burada tabaka içindeki ağır tanecikler aşağı düşerken, özgül hafif olan tanecikler yüzer halde kalacaklardır. Bu şekildeki bir türbülanslı tabaka, akışkan yatak veya türbülanslı yatak olarak da adlandırılmaktadır. İngilizce olarak (fluidized bed) akışkanlaştırılmış yatak olarak ifade edilmektedir.

Akışkanın tabakadan geçişi esnasındaki basınç kaybı, her bir yatak kesitindeki dolgu tabakasının kaldırılmasındaki (itilmesindeki), kaldırılan ağırlığına eşittir.

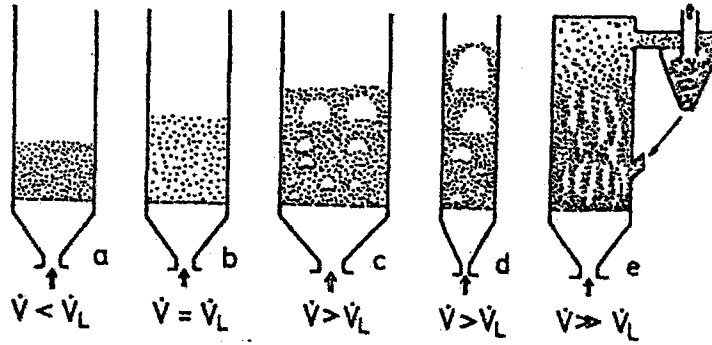
$\dot{V}$  hacimsel debisinin artırılması ile tabakanın eriştiği ayrılma noktasındaki debisi  $\dot{V}_L$  dir ve bu noktada akışkanlaşma başlar. Bu durumda bir sıvı ile eşdeğer hale gelinir. Burada teknik esas olarak, katı madde partikülsüz gaz kabarcıkları ile gazlandırma yapmaktadır Şekil 2.2.c.

Ortalama lokal kabarcık büyüklüğü ve dağılımı, akım tabanı üzerinden artan yükseklikle çabucak artar. Yeterli küçük çap ve büyük akışkan yatak kabı yüksekliğinde kabarcıklar aniden tüm kesiti doldururlar ve darbeli akışkan yatak gaz pistonu şeklinde, Şekil 2.2.d görüldüğü gibi meydana gelir. Büyük gaz hızında farklı gaz kabarcığı meydana gelmeden, tarif edilemeyen tabaka yüzeyi meydana gelir Şekil 2.2.e. Bu şekildeki genişleyen yahut sirküle olan akışkan yataklar, büyük miktarda katı madde taşımaları nedeni ile yalnız katı maddenin sürekli olarak geri döndüğü bir siklon meydana getirirler.



Şekil 2.1 Winkler Generatörü.

1.Kömür bunkerı, 2.Karıştırıcı, 3.Hava, 4.Buhar, 5.Kül çekme, 6.Üretilen gaz



Şekil 2.2 Akışkan yatak çeşitleri.

a.Yiğma doldurma, b.Çözülme noktasında akışkan yatak, c.Kabarcık teşekküllü akışkan yatak, d.Piston kabarcıklı akışkan yatak, e.Genleşen akışkan yatak

Yukarıda misalleri görülen uygulamalarla;

1. Sıvı benzeri bir akışkan yatak davranışı ile katı maddenin taşınması ile basit kullanılabilirlik.

2. Yoğun katı madde taşınması ile dengeli ve homojen sıcaklık dağılımı.

3. Küçük katı madde tane büyüklüğü nedeni ile, katı ve gaz madde arasında büyük transfer yüzeyinin elde edilmesi.

4. Katı madde akan gaz arasında türbülans nedeni ile, alışveriş yapılan sıcak veya soğuk yüzeyde yüksek ısı geçiş sayıları elde edilmesi sonuçları elde edilmektedir. Bu elverişli sonuçların yanında;

1. Katı madde ayrılması ve gazın temizlenmesinde katı maddenin dağılması.

2. Katı maddenin yoğun hareketi, katı madde ve yapıda sürtünme nedeni ile erozyona neden olması.

3. Katı maddenin yapısı akışkanlaştırma esnasında bozulabilir.

4. Gazın yüksek geri karışımı veya tekrar kullanımı kimyasal reaksiyonu azaltır.

5. Bir katalitik reaksiyon esnasında kabarcık teşekkülü, reaksiyon gazının çok uzun bekleme zamanı ile arzu edilmeyen baypasa neden olur.

6. Gaz-Katı madde karşı akımı, çok kademeli düzenleme ile yaklaşık olarak gerçekleştirilir.

7. Akışkan yatakta boyutların büyütülmesi yukarıda sayılan elverişli özellikleri bozar.

Özellikle boyutların büyütülmesi, problemin maliyeti bakımından pilot tesisinin yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Geçmişte hızlı gelişmeler için temel engel, yeni akışkan yatak proseslerinin gerçekleştirilmesinin zorluklarıdır.

### **3. AKIŞKAN YATAK PRENSİBİNİN TEKNİK KULANIMI**

Akışkan yatak prensibinin teknik kullanımı bakımından aşağıda görüldüğü gibi bir gruplandırma yapılabilir.

#### **A. Mekanik prosesler:**

Yalnız mekanik prosesler, ısı ve madde transferi proseslerini akışkan yatakta birleştirmekte ve kendine özel bir anlam vermektedir. Örnek olarak ısıtma yada soğutma proseslerinde katı maddelerin akışkan yatak kanallarına yönlendirilmesinde olduğu gibi. Bundan başka tane kümelerinin yoğunluk veya tane büyüklüklerine göre gevşeme noktasının üstünde bulunan gaz hızında ayrılması ve katı maddelerin yüksek gaz hızlarında karıştırılması gibi. Granül haline getirilecek maddeler içinde akışkan tabaka içine bağlayıcı görevi yapacak çözelti, akışkan yatağa püskürtülür. Çözeltideki katı maddenin kurutularak, granül haline getirilmesi için belirli büyüklüğün üstüne çıkanlar çökerek zemin yakınında granülatörden geçirilir. Bu da türbülanslı tabakanın gruplandırma etkisi demektir ve üretilen maddelerin ayrılmasında kullanılır.

Sert maddelerin akışkan yatak içindeki hareketi sırasında partiküller, mekanik olarak arzu edilen birçok prosesin birleştirilmesi ile doğrudan kullanılabilir. Örneğin parçalama, akım ile öğütmede olduğu gibi.

#### **B. Isı ve Madde Geçişi Prosesleri:**

Isı ve bununla ilişkili olarak madde geçişinin birleştirildiği proseslerde olduğu gibi, örneğin

Isıtma / Soğutma

Kurutma

## Adsorpsiyon / Desorpsiyon Gruplandırma

Bunlardan kurutmanın büyük bir ticari önemi vardır. Akışkan yatak kurutucular, az bir artık nem oranı, ekonomik ve dengeli kurutmada yüksek özgül güç gösterirler. Örnek olarak Şekil 3.1 de şematik olarak iki kademeli bir akışkan yatakta bir tuz kurutucusu görülmektedir.

Türbülanslı sinterleme prosesinde, ısıtılan iş parçaları akışkan yatak içinde ince taneli yapay pülverizasyona tabi tutulurlar. Bu tür bir yatakta iş parçaları sinterleme ile eşit kalınlıkta bir tabaka ile kaplanabilir. Dekoratif veya koruma amaçlı olarak bu şekilde kaplamalar yapılır.

### C. Kimyasal Prosesler:

Kimyasal proseslerde akışkan yataklar, maksada uygun olarak katı maddelere uygulanırlar, mesala bunlar:

1. Akışkan yatakta, katı madde katalizatör olarak etkir.
2. Akışkan yatakta, katı madde ısı taşıyıcısı olarak etkir.
3. Akışkan yatakta, katı madde reaksiyona katılır.

### D. Akışkan Yatakta Heterojen Kataliz:

Akışkan yatak içinde hidrokarbonların kriting olması, akışkan yatak prosesi için belli başlı katalitik bir klasik reaksiyona misal olarak verilebilir. Bu tür bir akışkan yatağın aynı zamanda ticari bir önemi de vardır.

Endoterm kriting reaksiyonu, katalizatör yüzeyinde karbonun toplanmasını sağlamakta ve katalizatör çabucak aktifleştirilmektedir. Bir kriting tesisi sürekli olarak birbiri ile bağlantılı olarak iki akışkan yataktan meydana gelir. Karbon, akışkan

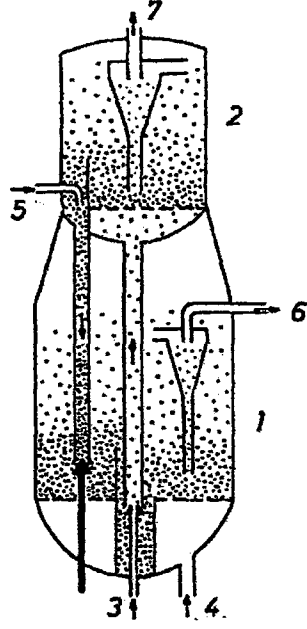


yatak reaktöründe katalizatör partiküllerinde toplanır ve hava ile akışkanlaştırılan regeneratör akışkan yatakta yanar. Yanma ile aynı zamanda krak reaksiyonu için gerekli olan ısı ortaya çıkarılır. Burada katalizatör, ısı taşıyıcı rolü oynar. Akışkan yatağın pnömatik nakilde kullanımında, reaktör ve regeneratör arasında sürekli olarak alışveriş sağlanırken, bu arada tüm prosesin sürekli olarak akışı temin edilmiş olur. Misal olarak Şekil 3.2 te Kellog-Orthoflow sistemi görülmektedir [3]. Dünya üzerinde 50 yıllık geliştirme ile beraber, akışkan yatak- kraking tesisi optimizasyonu üzerinde yoğun olarak çalışılmakta ve ekonomik olarak çok az da olsa bir düzelme görülmektedir. Burada büyük oranda ham madde miktarları ile çalışılmaktadır.

#### **E. Kimyasal Prosesler / Isı Taşıyıcı Olarak Katı Madde:**

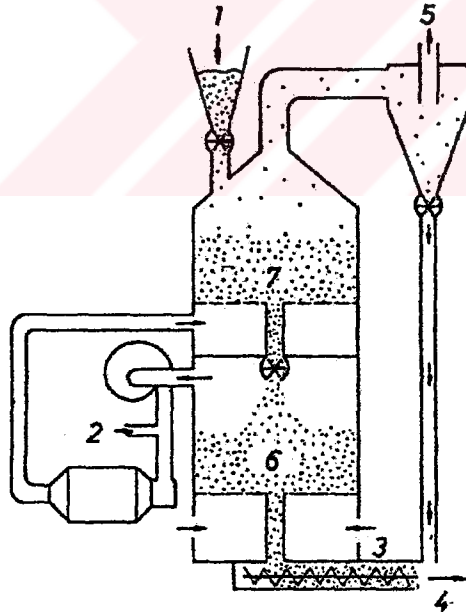
Misal olarak Şekil 3.3 te Fluid-Coking prosesi görülmektedir. Burada ağır artık yağların koka dönüştürülürken, kraking gazları ve kolay buharlaşan hidrokarbonlar ayrılmaktadır. Isıtıcı ve reaktör arasında ön koklaştırma yapıldıktan sonra, ısı taşıyıcısı olarak ısıtıcıda hava ile birlikte kısmen yanarak ısıtır ve bu şekilde koklaştırma reaktörüne gerekli ısı da verilmiş olur.

Diğer bir proses de katı maddeyi ısı taşıyıcı olarak etkileyen BASF- türbülanslı akış prosesidir. Burada ham petrol ayırma ve Lurgi-Sandcracker prosesinde etilen üretimi yapılmaktadır [4].



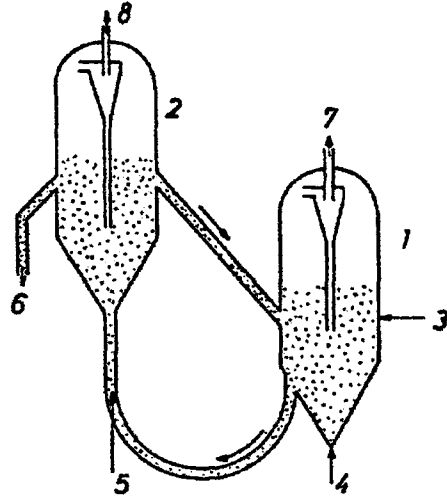
Şekil 3.1 Akışkan yatakta tuz kurutulması.

1.Nemli tuz, 2.Yakma gazı, 3.Hava, 4.Kuru tuz, 5.Atık gaz, 6.Soğuk bölge, 7.Sıcak bölge



Şekil 3.2 Kellogg-Orthlow prosesine göre akışkan yatakta katalitik kraking.

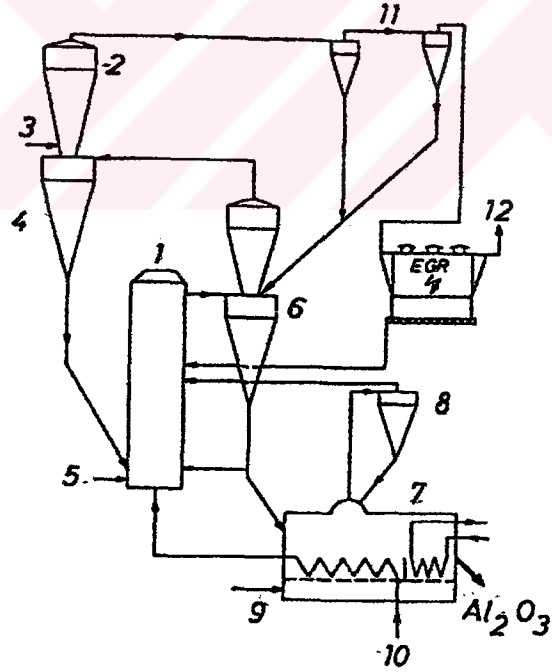
1.Regeneratör, 2.Reaktör, 3.Petrol, 4.Hava, 5.Buhar, 6.Duman gazı, 7.Üretim gazı



Şekil 3.3 Akışkan-Coking prosesi.

1.Reaktör, 2.Istııcı, 3.Yağ, 4.Buhar, 5.Hava, 6.Kok, 7.Üretim gazı, 8.Atık

gaz



Şekil 3.4 VAW/Lurgi sistemine göre genişlen akışkan yatakta  $Al(OH)_3$  kavurma.

1.Akışkan yatak fırını, 2.Venturi, 3.Nemli  $Al(OH)_3$ , 4.Siklon, 5.Yağ+Buhar, 6.Geri dönüş siklonu, 7.Soğutucu, 8.Siklon, 9.1.Hava, 10.2.Hava, 11.Siklon, 12.Baca

## F. Kimyasal Prosesler / Reaksiyon Katılan Katı Madde:

Katalitik kriting ile sülfit cevherinin kavrulması da akışkan yatak gibi eski bir prosestir. BASF ve Derr-Oliver Firmaları 1945-1950 yıllarında çeşitli proses değişiklikleri ile cevher reaksiyon ısısının reaktörden uzaklaştırılması konusunu geliştirmişlerdir. Çelik endüstrisinde erime tortusu, özel bir eritme prosesidir ve sürekli olarak üzerinde çalışılan bir konudur [4,5].

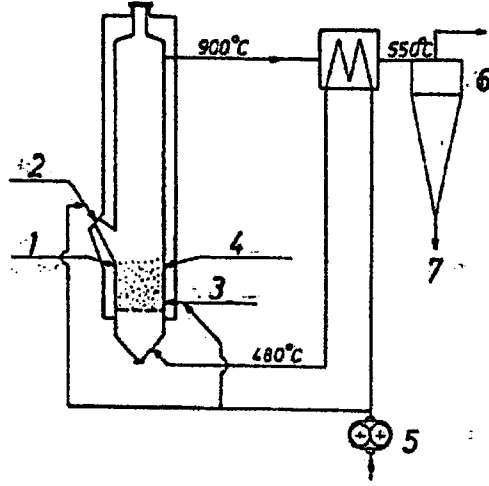
Eritme reaksiyonu az veya çok ekzoterm geçmektedir. Potada eritme ise bir endoterm reaksiyon olmaktadır. O halde ilave yakıtın akışkan yatakta bir türbülanslı tabakada yanması gerekmektedir. Alüminyum hidroksitin VAW/Lurgi [6] sistemine göre akışkan yatakta ergitilmesi için olan bir geliştirme Şekil 3.4 de görülmektedir. Ergitme, Şekil 2.2 de de bir genişlemeli akışkan yatakta olduğu gibidir. Proses, yüksek özgül verimi nedeni ile, yüksek ısı ekonomisi gösterir [7].

Akışkan yatak prosesi uzun zamandan beri endüstri ve şehir atık su çamurlarının yakılmasında uygulanmaktadır. Bu şekildeki prosesin çamur yakmada kullanılmasında, verilmiş bir çamurdaki tüm oksitlenebilir kısımların CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O gibi zararsız gazlara dönüşmesi ve mineral esaslı küllerin yataklanabilir hale getirilmesi için akışkan yatakta herhangi bağ kurmayan soy katı madde (kum), yanan çamura püskürtülür. Çamurun ısı değeri yeterli değilse, yanmayı kendiliğinden 800-900°C de tutabilmek için ilave yakıt vermek gereklidir. Burada ilave yakıtın minimum düzeyde tutulabilmesi için yakma havasının atık gaz ısısı ile ısıtılması yoluna gidilmelidir. Misal olarak Şekil 3.5 de bir yağ çamurunun yakılması için tesis şeması görülmektedir. Yeni geliştirilmiş bir proses olan çöp yakma tesisi (mesela ev çöprü) ile ekonominin birleştirilmesi için, basınç altında çalışan bir atık gaz türbinli akışkan yatak yakma tesisi Şekil 3.6 da görülmektedir.

Kömürün akışkan yatakta yakılması için USA, İngiltere ve Almanya'da yapılan geliştirme çalışmaları yoğun olarak devam etmektedir. (Schilling 'ün çalışmasına göre) Akışkan yatakta kömür yakma prensibinin, bilinen toz kömür yakma prensiplerine göre avantajı, kompakt yapı formu, yakma sıcaklığının 800-900 °C

düşürülmesi, kömürün yakılması için geniş ayar imkanının bulunması, kömürün kükürdünün kireç veya dolomit verilmesi ile küle karıştırılmasıdır. İşletme emniyetli, büyük ölçekli bir akışkan yatak yakmanın teknik olarak gerçekleştirilmesinde oldukça büyük geliştirme çalışmalarının yapılması gereklidir. Şekil 3.6 da, Gaz -Buhar türbini prosesinde basınçlı akışkan yatak yakma ile, atık gaz türbininde kanat erozyonuna neden olan tozun alınma probleminin iyi bir çözümü görülmektedir.

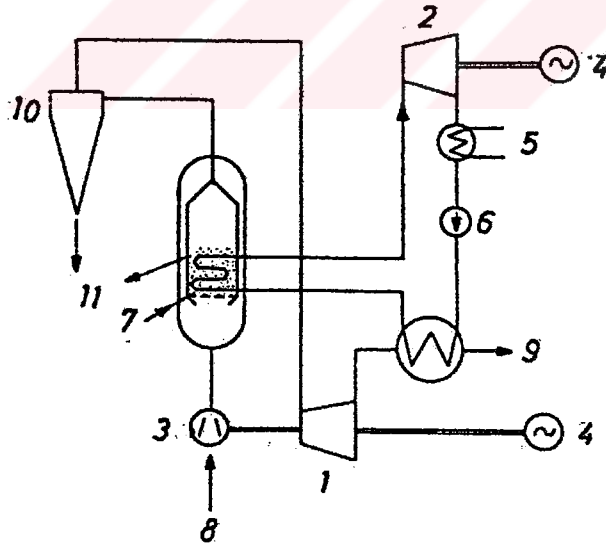
Demir cevherine gaz halindeki redüksiyon maddesinin, akışkan yatakta verilerek direkt redüksiyonu geliştirmesi uzun zamandan beri bilinmektedir. Bu proseslerin tümünde mevcut problem, redüksiyon esnasında ince taneli demir cevherinin, demir süngerini meydana getiren demir partikülleri ile birlikte topaklaşmaya meyilli, işletme zorlukları meydana getirmesidir. Üretim ölçüsünde mevcut olan HIB prosesi Şekil 3.7 de ve ESSO 'nun FIOR- prosesi aynı şekilde, Venezuela'daki Puerto Ordaz'da inşa edilmiştir.



Şekil 3.5 Yağ çamurunun akışkan yatakta yakılması.

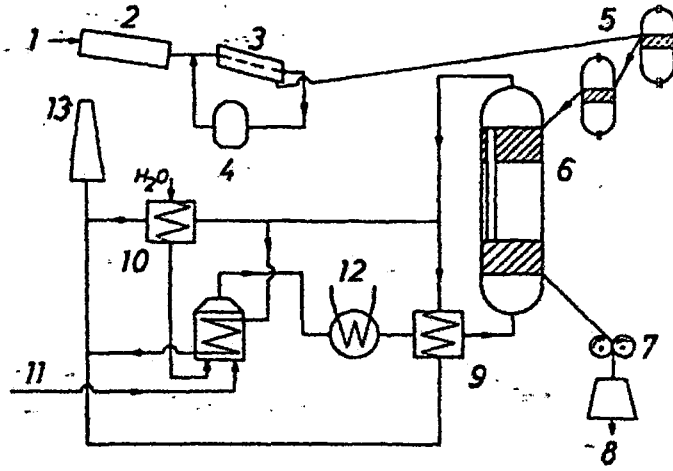
1.Yağ çamuru, 2.Yakma gazı, 3.Yakma gazı, 4.2.Hava, 5.Körük, 6.Siklon,

7.Kül



Şekil 3.6 Basıncılı-Akışkan yatak yakmalı Gaz-Buhar türbini prosesi.

1.Atık gaz türbini, 2.Buhar türbini, 3.Kompresör, 4.Jeneratör, 5.Kondanser, 6.Besi suyu pompası, 7.Jeneratör, 8.Hava, 9.Yakıt, 10.Kül, 11.Toz tutma, 12.Atık gaz



Şekil 3.7 Demir cevherinin akışkan yatakta HIB-Prosesi ile direkt redüksiyonu.

1.Demir filizi, 2.Kurutma, 3.Elek, 4.Öğütme, 5.2.kademe ön ısıtma, 6.2.kademeli redüksiyon, 7.Briket haline getirme, 8.Demir süngeri, 9.Gaz ön ısıtma, 10.Buhar, 11.Doğal gaz, 12.Soğutma, 13.Atık gaz

#### 4. AKIŞKAN YATAKTA KABARCİK TEŞEKKÜLÜ

Aşağıdaki sonuçlar, akışkan yatakta meydana gelen hadiseler için iyi bir temel teşkil etmektedir. Kuvars kumu ile 10, 20, 45, 100 cm çaplı akışkan yatakta yapılan ölçümlerde, kabarcık teşekkülünde küçük yatak çapının daha etkili olduğu görülmüştür.

Misal olarak Şekil 4.1 de,  $D_B$  çaplı kap içinde gaz dağılımı görülmektedir. Klasik iki fazlı akışkanlaştırma teorisine göre tüm gaz akışkan yataktan, gevşemiş tabakadan, yeterli miktarda kabarcık şeklinde geçerek akmaktadır. Ölçümlerde büyük yatak çapı  $D_B$  için kabarcık formunda taşınan yüzeysel gaz akımı  $V_B$  tesis gaz hızı  $u$  ve gevşeme hızı  $u_L$  arasındaki fark,  $u$  ve  $u_L$  boş boru kesitindeki bağıntı esas alındığında daha küçüktür. Ekseri akışkan yatak modellerinde geçerli olan iki faz teorisi, laboratuvardaki küçük akışkan yataklar için esas teşkil etmektedir. Şekil 4.2 kabarcık halindeki gazın akışkan yatak içindeki bekleme zamanının, yatak çapına etkisini göstermektedir. Ölçmeler, lokal ortalama kabarcık yükselme hızından hesaplanan  $T_h$  - akışkan yataktaki kabarcıklı gazın bekleme zamanının, farklı  $h$  tabaka yüksekliğinin  $D_B$  kab çapına bağlılığını göstermektedir. Laboratuvar şartlarındaki akışkan yataktaki kabarcıklı gazın bekleme zamanı, yarı teknik akışkan yataktaki bekleme zamanından daha büyük olduğu görülmektedir.

Çok sayıdaki ölçmeler, yatak kesitindeki akışkan kabarcıklarının rastgele dengesiz olarak dağılarak yükseldiğini göstermektedir. Kabarcık fazında birçok karakteristik hacimsel akım profili teşkil edilmektedir. Taban yakınında kuvvetlendirilen kabarcık gelişimi, artan  $h$  yüksekliği ile boru eksenine doğrultusuna itilmektedir Şekil 4.3. Yeteri kadar küçük çaplı kaplarda, boru ortasındaki halka bölgesi ( $h_x \cdot 2 \cdot D_B$ ) de meydana gelir. Kabarcıklar boru ekseninde yükselir ve sonunda tüm boru kesiti gaz pistonu halinde dolar. Laboratuvarında geliştirilen akışkan yatakta, kabarcık gelişimine kap çapının etkisi,  $h / D_B > 2$  oranında kabarcık pistonu meydana



gelir. Akışkan yatakta kabarcık gelişimi,  $h / D_B < 1.2$  de duvar kenarındaki halka bölgesinde kuvvetli kabarcık gelişimi ve kabarcık büyümesi olarak gösterilir.

Burada kabarcık fazının lokal özellikleri, akışkan yatağın lokal ısı ve madde alış verişi özellikleri ile belirlenir. Bu sonuçlar laboratuvarında teknik akışkan yatak için bir minimum çapı gerekli kılmaktadır. Burada gerçekleştirilen ölçmeler büyük akışkan yatak projelendirilmesi için temel teşkil etmektedir. Aynı araştırma şartlarında, farklı boyutlarda küçük ölçekli akışkan yatağın kullanılmasında, ısı ve madde transferi ölçme sonuçlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 4.1 ve 4.2 den bir minimum yatak çapında kullanılan kuvarz kumu için 50 cm boyut büyütülmesi mümkündür. Şekil 4.4 teki diğer ölçmeler, 100 cm çaptaki akışkan yatakta kabarcık teşekkülü ile elde edilmiştir. Burada lokal ortalama kabarcık hacmi  $V_b$  ve  $f$  kabarcık frekansı, iki değişik gaz hızı  $u$  için tabandan yükseklik  $h$  a bağlıdır. Ölçmeler, kabarcık hacminin az bir yükselme yolunda çabucak arttığını göstermektedir. Kabarcık hacminin artışı, aynı zamanda kabarcık frekansının düştüğünü ve kabarcıkla süspansiyon fazı arasındaki alış verişi yüzeyinin azaldığını gösterir. Bununla birlikte artan hacim ile kabarcık yükselme hızının arttığı ve buradan kabarcıklı gazın akışkan yataktaki bekleme zamanının düştüğü gözlenir. Her iki gözlem de lokal alış verişi şartlarının artan yükseklik ile kötüleştiğini gösterir. Kabarcık çoğalmasında uygun akışkan yatak modellerinin dikkate alınabilmesi için etki büyüklüklerinin kesin bilgilerine ihtiyaç vardır.

Sayısız kabarcık büyüklüklerinin ölçülmesinden:

$$V_b = [ 2,5 + 0,68 (u - u_L) ] [ 0,57 + 0,039 h ] 3,63 \quad (4.1)$$

bağıntısı elde edilmiştir.

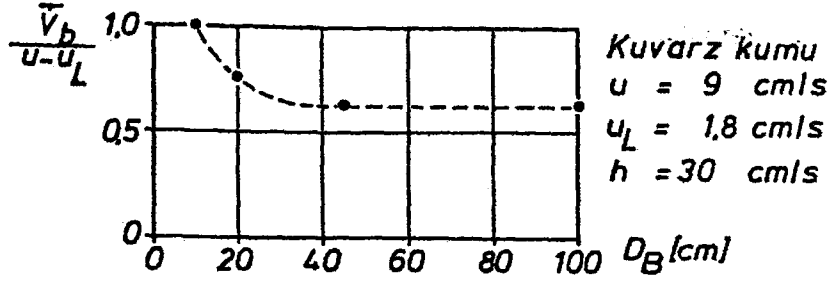
Burada akışkan yatak sisteminin ;

$V_b$  lokal ortalama kabarcık hacmini ( $cm^3$ )

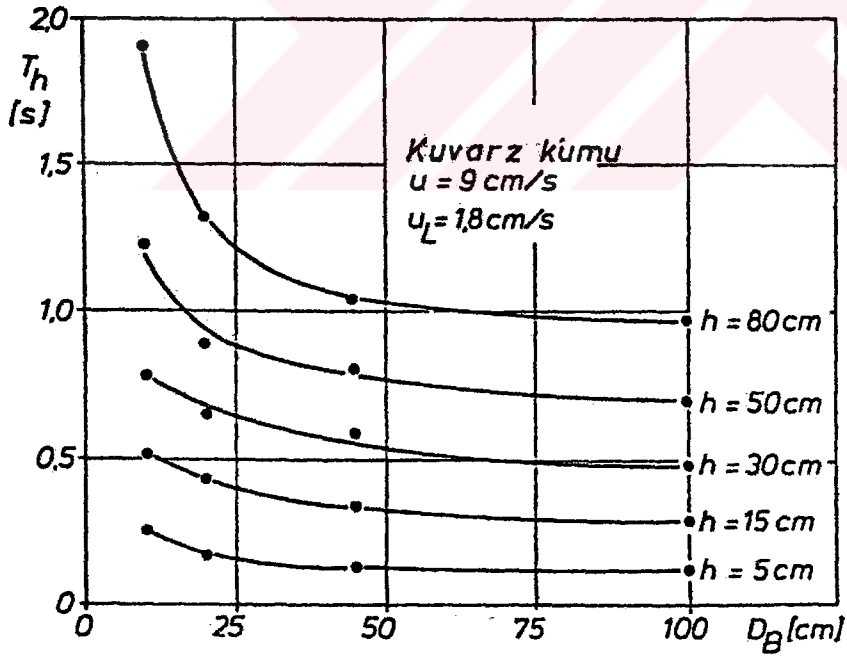
$u - u_L$  hız farkı ( $cm/s$ )

$h$  kabarcıkların tabandan olan yüksekliğini ( $cm$ )

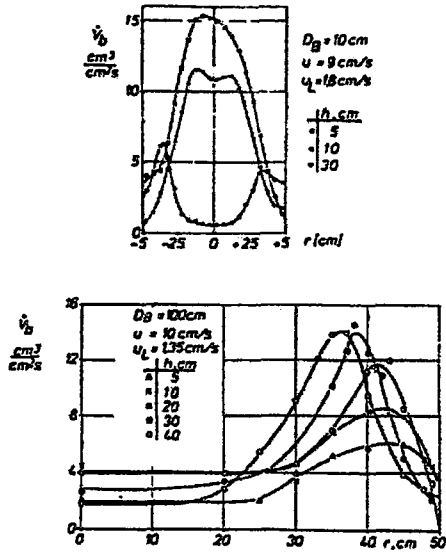
büyüklüklerini vermektedir.



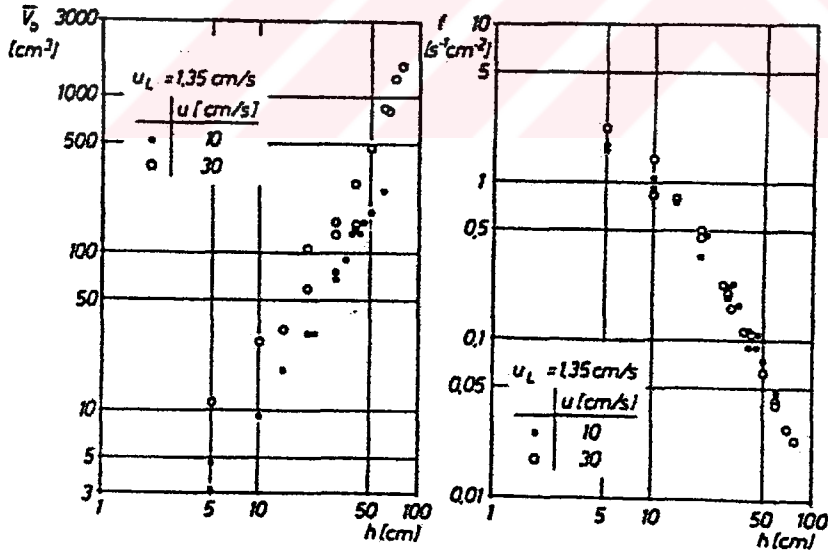
Şekil 4.1 Gaz dağıtımında yatak çapının etkisi.



Şekil 4.2 Ortalama bekleme zamanı  $T_h$ 'nin, gaz kabarcık çapı  $D_B$ 'ye etkisi.



Şekil 4.3 r Boru eksen açıklığında yüzey yaratan V gaz akımının, kuvars kumu akışkan yatağında lokal taşınan kabarcıkların, farklı  $D_B$  kabarcık çapına bağlılığı.



Şekil 4.4  $V_b$  Ortalama lokal kabarcık hacminin, tabandan olan yükseklik  $h$  ve  $D_B=100$  cm çapındaki kuvars kumu akışkan yatağındaki  $f$  kabarcık frekansı ölçme değerleri.

Doldurulmuş veya yığılmış bir tabaka ( genellikle katı maddeler ) içinden veya arasından bir akışkan geçirildiğinde hareket etmeyen bu tabaka, bir dolgu veya tane dolgusu olarak adlandırılır. Bu dolgu tabakasının altından yukarıya doğru, taneler arasından bir gaz veya sıvı geçirildiğinde, dolgunun bazı kısımları, miktarı artan bu akışkan tarafından yukarı doğru taşınıyorsa ve akış dolayısıyla bir türbülans meydana getirilebiliyorsa, akışkan yatak veya akışkanlaştırılmış yatak elde edilmiş olur. Bazı prosesler için çok kullanışlı, avantajlı özelliklerle, özellikle son elli yılda araştırma ve uygulanmalar daha da hızlandırılmıştır. İlk büyük çaplı teknik kullanım ve ilaveler, Winkler tarafından, Winkler Generatörü olarak bilinen düzenek içinde, kuru linyit kömürünün elde edilmesinde, kömür dolgusu içinden hava sevkedilmek suretiyle, kömür yüzdürülerek kurutma ve gazlandırma işlemi yapılmıştır.

Şekil 4.5 deki düzenlemede gaz veya sıvı alttan dolguya verildiğinde, kabın yan duvarlarındaki sürtünme kuvvetleri ihmal edilerek kaldırma kuvveti:

$$f \cdot \Delta p \quad (4.2)$$

dir.

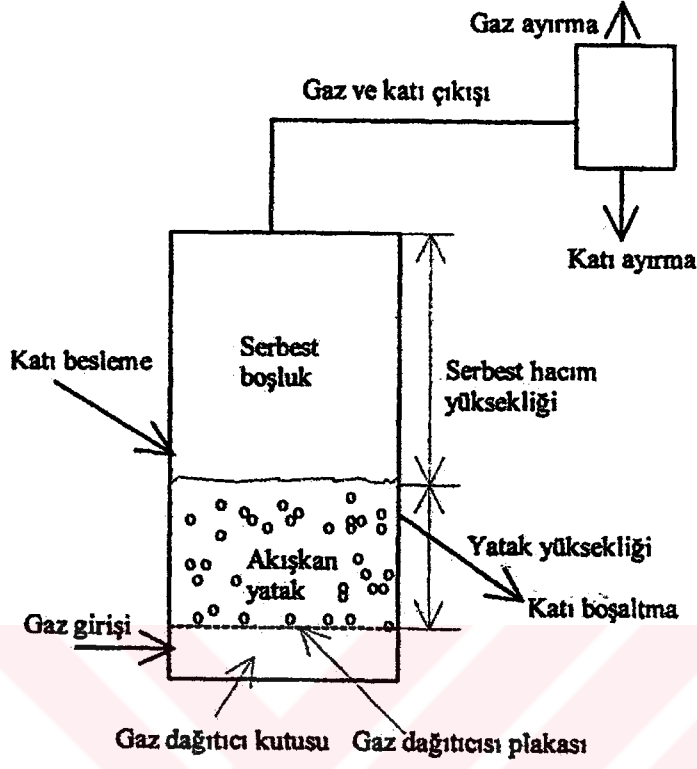
Bu kuvvet, akan akışkan ağırlığı + dolgu ağırlığından büyük olmamalıdır. Burada H tabaka yüksekliği,  $\epsilon$  gözeneklilik- relatif boş hacim, akan akışkan yoğunluğu  $\rho_c$  ile olan ağırlığı,

$$f \cdot H \cdot g \cdot \rho_c \cdot \epsilon \quad (4.3)$$

dir. Dolgunun ağırlığı, (  $\rho_d$  partiküllerin yoğunluğu - dispers faz ) olduğuna göre:

$$f \cdot H \cdot g \cdot \rho_d (1 - \epsilon) \quad (4.4)$$

olarak yazılır.



Şekil 4.5 Sürekli geçiş halindeki akışkan yatak.

Buradan,

$$\Delta p \leq H.g. [ \rho_c \cdot \varepsilon + \rho_d (1-\varepsilon) ] = H.g. [ (\rho_d - \rho_c) (1-\varepsilon) + \rho_c ] \quad (4.5)$$

dır. Görüldüğü gibi sıvının statik basıncı olan ( H.g.  $\rho_c$  ),  $\Delta p$  yi düşürür ve

$$\Delta p' \leq \Delta p - H.g. \rho_c = H.g. ( \rho_d - \rho_c ) (1-\varepsilon) \quad (4.6)$$

olur. Buradaki  $\Delta p'$  basınç farkıdır. Bu da  $\rho_c$  yoğunluklu sıvı ile dolu olan basınç farkı ölçer ile ölçülür [8].

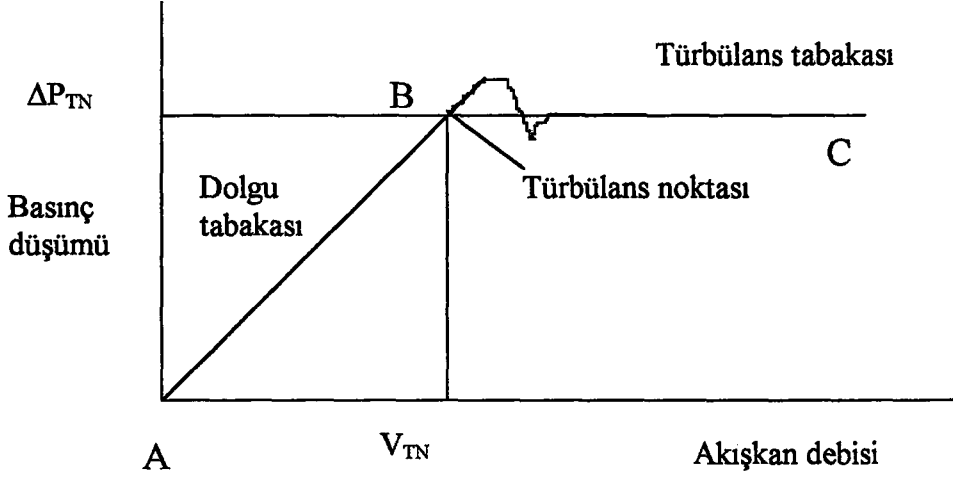
Bu basınç, dolgu kısımlarını harekete geçirmek için yeterlidir. Türbülans noktasındaki basınç farkı için iyi bir yaklaşımla, TN- Türbülans noktası olmak üzere

$$\Delta p_{TN} = H.g. [ \rho_c \cdot \varepsilon + \rho_d (1-\varepsilon) ] \quad (4.7)$$

$$\Delta p_{TN}' = H.g. ( \rho_d - \rho_c ) (1-\varepsilon) \quad (4.8)$$

dır.

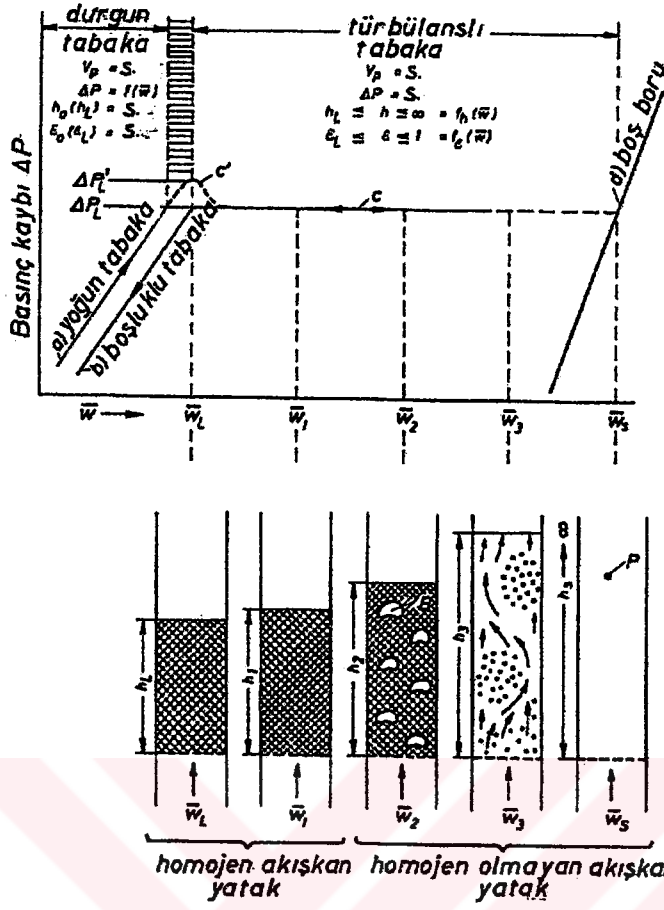
Akım zayıfsa ( $\Delta p < \Delta p_{TN}$ ) dır ve bu durumda akışkan dolgu tabakasını kaldıramaz ve hareket ettiremez. Bu duruma sabit yatak denilmektedir. Basınç düşümü yaklaşık olarak  $\Delta p_{TN}'$  na ulaştığında, tek tek tanecikler akış yönünde kalkmaya başlar Şekil 4.6. Aralık hacminin büyütülmesi ile basınç da otomatik olarak  $\Delta p_{TN}'$  a düşmektedir [8].



Şekil 4.6 Türbülanslı tabakada basınç düşüşünün debiye bağılılığı.

Buna göre geçirilen sıvı veya gaz akışkan miktarının yükseltilmesi ile basınç düşümü devamlı artar ve verilen (4.8) eşitliğinde gösterilen sınırın üzerine yükselir. Dolgunun altından etkiyen  $f \cdot \Delta p$  kuvveti, tabakanın ağırlığından büyük olmalıdır. Toplam dolgu maddesinin kaldırılması denge durumunun olmadığını ifade etmektedir. O halde dolgu, alt taraftan itilerek serbest hacim içinde dağılır. Burada dolgu tabakasının bulunduğu serbest hacimdeki gaz veya sıvı hızı (boş kap kesitindeki sıvı hızı) esas olarak tanecik aralığından geçiş hızından daha küçüktür. Durma noktasındaki basınç nedeni ile alt taraftaki tanecikler geri düşer ve tabaka altında dağınık taneciklerin toplandığı bir kısım bulunur. Bir bütün olarak teşekkül eden üst tabaka, toplam tabakadan münferit taneciklerin ayrılmasına kadar, artan  $\Delta p$  basınç kuvveti ile sürekli olarak yukarıya kaldırılır ve tutulur.

Bu olay, tabakanın kısmi olarak sürekli parçalanması ve türbülans noktasına erişilip tabakaların yumaklaşması, dolgunun kabarması gaz akımının artırılması ile olur. Akımın büyümesine göre ara boşluk hacmi daha büyüdüğünde basınç düşümü (4.8) eşitliğindeki değerinde kalır.

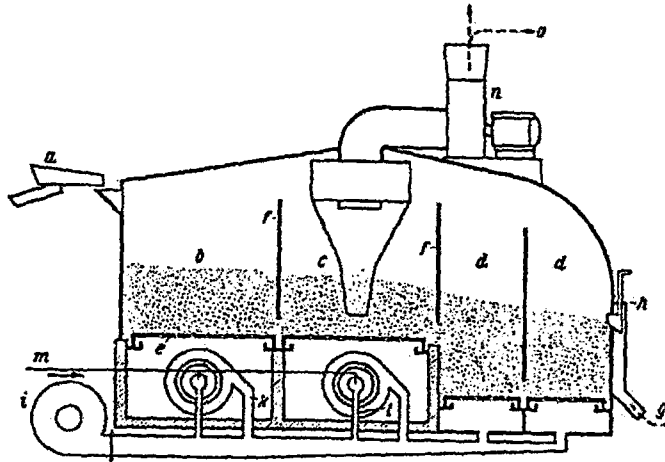
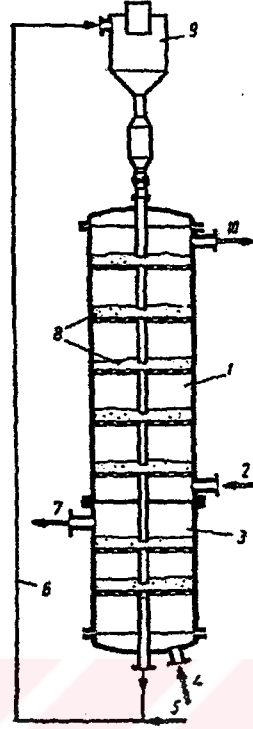


Şekil 4.7 Akışkan yatağın oluşması ve şekilleri.



Şekil 4.8 Akışkan yatak kolonu.

1. Adsorpsiyon kolonu
2. Gaz girişi
3. Desorpsiyon kolonu
4. Sıcak hava girişi
5. Soğuk hava
6. Adsorbens-Gaz geçişi
7. Desorbant çıkışı
8. Akışkan yatak
9. Adsorbent bunkeru
10. Taşıyıcı gaz çıkışı



Şekil 4.9 Yatay akışkan yatak kurutucusu.

- a. Madde girişi, b. Kurutma bölgesi, c. Ayırma bölgesi, d. Soğutma bölgesi,
- e. Izgara, f. Geçiş ayarlayan duvar, g. Madde çıkışı, h. Tabaka yükseklik ayarı,
- i. Vantilatör, k. Kurutma havası girişi, l. Yakma havası girişi, m. Yakıt girişi, n. Atık gaz vantilatörü, o. Siklona geçişi

Akışkan hızının tabaka direncine bağılılığı, hadisenin kararlı olması ile mümkündür ve dalgalı akım da teşekkül edebilir. Tabakanın kalkmasında akım direnci küçülürse, tamamıyla genel bir türbülanslı tabaka meydana gelir. Diğer taraftan dolgu bir tıkaç gibi sıçrama da yapabilir.

Yaklaşık olarak aynı büyüklükteki tanelerden meydana gelen dolgu tabakasının gevşeme halinde kalması, türbülans noktasının üst tarafında meydana geldiğini gösterir. Su yüzeyinde olduğu gibi keskin bir sınır halindedir. Bazı tanelerin türbülanslı tabaka üzerine tesadüfen taşınması, serbest kesitteki hızın mevcut olması halidir. Basıncın küçük olması halinde, durma noktası etkisindeki taneler dolgu tabakasına tekrar geri döner. Bir sıvı içinde düşük yoğunluklu maddeler mesela odun gibi üst yüzeyde yüzerken, yoğunluğu fazla olan maddeler hemen dibе çökerler [9].

Buraya kadar duvar ile olan sürtünme kuvvetleri dikkate alınmadan eşitliklerimizi yazdık. Duvar sürtünmesi ekseriya  $\Delta p$  basınç düşüşünü yükseltir. Bazı durumlarda da aşağı çeker. Aşağı düşen kısımlar duvar kenarında frenlendiğinde basınç düşüşü artar. Ekseri kısımlar türbülanslı tabaka ekseninde yukarı taşınmakta ve duvar yanından tekrar aşağı düşmektedir. Bu durumdaki basınç düşümü takriben (4.8) eşitliğe göre hesaplanan değerden %2 az olmaktadır. Yüksek akım hızlarında bu değerden 1,1 hatta 1,2 defa daha fazla olmaktadır. Hız yavaş arttırıldığında ara durum elde edilir ve yatak biraz genişler, tekrar titreşir ve karışır. Taneler arası aralık, tane çapından daha azdır. Tabii olarak münferit kısımlardaki delikler, bir taneden daha büyük olur, bir müddet sonra diğer taneler tarafından doldurulur. Burada katı cisimlerdeki münferit atomların yahut moleküllerin sıvı içinde difüzyonu modelinde olduğu gibi bir model tasarlanmış olmaktadır.

Akım hızı arttırıldığında tabaka dağılmakta, farklı taneler birbirinden kolayca uzaklaşmaktadır. Burada sıvının artan hızı ile, benzer olarak gazlarda da lineer olarak taneler bir şekilde karışmaktadır Şekil 4.7. Ara fazı teşkil eden tane + sıvı, bir başka sıvı gibi davranmakta, her iki fazın hızında farklılık gözlenmektedir. Akım hızı ne kadar büyük olursa çok sayıda homojen tabaka meydana gelmekte, serbest hacimde kaynayan sıvı içindeki buhar kabarcıklarına benzemektedir. Tüm

akım kesitinde buhar kabarcığı teşekkülü hadisesi, küçük çaplı borularda buharlaşmaya benzer hadiseler gibi meydana gelmektedir [10].

Serbest kesitteki maddelerin taşınmasında hızın sürekli artırılması ile taşıma noktasına ulaşılır. Madde bulutlarının taşınma kuvvetleri, ağırlıklarından daha büyük olduğunda, akışkan madde akımı taneleri taşır. Bu durumda pünomatik taşıma sınırına gelmiş olur. Böyle bir bulut, mevcut hacmi bir gaz gibi doldurur. Bu şekilde tanımlanan türbülanslı tabaka, birçok proste karşılaştırılabilir şekilde uygulanabilir ve aşağıda belirtildiği gibi özellikler kazanır [11].

1. Çok küçük taneciklere uygulandığından, çok büyük yüzey yaratırlar. Burada her bir yüzen tanecik kendi yüzeyi ile etkili olmaktadır. Bu esnada tanecikler arasında ölü nokta ve bağ bulunmamaktadır.

2. Yukarıda tarif edilen ağırlık kuvvetleri ve durma noktasında taneciklerin hareketi ve karşı hareketlerinde otomatik olarak maksimum değer elde edilmektedir. Bu değerler, maksimum hız, aynı zamanda maksimum ısı ve madde taşınım sayılarıdır.

3. Isı ve madde alışverişi, bir katı madde ve akışkan arasındaki kimyasal reaksiyon hızında olduğu gibi her ikisi arasındaki temas yüzeyi ile doğru orantılıdır. Türbülanslı tabakanın her bir hacim biriminde yüksek değerler elde edilir. Verilen herhangi bir değerde türbülanslı tabaka uygulanması için küçük reaksiyon hacmi yeterli olmaktadır.

4. Şekil 4.6 da görüldüğü gibi türbülanslı tabakada basınç düşümü oldukça sabittir. Pompa ve vantilatör bu karşı basıncı en elverişli durumda dengelemektedir.

5. Türbülanslı tabaka çok yüksek bir iç ısı iletim kabiliyetine sahiptir. Gaz akımında türbülans yaratmada olduğu gibi, türbülans taneciklerinin yüksek ısı kapasiteleri nedeni ile gaz içinde yüksek ısı transferi yapılmaktadır.

6. Dolgunun yüksek iç ısı iletkenliği nedeni ile duvardan ısı geçişi daha verimli olmaktadır. Basit bir ekzoterm proseste duvardan geçirilen ısı, aynı şekilde soğuk iç yüzeyden de olmakta, ya da bunun tersi de olur. Buna karşılık ısı ve özellikle dolgu tabakasının sıcaklık iletimi çok azdır. Tanelerin küçük temas yüzeyleri arasındaki ısı transferi, taneden taneye veya gaz ile taneler arasında olur.

7. Gaz veya sıvı ile taşınan katı kısımlar, bir borudan sıvının taşınmasında olduğu gibidir.

8. Akışkanlaştırılan tane, ısı taşıma aracı olarak kullanılır. Konulduğu kaptaki mesela sıcak gaz ile ısıtılmakta ve daha sonra ısını reaksiyon kabında tekrar geri vermektedir.

Bu kazanılan özelliklerin yanında birkaç uygulama zorlukları da vardır. Bunlar;

1. Bazı proseslerde aparatlarda sıcaklık ve konsantrasyon farklılıkları arzu edilmektedir. Yahut taze malzeme bir taraftan verilip, diğer taraftan çıkarılmak istenmektedir. Her iki fazın çabuk karışması nedeni ile yardımcı konstrüksiyonlara ihtiyaç vardır.

2. Bir taraftan diğer tarafa hareket eden kısımlar, karşılıklı olarak sürtünürler. Bu esnada parçalanma nedeni meydana gelen toz, taşıyıcı gaz tarafından taşınarak götürülmektedir.

3. Hızla hareket eden kısımlar akışkan yatak kabını da aşındırmaktadır.

## 5. AKIŞKAN YATAKTA ISI TRANSFER MEKANİZMASI

Akışkan yatakta ısı transferi iki şekilde incelenebilir:

1. Taneciklerle akışkanlaştırma ortamı (gaz veya sıvı) arasındaki ısı transferi.
2. Yatak ile yatağa daldırılmış yüzey arasındaki ısı transferi.

Şimdi bunları sırasıyla ele alalım.

### 5.1 Taneciklerle Akışkanlaştırma Ortamı Arasındaki Isı Transferi

Heterojen katalitik tepkimelerin oluştuğu işlemlerde taneciklerden gaza olan ısı transferi, taneciklerle gaz arasındaki hızlı değişim nedeniyle önem kazanmıştır. Çok büyük temas alanı ve yüksek sıcaklık farkı nedeniyle taneciklerle gaz arasındaki ısı dengesi çok kısa sürede kurulmaktadır.

Taneciklerden gaza olan ısı transferi, basit bir yaklaşımla gaz akımına daldırılmış bir tek küre düşünülerek, benzetme ile bulunabilir. Tanecik yoğunluğunun artmasıyla, tanecik çevresindeki gaz filmi incelik ve bu da ısı iletiminin iyileşmesini sağlar.

Ortalama tanecik çapının küçük olduğu durumlarda ısı transferi, akış hızına çok bağlıdır. Ancak taneciklerin birbirine çok yakın hareket ettikleri akışkan yataklarda bu durum pek geçerli değildir. Bu durumda ısı transferi katsayısı gaz akışından bağımsız olur. Gazın taneciklerin arasından hızlı bir şekilde geçmesi durumunda taneciklerle gaz arası temas süresi ısı transferi için kısalmış olacaktır.

## 5.2 Akışkan Yataktaki Bir Yüzeğe Isı Transferi

Akışkan yatakta bir yüzeğe ısı transferi ikinci önemli transfer mekanizmasını meydana getirir. Literatür bu mekanizmayla ilgili üç ısı transferi katsayısı bileşeninin varlığını kabul etmiştir.

$$h = h_{pc} + h_{conv} + h_{rad} \quad (5.1)$$

Burada  $h_{pc}$  tanecik taşınımıyla olan ısı transferi katsayısını gösterir,  $h_{conv}$  gaz fazı tarafından oluşturulan ve ısı transferi katsayısında bir miktar artış sağlayan bir bileşen ve  $h_{rad}$  ışıma ile olan ısı transferi bileşenidir.

### 5.2.1 Tanecik Taşınımı İle Isı Transferi

Akışkan yatakta ısı transferi katsayısı, belli bir değerdeki akışkanlaştırma hızına kadar artar ve bu değerden sonra artan hızlarda ısı transferi katsayısı azalır. Gaz hızıyla oluşan kabarcık hareketlerinin neden olduğu tanecik karışması sonucu tanecikler birbiriyle temas ederek uniform bir sıcaklığa ulaşırlar. Kabarcık hareketleriyle yatakta yükselen bir tanecik yığını ısı transferi yüzeyine geldiğinde, taneciklerle yüzey arasındaki temas noktasında hızlı bir ısı transferi olur. Zira, bu temas noktasında yatak sıcaklığına ulaşmış taneciklerle soğuk yüzey arasında yüksek bir ısı gradyanı vardır.

Bu daimi olmayan ısı transferi olayında, ısı transferi yüzeyinde taneciklerle yüzey arasındaki gaz filmi tarafından oluşturulan bir ısı direnç doğar. Bu ısı direnç ani ısı transferi katsayısının tersidir. Taneciklerin kabarcık hareketi sonucu yüzeyde kalma süreleri, terminal hızına bağlı olarak değişir. Terminal hızı artınca kabarcık hareketi çoğalır ve taneciklerin yüzeye temasta kalma süresi azalır. Yani, yatak sıcaklığındaki yeni tanecik yığınlarının yüzeyde yer değiştirme hızı artar. Dolayısıyla her yeni gelen yüksek sıcaklıktaki yığının yüzeye transfer ettiği ısı ile ısı transfer katsayısı artma gösterir.

Kabarcık hareketi minimum akışkanlaştırmadan hemen sonra başlar. Bazı araştırmacılar bu yüzeyde kalma süresinin 0.4 sn ve daha fazla olacağını belirtmişlerdir. Tek taneciklerin ısı transferi yüzeyi ile temas gelmelerini ele alarak Fourier serileri ile yapılabilecek nümerik çözümlerle kesin yüzeyde kalma süresi bulunabilir.

Isı transferi katsayısı taneciklerin yüzeyde kalma süresinin kısılmasıyla arttığı gibi, tanecik boyutunun küçülmesiyle de artar. Bu bileşenin geçerli olduğu tanecik çapı 40  $\mu\text{m}$  ile 800  $\mu\text{m}$  arasında değişmektedir. Diğer yandan bu bileşen ancak düşük ve atmosferik basınçlı sistemler için gereklidir.

### 5.2.2 Gaz Taşınımı İle Isı Transferi

Bu bileşen direkt olarak ölçülemez, ancak toplam ısı transferi analizinden ortaya çıkar. Akışkanlaştırılmış tanecikler 800  $\mu\text{m}$  ' den büyükse ve gaz akış hızı türbülanslı akış şartlarında, ya da en azından türbülanslı akış başladığında gazın taşınımıyla oluşan ısı transferi daha fazla ihmal edilemez.

Isı transferi yalnızca taneciklerin taşınımıyla ilgili mekanizmadan ibaret gibi görünürse de, statik basınç artışlarında ve volümetrik kapasite arttırıldığında  $h_{\text{conv}}$  toplam ısı transferine bileşen olarak katılır. Artırılan karışım hızıyla birlikte gaz fazı içindeki taneciklerle gaz arasında taşınım ile ısı transferi oluşur. Taneciklerden aldığı ısıyı gaz kabarcıklarıyla yüzeye ileten bu bileşen, ancak yüksek statik basınçlarda bir anlam taşır.

### 5.2.3 Işınım ile Isı Transferi

Akışkan yatağa daldırılmış yüzeylere 600°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ışınım ile ısı transferi olmaktadır. 450°C ile 1000°C arasında ışınım ile olan ısı transferinin, yüzeyler siyah cisim kabul edilirse dört kat arttığı tahmin edilmektedir. 1000°C 'da ışınım ile olan ısı transferinin toplam ısı transferine etkisi %45 civarındadır.

Genelde yapılan deneyler, ısı transferinin sadece taşınım iletim mekanizmasından oluştuğu düşük sıcaklıklarda (30-200 °C) yapılmıştır. Ancak akışkan yataklı kazan sistemlerinde sıcaklık (700-1000 °C) civarındadır. Işıma ile olan ısı transferinde literatürde değişik sonuçlar verilmiştir. Bunun nedeni ışımayı ölçmede kullanılan metotların farklılığıdır.

Kabarcıklaşmanın sonlandığı, yani akışkanlaşmanın sona erdiği bir yatakta dahi tanecikler ile yüzey arasında ışıma ile olan ısı transferi ihmal edilemeyecek durumdadır.

Akışkanlaştırma sonrası ısı transfer yüzeyinin bir kısmı ilk gelen tanecik yığını tarafından tamamen kaplanmayabilir ve daha sonraki tanecik yığınları tarafından kaplanabilir. Bu durumda ilk tanecik yığını gören yüzeyin yayınım katsayısı 1 dir. Yüzeyin diğer kısımlarında ise yayınım katsayısı tanecik yayınım katsayısına eşittir. Ancak, genelde efektif yayınım katsayısı hiçbir zaman tam 1 olmaz. Efektif yatak yayınımı yatak ile yüzey sıcaklığının fonksiyonudur ve yüzey sıcaklığının hızlı artması ile hızla artar.

Akışkan yataklarda şiddetli akışkanlaştırmanın olduğu durumlarda ışıma ile ısı transferi tanecik çapından bağımsızdır. Yataktaki büyük parçacıklarla küçük parçacıklar arasında boyut olarak çok büyük fark varsa (uygun bir normal dağılım yoksa) küçük tanecikler büyük tanecikler arasına girerek tanecik yığınının yayınımını azaltır.



### 5.3 Isı Transfer Katsayısına Etkiyen Faktörler

Şimdiye kadar yapılan çalışmaların sonuçlarına bakıldığında, akışkan yatakta yüksek ısı transferi katsayılarının elde edildiği ve sıcaklığın da yatağın her yerinde sabit olduğu görülür. Amaç akışkan yatağın optimizasyonu, diğer deyişle, ısı transfer katsayısının iyileştirilmesidir. Ancak akışkan yatakların ısı transferi için çok uygun bir ortam meydana getirmesine rağmen bu katsayıya etki eden faktörlerin tümü derinliğince bilinmemektedir. Literatürde bu konuda 14 faktör öne sürülmüştür. Optimizasyona geçmeden önce, bu faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Gaz ile ilgili olanlar: yoğunluk, vizkozite, özgül ısı, ısı iletkenlik
2. Katı ile ilgili olanlar: yoğunluk, çap, özgül ısı, yuvarlaklık(küresellik)
3. Minimum akışkanlaştırma ile ilgili olanlar: akışkan hızı, boşluk oranı
4. Geometrik özelliklerle ilgili olanlar: ısı transfer yüzeyinin uzunluğu, sabit yatak derinliği, yatak çapı, daldırılmış eleman çapı.

#### 5.3.1 Akışkan Hızının, Tanecik Boyutunun ve Şeklinin Etkisi

Akışkan hızının artmasıyla, tanecik yığınının ısı transferi yüzeyinde kalma süresi dolayısıyla yeni bir yığın yüzeyi kaplama süresi kısalmıştır. Bu durumda ısı transferi hızlı olacağından ısı transferi katsayısı artar, ancak hız çok fazla artırıldığında taneciklerin oluşturduğu yığınlar kabarcıkların büyümesiyle azalır ve tanecikler taşınarak yatak ortamından kaçarlar.

Tanecik çapının artan değerlerinde, ısı transferi katsayısı (film katsayısı) azalır. Ancak, çaptaki artışa göre ısı transferi katsayısı daha hızlı bir azalma gösterir.

Tanecik yüzeylerinin yuvarlatılmış ve pürüzsüz olması ısı transfer katsayısında bir miktar artışlara neden olur. Tanecik yoğunluğundaki artış ise ısı transferinin artışına neden olurken, akışkan yoğunluğunun artışı ters etki yapmaktadır.

### 5.3.2 Akışkanın ve Katı Taneciğin Termofiziksel Özelliklerinin Etkisi

Katı taneciklerin oluşturduğu emülsiyon fazının (tanecik yığınının) ısı iletim katsayısının ( $k_p$ ) artması, film katsayısının artmasında az da olsa etkindir. Katı taneciklerin özgül ısısının ( $c_{pp}$ ) artmasıyla ısı transferi katsayısı artma gösterir:  $h \propto c_{pp}^n$ . Bu bağıntıda  $0.25 < n < 0.8$  değerini almaktadır. Akışkanın özgül ısısının ( $c_{pg}$ ) tesiri üzerinde çelişkili açıklamalarda bulunulmuştur. Bununla beraber akışkanın ve taneciğin özgül ısıları arasında kıyaslanabilir bir ilişki mevcut ise, çok fazla bir fark yoksa yüksek gaz basınçlarında ve hızlarında  $c_{pg}$ 'nin artımıyla  $h$  bir artış gösterecektir. Akışkanın ısı iletim katsayısı  $k_g$  fiziksel özellik olarak ısı transferine en büyük etkisi olan faktördür.  $k_g$ 'nin artımlarında  $h$  artar, bu artış  $k_g$ 'nin 1/2 oranında artmasına karşılık 2/3 şeklindedir.

### 5.3.3 Akışkan Yatak Ölçülerinin ve Isı Transfer Yüzeyinin Etkisi

Sabit yatak yüksekliği  $H_s$ 'den çok, sabit yatağa daldırılmış yüzeylerin dağıtıcı elekten yüksekliği ( $L$ ), dolayısıyla, yüzeylerin sabit yatak içinde kalan kısmının, ısı transfer katsayısı üzerinde etkisi söz konusudur. Ancak, daldırılmış yüzeyin daldırılış şekli bu etkiyi değiştirebilir. Bu da; yatağa dik daldırılmış yüzeyin sabit yatak içinde kalan kısmı daha fazla olacağından yatay tüplere göre avantajlı görünür. Bununla beraber bu daldırılmış kısımlar için henüz geçerli bir temel açıklama yapılamamıştır.

Dik tüplerin, yatay tüplerden %5 ile %15 daha fazla ısı transferi katsayısına etkisi olduğu söylenebilir. Zira, dik tüpün yatak içine giren kısımları daha fazladır. Ayrıca dik tüplerin eksenlerinin gaz akış ekseninden ayrılma açısının %5-6 oranında ısı transferine artış etkisi olduğu da gözlenmiştir.

Tüplerin yatak içine yatay olarak yerleştirilmeleri söz konusu olduğunda, eğer birden çok sıra kullanılırsa aynı hizada ya da saptırmalı olarak yerleştirilebilmeleri mümkündür. Bu yerleşimde, aynı hizadaki tüpler arası yatay mesafe ( $Y$ ) ve üst üste sıralar arasında ise dik mesafe ( $Z$ )'nin ısı transferi katsayısı üzerindeki etkisi

incelenebilir. Dik mesafenin etkisi küçük mesafelerde daha fazladır. Yatay mesafe çok küçüldüğünde yani tüplerin birbirlerine çok yakın olmaları durumunda ısı transferi katsayısında ufak bir azalma olur. Bunun sebebi, yatak kesitinin iyice daralarak gaz akışının güçleşmesi ve yatağın tüplerle ikiye ayrılır bir duruma gelmesi olarak düşünülebilir.

Yatak çapı ile  $h'$  nin birbirine bağılılığı konusunda çok değişik fikirler olmasına rağmen, genelde çapın nitelik yada nicelik açısından bir etkisi yoktur denilebilir.

#### **5.3.4 Isı Transferi Tüp Çaplarının Etkisi**

Bu konuda pek çok araştırmacı, 10 mm' den daha küçük çaptaki tüplerin ısı transferi katsayısına etkisinin söz konusu olduğu, daha büyük çaplarda ise etkinin ihmal edilebileceğini belirtmişlerdir.

#### **5.3.5 Boşluk Oranı**

Bu oran, kabarcık miktarı, dolayısıyla akışkan hızıyla artmakta ve ısı transferini azaltmaktadır.

#### **5.3.6 Mekanik Hareketlendirme**

Mekanik olarak karıştırılmış yataklarda, karışım hızına bağlı olarak ısı transferi katsayısı artmaktadır. Bu artış terminal basıncına da bağlıdır. Ancak bu tip yataklarda taneciklerin yüzeyde kalma sürelerinin kontrolü güç olmaktadır [1].

## 6. AKIŞKAN YATAK BOYUTLANDIRILMASI

Akışkan yataktaki katı madde partikülleri belirli bir tanecik büyüklüğü dağılımını göstermektedir. Ağırlık kısmı, tane büyüklüğü üzerine taşındığında, Şekil 6.1 de görüldüğü gibi bir yoğunluk dağılımı eğrisi elde edilir. 0 dan  $dp$  tane büyüklüğüne kadar münferit ağırlık kısımlarını toplayıp, Şekil 6.1 deki toplam eğrisi elde edilir. Bu toplam dağılım elek analizinde Rosin, Rammler ve Sperling tarafından geçiş eğrisi olarak,

$$D = 1 - e^{-(dp/k)^n} \quad (6.1)$$

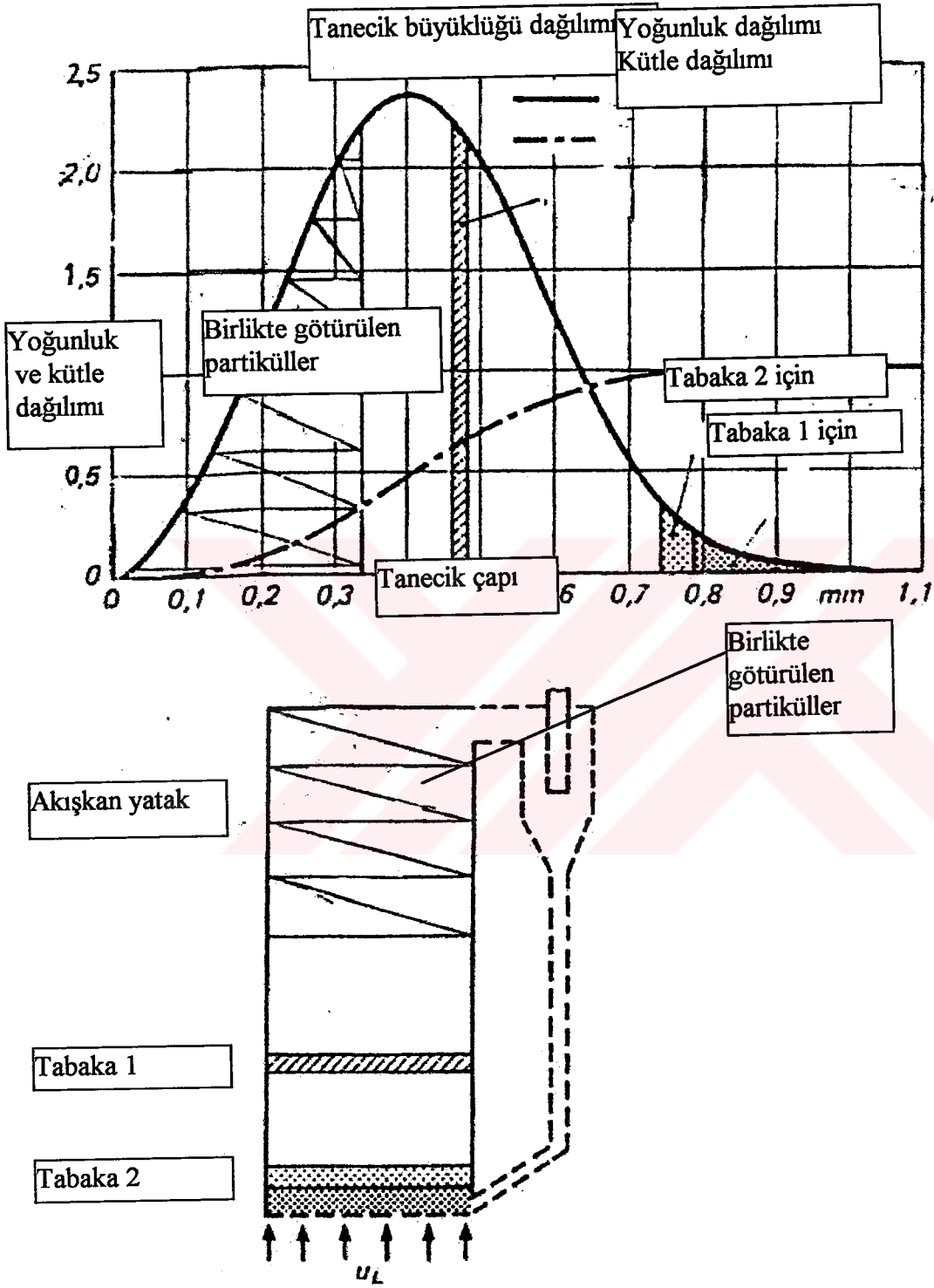
basit formül ile elde edildi. Buradaki  $D$  geçiş kısmıdır. Tane büyüklüğü  $dp$  den daha küçüktür.  $k$  ve  $n$  sabitlerdir ve toplam dağılım eğrisinden belirlenir. Yoğunluk dağılım eğrisi ile toplam dağılım eğrisi arasında

$$V = \frac{dD}{ddp} = \frac{n}{k} \left( \frac{dp}{k} \right)^{n-1} e^{-(dp/k)^n} \quad (6.2)$$

bağıntısı vardır.  $dV/dp = 0$  yapılarak, yoğunluk dağılım eğrisinin maksimumu, toplam dağılım eğrisinin dönüm noktası,

$$dp_{\text{mak}} = k \sqrt[n]{(n-1)/n} \quad (6.3)$$

elde edilir.



Şekil 6.1 Tanecik büyüklüğü dağılımı ve bir akışkan yatak şekli.

Bir kanalda tek bir partikül gaz tarafından götürölmek üzere akıma tabi tutulursa, gaz hızı küçükse partikül düşer, eşit ise yüzer, yahut büyükse birlikte götürölür. Bir kanalda ince taneli katı maddeli durgun bir tabaka, gaz tarafından akıma tabi tutulduğunda belirli bir gaz hacmi partikül tabakasını kuvvetle harekete geçirecek, partikül tabakası yumak halinde kopmaya başlayacak ve partiküller artık birbiri ile sürekli birlikte olamayacaklardır. Bu noktaya akışkan yatakta kopma veya kabarma noktası denilmektedir. Genişleme halindeki gözeneklilik, relatif gaz hacmini vermektedir. Kopma noktasında farklı büyüklükteki taneler nedeni ile bir kısım küçük çaplı partiküllerin düşme hızları düşük olmaktadır.

Bir kanalda durgun haldeki ince taneli bir tabaka gaz tarafından götüröldüğünde, belirli bir gaz debisi partikül tabakasını önce kopma noktasına daha sonrada bir daha bir araya gelmeyecek şekilde o kadar kuvvetle akıma tabi tutacaktır. Bu noktadan itibaren kopma noktası (gevşeme noktası) akışkanlaştırılmış tabaka olarak adlandırılır. Genişleme davranışı, gözeneklilik bu da relatif gaz hacmi olarak tarif edilir. Gevşeme noktasında farklı tane büyüklüklerinden bir kısım partiküllerin küçük çaplı olmaları ve düşme hızlarının, partiküller arasındaki gaz hızından küçük olmaları dolayısıyla yukarı doğru taşınırlar. Tanecik dağılımındaki bir kısım kaba partiküller aşağıda kalır ve orada kabarma halindeki gözenekli durumda kararlı bir akışkan tabaka meydana getirirler. Üst tarafa taşınan partiküllerin meydana getirdiği gözeneklilik durumu, kopma noktasında meydana gelen gözenekliliğe yaklaşık olarak eşit olur.

Gaz akım debisi ve boş hacimde gaz akım hızının tekrar yükselmesi ile daima daha fazla partikül aşağıdan yukarı doğru taşınmaktadır. Yukarı doğru belirli yükseklikte büyüyen gözeneklilik ve küçülen akım hızı nedeni ile partiküller arasında uçuşan kısımlar aşağı düşer ve belirli yükseklikte yüzerler. Kararlı durumda türbülans içinde, büyük katı madde konsantrasyonunda sürekli düşük gözeneklilik dağılımı ve büyük tanecik çapı, alt tarafta ve küçük katı madde konsantrasyonunda büyük gözeneklilik ve yukarı kısımda küçük tanecik çaplı kısım meydana gelir.

Akım davranışları, gaz akım debisi gibi akışkan yatak reaktörünün geometrisi, hava ve sirküle edilen gaz akışı, tanecik dağılımı, yatağın toplam katı madde kütlesi, yakıt, kül ve katı madde, gazların madde değerleri ve akışkan yatak yüksekliğinde gözeneklilik dağılımından katı maddenin neden olduğu basınç kaybı hesaplanabilir.

Gözenekliliği  $\varepsilon$  ile gösterecek olursak, alt taraftaki kopma noktası gözenekliliğini  $\varepsilon_L$ , partiküller arasında ortalama gaz hızını  $u_G$  ile boşluktaki gaz hızı arasında

$$u_G = \frac{u_L}{\varepsilon} \quad (6.4)$$

bağıntısı vardır.  $u_G$  gaz hızından,  $d_p$  tanecik çapı ve düşme hızı doğrudan bulunabilir. Bu tanecik çapı, düşen tane çapı  $d_{ps}$  olduğuna göre;

$$Ar = 0.75 \cdot C_{ws} \cdot Re_s^2 \quad (6.5)$$

den elde edilir. Partikül çapı, düşen tanecik çapından daha büyük ise,  $\varepsilon_1$  gözenekliliğinde yukarı taşınmaz ve bu tabakada kalır.

Kütle kısmı  $m_1$  ve tabaka yüksekliği  $h_1$  Şekil 6.1 de koyu bölge, tabaka 1de aşağıdaki gibi elde edilir.

$$m_1 = \frac{m_G}{e^{(d_{psc}/k)^n}} \quad (6.6)$$

$$h_1 = \frac{m_1}{(1 - \varepsilon_1)\rho_s A} \quad (6.7)$$

$\varepsilon_1$  gözenekliliğinde bulunan akışkan yatak yüksekliği  $h_1$ , düşen tanecik çapında daha küçüktür. Bu tabaka  $\varepsilon_1$  gözenekliliğinde pratik olarak yoktur. Bu da

tanecik dağılımı için  $\varepsilon_1$  gözenekliliği ile bir tabaka teşekkülünde boş hacim hızının çok fazla olduğu demektir. O zaman bu alt tabaka, düşen tanecik çapında daha büyük oluncaya kadar yüksek gözeneklilik ile başlar. Artık ilk tabakada  $\varepsilon_1$  gözenekliliği için  $h_1$  tabakası elde edilmiş olur. Gözeneklilik, yüksek tabakalar için alt tabakalardan küçük olamaz. En son tabaka için yüksek gözeneklilik elde edilir ve elde edilen yüksek gözeneklilik içindeki partikül ve düşen partikül çapı  $d_{p2}$  arasında gaz hızı küçülür.

Bu ikinci tabakada  $\varepsilon_2$  gözeneklilik ile yalnız partiküller  $d_{ps1}$  ve  $d_{ps2}$  tane çapları arasında yüzerler. Kütle kısımları  $m_2$  ve tabaka yüksekliği  $h_2$ , aşağıda görüldüğü gibi elde edilir.

$$m_2 = m_G \left[ \frac{1}{e^{(d_{ps2}/k)^n}} - \frac{1}{e^{(d_{ps1}/k)^n}} \right] \quad (6.8)$$

$$h_2 = \frac{m_2}{(1 - \varepsilon_2)\rho_2 A} \quad (6.9)$$

Daha önce değinildiği gibi,  $\varepsilon_2$  gözenekliliği çok büyük olmalıdır ki  $h_2$  tabaka yüksekliği elde edilsin. Geri kalan küçük partiküller uçurlar ve bazıları belirli yerlerde yüzerler.

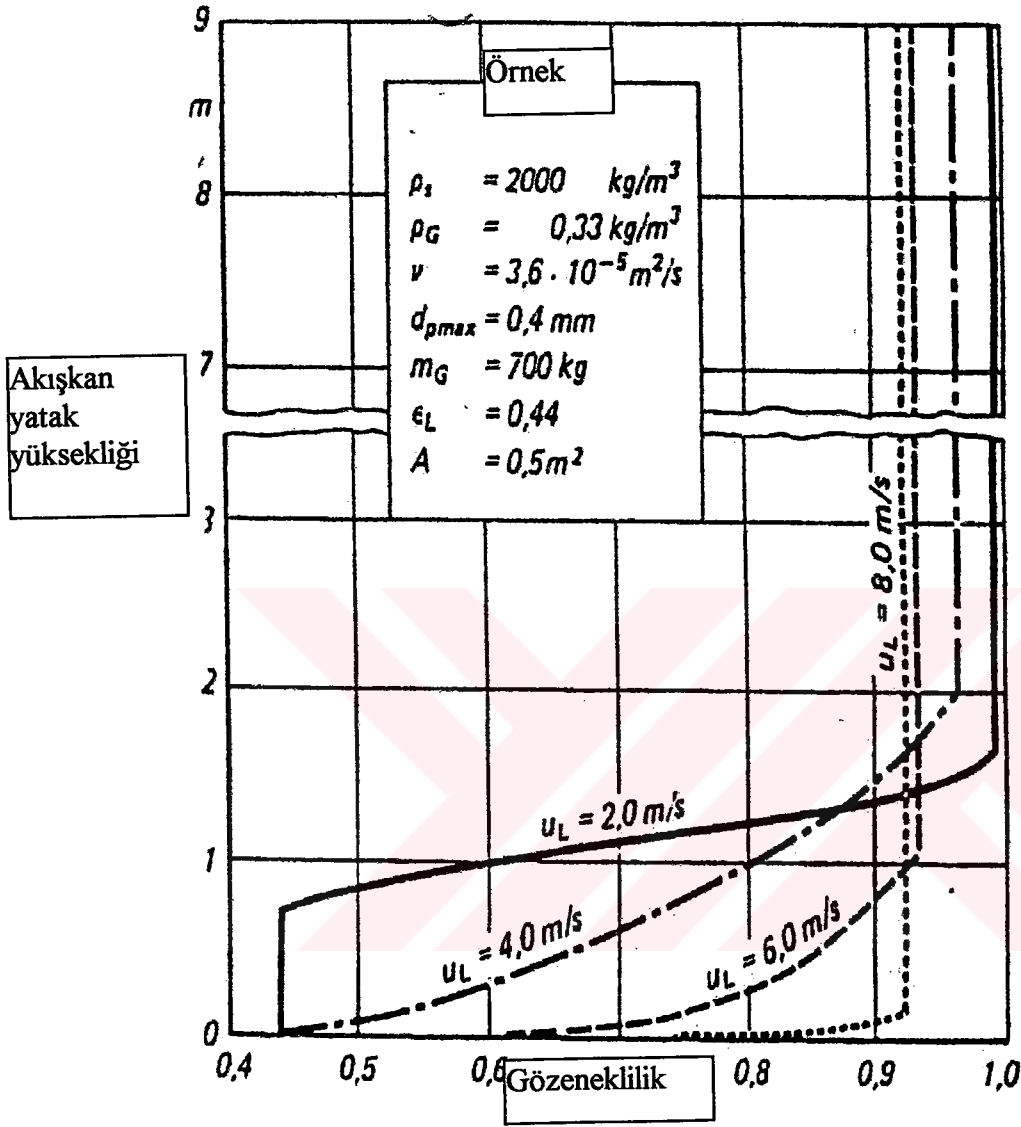
Benzer şekilde tabaka yükseklikleri, sonuncu gözenekliliğin en üst tabakadaki  $\varepsilon_{ob}$  gözenekliliğine eşit oluncaya kadar elde edilir. Bu durumda geri kalan partiküller,

$$m_r = m_G - \sum m_i \quad (6.10)$$

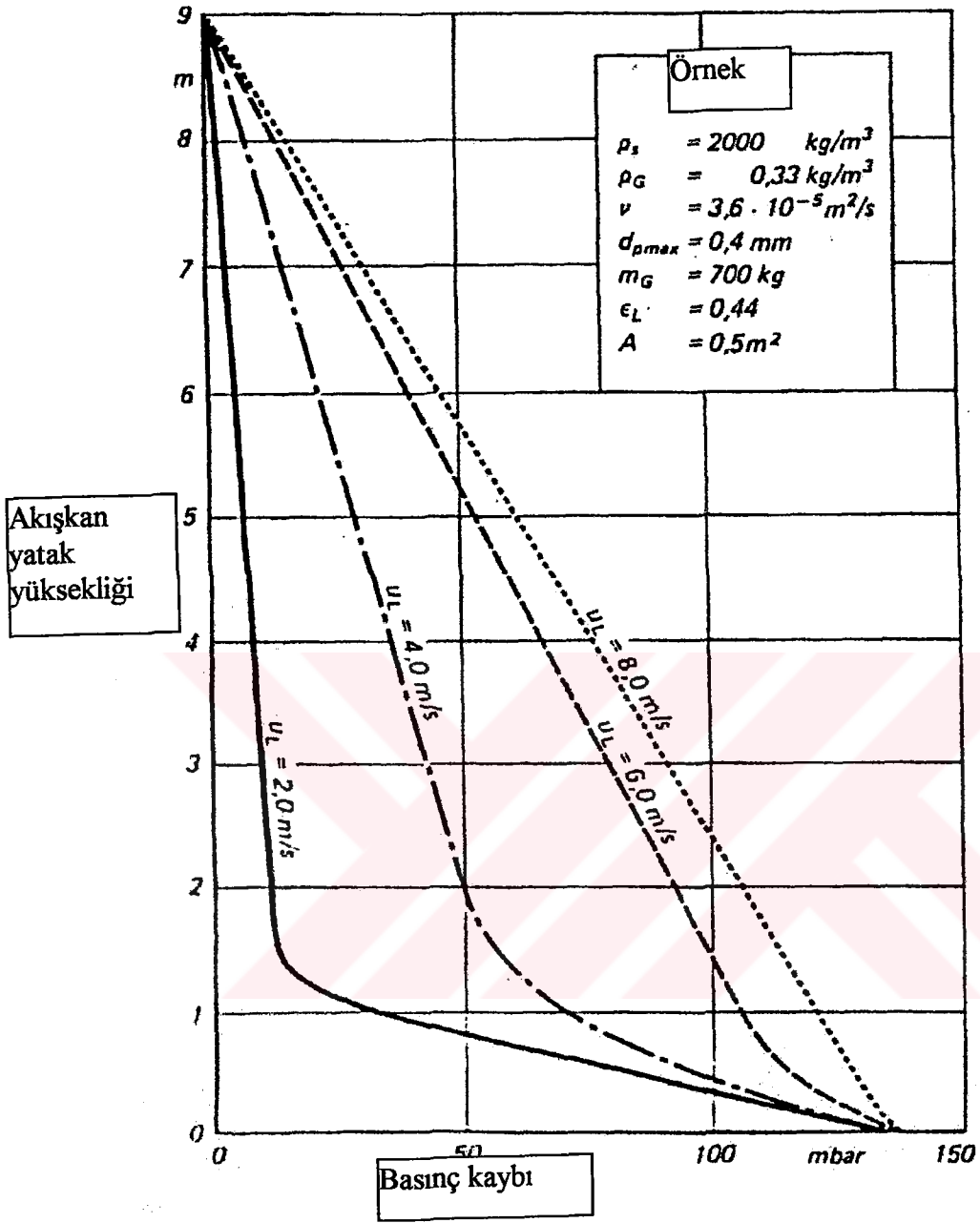
$$\varepsilon_{ob} = 1 - \frac{m_R}{H - \sum h_i \cdot \rho_s \cdot A} \quad (6.11)$$

olarak hesaplanır.





Şekil 6.2 Akışkan yatak yüksekliği-Gözeneklilik bağıntısı.



Şekil 6.3 Akışkan yatak yüksekliği-Basınç kaybı bağıntısı.

Şekil 6.2 de bu modele göre elde edilen gözeneklilik dağılımı üzerine akışkan yatak yüksekliği, boş hacimde gaz hızı parametre alınarak gösterilmektedir. Şekil 6.2 de , küçük boş hacim gaz hızında gözeneklilik dağılımı bir karakteristik form olarak, üst kısımda yüksek gözeneklilik alanı ve alt tarafta düşük gözeneklilik alanının olduğu akışkan yatak reaktörü görülmektedir.

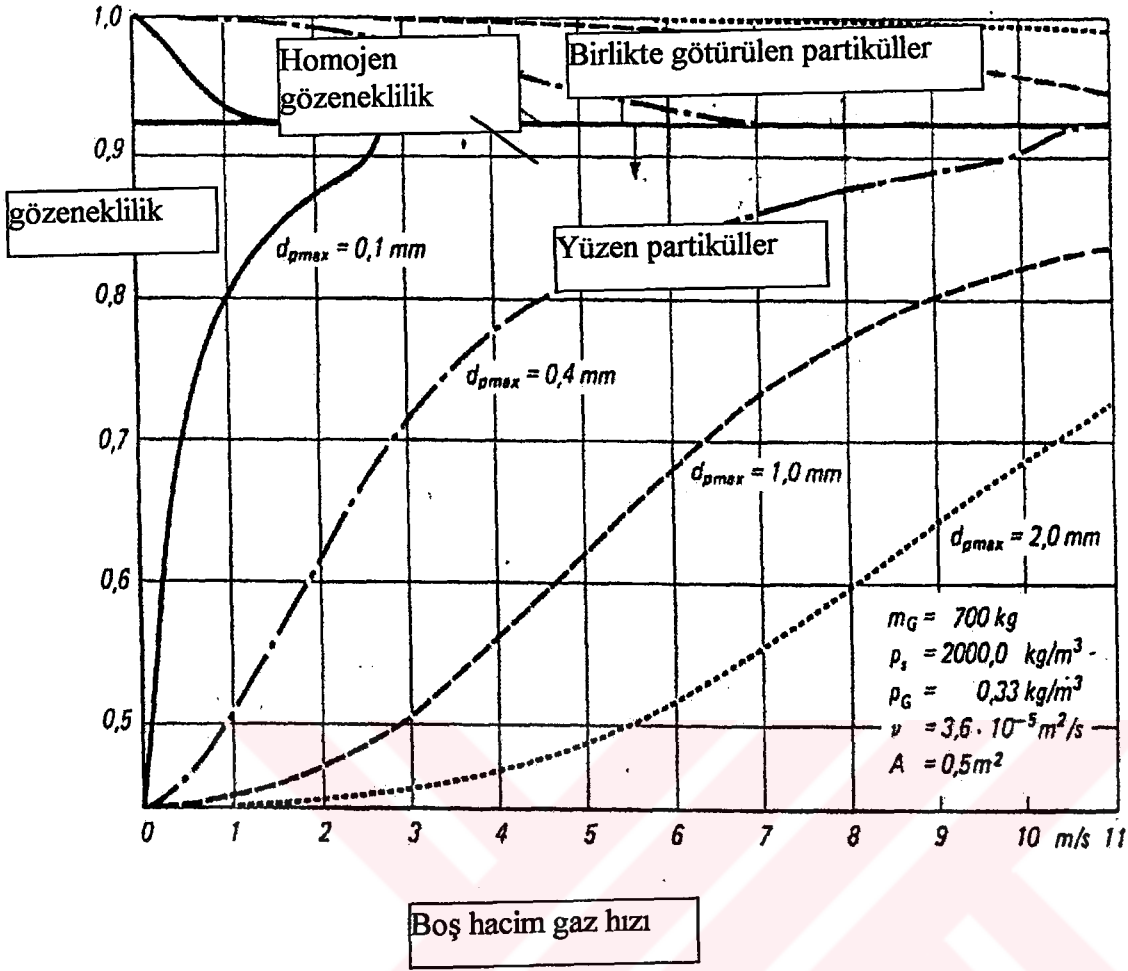
Boş hacimde gaz hızı ne kadar büyükse, akışkan yatağın alt tarafı o kadar genişlemiş ve az miktardaki yüzer büyük partiküllerle meydana gelen tabaka yüksekliğinde gözeneklilik düşük kalmış olur.

Bir tabakada gözeneklilik ve katı maddenin neden olduğu basınç farkı arasında aşağıdaki bilinen bağıntı vardır.

$$\Delta p_i = (1 - \varepsilon_i) (\rho_s - \rho_G) g h_i \quad (6.12)$$

Burada basınç gradyanının, boş hacimdeki gaz hızı parametre alınarak akışkan yatak yüksekliği üzerine olan ifadesi Şekil 6.3 te görülmektedir. Belirli bir boş hacimdeki gaz hızından itibaren basınç gradyanı bir doğrudur. Bu da akışkan yatağın homojen olduğunu gösterir.

Şekil 6.4 de boş hacimdeki gaz hızı üzerine gözeneklilik durumu  $dp_{\max}$  parametre olarak göstermektedir. Üst tarafta uçuşan partiküller ile teşkil edilen gözeneklilik, tanecik dağılımı ile belirli bir boş hacim gaz hızı homojen gözeneklilikten itibaren düşmektedir. Bu da, burada yalnız akışkan yataktaki toplam kütleyle bağlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.4 Gaz hızı -Gözeneklilik bağıntısı.

## 7. AKIŞKAN YATAKTA DAĞITICI ELEK

Dağıtıcı elek, akışkan yatağın en önemli parçalarından biridir. Tanecik yığılmasına meydan vermeden düzenli bir dağılım sağlanması için, akışkan yatakta elek tasarımı, üzerinde en çok durulan konudur.

Genelde konik olarak imal edilen bir lüenin üzerine monte edilen dağıtıcı elek yatak malzemesini taşıyan, akışkanlaştırıcı gazın düzenli dağılımını ve işlemin kararlı olmasını sağlayan, akışkan yatakta fiziksel ve kimyasal parametreleri etkileyen bir elemandır Şekil 7.1.

İyi bir dağıtıcı elek düzenli bir dağılım yapmalı ve kararlı akışkanlaşma sağlamalıdır. Uzun süren çalışmalarda katı tanecikler gaz giriş deliklerini kapatarak büyük basınç düşüşlerine sebep olmamalıdır. Yatak çalışmaya başlarken, çalışırken ve durma halinde katı tanecikleri eleğin altına düşürmemelidir. Elek yüksek sıcaklıklarda genişlemeye ve korazif etkilere dayanabilmeli, yığılma ve sıcak noktaların oluşmasından dolayı gaz giriş noktalarının civarlarında durgun katı bölgeler oluşturmamalıdır. Elek tasarımında göz önüne alınacak parametreler şunlardır.

1. Dağıtıcı eleğin gaz giriş noktalarındaki şekli ve dağıtıcı elek üzerine yerleştirilmiş deliklerin geometrisi ,
2. Deliklerin büyüklüğü ve merkezler arası mesafe ,
3. Dağıtıcı elek yakınında gaz hızı ve yönü ,
4. Dağıtıcı eleğin sağladığı tüm direnç ve elek kullanım oranı.

Buradaki elek kullanım alanı:

$$\Phi_d = \frac{\text{Delikler int oplamalanı}}{\text{Elekalanı}} \quad (7.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

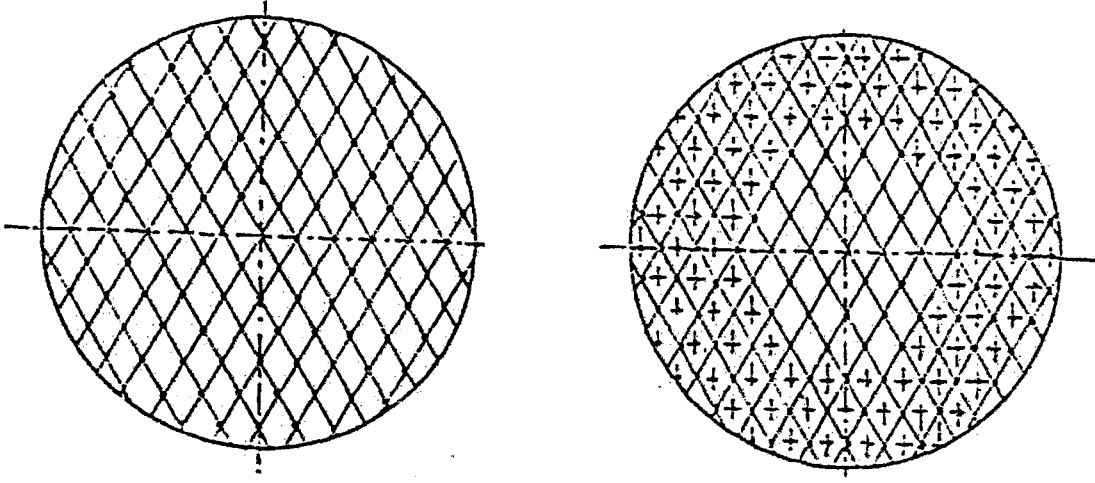
Bu faktörlerin çokluğu yüzünden akışkan yatakta dağıtıcı elek tasarımı henüz ampirik yaklaşımlarla yapılabilmektedir.

Akışkan yatağın tasarımı sırasında, çalışma şartları göz önüne alınır ve elek türü ile malzemesine karar verilir. Genel olarak ekonomik olması ve dayanıklılığı nedeni ile metaller tercih edilir. Metal elek, akışkanlaştırma gazının soğutucu etkisine ve yüksek yatak sıcaklığına, korozif etkilere dayanabilir. Kolay işlenebilir, delme, kaynak ve diğer işlemler kolay olduğundan ilk yatırım masrafı az olur.

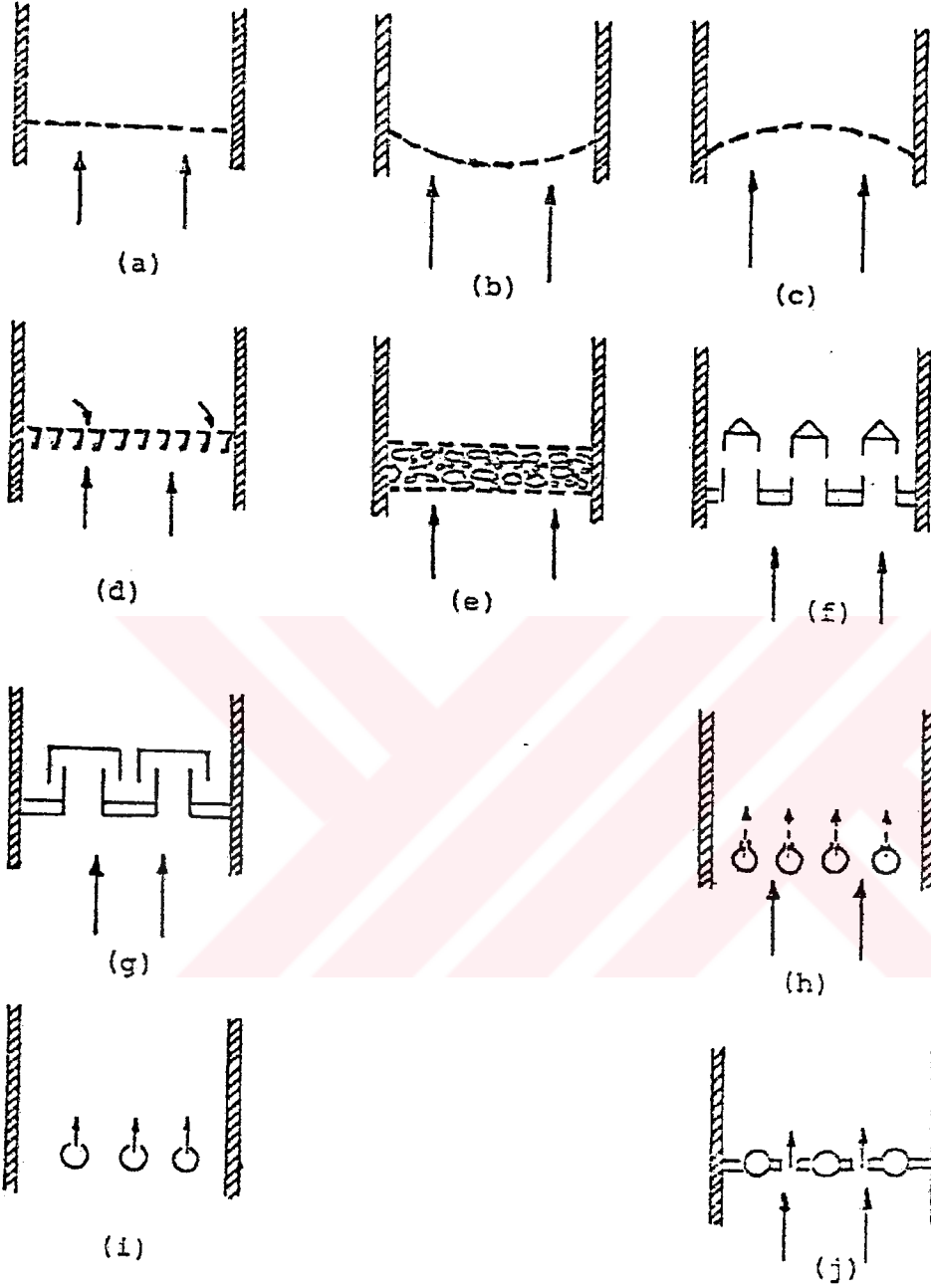
Seramik malzemeden yapılan dağıtıcı elekler yüksek sıcaklığa ve korozif etkilere daha dayanıklıdır, fakat ısıl şok ve genleşme gerilimine dirençleri küçüktür [1].

Tamamen temiz gaz gereksinimi duyulduğunda gözenekli levha kullanılır. Değişik tipteki elekler ve özellikleri Şekil 7.2 görülmektedir. Dağıtıcı elek tipleri:

1. Delikli levha,
2. İçbükey delikli levha,
3. Dışbükey delikli levha,
4. Mazgal tipi delik levha,
5. Dolgulu yatak tipi,
6. Nozül tipi levha,
7. Kampana tipi,
8. Nipple tipi,
9. Delikli borular,
10. Delikli su duvarı şeklinde sıralanabilir.



Şekil 7.1 Dağıtıcı elekte deliklerin yerleşim düzeni.



Şekil 7.2 Dağıtıcı elek tipleri.

a.Delikli levha, b.İçbükey delikli levha, c.Dışbükey delikli levha, d.Mazgal tipi delik levha, e.Dolgulu yatak tipi, f.Nozul tipi levha, g.Kampana tipi, h.Nipple tipi, i.Delikli borular, j.Delikli su duvarı.

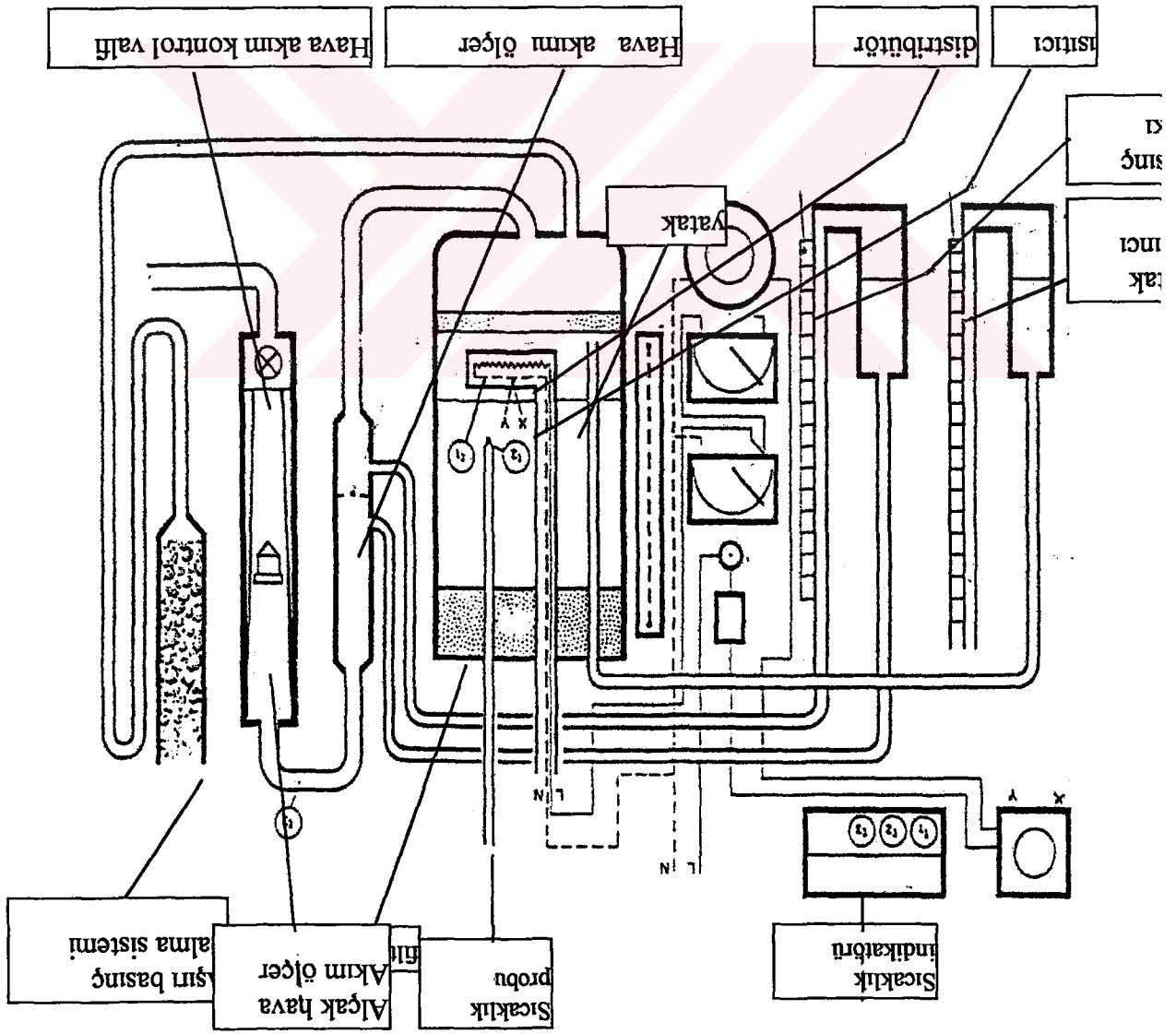


## 8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR



Şekil 8.1 Deneysel çalışmaların yapıldığı akışkan yatak fotoğrafı.

Şekil 8.2 Deneysel gelişmelerin yapıldığı akışkan yatak şekli.



## 8.1 Deney Cihazının Tanıtımı

Seçilmiş taneli malzeme yatak, düşey cam silindir içinde, ortalama 80mm yüksekliktedir. Tabandaki dağıtma odası ve hava distribütörü, akışkanlaşma olmadığı zaman yatağı destekler. Delikli taban plakası, dört değişik boyutta erimiş alumina taneciklerini akışkan yatak silindiri tabanında tutmayı sağlar. Deneyde kullanılan ortalama tanecik boyutu yaklaşık 125 - 350  $\mu\text{m}$ . ' a kadardır. Yatak haznesi, 105 mm iç çap ve 220 mm yükseklik, alt ucu hava dağıtma sistemi ile kapatılmış ve üst ucuna filtre monte edilmiş, basınca dayanıklı cam silindirden meydana gelmektedir. Distribütör, taneli malzemeyi tabana düşürmeyecek ve düzenli hava akımını yatak içinde aşırı basınç düşüşü meydana getirmeyecek şekilde dağıtmak üzere tasarlanmıştır.

Yataktan geçen hava, cam silindirin üzerinde bulunan bir kağıt filtrede filtrelenerek atmosfere atılır. Hazne, filtre ve distribütör bir bütün halinde panel üzerine oturacak şekilde tasarlanmıştır. Regülatör ve hava filtresi, temiz ve sabit hava ihtiyacını sağlar.

Cam silindir içine dikey olarak, yatak haznesinde hareket edebilen sıcaklık ölçer, basınç ölçer ve bir yatay silindirik ısıtma elemanı yerleştirilmiştir. Isıtma elemanı, sıcaklığı termokupl ile kontrol edebilen, yüzey alanı 16  $\text{cm}^2$  olan silindirik bakır malzemedен imal edilmiştir.

Kompresörle sıkıştırılmış hava, filtre ve manometreden geçerek dağıtıcıya gelir. Manometre, kontrol valfi ve yüksek akım oranlarını ölçmek için bir orifis, dağıtım haznesine takılı durumdadır.

Isıtma elemanının sıcaklığı, ayarlanabilir bir transformatör ile kontrol edilir, voltaj ve akım panodan izlenebilir. Transformatör, ısıtıcıya verilen elektrik miktarını değiştirmek için kullanılır. İki termokupldan biri yüzey sıcaklığını, diğeri bir kontrolör ile bağlanarak elamanın sıcaklığının 200  $^{\circ}\text{C}$  ' yi geçmesini önler. Dijital bir termometre distribütörde stoklanan hava ve yatak haznesindeki hareketli sondanın

sıcaklığını gösterir. Elektrik akımı, 0 - 250 Volt ' a kadar voltmetre ve 0-3 Amper ' e kadar ampermetre ile kontrol ve ayar edilerek, ısıtıcı elemanın elektrik gücü belirlenmektedir.

Sıvı doldurulmuş manometreden biri yatak haznesinin basıncını, diğeri orifisteki daha yüksek hava basınç farkını gösterir. Saniyede 0,15 lt – 3,5 lt ' ye kadar geçen havanın, 300 mm H<sub>2</sub>O ' a kadar basıncını ölçer.

Dağıtma haznesindeki basınç, 300 mm H<sub>2</sub>O dan daha fazla yükselirse, (örneğin filtreden geçişin engellenmesi durumunda) blokaj durumunda, aşırı basınç artışı önlemek üzere fazla hava atmosfere boşaltılır. Blokaj önlenene kadar otomatik olarak çalışır.

Cihazın önemli bir özelliği de yatak malzemesinin kolayca değiştirilebilmesidir. Distribütör haznesine hava bağlantılarını sağlayan iki civatanın somunları açıldıktan sonra, monte edildiği birleşmeden çıkarılır. Yatak malzemesi, cam gövde eğilerek boşaltılabilir. Böylece hazneye başka bir yatak malzemesi de doldurulabilir ve ters yönde yeniden monte edilir. Erimiş Alumina tanecikleri dört grup halinde, uygun yoğunluk ve boyutları ile ısı transferi ve akışkanlaşmaya elverişlidir.

Sistemin kontrolü, hava akımı ölçerin altında yer alan ve yatağa verilen havanın akışını kontrol eden valf ve ısıtma elemanının voltajını kontrol eden ayar düğmesi ile yapılır.

Yataktan geçen yüksek basınç veya debili hava akımı, bazı yatak malzemelerinin filtreye taşınmasına neden olur. Hava akımı azaldığında bunların çoğu yatağa geri döner, bazıları da filtrenin tıkanmasına neden olur. Bu durumu önlemek için zaman zaman filtrenin temizlenmesi gerekir [12].

## 8.2 Deneylelerden Elde Edilen Sonuçlar

Deney malzemesi olarak akışkan yatakta ortalama  $3770 \text{ kg.m}^{-3}$  yoğunluklu Erimiş Alumina ( Beyaz Aliminyum Oxide) kullanıldı. Bu malzemenin boyutları:

	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup
İnce kum boyutu	100 Nr	80 Nr	60 Nr	54 Nr
Ortalama tane boyutu	125	177	250	320
Minimum tane boyutu	74	125	177	210
Maksimum tane boyutu	194	274	390	460
*Akma yoğunluğu $\text{kg m}^{-3}$	1560	1620	1670	1720

\* Akma yoğunluğu materyalin yavaşça, bir ölçü silindirine dökülürken her birim hacminin kütlesidir.

Yatakta doğrudan basınç düşmesini ölçerken, hataları önlemek için basıncı yatağın alt ve üstünden ölçmek gereklidir. Daha sonra aralarındaki fark alınır. Eğer filtreyi temizledikten sonra, yatak üstündeki basınç  $20 \text{ mm H}_2\text{O}$  maksimum hava akışına yükselirse, tıkanıklığı önlemek üzere filtre değiştirilmelidir.

Deneylelerde  $1 \text{ kg}$  yatak malzemesi arasından hava geçişi yapılarak, önce hava debisi değiştirilmeden,

1. Isıtıcı yüzey sıcaklığı  $t_1$ ,
2. Yatak giriş sıcaklığı  $t_2$ ,
3. Hava giriş sıcaklığı  $t_3$ ,
4. Yatak yüksekliği  $Y$ . Yük.

daha sonra hava geçirilerek,

- 5.Hava debisi  $V_m$ ,

6.Yataktaki basınç düşmesi ( en yüksek ve en alçak durumda sonda ile gösterilen basınç farkı )  $\Delta p$ ,

7. Isıtıcı elektrik akımı  $I$ ,

8. Isıtıcı voltajı  $E$ ,

9. Basınç düşümü  $x$ , değerleri ölçüldü.
10. Hesaplanan debi  $V_b$ , ( $V_b = V_m T_2/T_3$ )
11. Yüzeysel hız  $U$ ,
12. Isı transfer katsayısı  $h$ ,
13. Isıtıcı gücü  $Q$  değerleri hesaplandı.

Daha sonra hava akışı adım adım artırıldı ve her ayarlama sonunda değerler tekrar ölçüldü. Deneysel Çizelge 7.1 de görülen sıcaklıklarda ve diğer yatak malzemeleri için de tekrarlandı. Her sıcaklık değeri için tablolar hazırlandı ve değerler arasındaki ilişkiler, Yüzeysel hız - Yatak yüksekliği, Yüzeysel hız - Basınç farkı, Yüzeysel hız - Isı Transfer katsayısı ve Yatak yüksekliği – Isı Transfer katsayısı değerleri grafiklerle açıklandı.

Çizelge 8.1

Deney No	Yatak ağırlığı	Deney Sıcaklıkları ( $t_1$ ) °C
1. (100)	1 kg	35,40,50,60,70,80,90,100,110,120,130,140,150
2. (80)	1 kg	35,40,50,60,70,80,90,100,110,120,130,140,150
3. (60)	1 kg	35,40,50,60,70,80,90,100,110,120,130,140,150
4. (54)	1 kg	35,40,50,60,70,80,90,100,110,120,130,140,150

### 1- Operasyon Sıcaklığı ile Isı Transfer Katsayısı Değişimi

Yapılan bütün deneysel çalışmalarda ( 4 grup yatak malzemesi içinde ) operasyon sıcaklığının artmasıyla ısı transfer katsayısının azaldığı gözlenmiştir. Teorikte bilinen operasyon sıcaklığının artmasıyla ısı transfer katsayısının arttığıdır. Deneysel çalışmalar aynı neticeyi vermemiştir.

### 2- Akışkanın Hızının Artmasıyla Isı Transfer Katsayısının Değişimi

Yapılan deneysel çalışmalarda akışkanın debisi artırılarak, akışkanın hızının artışı sağlanmıştır. Akışkanın hızının artmasıyla, bütün deneylerde ısı transfer katsayısının arttığı gözlenmiştir. Bilimsel çalışmalar ve teorik olarak ortaya konulan bilgiler akışkanın hızının artmasının ısı transfer katsayısını arttırdığını söylemektedir.

Hız artış oranı küçük olduğundan h' ın artışıda azdır. Deneysel çalışmalar doğrulanmaktadır.

### 3- Tane Boyutunun Isı transfer Katsayısına Etkisi

Küçük tane boyutunda yüksek ısı transfer katsayılarının elde edildiği bilinmektedir. Örneğin 50 °C de 4 grup yatak malzemesinin ısı transfer katsayılarını karşılaştırdığımızda, küçük tane boyutunda yüksek ısı transfer katsayısı elde ettiğimizi biliyoruz. Bu noktada deneysel çalışmalar doğrulanmaktadır.

### 4- Tane Boyutunun Akışkan Yatak Yüksekliği Üzerine Etkisi

Küçük tane boyutunda akışkan debisi ve hızın artmasıyla akışkan yatak yüksekliği orantılı olarak artmaktadır. Tane boyutu arttıkça, aynı debi ve hız ortamı sağlandığı halde akışkan yatak yüksekliği artmamaktadır. Tanecik ağırlığının fazla olmasından dolayı, tanecik hareketinin sağlanılmasında zorlanılmaktadır. Özellikle 4. grup yatak malzemesinde (en büyük boyut) hızın arttığı son adımlara kadar yatak yüksekliğinin sabit kaldığı görülmüştür.

### 5- Basınç Düşüşünün Ölçümü

1. ve 2. grup yatak malzemesinde basınç düşüşü 1. hız artma adımında türbülans noktasına ulaşmakta ve daha sonraki artışlarda sabit kalmaktadır. 3. ve 4. grup yatak malzemesinde ise 7. adıma kadar türbülans noktasına ulaşamadığı gözlenmiştir.

Akışkanlaşmış yataktaki basınç düşüşü hemen hemen sabittir, aşağıda görüleceği gibi her birim alan, ağırlık ile karşılaştırıldığında, birim alana gelen ağırlık -

$$\text{basınç: } \Delta p = \frac{m_g}{A} = \frac{1,9,81}{\pi \cdot 0,105^2} = 1132 \text{ N/m}^2 \quad (8.1)$$

Ölçülmüş basınç düşüşü = 110 mm H<sub>2</sub>O veya

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,11 = 1079 \text{ N/m}^2 \quad (8.2)$$

olarak bulunmuştur. İki değer arasındaki fark yanlışlığı, bazı yatak ağırlığı parçacık / hazne duvar etkileşimi tarafından desteklenmesinden dolayıdır.

## 9. SONUÇLAR

100 yıla yakın bir zamandır akışkan yatak prensibi birçok fiziksel ve kimyasal proseslerde kullanılmış, akışkan yatak tekniğinde sürekli gelişmeler kaydedilmiştir. Özellikle akışkan yatakta yakma çalışmaları buna örnek olarak gösterilebilir. Akışkan yatakta katalitik reaksiyonlar için ısı ve madde alış verişinde birçok model tasarımı ve ampirik korelasyonlar bulunmaktadır.

Yeni teknik ilavelerle akışkan yatak proseslerinin kullanılmasında verilen çabuk kararlar, araştırmalarda yeni bir adım teşkil etmemektedir.

Akışkan yatakta, değişik çaplarda kabarcık teşekkülü ile ilgili elde mevcut birçok ölçmeler, laboratuvar deneylerinde kullanılan yatak çapının 20 cm nin altında olma durumunda kabarcık gelişimi ve buna bağlı olan madde alış veriş davranışında akışkan yatağın çapa bağlı olduğunu göstermiştir. Buradan ölçmelere devam ederek, laboratuvar ve teknik akışkan yatak uygulamalarında minimum yatak çapının yaklaşık 50 cm nin altında olmaması, büyük akışkan yatak birimlerde kullanılması için esas teşkil etmelidir.

Literatürlerde birçok model tanıtımı ve akışkan yataktaki katalitik reaksiyonların gerçekleşmesinde ısı ve madde transferi için ampirik korelasyonlar bulunmaktadır. Yeterli olmayan bu durum, gazla akışkanlaştırılan sistemlerdeki kabarcık gelişiminin, akışkanlar mekaniği yönünden yeteri kadar araştırılmamasındandır. Model deneylerinden elde edilen sonuçlar akışkan yatak aparatlarının işletme oranları ve kabarcık teşekkülünün etkisi ölçüsünde bilinmektedir.

Bir reaksiyon gazının kabarcık fazındaki baypası, bir katalitik reaktörün ulaşılabilir durumunu sınırlar. Akışkan yatağa daldırılmış ısıtma ve soğutma boruları arasındaki ısı transferi durumunda, kabarcıkların büyüklük ve frekansını yüzey



yenilemesi için belirlemek, konvektif katı madde transportunda geçirilen katı maddenin yeni transfer yüzeyi ve katı madde karışımı ölçüsünün yükselen kabarcıklar sayesinde arttırılması demektir. Araştırmalarda kullanılan alışlagelen küçük ölçekli akışkan yataktaki kabarcık teşekkülünde, akışkan yatak kabının ölçüleri etkili olur. Kabın boyut etki ve eksikliklerini akışkan yataktaki ısı transferi, madde transferi ve reaksiyon tekniği ölçülerinde belirlemek mümkündür.

Akışkan yatak prensibinin 50 yılın üzerinde teknik kullanımı bireysel edinilmiş tecrübelerle dayanmaktadır. Buna rağmen akışkan yatak prosesi, genel yazılı olarak bilinenlerin dışında, tekniğin diğer alanlarında başarı sağlayamamıştır.

Akışkan yatak tasarımında aşağıdaki öneriler dikkate alınmalıdır.

1- Yüksek ısı transfer katsayısı elde etmek için; küçük tane boyutu ve yuvarlatılmış, pürüzsüz yüzeyli tanecikler seçilmelidir.

2- Tüplerin yerleştirilmeleri sırasında fazla türbülansa yol açmayacak yerleşim seçilmelidir. Akışkanlaştırma esnasında tanecik ile yüzey temasının tam olarak yapılabilmesi ve ısı transferinden tam olarak yararlanabilmek için tüpler dağıtıcı elekten çok yükseklerle konmamalıdır. Ayrıca dik olarak yerleştirilmeleri uygundur.

3- Gaz dağılımını düzenli ve homojen sağlayacak elek tipi seçilmelidir.

4- Seçilecek olan akışkanın, ısı transfer katsayısını arttırması açısından, ısı iletim katsayısının yüksek olmasına dikkat edilmelidir.

5- Akışkan yatakların mekanik olarak karıştırılması karışım hızına bağlı olarak ısı transfer katsayısını arttırır.

## EK:1 1. GRUP (100) DENEY TABLOLARI VE GRAFİKLERİ

### Yatak Verileri

Madde	(100)	Alumina Grit
Tane boyutu	( $d_p$ )	125 $\mu\text{m}$
Tane yoğunluğu	( $\rho_p$ )	3770 $\text{kg m}^{-3}$
Tane kütlesi	( $M$ )	1 $\text{kg}$
Kısmi alan	( $S_b$ )	8.66 x 10 <sup>-3</sup> $\text{m}^2$
Isıtıcı yüzey alanı	( $A$ )	1.6 x 10 <sup>-3</sup> $\text{m}^2$

Tablo 1.1  $t_1=35^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	12	14	21	30
$V_m$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
$t_1$ (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
$t_2$ (°C)	22	22	21	21	24	25	25	25	25	25	25
$t_3$ (°C)	21	21	20	20	21	20	20	20	20	20	20
$V_b$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.20	0.31	0.42	0.52	0.68	0.87	1	1.12	1.25	1.5	1.75
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.10	0.11	0.12	0.14	0.17	0.20
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	62	93	100	102	104	105	106	108	108	109	105
Y. yük. (mm)	80	82	90	105	110	120	130	135	140	150	165
E (Volts)	40	40	45	45	45	45	45	45	45	45	45
I (Amps)	0.4	0.4	0.5	0.55	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Q (W)	16	16	22.5	24.7	27	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	769	769	1004	1104	1534	2812	2812	2812	2812	2812	2812

Tablo 1.2  $t_1=40^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	9	9	10	10	20	30
$V_m$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
$t_1$ (°C)	41	41	45	44	44	44	44	44	44	44	44
$t_2$ (°C)	24	24	24	23	26	27	27	27	27	27	27
$t_3$ (°C)	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20
$V_b$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.34	0.45	0.54	0.78	0.94	1.08	1.21	1.35	1.62	1.89
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.10	0.1	0.14	0.15	0.18	0.21
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	60	93	100	102	105	108	108	108	108	108	107
Y. yük. (mm)	80	82	90	95	105	115	120	125	130	140	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1415	1415	1145	1145	1336	1415	1415	1415	1415	1415	1415

Tablo 1.3  $t_1=50^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	55	55	55	55	55	54	54	54	54	54	54
t <sub>2</sub> (°C)	26	26	26	26	28	29	29	29	30	29	29
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.24	0.37	0.49	0.61	0.84	1.01	1.16	1.3	1.5	1.74	2.03
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	60	92	98	102	105	107	108	108	108	108	108
Y. yük. (mm)	80	82	90	95	105	115	120	130	135	140	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	829	829	829	829	891	962.	962.	962.	1002	962.	962.

Tablo 1.4  $t_1=60^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	4	6	8	11	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	65	65	64	65	65	64	64	64	64	64	64
t <sub>2</sub> (°C)	33	32	32	32	34	33	33	33	33	33	32
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.31	0.45	0.60	0.76	0.97	1.10	1.12	1.48	1.65	1.98	2.24
U (m s <sup>-1</sup> )	0.03	0.05	0.07	0.08	0.11	0.12	0.12	0.17	0.19	0.22	0.25
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	60	90	98	100	105	107	108	108	108	108	108
Y. yük. (mm)	80	82	90	95	105	115	120	130	135	140	170
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	751	729	751	729	776	776	776	776	776	776	751

Tablo 1.5  $t_1=70^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	4	6	7	13	15	23	29
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	73	73	73	72	72	72	72	72	72	72	72
t <sub>2</sub> (°C)	29	28	28	28	32	33	34	34	34	34	34
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	21	20	21	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.29	0.42	0.56	0.66	0.96	1.1	1.36	1.53	1.7	2.04	2.38
U (m s <sup>-1</sup> )	0.03	0.04	0.06	0.07	0.11	0.12	0.15	0.17	0.19	0.23	0.27
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	60	94	95	102	104	108	108	108	108	106	106
Y. yük. (mm)	80	82	90	95	105	115	120	130	140	145	165
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	546	534	534	546	601	616	633	633	633	633	633

Tablo 1.6  $t_1=80\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	10	15	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	85	83	83	83	82	82	82	82	82	82	82
t <sub>2</sub> (°C)	32	32	32	32	36	35	36	36	36	36	36
t <sub>3</sub> (°C)	20	21	21	21	21	21	20	20	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.16	0.45	0.60	0.76	0.10	1.16	1.44	1.62	1.71	2.05	2.4
U (m s <sup>-1</sup> )	0.01	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.13	0.18	0.19	0.23	0.27
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	65	93	97	104	106	108	108	110	108	105	108
Y. yük. (mm)	80	82	90	100	110	120	130	135	140	150	170
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	454	471	471	471	523	511	523	523	523	523	523

Tablo 1.7  $t_1=90\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	2	4	7	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	95	95	95	94	93	93	93	93	93	93	93
t <sub>2</sub> (°C)	35	35	35	34	39	39	39	40	41	41	40
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	20	21	21	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.33	0.5	0.66	0.80	1.11	1.3	1.56	1.71	1.95	2.46	2.8
U (m s <sup>-1</sup> )	0.03	0.05	0.07	0.09	0.12	0.15	0.18	0.19	0.22	0.28	0.323
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	60	98	100	102	106	108	108	108	108	105	107
Y. yük. (mm)	80	82	90	100	110	120	130	135	140	145	165
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	401	401	401	401	445	445	455	454	462	462	454

Tablo 1.8  $t_1=100\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	2	3	5	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	104	104	103	102	100	101	101	101	102	101	101
t <sub>2</sub> (°C)	39	39	39	39	43	43	43	43	43	43	42
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.37	0.55	0.74	0.92	1.22	1.43	4.63	1.84	2.04	2.45	2.8
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23	0.28	0.32
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	77	94	97	103	105	107	108	108	108	105	106
Y. yük. (mm)	80	82	90	95	100	110	115	130	140	150	165
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	370	370	375	381	422	414	414	414	407	414	407

Tablo 1.9  $t_1=110\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	0	4	6	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	115	115	113	112	113	113	109	108	111	110	111
t <sub>2</sub> (°C)	40	40	40	40	43	45	44	44	44	44	43
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	20	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.38	0.57	0.76	0.95	1.14	1.5	1.67	1.98	2.09	2.51	2.86
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.17	0.19	0.22	0.24	0.28	0.33
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	62	95	97	102	105	106	108	106	107	105	106
Y. yük. (mm)	80	82	90	100	105	110	120	130	135	145	165
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	321	321	329	334	343	353	370	375	359	364	353

Tablo 1.10  $t_1=120\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	6	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	125	124	123	129	122	122	122	122	122	122	120
t <sub>2</sub> (°C)	43	43	43	49	48	48	49	49	49	49	47
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.41	0.61	0.81	1.16	1.37	1.6	1.86	2.1	2.33	2.8	3.13
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.07	0.09	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.26	0.32	0.36
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	65	92	97	105	106	106	107	107	107	105	105
Y. yük. (mm)	80	82	90	100	105	110	125	135	140	150	170
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	293	297	300	300	325	325	329	329	329	329	329

Tablo 1.11  $t_1=130\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	9	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	133	132	132	130	128	130	128	127	128	128	127
t <sub>2</sub> (°C)	52	52	52	51	55	55	53	52	52	52	51
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.50	0.74	0.99	1.21	1.57	1.83	2.01	2.22	2.47	2.97	3.57
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.08	0.11	0.13	0.18	0.21	0.23	0.25	0.28	0.34	0.41
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	61	92	100	103	105	106	106	105	105	105	105
Y. yük. (mm)	80	82	90	100	110	120	125	130	135	145	160
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	286	250	290	293	317	309	309	309	305	305	305

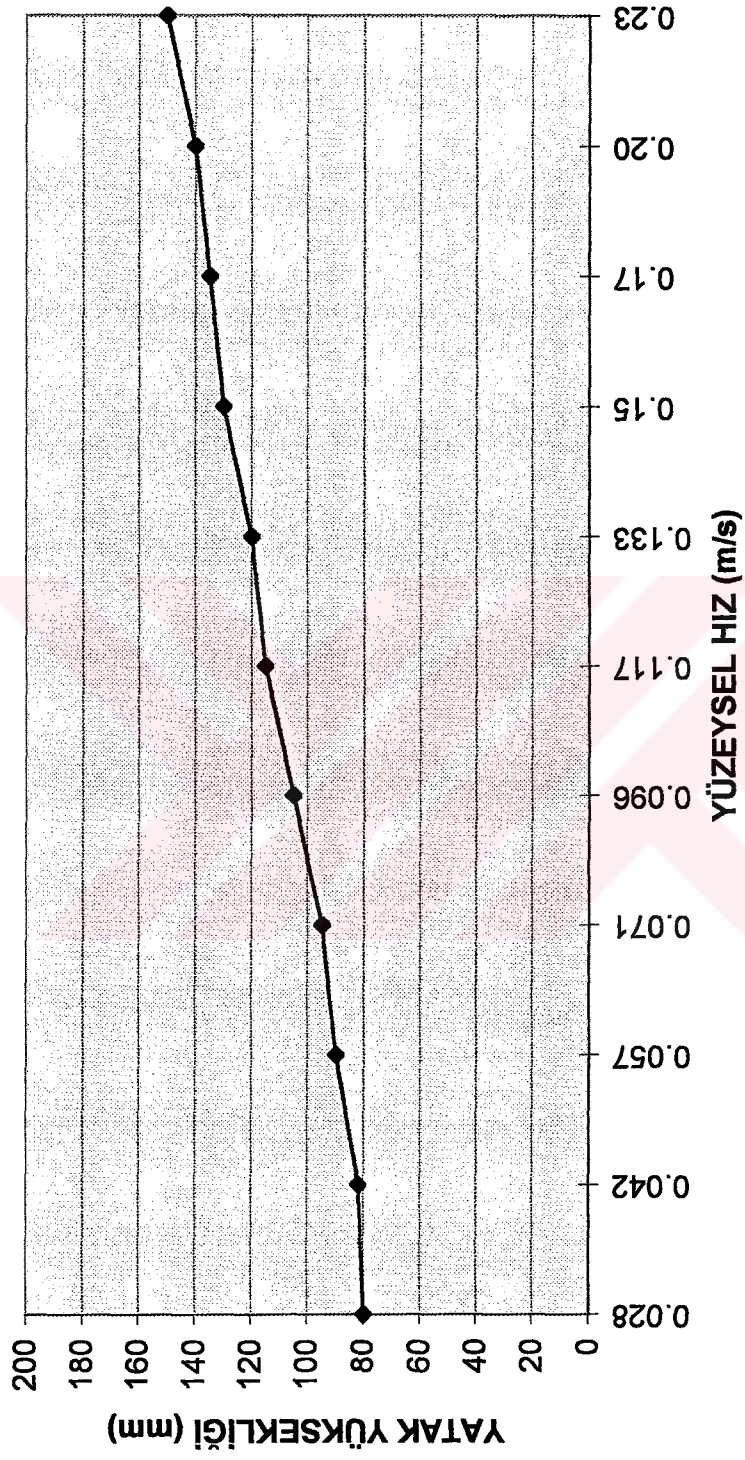
Tablo 1.12  $t_1=140\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	0	4	5	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	144	145	141	138	137	132	129	129	129	131	130
t <sub>2</sub> (°C)	49	49	49	50	54	54	53	53	53	52	51
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.46	0.7	0.85	1.19	1.54	1.8	2.01	2.27	2.52	2.97	3.4
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.08	0.09	0.13	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.34	0.39
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	67	95	97	104	105	105	107	107	105	104	104
Y. yük. (mm)	80	85	90	100	115	120	130	140	145	145	170
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	253	251	262	273	290	308	316	316	316	305	305

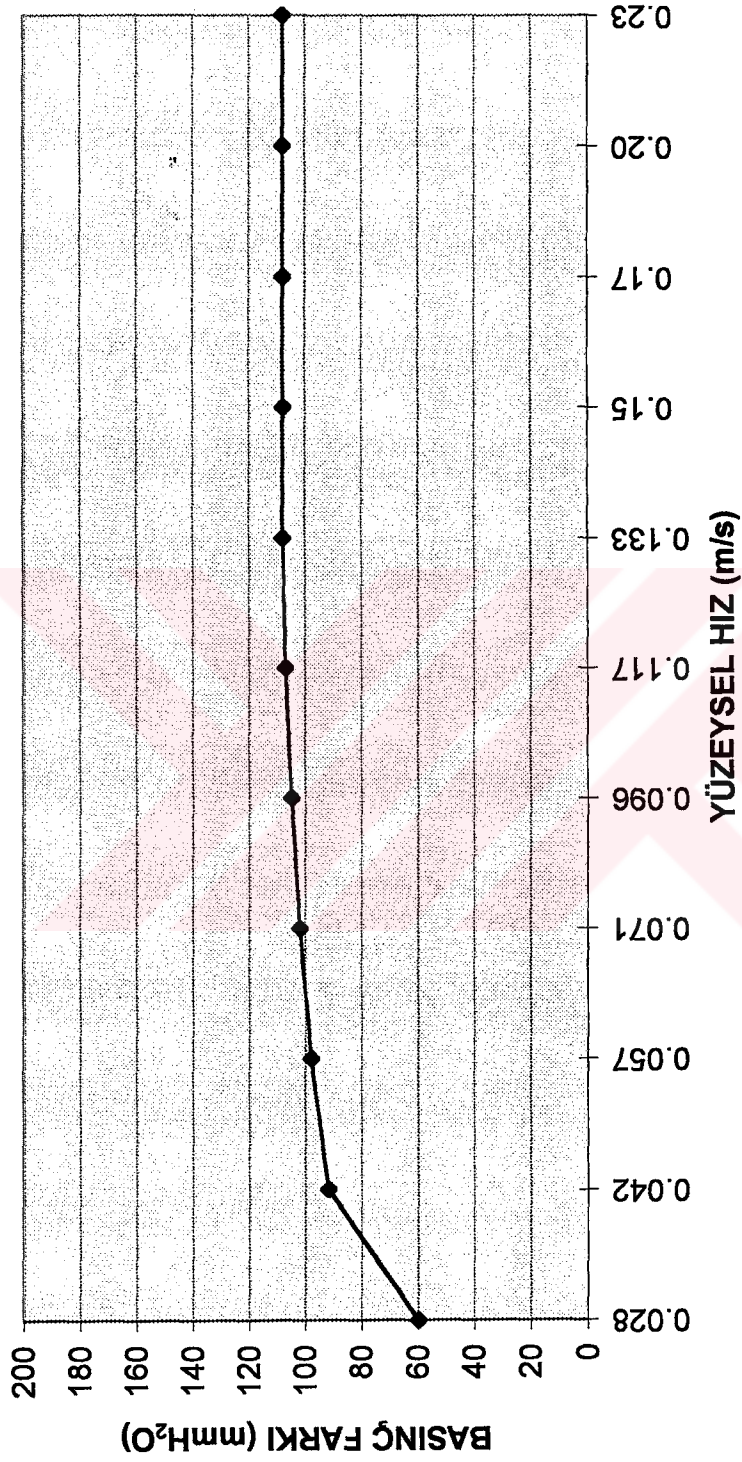
Tablo 1.13  $t_1=150\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	0	4	5	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	153	149	149	142	138	134	132	131	132	129	130
t <sub>2</sub> (°C)	51	51	51	51	57	56	55	55	54	54	53
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.49	0.73	0.97	1.21	1.63	1.87	2.09	2.36	2.57	3.09	3.53
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.08	0.11	0.4	0.88	0.22	0.24	0.27	0.30	0.36	0.41
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	65	95	100	103	105	105	105	105	105	105	105
Y. yük. (mm)	80	85	95	100	110	115	120	125	135	145	160
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	236	246	246	264	297	308	313	317	317	321	313

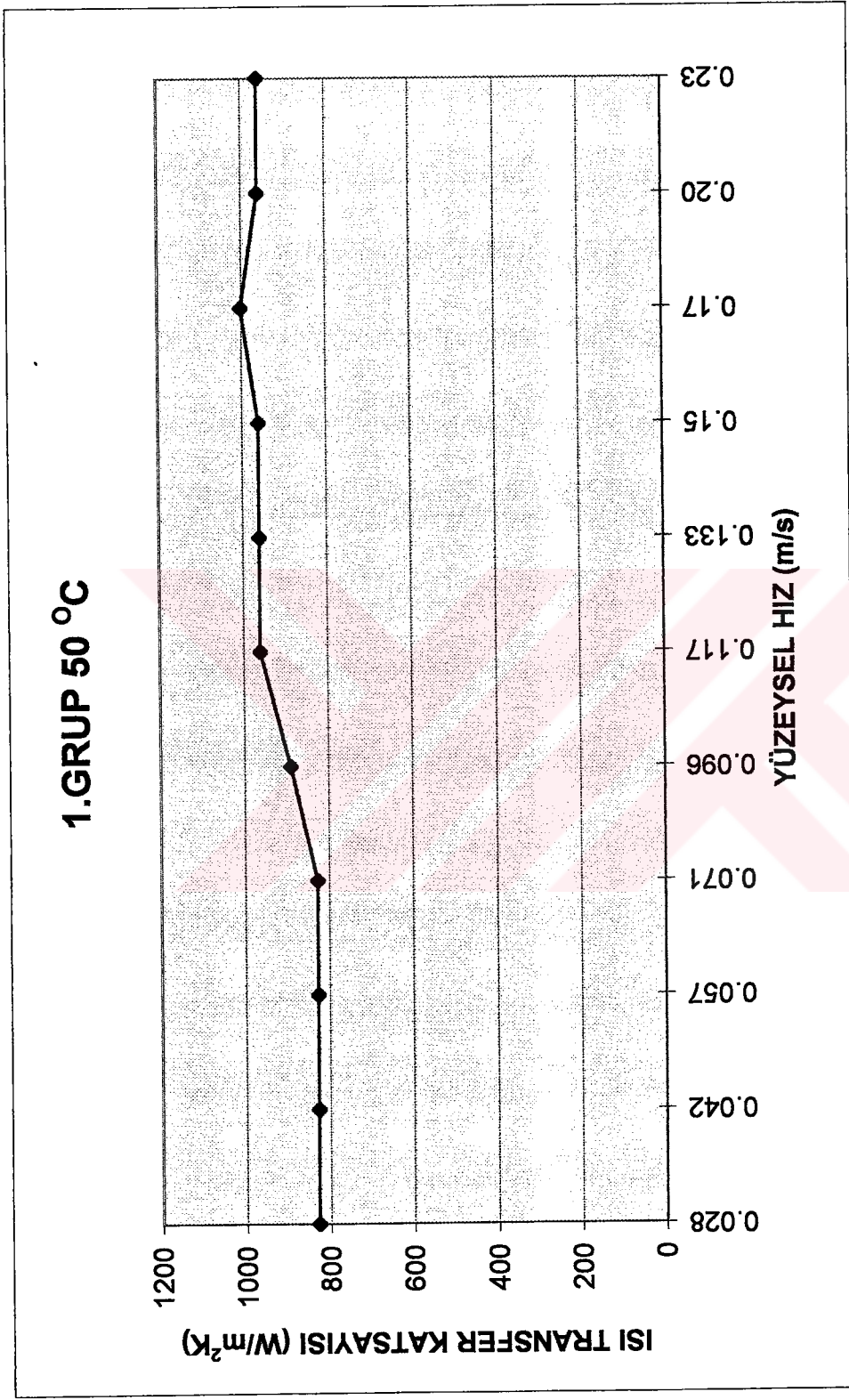
1.GRUP 50 °C



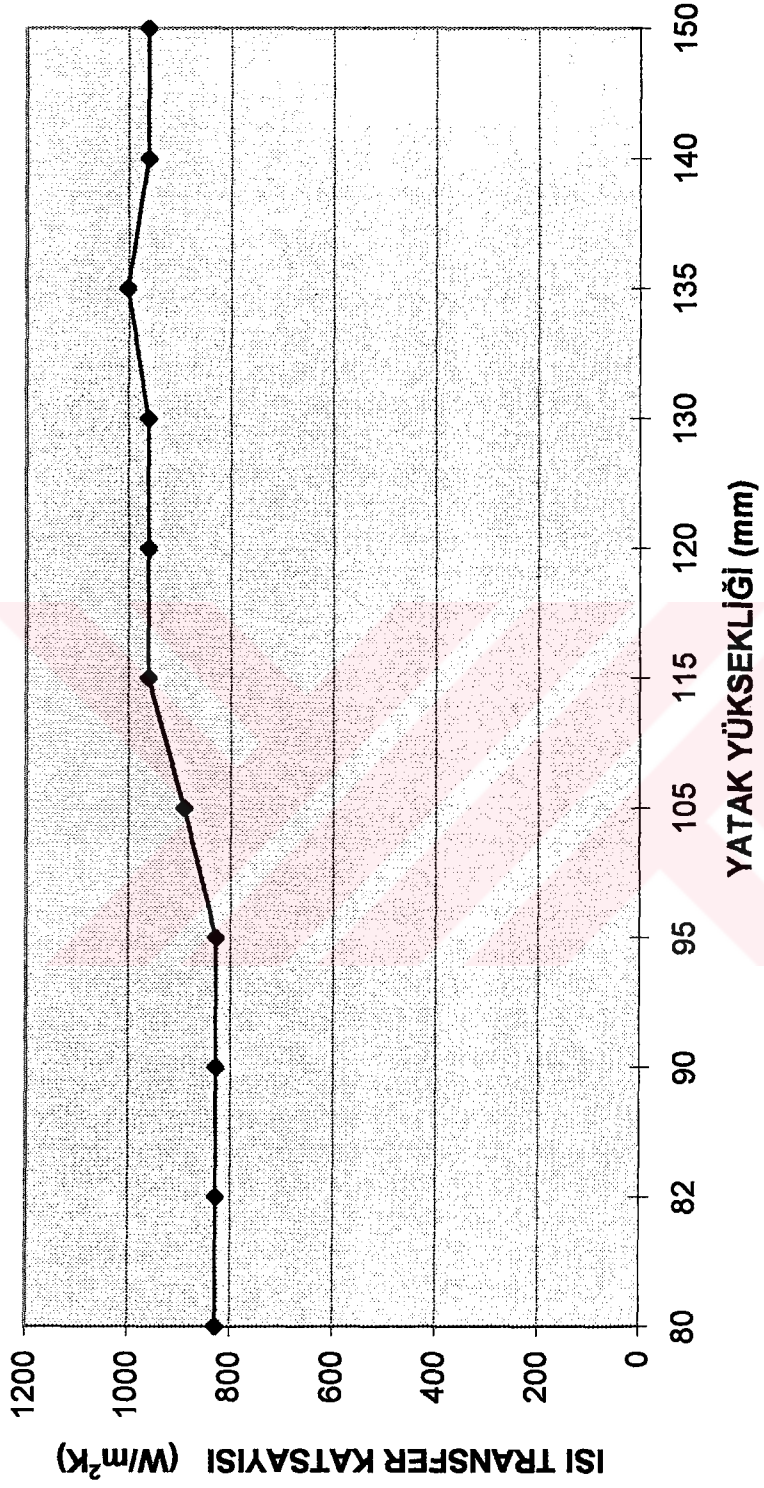
1. GRUP 50 °C



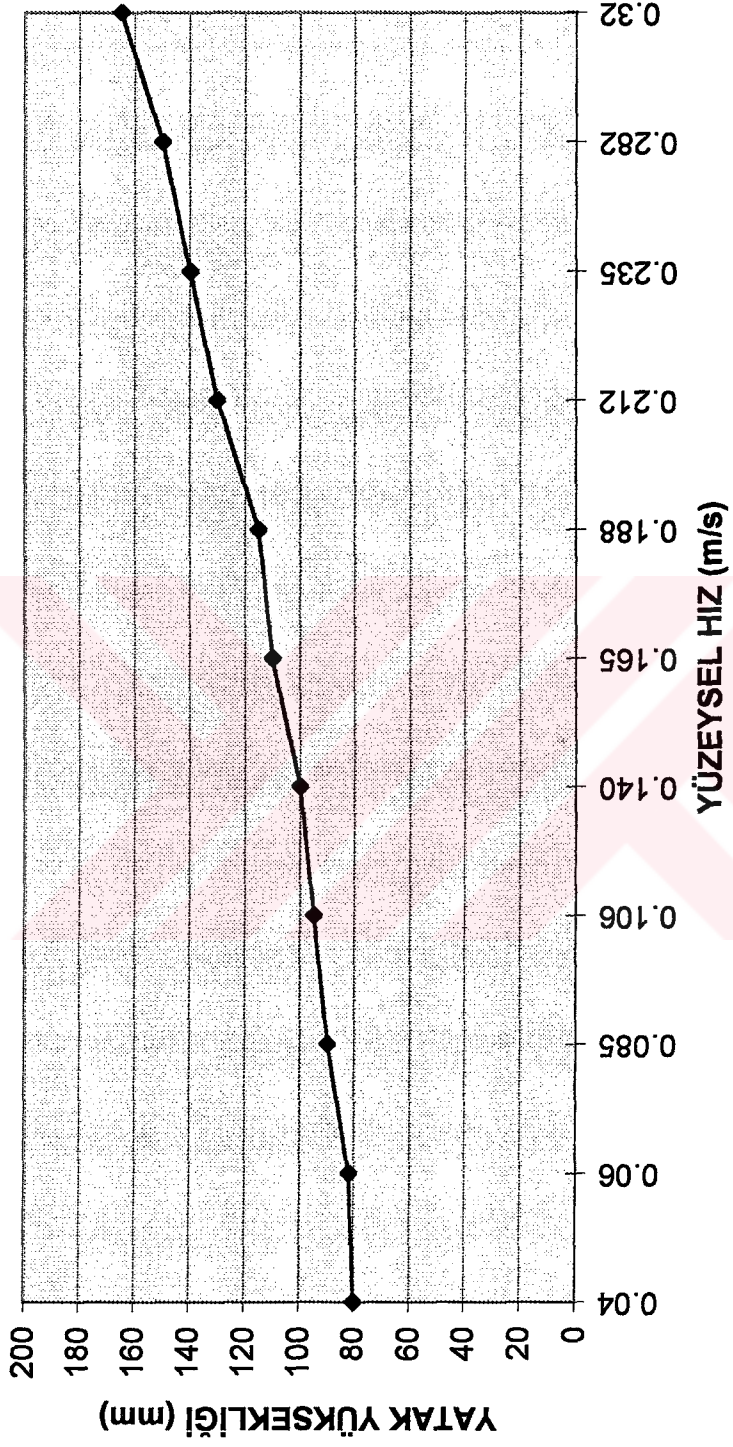




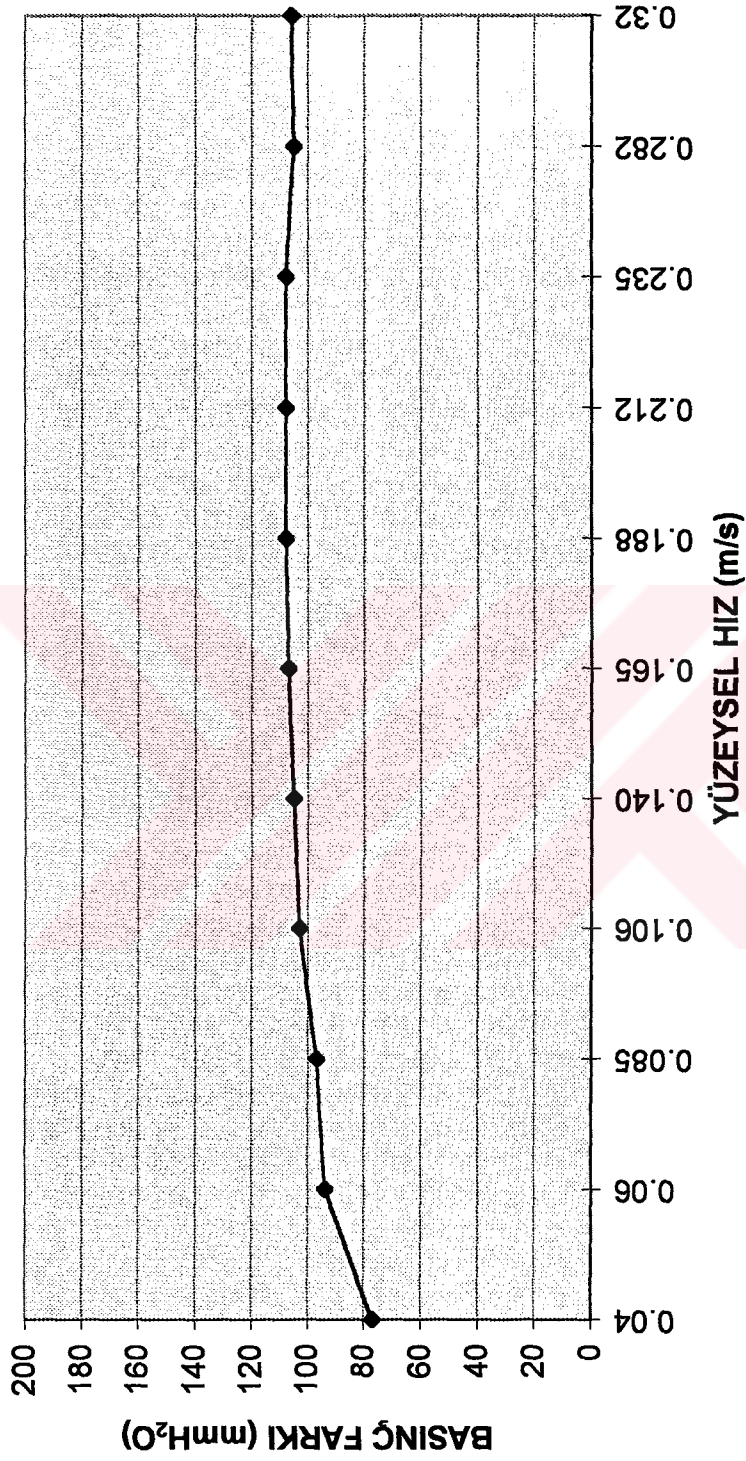
# 1.GRUP 50 °C



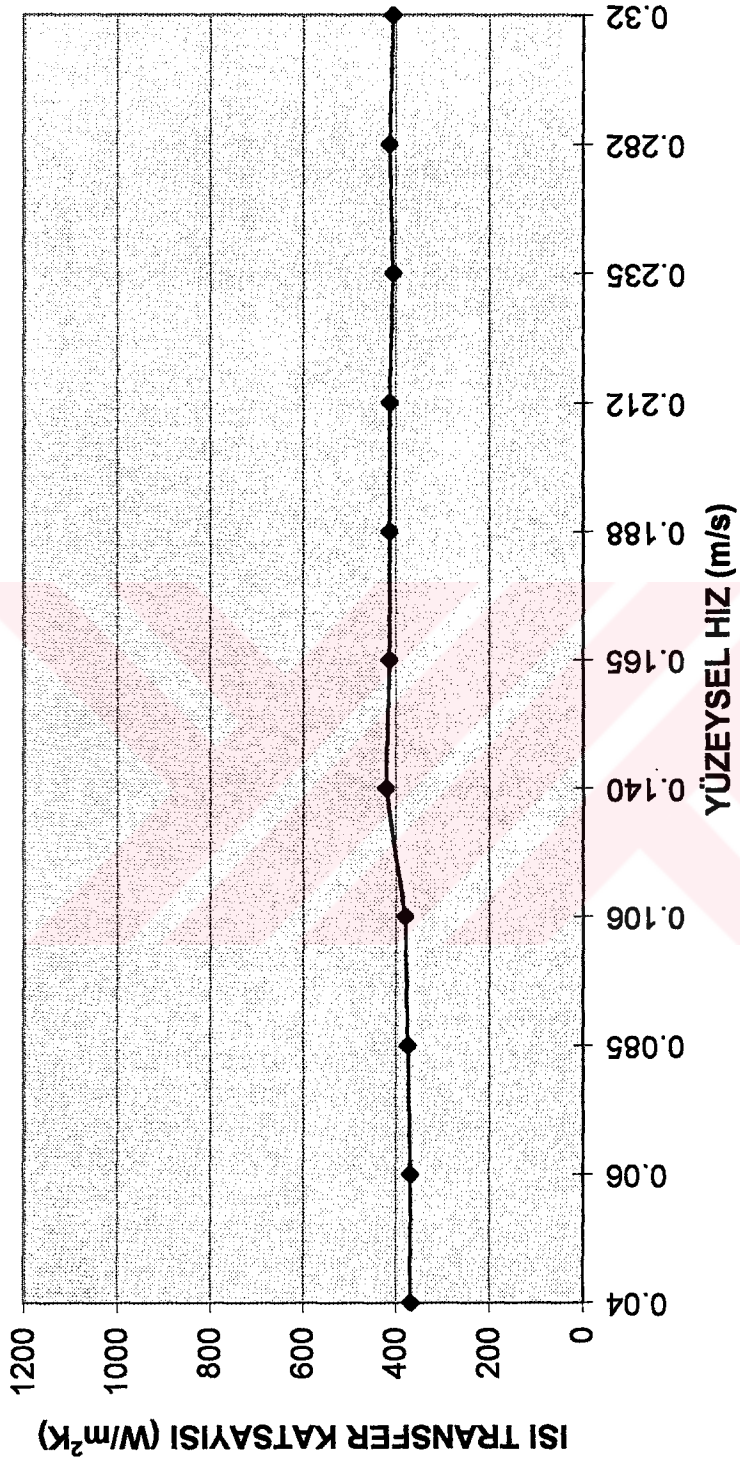
1.GRUP 100 °C



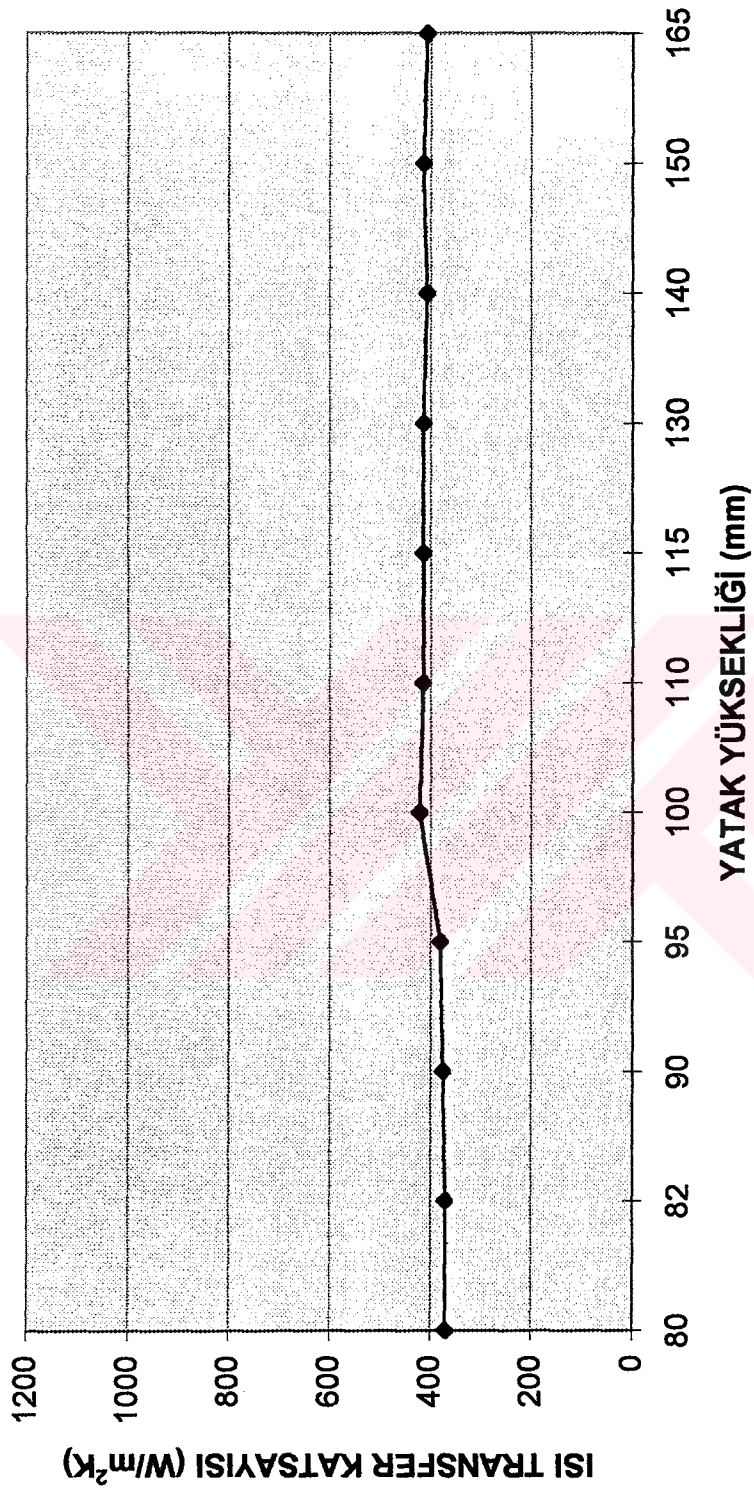
# 1.GRUP 100 °C



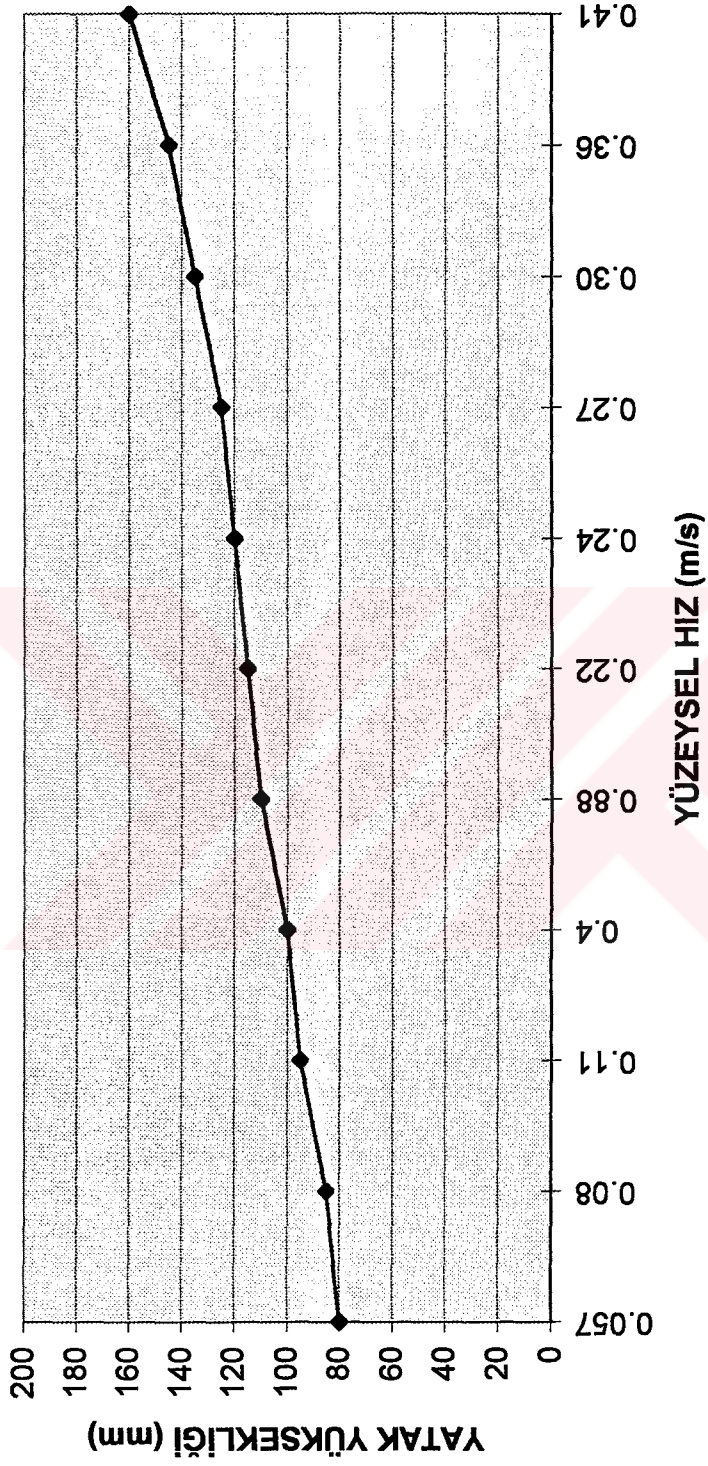
# 1.GRUP 100 °C



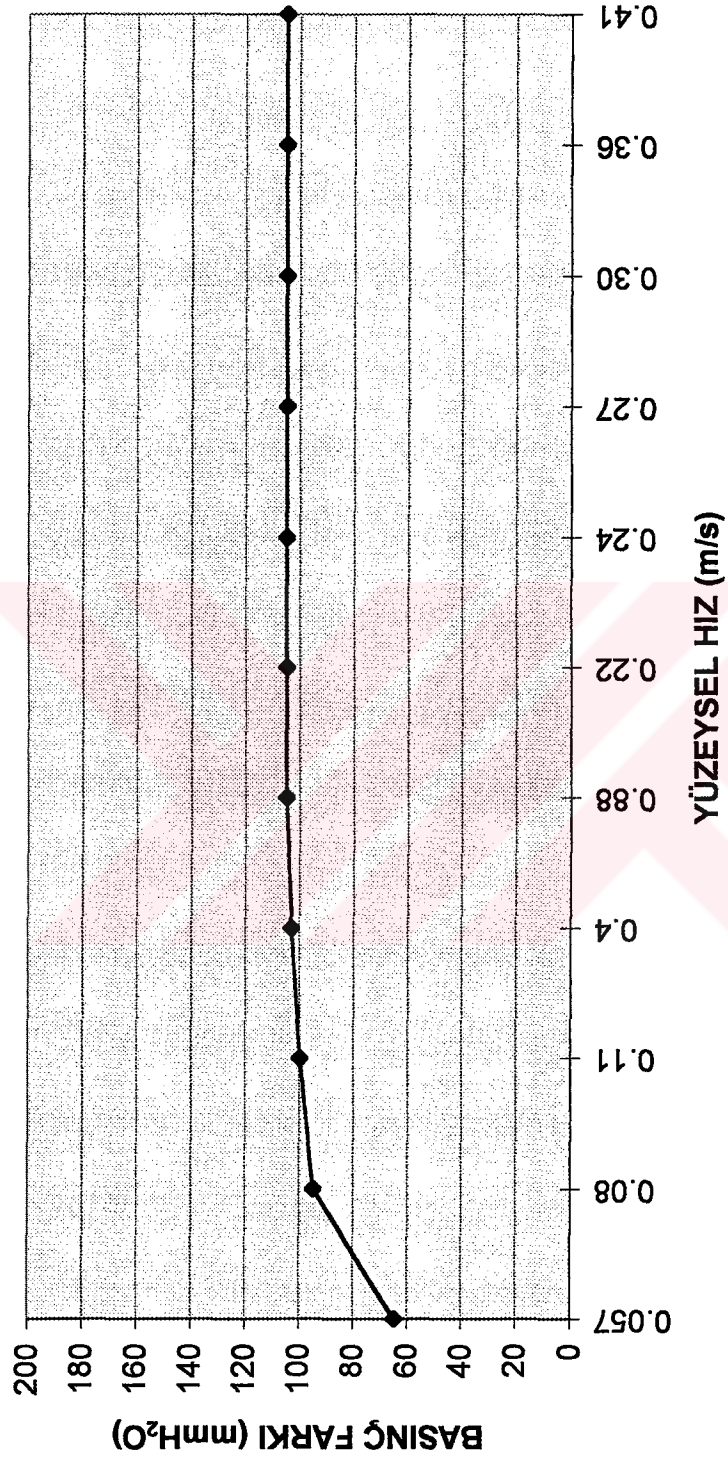
## 1.GRUP 100 °C



1.GRUP 150 °C

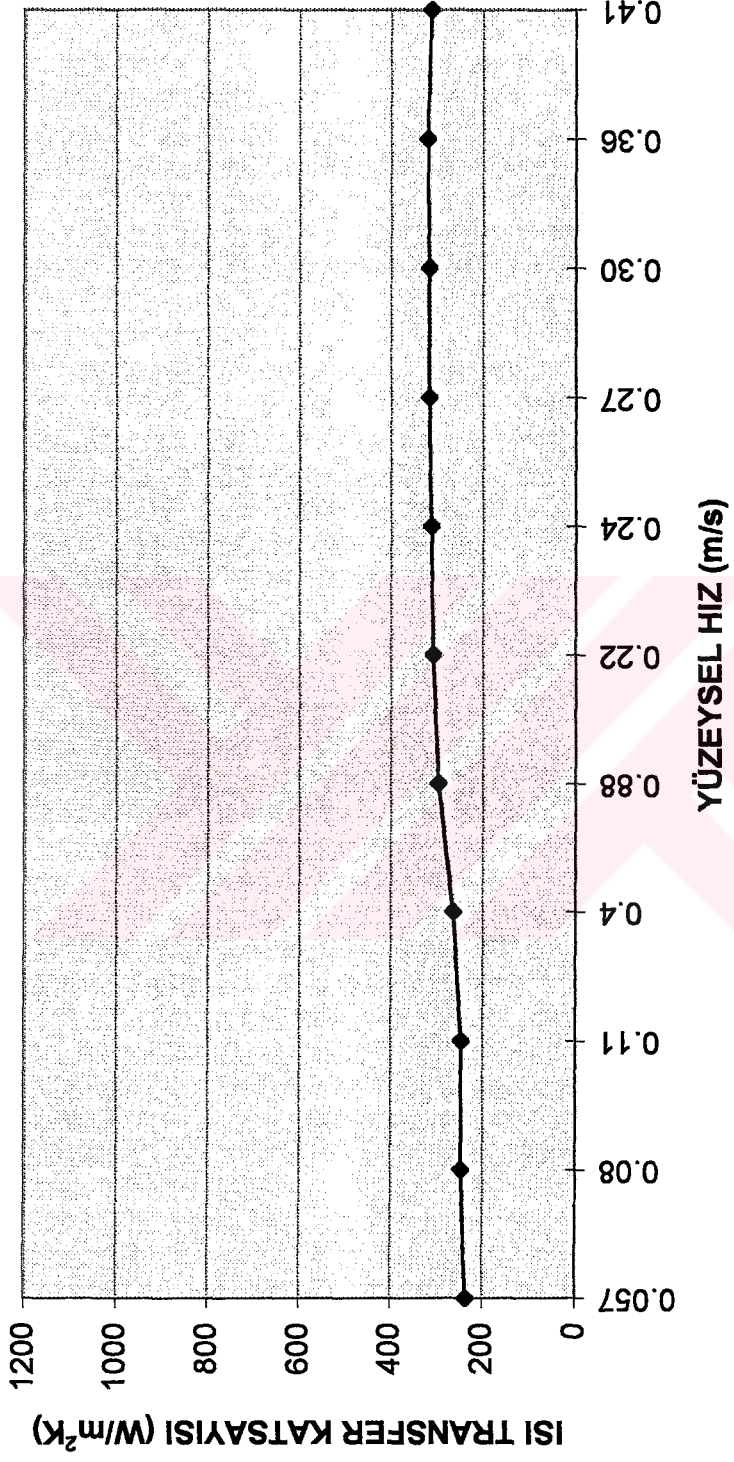


1. GRUP 150 °C

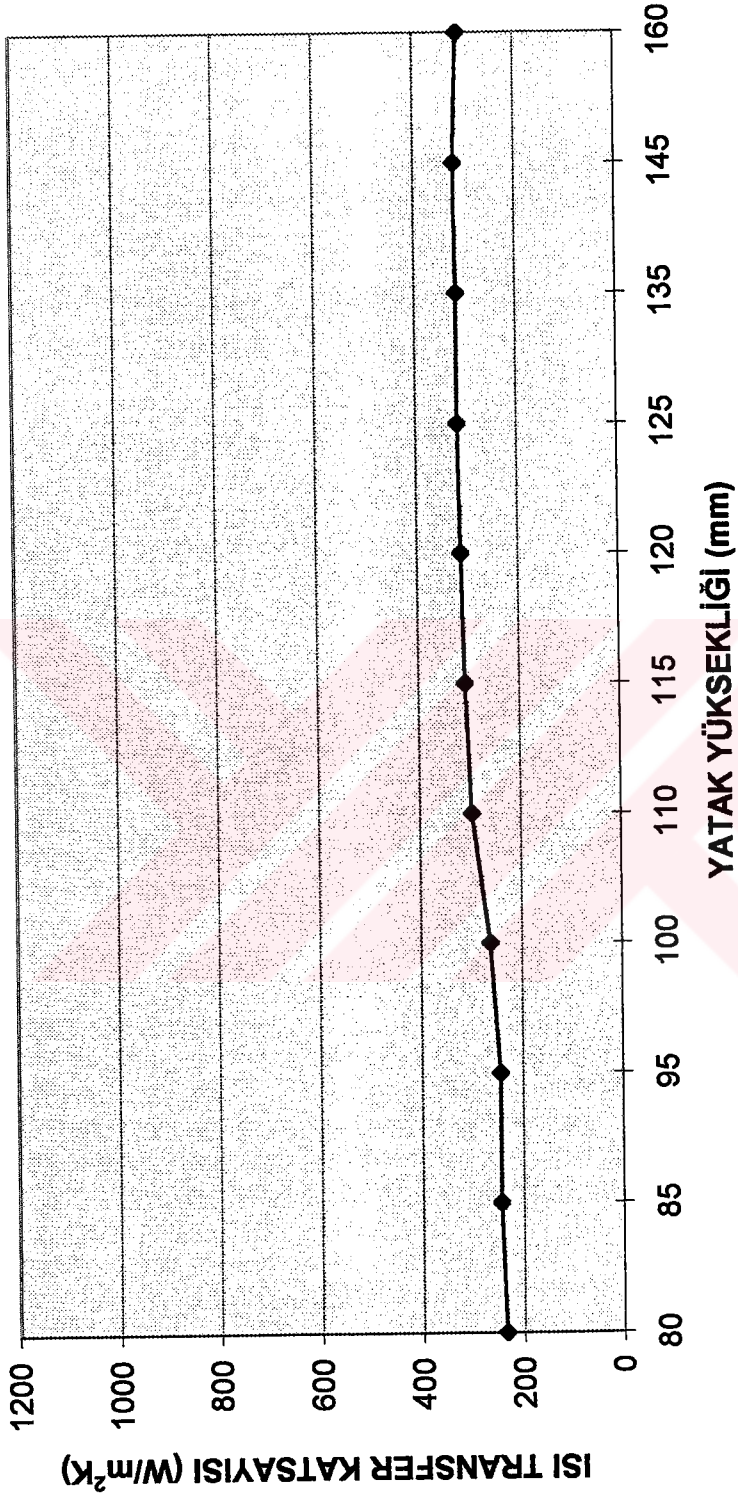




1.GRUP 150 °C



# 1.GRUP 150 °C



## EK:2 2. GRUP (80) DENEY TABLOLARI VE GRAFİKLERİ

### Yatak Verileri

Madde	(80)	Alumina Grit
Tane boyutu	( $d_p$ )	177 $\mu\text{m}$
Tane yoğunluğu	( $\rho_p$ )	3770 $\text{kg m}^{-3}$
Tane kütlesi	(M)	1 kg
Kısmi alan	( $S_b$ )	8.66 x 10 <sup>-3</sup>
Isıtıcı yüzey alanı	(A)	1.6 x 10 <sup>-3</sup>

Tablo 2.1  $t_1=35$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	2	4	5	8	10	14	22	32
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	35	35	35	35	35	35	36	35	35	36	36
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	24	24	23	22	23	23	23	23	23
t <sub>3</sub> (°C)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.50	0.63	0.72	0.81	0.96	1.08	1.21	1.45	1.69
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.16	0.19
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	65	82	84	87	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	77	80	85	95	100	105	115	120	130	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1718	1718	2187	2187	2005	1850	1850	2005	2005	1850	1850

Tablo 2.2  $t_1=40$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	4	7	7	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	45	45	43	44	45	44	44	45	45	45	44
t <sub>2</sub> (°C)	23	23	23	27	24	24	25	25	24	24	25
t <sub>3</sub> (°C)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.24	0.36	0.48	0.71	0.75	0.88	1.05	1.18	1.31	1.51	1.84
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.04	0.05	0.08	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.21
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	65	82	85	86	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1093	1093	1203	1415	1145	1203	1266	1203	1145	1145	1266

Tablo 2.3  $t_1=50\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	2	2	3	4	6	8	10	15	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	53	54	52	54	53	53	54	53	54	53	53
t <sub>2</sub> (°C)	25	25	30	29	27	27	27	27	27	27	27
t <sub>3</sub> (°C)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.26	0.39	0.63	0.76	0.85	1.06	1.13	1.37	1.42	1.70	1.98
U (m s <sup>-1</sup> )	0.03	0.04	0.07	0.08	0.09	0.12	0.13	0.15	0.16	0.19	0.22
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	65	88	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	859	829	1093	962	925	925	925	925	925	925	925

Tablo 2.4  $t_1=60\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	2	4	6	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	64	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
t <sub>2</sub> (°C)	27	27	27	30	30	29	29	30	30	30	30
t <sub>3</sub> (°C)	19	19	19	19	19	19	19	20	20	19	19
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.28	0.42	0.56	0.78	0.94	1.06	1.22	1.35	1.5	1.8	2.21
U (m s <sup>-1</sup> )	0.03	0.04	0.06	0.09	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.20	0.25
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	65	88	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	650	668	668	729	729	707	707	729	729	729	729

Tablo 2.5  $t_1=70\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	74	73	72	72	72	72	72	72	72	72	72
t <sub>2</sub> (°C)	29	32	35	35	33	33	33	33	33	33	32
t <sub>3</sub> (°C)	19	20	20	20	20	20	19	20	20	20	19
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.30	0.48	0.7	0.87	0.99	1.15	1.38	1.48	1.65	0.98	2.35
U (m s <sup>-1</sup> )	0.03	0.05	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.27
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	65	80	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	534	586	650	650	616	616	616	616	616	616	616

Tablo 2.6  $t_1=80\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	5	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	83	84	83	82	83	82	82	82	82	82	82
t <sub>2</sub> (°C)	35	34	42	38	34	34	34	34	34	34	34
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.35	0.51	0.84	0.95	1.02	1.19	1.36	1.53	1.7	2.04	2.50
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.05	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.17	0.19	0.23	0.28
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	80	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	501	481	586	546	491	501	501	501	501	501	501

Tablo 2.7  $t_1=90\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	4	5	6	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
t <sub>2</sub> (°C)	37	37	37	37	38	36	36	36	36	36	37
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.37	0.55	0.74	0.92	1.14	1.26	1.44	1.62	1.8	2.16	2.59
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.14	0.16	0.18	0.20	0.24	0.29
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	437	437	437	437	445	429	429	429	429	429	437

Tablo 2.8  $t_1=100\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	4	5	6	8	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	102	99	97	98	97	97	101	101	100	100	100
t <sub>2</sub> (°C)	43	41	43	45	44	43	43	43	43	43	42
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.43	0.61	0.86	1.12	1.32	1.50	1.72	1.93	2.15	2.58	2.94
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.07	0.09	0.12	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24	0.29	0.33
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	407	414	445	454	454	445	414	414	422	422	414

Tablo 2.9  $t_1=110\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	112	113	111	110	110	110	110	110	110	110	110
t <sub>2</sub> (°C)	43	43	47	46	45	45	45	45	45	45	44
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.43	0.64	0.94	1.15	1.35	1.57	1.8	2.02	2.25	2.7	3.08
U (m s <sup>-1</sup> )	0.04	0.07	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23	0.25	0.31	0.35
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	68	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	348	343	375	375	370	370	370	370	370	370	364

Tablo 2.10  $t_1=120\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	123	121	120	120	119	119	120	121	121	115	116
t <sub>2</sub> (°C)	45	45	45	49	47	45	46	46	46	46	45
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.45	0.67	0.9	1.22	1.41	1.57	1.84	2.07	2.3	2.76	3.15
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.07	0.10	0.14	0.16	0.18	0.21	0.23	0.26	0.31	0.36
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	130	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	308	316	320	338	334	325	325	320	320	348	338

Tablo 2.11  $t_1=130\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	131	131	131	120	119	120	121	121	121	118	118
t <sub>2</sub> (°C)	46	46	46	49	49	48	48	48	48	48	48
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.46	0.69	0.92	1.22	1.47	1.68	1.92	2.16	2.4	2.88	3.36
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.07	0.10	0.14	0.16	0.19	0.22	0.24	0.27	0.33	0.38
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	1230	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	283	283	283	338	343	334	329	329	329	343	343

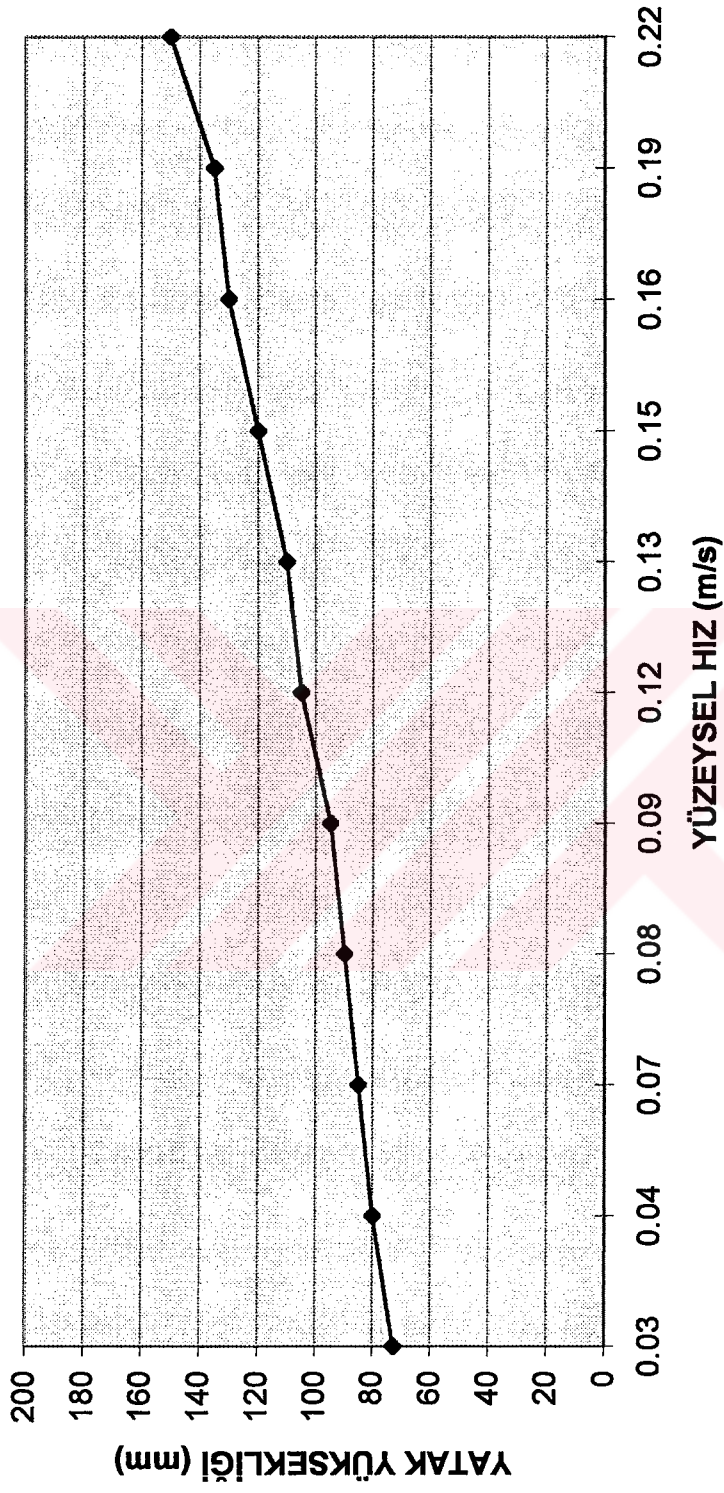
Tablo 2.12  $t_1=140$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	126	134	134	128	125	123	123	123	123	123	122
t <sub>2</sub> (°C)	48	48	48	54	53	51	51	51	51	51	51
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.48	0.72	0.96	1.35	1.59	1.78	2.04	2.29	2.55	3.06	3.57
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.08	0.11	0.15	0.18	0.20	0.23	0.26	0.29	0.35	0.41
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	1230	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	308	279	279	325	334	462	462	462	462	462	338

Tablo 2.13  $t_1=150$  °C için;

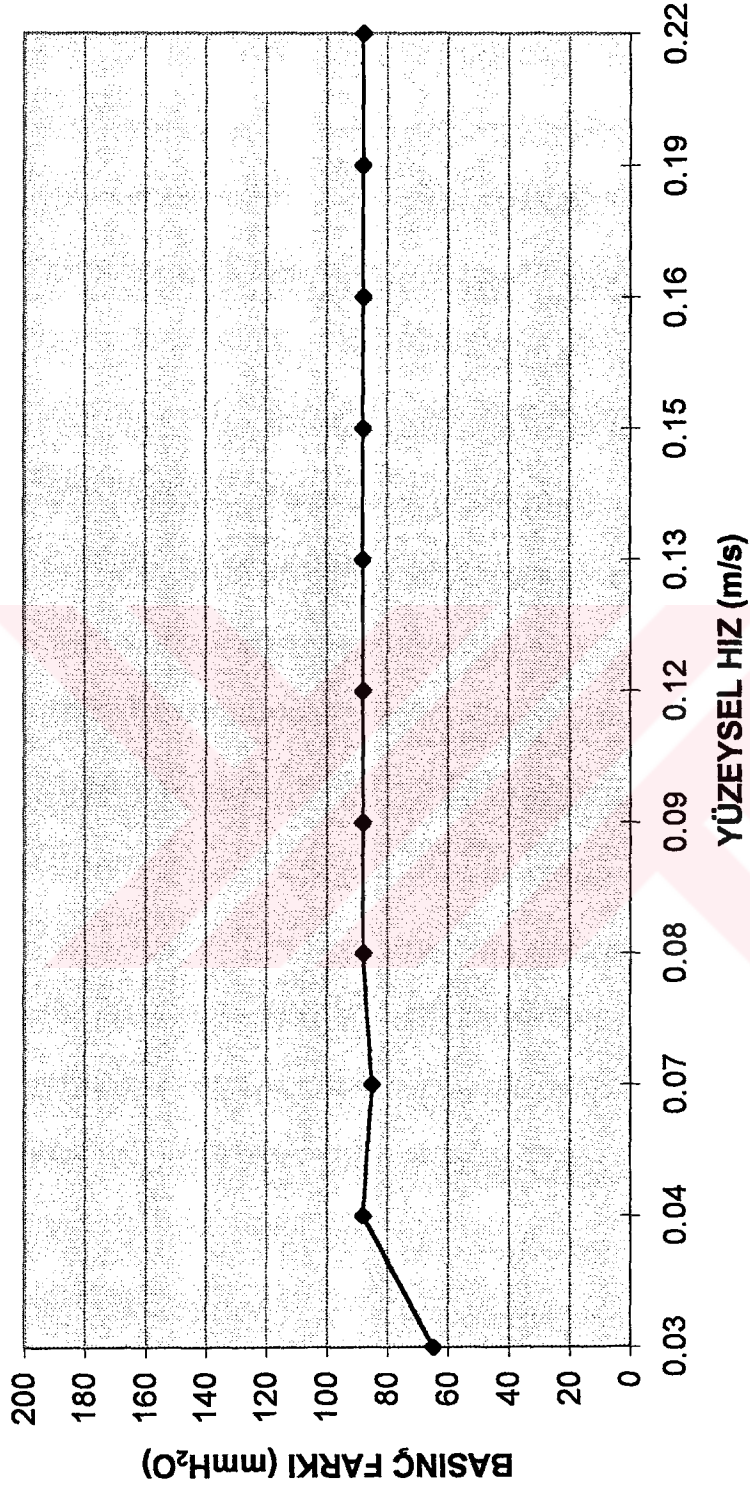
x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	2	3	5	6	8	12	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	143	139	140	135	130	129	129	129	129	127	125
t <sub>2</sub> (°C)	50	50	65	56	53	52	53	52	53	52	52
t <sub>3</sub> (°C)	20	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.5	0.71	1.3	1.4	1.59	1.82	2.12	2.34	2.65	3.12	3.64
U (m s <sup>-1</sup> )	0.05	0.08	0.15	0.16	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.36	0.42
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	70	82	85	88	88	88	88	88	88	88	88
Y. yük. (mm)	73	80	85	90	95	105	110	120	1230	135	150
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	258	270	320	304	312	312	316	312	316	320	329

## 2.GRUP 50 °C

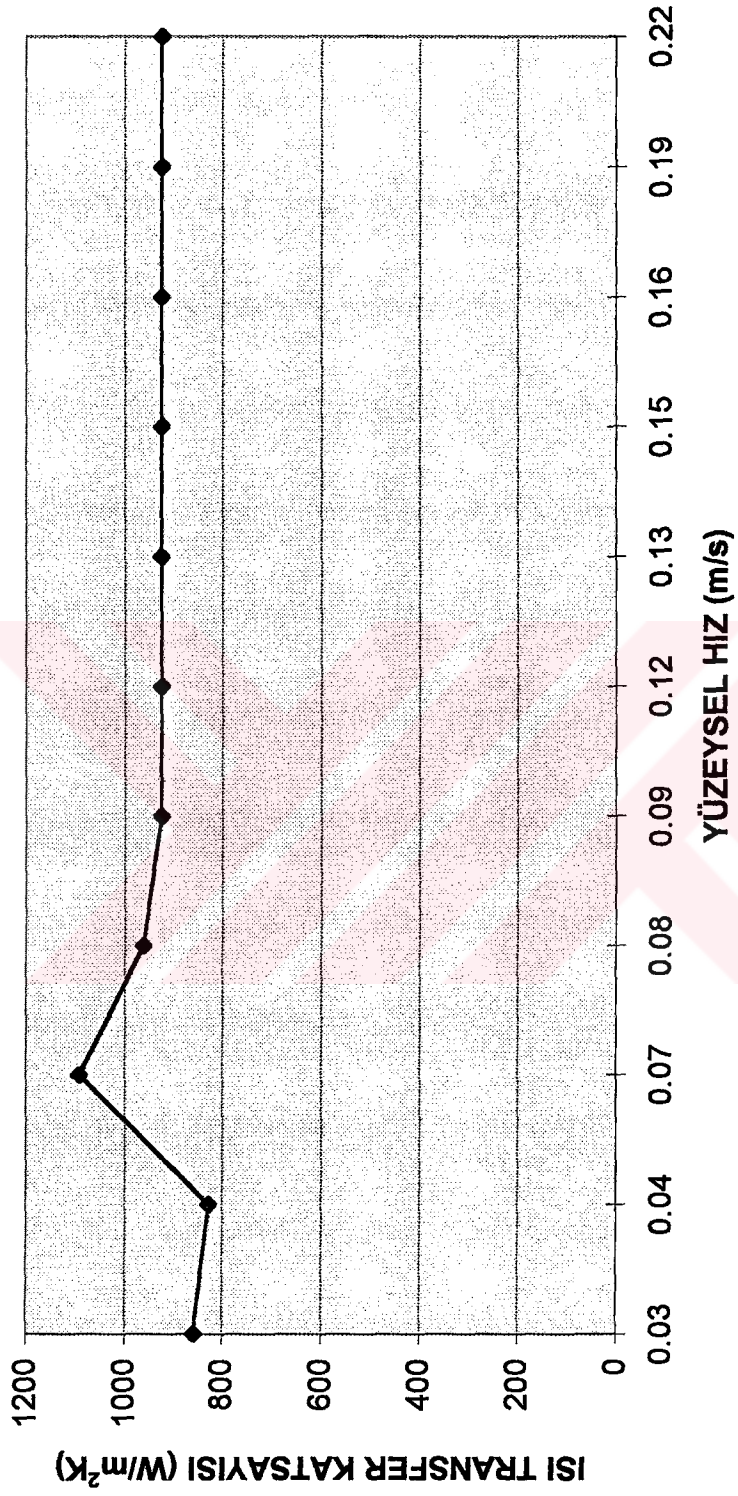




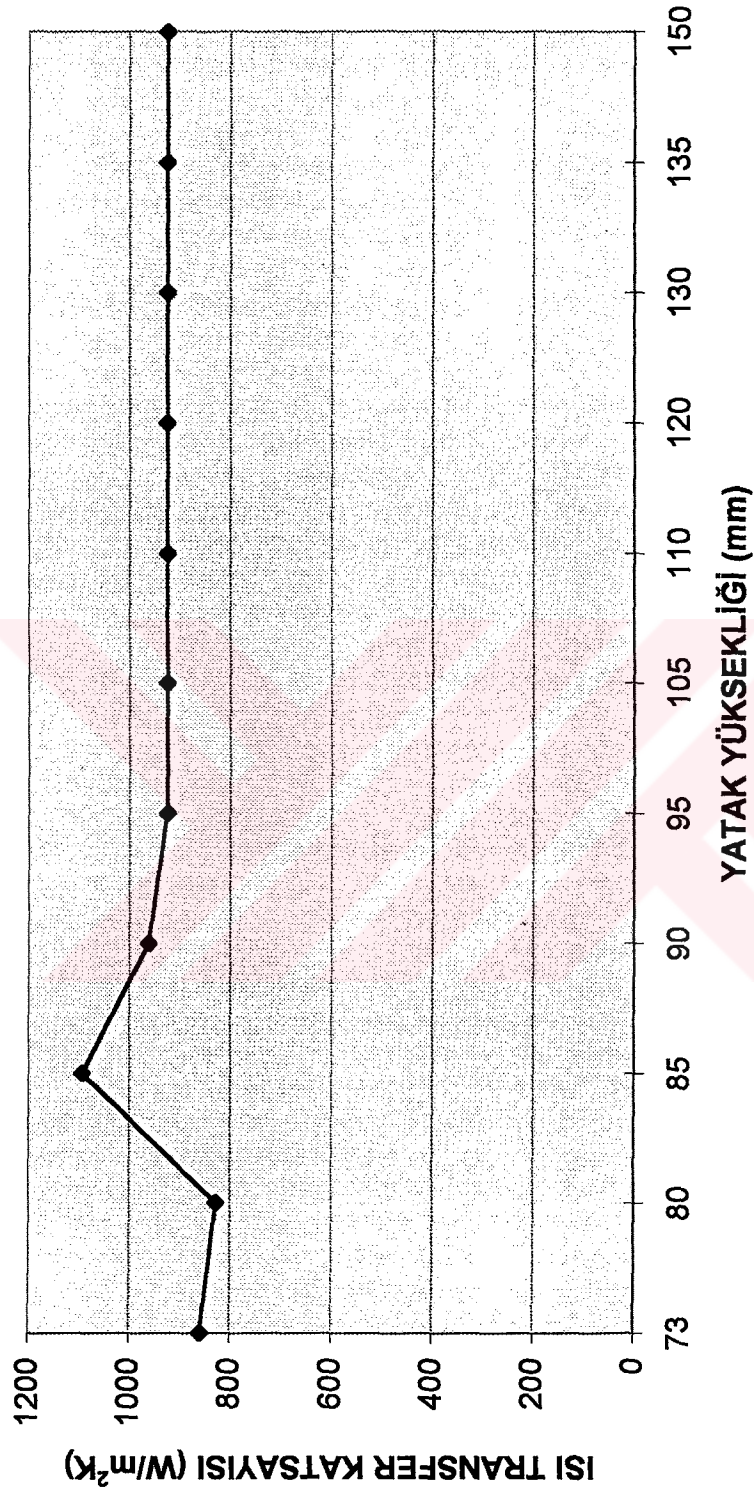
## 2.GRUP 50 °C



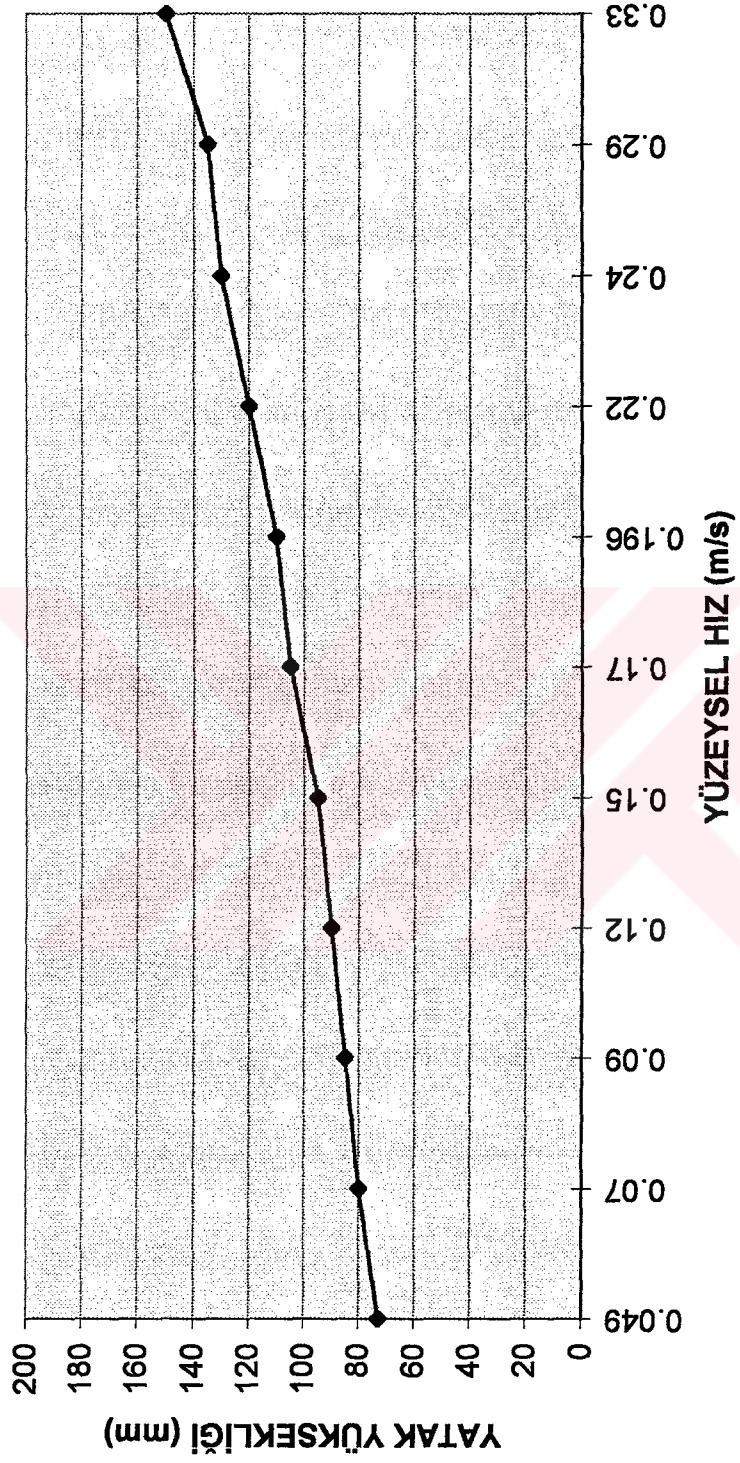
## 2.GRUP 50 °C



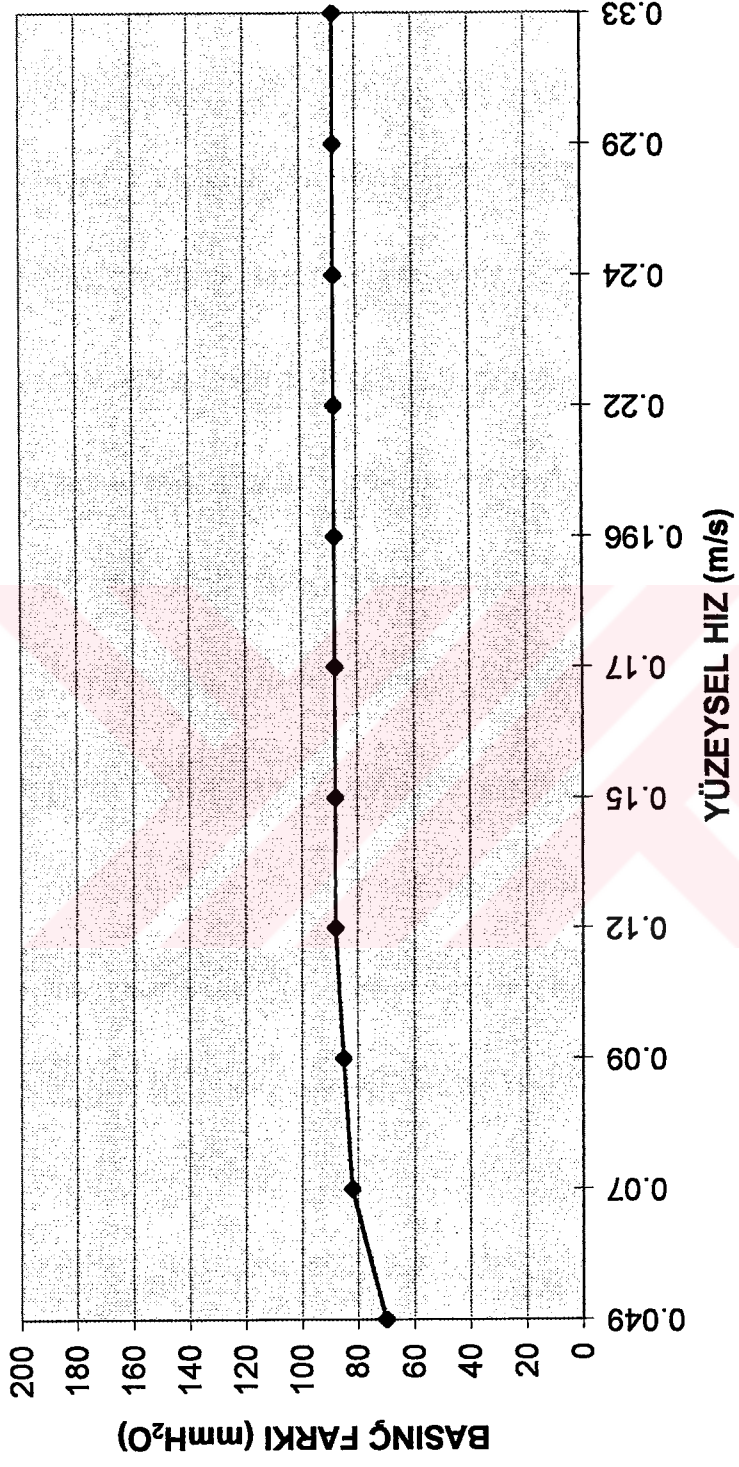
## 2.GRUP 50 °C



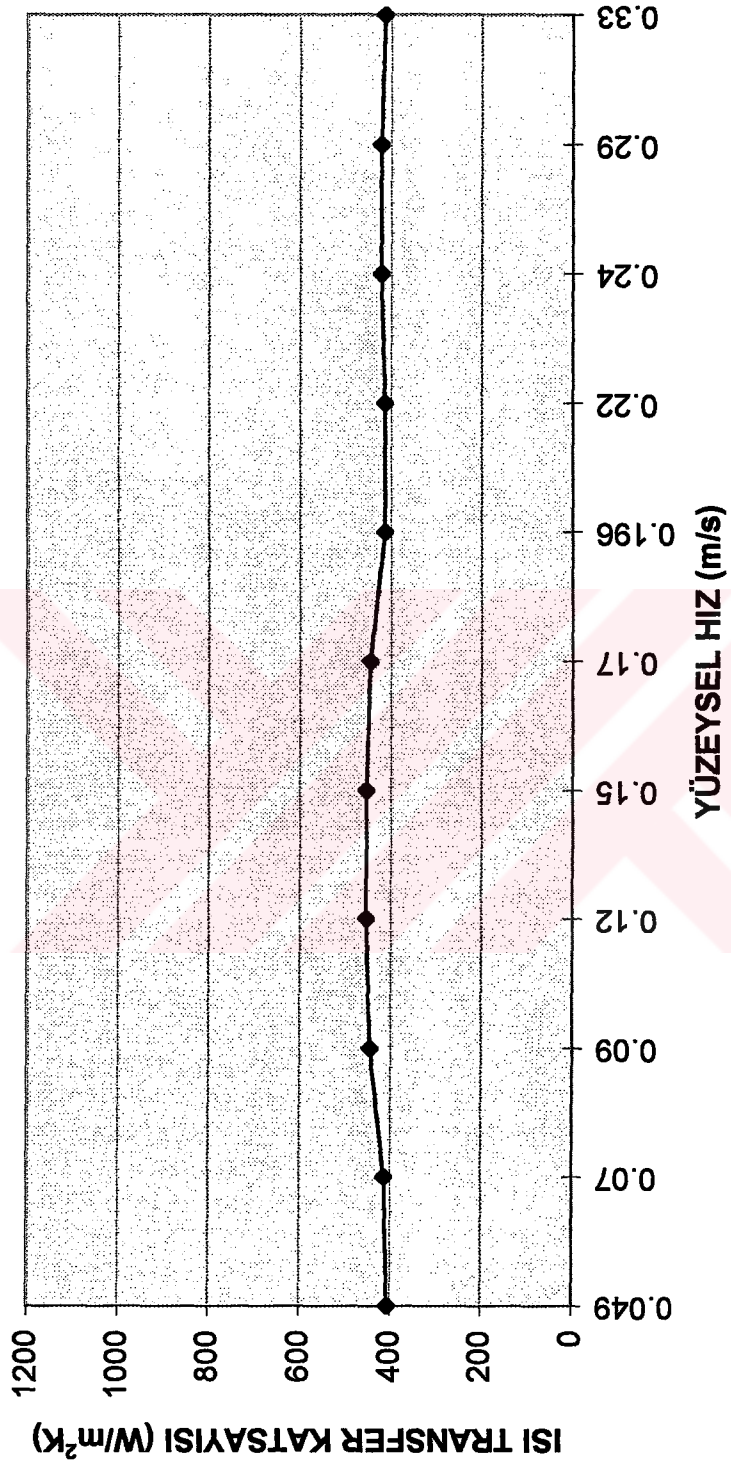
2.GRUP 100 °C



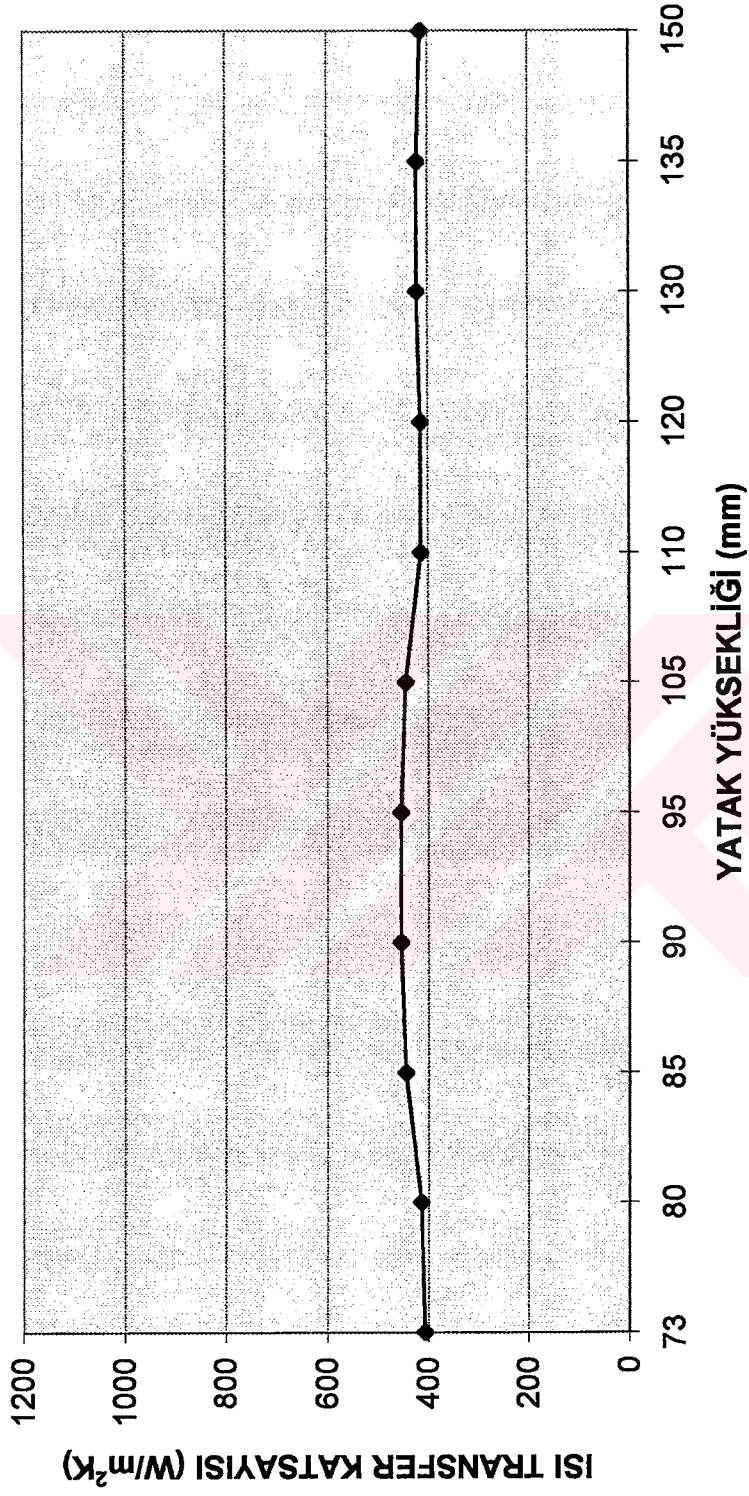
2.GRUP 100 °C



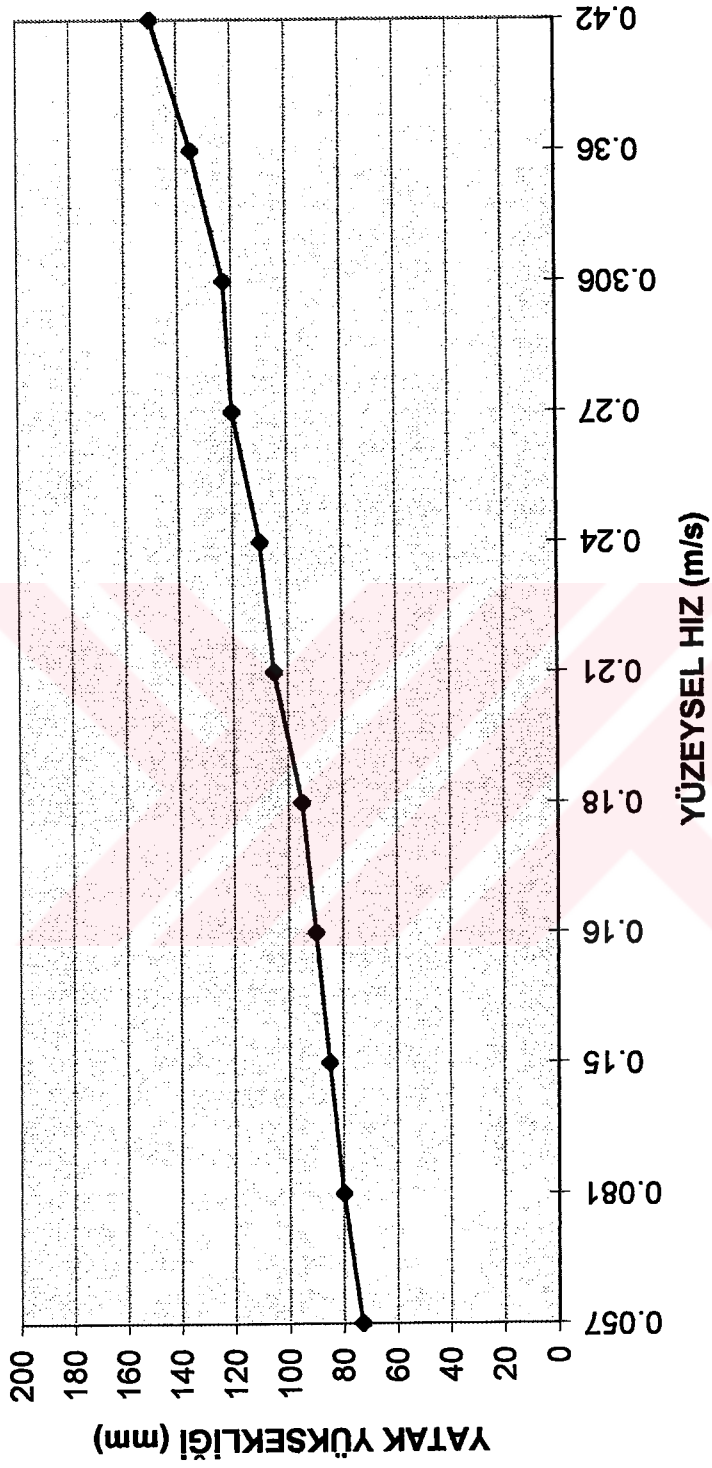
## 2.GRUP 100 °C



## 2.GRUP 100 °C

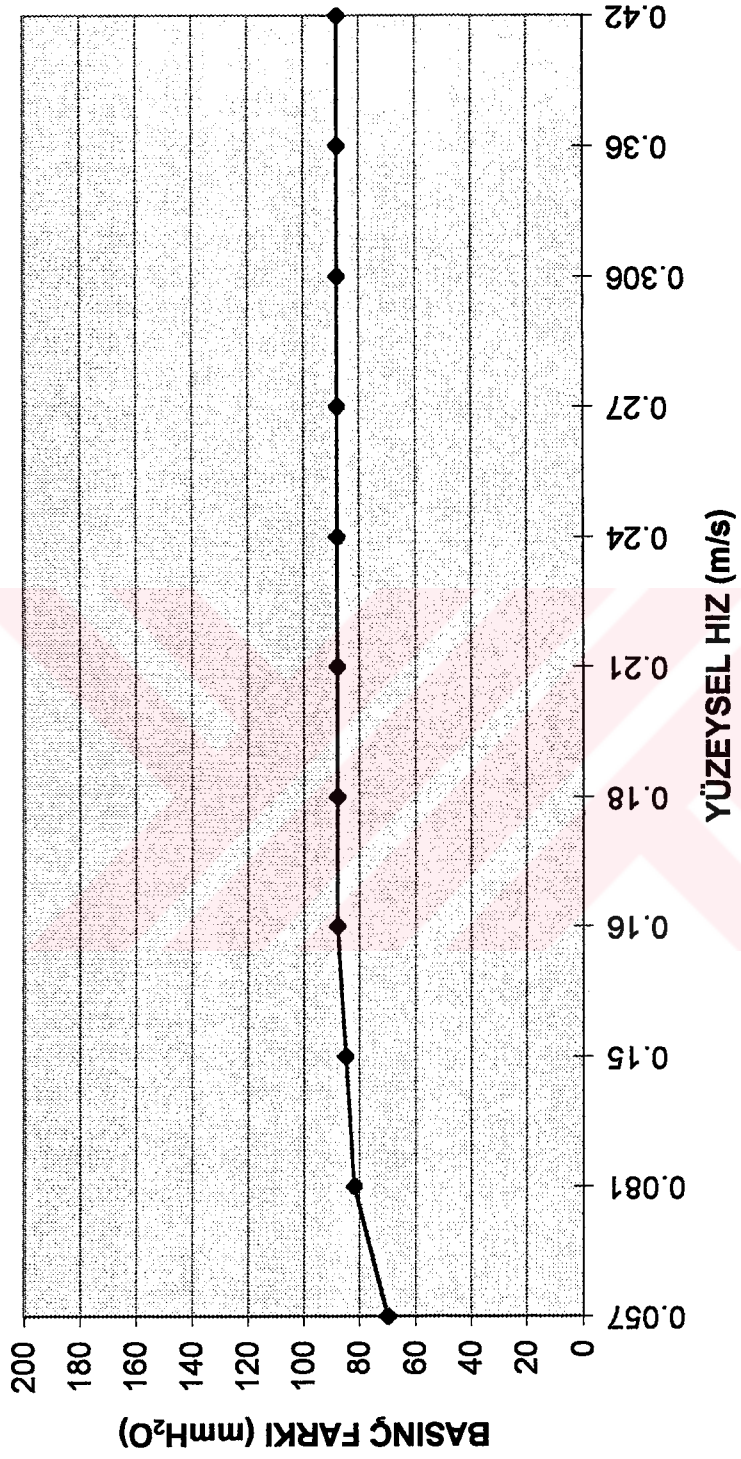


## 2.GRUP 150 °C

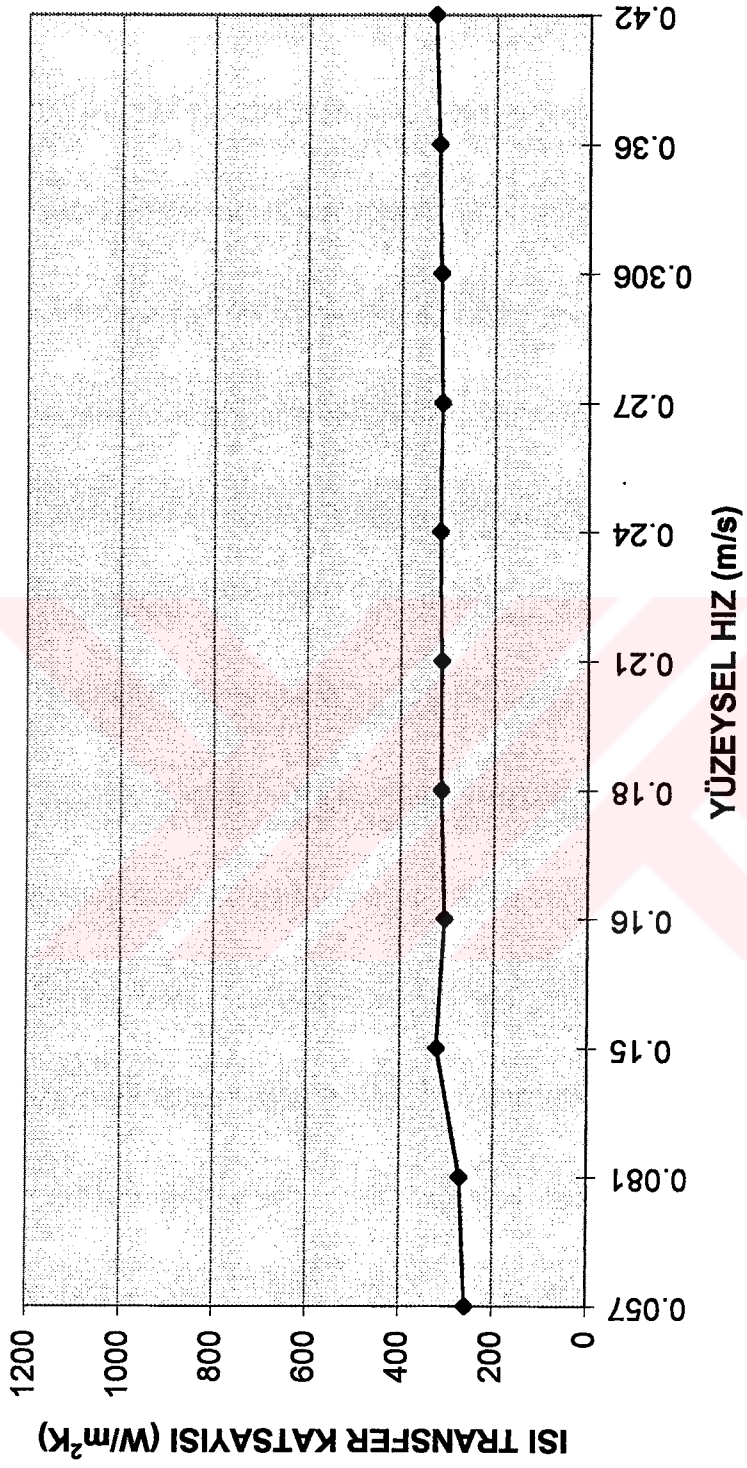




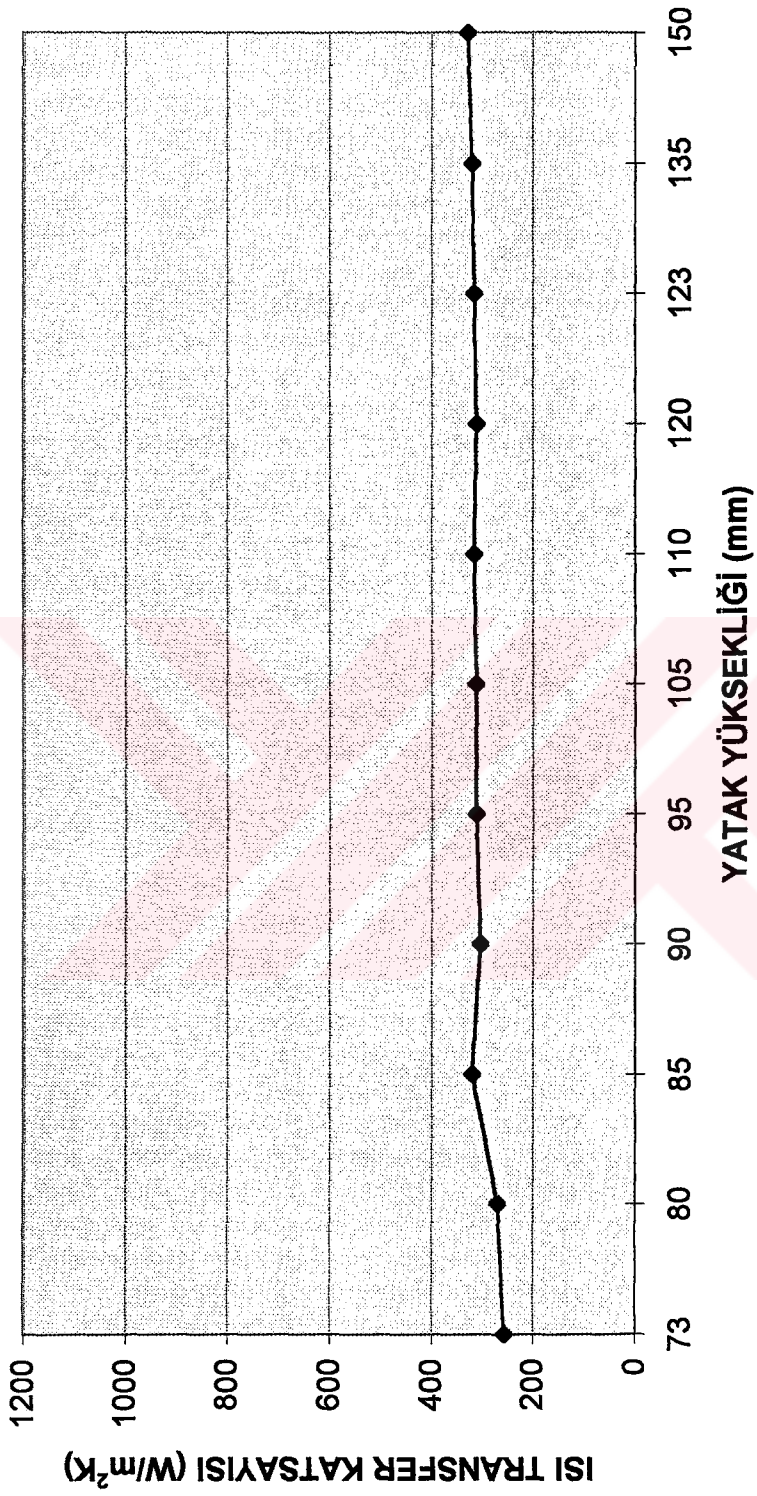
## 2.GRUP 150 °C



## 2.GRUP 150 °C



## 2.GRUP 150 °C



### EK:3 3. GRUP (60) DENEY TABLOLARI VE GRAFİKLERİ

Yatak Verileri

Madde	(60)	Alumina Grit
Tane boyutu	( $d_p$ )	250 $\mu\text{m}$
Tane yoğunluğu	( $\rho_p$ )	3770 $\text{kg m}^{-3}$
Tane kütlesi	(M)	1 kg
Kısmi alan	( $S_b$ )	$8.66 \times 10^{-3}$
Isıtıcı yüzey alanı	(A)	$1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Tablo 3.1  $t_1=35^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	8	12	15	20	30
$V_m$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
$t_1$ (°C)	38	37	35	35	37	35	37	39	38	39	38
$t_2$ (°C)	24	23	23	23	23	23	22	22	21	21	21
$t_3$ (°C)	21	21	21	21	21	21	21	20	20	20	20
$V_b$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.32	0.43	0.54	0.65	0.76	0.83	0.99	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	45	57	69	82	90	98	100	104	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1718	1718	2005	2005	1718	2005	1604	1415	1415	1336	1415

Tablo 3.2  $t_1=40^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
$V_m$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
$t_1$ (°C)	45	45	44	45	45	45	45	45	45	45	45
$t_2$ (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
$t_3$ (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$V_b$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.52	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	44	55	65	75	85	95	100	102	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1002	1002	1046	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002	1002

Tablo 3.3  $t_1=50\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	53	52	51	53	53	53	53	55	53	52	53
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.52	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	40	52	65	78	87	98	100	102	107
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	751	776	802	751	751	751	751	707	751	776	751

Tablo 3.4  $t_1=60\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	65	64	63	65	63	64	65	65	64	63	65
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.52	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	40	50	65	75	85	95	100	102	107
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	546	559	572	546	572	559	546	546	559	572	546

Tablo 3.5  $t_1=70\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	75	72	75	74	73	75	73	72	75	75	75
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.52	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	1.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	32	42	55	65	75	90	95	100	102	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	445	471	445	454	462	445	462	471	445	445	445

Tablo 3.6  $t_1=80$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	84	83	82	85	84	84	84	84	84	84	84
t <sub>2</sub> (°C)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.23	0.34	0.46	0.57	0.69	0.80	0.92	1.03	1.15	1.38	1.61
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.18
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	40	50	65	75	85	95	100	102	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	394	401	481	388	394	394	394	394	394	394	394

Tablo 3.7  $t_1=90$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	94	93	93	93	94	94	93	93	93	94	93
t <sub>2</sub> (°C)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.32	0.43	0.54	0.65	0.77	0.87	0.98	1.09	1.31	1.53
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	40	50	65	75	85	95	100	102	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	338	343	343	343	338	334	343	343	343	338	343

Tablo 3.8  $t_1=100$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	105	104	105	104	103	104	105	105	105	104	104
t <sub>2</sub> (°C)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.32	0.43	0.55	0.65	0.76	0.87	0.98	1.09	1.31	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	40	50	65	75	85	95	100	102	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	293	297	293	293	300	297	293	293	293	297	293

Tablo 3.9  $t_1=110\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	110	110	113	112	110	112	113	110	110	113	113
t <sub>2</sub> (°C)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1	1.31	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	50	65	75	80	90	95	100	105	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	273	273	264	267	273	267	264	273	273	264	264

Tablo 3.10  $t_1=120\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	123	124	122	124	123	133	121	123	124	125	124
t <sub>2</sub> (°C)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1	1.31	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	50	65	75	80	90	95	100	105	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	238	235	240	235	238	240	243	238	235	233	235

Tablo 3.11  $t_1=130\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	133	134	134	135	132	131	132	133	133	132	134
t <sub>2</sub> (°C)	22	21	22	22	22	22	21	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.31	0.44	0.55	0.66	0.77	0.84	0.99	1.1	1.32	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	50	65	75	80	90	95	100	105	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	216	212	214	212	218	220	216	216	216	218	214

Tablo 3.12  $t_1=140\text{ }^\circ\text{C}$  için;

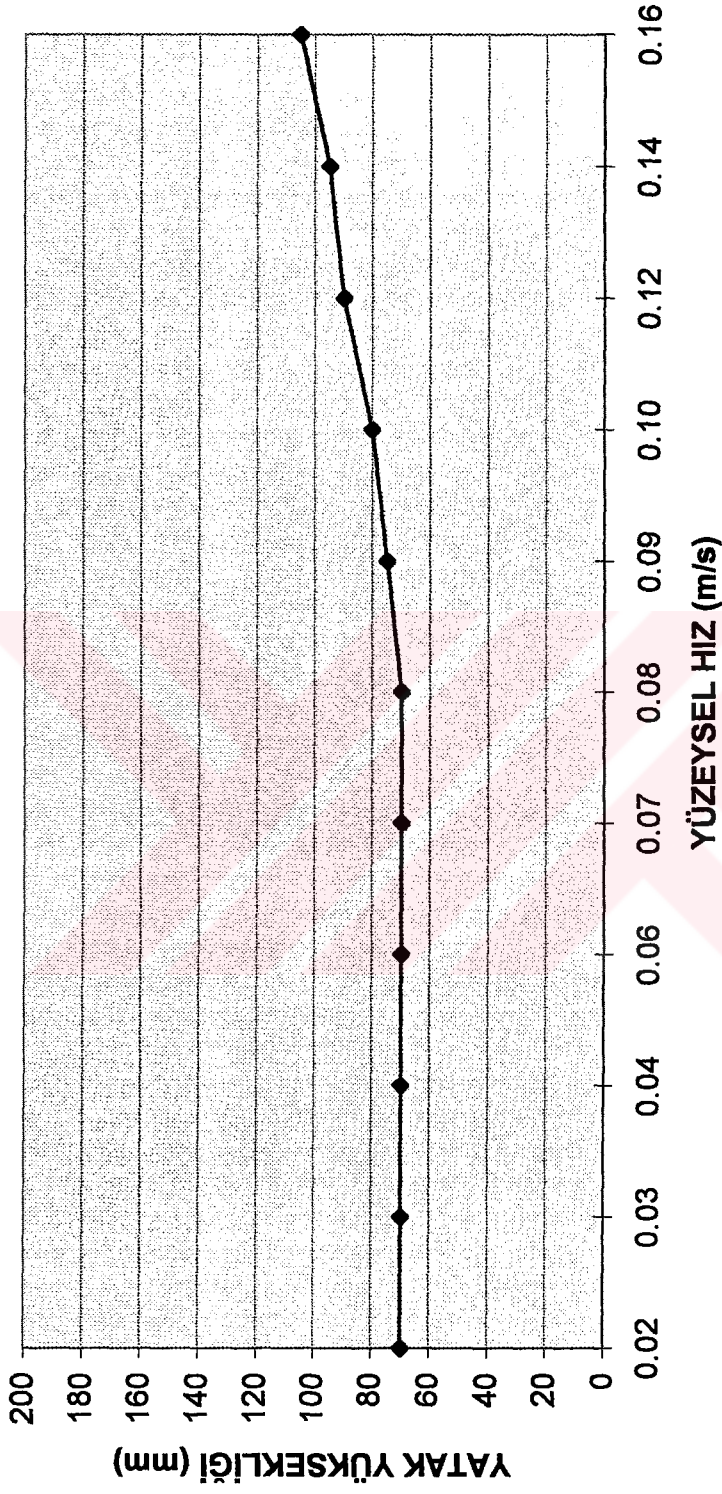
x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	145	142	143	142	143	142	143	142	141	140	141
t <sub>2</sub> (°C)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1	1.31	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	50	65	75	80	90	95	100	105	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	192	200	198	200	198	200	198	200	202	203	202

Tablo 3.13  $t_1=150\text{ }^\circ\text{C}$  için;

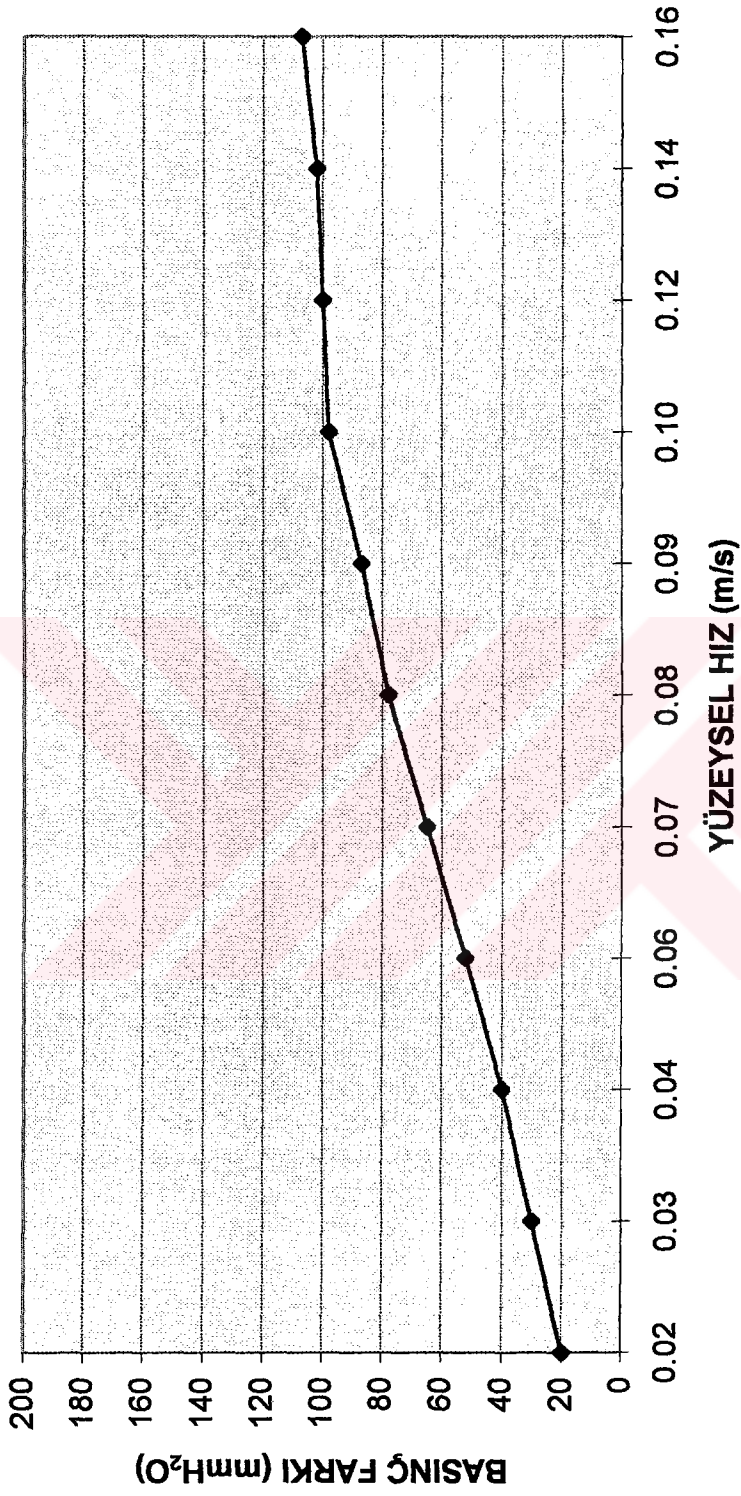
x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	1	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	152	151	151	151	150	148	148	147	146	148	149
t <sub>2</sub> (°C)	24	25	25	24	25	25	25	24	25	24	24
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.24	0.37	0.5	0.6	0.75	0.87	1	1.08	1.25	1.44	1.68
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.16	0.19
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	20	30	50	65	75	80	90	95	100	105	105
Y. yük. (mm)	70	70	70	70	70	70	75	80	90	95	105
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	187	190	190	189	192	195	195	195	198	194	192



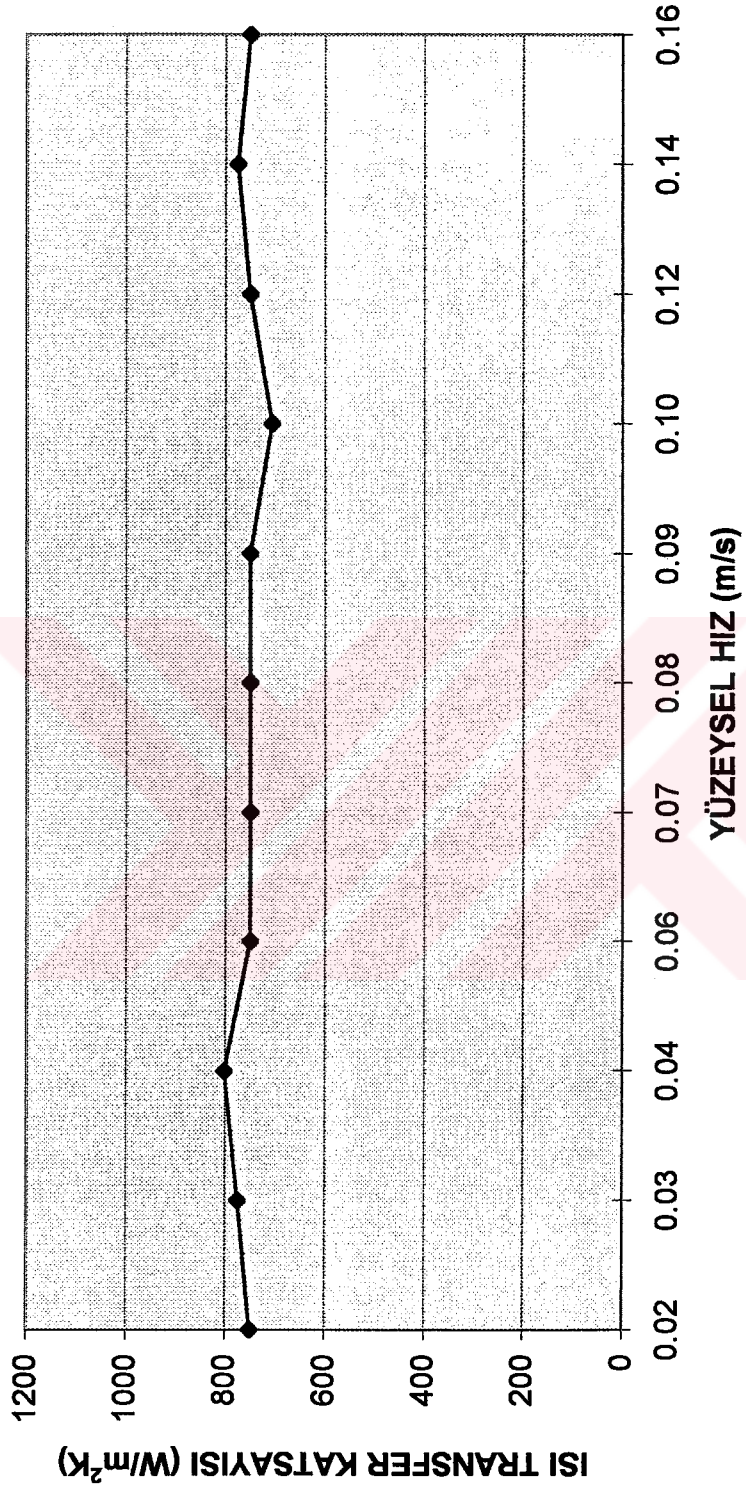
### 3.GRUP 50 °C



### 3.GRUP 50 °C

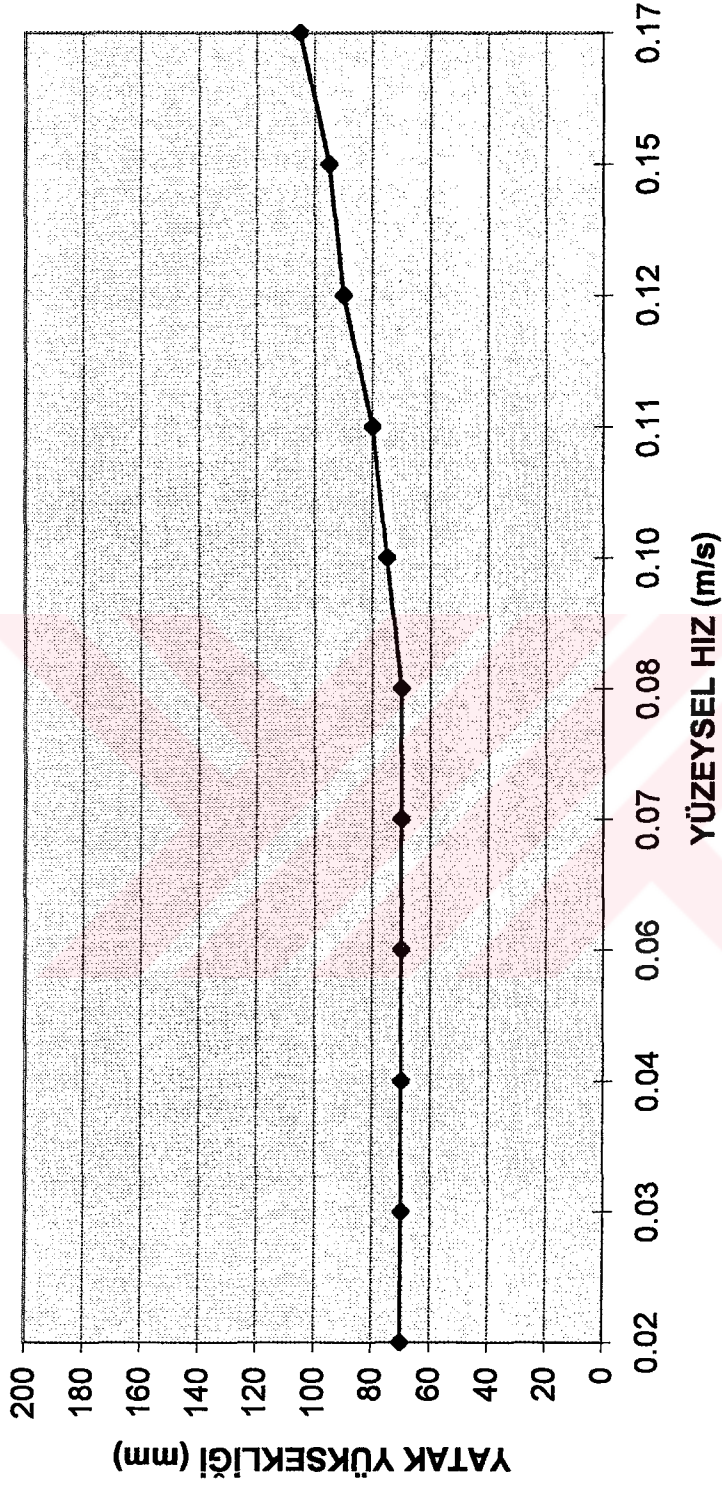


### 3.GRUP 50 °C

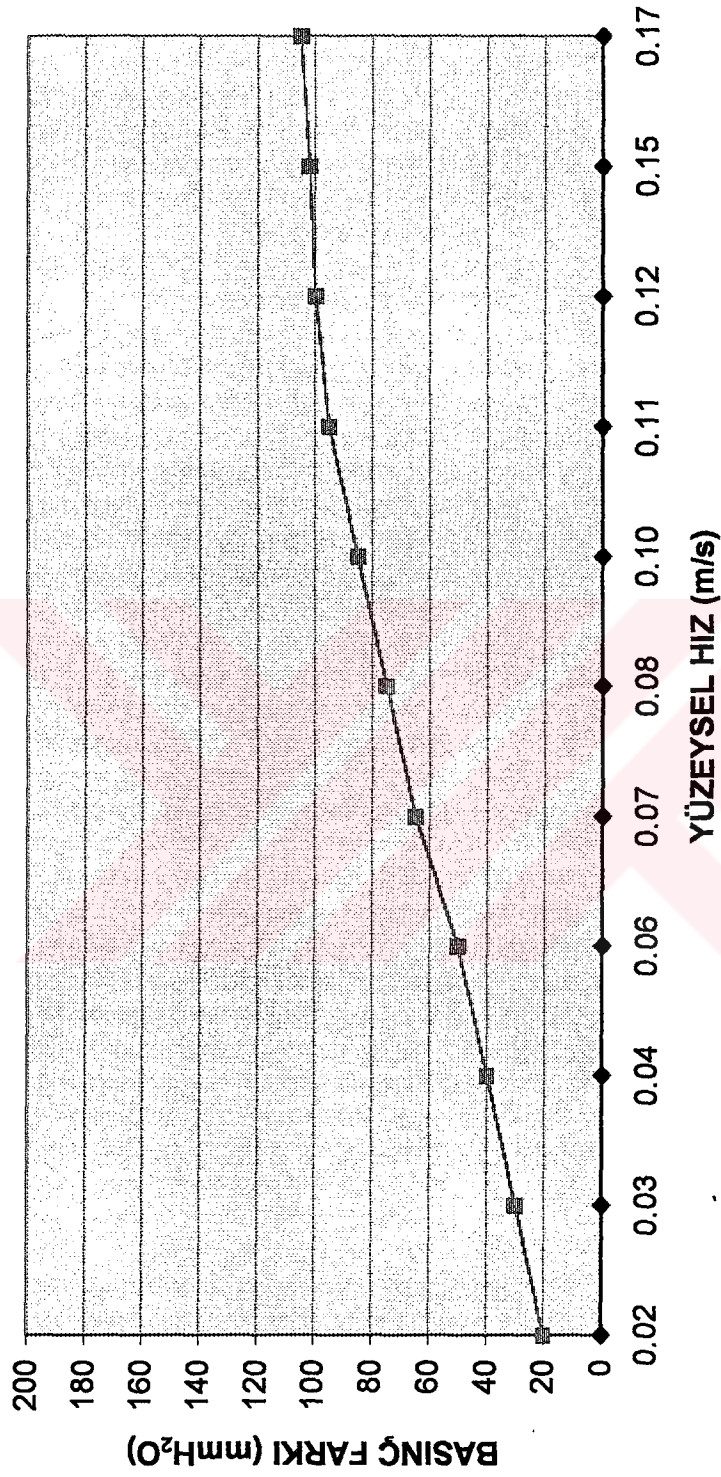




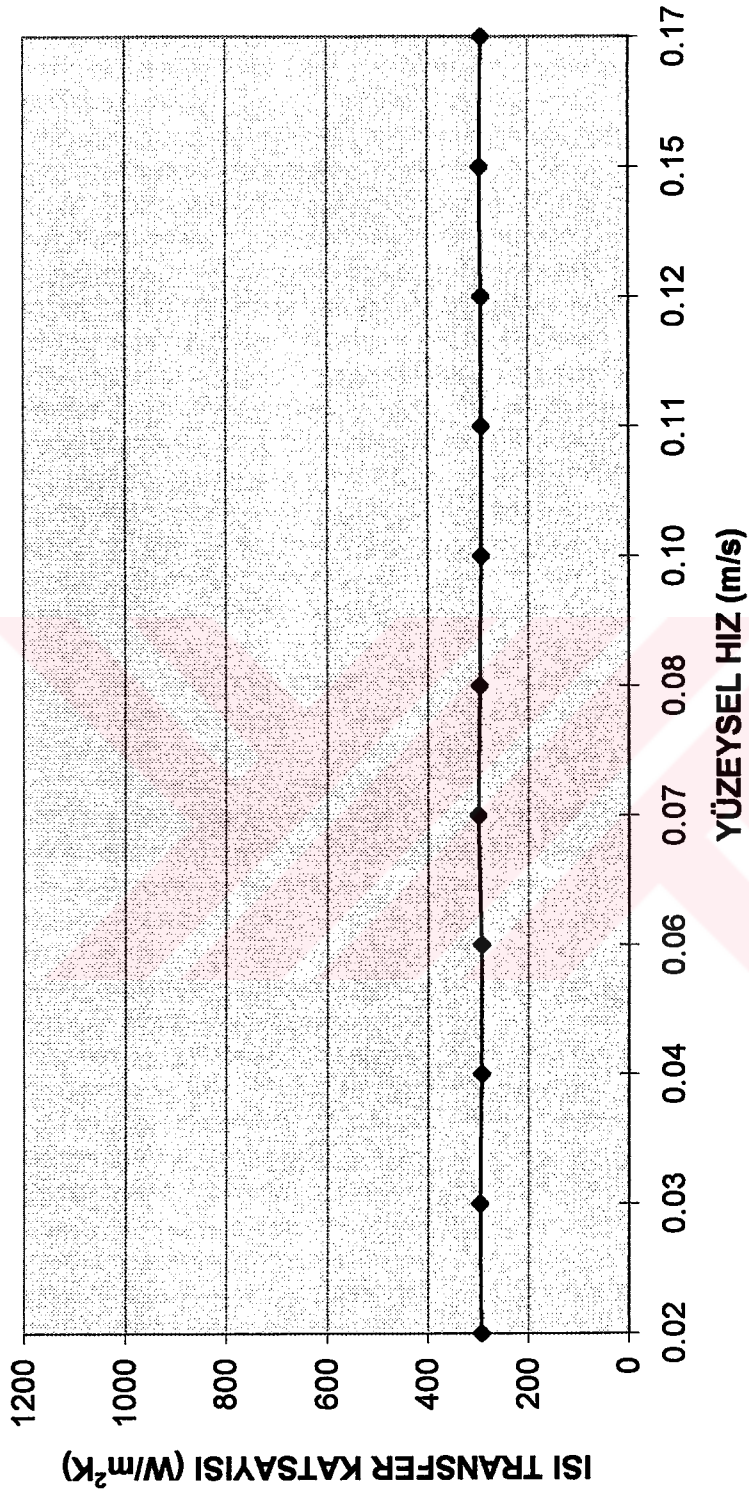
### 3.GRUP 100 °C



### 3.GRUP 100 °C



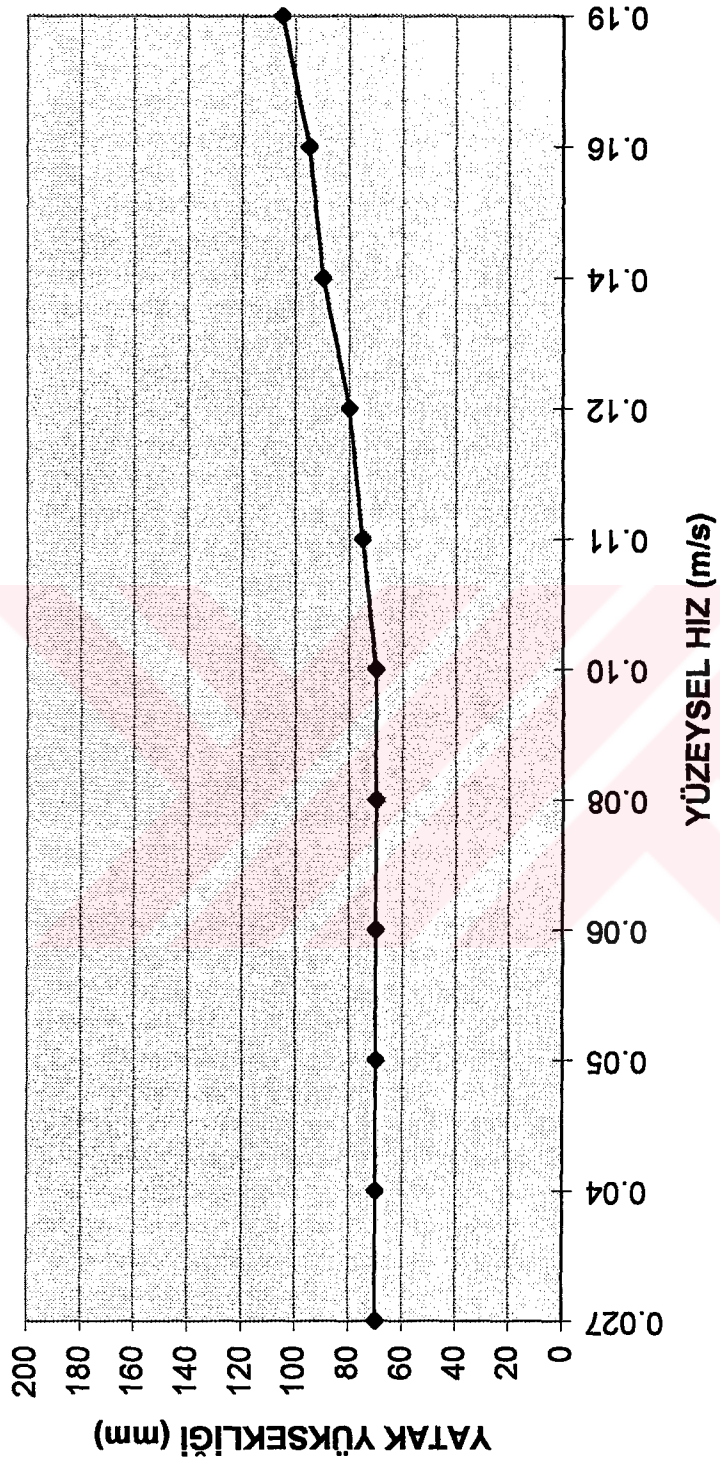
### 3.GRUP 100 °C



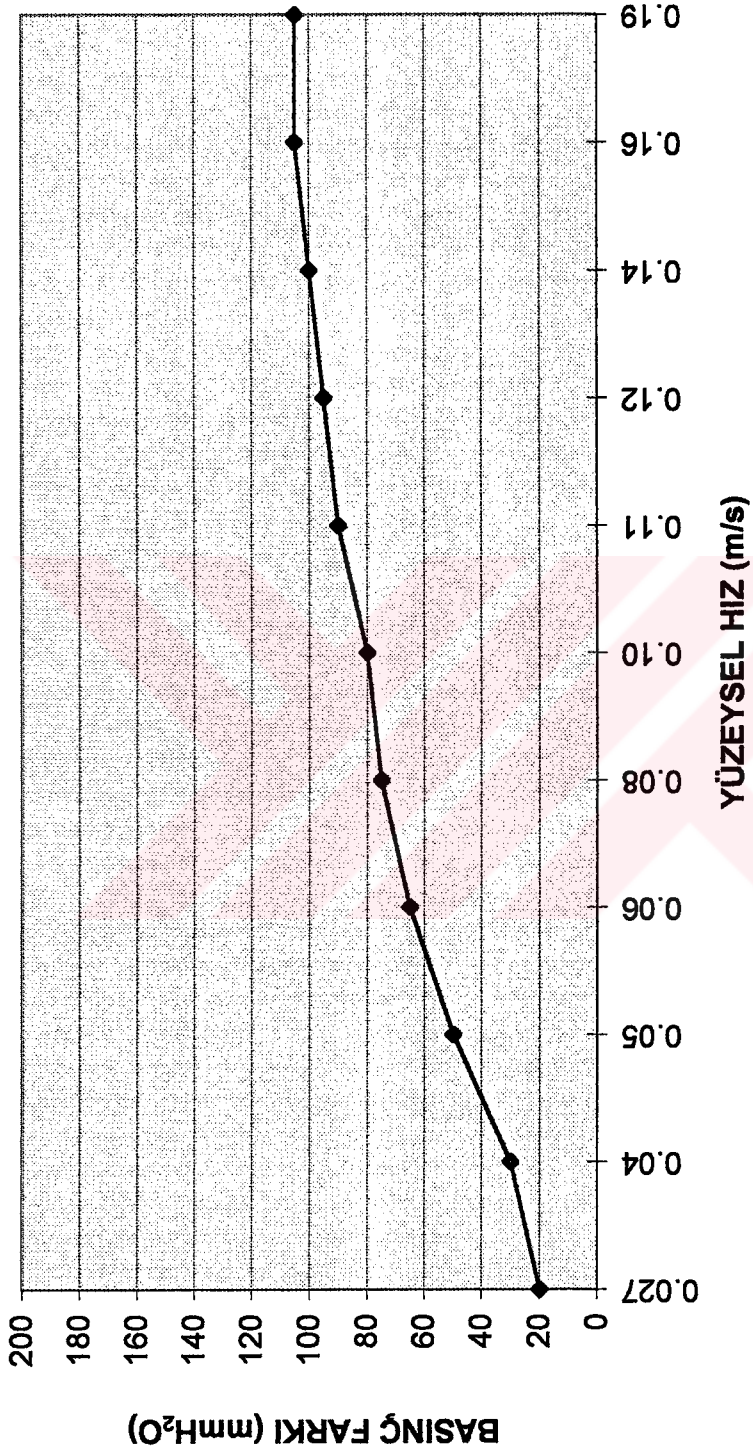




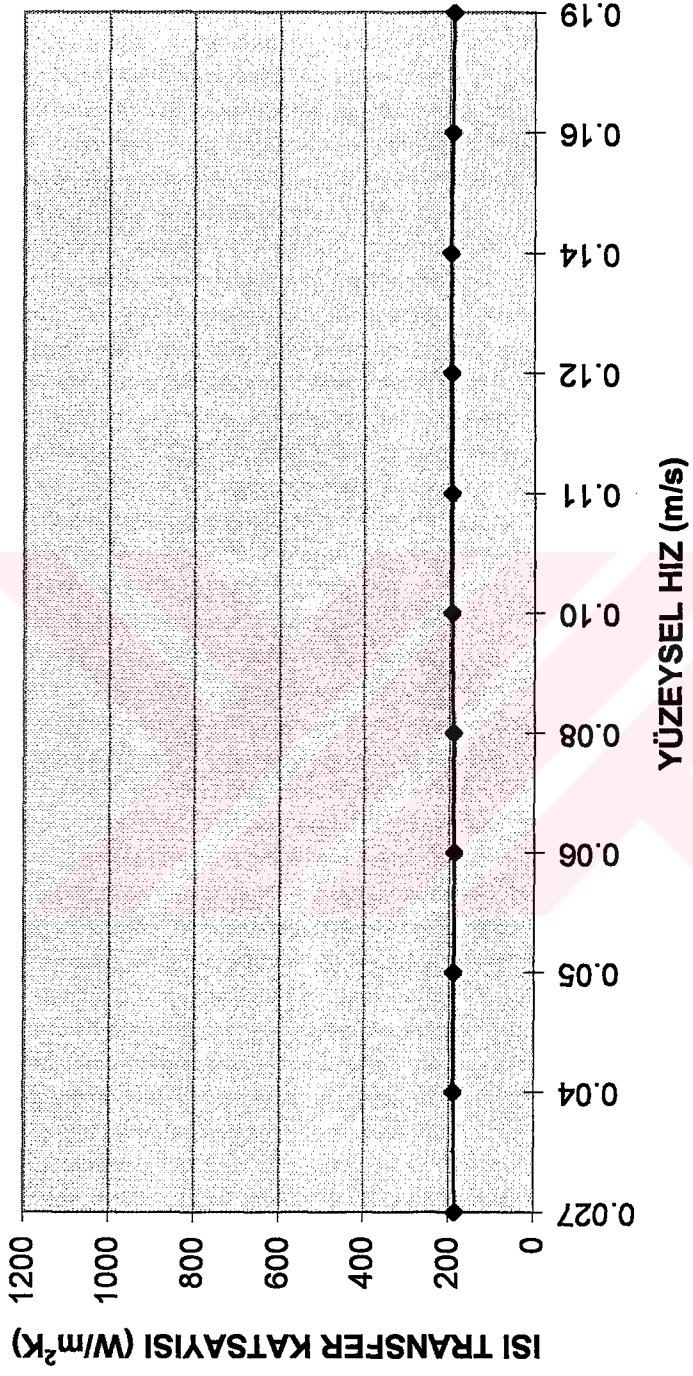
### 3.GRUP 150 °C



### 3. GRUP 150 °C



### 3.GRUP 150 °C





#### EK:4 4. GRUP (54) DENEY TABLOLARI VE GRAFİKLERİ

Yatak Verileri

Madde	(54)	Alumina Grit
Tane boyutu	( $d_p$ )	320 $\mu\text{m}$
Tane yoğunluğu	( $\rho_p$ )	3770 $\text{kg m}^{-3}$
Tane kütlesi	(M)	1 kg
Kısmi alan	( $S_b$ )	$8.66 \times 10^{-3}$
Isıtıcı yüzey alanı	(A)	$1.6 \times 10^{-3} \text{m}^2$

Tablo 4.1  $t_1=35^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
$V_m$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
$t_1$ (°C)	37	36	36	38	37	36	36	38	37	36	38
$t_2$ (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
$t_3$ (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$V_b$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1503	1604	1604	1415	1503	1604	1604	1415	1503	1604	1415

Tablo 4.2  $t_1=40^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
$V_m$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
$t_1$ (°C)	44	43	42	41	44	43	42	41	44	43	42
$t_2$ (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
$t_3$ (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$V_b$ (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
$\Delta p$ (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	1046	1093	1145	1203	1046	1093	1145	1203	1046	1093	1203

Tablo 4.3  $t_1=50^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	55	54	54	53	52	55	54	53	52	52	53
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	707	729	729	751	776	707	729	751	776	776	751

Tablo 4.4  $t_1=60^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	65	64	63	62	61	61	60	65	64	64	63
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.9	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	546	559	572	586	601	601	616	546	559	559	572

Tablo 4.5  $t_1=70^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	75	74	73	72	71	75	74	73	72	71	75
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	445	454	462	471	481	445	454	462	471	481	445

Tablo 4.6  $t_1=80$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	85	84	83	82	85	84	83	82	85	83	82
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	375	381	388	394	375	381	388	394	375	388	394

Tablo 4.7  $t_1=90$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	95	94	93	92	95	94	93	92	95	94	93
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	325	329	334	338	325	329	334	338	325	329	334

Tablo 4.8  $t_1=100$  °C için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	103	102	101	103	102	103	102	101	103	102	101
t <sub>2</sub> (°C)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1	0.32	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	297	300	304	297	300	297	300	304	297	300	304

Tablo 4.9  $t_1=110\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	113	112	111	113	112	113	112	113	112	113	112
t <sub>2</sub> (°C)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1	0.32	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	264	267	270	264	267	264	267	264	267	264	267

Tablo 4.10  $t_1=120\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	125	124	125	124	125	124	123	124	125	121	121
t <sub>2</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.31	0.42	0.53	0.63	0.73	0.84	0.94	1.05	1.26	1.47
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	231	233	231	233	231	233	235	233	231	231	231

Tablo 4.11  $t_1=130\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	134	133	132	134	133	132	134	133	132	134	133
t <sub>2</sub> (°C)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.22	0.33	0.44	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1	0.32	1.54
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	67	77	90	107
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	214	216	218	214	216	218	214	216	218	214	216



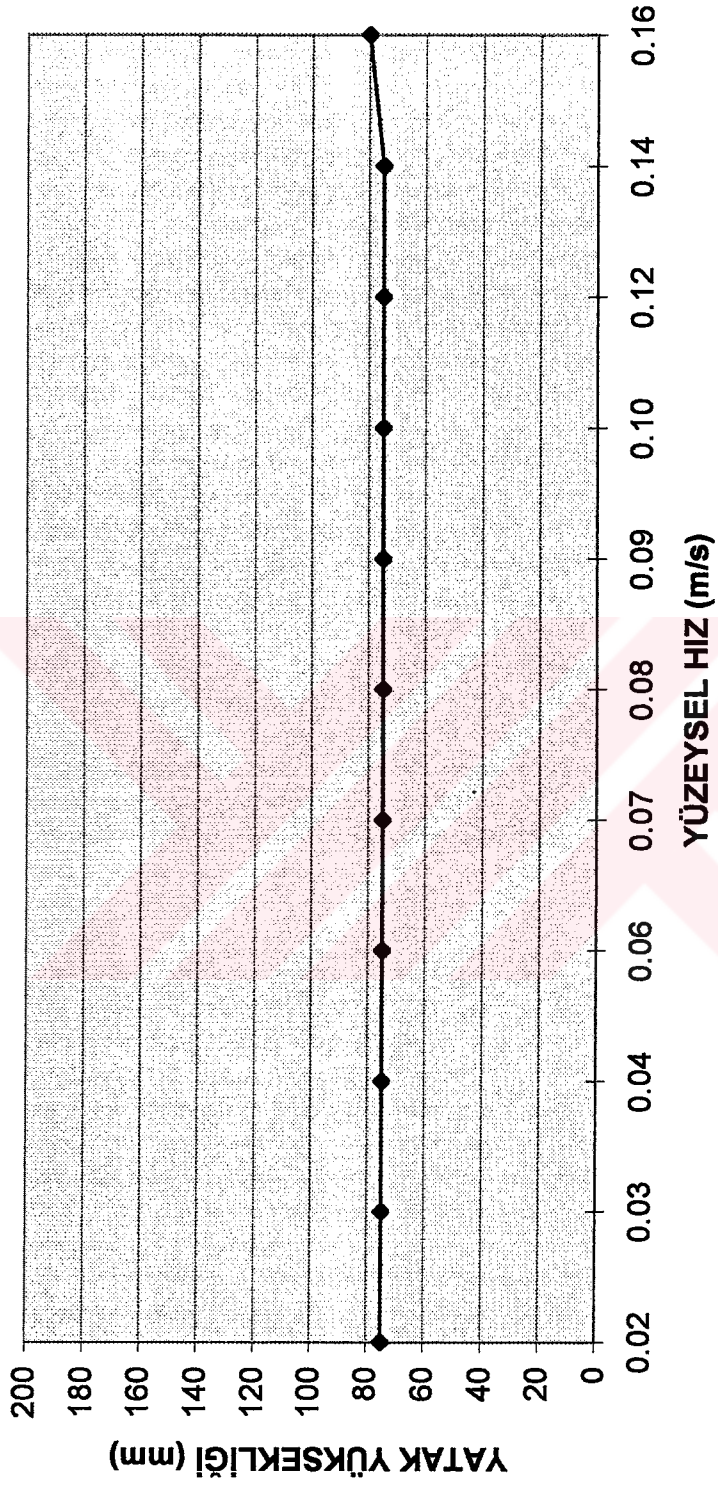
Tablo 4.12  $t_1=140\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	144	143	142	141	144	143	142	141	144	143	142
t <sub>2</sub> (°C)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
t <sub>3</sub> (°C)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.21	0.32	0.43	0.54	0.65	0.76	0.87	0.98	1.09	1.31	1.53
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.15	0.17
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	69	77	85	108
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	198	200	202	200	200	200	200	200	200	200	200

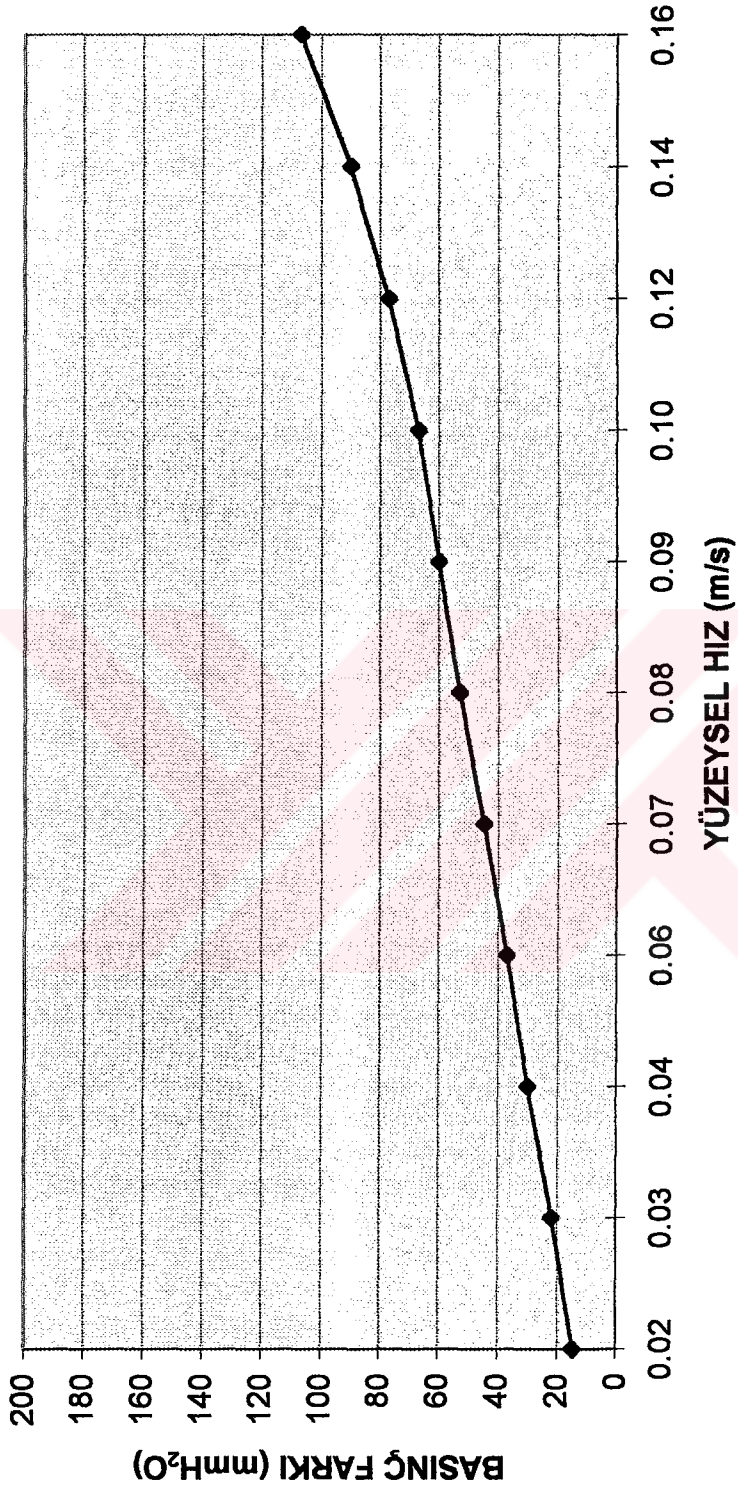
Tablo 4.13  $t_1=150\text{ }^\circ\text{C}$  için;

x (mmH <sub>2</sub> O)	0	0	0	3	4	6	7	10	14	20	30
V <sub>m</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
t <sub>1</sub> (°C)	155	154	153	152	155	154	153	152	155	154	153
t <sub>2</sub> (°C)	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
t <sub>3</sub> (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
V <sub>b</sub> (litre s <sup>-1</sup> )	0.23	0.34	0.46	0.57	0.69	0.80	0.92	1.03	1.15	1.38	1.61
U (m s <sup>-1</sup> )	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.18
Δp (mmH <sub>2</sub> O)	15	22	30	37	45	53	60	69	77	85	108
Y. yük. (mm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	80
E (Volts)	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
I (Amps)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Q (W)	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5
h (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	182	183	185	186	182	183	185	186	182	183	185

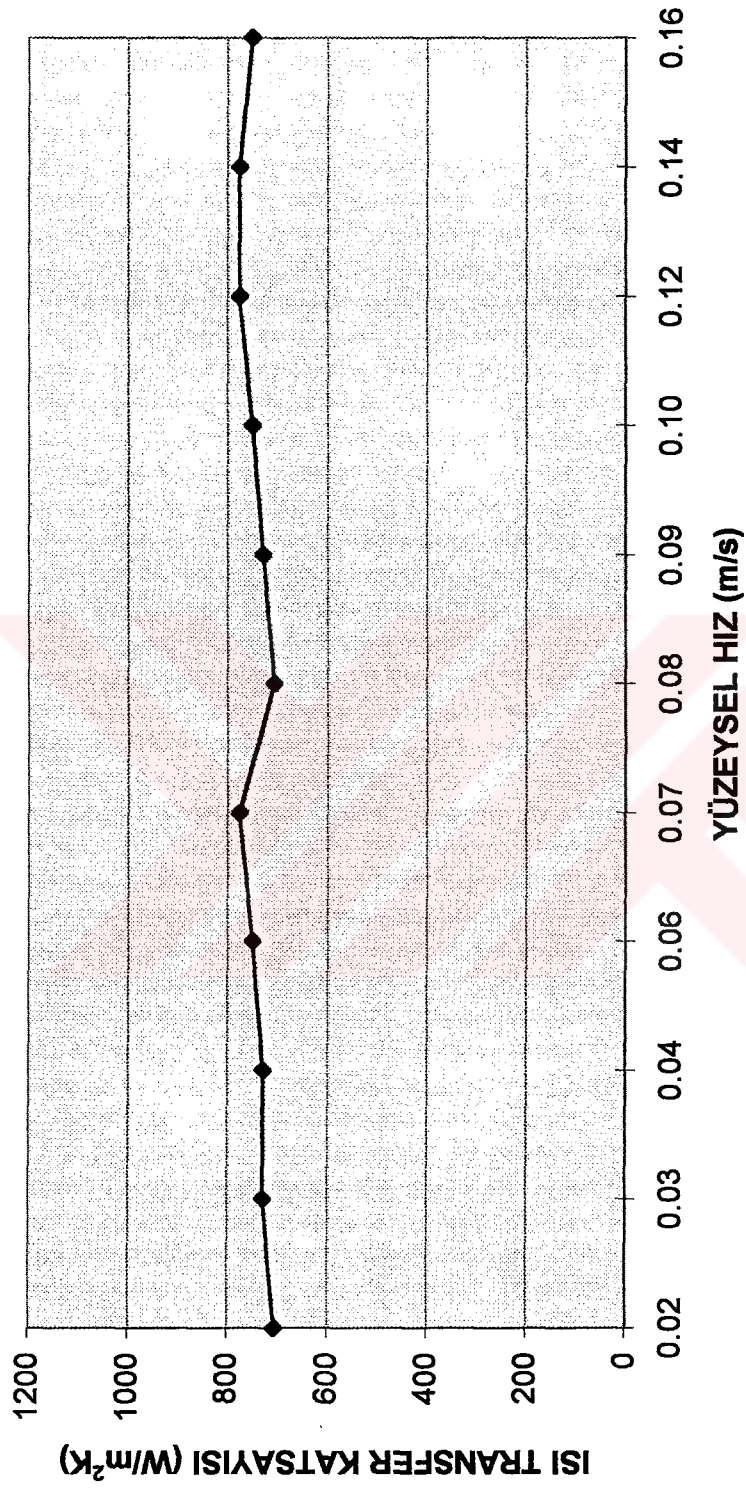
## 4.GRUP 50 °C



#### 4.GRUP 50 °C

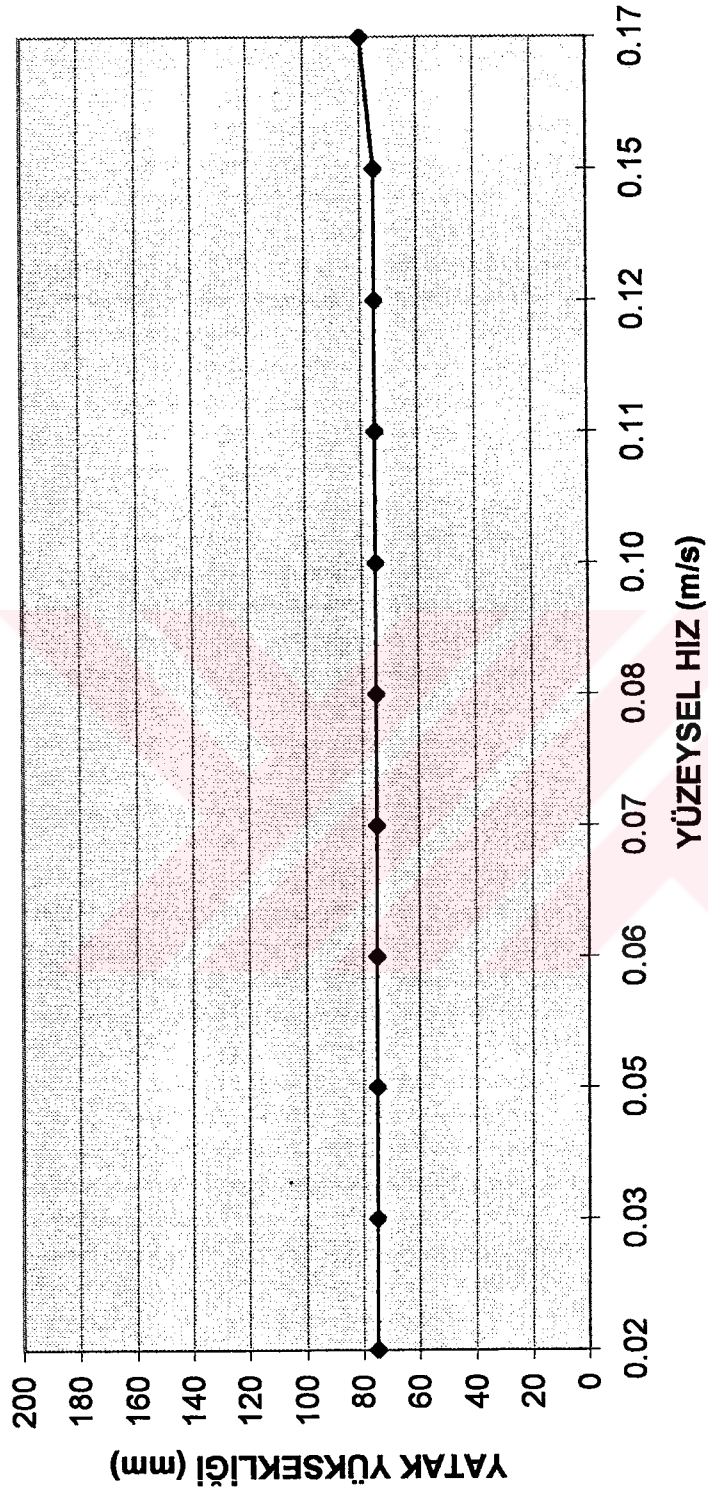


## 4. GRUP 50 °C

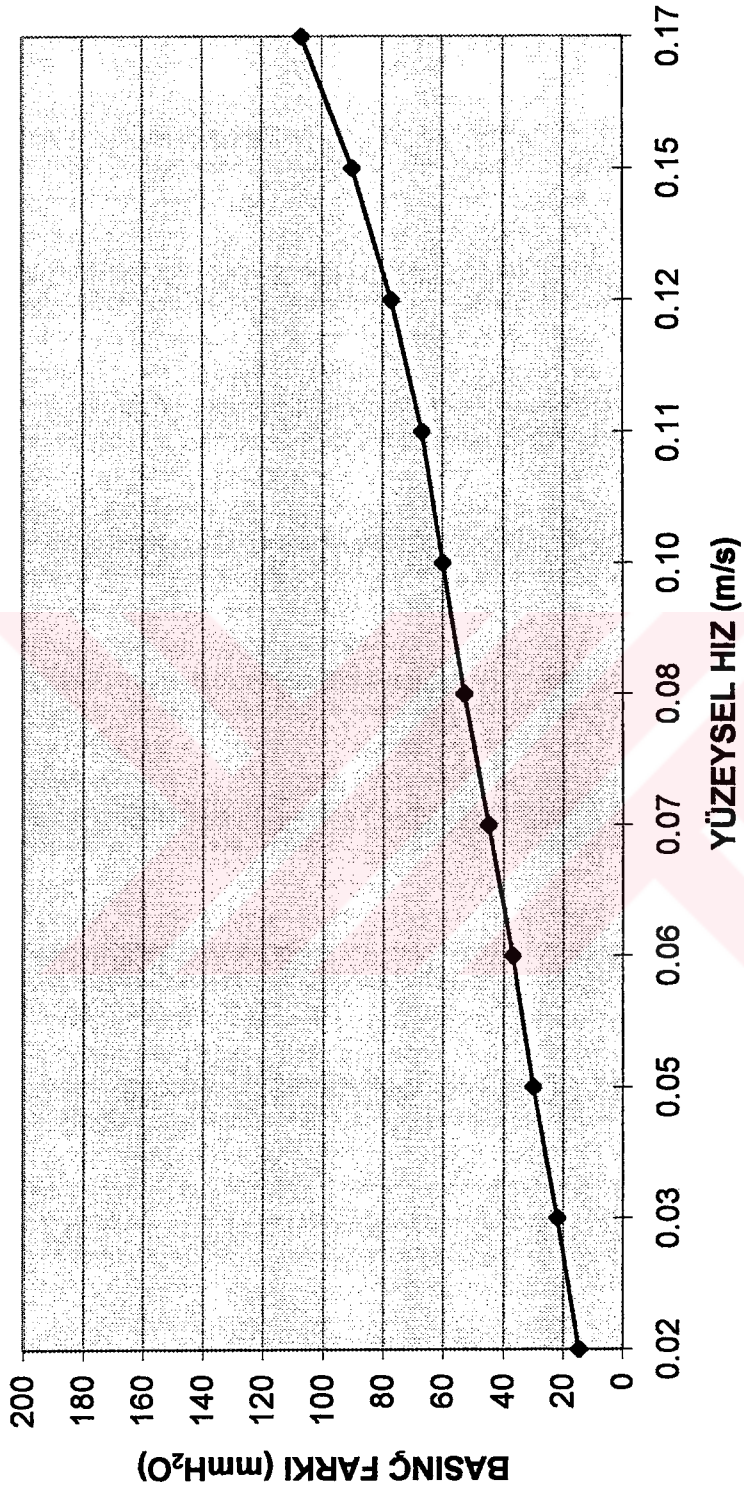




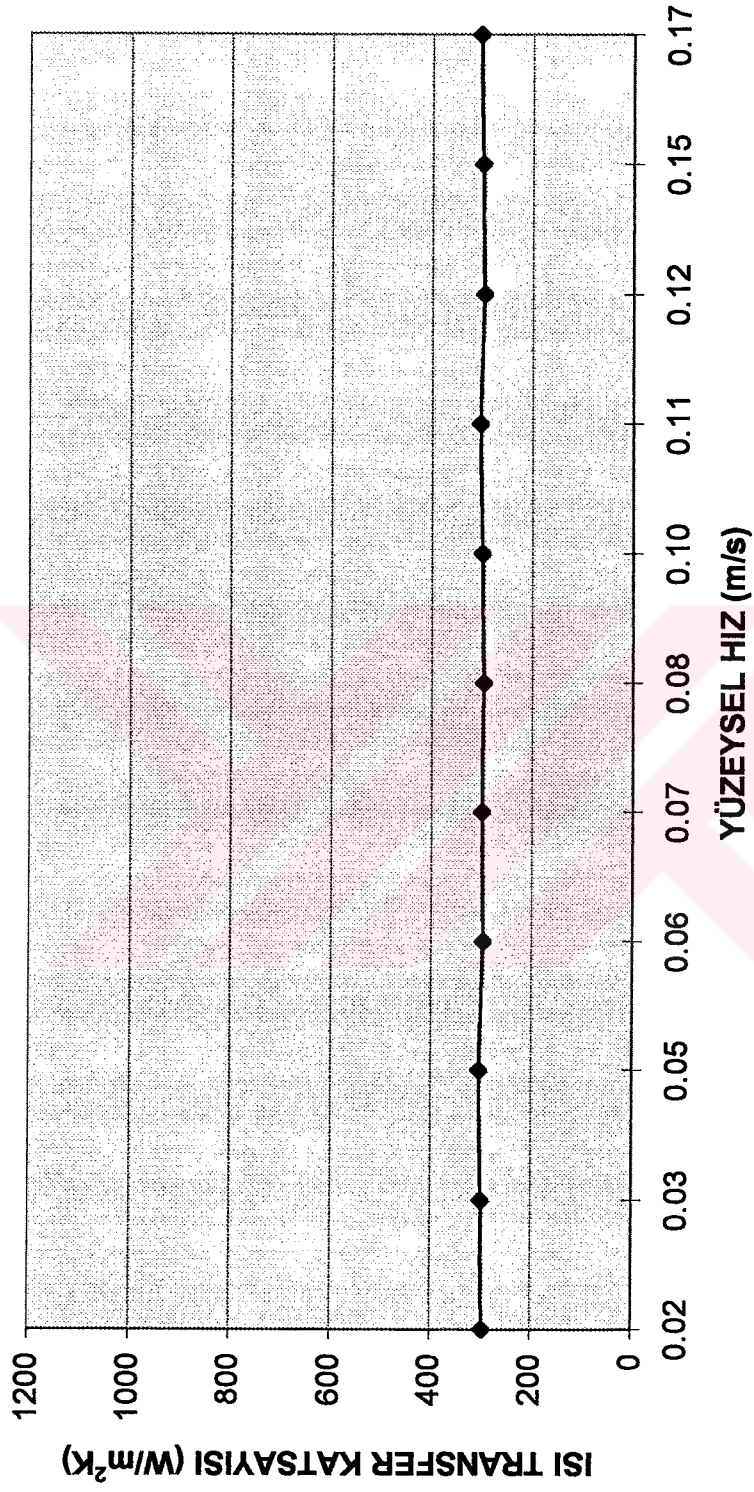
## 4.GRUP 100 °C



## 4.GRUP 100 °C



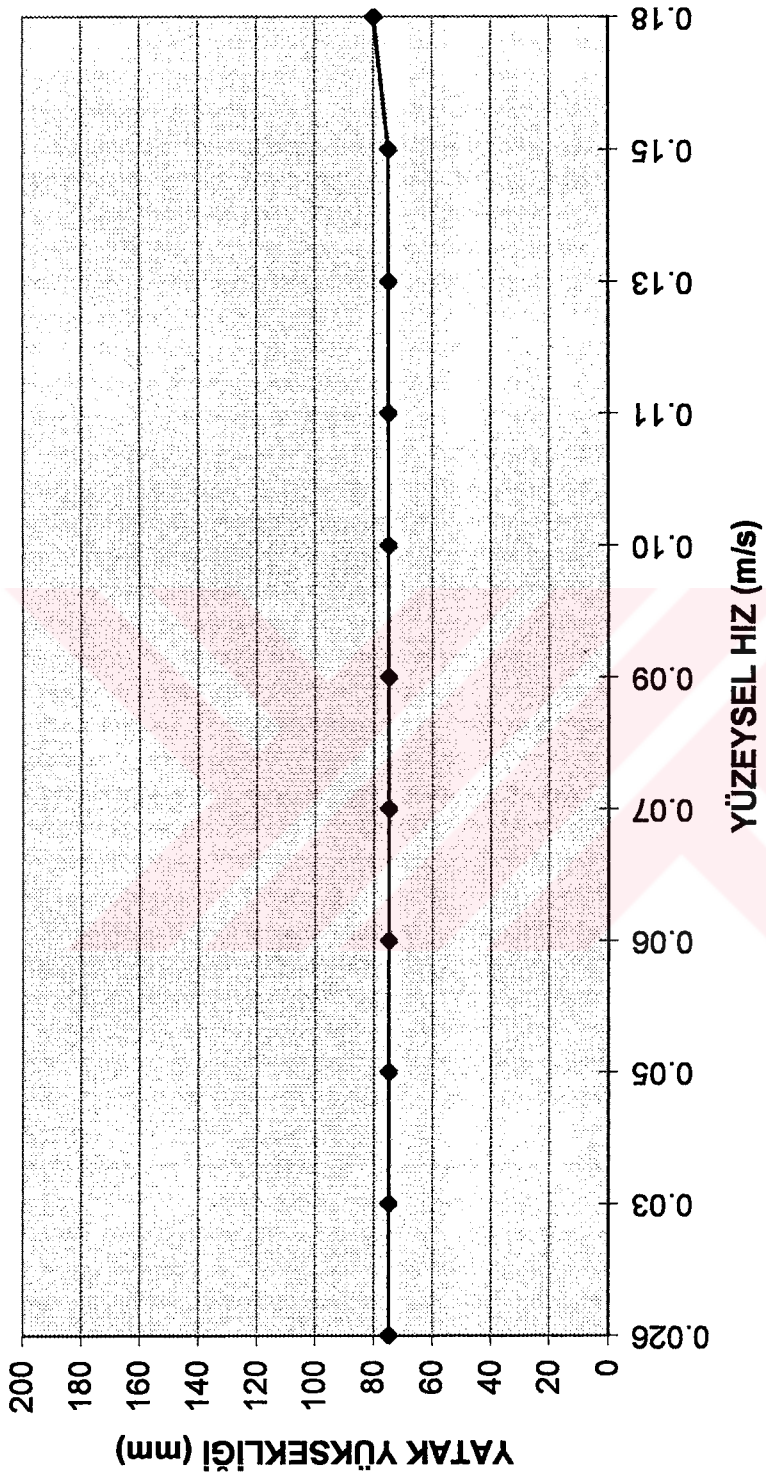
## 4.GRUP 100 °C



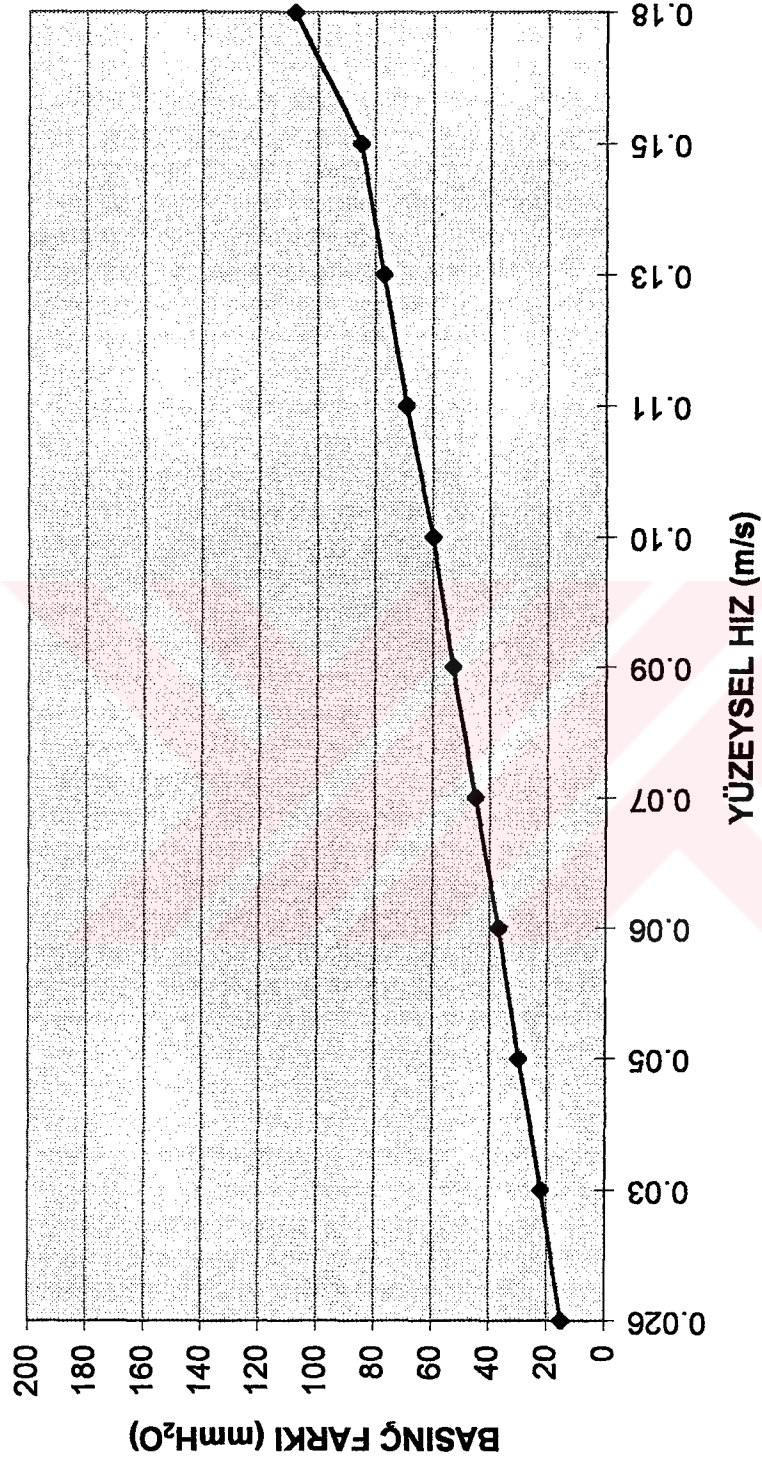




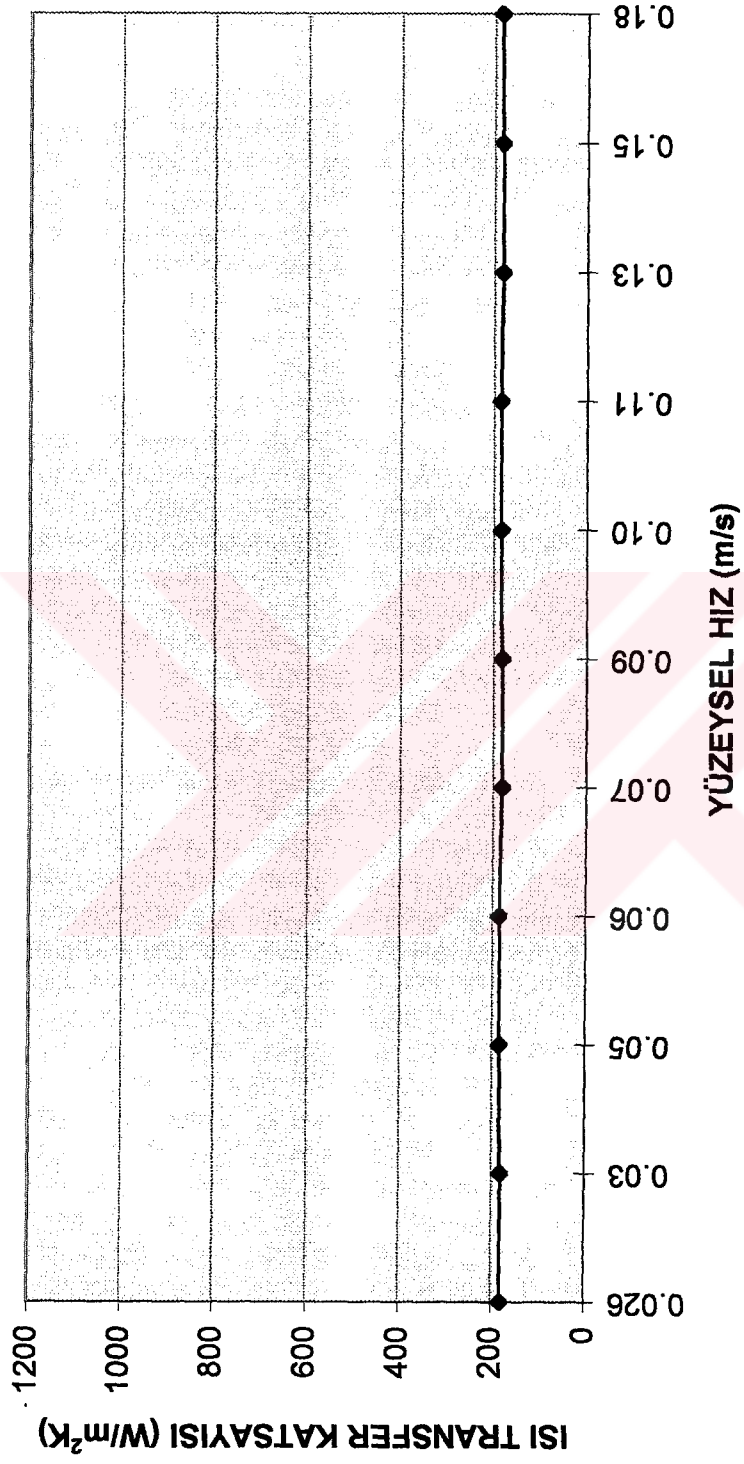
#### 4.GRUP 150 °C



### 4.GRUP 150 °C



### 4. GRUP 150 °C





## KAYNAKÇA

- [1] Mandıracı, Y. “Atık Bacalarından Isının Geri Kazanımında Akışkan Yatak Yakma Sisteminin Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, (1995) ,[S. 1-13, 38-46]
- [2] Dr. Ing. Heinz Brauer. “Grundlagen der Einphasen und Mehrphasenströmungen” , Verlag Sauerlander Aarau und Frankfurt am Main, (1971), [S. 459-506]
- [3] C. W. Jobses . “Chem. Ing. 61” , (1954), [S. 166]
- [4] Wilhelm R.A. Vauck und Hermann A. Müller. “ Grundoperationen Chemischer Verfahrenstechnik”, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, (1961),[ S. 199-202]
- [5] D. A. Furlong, G. L. Wade. “Chem. Ing. 68”, (1972), [S. 152]
- [6] J. Werther. “Chem. Ing. Tech. 48” , (1976)
- [7] H. D. Schilling. “Chem. Technik 5”, (1976),[S. 41]
- [8] Dr. Peter Grassmann. “Physikalische Grundlagen der Verfahrenstechnik” , Verlag Sauerlander Aarau und Frankfurt am Main, (1970), [ S. 748-749]
- [9] Wilhelm R.A. und Hermann A. Müller. “Vauck Grundoperationen Chemischer Verfahrenstechnik”, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, (1961), [S. 199-202]
- [10] P. Grassmann, F. “ Einführung in die Thermische Verfahrenstechnik”, Widmer, Walter Gruyter-Berlin-New York, [S. 237-239]
- [11] Prof. Dr. Günter Adolphi, Dr. Ing. Hans Velten Adolphi, “ Grunzüge der Verfahrenstechnik”, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, (1982), [ S. 57-60]
- [12] P. A. Hilton Ltd. “Fluidisation and Fluid Bed Heat Transfer Unit H692”, (H692M/E/3/159 OCT 93)

