

149909

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TERMODİNAMİK KISILMA
VE
MADDE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Okan KON

Balıkesir, Ağustos-2004

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TERMODİNAMİK KISILMA
VE
MADDE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

169909

Mak. Müh. Okan KON

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Ömer Samih MERTBAŞ

Sınav Tarihi : 10. 08.2004

Jüri Üyeleri : Yard .Doç. Dr. Ömer Samih MERTBAŞ (BAÜ-Danışman)

Doç. Dr. Ramazan YAMAN (BAÜ)

Doç. Dr. Mustafa GÜNEŞ (BAÜ)

Balıkesir, Ağustos-2004

ÖZET

TERMODİNAMİK KISILMA VE MADDE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Okan KON
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Balıkesir, 2004

Bu çalışmada, Termodinamikte Joule-Thomson etkisi olarakta bilinen kısılma olayının oluşumu ve gaz maddelerin basınç, sıcaklık, akış hızı gibi özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde tezin amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilerek, daha önce yapılmış çalışmalar anlatılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, kısılma olayının sonucu elde edilen Joule-Thomson katsayısının Termodinamiksel ve matematiksel ifadeleri izah edilmiştir. Bu katsayının literatürde, daha önce tesbit edilmiş çeşitli basınç ve sıcaklıklardaki değerleri gösterilmiştir. Kısılma olayının, sabit entalpili bir hal değişmesi olduğu anlatılmış ve tersinmez bir işlem olduğu üzerinde durulmuştur. Makine mühendisliğinde, en bilinen uygulama alanı olan Linde yöntemiyle gazların sıvılaştırılması hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü ve dördüncü bölümlerinde, soğutma sistemlerinde kullanılan, çeşitli çaplardaki bakır borular ile bu borulara uygun çap ve malzemedeki, vanalardan oluşan deney düzeneği ile en çok bilinen ve kullanılan; Hava, Argon, Oksijen, Freon-22, Karbondioksit, Azot gazlarının üzerinde yapılan kısılma uygulamaları verilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümünde ise deneysel uygulamalardan elde edilen sonuçlar hakkında bilgi verilerek daha önceki bulunan değerlerle karşılaştırma yapılmıştır.

Sonuç olarak; Hava, Argon, Oksijen, Freon-22, Karbondioksit, Azot gazlarıyla yapılan, 5 bar'ın altındaki giriş basıncı ve 0 °C ile 50 °C arasındaki giriş sıcaklıklarındaki kısılma deneylerinde az sayıda da olsa ısınmalar gözlenmiştir. Bu daha önce yapılmış deneylerden küçük bir sapmayı gösterir. Bunların dışındaki değerler literatürde daha önce yapılan çalışmaları destekler.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: kısılma / Joule-Thomson katsayısı / Joule-Thomson etkisi / izentalpi / inversiyon eğrisi.

ABSTRACT

THERMODYNAMIC THROTTLING AND ITS EFFECT TO SUBSTANCE ATTRIBUTES

Okan KON

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

(Msc. Thesis / Supervisor: Assist. Prof. Dr.Ömer Samih MERTBAŞ)

Balikesir-Turkey, 2004

In this study, formation of throttling event as known Joule-Thomson effect in thermodynamics and effect to substance attributes such as pressure, temperature and flow velocity are researched.

In the first part of the thesis, It is given information on the scope of the thesis and objective and reviewed previous literatures.

In the second part of the thesis, thermodynamical and mathematical expressions of Joule-Thomson coefficient obtained in result of throttling event are explained. The values of this coefficient determined under various pressures and temperatures in literature before are shown. It is explained that the throttling event is state of conversion with constant enthalpy and it is emphasized that it is irreversible. Information about liquefaction of gases through Linde method used often in mechanical engineering is given.

In the third and fourth parts of the thesis study includes commonly known and used throttling applications on Air, Argon, Oxygen, Freon-22, Carbondioxide, Nitrogen gases, test rig composed of copper pipes used refrigeration systems and valves which they are convenient to these pipes in diameter and material are given.

In the last part of the thesis, information about results obtained from experimental applications is given and they are compared with values in literature.

As a result, a few warming have been observed in some throttling experiments done with Air, Argon, Oxygen, Freon-22, Carbondioxide, Nitrogen gases, and in entrance pressure under 5 bar and entrance temperature between 0-50 °C. This shows that there is a little deviation from the experiments done before. The rest of dataset supports studies done in literature before.

KEY WORDS : throttling / Joule-Thomson coefficient / Joule-Thomson effect / isenthalpy / inversion curve.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORD	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xxi
ÖNSÖZ	xxvi
1. GİRİŞ	1
2. TERMODİNAMİK KISILMA	5
2.1 Termodinamik Kısılma Olayının Tanımı	5
2.2 Joule-Thomson Etkisi	6
2.3 Kısılma İşlemi Sırasında Entalpi Sabitliği	7
2.4 Kısılma Olayında Enerji Eşitliği	9
2.5 Joule-Thomson Katsayısı	10
2.5.1 Kısılma olayında Joule-Thomson Katsayısını Alabileceği Değerler	11
2.5.2 Joule-Thomson Katsayısının Termodinamik Kavramlarla Açıklanması	12
2.5.3 İnversiyon Noktalarından Geçen Eğrilerin Çizilmesi	17
2.5.3.1 Azotun İnversiyon Eğrisiyle Hidrojen ve Helyum'un İnversiyon Eğrilerinin Karşılaştırılması	20
2.5.4 Hava, Argon, Karbondioksit, Azot Gazları için Joule-Thomson Katsayısı	22
2.5.5 Hesaplamalarla Bulunan Joule-Thomson Katsayıları	24
2.5.5.1 Van Der Waals Denklemiyle Joule-Thomson Katsayısının Bulunması	24

2.5.5.2 Virial Denklemiyle Joule-Thomson Katsayısının Bulunması	26
2.6 Kısılma Olayında İdeal ve Gerçek Gazların Durumu	29
2.7 Kısılma Olayında Buharın Durumu	32
2.8 Kısılma Olayının Tersinmezliği	35
2.9 Kısılma Kalorimetresi	36
2.10 Linde Yöntemi ile Gazların Sıvılaştırılması	37
3. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ARAÇLAR VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ	39
3.1 Deneylerde Kullanılan Gaz Akışkanlar	39
3.1.1 Argon (Ar) gazı	39
3.1.2 Azot (N ₂)gazı	40
3.1.3 Oksijen (O ₂) gazı	40
3.1.4 Hava (0,21 O ₂ +0,78 N ₂ +0,01 Ar)	40
3.1.5 Karbondioksit (CO ₂) gazı	41
3.1.6 Freon-22 (CHClF ₂)	41
3.2 Bakır Boru	42
3.3 Vana	42
3.4 Isı Yalıtım Elemanı	43
3.5 Manometre	43
3.6 Sıcaklık ölçer	44
3.7 Hız Ölçer	44
3.8 Bağlama Elemanları	45
3.9 Sunta Levhalar	46
3.10 Gaz Akışkan Tüpleri	46
3.11 Hortumlar	47
3.12 Kompresör	47
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	48
4.1 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Hava için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	94
4.2 1/2" lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Hava için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	94

4.3 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Hava için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	95
4.4 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Argon (Ar) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	95
4.5 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Argon (Ar) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	96
4.6 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Argon (Ar) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	96
4.7 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Oksijen (O₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	97
4.8 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Oksijen (O₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	97
4.9 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Oksijen (O₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	98
4.10 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	98
4.11 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	99
4.12 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	99
4.13 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Karbondioksit (CO₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	100
4.14 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden geçen Karbondioksit (CO₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	100
4.15 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Karbondioksit (CO₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	101
4.16 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Azot (N₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	101
4.17 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Azot (N₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	102
4.18 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Azot (N₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi	102

5. SONUÇLAR	103
EKLER :	106
EK A: Hava için Kısılma Deneyleri Tabloları	106
EK B: Argon gazı için Kısılma Deneyleri Tabloları	122
EK C: Oksijen için Kısılma Deneyleri Tabloları	129
EK D: Freon-22 için Kısılma Deneyleri Tabloları	136
EK E: Karbondioksit için Kısılma Deneyleri Tabloları	143
EK F: Azot Gazı için Kısılma Deneyleri Tabloları	150
KAYNAKLAR	157



SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Sembolün ismi	Birimi
a,b	Van der Waals Sabitleri	----
B,C	Virial katsayıları	----
c	Hız	m/s
C _p	Özgül ısı	kJ/kg K
g	Yerçekimi ivmesi	m/s ²
H,h	Entalpi	kJ/kg
E _k	Kinetik Enerji	kJ
l	Yükseklik	m
m	Kütle	kg
E _p	Potansiyel Enerji	kJ
P	Basınç	Pa, bar, atm, mmHg
q	Birim kütle için ısı geçişi	kJ/kg
Q	Isı Geçişi	kJ
r	Buharlaşma ısısı	kJ/kg
R	Gaz sabiti	kJ/kg K
S,s	Entropi	kJ/kg K
T,t	Sıcaklık	°C, K
u	Özgül iç enerji	kJ/kg
U	İç Enerji	kJ
V	Özgül Hacim	m ³ /kg
$\bar{V}$	Molar Hacim	m ³ /mol
W	İş	kJ
w	Birim kütle için İş	kJ
x	Buhar oranı	-----
z	Sıkıştırma faktörü	-----
μ_{JT}	Joule-Thomson Katsayısı	°C/bar, °C/atm
Δ	Fark işareti	-----
∂	Kısmi türev işareti	-----

Şekil 2.2	Silindir piston düzenegı.	6
Şekil 2.3	Poröz Tıkaç'ın yakın görünüşü.	6
Şekil 2.4	Silindir piston düzenegının hesaplamasında kullanılan şekli.	7
Şekil 2.5	Kısıılma olayında Enerji eşitliğı için genel şekil.	9
Şekil 2.6	Sabit Entalpi Eğrisi.	17
Şekil 2.7	İnversiyon Eğrisi.	17
Şekil 2.8	Azot (N ₂) Gazını İnversiyon Eğrisi.	20
Şekil 2.9	Helyum (He) Gazının İnversiyon Eğrisi.	20
Şekil 2.10	Hidrojen (H ₂) Gazının İnversiyon Eğrisi.	21
Şekil 2.11	Buharın Kısıılma Olayında P-V Grafiğı.	33
Şekil 2.12	Buharın Kısıılma Olayında T-S Grafiğı.	34
Şekil 2.13	Buharın Kısıılma Olayında h-s Grafiğı.	34
Şekil 2.14	Buharın Kısıılma Olayında Ln P-h Grafiğı.	35
Şekil 2.15	Kısıılma Kalorimetresinin genel şekli.	37
Şekil 2.16	Linde Yöntemi ile Gazların Sıvılaştırılmasının genel şekli.	38
Şekil 3.1	Deney setinin genel görünüşü.	39
Şekil 3.2	Çeşitli çaplardaki bakır borular.	42
Şekil 3.3	Deneylerde kullanılan vana.	42
Şekil 3.4	Kauçuktan yalıtım malzemesi.	43
Şekil 3.5	Deneylerde kullanılan manometre.	43
Şekil 3.6	Deneylerde kullanılan sıcaklık ölçer.	44
Şekil 3.7	Deneylerde kullanılan hız ölçer.	44
Şekil 3.8	Çeşitli bağlama elemanları.	45
Şekil 3.9	Bakır borular ile vanaların monte edildiğı sunta levha.	46
Şekil 3.10	Gaz akışkan tüpleri.	46
Şekil 3.11	Deneyde kullanılan hortumlar.	47

Şekil 4. 1	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	49
Şekil 4. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	50
Şekil 4. 3	3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	51
Şekil 4. 4	8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	52
Şekil 4. 5	12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	53

Şekil 4. 6	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	54
Şekil 4. 7	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	55
Şekil 4. 8	3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	56
Şekil 4. 9	8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	57
Şekil 4. 10	12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	58

	Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	59
Şekil 4. 12	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar’a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi– Basınç Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı– Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	60
Şekil 4. 13	3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar’a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi– Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule- Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	61
Şekil 4. 14	8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar’a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi– Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule- Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	62
Şekil 4. 15	12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar’a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi– Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule- Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	63

Şekil 4. 16	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	64
Şekil 4. 17	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	65
Şekil 4. 18	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	66
Şekil 4. 19	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	67

Şekil 4. 20	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	68
Şekil 4. 21	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	69
Şekil 4. 22	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	70
Şekil 4. 23	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	71

Şekil 4. 24	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	72
Şekil 4. 25	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	73
Şekil 4. 26	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	74
Şekil 4. 27	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule- Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.	75

Şekil 4. 28	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	76
Şekil 4. 29	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	77
Şekil 4. 30	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	78
Şekil 4. 31	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	79

Şekil 4. 32	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	80
Şekil 4. 33	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	81
Şekil 4. 34	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	82
Şekil 4. 35	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	83

Şekil 4. 36	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği,(c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	84
Şekil 4. 37	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı – Basınç Değişimi Grafiği,(c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	85
Şekil 4. 38	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı – Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	86
Şekil 4. 39	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı– Basınç Değişimi Grafiği,(c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	87

Şekil 4. 40	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	88
Şekil 4. 41	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	89
Şekil 4. 42	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	90
Şekil 4. 43	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.	91

- Şekil 4. 44 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği. 92
- Şekil 4. 45 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği. 93

TABLO LİSTESİ

Tablo numarası	Tablo Adı	Sayfa
Tablo 2.1	Bazı gazlar için maksimum inversiyon (dönme) sıcaklıkları.	19
Tablo 2.2	Hava için Joule-Thomson Katsayıları.	22
Tablo 2.3	Argon (Ar) gazı için Joule-Thomson Katsayıları.	23
Tablo 2.4	Karbondiyoksit (CO ₂) gazı için Joule-Thomson Katsayıları.	23
Tablo 2.5	Azot (N ₂) gazı için Joule-Thomson Katsayıları.	23
Tablo A. 1	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	107
Tablo A. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	108
Tablo A. 3	3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	109
Tablo A. 4	8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	110
Tablo A. 5	12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	111
Tablo A. 6	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	112
Tablo A. 7	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	113

Tablo A. 8	3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	114
Tablo A. 9	8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	115
Tablo A. 10	12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	116
Tablo A. 11	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	117
Tablo A. 12	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	118
Tablo A. 13	3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	119
Tablo A. 14	8 m/s-10m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	120
Tablo A. 15	12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.	121
Tablo B. 1	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	123
Tablo B. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	124
Tablo B. 3	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	125

Tablo B. 4	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	126
Tablo B. 5	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	127
Tablo B. 6	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	128
Tablo C. 1	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	130
Tablo C. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	131
Tablo C. 3	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	132
Tablo C. 4	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	133
Tablo C. 5	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	134
Tablo C. 6	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	135
Tablo D. 1	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF ₂) için kısılma deneyleri tablosu.	137

Tablo D. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF ₂) için kısılma deneyleri tablosu.	138
Tablo D. 3	0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF ₂) için kısılma deneyleri tablosu.	139
Tablo D. 4	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF ₂) için kısılma deneyleri tablosu.	140
Tablo D. 5	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF ₂) için kısılma deneyleri tablosu.	141
Tablo D. 6	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF ₂) için kısılma deneyleri tablosu.	142
Tablo E. 1	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	144
Tablo E. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	145
Tablo E. 3	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	146

Tablo E. 4	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	147
Tablo E. 5	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	148
Tablo E. 6	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	149
Tablo F. 1	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	151
Tablo F. 2	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	152
Tablo F. 3	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	153
Tablo F. 4	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	154
Tablo F. 5	0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru vana bağlantısı içinden geçen Azot (N ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	155
Tablo F. 6	1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N ₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.	156

ÖNSÖZ

Termodinamik kısılma olayı, soğutma makinalarından iklimlendirme cihazlarına, buhar makinalarından gazların sıvılaştırılmasına kadar pek çok alanda uygulanmaktadır. Bu kadar geniş uygulama alanı olması bu konuyu seçmemde en önemli nedendir.

Bu tez çalışmasını hazırlarken, gerek teorik araştırmalar gerekse deneysel uygulamalar sırasında bilimsel olarak bir şeyler üretmenin güzelliğini gördüm.

Yaptığım çalışmalarda bana yardımcı olan Sayın Hocam Yard. Doç. Dr. Ömer Samih MERTBAŞ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan Endüstri Mühendisliği bölümünden, Arş. Gör. Kadriye ERGÜN'e ve Arş. Gör. Mustafa Ahmet Beyazıt OCAKTAN'a teşekkür ediyorum.

“Balıkesir-2004

Okan KON”

1. GİRİŞ

Bu tez çalışmasında, makine mühendisliğinde çok çeşitli alanlarında uygulanan kısılma olayı hakkında geniş bilgi edinme amaçlanmıştır. Bu amaçla, Termodinamikte, Joule-Thomson etkisi olarakta bilinen kısılma olayının, oluşumu ve bu olayın gaz maddeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu tez çalışması, Joule-Thomson olayı olarakta bilinen kısılma olayının tanımı, kısılma olayında enerji eşitliği ve buna bağlı olarak entalpi sabitliği, Joule-Thomson katsayısının deneysel ve teorik olarak elde edilme yöntemleri, inversiyon eğrisi çizimi, Van der Waals ve Virial denklemleriyle Joule-Thomson katsayısının bulunması, kısılma olayında ideal ve gerçek gazların durumları, kısılma işleminde buharın durumu, kısılma olayının tersinmezliği, kısılma kalorimetresinin tarifi, kısılma olayının en bilinen uygulaması olan Linde yöntemiyle gazların sıvılaştırılması gibi teorik bilgiler ile bu teorik bilgilerden yararlanılarak oluşturulan deney düzeneğinde, en çok bilinen ve kullanılan altı ayrı gaz için (Hava, Oksijen, Argon, Freon-22, Karbondioksit, Azot) uygulanan kısılma deneyleri sonucu elde edilen bilgilerden yararlanılarak yapılan yorumları kapsar.

Wisniak J. [1] yaptığı çalışmada, kısılma işlemi sırasında, enerji eşitliğinden yararlanarak entalpi sabitliğini göstermiştir. Kısılma prosesinde, Joule-Thomson katsayısının deneysel olarak elde edilmesini izah etmiştir. Çeşitli gazlar için maksimum inversiyon sıcaklığını; Joule-Thomson katsayısının, kısılma prosesindeki alabileceği değerleri vermiştir. Virial denklem durumuyla inversiyon sıcaklığının hesabını göstermiştir. Redlich-Kwong (RK) , Soav, Peng-Robinson (PR) denklemleri hakkında bilgi vermiştir.

Chacin A., Vazquez J. M. , Müller E. A. [2] yaptıkları çalışmada, Karbondioksit gazının Joule-Thomson inversiyon eğrisinin moleküler simulasyon kullanarak hesaplamışlardır. Bu hesaplamayı yaparken Joule-Thomson katsayısının termodinamik olarak çeşitli ifadelerinden yararlanmışlardır. Joule-Thomson inversiyon eğrilerini çizmişlerdir.

Kioupis L. I., Arya G., Maginn E. J. [3] yaptıkları çalışmada, Joule-Thomson katsayısı ve inversiyon eğrisiyle ilgili yalnız gazlarda değil sıvılar içinde Joule-Thomson katsayısı ve inversiyon eğrisi içinde önemli parametre olduğu göstermişlerdir. Sıvılar için Joule-Thomson katsayısının durum denklemleriyle tesbit edilmesi üzerinde durmuşlardır. Deneysel olarak inversiyon eğrisinin elde edilmesinin zorluğunu tesbit etmişlerdir.

Colina C. M. ve Olivera-Fuentes C. [4] yaptıkları çalışmada, Joule-Thomson inversiyon eğrisi ile bu eğrileri indirgenmiş basınç ve sıcaklıklar cinsinden incelemişlerdir. Hava için Van der Waals , Redlich-Kwong (RK) ve Peng-Robinson (PR) denklemlerini deneysel inversiyon verisiyle geliştirilmesini göstermişlerdir. Hacim-basınç ile sıcaklık-basınç grafiklerini hava için denklemlerden yararlanılarak hesaplama yöntemiyle çizmişlerdir.

Caroll J. J. [5] yaptığı çalışmada, Joule-Thomson katsayısını matematiksel ve termodinamik olarak ifade etmiştir. Joule-Thomson katsayısının ideal gazlar ve gerçek gaz akışkanlarda nasıl değiştiğini anlatmıştır.

Schoen M. [6] yaptığı çalışmada, Joule-Thomson katsayısının elde edilmesi ve alabileceği değerler ile ilgili bilgi vermiştir. Joule-Thomson olayının uygulama alanları ve Joule-Thomson etkisinin ideal gazlar üzerindeki etkilerini izah etmiştir. İnversiyon sıcaklığının nelere bağlı olarak değiştiği ve alacağı değerleri tanımlamıştır.

Colina C. M., Turrens L. F., Gubbins K. E., Olivera-Fuentes C., Vega L. F. [7] yaptıkları çalışmada, Joule-Thomson katsayısının termodinamik olarak bulunmasını izah etmişler, Karbondioksit ve Alkan serileri için inversion eğrilerinin indirgenmiş basınç ve sıcaklıklara bağlı olarak hesaplamışlar ve bunları grafikler ile göstermişlerdir. Elde ettikleri verileri teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Sreedhar R. ve Sreedhar A. K. [8] yaptıkları çalışmada, Joule-Thomson soğutmasında kullanılan gazların hangileri olduğunu ve bunların hangi özellikte olmaları gerektiğini göstermişlerdir. İnversiyon sıcaklığı ile kaynama noktası ilişkisini tanımlamışlardır.

Kortekaas W. G., Peters C. J., S waan Arons J. [9] yaptıkları çalışmada, petrol gazlarının yeryüzüne çıkarkenki kısılma durumlarını incelemişlerdir. Bu gazların Joule-Thomson inversiyon eğrisindeki sıcaklık ve basınç değişimlerini göstermişlerdir. Özellikle yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlarda Joule-Thomson inversiyon etkisinin hesaplanmasını izah etmişlerdir.

Huang D.-W. [10] yaptığı çalışmada, üç farklı tip inversiyon sıcaklığını ve bunların ikinci virial katsayısıyla ilişkilerini intermoleküler etkileşimle incelemiştir. Gerçek gazların Joule-Thomson genişlemesi hakkında bilgi vermiştir. İnversiyon eğrilerinin çizilmesini anlatmıştır.

Vent S. [11] yaptığı çalışmada, Van der waals denkleminde yararlanarak, Joule-Thomson katsayılarını ve inversiyon sıcaklıklarını tesbit etmiştir. İnversiyon sıcaklığı ile basınç grafiğini çizmiştir.

Hirose Y., Kitazawa T., Yoshida T. [12] yaptıkları çalışmada, Azot ve Etan gazları için Van der Waals, Virial, BWR, RK, SRK denklemleriyle daha önce tesbit edilmiş sonuçlardan, Joule-Thomson katsayısı ile sıcaklık arasındaki ilişkinin karşılaştırılmasını yapmışlardır. En iyi sonucun RK denklemiyle elde edildiğini gözlemişlerdir.

Şişman A. ve Saygın H. [13] yaptıkları çalışmada, Joule-Thomson etkisini ve bunun sonucu elde edilen Joule-Thomson katsayısı hakkında bilgi vermişlerdir. Joule-Thomson katsayısının klasik ideal gazlar ile quantum ideal gazlar arasındaki farkları izah etmişlerdir.

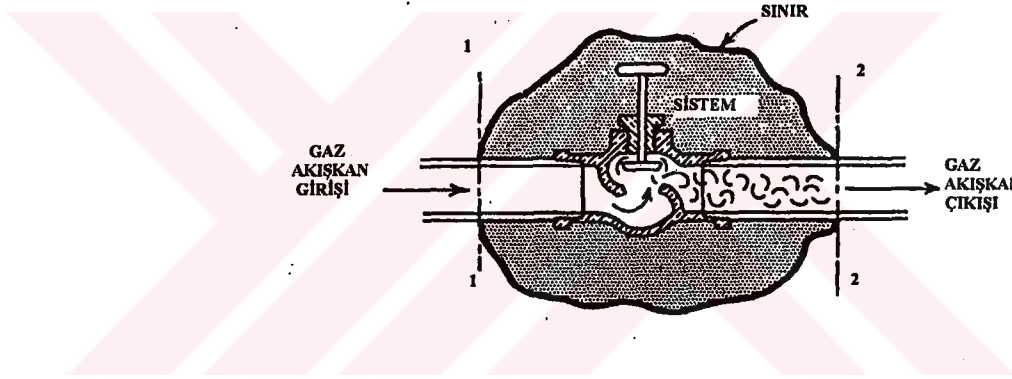
McGlashan M. L. ve Wormald C. J. [14] yaptıkları çalışmada, akıntı kalorimetresinde su buharının izotermal Joule-Thomson katsayısını, 313 K ile 413.19 K arası ölçümlerle deneysel olarak bulmuşlardır. Bu elde edilen ölçümler ikinci virial katsayısında denemişlerdir. Bulunan sonuçlar daha önce benzer çalışmalarla karşılaştırmışlar ve meydana gelen sapmaları göstermişlerdir.

2. TERMODİNAMİK KISILMA

2.1 Termodinamik Kısılma Olayının Tanımı

Kısılma, bir gaz akışkanın yüksek basınçlı bir ortamdan, küçük bir aralıktan, daha alçak basınçlı bir ortama geçmesine denir. Kısılma olayı, gaz akışkanın, gözenekli tıpa, kılcal boru, vana, valf, musluk, meme gibi akış kesit alanını, küçülten bir elemandan geçerken meydana gelir [15,16].

Kısılma olayı gerçekleşirken dışarıya hiçbir iş verilmeden, gaz akışkanın basıncı azalırken sıcaklığı da değişir. Bu olayın, temel özeliği gaz akışkanın entalpisinin sabit kalmasıdır [17].



Şekil 2.1 Kısılma olayının genel şekli [18].

Kısılma işlemi, bir buhar kazanından farklı basınçlarda buhar alınması, soğutma makinaları, çeşitli gazların sıvılaştırılması, iklimlendirme cihazları, crogenic (düşük sıcaklıklarda) soğutma, buhar makineleri debi ayarı gibi makine mühendisliğini ilgilendiren çoğu alanlarda uygulanır [16,19,20,1].

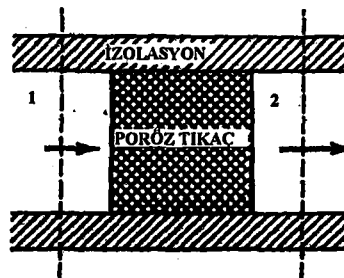
2.2 Joule-Thomson Etkisi

Kısılma olayı, sıklıkla Joule-Thomson etkisi olarak tanımlanır ve Joule-Thomson etkisi sonucu elde edilen katsayıdan yararlanılarak karakterize edilir [21].

Joule-Thomson denemesi, James Joule ve William Thomson (Lord Kelvin) tarafından 1852 yılında (çeşitli kaynaklarda bu tarih farklılık gösterebilir; 1842,1854,1860,1862 gibi) yaptıkları bir deney sistemidir. Bu deney sisteminde, dış kısmı ısı iletmeyecek şekilde izole edilmiş bir silindir içine poröz tıkaç yerleştirilerek, tıkaçın her iki tarafında gaz akışkanın farklı basınçlarda tutulması sağlanır. Poröz tıkaçın her iki tarafında ileri geri hareket eden pistonlar bulunmaktadır. Bu silindirin, soldaki pistonu hafifçe bastırılarak V_1 hacmindeki gaz akışkan, poröz tıkaç içinden öteki tarafa geçirilir. Bu sırada sağ taraftaki piston; P_2 basıncında, V_2 hacmi kadar hareket eder. (Bu sırada, P_1 basıncından P_2 basıncına düşme olur) Bu işlem sırasında poröz tıkaçın her iki tarafındaki sıcaklıklar ölçüldüğünde, sıcaklıkların farklılık gösterdiği görülür [22].



Şekil 2.2 Silindir piston düzeneği [23].



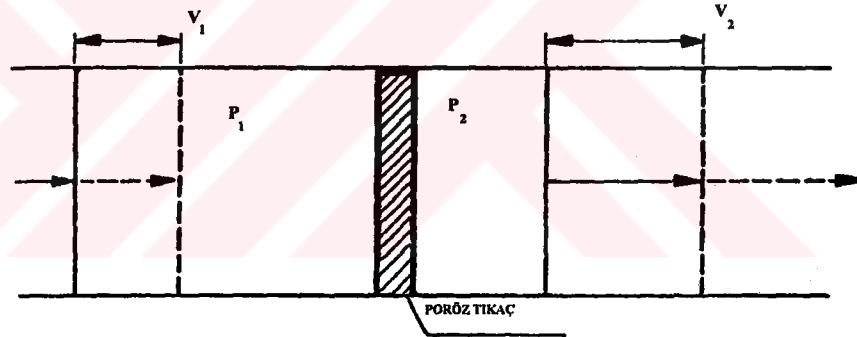
Şekil 2.3 Poröz Tıkaç'ın yakın görünüşü [21].

Kısılma olayında meydana gelen bu basınç kaybını boru duvarının sürtünmesi oluşturur [24].

Joule-Thomson etkisiyle ilgili olarak daha sonra yapılan deneylerde, gaz akışkan, bir engelden geçirilirken, gaz geçirilen engel olarak daha önce değinildiği gibi poröz tıkaç yerine, delikli bir levha, ipek bir mendil gibi araçlarda kullanılmıştır [25].

2.3 Kısılma İşlemi Sırasında Entalpi Sabitliği

Kısılma işlemini izahı amacıyla yapılan Joule-Thomson deneyi sırasında entalpinin sabit olduğunu göstermek için ortasında poröz tıkaç bulunan silindir-piston düzeneği gözönüne alınır.



Şekil 2.4 Silindir piston düzeneğinin hesaplamasında kullanılan şekli [22].

Deney sırasında, silindir piston düzeneğinde, sol taraftaki piston ile $W_1 = P_1 \Delta V = P_1(0 - V_1)$ 'den $W_1 = (-P_1 V_1)$ işi yapılmıştır. Sağ taraftaki pistonda ise, sistem $W_2 = P_2 \Delta V = P_2(V_2 - 0)$ 'den $W_2 = (P_2 V_2)$ işini yapmıştır.

Bu durumda kazanılan iş,

$$W=W_1+W_2=P_2V_2-P_1V_1 \quad (2.1)$$

dir [22]. İşlem sırasında düzenek ısı ileilmeyecek biçimde izole edildiğinden yani adyabatik yapıldığından ısı, $Q=0$ 'dır.

Bu durumda termodinamiğin birinci kanununa göre yapılan iş, iç enerji değişimine eşittir. Yani,

$$\Delta Q=\Delta U+\Delta W \quad (2.2)$$

$$\Delta U = -\Delta W \quad (2.3)$$

dır. Buradan,

$$U_2-U_1= -(P_2V_2-P_1V_1) \quad (2.4)$$

olur. Düzenleme yapıldığında ifade,

$$U_2+P_2V_2=U_1+P_1V_1 \quad (2.4.a)$$

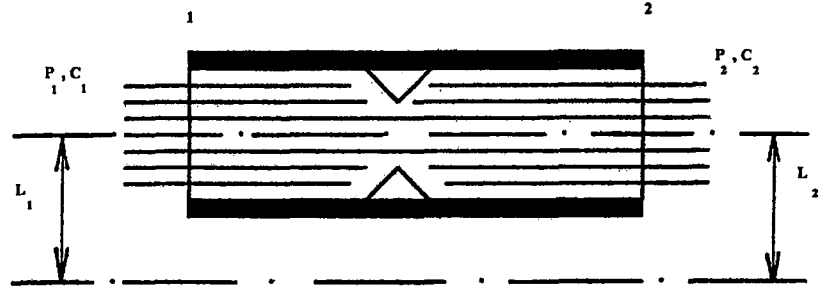
şeklini alır. Bu eşitliğin her iki tarafının entalpi ifadesi olduğu bilindiğinden,

$$H_2=H_1 \quad (2.5)$$

dır. Buradan entalpi farkı $\Delta H = 0$ olur. Yani deney sırasında gaz akışkanının iç enerjisi, $\Delta U \neq 0$ olmasına rağmen entalpisi sabit kalmaktadır. O halde Joule-Thomson etkisi (kısılma olayı) izentalpik yani sabit entalpili bir hal değişmesidir [22,25,26,27,28].

2.4 Kısılma Olayında Enerji Eşitliği

Bir akışkana enerji eşitliğinin uygulanmasında akışkanın türü önemsizdir. Kimyasal reaksiyonun olmadığı, kanal içinden akışın yapıldığı ve dıştan işin verilmediği düşünülür [24].



Şekil 2.5 Kısılma olayında Enerji eşitliği için genel şekil [17].

Kinetik enerji, $E_k = \frac{1}{2}mc^2$ ve potansiyel enerji, $E_p = mgL$ olduğu bilindiğine göre, enerji eşitliği,

$$W + E_{kgiriş} + E_{pgiriş} + H_{giriş} = E_{kçıkış} + E_{pçıkış} + H_{çıkış} + Q \quad (2.6)$$

olur [21,24]. Yani,

$$\Delta E_k + \Delta E_p + \Delta H = Q - W \quad (2.6.a)$$

dir. Birim kütle için;

$$\Delta E_k + \Delta E_p + \Delta h = q - w \quad (2.6.b)$$

olur. Bu eşitlikte, sistemdeki giriş ve çıkış yüksekliklerinin eşit olduğundan ΔE_p potansiyel enerji farkı sıfırdır. Giriş ve çıkışlardaki hız farklılıkları ihmal

edilecek kadar küçük olduğundan, yani giriş ve çıkış hızları yaklaşık olarak eşit olduğundan ΔE_k kinetik enerji farkı da sıfırdır. Sistem ısı ileilmeyecek şekilde izole edildiğinden (adyabatik olduğundan) ısı, $Q=0$ 'dır. Dışarı da iş verilmediğinden iş W 'de sıfırdır.

Böylece eşitlik,

$$H_{\text{giriş}} = H_{\text{çıkış}} \quad (2.5.a)$$

halini alır. Bu ifade daha önce bulunan termodinamiksel entalpi eşitliğini doğrular.

2.5 Joule-Thomson Katsayısı

Kısılma olayının, sabit entalpide, basıncın ve sıcaklığın değiştiği bir işlem olduğu anlatılmıştı, bu özellikler yardımıyla elde edilen katsayıdan yararlanılarak kısılma olayı karakterize edildiği söylenmişti.

Bu katsayı, Joule-Thomson katsayısıdır, μ_{JT} sembolüyle gösterilir ve

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\Delta T}{\Delta P} \right)_H = \left(\frac{T_2 - T_1}{P_2 - P_1} \right)_H \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Matematiksel olarak,

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H \quad (2.8)$$

gösterilir [28,2].

Genel olarak Joule-Thomson katsayısı, sabit entalpide, basıncın düşmesiyle sistemin sıcaklığındaki değişme olarak tanımlanabilir. Yani Joule-Thomson katsayısı

sabit entalpide basınç değiştirildiğinde, gaz akışkanın sıcaklığının kaç derece değiştiğini gösterir [26,27,29,30,3].

Joule-Thomson katsayısı, kısılma sırasında gaz akışkan davranışını değerlendirilmesinde kullanılan bir parametredir. Bu katsayı, çoğu alışılmış soğutma ve sıvılaştırma proseslerinde, soğutma etkisi elde edilmesinde kullanılır [2,4].

2.5.1 Kısılma olayında Joule-Thomson Katsayısının Alabileceği Değerler

Joule-Thomson katsayısı genelde °C/bar veya °C/atm birimindeki değerlerin çeşitli basınç ve sıcaklıklarda değişimini göstermektedir [29].

Kısılma işlemi sırasında Joule-Thomson katsayısı, gaz akışkanın ilk durumdaki sıcaklığa ve basıncına bağlı olarak,

$$\mu_{JT} < 0 \text{ (sıcaklık artar)}$$

$$\mu_{JT} = 0 \text{ (sıcaklık sabit kalır)}$$

$$\mu_{JT} > 0 \text{ (sıcaklık azalır)}$$

değerlerini alır [16].

Görüldüğü gibi Joule-Thomson olayı, yani kısılma olayı μ_{JT} 'na (Joule-Thomson katsayısı) bağlı olarak; ısınma, soğuma veya sıcaklığın sabit kalması olarak üç şekilde olur [19].

Joule-Thomson olayında (kısılma olayında) basınç daima düştüğü için $dP < 0$ 'dür. Bu durumda, kısılma olayı sırasında sıcaklık düşerse katsayı pozitif, sıcaklık yükselirse katsayı negatif olur. Böylece Joule-Thomson katsayısı bilindiğinde, herhangi bir anda gazın kısılması sırasında soğuma mı, yoksa ısınma mı yapacağı anlaşılabilir [22].

Gaz akışkanın kısılma işlemi sırasında, ne soğuma ve ne de ısınma gösterdiği, diğer bir deyişle Joule-Thomson katsayısının sıfır $\mu_{JT} = 0$ olduğu noktaya dönme, dönüm veya inversiyon noktası adı verilir [29]. (Değişik kaynaklarda farklı isimlerde kullanılmaktadır).

Gaz akışkanın türüne göre, başlangıç durumuna oranla ortaya çıkan sıcaklık farkı, sistemin başlangıç konumundaki sıcaklık ve basıncına bağlı olarak değişmektedir [29].

Genellikle mühendisler, Joule-Thomson katsayısının negatif ya da pozitif olmasıyla ilgilienirler [5].

2.5.2 Joule-Thomson Katsayısının Termodinamik Kavramlarla Açıklanması

Joule-Thomson katsayısının termodinamik kavramlarla açıklanabilmesi için $H=f(P,T)$ fonksiyonunun toplam diferansiyelinden, termodinamiğin birinci ve ikinci kanun ifadelerinden yararlanılır.

Termodinamiğin birinci kanununa göre,

$$dQ = dU + dW \quad (2.9)$$

dir. Bu ifade,

$$dU = dQ - PdV \quad (2.10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada termodinamiğin ikinci kanunu düşünüldüğünde,

$$dU = TdS - PdV \quad (2.11)$$

dir.

Buradaki $P dV$ ifadesini elde etmek için $d(PV)$ 'nin türevi alınır,

$$d(PV)=PdV+VdP \quad (2.12)$$

olur. Böylece

$$d(PV)-VdP=PdV \quad (2.12.a)$$

elde edilir. Bu elde edilen ifade dU 'da yerine yazılırsa ve gerekli matematiksel işlemler yapılırsa,

$$dU=TdS-(d(PV)-VdP) \quad (2.13)$$

$$dU=TdS+ VdP-d(PV)$$

$$dU+d(PV)=TdS+VdP$$

$$d(U+PV)=TdS+VdP \quad (2.14)$$

bulunur. Bu ifadenin en sade şekli,

$$dH=TdS+VdP \quad (2.14.a)$$

olur. Bu da entalpi fonksiyonudur [31,28].

Joule-Thomson katsayısını elde etmek için entalpi ifadesini, basınç ve sıcaklığa bağlı olarak yazalım,

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP + \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT \quad (2.15)$$

Kısılma olayında entalpi değişimi olmadığından $dH =0$ yazılabilir. Böylece,

$$0 = \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP + \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT \quad (2.16)$$

olur. Gerekli matematiksel işlemler yapıldığında,

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_T dT = - \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H = - \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T \quad (2.16.a)$$

eşitliği ortaya çıkar. Bu ifadelerde,

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P = C_p \text{ ve } \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H = \mu_{JT}$$

olduğu bilindiğinden,

$$C_p \mu_{JT} = - \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T \quad (2.17)$$

olur [29]. O da,

$$\mu_{JT} = - \frac{1}{C_p} \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T$$

$$\mu_{JT} = - \frac{1}{C_p} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial P} \right)_T + \left(\frac{\partial (PV)}{\partial P} \right)_T \right] \quad (2.17.a)$$

şekline dönüşür [26].

Bu ifadeden yararlanılarak sabit sıcaklıkta $H=f(P)$ değişim eğrisinin eğiminden Joule-Thomson katsayısı bulunabilmektedir [29,28].

Entalpi fonksiyonu,

$$dH = dU + VdP = TdS + VdP \quad (2.14.a)$$

idi. Bu ifadede bulunan entropi ifadesi genişletilirse,

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_T dP \quad (2.18)$$

olur. Buradaki,

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P = \frac{C_p}{T} \text{ ve } \left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = \left(-\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \text{ (Maxwell denklemlerinden alınmıştır)}$$

dir. Bu eşitlikler, dS nin genişletilmiş ifadesinde yerine yazılırsa,

$$dS = \frac{C_p}{T} dT + \left(-\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP \quad (2.19)$$

bulunur [31]. Bulunan bu entropi ifadesi, (2.14.a) entalpi ifadesinde yerine yazıldığında,

$$dH = T \left(\frac{C_p}{T} dT + \left(-\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP \right) + V dP \quad (2.20)$$

olur. Gerekli matematiksel işlemler de yapılırsa,

$$dH = T \frac{C_p}{T} dT + T \left(-\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP + V dP$$

$$dH = C_p dT + T \left(-\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP + V dP$$

$$dH = C_p dT + \left(V + \left(-\frac{\partial V}{\partial T} T \right) \right) dP \quad (2.20.a)$$

bulunur. Kısılma olayında entalpi değeri $dH = 0$ olduğundan,

$$0 = C_p dT + \left(V - \left(\frac{\partial V}{\partial T} T \right) \right) dP \quad (2.21)$$

dir. Gerekli düzenlemeler yapılırsa,

$$-C_p dT = \left[V - \left(\frac{\partial V}{\partial T} T \right) \right] dP$$

$$C_p dT = \left[\left(\frac{\partial V}{\partial T} T - V \right) \right] dP$$

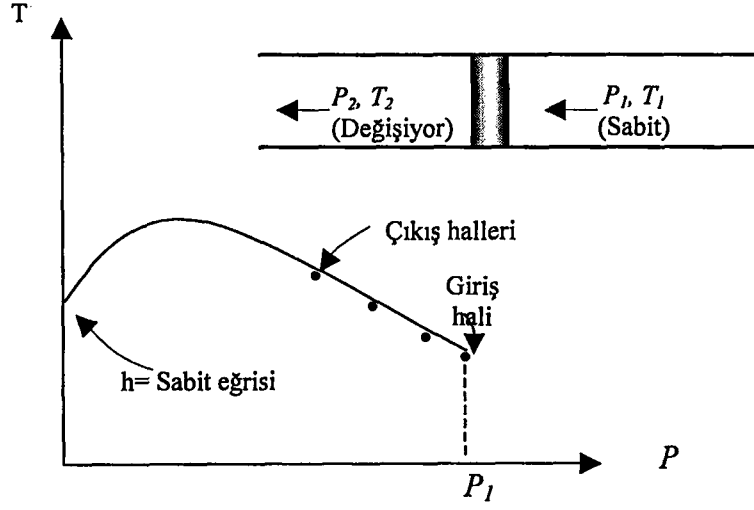
$$\frac{dT}{dP} = \frac{1}{C_p} \left[\left(\frac{\partial V}{\partial T} T - V \right) \right] \quad (2.22)$$

elde edilir. Bu eşitlikten Joule-Thomson katsayısı,

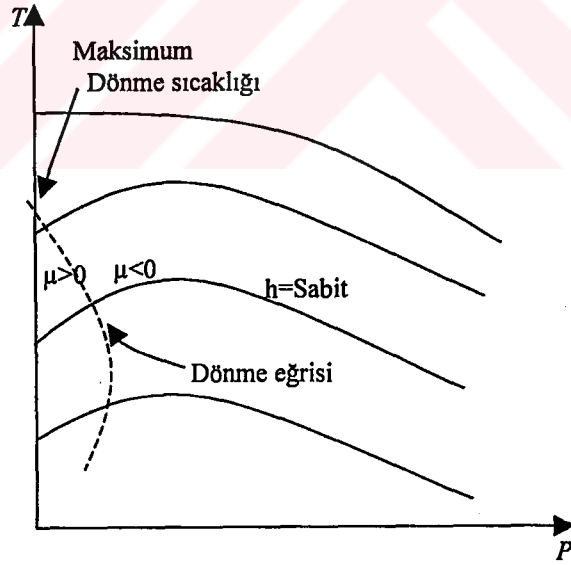
$$\mu_{JT} = -\frac{1}{C_p} \left[V - \left(\frac{\partial V}{\partial T} T \right) \right] \quad (2.23)$$

olarak bulunur [31,32,33].

2.5.3 İncersiyon Noktalarından Geçen Eğrilerin Çizilmesi



Şekil 2.6 Sabit Entalpi Eğrisi [16].



Şekil 2.7 İncersiyon Eğrisi [16].

Joule-Thomson katsayısı, Şekil 2.6'da sabit entalpi eğrilerinin eğimini gösterir. Bu eğrilerin çizilmesinde bir kısılma işleminde sadece sıcaklık ve basıncın ölçülmesi yeterli olur. Bu durumda sıcaklığı ve basıncı bilinmesinden dolayı entalpisi bilinen bir gaz akışkan, bir kısılma yerinden geçirildikten sonra, çıkış basıncı ve sıcaklığı ölçülür. İşlem farklı akış kesit alanı olan kısılma yerlerinde tekrarlanırsa farklı T_2 ve P_2 değerleri elde edilir. Bu değerler (T-P) Sıcaklık-Basınç diyagramında işaretlenir ve bir eğri ile birleştirilirse Şekil 2.6'de görülen sabit entalpi eğrisi elde edilir. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi kısılma yerinin giriş halini değiştirerek farklı sabit entalpi eğriler çizilebilir [16].

Sıcaklık-Basınç diyagramında sabit entalpi eğrilerinin bazıları eğimin yani Joule-Thomson katsayısının sıfır olduğu noktalardan geçer. Eğimin sıfır olduğu noktalardan geçen eğriye dönme (inversiyon) eğrisi denir. Dönme eğrisinin sabit entalpi eğrisini kestiği noktadaki sıcaklık ise dönme noktası sıcaklığı olarak tanımlanır. Dönme eğrisinin üst bölümünün $P=0$ doğrusunu (T eksenine) kestiği noktasındaki sıcaklık maksimum dönme sıcaklığıdır. Sabit entalpi eğrilerinin eğimleri, dönme eğrisinin sağ tarafında eksi ($\mu_{JT} < 0$), dönme eğrisinin sol tarafında ise artı ($\mu_{JT} > 0$)dır [16].

Bir kısılma işlemi, sabit entalpi eğrisi üzerinde azalan basınç yönünde, diğer bir anlatımla sağdan sola doğru gerçekleşir. Bundan dolayı, inversiyon eğrisinin sağında kalan bir gaz akışkan için, sıcaklık, kısılma işlemi sırasında artar. İnversiyon eğrisinin solunda kalan bir gaz akışkan için ise, sıcaklık, kısılma işlemi sırasında azalır, Şekil 2.7 da görüleceği gibi. Soğutma etkisi sağlayabilmek için akışkanın maksimum inversiyon sıcaklığının çok altında olan maddeler için bu bir problemdir [16,18].

Maksimum (dönme) inversiyon sıcaklığı, oda sıcaklığının altında olan Hidrojen, Helyum gazlarıdır. Bazı kaynaklarda bu gazlara Neon gazı da eklenmektedir. Hidrojenin maksimum inversiyon sıcaklığı 202 K, Helyumun gazının ise 40 K'dir. Maksimum inversiyon sıcaklığı oda sıcaklığının altında olan bu gazlara bir kısılma işlemi uygulanacak olursa, işlem sonucu soğutma etkisi sağlanmak istendiğinde, bu

gazları daha önce (Hidrojen 202 K, Helyum 40 K) belirtilen sıcaklıklar altından soğutmak gerekir [16,20,34].

İnversiyon noktalarının yakın çevresinde küçük sıcaklık farklılıkları büyük basınç farklılıklarına yol açabilir [2].

İnversiyon noktası, kullanılan gaz akışkanın yoğunluğuna bağlıdır [6]. Ayrıca maksimum inversiyon sıcaklığının artması veya azalması kullanılan gaz akışkanın moleküler ağırlığına da bağlıdır [7].

Normal bir basınçta gazın kaynama noktası maksimum inversiyon sıcaklığında olur [8].

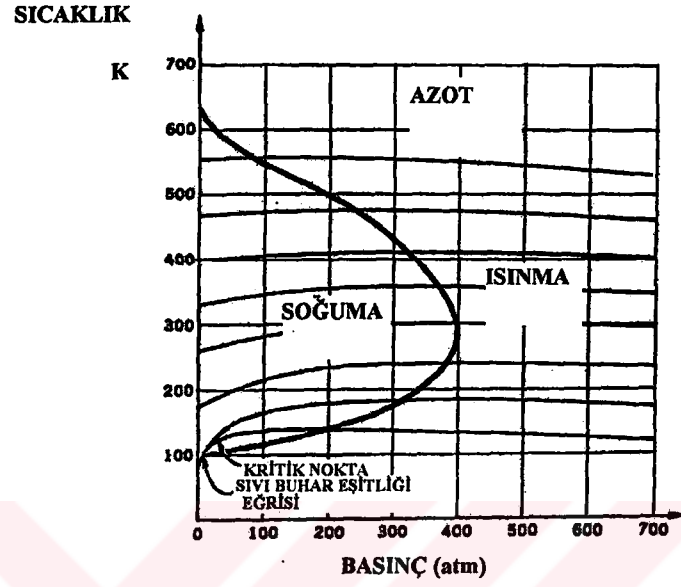
Yüksek basınç ve yüksek sıcaklık gaz yoğunlaştırma sıcaklıkları, Joule-Thomson inversiyon etkisi sebebiyle kısılma esnasında artabilir [9].

Tablo 2.1 Bazı gazlar için maksimum inversiyon (dönme) sıcaklıkları [34,1].

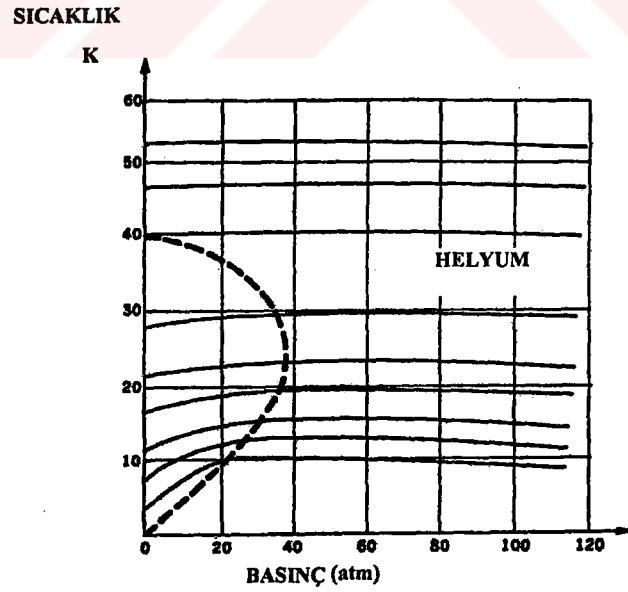
Gaz	Maksimum inversiyon sıcaklığı (K)
Karbondioksit	1500
Oksijen	761
Argon	723
Azot	621
Hava	603
Hidrojen	202
Helyum	40

İnversiyon noktasındaki sıcaklık, gerçek gazların sıvılaştırılmasında pratikte kullanılması çok yaygındır [10].

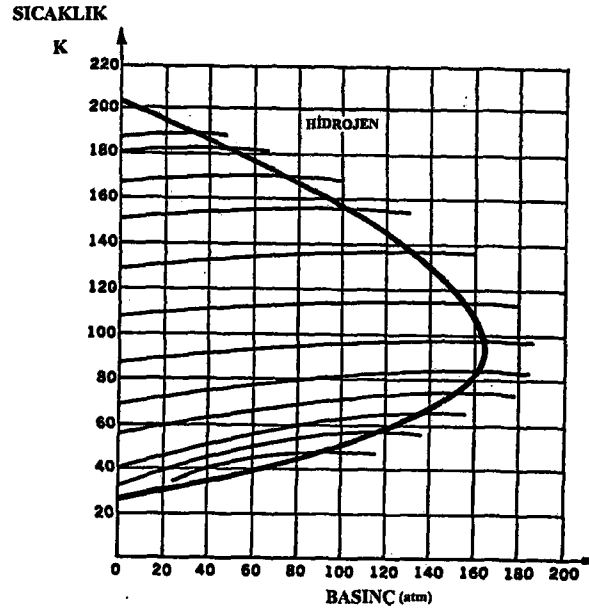
2.5.3.1 Azotun İncersiyon Eğrisiyle Hidrojen ve Helyum'un İncersiyon Eğrilerinin Karşılaştırılması



Şekil 2.8 Azot (N₂) Gazının İncersiyon Eğrisi [35].



Şekil 2.9 Helyum (He) Gazının İncersiyon Eğrisi [35].



Şekil 2.10 Hidrojen (H_2) Gazının İnversiyon Eğrisi [35].

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi Azot gazı kısıldığında, Hidrojen ve Helyum gazlarından farklı olarak, soğuma elde edilmesi için 621 K ile 100 K arasında ve 400 atm basıncın altında olması gerekir. Azot gazının, bu sıcaklık ve basınç değerleri, Hidrojen ve Helyum gazlarınınkinden çok daha yüksektir.

Şekil 2.9’de görüldüğü gibi Helyum gazı kısıldığında soğuması elde edilmesi için 40 K ile 0 K arasında ve yaklaşık 40 atm basıncın altında olması gerekir. Bunların dışındaki değerlerde Helyum gazı kısıldığında ısınır.

Şekil 2.10’de görüldüğü gibi hidrojen gazının kısıldığında soğuması elde edilmesi için 202 K ile 30 K arasında ve 160 atm basıncın altında olması gerekir. Bunların dışındaki sıcaklık değerlerinde hidrojen gazı kısıldığında ısınır.

İnversiyon (dönme) eğrilerinden de görüldüğü gibi Helyum ve Hidrojen gibi gazların kısılma olayından sonra soğumaları için oda sıcaklığının altında olmaları

gerekir. Azot gazı ise oda sıcaklığının üstünde de kısılma olayı sonucu soğuma yapabilir.

Normal şartlarda Hidrojen ve Helyum gazı oda sıcaklığında kısılma olayı sonucu ısınır. Bu durum kısılma olayında bu gazları diğerlerinden (Azot gazı, Hava, Oksijen gazı, Karbondioksit gazı gibi) ayıran en önemli özelliktir. Bu özellik makina mühendisliği alanında birçok uygulamada kullanılır.

Joule-Thomson inversiyon (dönme) eğrileri, kritik değerler üzerindeki basınç ve sıcaklık durumlarının test denklemlerinde kullanılabilir [1].

2.5.4 Hava, Argon, Karbondioksit, Azot Gazları için Joule-Thomson Katsayısı

Bu değerler oda sıcaklığı ortamına yakın olanlardan seçilmiştir. Bunların dışında çeşitli kaynaklarda bu gazlar için geniş olarak Joule-Thomson katsayısı değerleri bulunmaktadır.

Bu değerler kısılmaya başlamadan önceki 1,20,60 atm (yaklaşık 1,20,60 bar) basınçta ve -50,-25, 0, 25, 50 °C'de bulunan Hava, Argon (Ar) gazı, Karbondioksit (CO₂) gazı, Azot (N₂) gazı için Joule-Thomson katsayılarıdır.

Tablo 2.2 Hava için Joule-Thomson Katsayıları [36].

	Basınç (atm)		
Sıcaklık (°C)	1	20	60
-50	0.3910	0.3690	0.3195
-25	0.3225	0.3010	0.2610
0	0.2745	0.2580	0.2200
25	0.2320	0.2173	0.1852
50	0.1956	0.1830	0.1571

Tablo 2.3 Argon (Ar) gazı için Joule-Thomson Katsayıları [36].

	Basınç (atm)		
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	1	20	60
-50	0.596	0.572	0.4963
-25	0.5045	0.4805	0.421
0	0.4307	0.408	0.36
25	0.372	0.349	0.3077
50	0.322	0.3015	0.265

Tablo 2.4 Karbondioksit (CO_2) gazı için Joule-Thomson Katsayıları [36].

	Basınç (atm)		
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	1	20	60
-50	2.413	-0.014	-0.015
0	1.29	1.402	0.037
50	0.895	0.895	0.88

Tablo 2.5 Azot (N_2) gazı için Joule-Thomson Katsayıları [36].

	Basınç (atm)		
Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	1	20	60
-50	0.3968	0.3734	0.3059
-25	0.3224	0.3013	0.2528
0	0.2656	0.2494	0.2088
25	0.2217	0.206	0.1729
50	0.1855	0.1709	0.1449

2.5.5 Hesaplamalarla Bulunan Joule-Thomson Katsayıları

2.5.5.1 Van Der Waals Denklemiyle Joule-Thomson Katsayısının Bulunması

Gerçek gazların, gerçek durumlarını temsil etmek amacıyla ideal gazlar kanununa benzeyen bazı hal denklemleri tanımlanmıştır. Bunlardan biri de Van der Waals denklemidir [19].

Van der Waals denklemi sıvı ve gaz gibi akışkanların değişik özelliklerini tahmin edebilmek için yaklaşık olarak bir temel oluşturur [11].

Van der Waals denklemi,

$$P = \frac{RT}{\bar{V} - b} - \frac{a}{\bar{V}^2} \quad (2.24)$$

dir. Bu denklemdaki a, b'ler maddeye göre değişen Van der Waals sabitleridir. Van der Waals denkleminde basıncın, sıcaklık ve molar hacme bağlı olarak kısmi türevi alınırsa,

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{\bar{V}} = \frac{R}{\bar{V} - b} \quad (2.25)$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial \bar{V}} \right)_T = -\frac{R}{(\bar{V} - b)^2} + 2\frac{a}{\bar{V}^3} \quad (2.26)$$

olur. Bu elde edilen eşitlikler daha önce bulunan denklem (2.23)'de yerine yazılırsa,

$$\mu_{JT} = \frac{1}{C_p} \left[T \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_{\bar{V}}}{\left(\frac{\partial P}{\partial \bar{V}} \right)_T} - \bar{V} \right] \quad (2.27)$$

$$\mu_{JT} = \frac{1}{C_p} \left[T \frac{\left(\frac{R}{\bar{V}-b} \right)}{\frac{-RT}{(\bar{V}-b)^2} + 2 \frac{a}{\bar{V}^3}} - \bar{V} \right] \quad (2.27.a)$$

denklemden $\frac{R}{\bar{V}-b}$ 'ler çekildiğinde,

$$\mu_{JT} = -\frac{1}{C_p} \left[T \frac{1}{\frac{1}{(\bar{V}-b)} - 2 \frac{(\bar{V}-b)}{RT} \frac{a}{\bar{V}^3}} - \bar{V} \right] \quad (2.28)$$

bulunur [37,38,39].

2.5.5.2 Virial Denklemiyle Joule-Thomson Katsayısının Bulunması

Virial denklemi,

$$f(T, \bar{V}) = 1 + \frac{B(T)}{\bar{V}} + \frac{C(T)}{\bar{V}^2} + L \quad (2.29)$$

dir. Bu denklemdeki B ve C virial katsayılarıdır. Bu katsayılar sıcaklık ya da yoğunluğu bağlı olarak değişebilir [10].

Daha önce bulunan Joule-Thomson katsayısı,

$$\mu_{JT} = \frac{1}{C_p} \left[T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p - V \right] \quad (2.23)$$

idi. Bu denklemde $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$ 'yi bulmamız gerekir. İdeal gaz denkleminde,

$$\frac{P \bar{V}}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{\bar{V}} + \frac{C(T)}{\bar{V}^2} + L \quad (2.30)$$

bulunur. Gerekli matematiksel işlemler yapıldığında,

$$P = \frac{R.T}{\bar{V}} + RT \frac{B}{\bar{V}^2} + RT \frac{C}{\bar{V}^3} + L \quad (2.30.a)$$

olur. Denklemin T 'ye göre türevi alınırsa,

$$dP = \left[\frac{R}{\bar{V}} dT - \frac{R.T}{\bar{V}^2} d\bar{V} \right] + \left[\frac{R}{\bar{V}^2} \left(B + T \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right) \right) dT - 2RT \frac{B}{\bar{V}^3} d\bar{V} \right] + L \quad (2.31)$$

elde edilir. Sabit basınçta olduğundan $dP=0$ 'dır.

$$\left[\frac{R}{\bar{V}} + \frac{R}{\bar{V}^2} \left(B + T \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right) \right) \right] dT = \left(\frac{R \cdot T}{\bar{V}^2} + 2RT \frac{B(T)}{\bar{V}^3} \right) d\bar{V} \quad (2.31.a)$$

$$\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial T} \right)_P = \frac{\left[\frac{R}{\bar{V}} + \frac{R}{\bar{V}^2} \left(B(T) + T \left(\frac{\partial B}{\partial T} \right) \right) \right]}{\left[\frac{R \cdot T}{\bar{V}^2} + 2RT \frac{B}{\bar{V}^3} \right]}$$

$$\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial T} \right)_P = \frac{\left[\bar{V} + \left(B + T \left(\frac{dB}{dT} \right) \right) \right]}{\left(T + 2T \frac{B}{\bar{V}} \right)}$$

$$\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial T} \right)_P = \frac{\left[\bar{V} + \left(B + T \left(\frac{dB}{dT} \right) \right) \right]}{\left(T + 2T \frac{B}{\bar{V}} \right)} \quad (2.32)$$

bulunur. Buradaki $\left(T + 2T \frac{B}{\bar{V}} \right)$ terimi binom açılımı kullanılarak genişletilirse,

$$\frac{1}{\left(T + 2T \frac{B}{\bar{V}} \right)} = \frac{1}{T} \left[1 - 2 \frac{B}{\bar{V}} + \left(\frac{2B}{\bar{V}} \right)^2 + L \right] \quad (2.33)$$

olur. Bu bulunan denklem, (2.32) denkleminde yerine yazılırsa,

$$\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial T}\right)_p = \left[\bar{V} + \left(B + T\left(\frac{dB}{dT}\right)\right)\right] \frac{1}{T} \left[1 - \frac{2B}{\bar{V}} + \left(2\frac{B}{\bar{V}}\right)^2 + L\right] \quad (2.34)$$

elde edilir. Sadece ilk terimler alındığında,

$$\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{T} \left[\bar{V} + B + T\left(\frac{dB}{dT}\right) - 2B\right] \quad (2.35)$$

$$\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{T} \left[\bar{V} - B + T\left(\frac{dB}{dT}\right)\right] \quad (2.36)$$

olur. Sonuç olarak Joule-Thomson denklemi (2.23)'de yerine yazılırsa,

$$\mu_{JT} = \frac{1}{C_p} \left[\bar{V} - B + T\left(\frac{dB}{dT}\right) - \bar{V}\right] \quad (2.37)$$

$$\mu_{JT} = \frac{1}{C_p} \left[T\left(\frac{dB}{dT}\right) - B\right] \quad (2.37.a)$$

elde edilir [37].

Van der Waals denklemi 1873 yılında, Virial denklemi de 1901 yılında, kendi adlarını taşıyan bilim adamları tarafından bulunmuştur [12].

Literatürde, bu gösterilen Van der Waals ve Virial denklemleriyle Joule-Thomson katsayısının hesaplanması dışında, başka bir çok denklemlerle çeşitli metodlar kullanılabilir. Bunlar çeşitli kaynaklarından bulunabilir. Örneğin, 1927 yılında bulunan BB (Beattie-Bridgeman), 1940 yılında bulunan BWR (Benedict Webb-Rubin), 1949 yılında bulunan RK (Redlich Kwong), 1972 yılında bulunan SRK (Soave-Redlich Kwong) denklemleri gibi [12,4].

2.6 Kısılma Olayında İdeal ve Gerçek Gazların Durumu

İlk olarak ideal gazlar incelendiğinde, ideal gazların molekülleri arasında herhangi bir etki yoktur. Böylece dış ortamla hiçbir ısı alış-verişi olmadan kısılan bir gaz akışkanın moleküllerini birbirinden ayırmak için iş yapılmaz ve sıcaklık değişimi görülmez.

Bu durumda Joule-Thomson Katsayısı şu şekilde izah edilir:
Joule-Thomson Katsayısı,

$$\mu_{JT} = -\frac{1}{C_p} \left[V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right) \right] \quad (2.23)$$

idi.

İdeal gaz denklemi $PV=RT$ idi. Bu denklemde hacim ve sıcaklık, $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{R}{P} = \frac{V}{T}$ şeklinde düzenlenebilir.

Bu eşitlik, Joule-Thomson katsayısı (2.23)'de yerine yazılırsa,

$$\mu_{JT} = -\frac{1}{C_p} \left[V - T \frac{V}{T} \right] \quad (2.23.b)$$

olur. Sonuç olarak Joule-Thomson katsayısı $\mu_{JT} = 0$ bulunur. Buradan da görülüyor ki ideal gazlarda kısılma olayı yoktur [40,32,13].

Joule-Thomson katsayısının sıfır olması durumu, bir ideal gazın izentalpik olarak kısılmasında, gazın sıcaklığının değişmediğini gösterir [5].

Gerçek gazlarda ise gaz molekülleri arasında itme-çekme kuvvetleri bulunur. Gerçek gazlarda moleküller arasında çekim kuvvetleri olduğundan moleküller bir

potansiyel enerjiye sahiptir. Gaz akışkan kısıldıktan sonra moleküller arasındaki uzaklık artar, çekim kuvvetlerine karşı iş yapılır ve bunun sonucu potansiyel enerji artmış olur. Dış ortama iş yapılmazsa ve dışarıdan ısı alınmazsa, potansiyel enerjideki bu artma gazın akışkanın kinetik enerjisinden karşılanır ve gazın sıcaklığı değişir [41,32,6].

Bu durum Joule-Thomson katsayısı ile izahı edersek;

İdeal gaz kanunuyla sıkıştırılabilirlik faktörü arasındaki bağıntı kurulduğunda basit bir durum denklemi elde edilir. Bu durum denklemi,

$$PV = zRT \quad (2.38)$$

şeklindedir. Denklemin T'ye bağlı türevi alınır,

$$V \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = R \left[z \left(\frac{\partial T}{\partial T} \right)_P + T \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P \right] \quad (2.39)$$

bulunur. Bu türev ifadesinde (P sabit olduğundan),

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_P = 0 \text{ ve } \left(\frac{\partial T}{\partial T} \right)_P = 1$$

dir.

Bu nedenle,

$$P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = R \left[z + T \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P \right] \quad (2.40)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{R}{P} \left[z + \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P T \right] \quad (2.40.a)$$

elde edilir. Elde edilen bu denklem μ_{JT} ifadesinde yerine yazıldığında,

$$\mu_{JT} = \frac{\frac{RT}{P} \left[z + T \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P \right] - V}{C_p} \quad (2.41)$$

olur. Gerekli matematiksel işlemler yapıldığında,

$$\mu_{JT} = \frac{\frac{zRT}{P} + \frac{RT^2}{P} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P - V}{C_p}$$

$$\mu_{JT} = \frac{V + \frac{RT^2}{P} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P - V}{C_p} \quad \left(V = \frac{zRT}{P} \text{ idi} \right)$$

$$\mu_{JT} = \frac{\frac{RT^2}{P} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_P}{C_p} \quad (2.42)$$

elde edilir. Burada gerçek gazlarda Joule-Thomson katsayısı $\mu_{JT} \neq 0$ olduğu görülür. Buradan gerçek gazlarda kısılma olayı olduğu anlaşılır [5].

Gerçek gazlarda sabit entalpili basınç değişiminin nedeni, sıcaklık değişmesidir. Düşük basınç ve sıcaklıklarda μ_{JT} , gerçek gazlar için pozitifdir. Yüksek basınç ve sıcaklıklarda ise μ_{JT} negatif olur [13].

Görüldüğü gibi herhangi bir iç molekül etkileşimi olmadan kısılma olayı olmamaktadır [6].

Kısılma olayı, saf gazlar ve onların karışımları arasında faal olan doğal moleküler kuvvetlerin incelenbilmesinde bilgi sağladığı sonucuna varılabilir [1].

Gerçek gazlar için inversiyon sıcaklığı, termal fizikte de bilinen bir sıcaklıktır [10].

2.7 Kısılma Olayında Buharın Durumu

Islak buhar için, P_1 kısılmadan önceki basınç, P_2 kısılmadan sonraki basınç olursa ve $P_1 > P_2$ olduğundan, entalpiler eşittir.

$$h_1 = h_2 = \text{sabit} \quad (2.5)$$

dir. Böylece,

$$h'_1 + x_1 r_1 = h'_2 + x_2 r_2 \quad (2.43)$$

olur. Buradan x_2 son durumdaki buhar oranı olduğundan;

$$x_2 = \frac{h'_1 - h'_2 + x_1 r_1}{r_2} \quad (2.43.a)$$

elde edilir. Bu durumda buhar oranları $x_2 > x_1$ dir. Kısılma sonunda ıslak buharın ıslaklığı bir miktar azalır. Eğer buhar oranı yüksek olan buhar kullanılırsa, yeterli bir kısılma ile bu buhar kuru doymuş ve hatta kızgın buhar haline gelir.

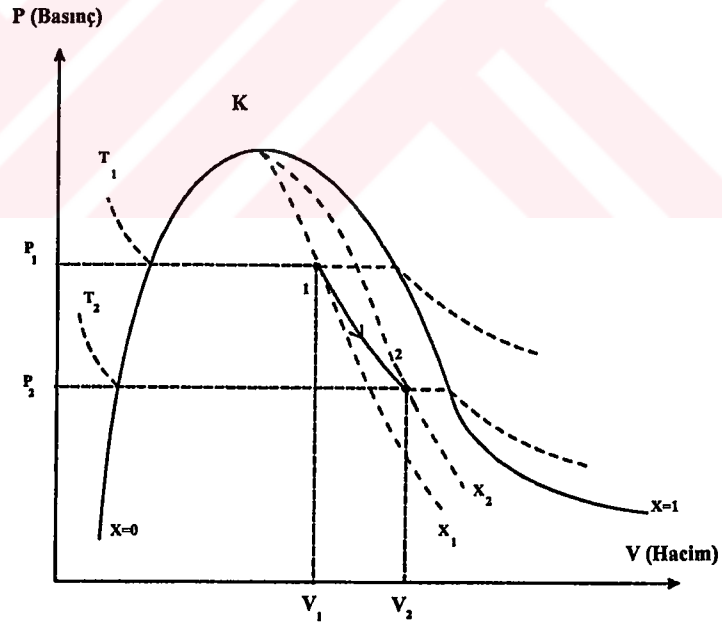
Kısılma işleminden sonra elde edilen ıslak buhar veya kuru buharın sıcaklığı t_2 , basıncı P_2 'ye denk gelen doyma sıcaklığına eşittir ve gaz veya buhar tablolarından bulunabilir. Kısıldıktan sonra elde edilen kızgın buharın sıcaklığı,

$$h = h''_2 + C_p(t_2 - t_s) \quad (2.44)$$

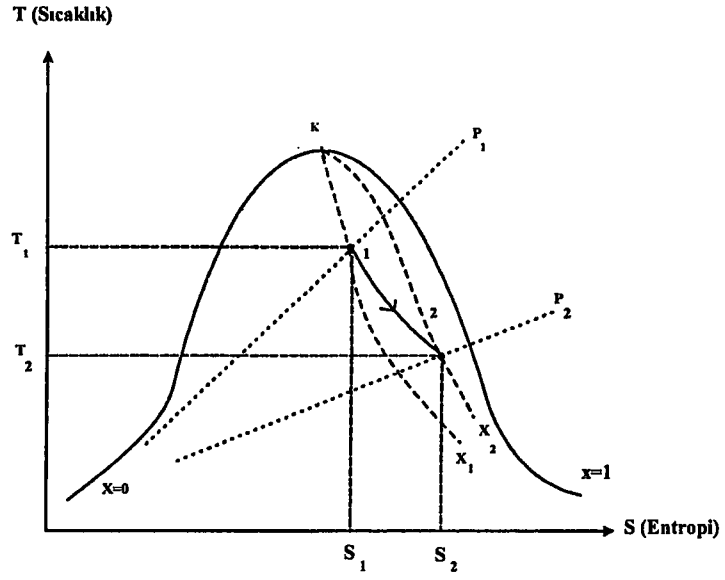
$$t_2 = \frac{h - h''_2}{C_p} + t_s \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (2.44.a)$$

dir. Buradan C_p doğrudan t_2 ve t_s (sıvı sıcaklığı) sıcaklıkları ile ilgili olduğundan, değerinin bilinmesi için önce t_2 sıcaklığını tespit etmek, bu değere göre C_p 'i tablodan alarak (2.44) denkleminde doğrulamak için bu işi C_p ve t_2 değerleri birbirine uyuncaya kadar tekrar etmek gerekir.

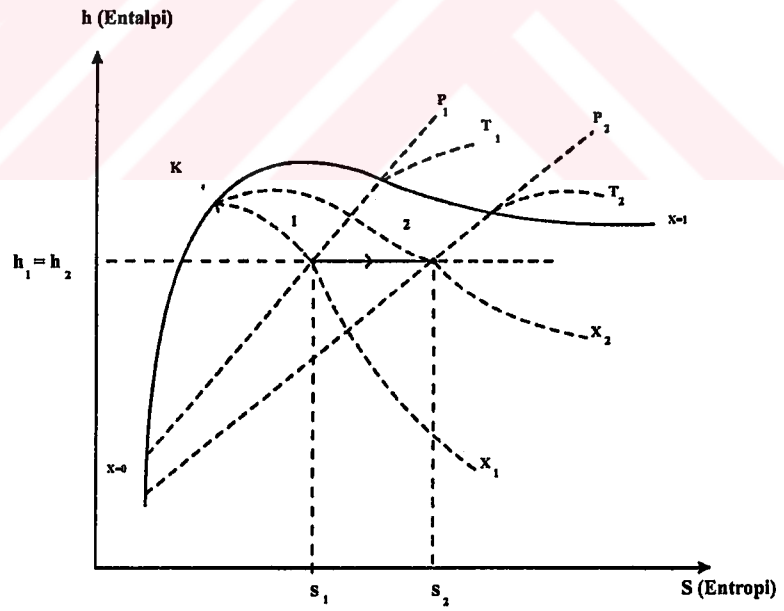
Kısılma esnasında durum değiştirme eğrileri, Şekil 2.11'deki P-V diyagramı; buharın, V_1 hacminden V_2 hacmine genişlediğini gösterirken; Şekil 2.12'deki T-S diyagramı, tersinmez bir şekilde S_1 entropisinden S_2 entropisine genişlediğini gösterir. Şekil 2.13'deki h-s diyagramı üzerinde absis eksenine paralel, yani yatay bir doğrudur. Kısılma işleminden sonra elde edilecek sıcaklık değeri, h-s diyagramı üzerinde kolaylıkla bulunur. Şekil 2.14'de ise Ln P-h diyagramında, entalpi sabitliği ve basınçtaki düşme görülmektedir [17].



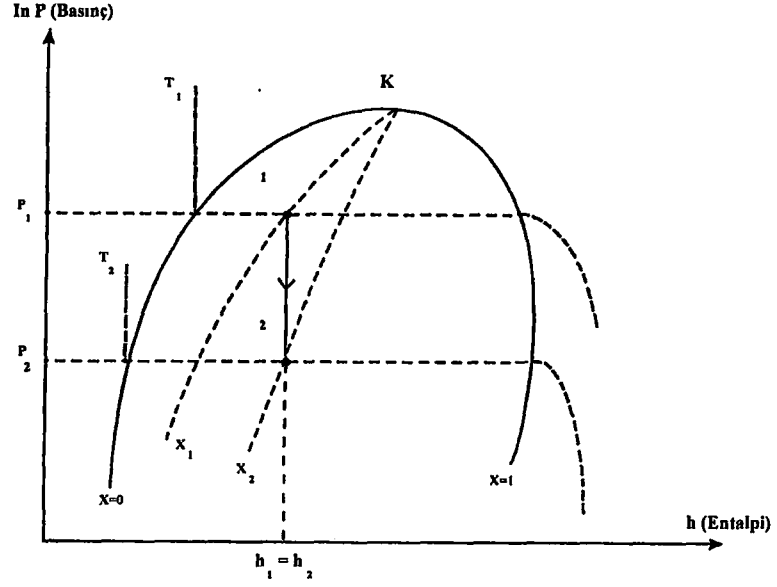
Şekil 2.11 Buharın Kısılma Olayında P-V Grafiği.



Şekil 2.12 Buharın Kısılma Olayında T-S Grafiği.



Şekil 2.13 Buharın Kısılma Olayında h-s Grafiği.



Şekil 2.14 Buharın Kısılma Olayında Ln P-h Grafiği.

2.8 Kısılma Olayının Tersinmezliği

Kısılma olayı, tersinmez bir durum değişikliğidir ve entropinin artması şeklinde meydana gelir. Islak buhar Şekil 2.13 görüldüğü gibi kısılma sonunda kuru buhar durumuna gelebilir ve buhar oranı değerinin arttığı görülür [17].

Tersinmez durum değiştirme şartı $dS > \frac{dQ}{T}$ 'tir. Kısılma olayı adyabatik olarak meydana geldiği düşünüldüğünden ısı $dQ=0$ 'dır. Böylece $dS>0$ olur. Daha genel olarak entropi farkı $S_2-S_1>0$ şeklinde olmaktadır. Yani artan entropide olduğu kabul edilir. Şekil 2.12'den de $S_2 - S_1 > 0$ olduğu görülmektedir. Bu da kısılma olayının tersinmez bir durum değiştirme olduğunu göstermektedir [42].

İşe dönüştürülemeyen enerjiyi tersinmezlik gösterir. Yani iş yapma imkanındaki eksilmedir [16].

2.9 Kısılma Kalorimetresi

Kısılma kalorimetresi, Prof. Peabody tarafından dizayn edilmiş olduğundan, Peabody kalorimetreside denir. Bu cihaz ıslak buharın entalpisini ölçmek için kullanılır. Bu kalorimetre temelinde atmosfer basıncının çok az üstündeki değerlerde bulunan basınçlarda küçük bir kanal ve valf içindeki buhar durumunu ölçer [43,15].

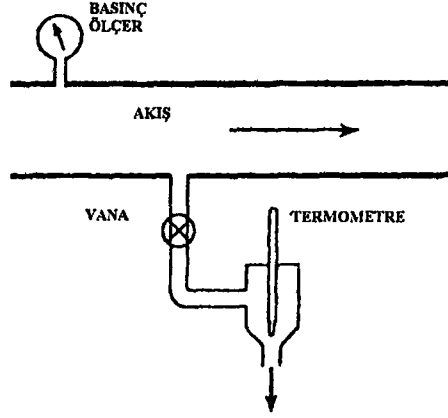
Bu cihazda, daha öncede değinildiği gibi atmosfer basıncının biraz üstünde muhafaza edilen özel küçük bir kaba buhar alınır. Şekil 2.15 kazana ulaşan nokta ile kap arasında boru üzerinde bulunan vana, dar bir geçit meydana getirdiğinden, buhar buradan geçerken kısılmak suretiyle kızgın duruma girer. Bu işlem sırasında, kısılma sonucu olarak kanal içindeki buhar çok fazla ısınır. Küçük kabın üzerinde bulunan bir termometre ve manometre ile kızgın buharın sıcaklık ve basıncı tespit edilir. Bu sıcaklık ve basınçta kızgın buhar tablolarından kızgın buhar entalpisi h , tesbit edilir. Kazan basıncına uyan h'' (Doymuş kuru buharın entalpisi) ve buharlaşma ısısı r değerleri yine buhar tablolarından bulunduktan sonra,

$$h = h'' - (1 - x)r \quad (2.45)$$

buradan,

$$x = \frac{h - h''}{r} + 1 \quad (2.45.a)$$

bulunan ifadede yerine yazılarak, x buhar oranı tespit edilir. x buhar oranı doğrudan molier diyagramından da bulunabilir [43,15].



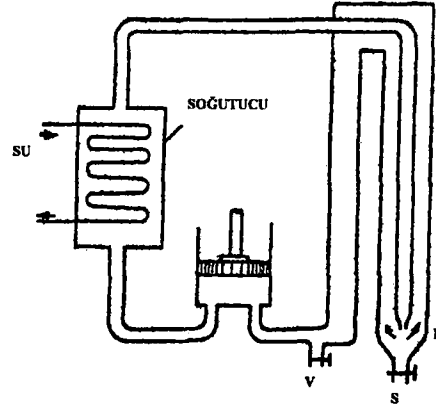
Şekil 2.15 Kısılma Kalorimetresinin genel şekli.

Kısılma kalorimetresinde, gaz hataları doğrudan ölçülebilir, absorpsiyon hatalarından kaçınılır [14].

2.10 Linde Yöntemi ile Gazların Sıvılaştırılması

Linde yöntemi ile gazların sıvı hale gelmesi kısılma olayının bir uygulamasıdır. Kısılma olayı, küçük bir delikten geçen gaz akışkanının soğuması ve bu sırada gazın kinetik enerjisinin azalması olduğunu biliyoruz. Linde yöntemi de bu olaydan yararlanır [44].

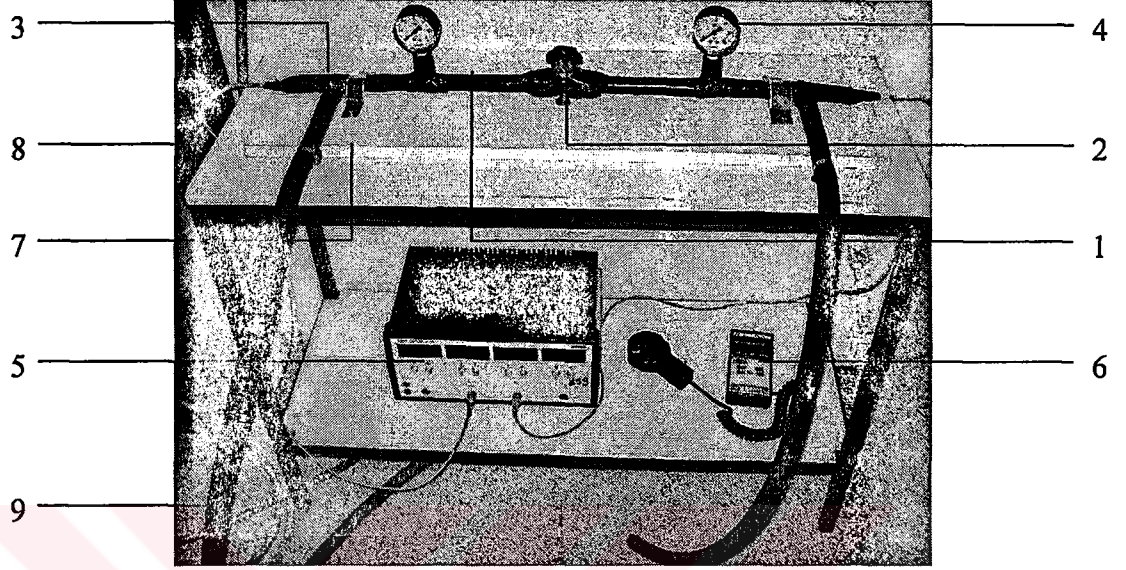
Bu yöntem şu şekilde uygulanır, Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, kompresör sistemi ile sıkıştırılmış olan gaz ilk olarak bir su serpantini yardımıyla soğutulur, daha sonra da E ağzındaki kısılma işlemi yardımı ile soğuma devam ettirilir. Bu devre bir çok kez tekrar edildiği takdirde sıcaklık giderek düşer ve sonunda gaz yoğunlaşır ve S ağzından dışarı alınır [19].



Şekil 2.16 Linde Yöntemi ile Gazların Sıvılaştırılmasının genel şekli [40].

Linde yöntemiyle Hidrojen ve Helyum gibi özelliği olan gazların sıvılaştırılması için kısılma öncesi sıcaklığın, Hidrojenin 200 K, Helyumun 40 K dolaylarına düşürülmesi gerekir. Bu amaçla Hidrojenin, önce sıvı hava ile soğutulduktan sonra ısı değiştirgecine gönderilir. Helyum ise sıvı Hidrojenle ön soğutma yapılır [45].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILAN ARAÇLAR VE TEKNİK ÖZELLİKLERİ



Şekil 3.1 Deney setinin genel görüntüsü.

(1-Bakır boru, 2-Vana, 3-Kauçuktan ısı yalıtım elemanı, 4-Manometre, 5-Sıcaklık ölçer, 6-Hız ölçer, 7-Sunta levha, 8-Gaz tüpü, 9-Hortum)

3.1 Deneylerde Kullanılan Gaz Akışkanlar

3.1.1 Argon (Ar) gazı [36,46,47]

Molekül Ağırlığı : 39.948 (yaklaşık40) kg/kmol

Kritik Sıcaklık : -122.5 °C

Kritik Basınç : 4.898 MPa

Özgül Hacim : $1.867 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

Kaynama Sıcaklığı : -185.7 °C

Donma Sıcaklığı : -189.2 °C

3.1.2 Azot (N₂) gazı [36,46,47]

Molekül Ağırlığı : 28.013 (yaklaşık 28) kg/kmol

Kritik Sıcaklık : -146.9 °C

Kritik Basınç : 3.394 MPa

Özgül Hacim : 3.216 10⁻³ m³/kg

Kaynama Sıcaklığı : -195.8 °C

Donma Sıcaklığı : -209.86 °C

3.1.3 Oksijen (O₂) gazı [36,46,47]

Molekül Ağırlığı : 31.999 (yaklaşık 32) kg/kmol

Kritik Sıcaklık : -118.6 °C

Kritik Basınç : 5.076 MPa

Özgül Hacim : 2.494 10⁻³ m³/kg

Kaynama Sıcaklığı : -183 °C

Donma Sıcaklığı : -218.4 °C

3.1.4 Hava (0.21 O₂+0.78 N₂+0.01 Ar) [19,47]

Molekül Ağırlığı : 28.964 (yaklaşık 29) kg/kmol

Kritik Sıcaklık : -140.5 °C

Kritik Basınç : 3.785 MPa

Özgül Hacim : 3.030 10⁻³ m³/kg

Kaynama Sıcaklığı : -194.3 °C

3.1.5 Karbondioksit (CO₂) gazı [36,46,47]

Karbondioksitin yoğuşma sıcaklığı yüksek olması ve kritik basıncı düşük olduğundan dolayı kullanım alanı sınırlıdır.

Molekül Ağırlığı : 44.01 (yaklaşık 44) kg/kmol

Kritik Sıcaklık : 31.1 °C

Kritik Basınç : 7.383 MPa

Özgül Hacim : 2.137 10⁻³ m³/kg

Kaynama Sıcaklığı : -78.4 °C

Donma Sıcaklığı : -56.6 °C (5.2 atm'de)

3.1.6 Freon-22 (CHClF₂) [48,47,46]

Düşük sıcaklıklarda soğutma elde etmek için geliştirilmiştir. Zehirsiz, yanmayan, patlamayan bir akışkandır. Esas kullanım alanı, -30 °C'nin altında olduğu sıcaklıklardır. Freon-22'nin yoğuşma basıncı diğer soğutucu akışkanlara (Freon-11, Freon-13, Freon-21 vb) göre daha yüksektir.

Molekül Ağırlığı : 86.48 kg/kmol

Kritik Sıcaklık : 96.75 °C

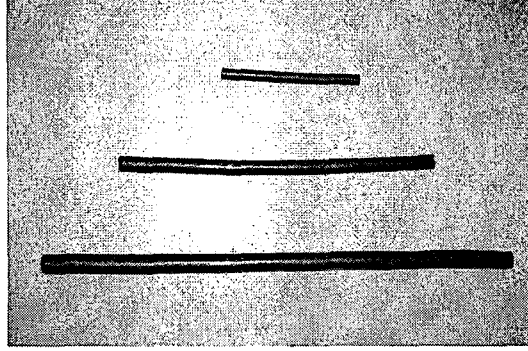
Kritik Basınç : 4.914 MPa

Özgül Hacim : 1.908 10⁻³ m³/kg

Kaynama Sıcaklığı : -40.76 °C

Donma Sıcaklığı : -160 °C

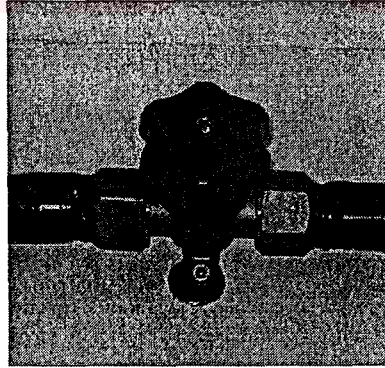
3.2 Bakır Boru



Şekil 3.2 Çeşitli çaplardaki bakır borular

Tavlanmış, kalın etli, yumuşak; 3/8", 1/2", 5/8" çapında bakır borular kullanılmıştır.

3.3 Vana

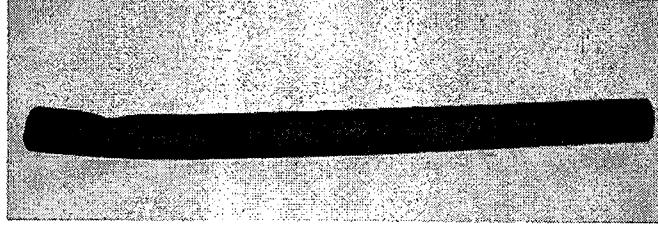


Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan vana

3/8", 1/2", 5/8" lik bakır borulara uygun çapta, iki yollu, vidalı, düz tip, Castel firmasının ara vanaları (glob valf) kullanılmıştır. Bu vanalar dökme pirinçten

yapılmıştır. Soğutma tesisatları ve cihazlarında sıklıkla kullanılır, çalışma basıncına, basınç değişimlerine, dış derbelere dayanıklıdır [46].

3.4 Isı Yalıtım Elemanı

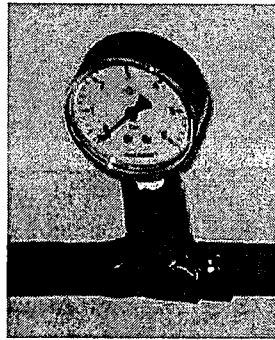


Şekil 3.4 Kauçuktan yalıtım malzemesi

Bakır boruların ısı yalıtımında elastomerik kauçuk köpüğü kullanılmıştır. Kullanılan bu kauçuk köpüğünün ısı iletkenlik katsayısı yaklaşık 0.04 W/m K ' dir ve sıcaklık dayanımı -45°C ile $+120^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Kauçuk köpüğünden yalıtım malzemesi, bakır boru çaplarına uygun olarak üç ayrı çapta ($3/5''$, $1/2''$, $5/8''$) kullanılmıştır.

Kauçuk köpüğü üzerine sabitlik ve koruma sağlama amaçlı 30 ila 50 mm genişliğinde siyah bant sarılmıştır.

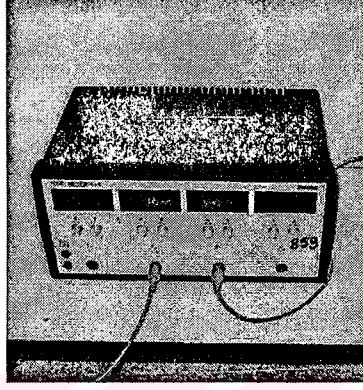
3.5 Manometre



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan manometre

Bir tanesi, vana girişinde, diğeri vana çıkışında olmak üzere 2 adet, 0.2 bar bölüntülü, 6 bar basınca kadar ölçüm yapabilen, Pakkens firmasının imal ettiği manometreler kullanılmıştır.

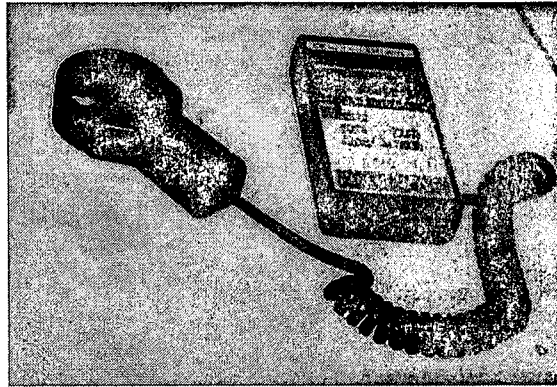
3.6 Sıcaklık Ölçer



Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan sıcaklık ölçer

Aynı anda 4 ayrı sıcaklığı K ve °C cinsinden ölçebilen, uygun kablo bağlantılı ısı problemleri bulunan, $(-100) \div (+100)^{\circ}\text{C(K)}$ arasında ölçüm yapabilen, elektrik bağlantılı, alman Phywe firmasının imal ettiği sıcaklık ölçer kullanılmıştır.

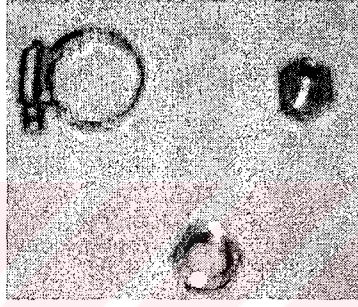
3.7 Hız Ölçer



Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan hız ölçer

0.2-40 m/s hızları arasında ölçüm yapabilen pervaneli hız ölçer (anemometre) kullanılmıştır. Gaz akışkan pervane üzerine gönderildiğinde, pervanenin dönüş sayısına bağlı olarak göstergesinden elektronik olarak hız okunabilir. M/s dışında; km/h, ft/min, knots birimlerinde de ölçüm yapabilen, Lutron firmasının imal ettiği (anemometre) hız ölçer kullanılmıştır. Kullanılan hız ölçer (anemometre) dikdörtgen pil ile kullanılmaktadır.

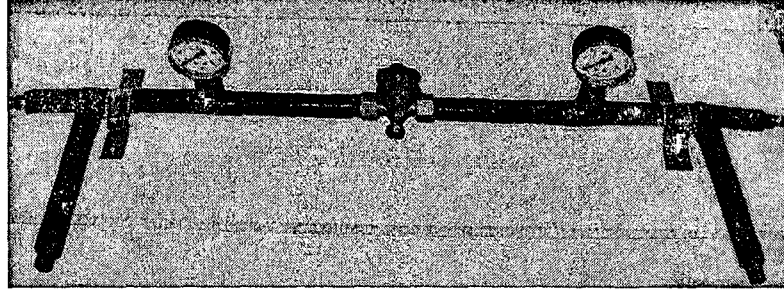
3.8 Bağlama Elemanları



Şekil 3.8 Çeşitli bağlama elemanları

Bakır boruların; sunta levha, manometre, hız ölçer pervanesini; sıkılarak veya çakılarak sabitlenmesini sağlayan pim, rondela, çivi, kelepçe gibi bağlama elemanları ile boru ekleme parçaları (T parçaları), deney düzeneğindeki bakır boru çaplarına uygun, pirinçten yapılan, manometre ile sıcaklık ölçerin problemlerini sabitlemek için kullanılan tapa ve adaptörler bulunmaktadır.

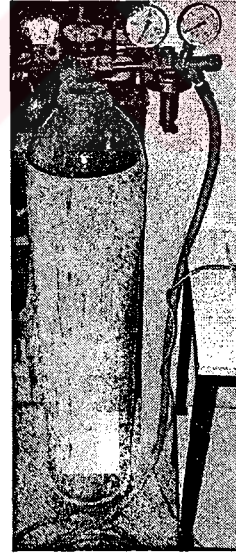
3.9 Sunta Levhalar



Şekil 3.9 Bakır borular ile vanaların monte edildiği sunta levha

Üzerleri suntalem ile kaplanmış 25-90 cm ölçülerinde. 18 mm kalınlığında, bakır boruların monte edildiği 3 adet sunta levha kullanılmıştır.

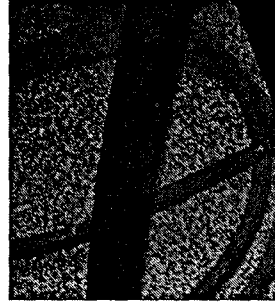
3.10 Gaz Akışkan Tüpleri



Şekil 3.10 Gaz akışkan tüpleri

Freon-22 için 13 kg ağırlığında tüp, diğer gazlar için ise 40 m³ kapasiteli, çelikten yapılmış, Azot, Karbondioksit, Oksijen, Argon gazlarının sıkıştırıldığı tüpler kullanılmıştır.

3.11 Hortumlar



Şekil 3.11 Deneyde kullanılan hortumlar

3/8", 1/2", 5/8" çaplarına uygun 100 bar'a kadar dayanıklı, çift sarımlı, lastikten yapılmış, gaz tüpleri bakır borular arasında bağlantıyı sağlayan hortumlar kullanılmıştır.

3.12 Kompresör

8 kp/cm³ basınç kapasiteli, 50 lt depo hacimli, 7,5 Hp motor gücü, motor devir sayısı 1000 dev/dak olan, üç silindirli, hava sıkıştırılan kompresör kullanılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

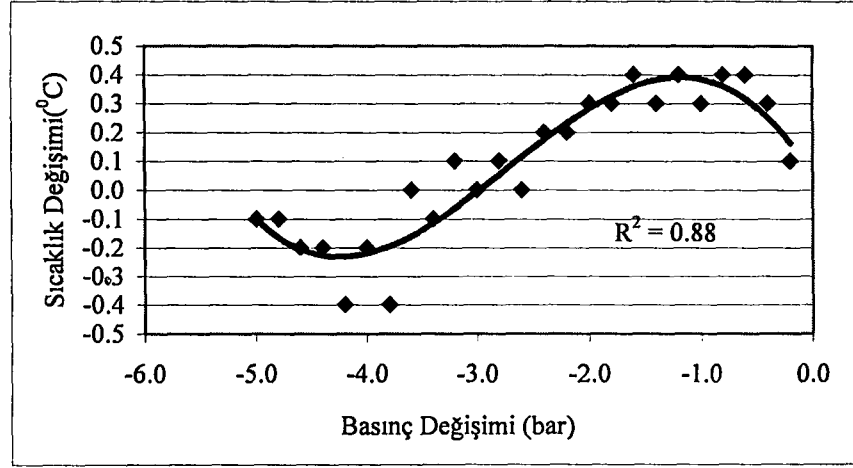
Bu tez çalışmasında, Hava, Argon (Ar) gazı, Oksijen (O_2) gazı, Freon-22, Karbondioksit (CO_2) gazı ve Azot (N_2) gazı ile her bir hız aralığı için 25 adet olmak üzere (Ekteki tablolarda her satır bir deneyi göstermektedir.) 1125 tane kısılma deneyleri yapılmıştır. Deneylerin her biri 10 dakika arayla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan basınç değerleri imkanlara bağlı olarak 5 bar'la sınırlandırılmıştır. Diğer gaz akışkanlara göre hava için yapılan kısılma deneylerinin sayısının fazlalığı ve hız aralıklarının yüksek tutulması, bu akışkanın daha kolay ve ucuz bulunup, kompresörle depo edilebilmesidir. Diğer gazların daha zor bulunması ve maliyetlerini yüksek olması sebebiyle bunlar üzerinde yapılan kısılma deneylerinin sayısı ve hız aralıkları sınırlı tutulmuştur.

Bazı deneylerde görülen, oda sıcaklıkları ve atmosfer basınçlarındaki ani değişmelerin sebebi, yapılan deneylerin bir sonraki güne kalması veya hafta sonu tatillerinin ertesinde uygulanmasıdır.

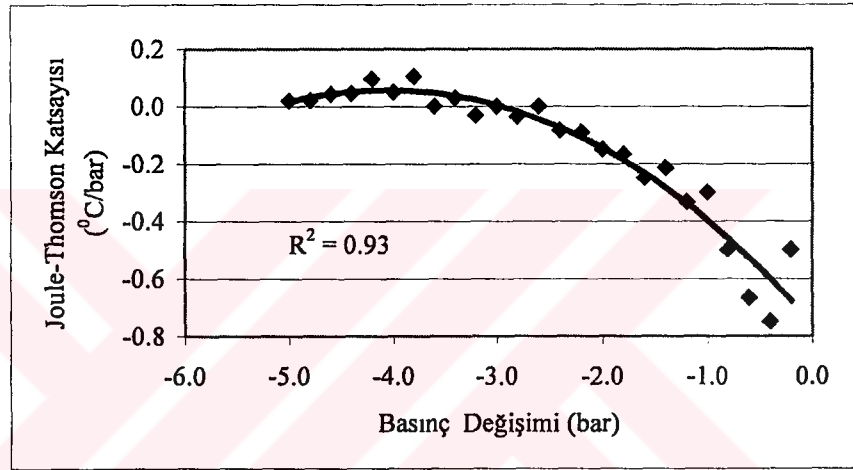
Kısılma deneyleri, soğutma sistemlerinde sıklıkla kullanılan; 3/8", 1/2" ve 5/8" lik bakır borular ile bu borulara uygun çapta ve malzemedeki vanalarla yapılmıştır.

Gaz akışkanların her bir çaptaki kısılma deneyleri yorumlanırken, makine mühendisliği açısından bu gazların soğuma özelliklerinin daha fazla olması dikkate alınarak, soğuma durumları üzerinde daha fazla durulmuştur. Sıcaklık değişimi azaldıkça soğuma derecesi de arttığını deneylerde gösterilmiştir.

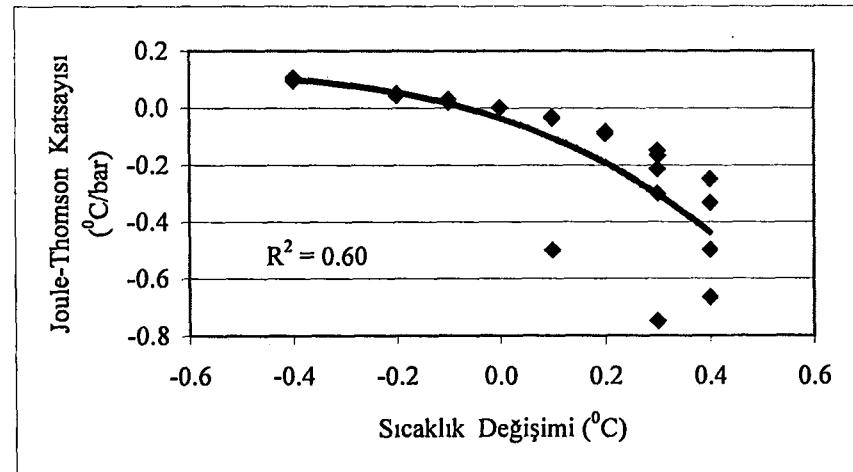
Her bir hız aralığı için uygulanan kısılma deneyleri sonucu verilen grafikler, elde edilen değerleri temsil eden fonksiyon, üçüncü dereceden bir polinom fonksiyonu olarak alınmış ve bu fonksiyona uygun olarak çizilmiştir. Grafiklerin üzerlerindeki R değerleri Regrasyon analiz ile elde edilen katsayının değerleridir. Bu katsayı, çizilen grafiğin, verilen değerleri hangi oranda temsil ettiğini göstermektedir. Yapılan deneyler yorumlanırken, çizilen grafiklerin matematiksel özellikleri üzerinde çok fazla durulmamıştır. Uygulanan kısılma deneylerindeki hız değerleri vananın çıkışında ölçülen hız değerleridir.



(a)

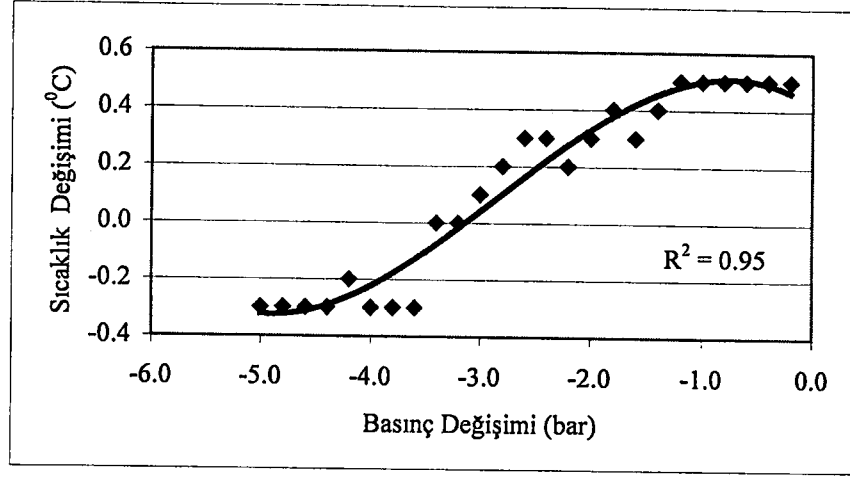


(b)

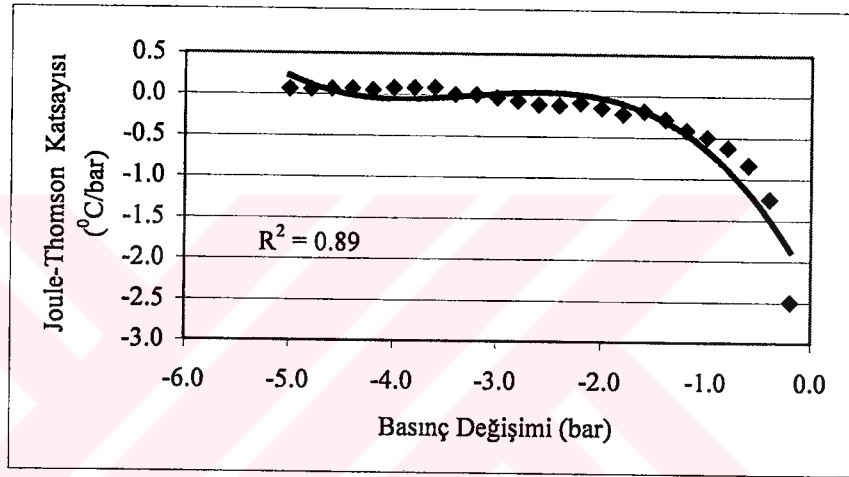


(c)

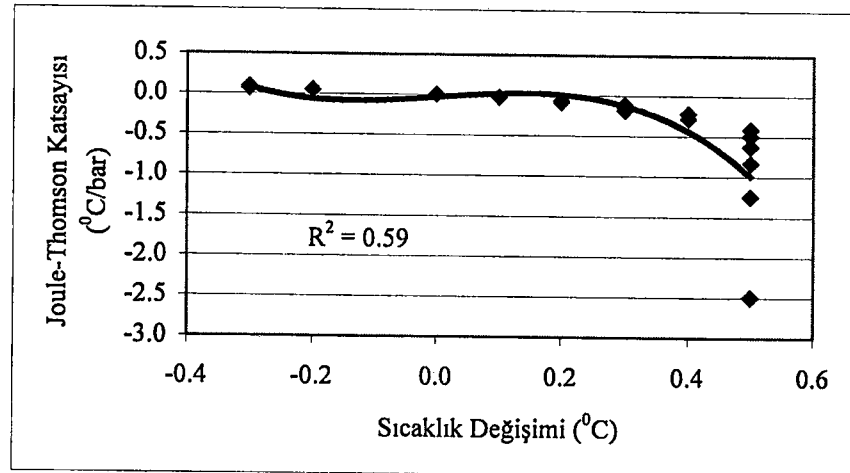
Şekil 4.1 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

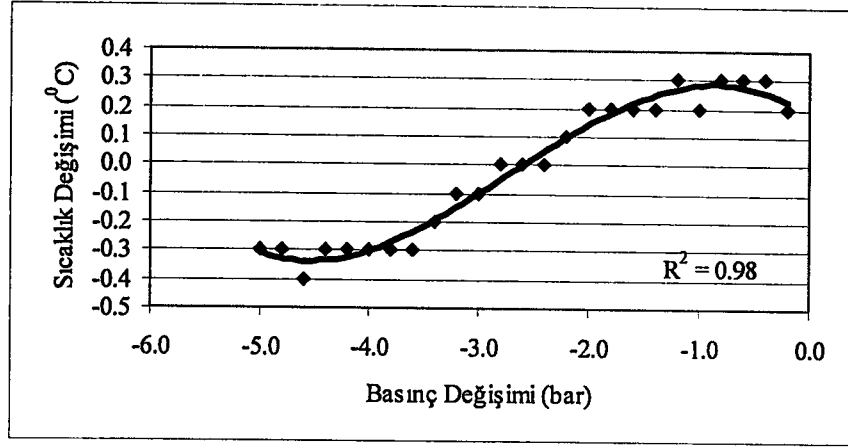


(b)

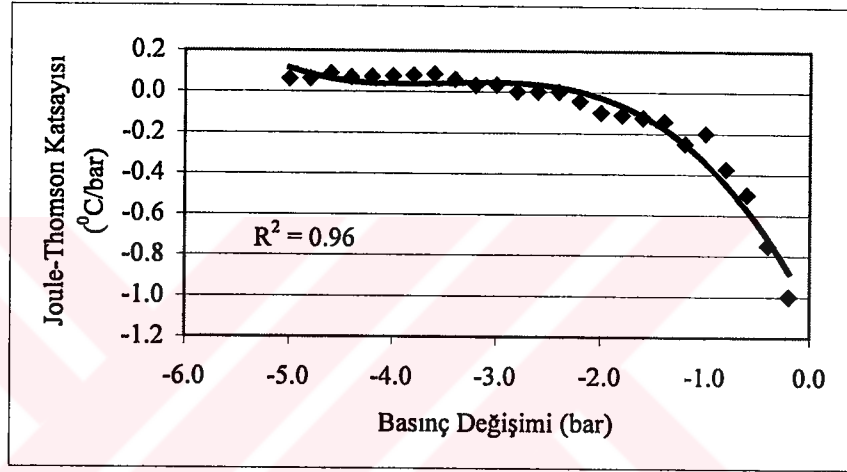


(c)

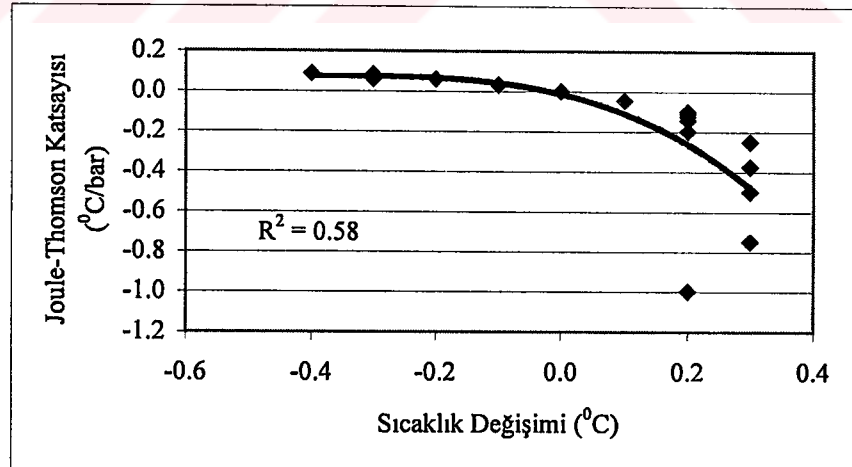
Şekil 4.2 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Hava** için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

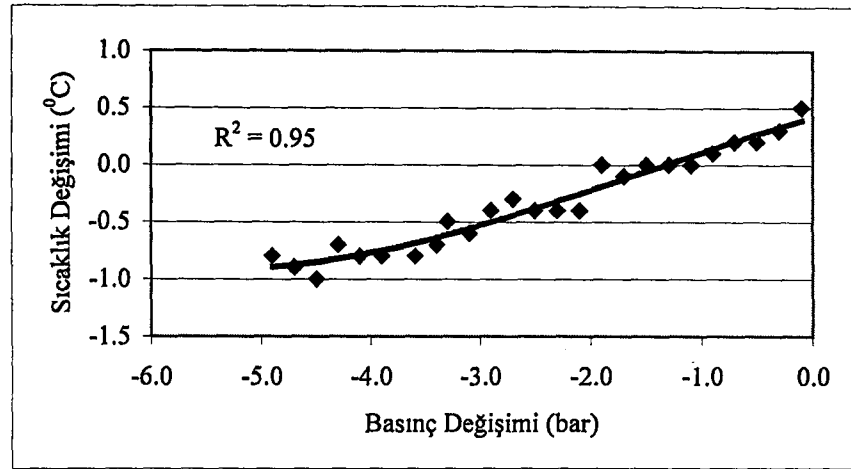


(b)

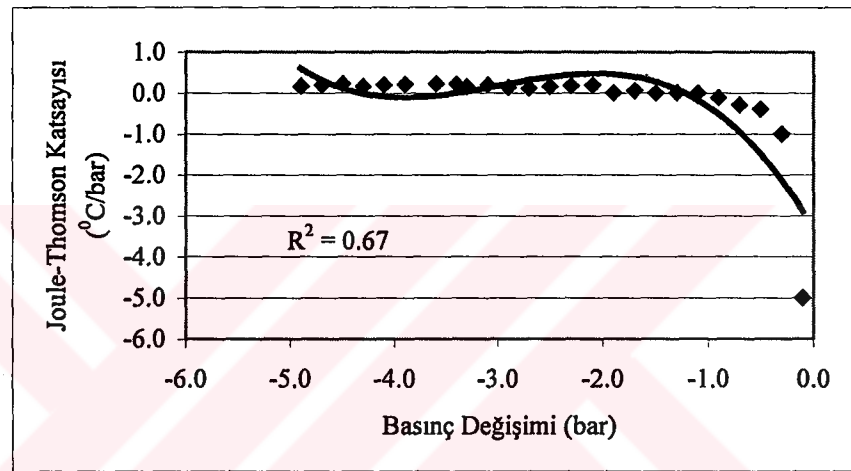


(c)

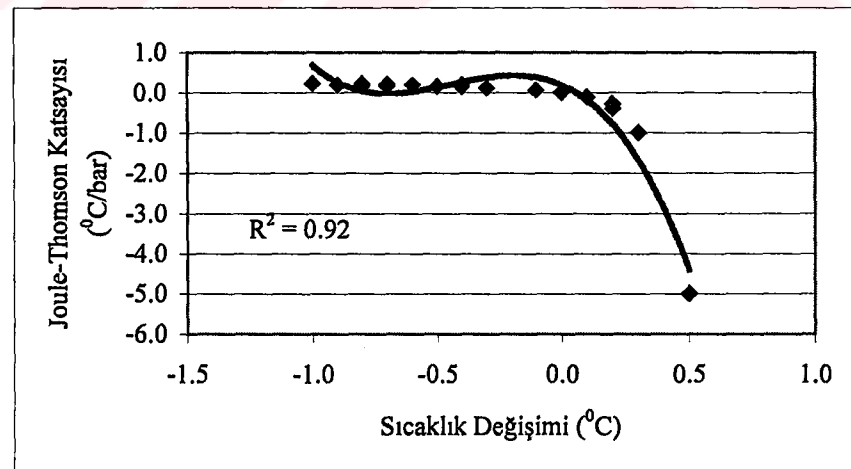
Şekil 4.3 3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

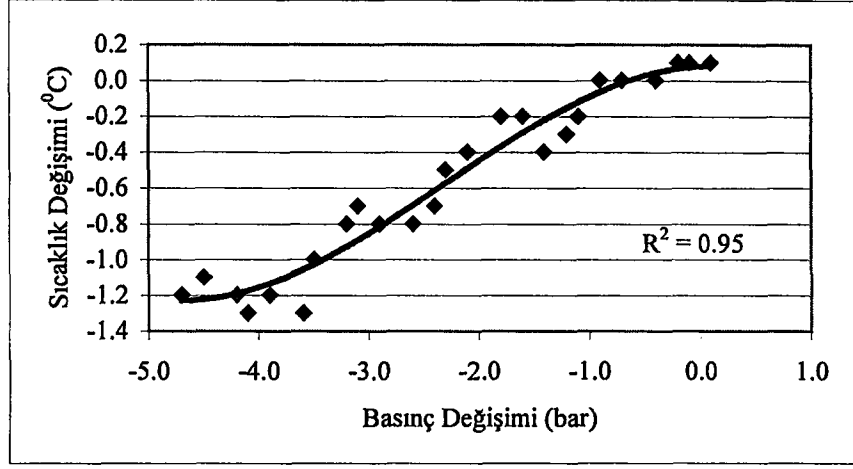


(b)

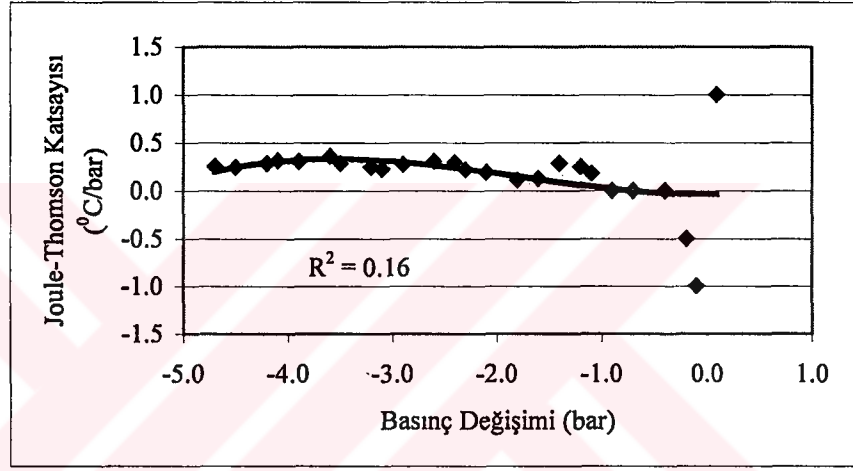


(c)

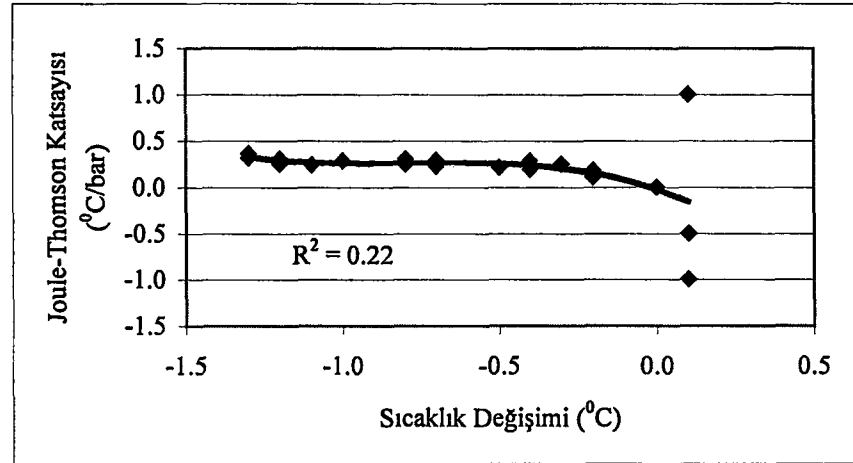
Şekil 4.4 8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Hava** için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

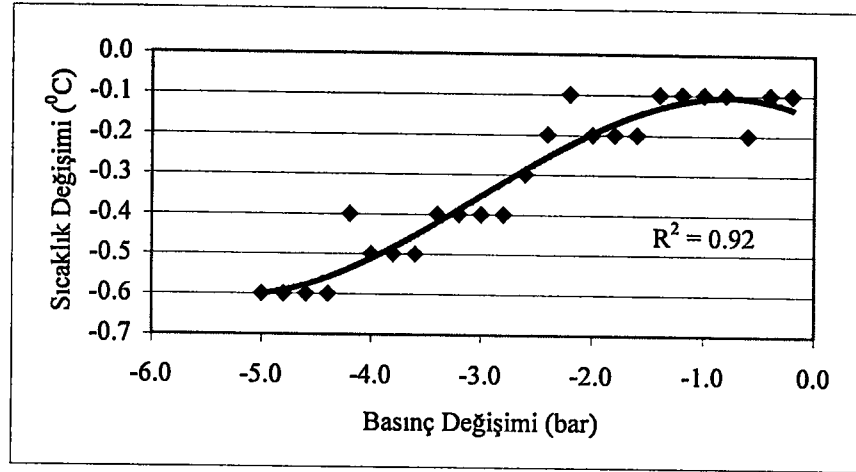


(b)

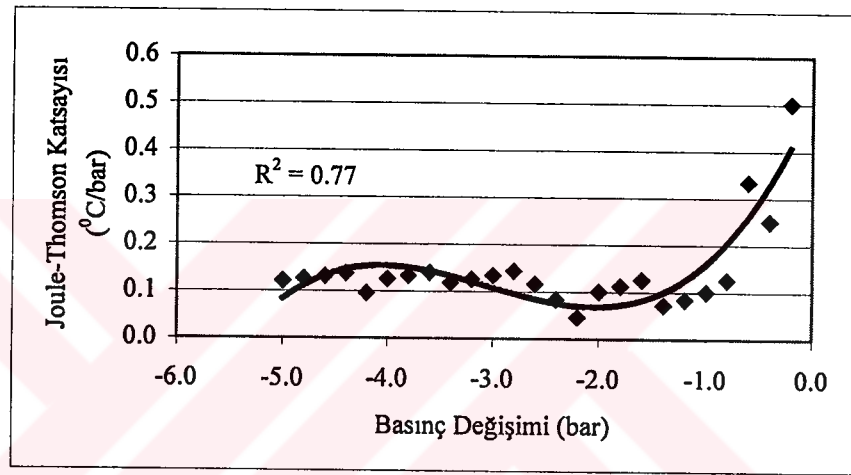


(c)

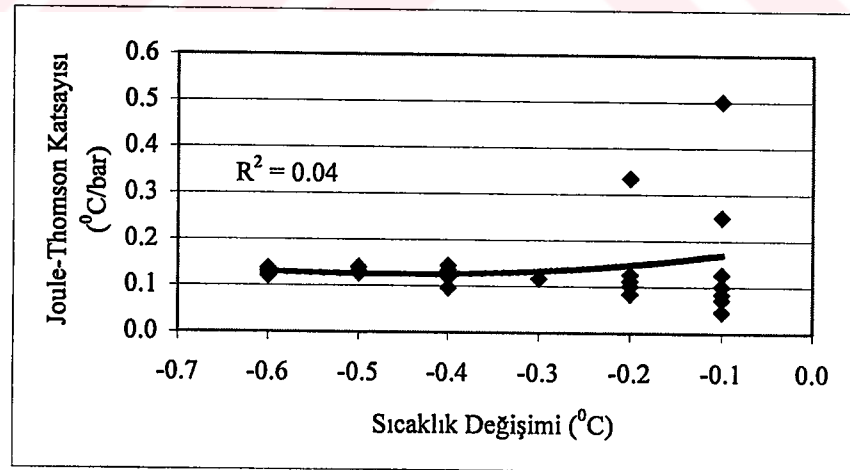
Şekil 4.5 12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

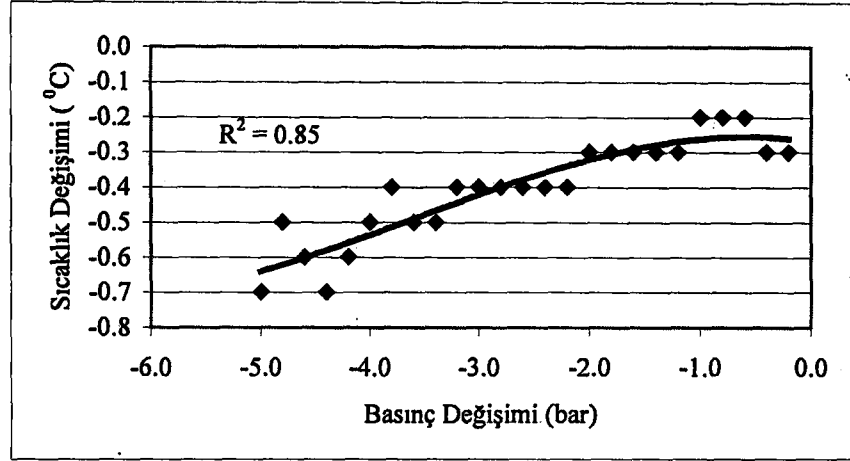


(b)

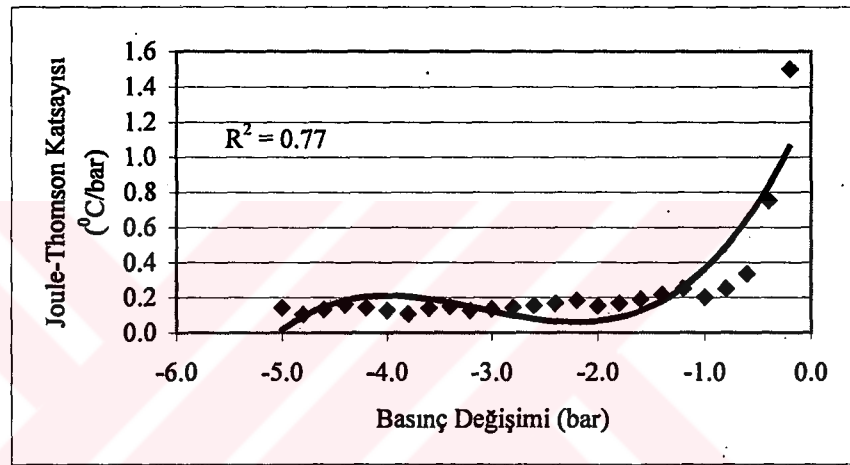


(c)

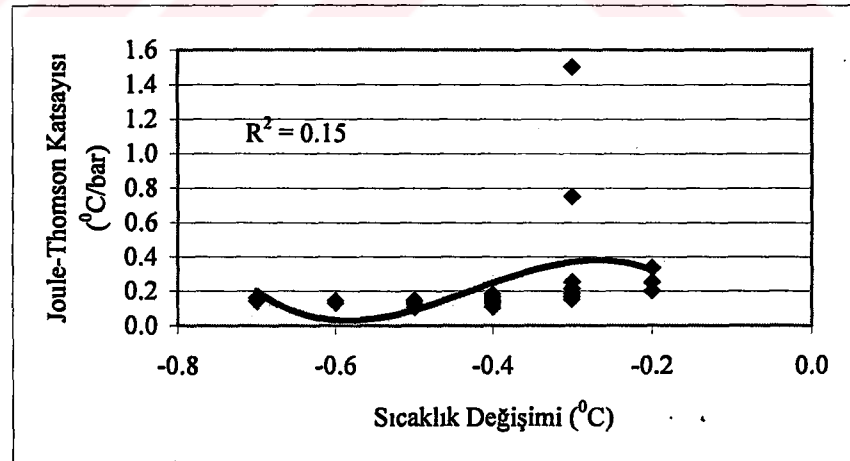
Şekil 4.6 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi.



(a)

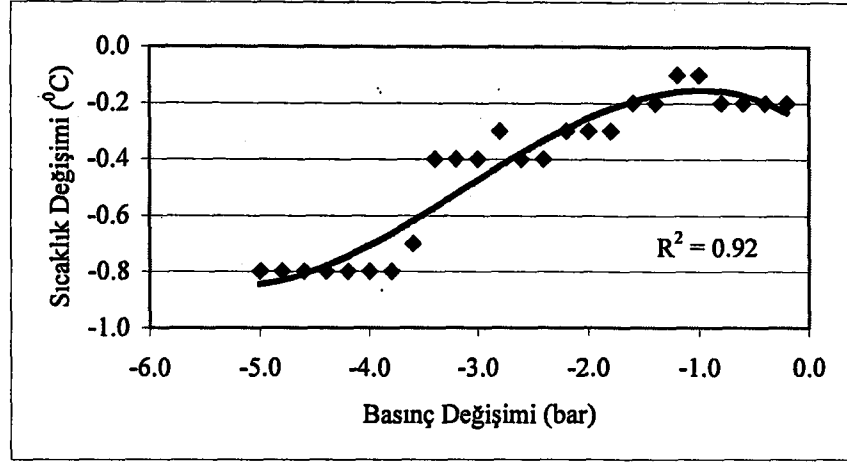


(b)

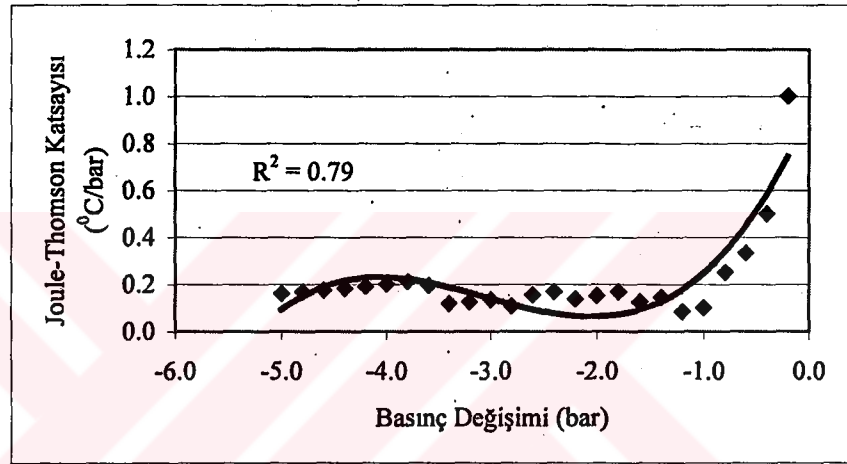


(c)

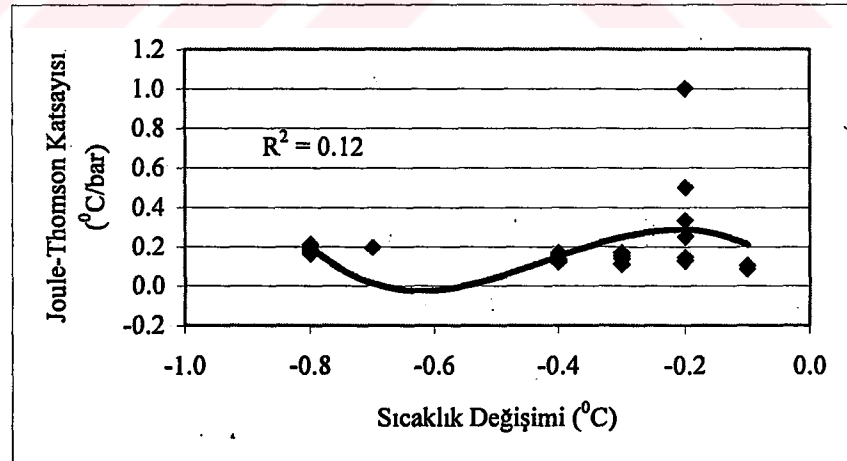
Şekil 4.7 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

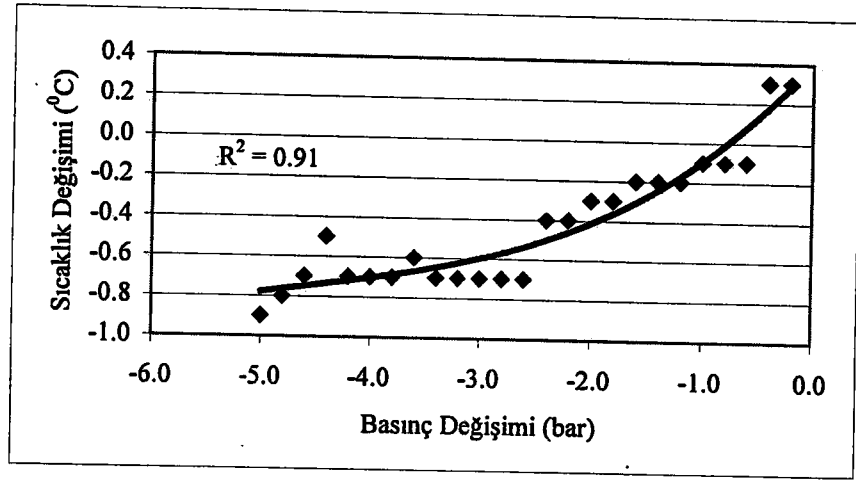


(b)

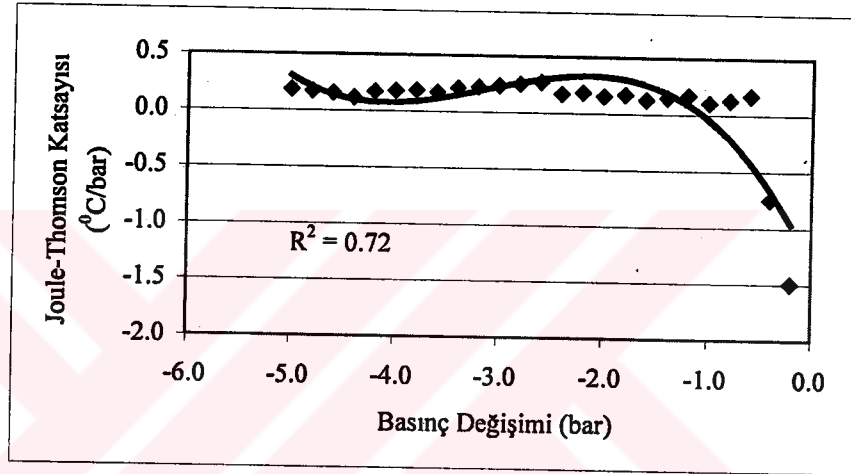


(c)

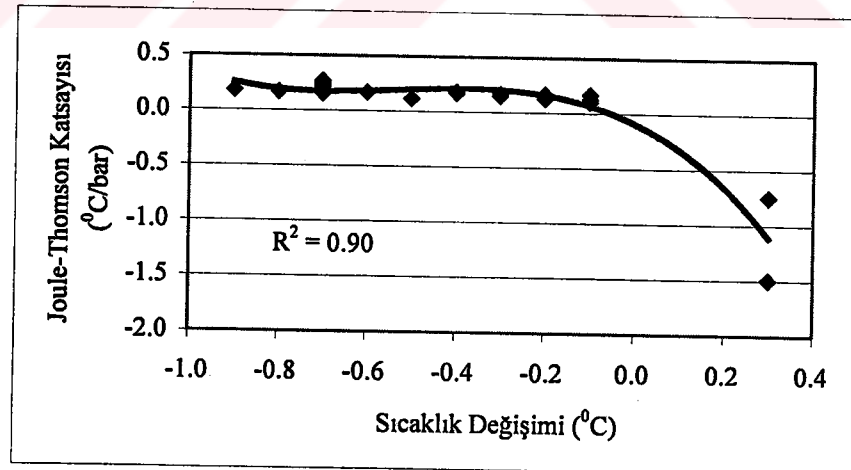
Şekil 4.8 3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

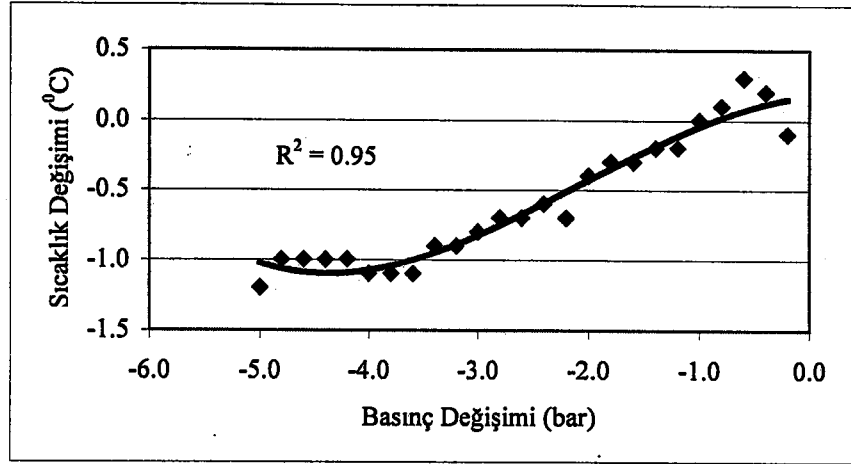


(b)

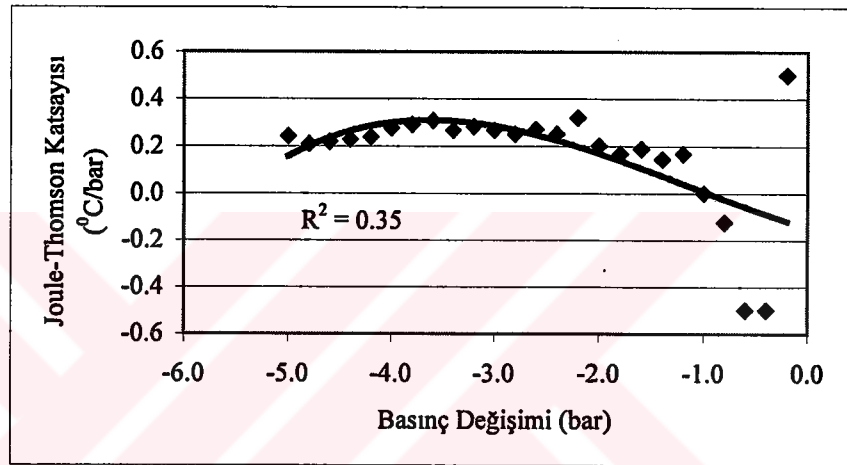


(c)

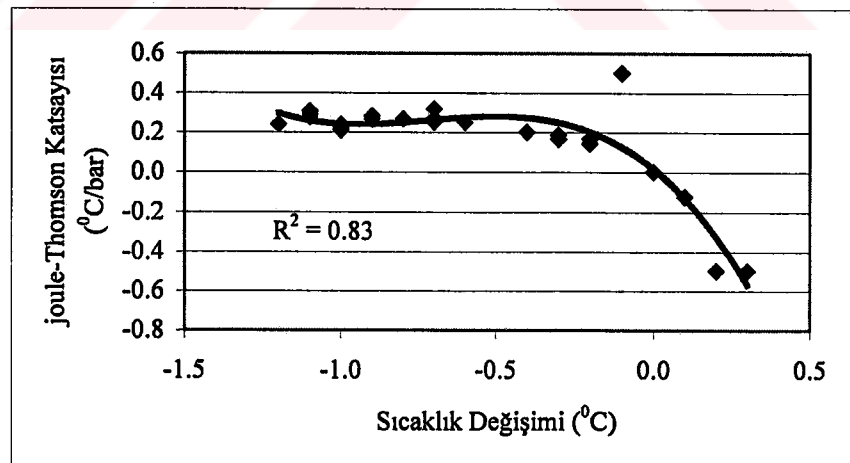
Şekil 4.9 8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

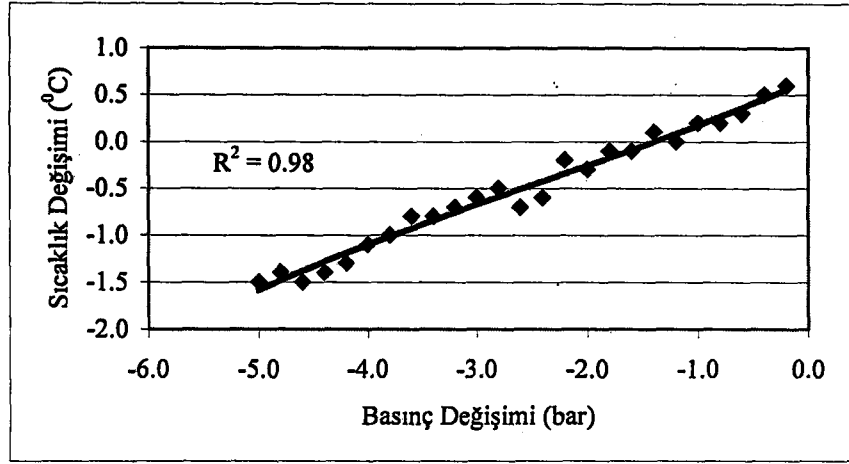


(b)

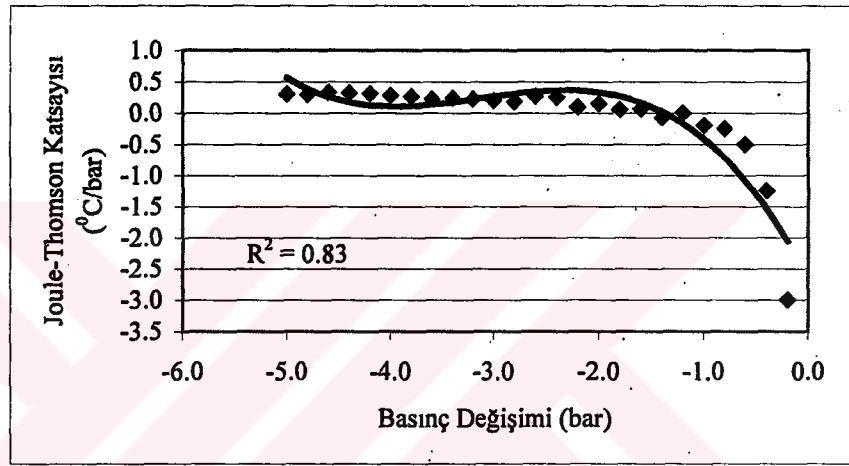


(c)

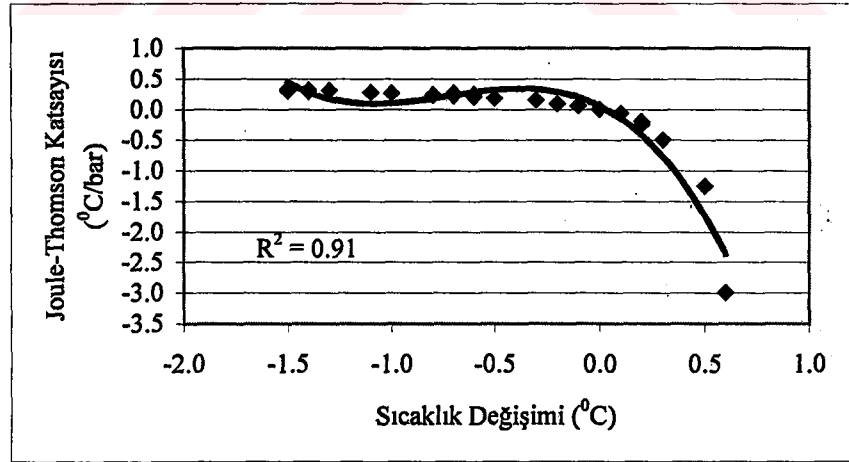
Şekil 4.10 12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

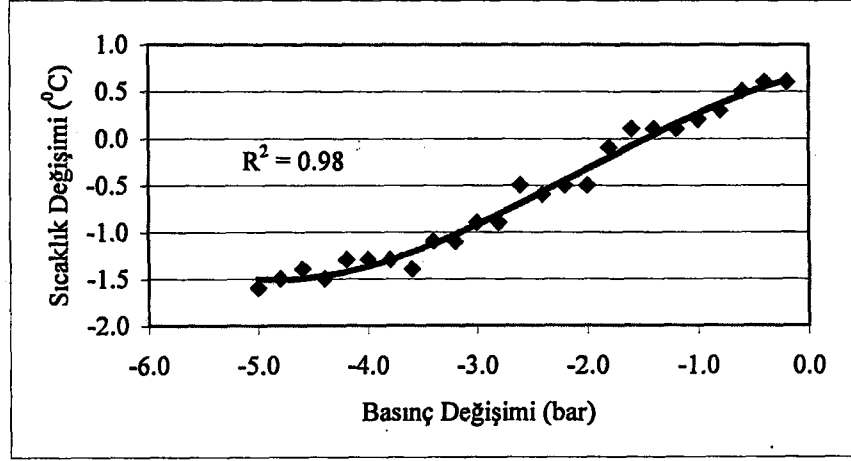


(b)

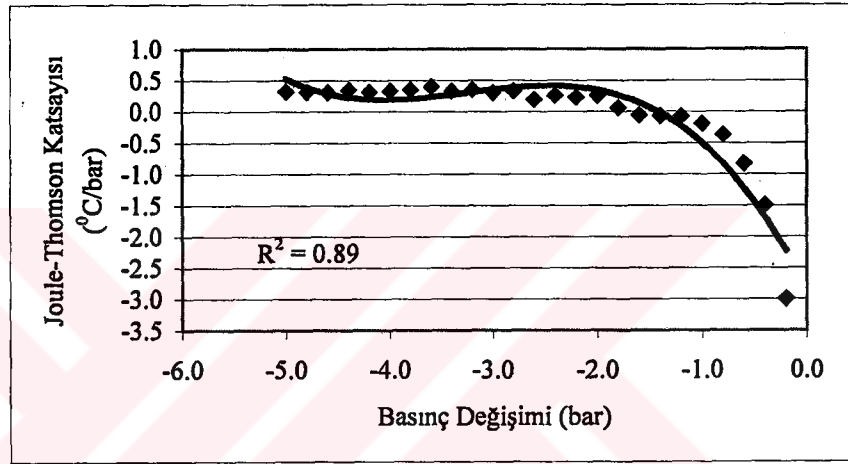


(c)

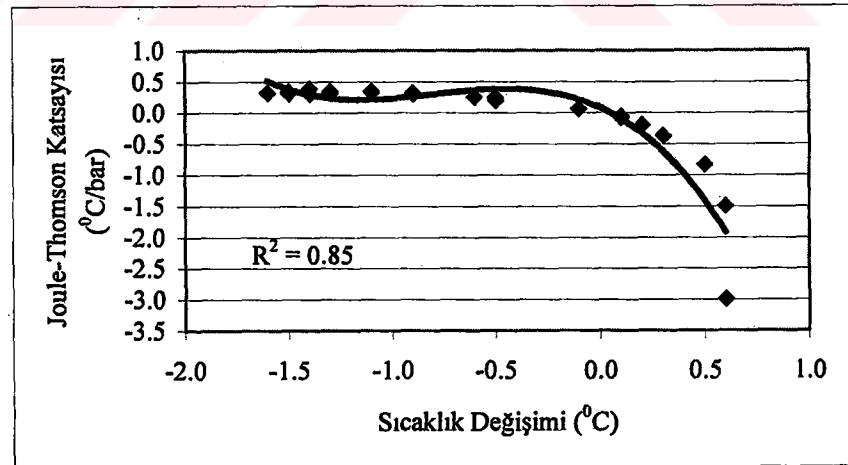
Şekil 4.11 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

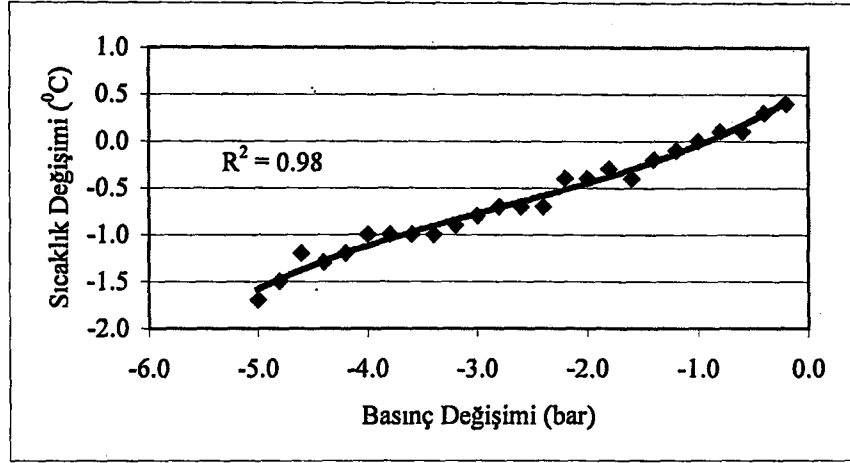


(b)

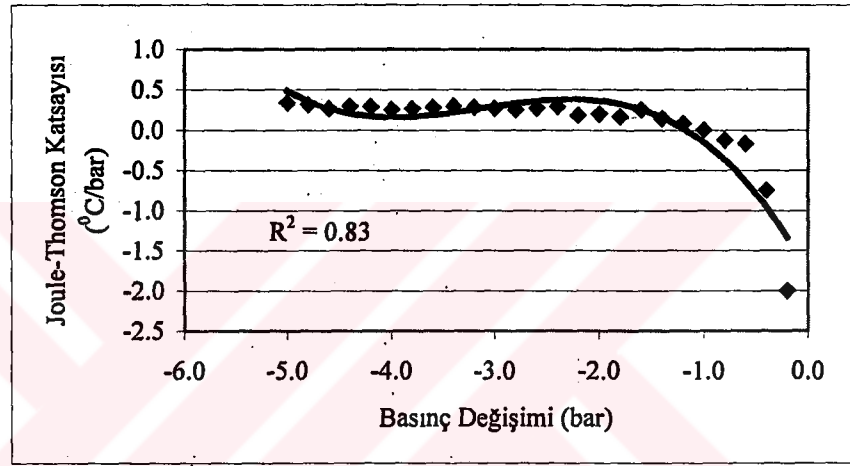


(c)

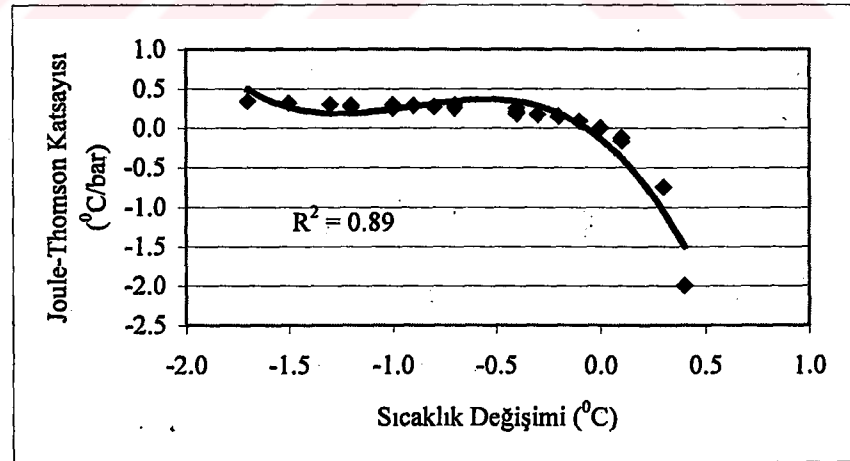
Şekil 4.12 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

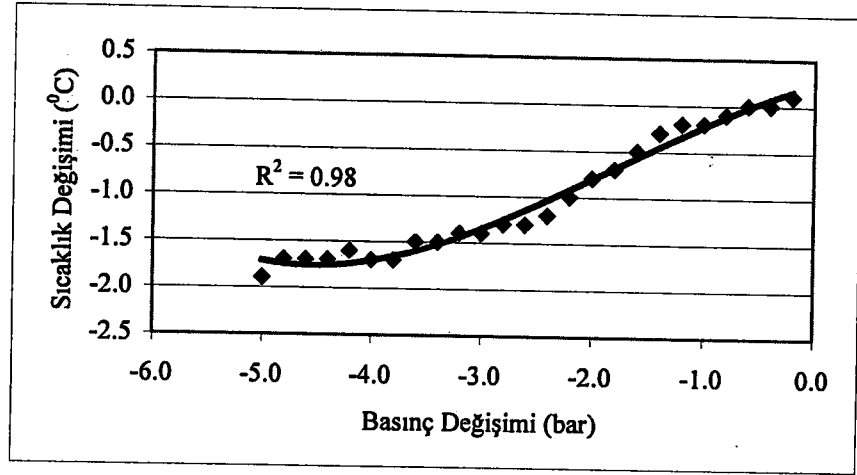


(b)

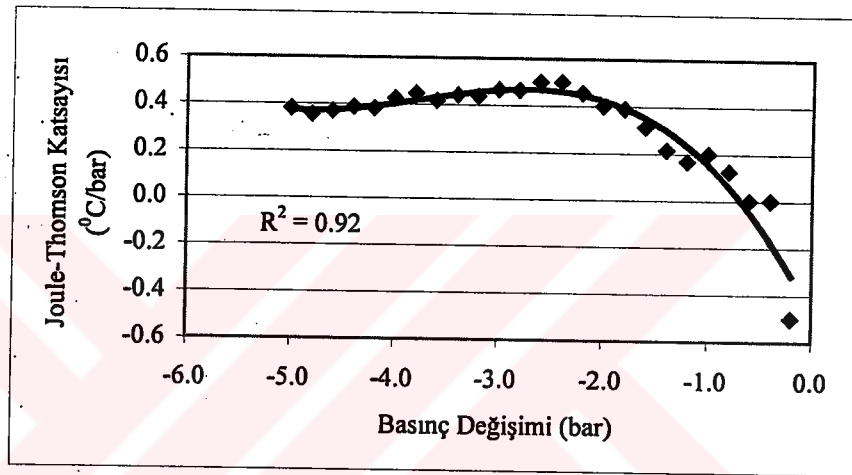


(c)

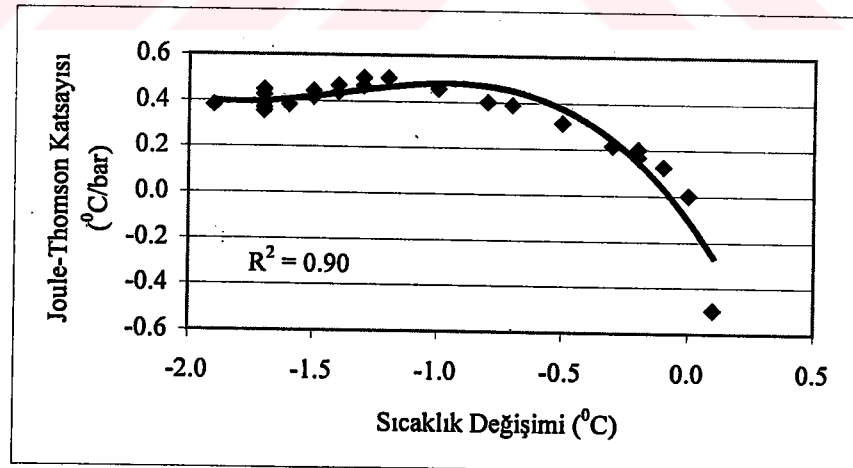
Şekil 4.13 3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

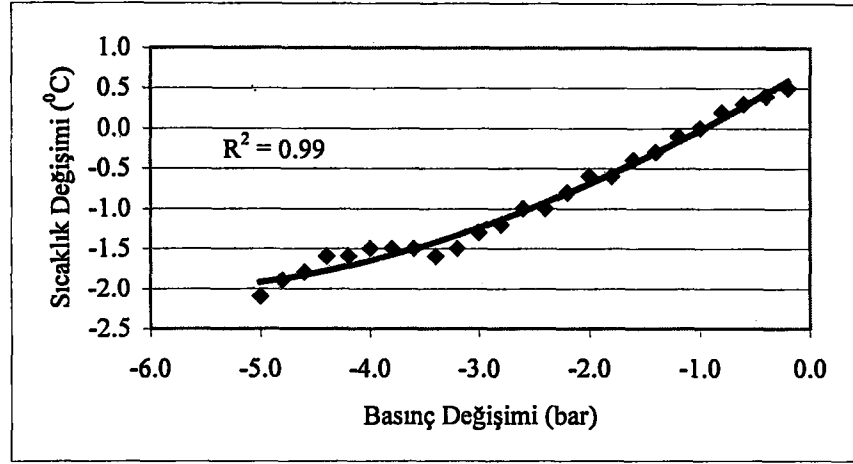


(b)

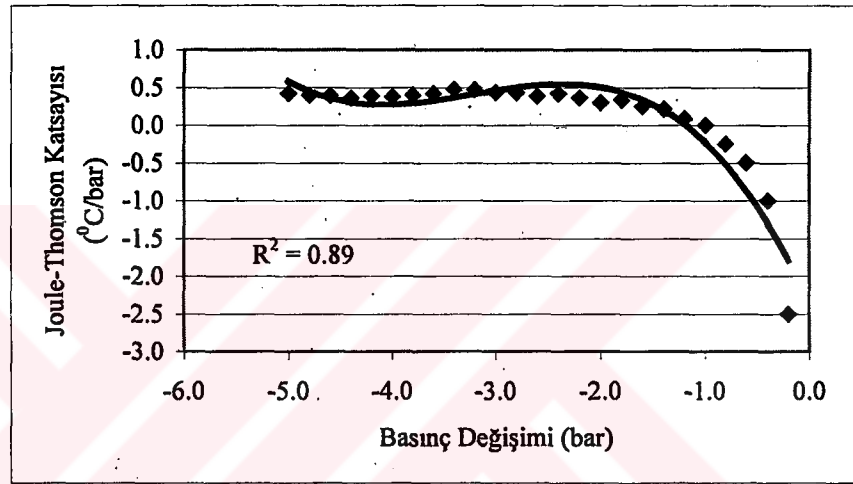


(c)

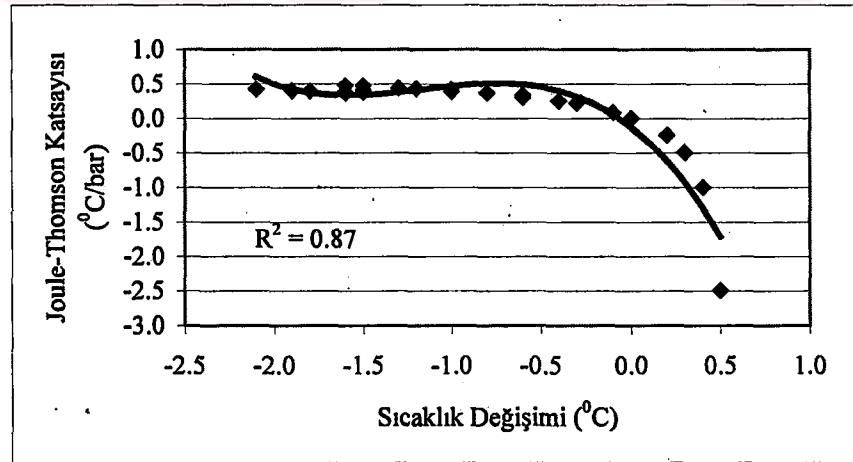
Şekil 4.14 8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

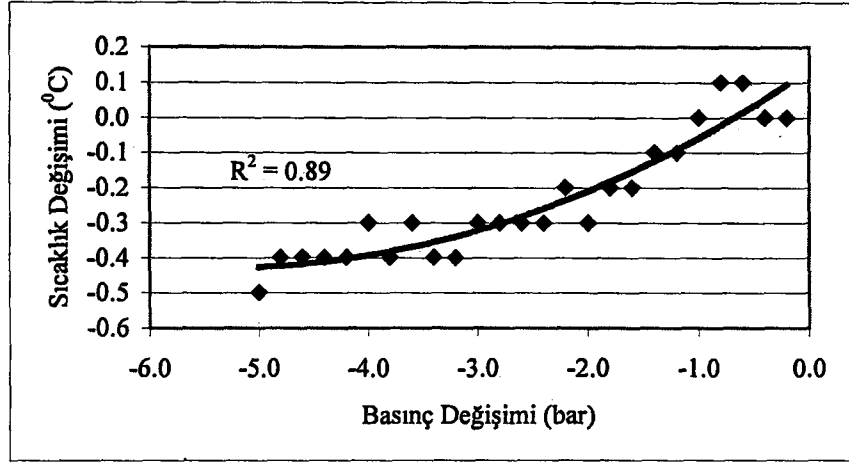


(b)

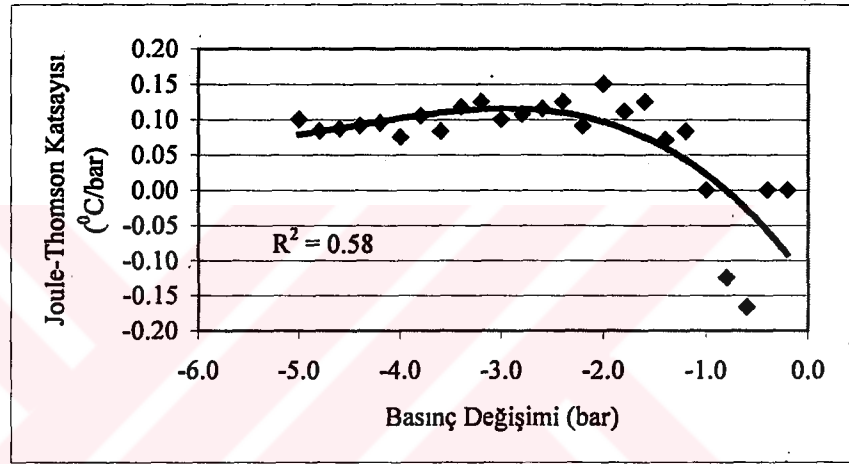


(c)

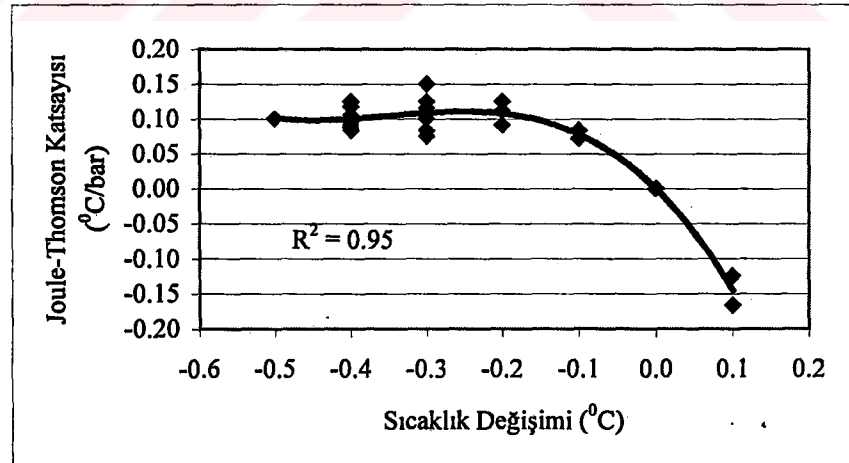
Şekil 4.15 12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

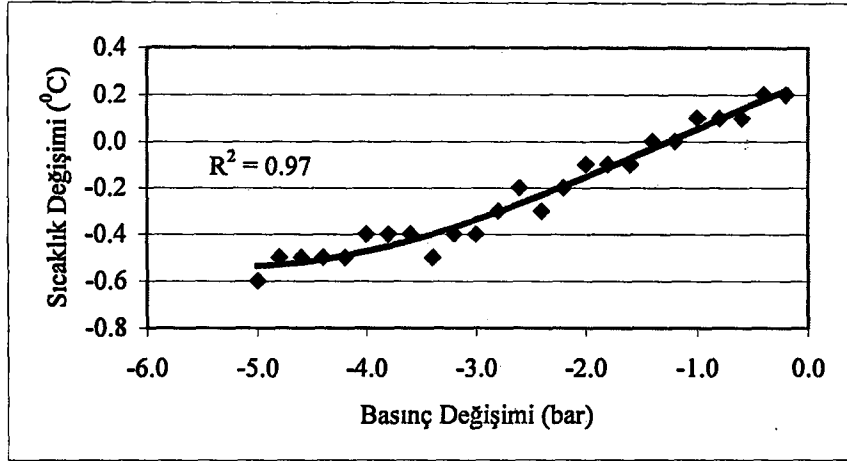


(b)

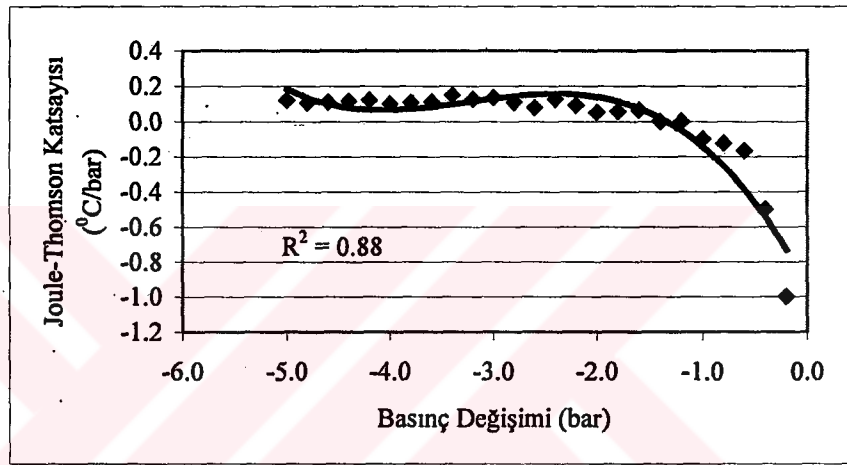


(c)

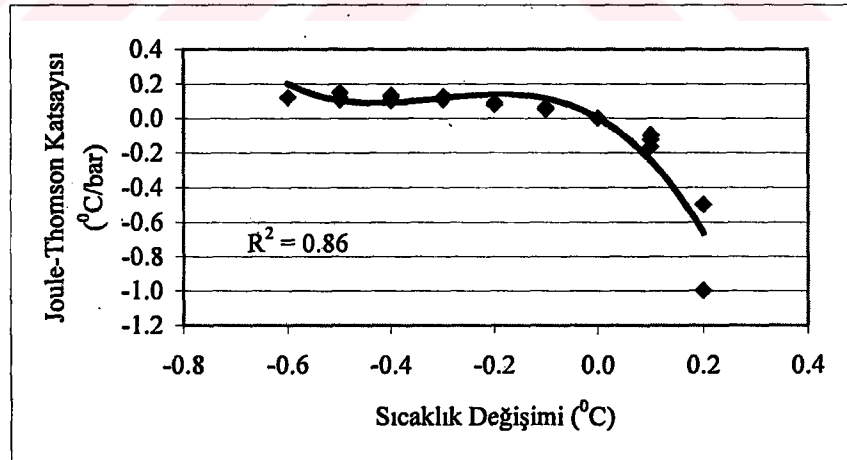
Şekil 4.16 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

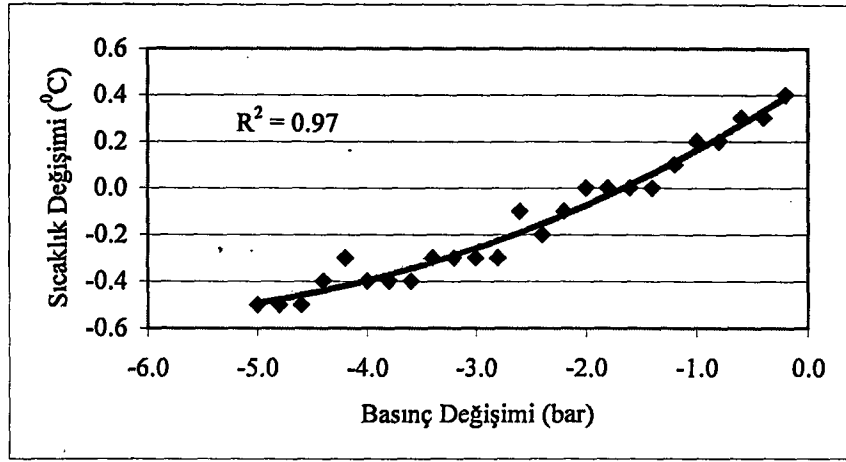


(b)

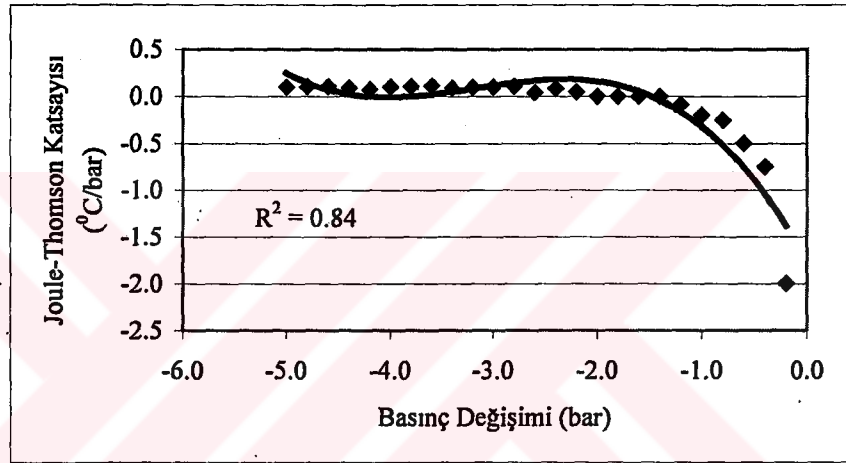


(c)

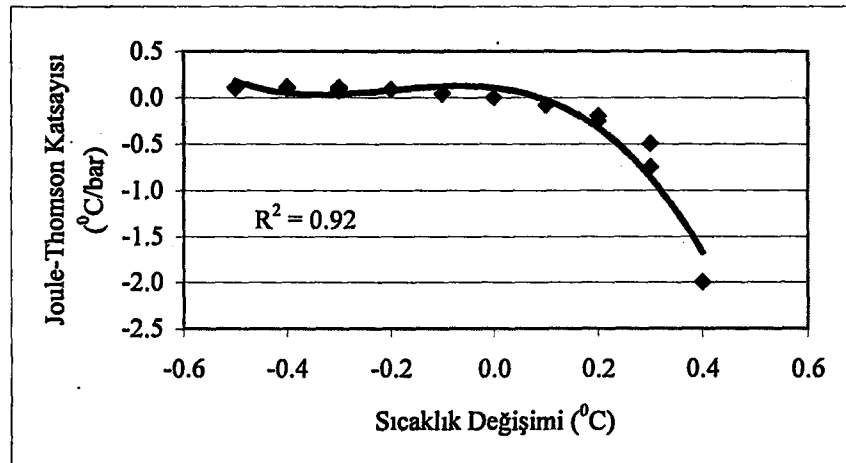
Şekil 4.17 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

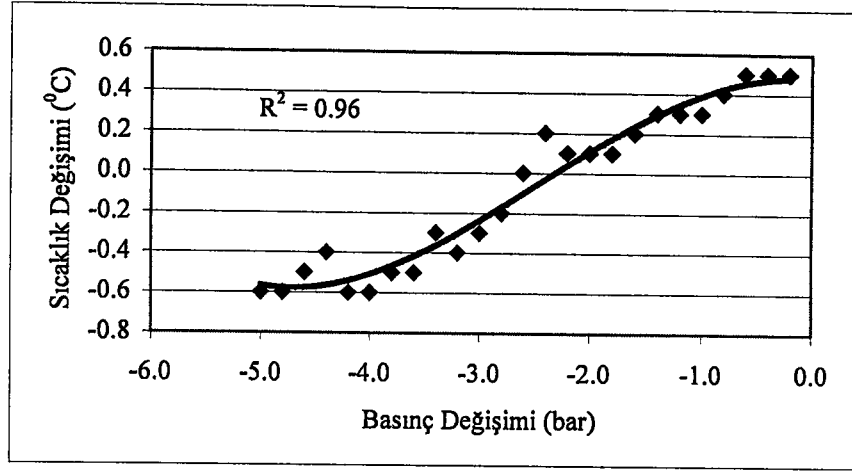


(b)

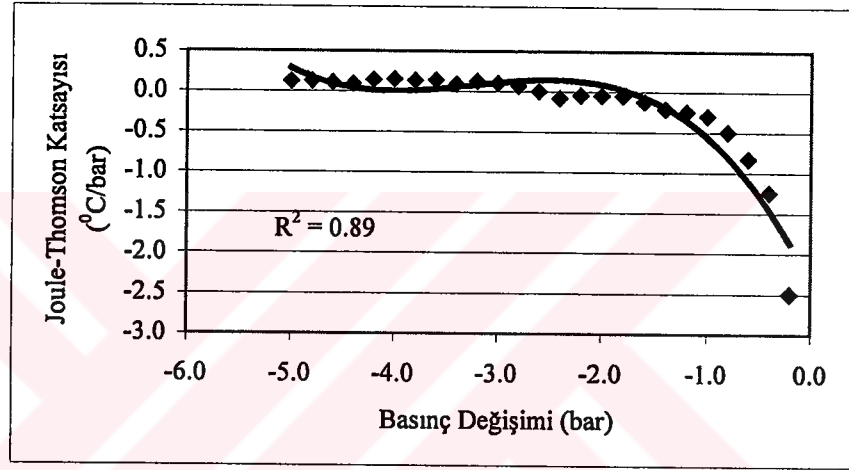


(c)

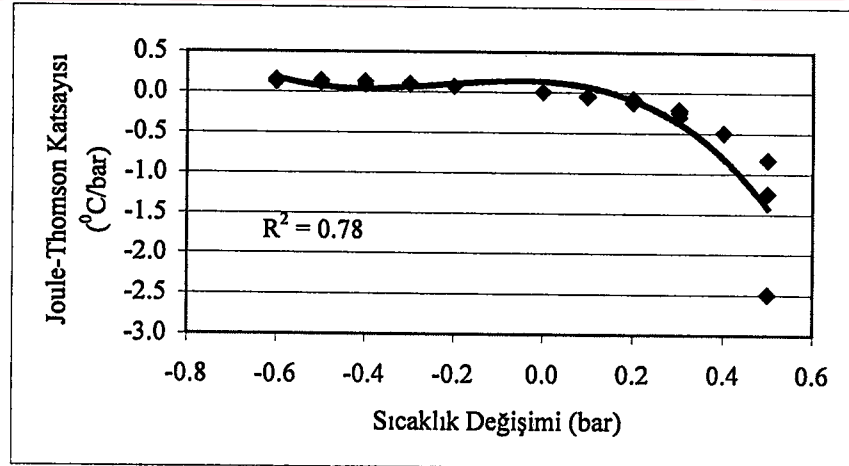
Şekil 4.18 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

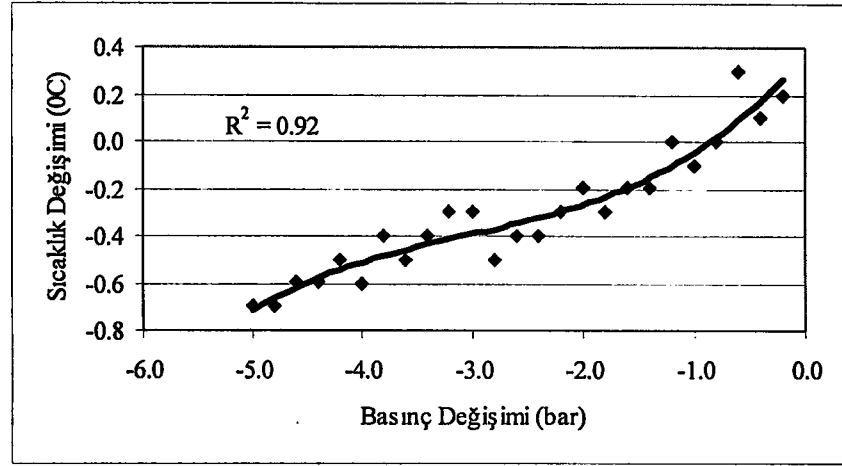


(b)

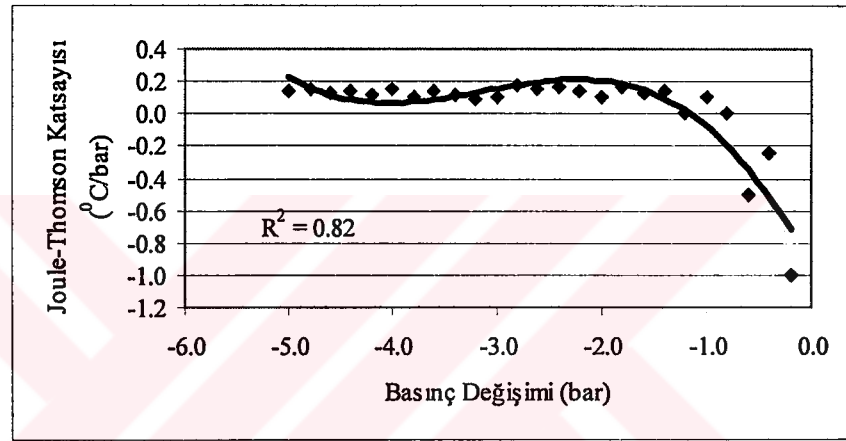


(c)

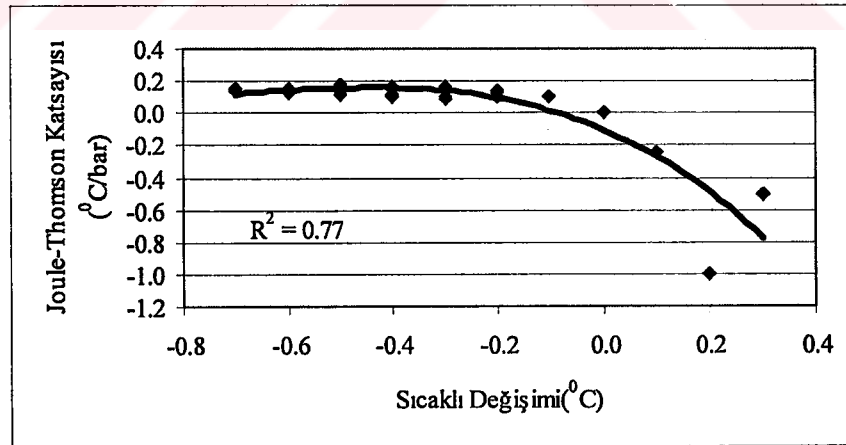
Şekil 4.19 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Argon (Ar)** gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

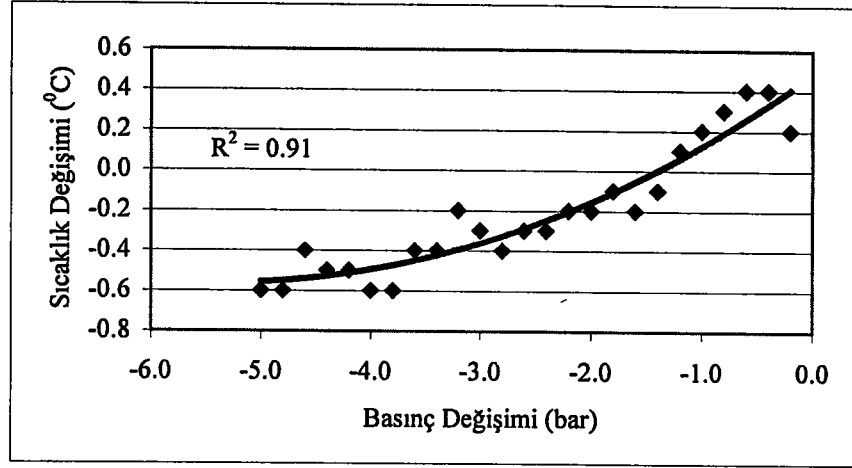


(b)

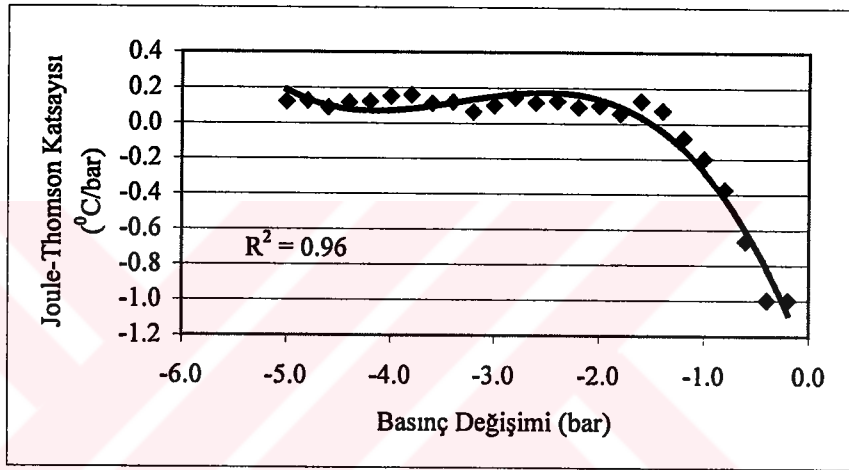


(c)

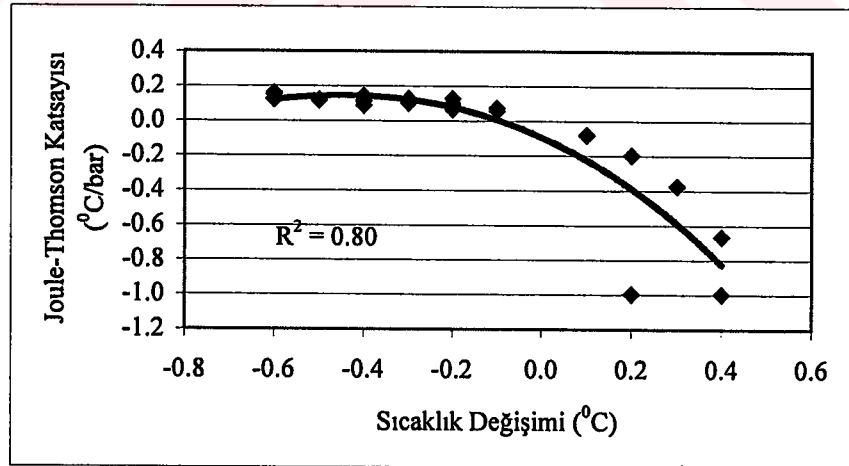
Şekil 4.20 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Argon** (Ar) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

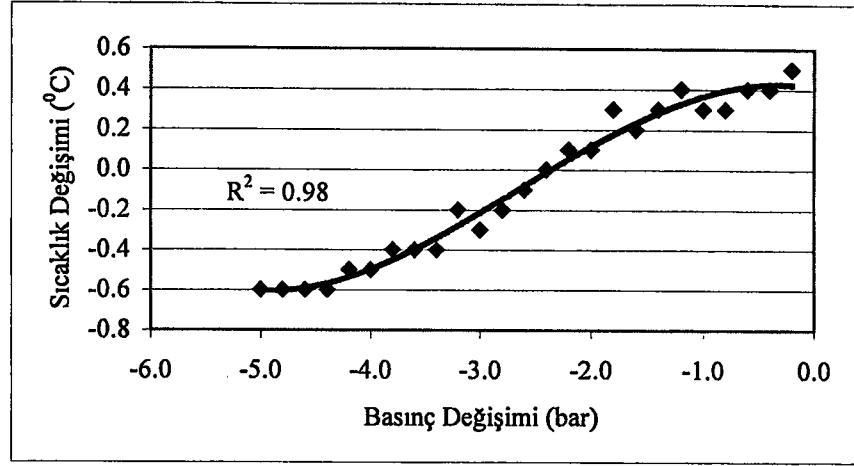


(b)

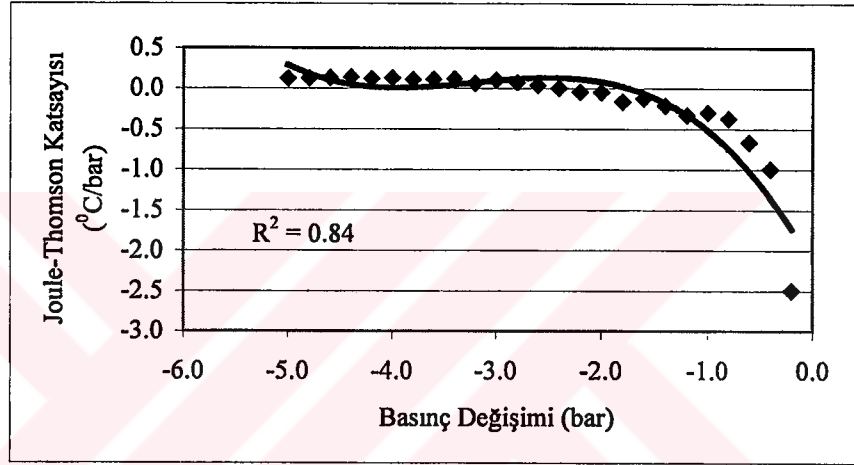


(c)

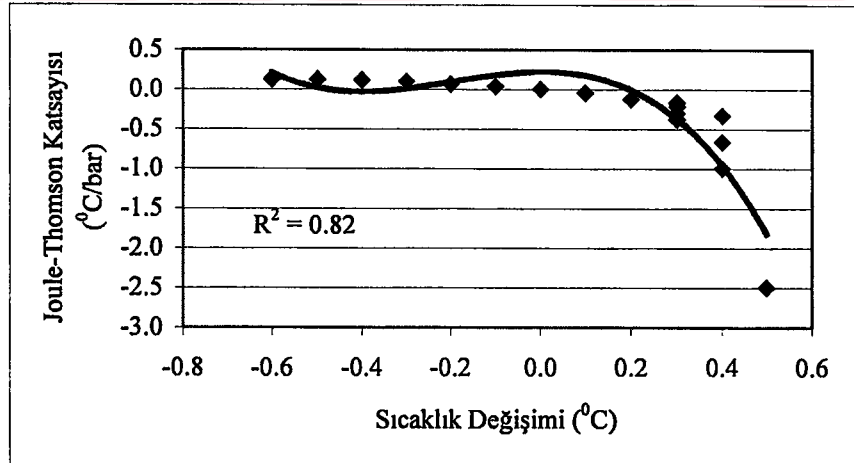
Şekil 4.21 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Argon** (Ar) gazı için kısımla deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

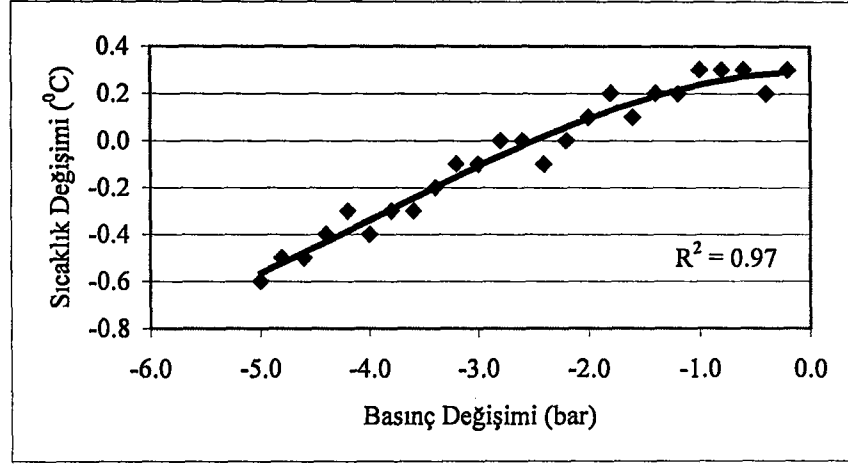


(b)

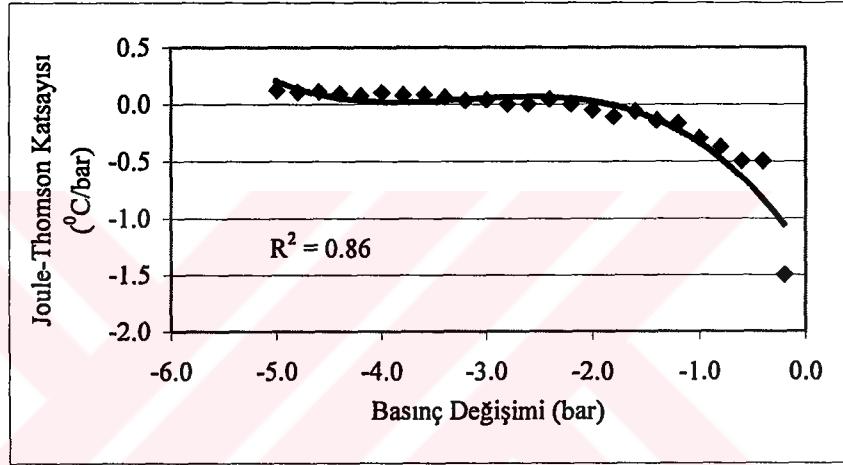


(c)

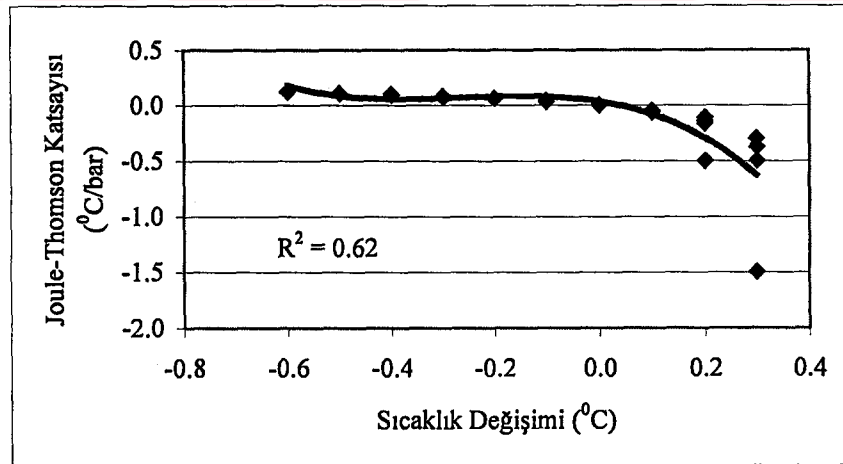
Şekil 4.22 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen (O₂)** gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

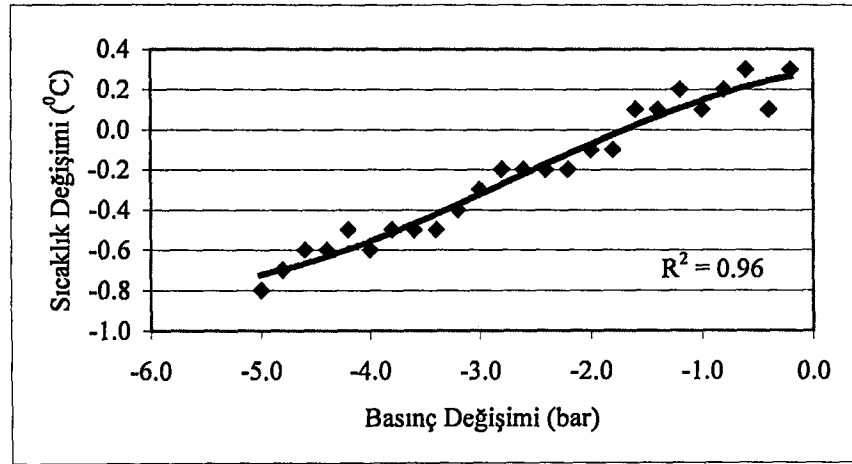


(b)

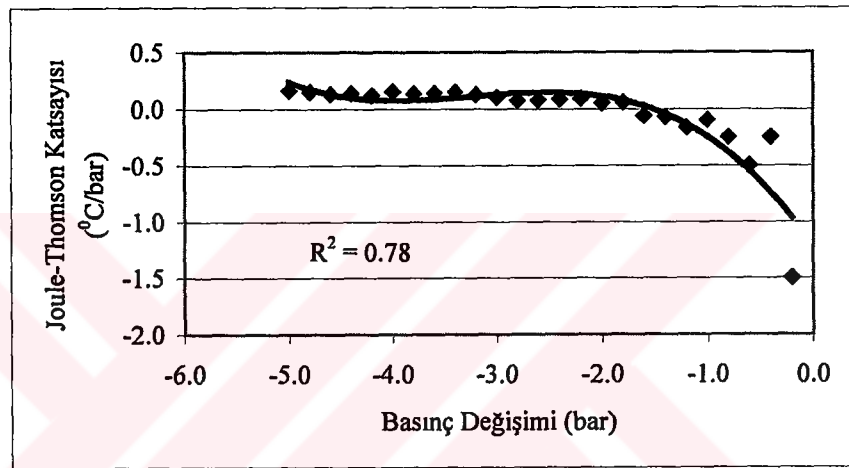


(c)

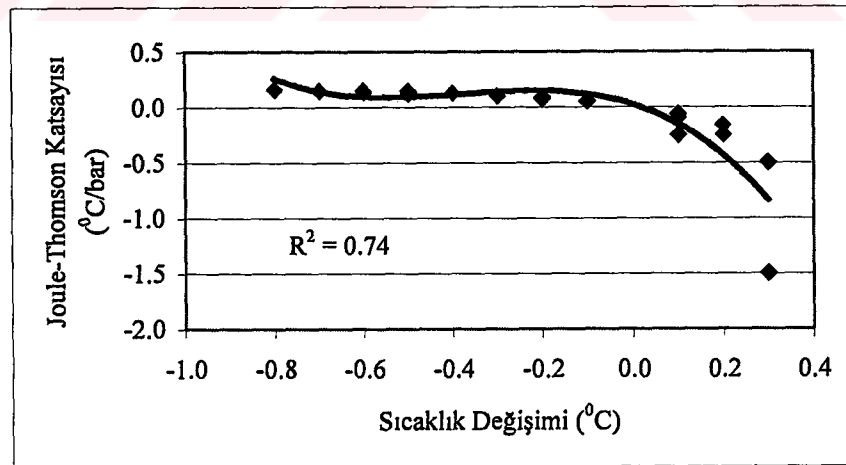
Şekil 4.23 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

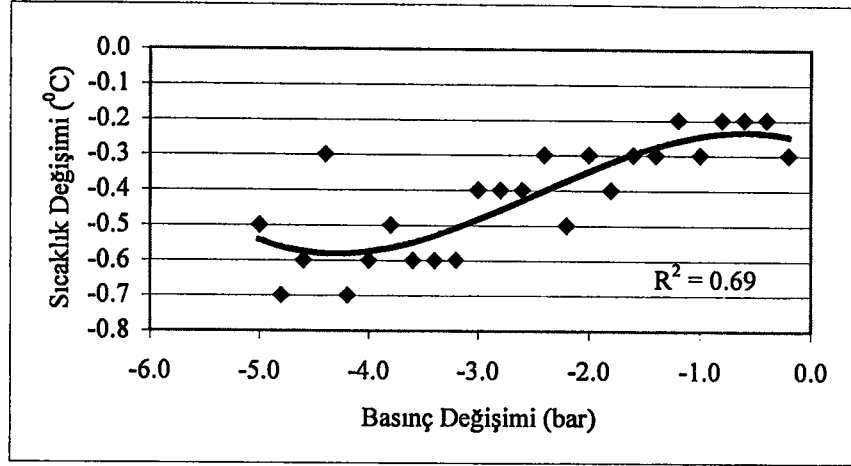


(b)

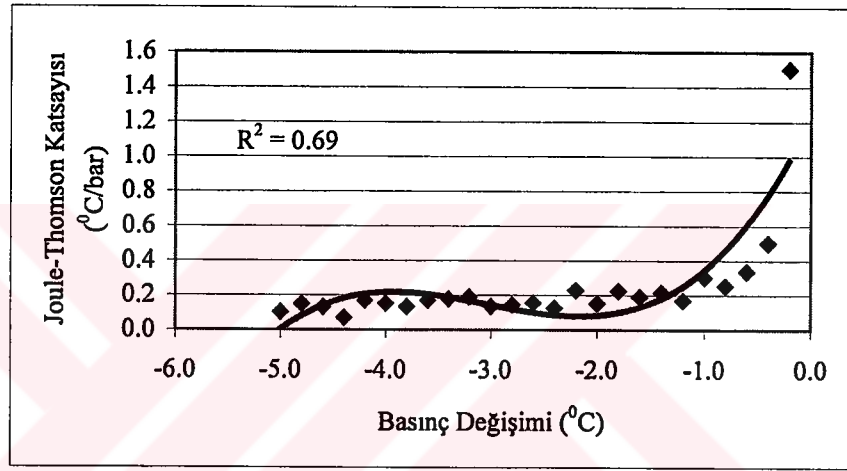


(c)

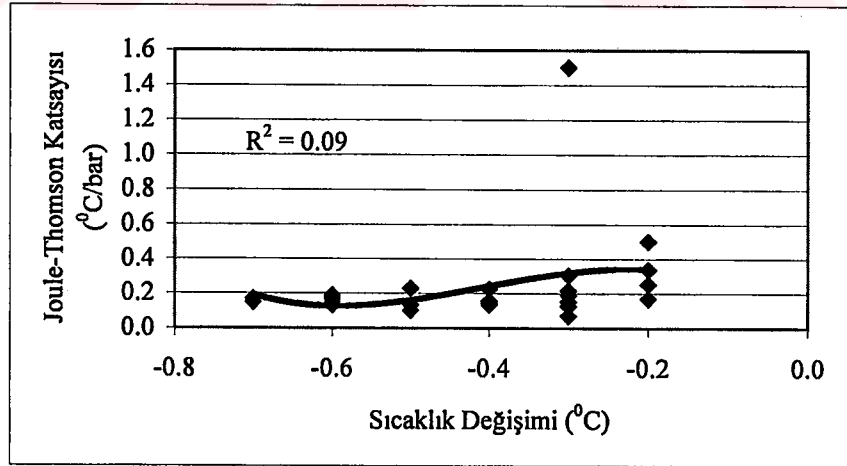
Şekil 4.24 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

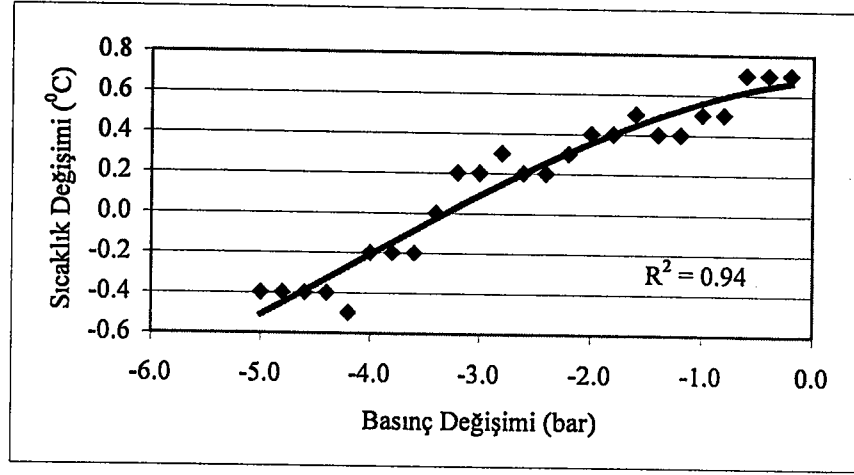


(b)

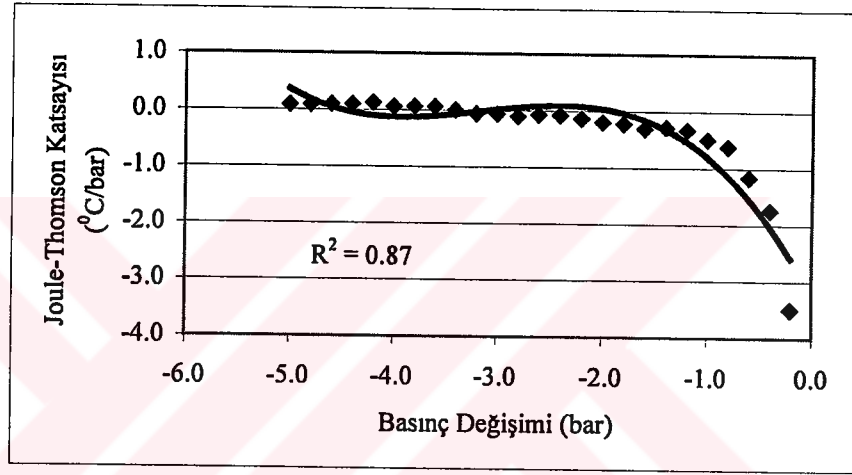


(c)

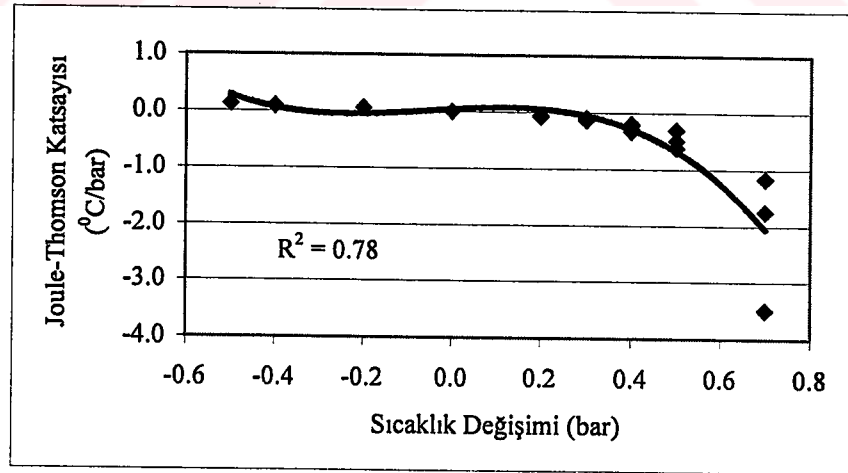
Şekil 4.25 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen** (O_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

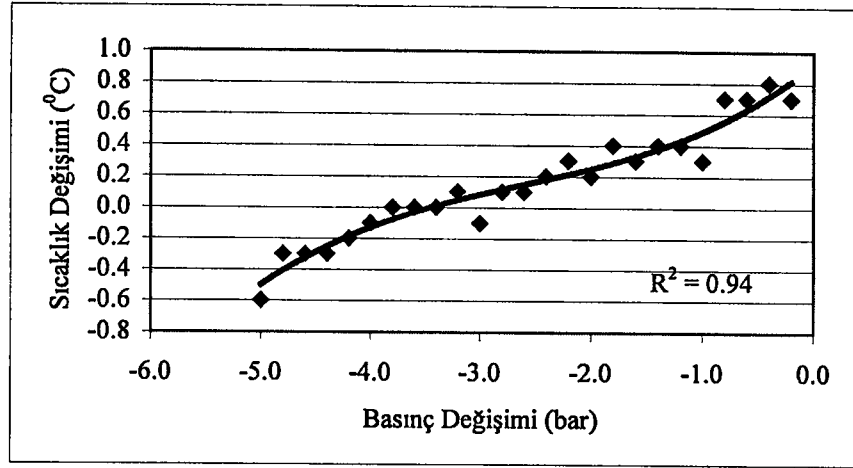


(b)

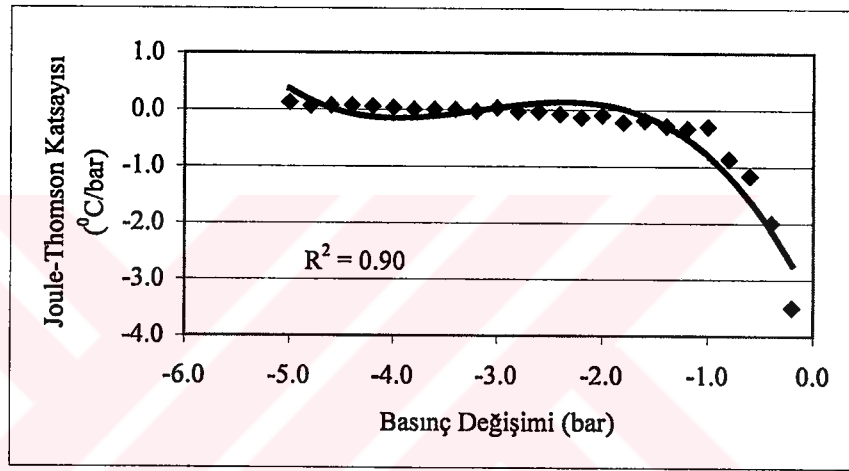


(c)

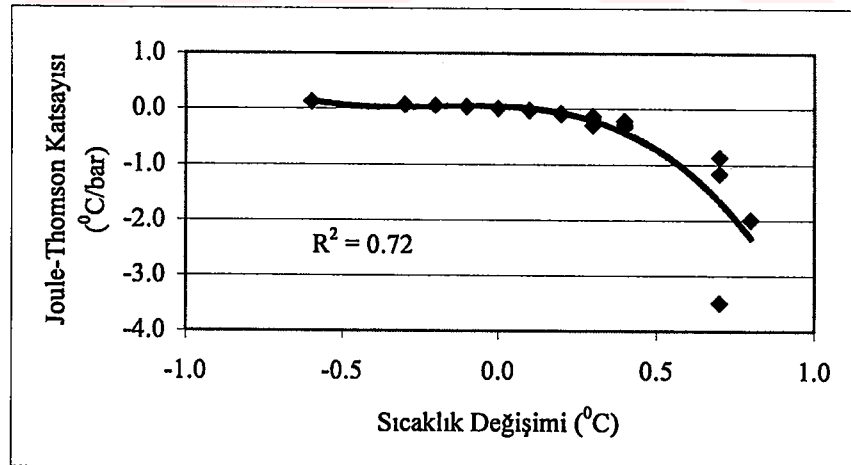
Şekil 4.26 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen** (O_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

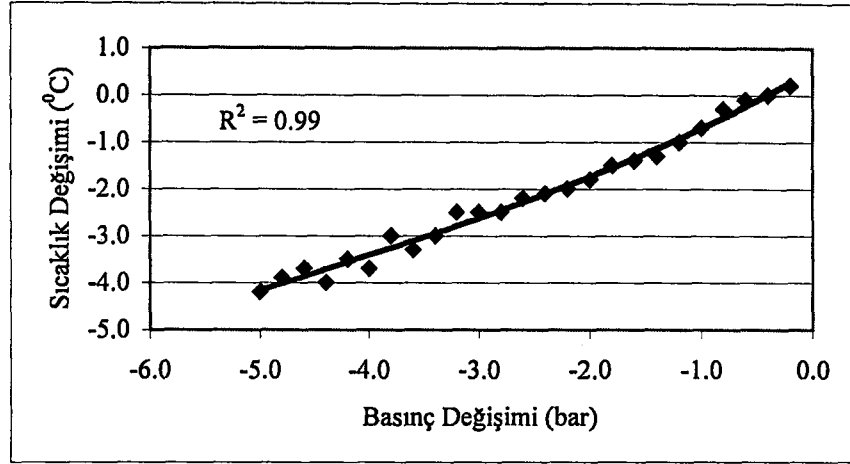


(b)

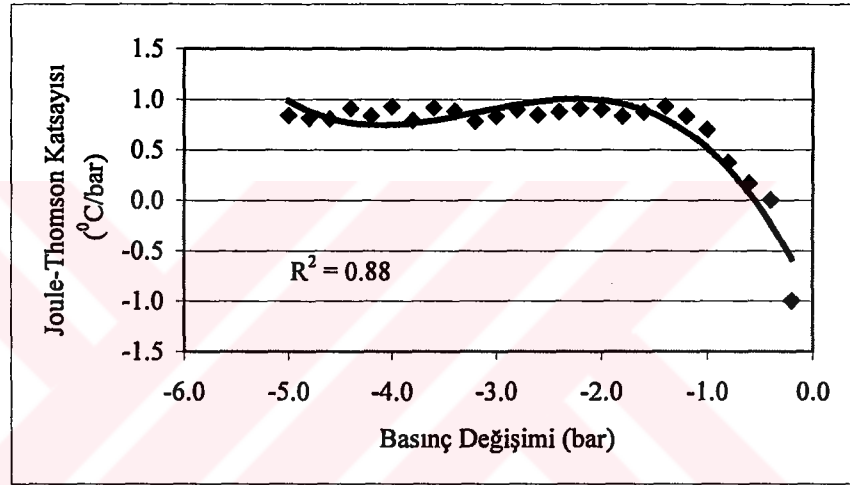


(c)

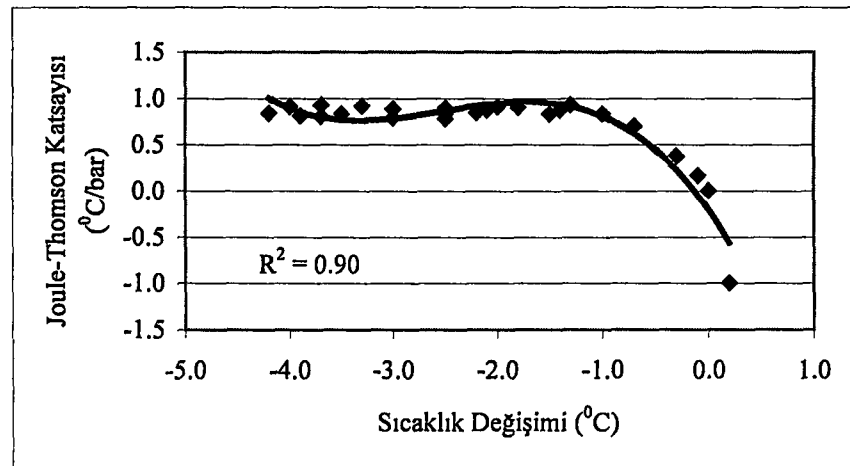
Şekil 4.27 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen** (O_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

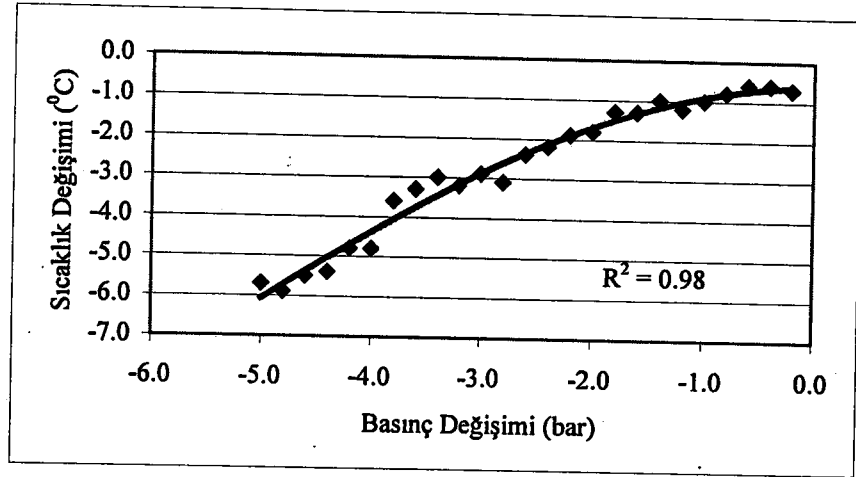


(b)

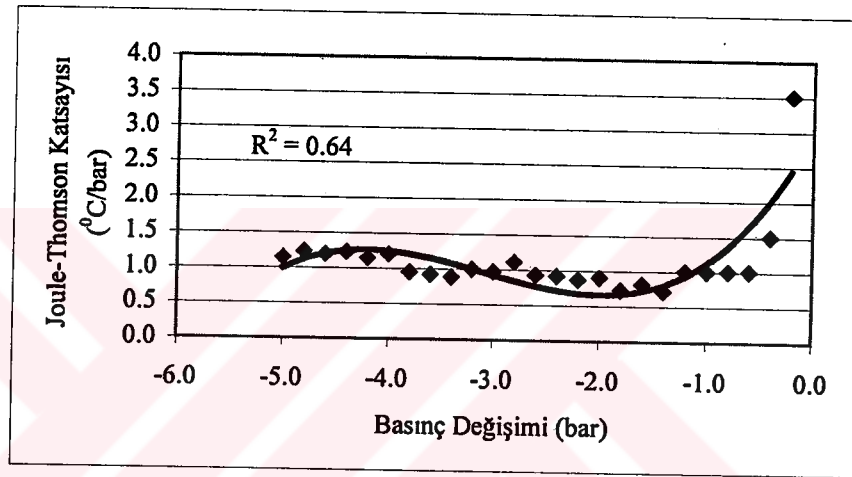


(c)

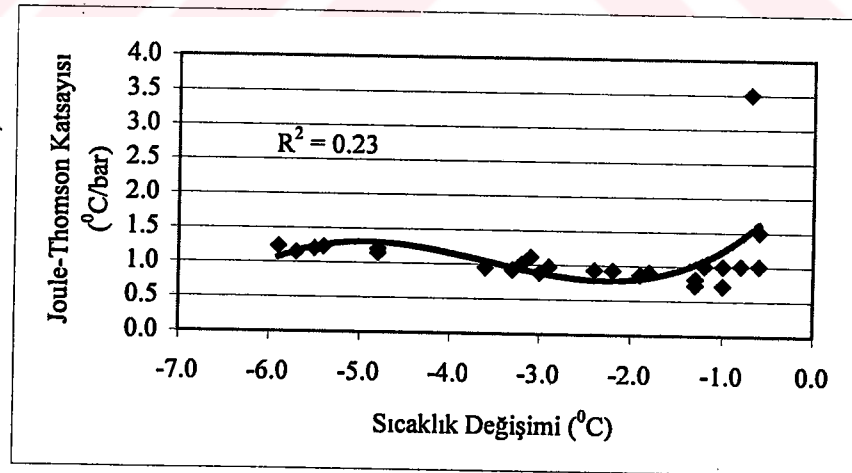
Şekil 4.28 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

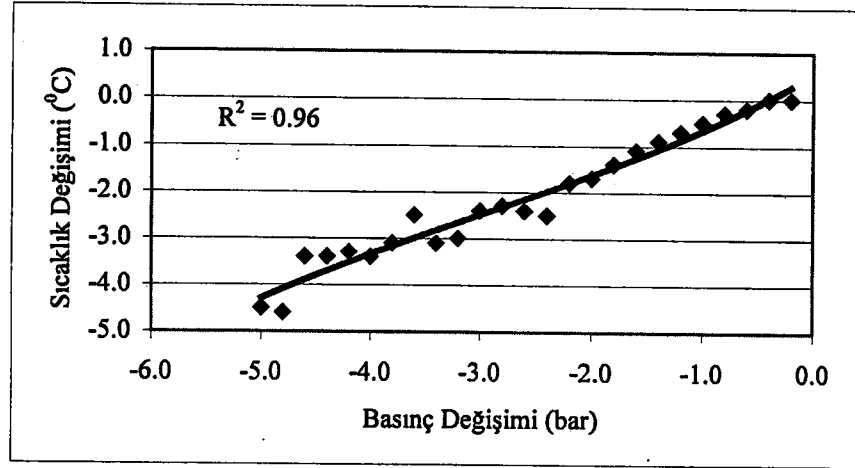


(b)

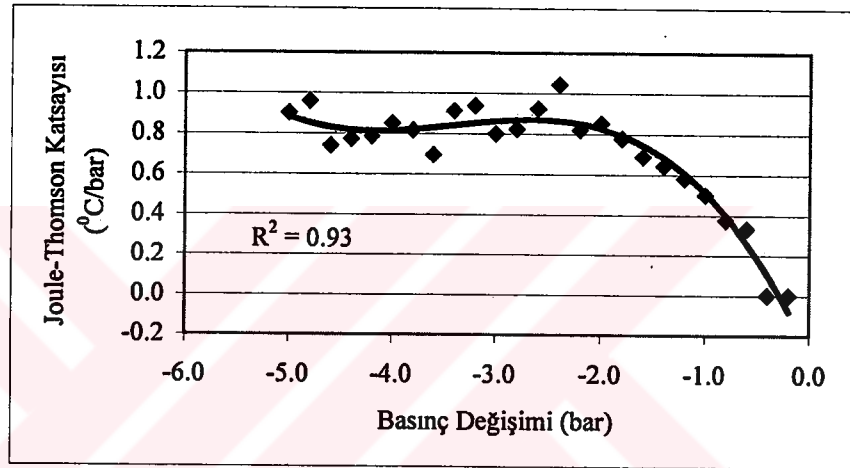


(c)

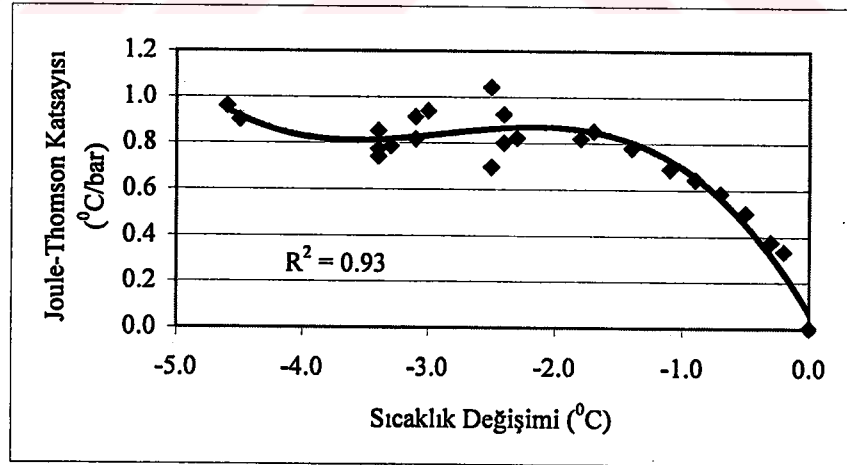
Şekil 4.29 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

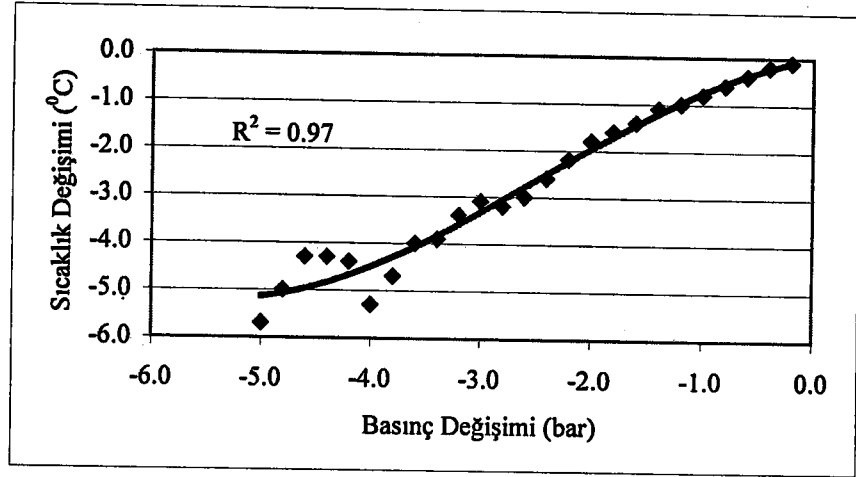


(b)

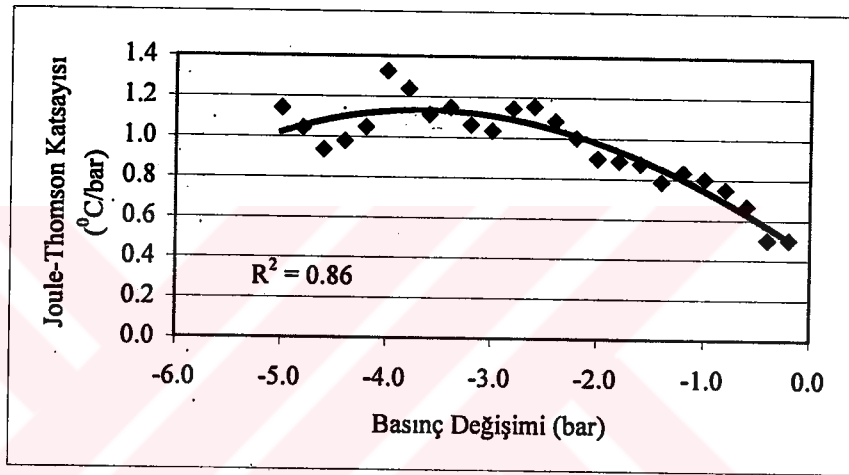


(c)

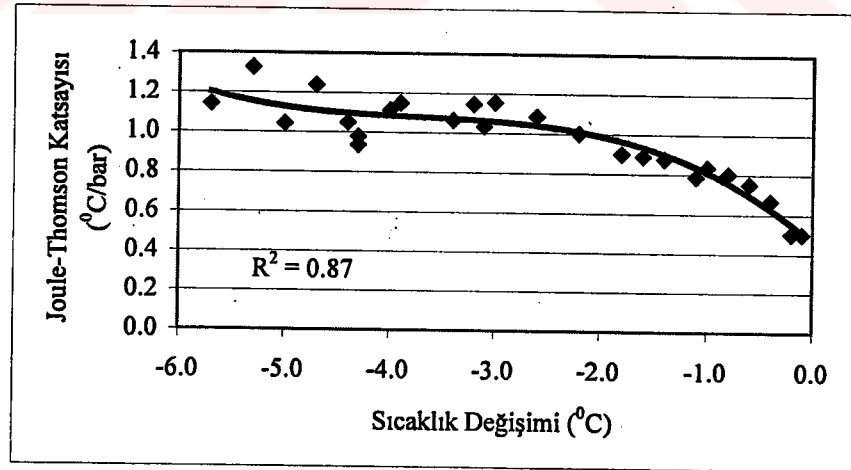
Şekil 4.30 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

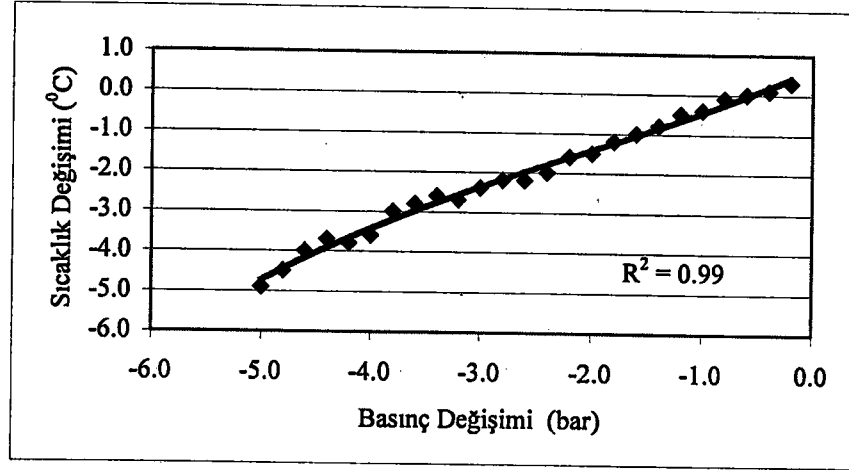


(b)

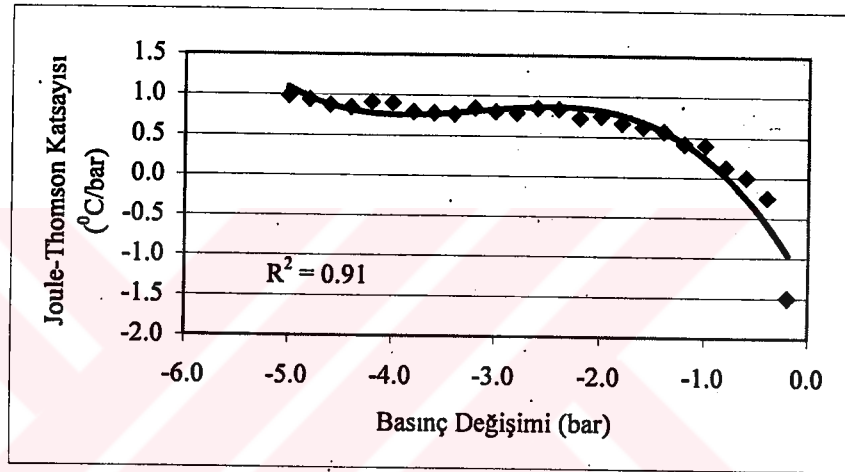


(c)

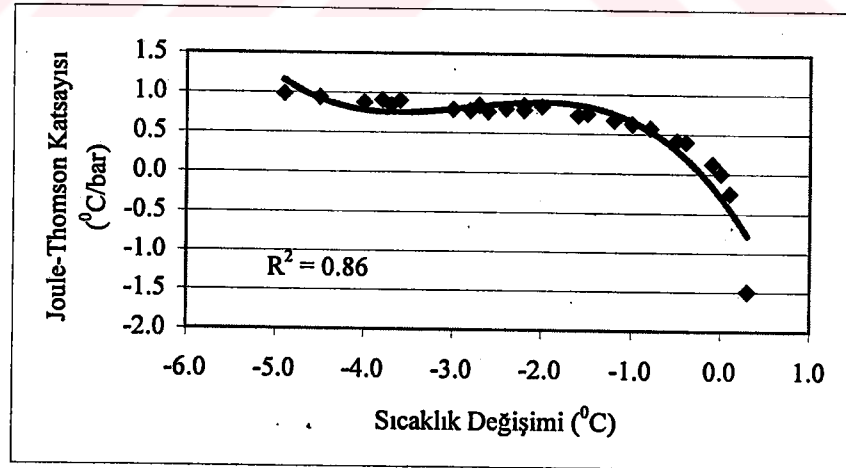
Şekil 4.31 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

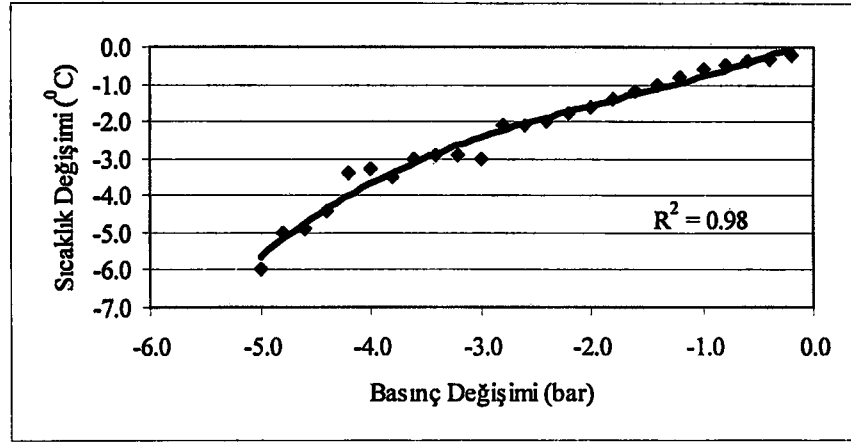


(b)

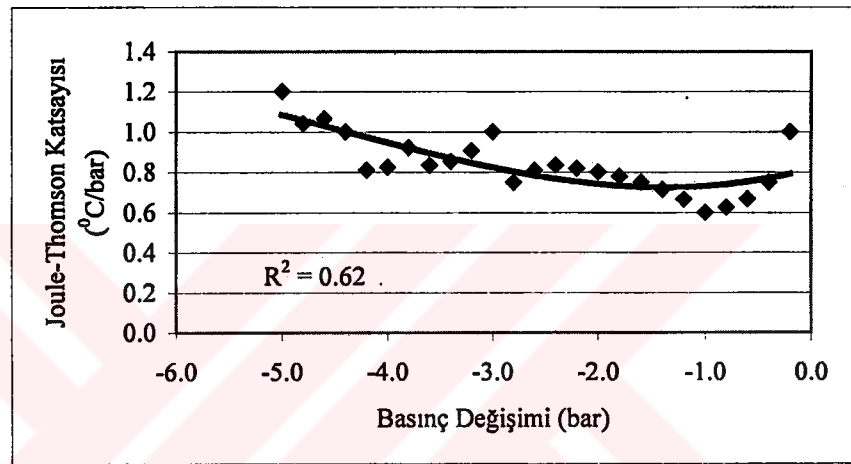


(c)

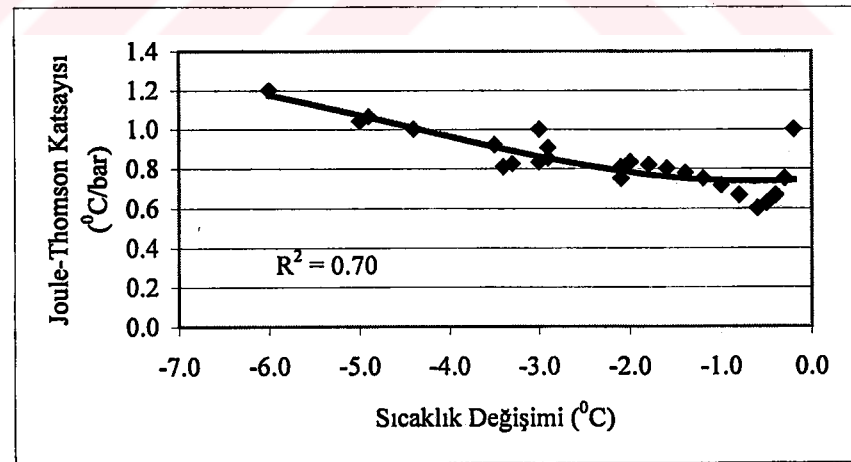
Şekil 4.32 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Freon-22** (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

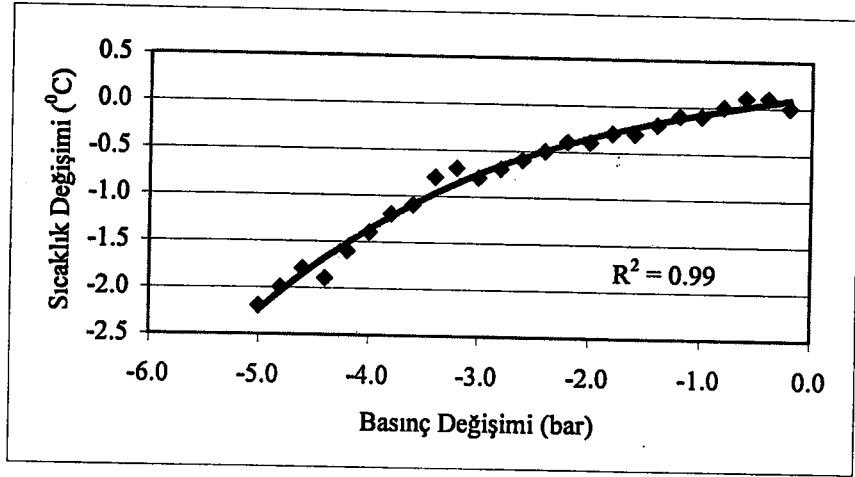


(b)

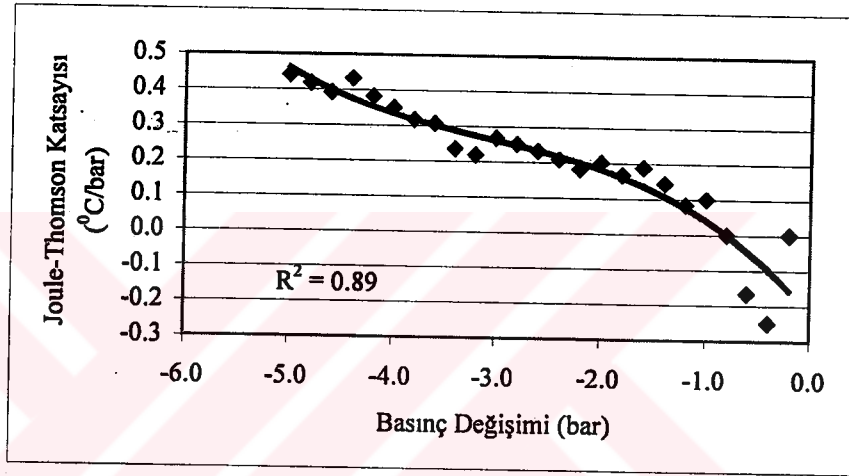


(c)

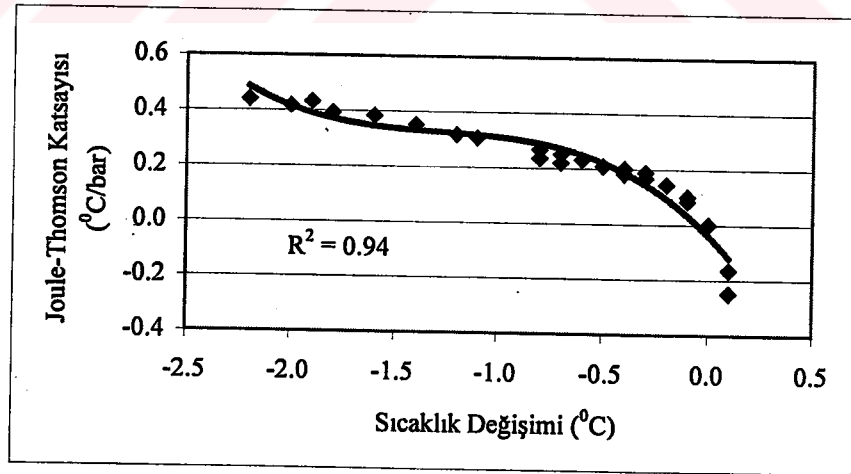
Şekil 4.33 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF_2) için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

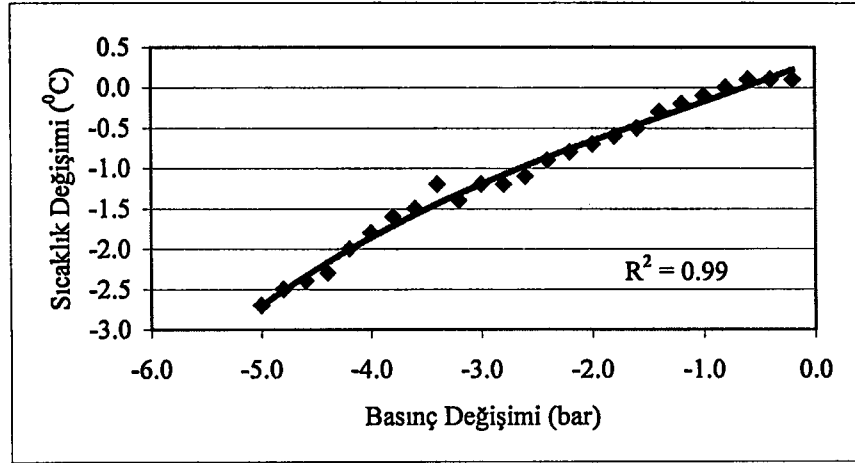


(b)

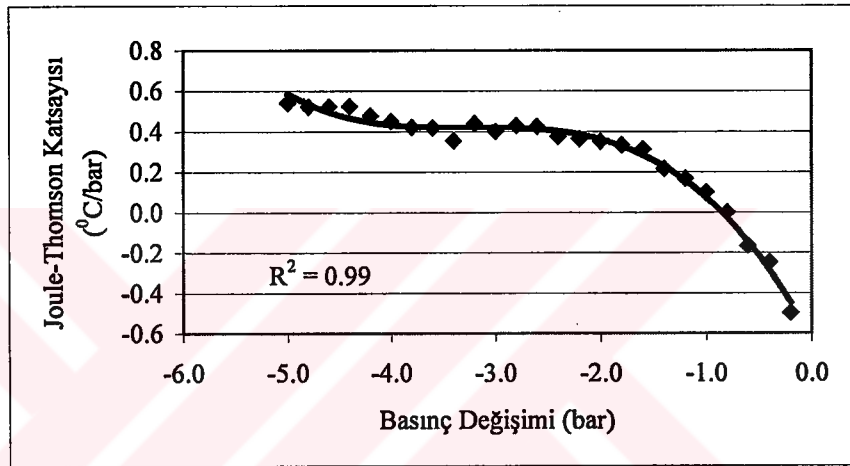


(c)

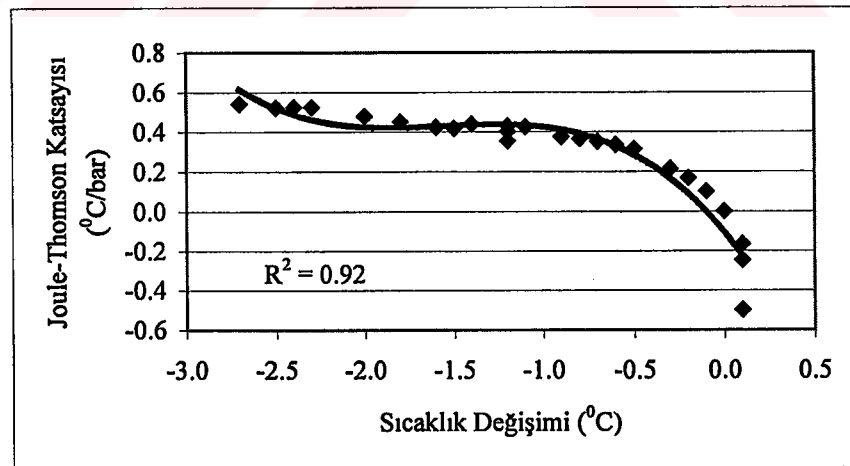
Şekil 4.34 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Karbondiyoksit (CO₂)** gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

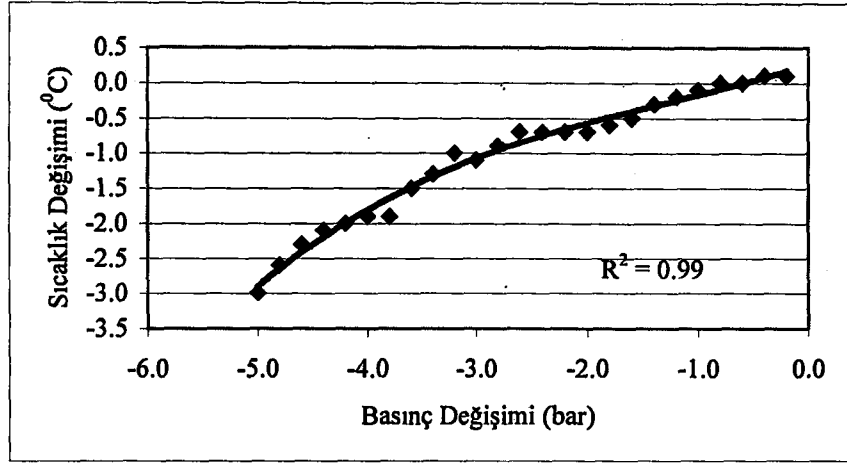


(b)

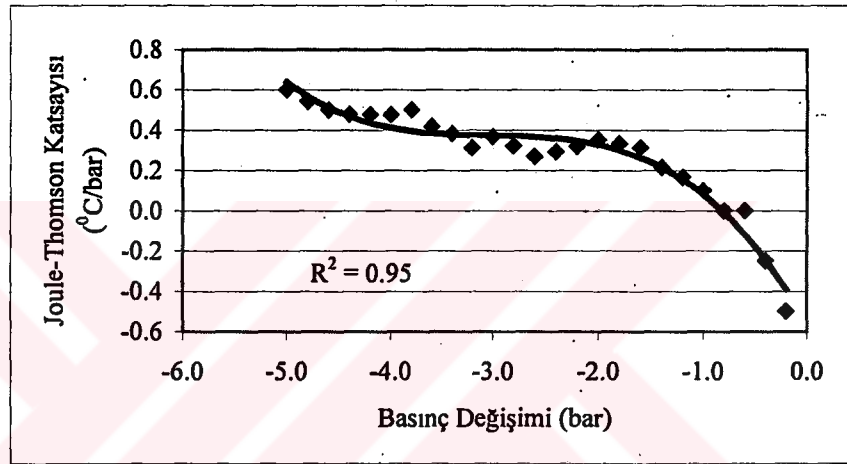


(c)

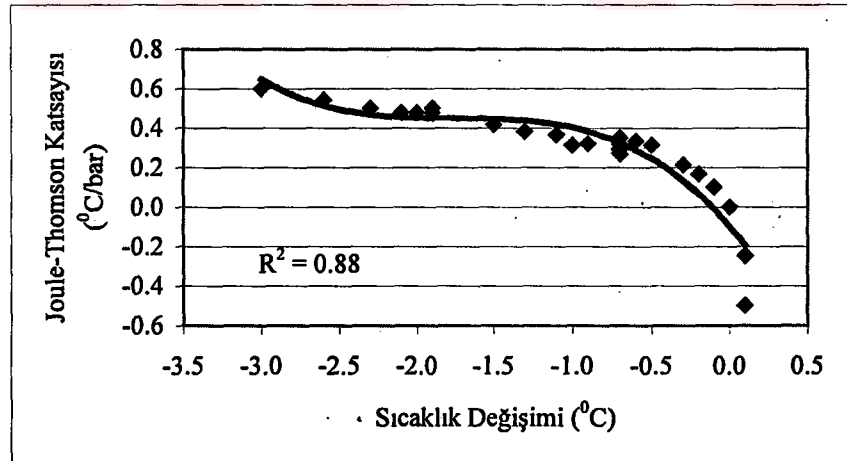
Şekil 4.35 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

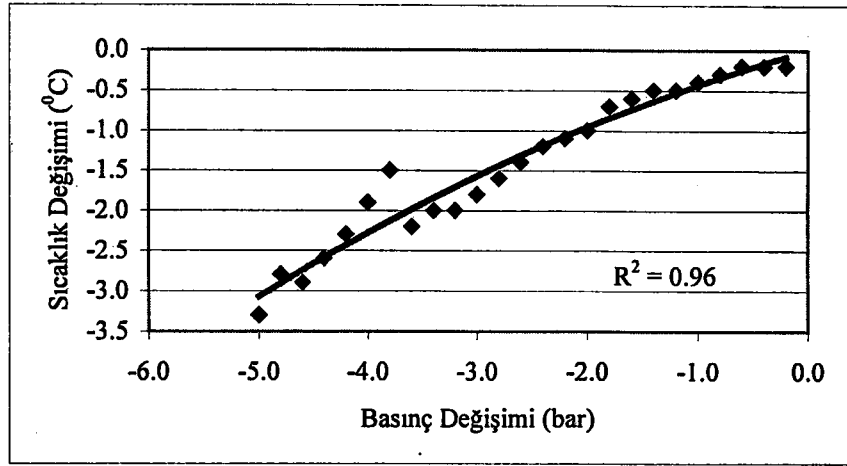


(b)

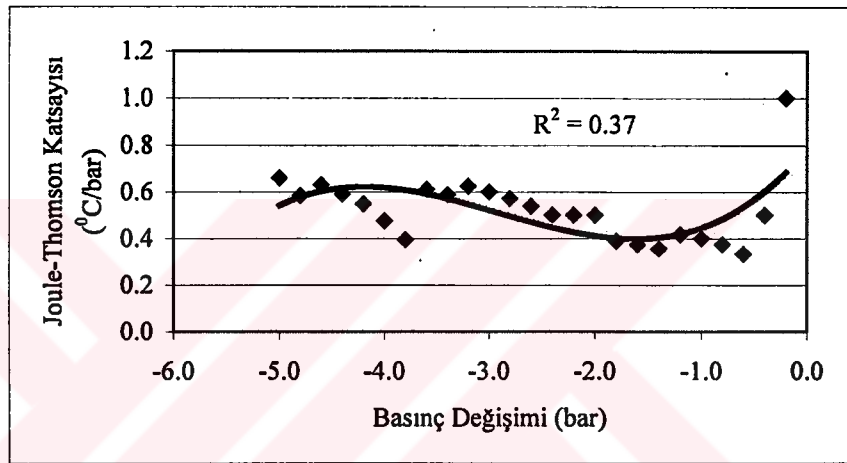


(c)

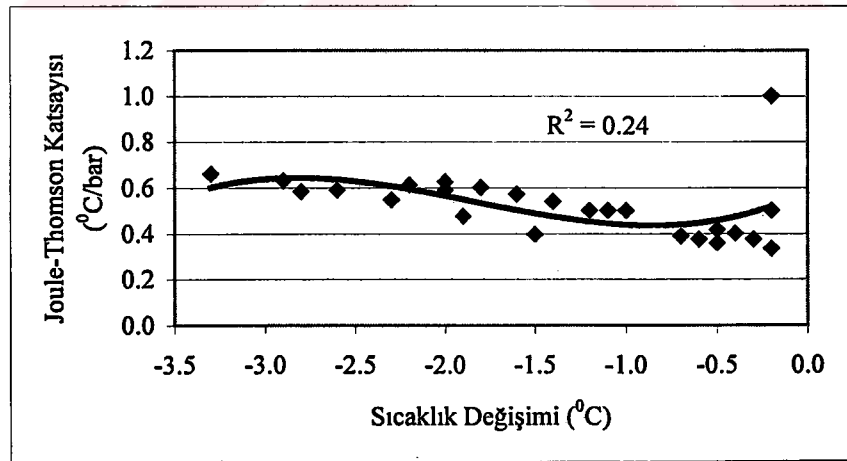
Şekil 4.36 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Karbondiyoksit (CO₂)** gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

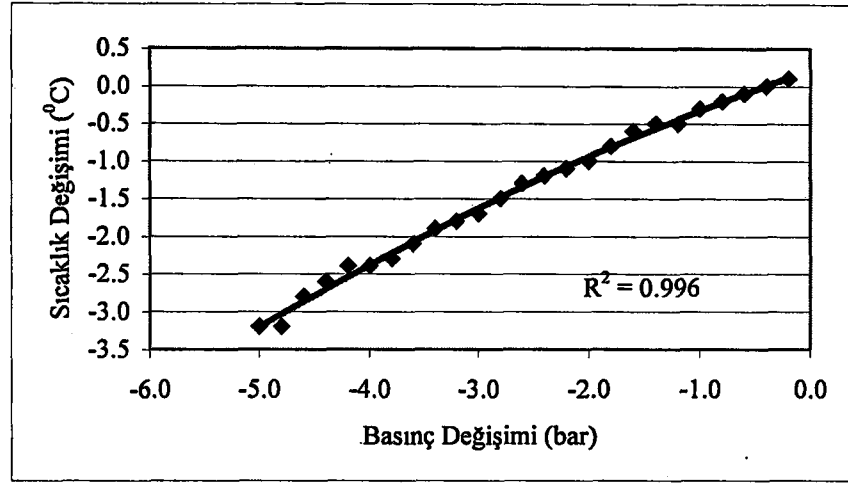


(b)

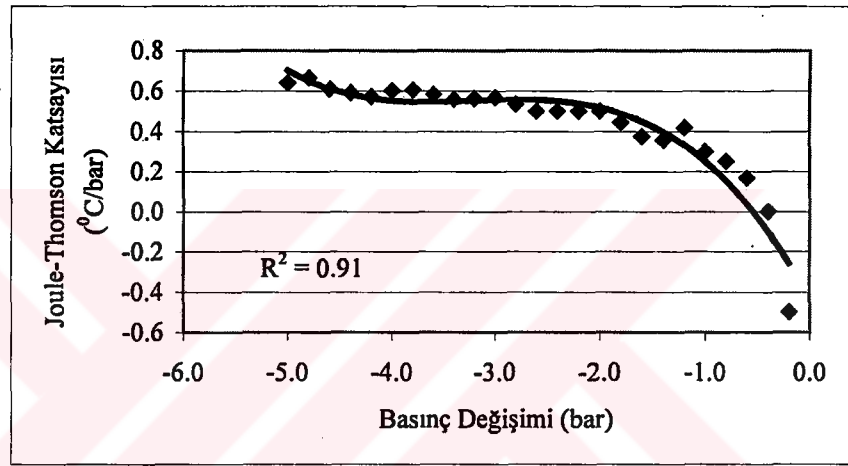


(c)

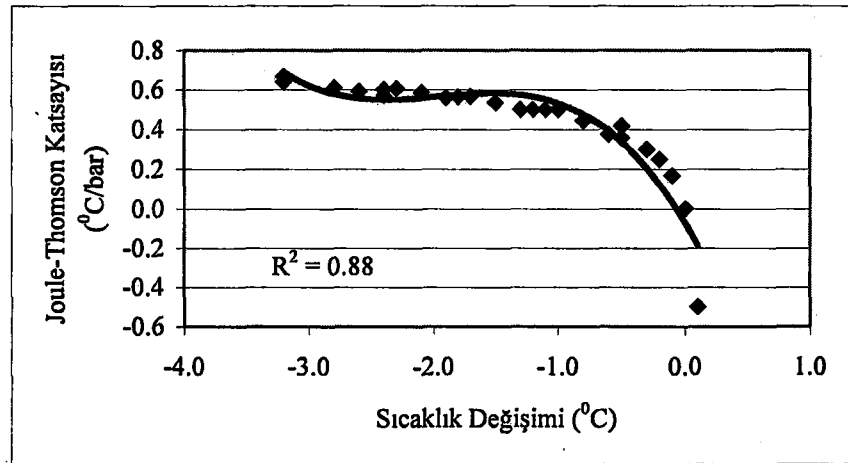
Şekil 4.37 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Karbondioksit (CO₂)** gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı –Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

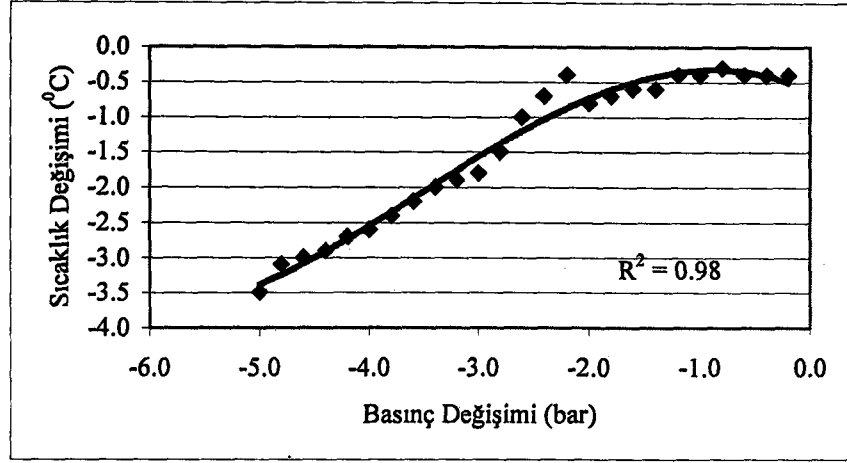


(b)

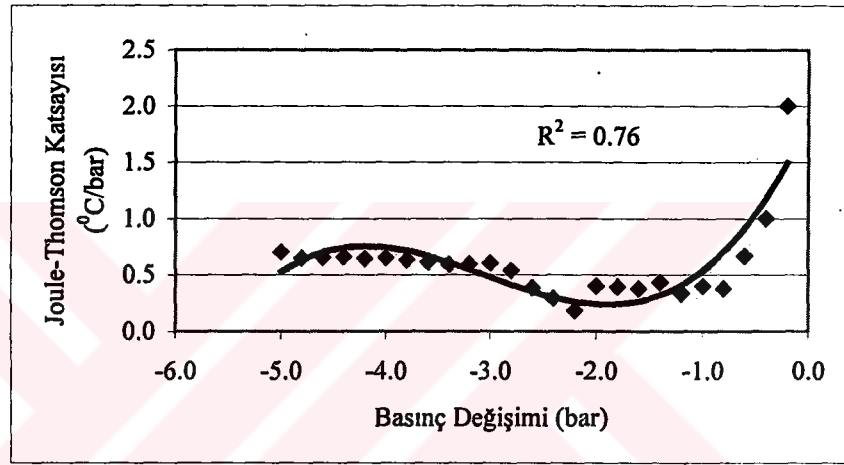


(c)

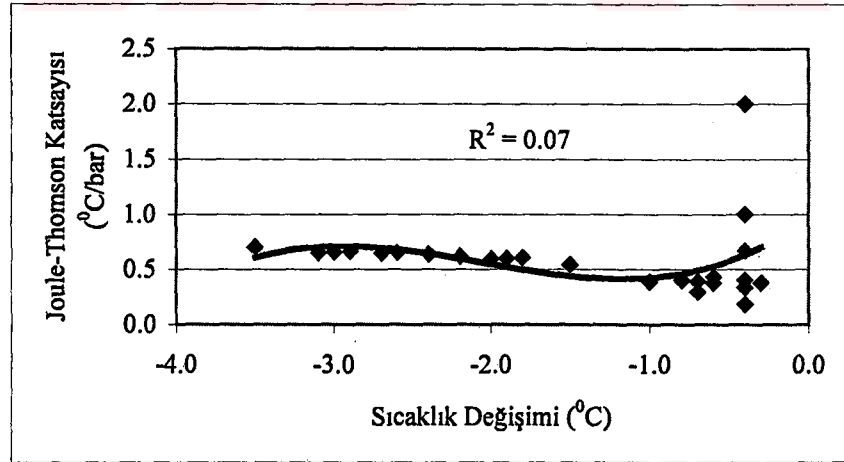
Şekil 4.38 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Karbondiyoksit (CO₂)** gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

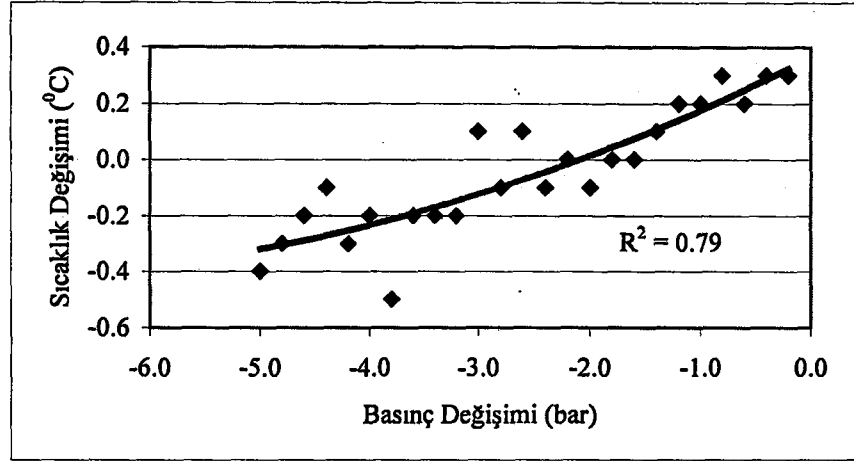


(b)

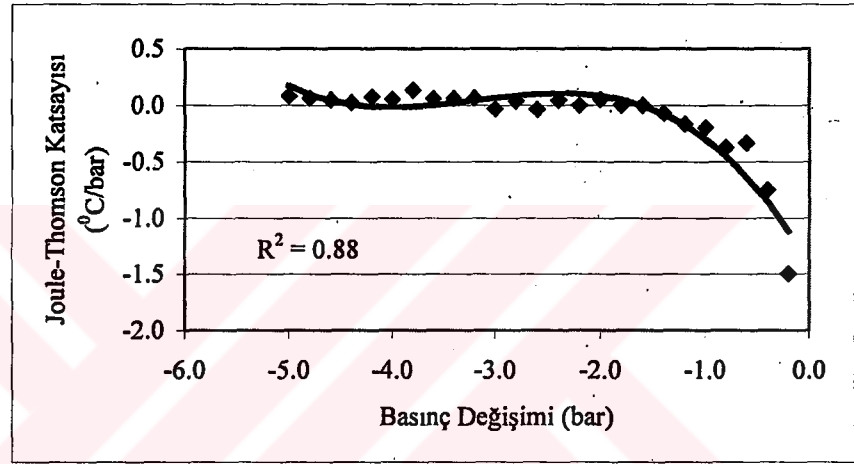


(c)

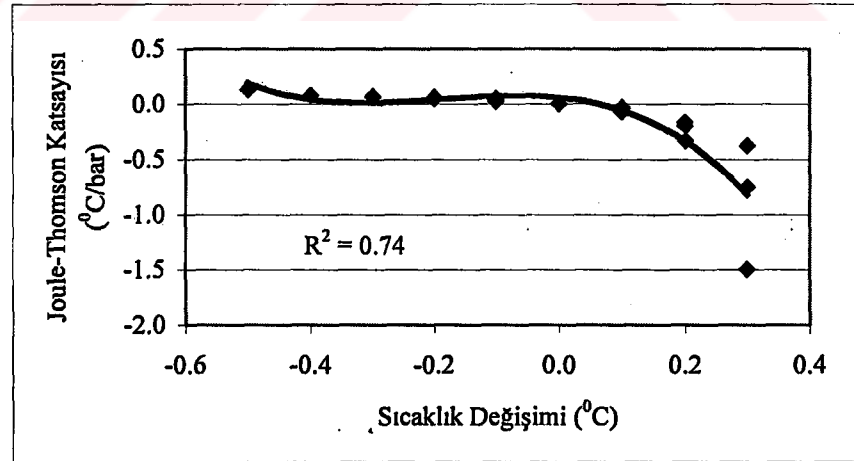
Şekil 4.39 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi-Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı-Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı-Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

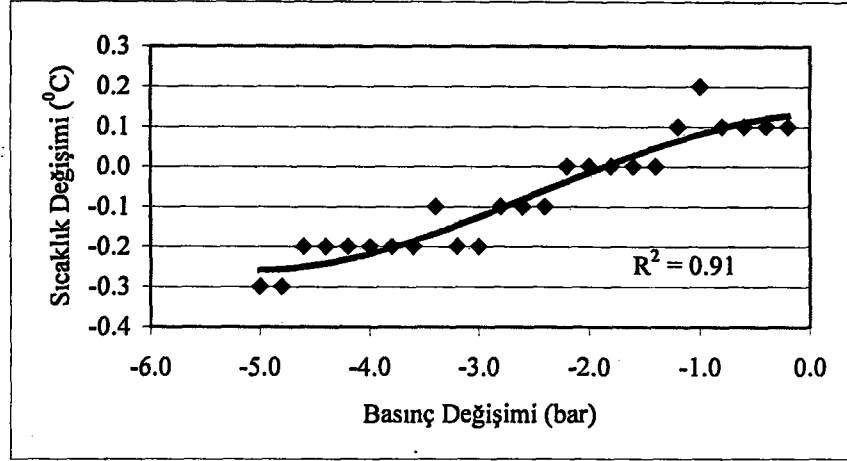


(b)

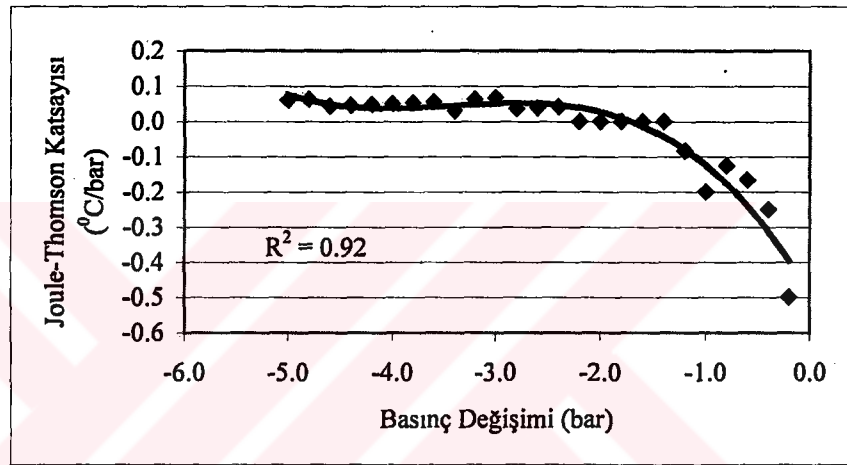


(c)

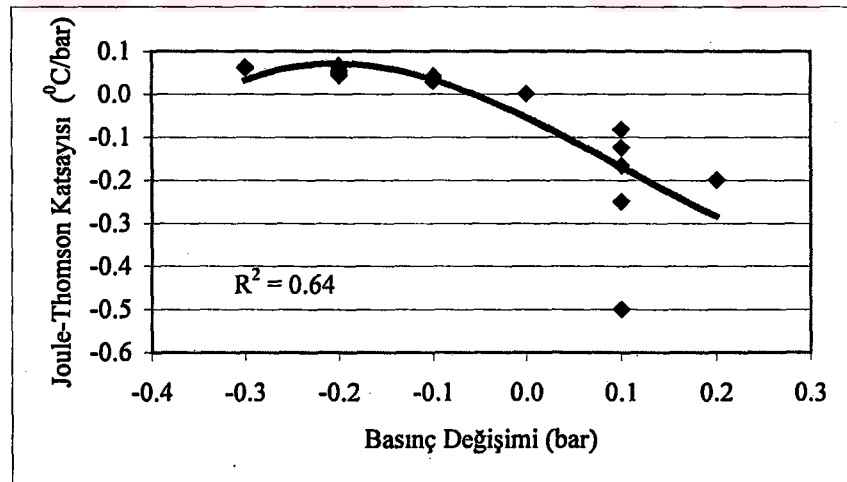
Şekil 4.40 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

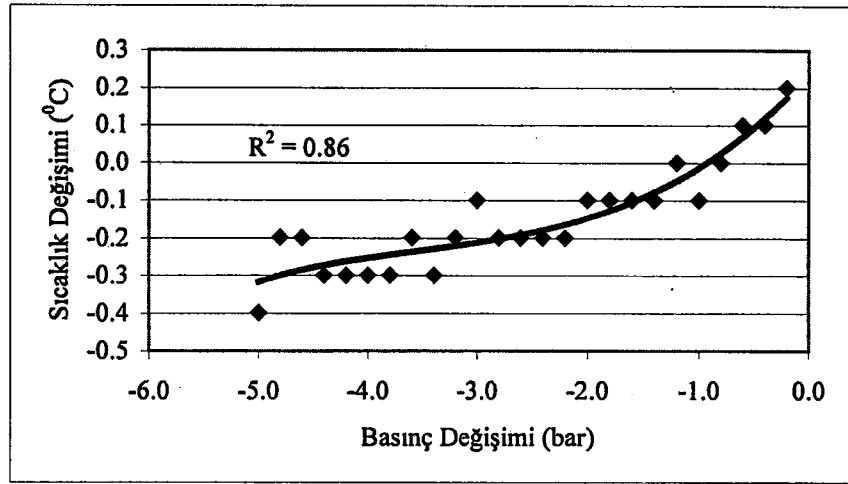


(b)

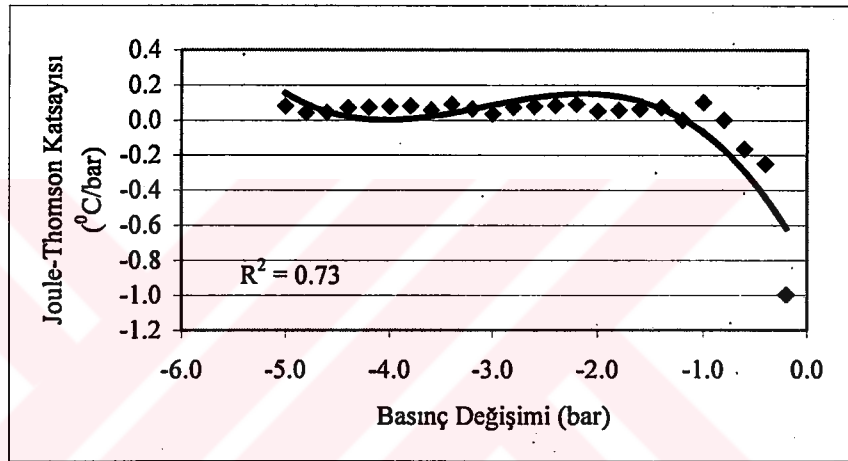


(c)

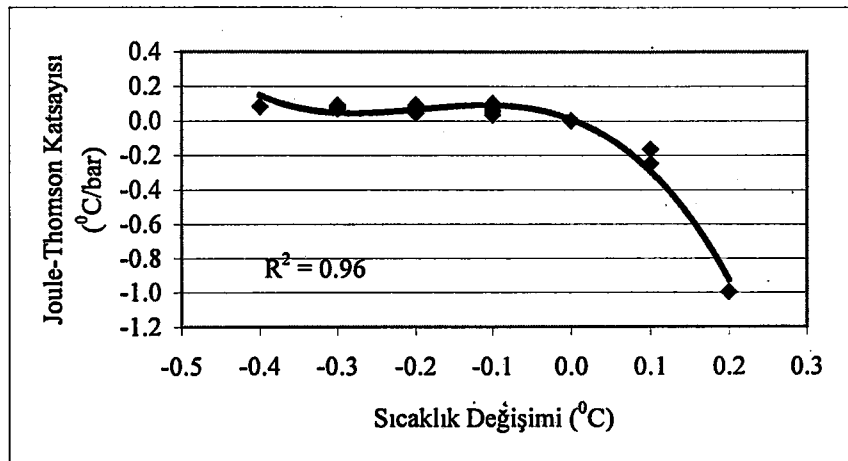
Şekil 4.41 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

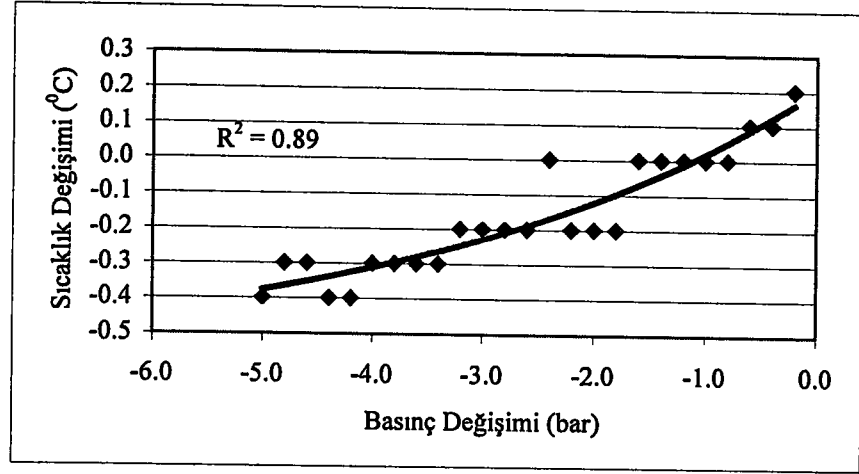


(b)

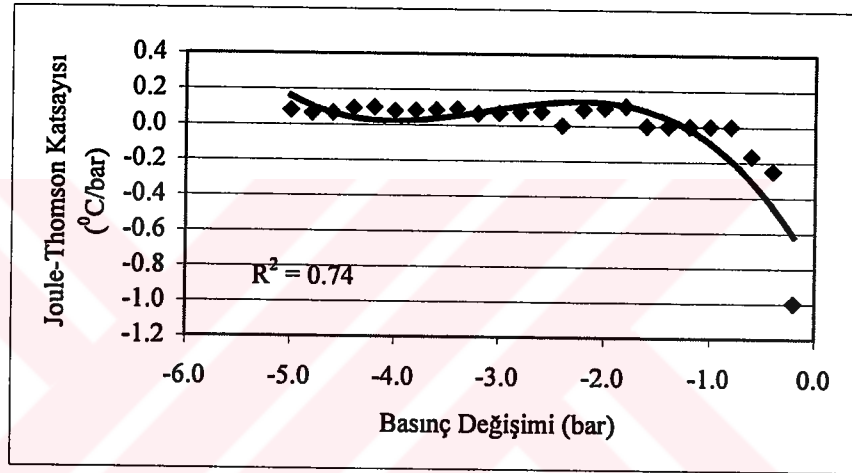


(c)

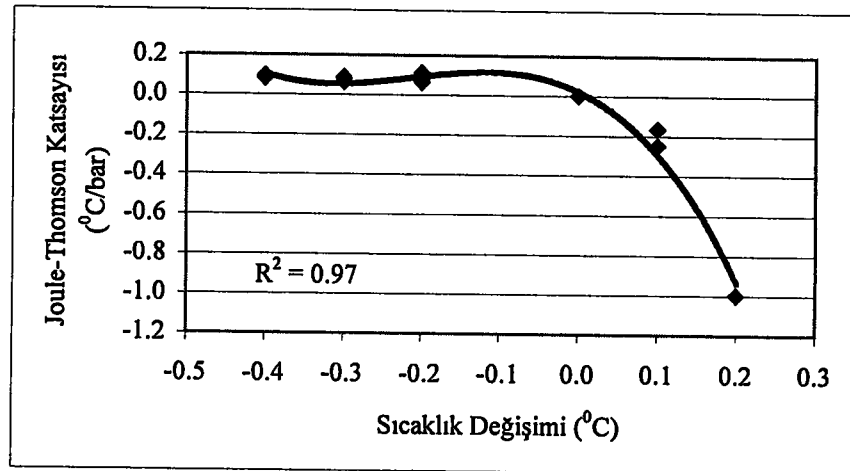
Şekil 4.42 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

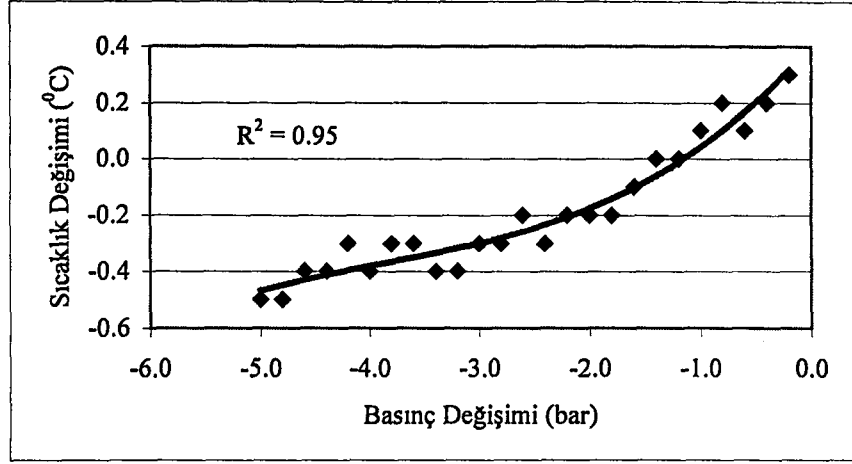


(b)

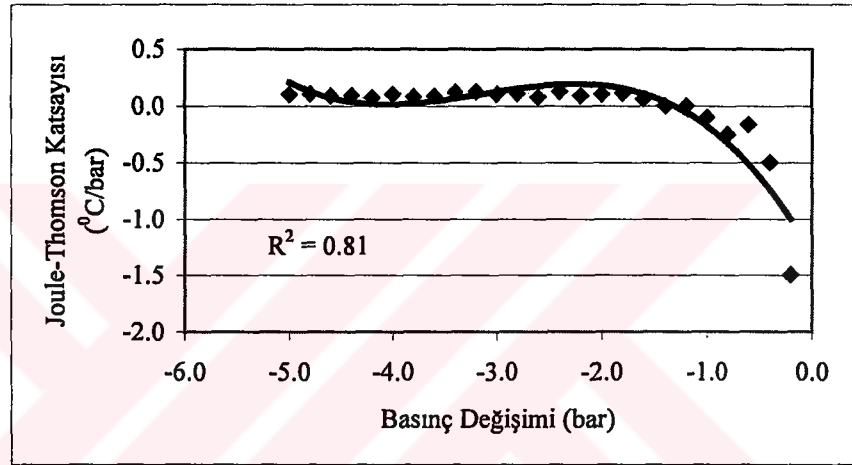


(c)

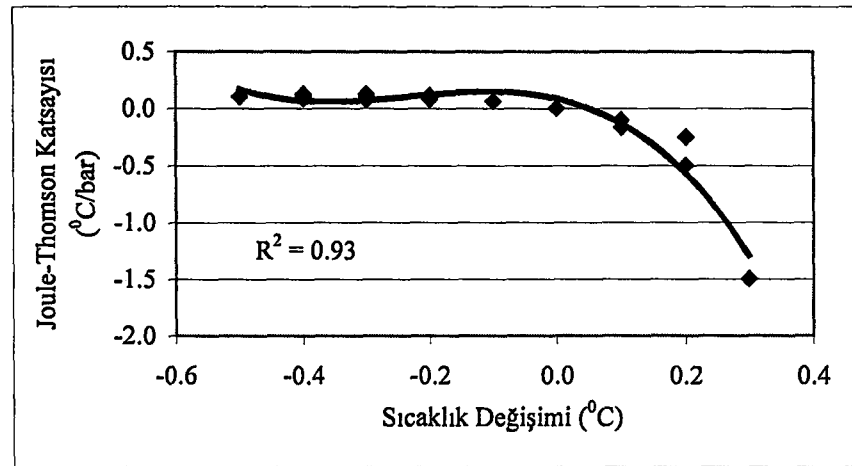
Şekil 4.43 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)

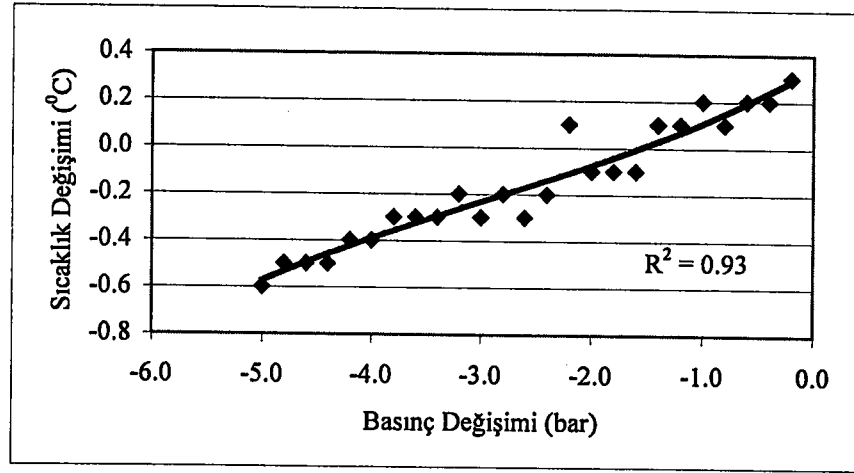


(b)

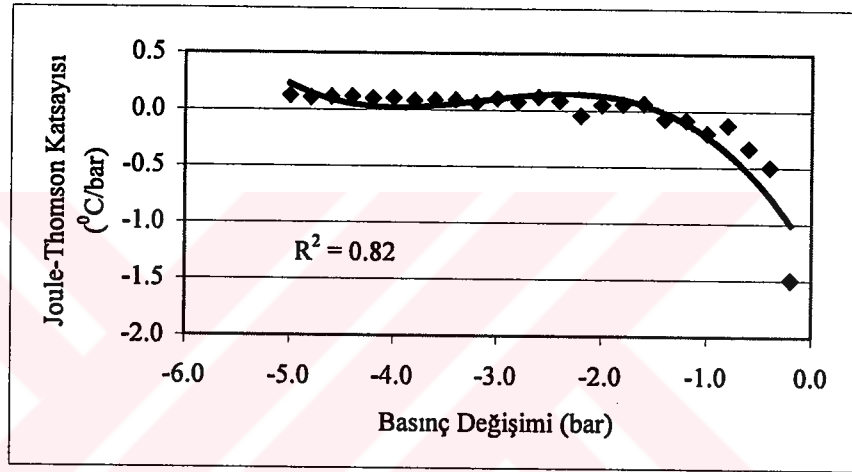


(c)

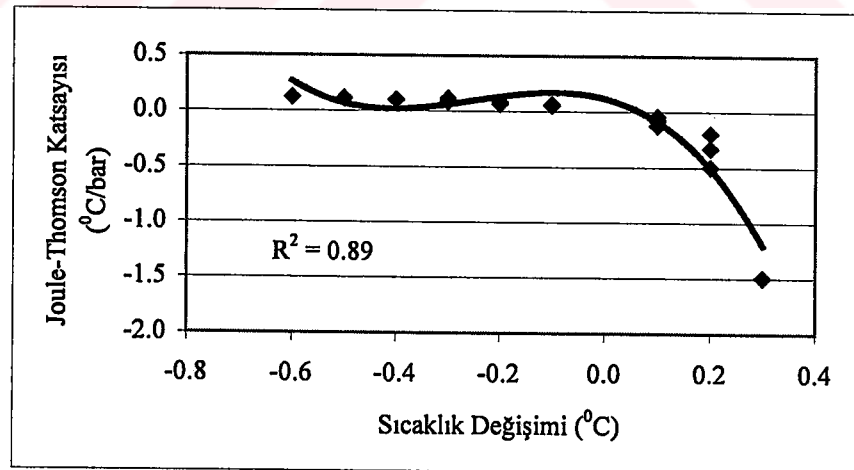
Şekil 4.44 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.45 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N_2) gazı için kısılma deneylerinin; (a) Sıcaklık Değişimi–Basınç Değişimi Grafiği, (b) Joule-Thomson Katsayısı–Basınç Değişimi Grafiği, (c) Joule-Thomson Katsayısı–Sıcaklık Değişimi Grafiği.

4.1 3/8''lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Hava için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma olayı adedi ve soğuma dereceleri de artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -3.4 bar'lık basınç değişiminden itibaren, soğuma olayı başlar ve 0.4 °C ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 12 m/s ile 15 m/s hız aralığında ise -1.1 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olayı başlar ve 1.3 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Genel olarak basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişimide azalmıştır. Fakat 0.5 m/s ile 1 m/s ve 3 m/s ile 4m/s hız aralıklarında basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişimi önce artmış daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı 1.5 m/s ile 2 m/s, 3 m/s ile 4 m/s, 8 m/s ile 10 m/s hız aralıklarında önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında basınç ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı artmıştır. 12 m/s ile 15 m/s hız aralığında ise basınç ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı çok düşük miktarlarda artmıştır.

4.2 1/2''lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Hava için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri de artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, 0.6 °C ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 12 m/s ile 15 m/s hız aralığında ise, 1.2 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça; sıcaklık değişimi, 0.5 m/s ile 1 m/s ve 8 m/s ile 10 m/s hız aralıklarında azalmış, bunun dışında önce artmış daha sonra azalmıştır.

0.5 m/s ile 1m/s, 1.5 m/s ile 2 m/s ve 3 m/s ile 4 m/s hız aralıklarındaki kısılma deneylerinde; Joule-Thomson katsayısı, basınç değişimi azaldıkça; önce azalmış, daha sonra artmış ve son olarakta azalmaya başlamıştır. Sıcaklık değişimi azaldıkça, JouleThomson katsayısı önce artmış daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. Aynı hız aralıklarında; sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce artmış, daha sonra azalmış ve sonra tekrar artmaya başlamıştır. 8 m/s ile 10 m/s ve 12 m/s ile 15 m/s hız aralıklarında ise Joule-Thomson katsayısı, basınç ve sıcaklık değişimi azaldıkça, önce artmış, daha sonra azalmış ve sonra tekrar artmaya başlamıştır.

4.3 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Hava için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri de artmıştır. 0.5 m/s ile 1m/s hız aralığında, 1.5 °C ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 12 m/s ile 15 m/s hız aralığında ise 2.1 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.4 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Argon (Ar) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri yaklaşık aynı miktardadır. Fakat soğuma olayının adedi azalmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -1.2 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olurken,

1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise -1.6 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olmuştur.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Sıcaklık değişimi ve basınç değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.5 1/2''lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Argon (Ar) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri yaklaşık aynı miktardadır. Fakat soğuma olayı adedi azalmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -2.2 bar'lık basınç değişiminde soğuma başlarken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında -2.8 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlamıştır.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta artmaya başlamıştır.

4.6 5/8''lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Argon (Ar) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi yaklaşık aynı miktardadır.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. Sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı artmıştır.

4.7 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Oksijen (O₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi yaklaşık aynı miktardadır. Fakat 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında genel olarak daha yüksek soğuma dereceleri elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.8 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Oksijen (O₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -1.8 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olurken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm kısılma deneylerinde soğuma gözlenmiştir. Soğuma dereceleri yaklaşık aynı miktardadır.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında bu azalmadan sonra tekrar sıcaklık değişimi artmaya başlamıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça; Joule-Thomson katsayısı, 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, önce artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise, basınç değişimi azaldıkça; Joule-Thomson katsayısı önce azalmış, daha sonra artmış ve son olarakta tekrar azalmaya başlamıştır. Yine aynı (1.5 m/s ile 2 m/s) hız aralığında sıcaklık

değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayıda önce azalmış ve sonra tekrar artmaya başlamıştır.

4.9 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Oksijen (O₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde, hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi yaklaşık aynı miktardadır.

Basınç değişimi azaldıkça sıcaklık değişimide azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.10 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -0.6 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlar ve 4.2 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 5.9 °C'ye varan soğuma dereceleri elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı, 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında önce artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça; Joule-Thomson katsayısı, önce azalmış daha sonra artmış ve son olarakta tekrar azalmaya başlamıştır.

4.11 1/2''lık Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma derecesi ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -0.6 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlar ve 4.6 °C ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 5.7°C ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı, 0.5 m/s ile 1m/s hız aralığında, önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.12 5/8''lık Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde, hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -0.8 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olur ve 4.9 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 6 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişimi azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayıda artmıştır.

4.11 1/2''lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma derecesi ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -0.6 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlar ve 4.6 °C ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 5.7°C ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı, 0.5 m/s ile 1m/s hız aralığında, önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.12 5/8''lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Freon-22 (CHClF₂) için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde, hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -0.8 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olur ve 4.9 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 6 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişimi azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayıda artmıştır.

4.13 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Karbondioksit (CO₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde, hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri de artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, 2.2 °C soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında 2.7 °C soğuma derecesi elde edilmiştir. Soğuma olayı adedi aynı miktardadır.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmaktadır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça; Joule-Thomson katsayısı, 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında sürekli olarak artarken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında, önce düzenli olarak artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.14 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Karbondioksit (CO₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -1.0 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma olur ve 3 °C ye varan soğuma derecesi elde edilirken. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 3.3 °C ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça; 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, Joule-Thomson katsayısı önce artmış daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce azalmış, daha sonra artmış ve son olarakta tekrar azalmaya başlamıştır.

4.15 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Karbondioksit (CO₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi artmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -0.6 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlar ve 3.2 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilirken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında tüm basınç değişimi değerlerinde soğuma olmuş ve 3.5 °C'ye varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Basınç değişimi azaldıkça sıcaklık değişimi azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, Joule-Thomson katsayısı önce artmış, daha sonra bir miktar azalmış ve son olarak tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında basınç değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce azalmış, daha sonra artmış ve son olarak tekrar azalmaya başlamıştır.

4.16 3/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Azot (N₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi yaklaşık aynı miktardadır.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmaktadır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarak tekrar artmaya başlamıştır. 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce artmış, daha sonra azalmaya başlamıştır.

4.17 1/2"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Azot (N₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri aynı kalırken soğuma olayı adedi azalmıştır. 0.5 m/s ile 1 m/s hız aralığında, -1.0 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlarken, 1.5 m/s ile 2 m/s hız aralığında ise -1.8 bar'lık basınç değişiminden itibaren soğuma başlar.

Basınç değişimi azaldıkça, sıcaklık değişiminde azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

4.18 5/8"lik Boru-Vana Bağlantısı İçinden Geçen Azot (N₂) Gazı için Kısılma Deneylerinin İncelenmesi

Bu çapta yapılan kısılma deneylerinde; hız artmasıyla, elde edilen soğuma dereceleri ve soğuma olayı adedi yaklaşık aynı miktardadır.

Basınç değişimi azaldıkça sıcaklık değişimi azalmıştır.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi azaldıkça, Joule-Thomson katsayısı önce düzenli olarak artmış, daha sonra azalmış ve son olarakta tekrar artmaya başlamıştır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, teorik bilgilerden yararlanılarak; 3/8", 1/2", 5/8" çaplarındaki bakır boru-vana bağlantısıyla oluşturulan deney düzeneğinde; Hava, Argon gazı, Oksijen gazı, Freon-22, Karbondioksit gazı ve Azot gazı gibi gaz akışkanlar üzerinde yapılan kısılma deneyleri ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Basınç değişimi ve sıcaklık değişimi ne kadar küçükse (basınç değerinde aşağıya inildikçe) elde edilen soğuma derecesi o kadar fazla olmaktadır. Deneylerde bu durum eksi değerler olarak belirtilmiştir.

Kısılma yerine giriş basıncı ne kadar büyük ise soğuma derecesi o kadar fazla olmaktadır.

Gaz akışkanların kısılma yerinden çıkış hızları ne kadar büyükse soğuma derecesi o kadar fazla olmaktadır. Yüksek çıkış hızlarında daha yüksek soğuma dereceleri elde edilmiştir.

Yüksek çıkış hızlarında, kısılma yerinden çıkışında, çok küçükte olsa bir basınç değeri görülmektedir. Hava için yapılan kısılma deneylerinde, 8 m/s lik çıkış hızından itibaren kısılma yerinden çıkışında bir basınç değeri görülmektedir. Düşük çıkış hızlarında, kısılma yerinden çıkışında bir basınç görülmemektedir.

Kısılma yerine düşük giriş basınçlarında genelde ısınma veya çok düşük derecelerde soğuma meydana gelmiştir. (Özellikle 2 bar'ın altındaki basınçlarda)

Boru çapı arttığında elde edilen soğuma dereceleri de genelde artmaktadır. 5/8" lik boru-vana bağlantısında, diğer çaplardaki boru-vana bağlantılarına göre daha yüksek soğuma dereceleri elde edilmiştir.

Ortam sıcaklığı ve atmosfer basıncının elde edilen soğuma veya ısınma derecesine etkisi olmadığı görülmüştür. Bunun nedeni deney düzeneği kauçuk ile izole edilmesindendir. Bu durum literatürdeki bilgileri desteklemektedir.

Joule-Thomson katsayısı pozitif olduğunda; soğuma, negatif olduğunda ısınma ve sıfır olduğunda sıcaklıkta değişmeye gözlenmiştir. Bu durum literatürdeki bilgilerde de bu şekildedir .

Joule-Thomson katsayısının büyüklüğü veya küçüklüğü, soğuma veya ısınma durumunu etkilemediği gözlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda;

Freon-22'de 6°C varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Karbondiyoksit gazında 3.5°C varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Havada 1.6°C varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

(Hava'da her çap için 0.5m/s ile 1m/s ve 1.5m/s ile 2 m/s hızları dikkate alınmıştır.)

Oksijen gazında 0.8°C varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Argon gazında 0.7°C varan soğuma derecesi elde edilmiştir.

Azot gazında 0.6 °C Varan soğuma dereceleri elde edilmiştir.

Bu verilere göre soğuma derecesi en iyi olan Freon-22'dir. En kötü olan ise Azot gazıdır. Bu durumda, Freon-22'nin soğuma amaçlı bir akışkan olduğunu gösterir.

Literatürde daha önce yapılmış deneylerden, 5 bar'ın altındaki basınç ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklardaki (10-30 °C arasındaki sıcaklıklarda) kısılma yerine giriş değerlerinde (bakınız 2.bölüm sayfa:22-23) soğuma meydana geldiği anlaşılmıştır. Yaptığımız deneyler sonucu, genel olarak 2 bar'ın altındaki basınç değerlerinde ısınmalar gözlenmiştir. Bu durum literatürdeki bilgilerden bir sapmadır. Bunun dışındaki kısılma yerine giriş basınç değerlerinde (2-5 bar arasında) soğuma olayı gözlenmiştir.Bu da literatürdeki bilgileri destekler.

Literatürdeki bilgilerden sapma meydana gelmesinin nedeni kısılma deneylerindeki ortam şartlarının ve deney düzeneğinin farklılığı olabilir.

Sonuç olarak, gerek teorik bilgilerden gerekse deneysel çalışmalar sonucunda Termodinamik kısılma olayının oluşumu ve madde özelliklerine etkileri ile ilgili

geniş bilgi edinilmiştir. Yaptığımız tez çalışması genel olarak literatürde, daha önce yapılmış deneyleri destekler niteliktedir. Fakat azda olsa literatürdeki bilgilerden sapmalar gözlenmiştir.



EKLER

EK A:

HAVA İÇİN KISILMA DENEYLERİ TABLOLARI

Tablo A.1 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
15.2	750.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	17.5	17.6	0.1	-0.5	0.7
15.2	750.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	17.5	17.8	0.3	-0.75	0.8
15.2	750.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	17.5	17.9	0.4	-0.6667	0.9
15.2	750.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	17.6	18.0	0.4	-0.5	0.6
15.3	750.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	17.7	18.0	0.3	-0.3	0.5
15.2	750.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	17.5	17.9	0.4	-0.3333	0.8
15.2	750.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	17.6	17.9	0.3	-0.2143	0.6
15.2	750.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	17.6	18.0	0.4	-0.25	0.6
15.2	750.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	17.7	18.0	0.3	-0.1667	0.6
15.2	750.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	17.7	18.0	0.3	-0.15	0.8
15.4	750.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	17.8	18.0	0.2	-0.0909	0.6
15.5	750.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	17.7	17.9	0.2	-0.0833	0.8
15.5	750.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	17.8	17.8	0.0	0.0	0.8
15.5	750.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	17.8	17.9	0.1	-0.0357	0.9
15.5	749.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	18.0	18.0	0.0	0.0	0.5
15.6	749.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	17.9	18.0	0.1	-0.0313	0.6
15.6	749.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	18.2	18.1	-0.1	0.0294	0.7
15.6	749.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	18.2	18.2	0.0	0.0	0.5
13.6	746.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	16.7	16.3	-0.4	0.1053	0.5
13.9	746.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	16.7	16.5	-0.2	0.05	0.6
14.2	746.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	17.0	16.6	-0.4	0.0952	0.8
14.4	746.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	17.1	16.9	-0.2	0.0455	0.5
14.5	746.0	4.6	0.0	-4.6	0.0	17.2	17.0	-0.2	0.0435	0.5
14.6	746.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	17.2	17.1	-0.1	0.0208	0.6
14.8	746.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	17.3	17.2	-0.1	0.02	0.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
15.05	748.72	2.60	0.0	-2.60	0.08	17.54	17.62	0.08	-0.1465	0.66

Tablo A.2 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı (°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi (°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
16.9	743.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	18.5	19.0	0.5	-2.5	1.8
16.9	743.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	18.5	19.0	0.5	-1.25	1.8
16.9	743.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	18.5	19.0	0.5	-0.8333	1.8
17.0	743.0	0.8	0.0	-0.8	0.2	18.6	19.1	0.5	-0.625	1.8
17.0	743.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	18.6	19.1	0.5	-0.5	1.6
17.0	743.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	18.6	19.1	0.5	-0.4167	1.6
17.1	743.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	18.7	19.1	0.4	-0.2857	1.6
17.1	743.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	18.7	19.0	0.3	-0.1875	1.9
17.1	743.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	18.7	19.1	0.4	-0.2222	1.8
17.1	743.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	18.6	18.9	0.3	-0.15	1.6
17.1	743.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	18.7	18.9	0.2	-0.0909	1.8
17.1	743.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	18.7	19.0	0.3	-0.125	1.7
17.1	743.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	18.8	19.1	0.3	-0.1154	1.5
17.0	743.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	18.7	18.9	0.2	-0.0714	1.9
17.1	742.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	18.8	18.9	0.1	-0.0333	1.7
17.1	742.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	18.7	18.7	0.0	0.0	1.7
17.1	742.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	18.9	18.9	0.0	0.0	1.6
15.8	746.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	18.2	17.9	-0.3	0.0833	1.8
15.9	746.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	18.3	18.0	-0.3	0.0789	1.5
15.9	746.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	18.4	18.1	-0.3	0.075	1.6
16.1	746.0	4.2	0.0	-4.2	0.0	18.5	18.3	-0.2	0.0476	1.6
16.4	746.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	18.7	18.4	-0.3	0.0682	1.6
16.5	746.0	4.6	0.0	-4.6	0.0	18.8	18.5	-0.3	0.0652	1.5
16.6	747.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	18.8	18.5	-0.3	0.0625	1.5
16.7	747.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	18.8	18.5	-0.3	0.06	1.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16.78	743.92	2.60	0.0	-2.60	0.08	18.63	18.76	0.13	-0.2746	1.68

Tablo A.3 3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
16.9	747.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	18.5	18.7	0.2	-1.0	3.8
17.0	747.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	18.5	18.8	0.3	-0.75	3.5
17.0	747.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	18.6	18.9	0.3	-0.5	3.6
17.1	747.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	18.6	18.9	0.3	-0.375	3.5
17.1	747.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	18.7	18.9	0.2	-0.2	3.8
17.5	747.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	18.8	19.1	0.3	-0.25	3.8
17.6	747.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	19.0	19.2	0.2	-0.1429	3.6
17.6	747.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	19.0	19.2	0.2	-0.125	3.3
17.6	747.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	19.0	19.2	0.2	-0.1111	3.1
17.6	747.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	19.2	19.4	0.2	-0.1	3.1
17.6	747.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	19.1	19.2	0.1	-0.0455	3.4
17.6	747.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	19.2	19.2	0.0	0.0	3.2
17.5	747.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	19.1	19.1	0.0	0.0	3.1
17.5	747.0	2.8	0.0	-2.8	0.0	19.0	19.0	0.0	0.0	3.9
17.5	747.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	19.0	18.9	-0.1	0.0333	3.4
17.5	747.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	19.1	19.0	-0.1	0.0313	3.0
13.9	758.0	3.4	0.0	-3.4	0.2	16.4	16.2	-0.2	0.0588	3.4
14.0	758.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	16.6	16.3	-0.3	0.0833	3.3
14.3	758.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	16.7	16.4	-0.3	0.0789	3.0
14.5	758.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	16.9	16.6	-0.3	0.075	3.0
14.6	758.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	16.9	16.6	-0.3	0.0714	3.1
14.7	758.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	16.9	16.6	-0.3	0.0682	3.4
14.9	758.0	4.6	0.0	-4.6	0.2	17.2	16.8	-0.4	0.0870	3.7
15.0	758.0	4.8	0.0	-4.8	0.2	17.4	17.1	-0.3	0.0625	3.0
15.1	758.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	17.3	17.0	-0.3	0.06	3.0
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16.37	750.96	2.60	0.0	-2.60	0.08	18.19	18.17	-0.02	-0.1156	3.36

Tablo A.4 8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
16.0	757.0	0.2	0.1	0.2	17.0	17.5	0.5	-5.0	8.6
16.3	757.0	0.4	0.1	0.3	17.1	17.4	0.3	-1.0	9.5
16.3	757.0	0.6	0.1	0.2	17.2	17.4	0.2	-0.4	9.2
16.4	757.0	0.8	0.1	0.2	17.3	17.5	0.2	-0.2857	8.6
16.4	757.0	1.0	0.1	0.1	17.3	17.4	0.1	-0.1111	9.0
16.4	757.0	1.2	0.1	0.1	17.3	17.3	0.0	0.0	9.2
16.4	757.0	1.4	0.1	0.1	17.6	17.6	0.0	0.0	9.4
16.6	757.0	1.6	0.1	0.1	17.5	17.5	0.0	0.0	9.6
16.6	757.0	1.8	0.1	0.1	17.6	17.5	-0.1	0.0588	8.8
16.6	757.0	2.0	0.1	0.1	17.6	17.6	0.0	0.0	9.5
16.6	757.0	2.2	0.1	0.1	17.6	17.2	-0.4	0.1905	8.1
16.5	757.0	2.4	0.1	0.0	17.5	17.1	-0.4	0.1739	9.6
16.9	757.0	2.6	0.1	0.2	17.9	17.5	-0.4	0.16	8.8
16.9	757.0	2.8	0.1	0.2	18.0	17.7	-0.3	0.1111	8.8
17.0	757.0	3.0	0.1	0.0	18.1	17.7	-0.4	0.1379	8.8
17.0	757.0	3.2	0.1	0.1	17.9	17.3	-0.6	0.1935	9.2
17.0	757.0	3.4	0.1	-0.1	18.0	17.5	-0.5	0.1515	8.2
17.1	757.0	3.6	0.2	-0.2	18.1	17.4	-0.7	0.2059	9.6
17.0	757.0	3.8	0.2	0.0	18.0	17.2	-0.8	0.2222	9.8
16.9	757.0	4.0	0.1	0.0	17.9	17.1	-0.8	0.2051	8.2
15.7	751.0	4.2	0.1	0.0	17.5	16.7	-0.8	0.1951	8.1
15.8	751.0	4.4	0.1	-0.1	17.6	16.9	-0.7	0.1628	8.2
16.0	751.0	4.6	0.1	0.0	17.7	16.7	-1.0	0.2222	8.5
16.2	751.0	4.8	0.1	-0.1	17.9	17.0	-0.9	0.1915	8.1
16.3	751.0	5.0	0.1	0.0	17.9	17.1	-0.8	0.1633	8.2
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16.52	755.80	2.60	0.11	0.06	17.64	17.31	17.31	-0.1621	8.86

Tablo A.5 12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
15.2	756.0	0.2	0.3	0.1	17.0	17.1	0.1	1.0	12.2
15.2	756.0	0.4	0.3	0.2	17.0	17.1	0.1	-1.0	12.2
17.4	751.0	0.6	0.4	-0.2	17.5	17.6	0.1	-0.5	14.3
17.5	751.0	0.8	0.4	0.0	17.7	17.7	0.0	0.0	15.0
17.6	751.0	1.0	0.3	0.0	17.8	17.8	0.0	0.0	12.6
17.6	751.0	1.2	0.3	0.0	17.9	17.9	0.0	0.0	12.8
17.6	751.0	1.4	0.3	-0.1	17.9	17.7	-0.2	0.1818	12.5
17.8	751.0	1.6	0.4	0.0	18.1	17.8	-0.3	0.25	13.3
17.8	751.0	1.8	0.4	-0.1	18.2	17.8	-0.4	0.2857	13.8
17.8	751.0	2.0	0.4	0.0	18.4	18.2	-0.2	0.125	12.8
17.9	751.0	2.2	0.4	0.1	18.3	18.1	-0.2	0.1111	13.0
17.9	751.0	2.4	0.3	0.0	18.2	17.8	-0.4	0.1905	12.8
17.9	751.0	2.6	0.3	0.0	18.2	17.7	-0.5	0.2174	12.2
17.9	751.0	2.8	0.4	0.1	18.5	17.8	-0.7	0.2917	14.0
17.9	751.0	3.0	0.4	-0.1	18.5	17.7	-0.8	0.3077	13.5
17.9	751.0	3.2	0.3	0.0	18.5	17.7	-0.8	0.2759	12.4
18.0	751.0	3.4	0.3	0.0	18.7	18.0	-0.7	0.2258	12.0
18.0	751.0	3.6	0.4	0.0	18.5	17.7	-0.8	0.25	14.0
15.6	756.0	3.8	0.3	0.0	17.7	16.7	-1.0	0.2857	12.1
15.9	756.0	4.0	0.4	0.0	17.8	16.5	-1.3	0.3611	14.2
16.2	756.0	4.2	0.3	-0.1	17.9	16.7	-1.2	0.3077	12.6
16.5	756.0	4.4	0.3	-0.1	18.1	16.8	-1.3	0.3171	12.7
17.0	756.0	4.6	0.4	-0.1	18.4	17.2	-1.2	0.2857	12.7
17.1	756.0	4.8	0.3	-0.1	18.3	17.2	-1.1	0.2444	12.0
17.9	756.0	5.0	0.3	0.1	18.7	17.5	-1.2	0.2553	13.0
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
17.24	752.80	2.60	0.34	-0.01	18.07	17.51	-0.56	0.1708	12.99

Tablo A.6 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
11.5	753.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	14.4	14.3	-0.1	0.5	0.9
11.6	753.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	14.5	14.4	-0.1	0.25	0.8
11.7	753.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	14.6	14.4	-0.2	0.3333	0.9
11.7	753.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	14.6	14.5	-0.1	0.125	0.7
11.8	753.0	1.0	0.0	-1.0	-0.1	14.7	14.6	-0.1	0.1	0.9
11.9	753.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	14.8	14.7	-0.1	0.0833	0.9
12.0	753.0	1.4	0.0	-1.4	-0.1	14.9	14.8	-0.1	0.0714	0.9
12.6	753.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	15.4	15.2	-0.2	0.125	0.6
12.7	753.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	15.6	15.4	-0.2	0.1111	0.7
12.7	753.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	15.6	15.4	-0.2	0.1	0.9
12.7	753.0	2.2	0.0	-2.2	-0.1	15.5	15.4	-0.1	0.0455	0.9
12.7	753.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	15.7	15.5	-0.2	0.0833	0.6
12.9	753.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	15.8	15.5	-0.3	0.1154	0.5
13.0	753.0	2.8	0.0	-2.8	0.0	16.0	15.6	-0.4	0.1429	0.9
13.2	753.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	16.2	15.8	-0.4	0.1333	0.8
13.2	753.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	16.2	15.8	-0.4	0.125	0.7
13.3	753.0	3.4	0.0	-3.4	-0.1	16.0	15.6	-0.4	0.1176	0.7
13.5	753.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	16.5	16.0	-0.5	0.1389	0.6
13.6	753.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	16.6	16.1	-0.5	0.1316	0.7
13.6	753.0	4.0	0.0	-4.0	-0.1	16.8	16.3	-0.5	0.125	0.6
13.9	753.0	4.2	0.0	-4.2	-0.1	16.8	16.4	-0.4	0.0952	0.7
14.0	753.0	4.4	0.0	-4.4	-0.1	16.8	16.2	-0.6	0.1364	0.5
14.0	753.0	4.6	0.0	-4.6	-0.1	17.1	16.5	-0.6	0.1304	0.6
14.2	753.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	17.2	16.6	-0.6	0.125	0.6
14.4	753.0	5.0	0.0	-5.0	-0.1	17.4	16.8	-0.6	0.12	0.9
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
12.90	753.00	2.60	0.0	-2.60	-0.04	15.83	15.51	-0.32	0.1426	0.74

Tablo A.7 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
12.9	755.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	15.8	15.5	-0.3	1.5	1.8
13.0	755.0	0.4	0.0	-0.4	-0.2	16.1	15.8	-0.3	0.75	2.0
13.2	755.0	0.6	0.0	-0.6	-0.2	16.2	16.0	-0.2	0.3333	1.6
13.4	755.0	0.8	0.0	-0.8	-0.1	16.5	16.3	-0.2	0.25	1.8
13.6	755.0	1.0	0.0	-1.0	-0.1	16.7	16.5	-0.2	0.2	1.9
13.9	755.0	1.2	0.0	-1.2	-0.1	16.8	16.5	-0.3	0.25	1.7
14.1	755.0	1.4	0.0	-1.4	-0.1	17.0	16.7	-0.3	0.2143	1.6
14.2	755.0	1.6	0.0	-1.6	-0.1	17.0	16.7	-0.3	0.1875	2.0
14.3	755.0	1.8	0.0	-1.8	-0.1	17.2	16.9	-0.3	0.1667	1.8
14.5	755.0	2.0	0.0	-2.0	-0.1	17.2	16.9	-0.3	0.15	1.9
14.5	755.0	2.2	0.0	-2.2	-0.1	17.3	16.9	-0.4	0.1818	1.8
14.6	755.0	2.4	0.0	-2.4	-0.1	17.4	17.0	-0.4	0.1667	1.9
14.7	755.0	2.6	0.0	-2.6	-0.1	17.3	16.9	-0.4	0.1538	1.8
14.7	755.0	2.8	0.0	-2.8	-0.1	17.5	17.1	-0.4	0.1429	1.8
15.2	755.0	3.0	0.0	-3.0	-0.1	17.9	17.5	-0.4	0.1333	1.9
15.2	755.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	17.9	17.5	-0.4	0.125	1.9
15.4	755.0	3.4	0.0	-3.4	-0.1	18.1	17.6	-0.5	0.1471	1.9
15.4	755.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	18.1	17.6	-0.5	0.1389	2.0
15.4	755.0	3.8	0.0	-3.8	-0.1	17.9	17.5	-0.4	0.1053	1.8
15.5	755.0	4.0	0.0	-4.0	-0.1	18.1	17.6	-0.5	0.125	1.9
15.5	755.0	4.2	0.0	-4.2	-0.1	18.4	17.8	-0.6	0.1429	1.8
15.6	755.0	4.4	0.0	-4.4	-0.2	18.7	18.0	-0.7	0.1591	1.7
15.8	754.0	4.6	0.0	-4.6	-0.2	18.6	18.0	-0.6	0.1304	1.8
15.9	754.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	18.4	17.9	-0.5	0.1042	1.9
16.0	754.0	5.0	0.0	-5.0	-0.1	18.6	17.9	-0.7	0.14	1.9
Ortalama 14.66	Ortalama 754.88	Ortalama 2.60	Ortalama 0.0	Ortalama -2.60	Ortalama -0.12	Ortalama 17.47	Ortalama 17.06	Ortalama -0.40	Ortalama 0.2439	Ortalama 1.84

Tablo A.8 3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
13.5	753.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	16.1	15.9	-0.2	1.0	3.6
13.5	753.0	0.4	0.0	-0.4	-0.1	16.3	16.1	-0.2	0.5	3.7
13.6	753.0	0.6	0.0	-0.6	-0.1	16.6	16.4	-0.2	0.3333	3.9
13.9	753.0	0.8	0.0	-0.8	-0.1	16.8	16.6	-0.2	0.25	3.8
14.0	753.0	1.0	0.0	-1.0	-0.1	16.8	16.7	-0.1	0.1	3.9
14.2	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	16.7	16.6	-0.1	0.0833	3.8
14.3	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	16.8	16.6	-0.2	0.1429	3.9
15.5	751.0	1.6	0.0	-1.6	-0.1	17.7	17.5	-0.2	0.125	3.5
15.6	751.0	1.8	0.0	-1.8	-0.1	18.1	17.8	-0.3	0.1667	3.7
15.7	751.0	2.0	0.0	-2.0	-0.1	18.1	17.8	-0.3	0.15	3.6
15.7	751.0	2.2	0.0	-2.2	-0.1	18.2	17.9	-0.3	0.1364	3.8
15.8	751.0	2.4	0.0	-2.4	-0.1	18.4	18.0	-0.4	0.1667	3.9
15.9	751.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	18.5	18.1	-0.4	0.1538	4.0
16.1	751.0	2.8	0.0	-2.8	-0.1	18.4	18.1	-0.3	0.1071	3.2
16.2	751.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	18.5	18.1	-0.4	0.1333	3.8
16.2	751.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	18.6	18.2	-0.4	0.125	3.2
16.3	751.0	3.4	0.0	-3.4	-0.1	18.8	18.4	-0.4	0.1176	3.2
14.1	753.0	3.6	0.0	-3.6	-0.2	17.2	16.5	-0.7	0.1944	3.7
14.3	753.0	3.8	0.0	-3.8	-0.2	17.5	16.7	-0.8	0.2105	3.9
14.6	753.0	4.0	0.0	-4.0	-0.2	17.7	16.9	-0.8	0.2	3.9
14.7	753.0	4.2	0.0	-4.2	-0.3	18.0	17.2	-0.8	0.1905	3.6
14.9	753.0	4.4	0.0	-4.4	-0.2	17.9	17.1	-0.8	0.1818	3.5
15.0	753.0	4.6	0.0	-4.6	-0.2	18.0	17.2	-0.8	0.1739	3.3
15.2	753.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	18.1	17.3	-0.8	0.1667	3.0
15.2	753.0	5.0	0.0	-5.0	-0.1	18.2	17.4	-0.8	0.16	3.1
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
14.96	752.12	2.60	0.0	-2.60	-0.11	17.68	17.24	-0.44	0.2108	3.62

Tablo A.9 8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
15.4	753.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	17.0	17.3	0.3	-1.5	8.8
15.5	753.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	16.8	17.1	0.3	-0.75	9.6
15.5	753.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	17.4	17.3	-0.1	0.1667	9.7
15.7	753.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	17.6	17.5	-0.1	0.125	9.4
15.9	753.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	17.6	17.5	-0.1	0.1	9.8
16.0	753.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	17.8	17.6	-0.2	0.1667	8.8
16.3	753.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	18.4	18.2	-0.2	0.1429	9.2
16.4	753.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	18.2	18.0	-0.2	0.125	9.2
16.5	753.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	18.4	18.1	-0.3	0.1667	8.3
16.5	753.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	18.5	18.2	-0.3	0.15	8.2
16.8	753.0	2.2	0.0	-2.2	-0.1	19.3	18.9	-0.4	0.1818	8.3
16.9	753.0	2.4	0.0	-2.4	-0.1	19.1	18.7	-0.4	0.1667	8.2
17.0	753.0	2.6	0.0	-2.6	-0.1	19.3	18.6	-0.7	0.2692	9.3
17.0	753.0	2.8	0.0	-2.8	-0.1	19.5	18.8	-0.7	0.25	9.3
17.1	753.0	3.0	0.0	-3.0	-0.1	19.4	18.7	-0.7	0.2333	8.9
17.1	753.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	19.4	18.7	-0.7	0.2188	9.2
17.1	753.0	3.4	0.0	-3.4	-0.1	19.3	18.6	-0.7	0.2059	9.6
17.1	753.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	19.3	18.7	-0.6	0.1667	9.8
17.1	753.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	19.1	18.4	-0.7	0.1842	9.6
17.1	753.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	19.2	18.5	-0.7	0.175	8.3
17.0	753.0	4.2	0.0	-4.2	-0.1	19.0	18.3	-0.7	0.1667	8.1
16.0	755.0	4.4	0.0	-4.4	-0.1	18.3	17.8	-0.5	0.1136	8.7
16.4	755.0	4.6	0.0	-4.6	-0.1	19.0	18.3	-0.7	0.1522	8.3
16.5	755.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	19.1	18.3	-0.8	0.1667	8.7
16.6	755.0	5.0	0.0	-5.0	-0.1	19.0	18.1	-0.9	0.18	8.8
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16.50	753.32	2.60	0.0	-2.60	-0.04	18.60	18.17	-0.43	0.0689	8.96

Tablo A.10 12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
16.7	755.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	18.3	18.2	-0.1	0.5	12.2
16.8	755.0	0.4	0.0	-0.4	-0.1	18.2	18.4	0.2	-0.5	13.1
16.8	755.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	17.2	17.5	0.3	-0.5	14.9
16.9	755.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	17.7	17.8	0.1	-0.125	15.0
17.0	755.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	17.6	17.6	0.0	0.0	14.8
17.0	755.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	18.3	18.1	-0.2	0.1667	12.5
17.0	755.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	18.5	18.3	-0.2	0.1429	13.0
17.0	755.0	1.6	0.0	-1.6	-0.1	18.7	18.4	-0.3	0.1875	13.7
17.0	755.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	18.6	18.3	-0.3	0.1667	12.9
17.1	755.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	18.8	18.4	-0.4	0.2	12.0
17.4	755.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	19.4	18.7	-0.7	0.3182	12.7
17.5	755.0	2.4	0.0	-2.4	-0.1	19.9	19.3	-0.6	0.25	13.9
17.5	755.0	2.6	0.0	-2.6	-0.1	20.0	19.3	-0.7	0.2692	14.4
17.3	755.0	2.8	0.0	-2.8	-0.1	19.1	18.4	-0.7	0.25	14.9
17.2	755.0	3.0	0.0	-3.0	-0.1	18.8	18.0	-0.8	0.2667	15.0
12.7	754.0	3.2	0.0	-3.2	-0.2	15.5	14.6	-0.9	0.2813	13.7
12.9	754.0	3.4	0.0	-3.4	-0.2	15.3	14.4	-0.9	0.2647	13.4
13.0	754.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	16.0	14.9	-1.1	0.3056	13.0
13.8	754.0	3.8	0.0	-3.8	-0.2	17.0	15.9	-1.1	0.2895	13.6
13.9	754.0	4.0	0.0	-4.0	-0.3	17.1	16.0	-1.1	0.275	14.2
14.6	754.0	4.2	0.0	-4.2	-0.1	16.9	15.9	-1.0	0.2381	14.0
14.7	754.0	4.4	0.0	-4.4	-0.1	17.1	16.1	-1.0	0.2273	14.3
14.8	754.0	4.6	0.0	-4.6	-0.1	16.8	15.8	-1.0	0.2174	14.9
14.9	754.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	17.4	16.4	-1.0	0.2083	12.4
15.0	754.0	5.0	0.0	-5.0	-0.1	17.6	16.4	-1.2	0.24	13.2
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
15.86	754.60	2.60	0.0	-2.60	-0.08	17.83	17.24	-0.59	0.1656	13.67

Tablo A.11 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
17.8	746.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	19.6	20.2	0.6	-3.0	0.6
18.1	746.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	19.8	20.3	0.5	-1.25	0.6
18.3	746.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	20.0	20.3	0.3	-0.5	0.7
18.5	746.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	20.1	20.3	0.2	-0.25	0.9
18.7	746.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	20.0	20.2	0.2	-0.2	0.9
18.9	746.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	20.6	20.6	0.0	0.0	0.9
19.0	746.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	20.0	20.1	0.1	-0.0714	0.9
19.2	746.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	21.0	20.9	-0.1	0.0625	0.9
19.4	746.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	20.7	20.6	-0.1	0.0556	0.8
19.5	745.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	20.7	20.4	-0.3	0.15	0.8
19.8	745.0	2.2	0.0	-2.2	-0.2	21.3	21.1	-0.2	0.0909	0.8
21.4	745.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	23.2	22.6	-0.6	0.25	0.7
21.4	745.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	23.3	22.6	-0.7	0.2692	1.0
21.4	745.0	2.8	0.0	-2.8	0.0	23.1	22.6	-0.5	0.1786	1.0
21.4	745.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	23.7	23.1	-0.6	0.2	0.5
21.4	745.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	23.4	22.7	-0.7	0.2188	0.6
21.5	743.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	23.4	22.6	-0.8	0.2353	0.7
20.8	743.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	22.1	21.3	-0.8	0.2222	0.6
20.9	743.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	22.9	21.9	-1.0	0.2632	0.7
21.0	744.0	4.0	0.0	-4.0	-0.1	23.1	22.0	-1.1	0.275	0.7
21.0	744.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	23.3	22.0	-1.3	0.3095	0.8
21.1	745.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	23.4	22.0	-1.4	0.3182	0.7
21.1	745.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	23.5	22.0	-1.5	0.3261	0.8
21.3	745.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	23.3	21.9	-1.4	0.2917	0.8
21.4	745.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	23.5	22.0	-1.5	0.3	0.9
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
20.17	745.04	2.60	0.0	-2.60	0.01	21.96	21.45	-0.51	-0.0502	0.77

Tablo A.12 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı (°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi (°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
18.5	752.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	19.8	20.4	0.6	-3.0	1.5
18.7	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	20.0	20.6	0.6	-1.5	1.6
18.8	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	19.7	20.2	0.5	-0.8333	1.9
19.0	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	19.3	19.6	0.3	-0.375	1.9
19.1	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	20.2	20.4	0.2	-0.2	1.8
19.2	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	19.6	19.7	0.1	-0.0833	1.6
19.4	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	20.1	20.2	0.1	-0.0714	1.6
19.5	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	20.1	20.2	0.1	-0.0625	1.6
19.5	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	20.0	19.9	-0.1	0.0556	1.8
19.6	752.0	2.0	0.0	-2.0	-0.1	21.7	21.2	-0.5	0.25	1.9
19.9	752.0	2.2	0.0	-2.2	-0.1	21.5	21.0	-0.5	0.2273	2.0
20.1	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	21.0	20.4	-0.6	0.25	1.9
20.5	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	20.6	20.1	-0.5	0.1923	1.6
20.6	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.0	21.8	20.9	-0.9	0.3214	1.6
20.6	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	22.0	21.1	-0.9	0.3	1.7
20.6	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	22.0	20.9	-1.1	0.3438	1.8
20.6	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	22.1	21.0	-1.1	0.3235	2.0
20.6	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	22.5	21.1	-1.4	0.3889	1.9
20.5	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	22.6	21.3	-1.3	0.3421	2.0
20.5	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	23.0	21.7	-1.3	0.325	1.6
20.5	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.0	22.7	21.4	-1.3	0.3095	1.7
20.5	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	23.3	21.8	-1.5	0.3409	1.7
20.5	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.0	22.9	21.5	-1.4	0.3043	1.8
20.5	752.0	4.8	0.0	-4.8	-0.1	23.2	21.7	-1.5	0.3125	1.7
20.5	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	23.0	21.4	-1.6	0.32	1.9
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.93	752.00	2.60	0.0	-2.60	0.01	21.39	20.79	-0.60	-0.0487	1.76

Tablo A.13 3 m/s-4 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
21.1	752.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	22.0	22.4	0.4	-2.0	4.0
21.0	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	22.2	22.5	0.3	-0.75	3.7
20.9	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	22.5	22.6	0.1	-0.1667	3.9
20.6	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	22.1	22.2	0.1	-0.125	4.0
20.6	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	4.0
20.6	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	22.4	22.3	-0.1	0.0833	3.9
20.6	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.6	22.4	-0.2	0.1429	3.8
20.5	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	22.7	22.3	-0.4	0.25	3.9
20.5	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.2	22.8	22.5	-0.3	0.1667	3.9
20.5	752.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	22.7	22.3	-0.4	0.2	4.0
20.5	752.0	2.2	0.0	-2.2	0.2	22.7	22.3	-0.4	0.1818	3.9
20.5	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.2	23.0	22.3	-0.7	0.2917	3.9
19.6	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	22.6	21.9	-0.7	0.2692	3.4
19.8	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.7	22.0	-0.7	0.25	3.6
19.9	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	22.9	22.1	-0.8	0.2667	3.8
19.9	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	23.0	22.1	-0.9	0.2813	4.0
19.9	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	23.1	22.1	-1.0	0.2941	4.0
20.0	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	23.0	22.0	-1.0	0.2778	4.0
20.0	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	23.3	22.3	-1.0	0.2632	3.5
20.0	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	23.2	22.2	-1.0	0.25	3.5
20.1	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	23.5	22.3	-1.2	0.2857	3.3
20.1	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	23.5	22.2	-1.3	0.2955	3.4
20.1	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	23.2	22.0	-1.2	0.2609	3.1
20.1	752.0	4.8	0.0	-4.8	0.1	23.7	22.2	-1.5	0.3125	3.4
20.2	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	23.9	22.2	-1.7	0.34	3.4
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
20.30	752.00	2.60	0.0	-2.60	0.10	22.86	22.24	-0.62	0.0769	3.73

Tablo A.14 8 m/s-10 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi (°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
20.2	752.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	22.0	22.1	0.1	-0.5	8.0
20.2	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	22.3	22.3	0.0	0.0	8.0
20.2	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	22.2	22.2	0.0	0.0	9.9
20.2	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	22.2	22.1	-0.1	0.125	8.3
20.3	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	22.4	22.2	-0.2	0.2	9.3
20.3	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.1	21.9	-0.2	0.1667	10.0
20.4	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.3	22.0	-0.3	0.2143	9.9
20.3	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	22.6	22.1	-0.5	0.3125	8.1
18.6	752.0	1.8	0.0	-1.8	-0.1	21.0	20.3	-0.7	0.3889	8.0
18.7	748.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	21.0	20.2	-0.8	0.4	8.2
18.8	748.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	21.6	20.6	-1.0	0.4545	8.7
18.9	748.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	21.2	20.0	-1.2	0.5	9.0
19.0	748.0	2.6	0.0	-2.6	-0.1	21.5	20.2	-1.3	0.5	9.4
19.0	748.0	2.8	0.0	-2.8	0.0	21.6	20.3	-1.3	0.4643	9.8
19.1	748.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	21.6	20.2	-1.4	0.4667	9.9
19.2	748.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	21.2	19.8	-1.4	0.4375	9.7
19.3	748.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	22.0	20.5	-1.5	0.4412	10.0
19.5	748.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	21.6	20.1	-1.5	0.4167	9.9
19.6	748.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	21.9	20.2	-1.7	0.4474	9.7
19.7	748.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	21.9	20.2	-1.7	0.425	9.9
19.8	748.0	4.2	0.0	-4.2	0.0	22.0	20.4	-1.6	0.3810	9.7
19.9	748.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	22.3	20.6	-1.7	0.3864	9.3
20.0	748.0	4.6	0.0	-4.6	0.0	22.8	21.1	-1.7	0.3696	8.8
20.0	748.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	23.0	21.3	-1.7	0.3542	8.3
20.0	748.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	23.5	21.6	-1.9	0.38	8.4
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.65	749.44	2.60	0.0	-2.60	0.01	21.99	20.98	-1.01	0.3093	9.13

Tablo A.15 12 m/s-15 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Hava için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
20.4	748.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	22.0	22.5	0.5	-2.5	12.0
20.6	748.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	22.0	22.4	0.4	-1.0	14.0
20.7	748.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	21.6	21.9	0.3	-0.5	13.2
20.7	748.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	21.7	21.9	0.2	-0.25	14.8
20.8	748.0	1.0	0.0	-1.0	-0.1	21.3	21.3	0.0	0.0	12.6
20.9	748.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	21.8	21.7	-0.1	0.0833	12.0
20.9	748.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	22.6	22.3	-0.3	0.2143	12.9
21.0	748.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	22.8	22.4	-0.4	0.25	14.5
21.0	748.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	23.2	22.6	-0.6	0.3333	14.5
21.0	748.0	2.0	0.0	-2.0	-0.1	23.2	22.6	-0.6	0.3	12.5
21.2	748.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	23.1	22.3	-0.8	0.3636	13.4
21.3	747.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	23.0	22.0	-1.0	0.4167	15.0
21.3	747.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	23.1	22.1	-1.0	0.3846	12.2
21.3	747.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.7	21.5	-1.2	0.4286	12.2
21.2	747.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.5	21.2	-1.3	0.4333	13.8
21.2	747.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	23.4	21.9	-1.5	0.4688	14.5
21.1	747.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	22.9	21.3	-1.6	0.4706	15.0
21.1	747.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	23.0	21.5	-1.5	0.4167	14.5
21.1	747.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	23.3	21.8	-1.5	0.3947	13.3
21.1	747.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	23.4	21.9	-1.5	0.375	14.4
21.0	747.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	22.9	21.3	-1.6	0.3810	14.5
21.0	747.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	23.6	22.0	-1.6	0.3636	15.0
21.0	746.0	4.6	0.0	-4.6	0.0	23.1	21.3	-1.8	0.3913	12.9
21.0	746.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	23.9	22.0	-1.9	0.3958	13.3
21.0	746.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	24.2	22.1	-2.1	0.42	13.7
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
21.00	747.32	2.60	0.0	-2.60	0.04	22.81	21.91	-0.90	0.1214	13.63

EK B :
ARGON GAZI İÇİN KISILMA DENEYLERİ TABLOLARI

Tablo B.1 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
17.2	751.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	18.6	18.6	0.0	0.0	0.9
17.0	751.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	18.7	18.7	0.0	0.0	0.8
16.9	751.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	18.7	18.8	0.1	-0.1667	1.0
16.8	751.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	18.8	18.9	0.1	-0.125	1.0
16.8	751.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	19.0	19.0	0.0	0.0	0.8
16.8	751.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	19.2	19.1	-0.1	0.0833	0.7
16.9	751.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	19.3	19.2	-0.1	0.0714	0.6
16.9	751.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	19.4	19.2	-0.2	0.125	0.8
17.0	751.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	19.2	19.0	-0.2	0.1111	0.6
17.0	751.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	19.6	19.3	-0.3	0.15	0.6
17.1	751.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	19.6	19.4	-0.2	0.0909	1.0
17.2	751.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	19.8	19.5	-0.3	0.125	1.0
17.2	751.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	19.8	19.5	-0.3	0.1154	1.0
17.3	751.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	19.9	19.6	-0.3	0.1071	0.9
17.3	751.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	20.0	19.7	-0.3	0.1	0.8
17.5	751.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	20.1	19.7	-0.4	0.125	0.6
17.5	751.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	20.2	19.8	-0.4	0.1176	0.5
17.5	751.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	20.1	19.8	-0.3	0.0833	0.5
17.5	751.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	20.2	19.8	-0.4	0.1053	0.9
17.5	751.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	20.1	19.8	-0.3	0.075	1.0
17.5	751.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	20.2	19.8	-0.4	0.0952	0.6
17.5	751.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	20.1	19.7	-0.4	0.0909	1.0
17.5	751.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	20.2	19.8	-0.4	0.0870	1.0
17.6	751.0	4.8	0.0	-4.8	0.1	20.3	19.9	-0.4	0.0833	1.0
17.6	751.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	20.6	20.1	-0.5	0.1	0.7
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
17.22	751.00	2.60	0.0	-2.60	0.09	19.67	19.43	-0.24	0.0700	0.81

Tablo B.2 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneiden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
18.1	750.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	20.2	20.4	0.2	-1.0	1.8
18.1	750.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	20.2	20.4	0.2	-0.5	2.0
18.0	750.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	20.3	20.4	0.1	-0.1667	2.0
18.0	750.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	20.3	20.4	0.1	-0.125	2.0
18.1	750.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	20.4	20.5	0.1	-0.1	1.6
18.0	750.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	20.4	20.4	0.0	0.0	1.9
18.0	750.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	20.6	20.6	0.0	0.0	2.0
18.0	750.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	20.6	20.5	-0.1	0.0625	2.0
18.0	750.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	20.6	20.5	-0.1	0.0556	2.0
17.9	750.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	20.6	20.5	-0.1	0.05	1.8
17.8	749.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	20.7	20.5	-0.2	0.0909	1.8
17.6	749.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	20.4	20.1	-0.3	0.125	1.8
17.5	749.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	20.2	20.0	-0.2	0.0769	2.0
17.5	749.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	20.3	20.0	-0.3	0.1071	2.0
17.5	749.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	20.5	20.1	-0.4	0.1333	1.9
17.5	749.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	20.4	20.0	-0.4	0.125	1.8
17.5	749.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	20.5	20.0	-0.5	0.1471	1.5
17.5	749.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	20.1	19.7	-0.4	0.1111	1.9
17.5	749.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	20.1	19.7	-0.4	0.1053	1.9
17.5	749.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	20.1	19.7	-0.4	0.1	1.7
17.5	749.0	4.2	0.0	-4.2	0.0	20.2	19.7	-0.5	0.1190	1.5
17.5	749.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	20.0	19.5	-0.5	0.1136	1.5
17.5	749.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	19.9	19.4	-0.5	0.1087	1.5
17.5	749.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	20.0	19.5	-0.5	0.1042	1.6
17.5	749.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	20.0	19.4	-0.6	0.12	1.7
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
17.72	749.40	2.60	0.0	-2.60	0.08	20.30	20.08	-0.23	-0.0015	1.81

Tablo B.3 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.6	752.0	0.2	0.0	-0.2	0.2	19.2	19.6	0.4	-2.0	0.9
17.8	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	19.2	19.5	0.3	-0.75	1.0
17.5	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	19.2	19.5	0.3	-0.5	0.9
17.3	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	19.4	19.6	0.2	-0.25	0.9
17.2	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	19.4	19.6	0.2	-0.2	0.8
17.2	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	19.5	19.6	0.1	-0.0833	0.7
17.5	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	19.8	19.8	0.0	0.0	0.5
17.8	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.3	19.9	19.9	0.0	0.0	0.5
17.8	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.3	20.0	20.0	0.0	0.0	0.5
17.9	752.0	2.0	0.0	-2.0	0.3	20.1	20.1	0.0	0.0	0.5
17.9	752.0	2.2	0.0	-2.2	0.4	20.3	20.2	-0.1	0.0455	0.5
18.0	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.4	20.4	20.2	-0.2	0.0833	0.5
18.0	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.4	20.3	20.2	-0.1	0.0385	1.0
18.0	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.3	20.6	20.3	-0.3	0.1071	0.7
18.0	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.2	20.6	20.3	-0.3	0.1	0.8
18.0	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.3	20.6	20.3	-0.3	0.0938	1.0
18.0	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.3	20.6	20.3	-0.3	0.0882	0.5
17.9	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.3	20.6	20.2	-0.4	0.1111	0.6
17.8	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.3	20.6	20.2	-0.4	0.1053	0.6
17.7	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.3	20.5	20.1	-0.4	0.1	0.8
17.6	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.2	20.3	20.0	-0.3	0.0714	0.9
17.5	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.3	20.5	20.1	-0.4	0.0909	0.6
17.5	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.3	20.5	20.0	-0.5	0.1087	0.5
17.4	752.0	4.8	0.0	-4.8	0.3	20.4	19.9	-0.5	0.1042	0.5
17.3	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.3	20.3	19.8	-0.5	0.1	0.6
Ortalama 17.73	Ortalama 752.00	Ortalama 2.60	Ortalama 0.0	Ortalama -2.60	Ortalama 0.26	Ortalama 20.11	Ortalama 19.97	Ortalama -0.14	Ortalama -0.0974	Ortalama 0.69

Tablo B.4 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.4	754.0	0.2	0.0	-0.2	0.4	19.0	19.5	0.5	-2.5	1.5
18.1	754.0	0.4	0.0	-0.4	0.5	19.0	19.5	0.5	-1.25	1.7
18.0	754.0	0.6	0.0	-0.6	0.4	19.0	19.5	0.5	-0.8333	1.6
17.8	754.0	0.8	0.0	-0.8	0.4	19.2	19.6	0.4	-0.5	1.7
17.6	754.0	1.0	0.0	-1.0	0.5	19.2	19.5	0.3	-0.3	2.0
17.5	754.0	1.2	0.0	-1.2	0.5	19.1	19.4	0.3	-0.25	2.0
17.1	754.0	1.4	0.0	-1.4	0.5	19.0	19.3	0.3	-0.2143	1.8
16.9	754.0	1.6	0.0	-1.6	0.4	19.0	19.2	0.2	-0.125	1.6
16.9	754.0	1.8	0.0	-1.8	0.4	19.0	19.1	0.1	-0.0556	1.6
16.7	754.0	2.0	0.0	-2.0	0.4	19.0	19.1	0.1	-0.05	1.5
16.8	754.0	2.2	0.0	-2.2	0.5	19.0	19.1	0.1	-0.0455	1.5
16.6	754.0	2.4	0.0	-2.4	0.5	18.7	18.9	0.2	-0.0833	1.5
16.5	754.0	2.6	0.0	-2.6	0.5	18.8	18.8	0.0	0.0	1.6
16.4	754.0	2.8	0.0	-2.8	0.4	18.9	18.7	-0.2	0.0714	1.6
16.3	754.0	3.0	0.0	-3.0	0.4	19.0	18.7	-0.3	0.1	1.6
16.3	754.0	3.2	0.0	-3.2	0.3	19.1	18.7	-0.4	0.125	1.6
17.6	754.0	3.4	0.0	-3.4	0.2	18.3	18.0	-0.3	0.0882	1.5
16.9	754.0	3.6	0.0	-3.6	0.2	18.6	18.1	-0.5	0.1389	1.9
16.4	754.0	3.8	0.0	-3.8	0.3	18.6	18.1	-0.5	0.1316	1.5
16.1	754.0	4.0	0.0	-4.0	0.2	18.6	18.0	-0.6	0.15	1.5
15.9	754.0	4.2	0.0	-4.2	0.3	18.5	17.9	-0.6	0.1429	1.5
15.6	754.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	18.2	17.8	-0.4	0.0909	1.8
15.5	754.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	18.4	17.9	-0.5	0.1087	1.8
15.5	754.0	4.8	0.0	-4.8	0.2	18.3	17.7	-0.6	0.125	1.6
15.5	754.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	18.3	17.7	-0.6	0.12	1.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16.76	754.00	2.60	0.0	-2.60	0.35	18.79	18.71	-0.08	-0.1926	1.64

Tablo B.5 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
15.0	754.0	0.2	0.0	-0.2	0.2	17.7	17.9	0.2	-1.0	1.0
15.1	754.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	17.9	18.0	0.1	-0.25	1.0
15.1	754.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	17.6	17.9	0.3	-0.5	1.0
15.3	754.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	18.1	18.1	0.0	0.0	1.0
15.2	754.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	18.2	18.1	-0.1	0.1	1.0
15.3	754.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	18.0	18.0	0.0	0.0	1.0
15.2	754.0	1.4	0.0	-1.4	0.4	18.2	18.0	-0.2	0.1429	0.8
15.2	754.0	1.6	0.0	-1.6	0.3	18.3	18.1	-0.2	0.125	0.9
15.3	754.0	1.8	0.0	-1.8	0.3	18.3	18.0	-0.3	0.1667	0.9
15.2	754.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	18.2	18.0	-0.2	0.1	0.8
15.2	754.0	2.2	0.0	-2.2	0.3	18.2	17.9	-0.3	0.1364	1.0
15.2	754.0	2.4	0.0	-2.4	0.3	18.4	18.0	-0.4	0.1667	1.0
15.2	754.0	2.6	0.0	-2.6	0.3	18.3	17.9	-0.4	0.1538	1.0
15.1	754.0	2.8	0.0	-2.8	0.3	18.3	17.8	-0.5	0.1786	1.0
16.2	751.0	3.0	0.0	-3.0	0.3	17.4	17.1	-0.3	0.1	0.5
15.9	751.0	3.2	0.0	-3.2	0.4	17.1	16.8	-0.3	0.0938	0.5
15.2	751.0	3.4	0.0	-3.4	0.4	18.1	17.7	-0.4	0.1176	0.9
14.9	751.0	3.6	0.0	-3.6	0.4	17.4	16.9	-0.5	0.1389	1.0
14.6	751.0	3.8	0.0	-3.8	0.3	17.3	16.9	-0.4	0.1053	1.0
14.5	751.0	4.0	0.0	-4.0	0.4	17.6	17.0	-0.6	0.15	1.0
14.4	751.0	4.2	0.0	-4.2	0.4	17.3	16.8	-0.5	0.1190	0.5
14.5	751.0	4.4	0.0	-4.4	0.4	17.4	16.8	-0.6	0.1364	0.7
14.6	751.0	4.6	0.0	-4.6	0.3	17.5	16.9	-0.6	0.3478	0.9
14.7	751.0	4.8	0.0	-4.8	0.3	17.7	17.0	-0.7	0.1458	0.8
14.4	751.0	5.0	0.0	-5.0	0.3	17.5	16.8	-0.7	0.14	0.8
Ortalama 15.06	Ortalama 752.68	Ortalama 2.60	Ortalama 0.0	Ortalama -2.60	Ortalama 0.30	Ortalama 17.84	Ortalama 17.496	Ortalama -0.34	Ortalama 0.0446	Ortalama 0.88

Tablo B.6 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Argon (Ar) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
13.8	751.0	0.2	0.0	-0.2	0.4	16.7	16.9	0.2	-1.0	1.7
13.5	751.0	0.4	0.0	-0.4	0.4	16.5	16.9	0.4	-1.0	1.5
14.6	751.0	0.6	0.0	-0.6	0.4	16.6	17.0	0.4	-0.667	1.7
14.8	751.0	0.8	0.0	-0.8	0.4	16.8	17.1	0.3	-0.375	1.7
14.9	751.0	1.0	0.0	-1.0	0.4	17.0	17.2	0.2	-0.2	2.0
15.0	751.0	1.2	0.0	-1.2	0.4	17.2	17.3	0.1	-0.0833	2.0
17.4	751.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	17.9	17.8	-0.1	0.0714	1.6
17.1	751.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	18.1	17.9	-0.2	0.125	1.9
16.4	751.0	1.8	0.0	-1.8	0.2	18.0	17.9	-0.1	0.0556	1.6
16.4	751.0	2.0	0.0	-2.0	0.4	18.5	18.3	-0.2	0.1	1.7
16.2	751.0	2.2	0.0	-2.2	0.4	18.4	18.2	-0.2	0.0909	1.6
15.9	751.0	2.4	0.0	-2.4	0.4	18.5	18.2	-0.3	0.125	1.5
15.5	750.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	18.4	18.1	-0.3	0.1154	1.6
15.4	750.0	2.8	0.0	-2.8	0.3	18.4	18.0	-0.4	0.1429	1.5
15.6	750.0	3.0	0.0	-3.0	0.3	18.2	17.9	-0.3	0.1	1.8
15.8	750.0	3.2	0.0	-3.2	0.2	18.1	17.9	-0.2	0.0625	2.0
16.0	750.0	3.4	0.0	-3.4	0.4	18.4	18.0	-0.4	0.1176	2.0
16.0	750.0	3.6	0.0	-3.6	0.4	18.2	17.8	-0.4	0.1111	1.9
16.0	750.0	3.8	0.0	-3.8	0.4	18.4	17.8	-0.6	0.1579	1.9
16.0	750.0	4.0	0.0	-4.0	0.3	18.4	17.8	-0.6	0.15	1.7
16.4	750.0	4.2	0.0	-4.2	0.3	18.5	18.0	-0.5	0.1190	1.6
16.5	750.0	4.4	0.0	-4.4	0.3	18.5	18.0	-0.5	0.1136	1.6
16.1	750.0	4.6	0.0	-4.6	0.4	18.0	17.6	-0.4	0.0870	1.6
16.0	750.0	4.8	0.0	-4.8	0.4	18.5	17.9	-0.6	0.125	1.5
15.9	750.0	5.0	0.0	-5.0	0.3	18.4	17.8	-0.6	0.12	1.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
15.73	750.48	2.60	0.0	-2.60	0.33	17.94	17.73	-0.21	-0.0494	1.71

EK C :
OKSİJEN GAZI İÇİN KISILMA DENEYLERİ TABLOLARI

Tablo C.1 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen (O₂)** gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.1	762.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	19.7	20.2	0.5	-2.5	0.7
18.1	762.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	20.2	20.6	0.4	-1.0	0.7
18.2	762.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	20.3	20.7	0.4	-0.6667	0.6
18.3	762.0	0.8	0.0	-0.8	0.2	20.5	20.8	0.3	-0.375	0.5
18.4	762.0	1.0	0.0	-1.0	0.3	20.4	20.7	0.3	-0.3	0.8
18.4	762.0	1.2	0.0	-1.2	0.3	20.2	20.6	0.4	-0.3333	1.0
18.5	762.0	1.4	0.0	-1.4	0.3	20.4	20.7	0.3	-0.2143	0.9
18.5	762.0	1.6	0.0	-1.6	0.3	20.7	20.9	0.2	-0.125	0.5
18.5	762.0	1.8	0.0	-1.8	0.3	20.5	20.8	0.3	-0.1667	0.8
18.5	762.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	21.0	21.1	0.1	-0.05	0.9
18.6	762.0	2.2	0.0	-2.2	0.2	20.9	21.0	0.1	-0.0455	0.5
18.6	761.0	2.4	0.0	-2.4	0.2	20.8	20.8	0.0	0.0	0.5
18.6	761.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	21.3	21.2	-0.1	0.0385	0.5
18.6	761.0	2.8	0.0	-2.8	0.2	20.5	20.3	-0.2	0.0714	0.6
18.7	761.0	3.0	0.0	-3.0	0.2	20.6	20.3	-0.3	0.1	0.5
18.7	761.0	3.2	0.0	-3.2	0.2	21.5	21.3	-0.2	0.0625	0.5
18.7	761.0	3.4	0.0	-3.4	0.2	21.7	21.3	-0.4	0.1176	0.5
18.7	761.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	21.8	21.4	-0.4	0.1111	0.5
18.8	761.0	3.8	0.0	-3.8	0.2	21.8	21.4	-0.4	0.1053	0.6
18.8	761.0	4.0	0.0	-4.0	0.2	21.9	21.4	-0.5	0.125	0.5
18.8	761.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	21.9	21.4	-0.5	0.1190	0.5
18.8	761.0	4.4	0.0	-4.4	0.3	22.0	21.4	-0.6	0.1364	0.5
18.8	761.0	4.6	0.0	-4.6	0.2	22.1	21.5	-0.6	0.1304	0.5
18.8	761.0	4.8	0.0	-4.8	0.3	22.2	21.6	-0.6	0.125	0.5
18.8	761.0	5.0	0.0	-5.0	0.3	22.2	21.6	-0.6	0.12	0.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
18.57	761.44	2.60	0.0	-2.60	0.22	21.08	21.00	-0.08	-0.1766	0.60

Tablo C.2 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.2	761.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	20.4	20.7	0.3	-1.5	1.5
18.2	761.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	20.5	20.7	0.2	-0.5	1.6
18.2	761.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	20.2	20.5	0.3	-0.5	1.9
18.2	761.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	20.4	20.7	0.3	-0.375	1.5
18.2	761.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	20.3	20.6	0.3	-0.3	1.5
18.3	761.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	20.4	20.6	0.2	-0.1667	1.6
18.3	761.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	20.0	20.2	0.2	-0.1429	2.0
18.3	761.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	20.4	20.5	0.1	-0.0625	1.5
18.2	761.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	20.1	20.3	0.2	-0.1111	1.6
18.2	760.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	20.3	20.4	0.1	-0.05	2.0
18.2	760.0	2.2	0.0	-2.2	0.2	20.6	20.6	0.0	0.0	1.6
18.2	760.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	20.6	20.5	-0.1	0.0417	1.9
18.2	760.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	20.5	20.5	0.0	0.0	1.8
18.1	760.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	20.4	20.4	0.0	0.0	1.5
18.1	760.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	20.6	20.5	-0.1	0.0333	1.6
18.1	760.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	20.5	20.4	-0.1	0.0313	1.6
18.1	760.0	3.4	0.0	-3.4	0.2	20.6	20.4	-0.2	0.0588	2.0
18.1	760.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	20.9	20.6	-0.3	0.0833	1.7
17.9	760.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	20.6	20.3	-0.3	0.0789	1.5
17.8	760.0	4.0	0.0	-4.0	0.2	21.0	20.6	-0.4	0.1	1.6
17.8	760.0	4.2	0.0	-4.2	0.2	20.4	20.1	-0.3	0.0714	1.5
17.7	759.0	4.4	0.0	-4.4	0.2	20.7	20.3	-0.4	0.0909	1.5
17.6	759.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	20.8	20.3	-0.5	0.1087	1.5
17.6	759.0	4.8	0.0	-4.8	0.2	20.7	20.2	-0.5	0.1042	1.6
17.6	759.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	20.7	20.1	-0.6	0.12	1.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
18.06	760.20	2.60	0.0	-2.60	0.13	20.50	20.44	-0.06	-0.1114	1.65

Tablo C.3 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen (O₂)** gazı için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
16.7	757.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	19.3	19.6	0.3	-1.5	1.0
16.7	757.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	19.4	19.5	0.1	-0.25	0.5
16.7	757.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	19.2	19.5	0.3	-0.5	0.7
16.7	757.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	19.3	19.5	0.2	-0.25	0.7
16.7	757.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	19.4	19.5	0.1	-0.1	0.7
16.7	757.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	19.2	19.4	0.2	-0.1667	0.7
16.6	757.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	19.4	19.5	0.1	-0.0714	0.5
16.6	757.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	19.3	19.4	0.1	-0.0625	0.9
16.5	757.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	19.6	19.5	-0.1	0.0556	0.5
16.5	757.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	19.5	19.4	-0.1	0.05	0.5
16.7	753.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	19.5	19.3	-0.2	0.0909	0.9
16.7	753.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	19.6	19.4	-0.2	0.0833	0.5
16.8	753.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	19.5	19.3	-0.2	0.0769	0.8
16.9	753.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	19.6	19.4	-0.2	0.0714	0.5
16.9	753.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	19.6	19.3	-0.3	0.1	0.5
16.9	753.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	19.8	19.4	-0.4	0.125	0.5
16.9	753.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	20.0	19.5	-0.5	0.147	0.5
16.9	753.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	20.0	19.5	-0.5	0.139	0.5
16.9	753.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	20.1	19.6	-0.5	0.132	0.5
16.9	753.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	20.1	19.5	-0.6	0.15	0.6
16.9	753.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	20.0	19.5	-0.5	0.1190	0.7
16.9	753.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	20.0	19.4	-0.6	0.1364	0.7
16.9	753.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	20.1	19.5	-0.6	0.1304	0.6
16.9	753.0	4.8	0.0	-4.8	0.2	20.2	19.5	-0.7	0.1458	0.6
16.9	753.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	20.3	19.5	-0.8	0.16	0.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
16.78	754.60	2.60	0.0	-2.60	0.09	19.68	19.46	-0.22	-0.0395	0.62

Tablo C.4 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Oksijen (O₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.3	753.0	0.2	0.0	-0.2	-0.2	20.8	20.5	-0.3	1.5	1.5
18.3	753.0	0.4	0.0	-0.4	-0.1	20.8	20.6	-0.2	0.5	1.6
18.3	753.0	0.6	0.0	-0.6	-0.1	20.8	20.6	-0.2	0.3333	1.7
18.3	753.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	20.8	20.6	-0.2	0.25	2.0
18.3	753.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	20.9	20.6	-0.3	0.3	2.0
18.3	753.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	20.9	20.7	-0.2	0.1667	1.8
18.3	753.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	21.0	20.7	-0.3	0.2143	1.5
18.3	753.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	21.0	20.7	-0.3	0.1875	1.5
18.3	753.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	21.2	20.8	-0.4	0.2222	1.5
18.2	753.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	21.1	20.8	-0.3	0.15	1.5
18.1	753.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	21.3	20.8	-0.5	0.2273	1.5
17.6	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	20.5	20.2	-0.3	0.125	1.5
17.6	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	20.5	20.1	-0.4	0.1538	1.5
17.6	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.2	20.4	20.0	-0.4	0.1429	1.5
17.5	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	20.5	20.1	-0.4	0.1333	1.5
17.5	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	20.7	20.1	-0.6	0.1875	1.6
17.5	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	20.6	20.0	-0.6	0.1765	2.0
17.4	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	20.6	20.0	-0.6	0.1667	1.8
17.4	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	20.6	20.1	-0.5	0.1316	1.9
17.4	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	20.6	20.0	-0.6	0.15	1.8
17.4	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.0	20.7	20.0	-0.7	0.1667	1.5
15.2	751.0	4.4	0.0	-4.4	0.2	18.5	18.2	-0.3	0.0682	1.5
15.2	751.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	18.1	17.5	-0.6	0.1304	1.5
15.3	751.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	18.2	17.5	-0.7	0.1458	1.5
15.5	751.0	5.0	0.0	-5.0	0.0	17.9	17.4	-0.5	0.1	1.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
17.48	752.28	2.60	0.0	-2.60	0.04	20.36	19.94	-0.42	0.2412	1.63

Tablo C.5 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen (O₂)** gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Ternometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
12.4	757.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	13.5	14.2	0.7	-3.5	0.9
11.6	757.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	13.3	14.0	0.7	-1.75	1.0
11.3	757.0	0.6	0.0	-0.6	0.3	13.1	13.8	0.7	-1.1667	1.0
11.1	757.0	0.8	0.0	-0.8	0.3	13.2	13.7	0.5	-0.625	1.0
11.0	757.0	1.0	0.0	-1.0	0.4	13.1	13.6	0.5	-0.5	0.9
10.9	757.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	13.2	13.6	0.4	-0.3333	0.7
10.9	757.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	13.2	13.6	0.4	-0.2857	0.8
11.0	757.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	13.2	13.7	0.5	-0.3125	0.8
11.2	757.0	1.8	0.0	-1.8	0.2	13.3	13.7	0.4	-0.2222	0.7
11.2	757.0	2.0	0.0	-2.0	0.3	13.4	13.8	0.4	-0.2	0.8
11.3	757.0	2.2	0.0	-2.2	0.2	13.6	13.9	0.3	-0.1364	0.6
11.2	757.0	2.4	0.0	-2.4	0.2	13.7	13.9	0.2	-0.0833	0.6
11.1	757.0	2.6	0.0	-2.6	0.3	13.6	13.8	0.2	-0.0769	0.5
11.2	757.0	2.8	0.0	-2.8	0.2	13.5	13.8	0.3	-0.1071	0.7
11.3	757.0	3.0	0.0	-3.0	0.3	13.6	13.8	0.2	-0.0667	0.8
11.5	757.0	3.2	0.0	-3.2	0.4	13.7	13.9	0.2	-0.0625	0.6
11.6	757.0	3.4	0.0	-3.4	0.3	14.0	14.0	0.0	0.0	0.6
13.9	754.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	15.3	15.1	-0.2	0.0556	0.9
13.2	754.0	3.8	0.0	-3.8	0.3	15.3	15.1	-0.2	0.0526	0.9
13.2	754.0	4.0	0.0	-4.0	0.2	15.4	15.2	-0.2	0.05	0.7
13.2	754.0	4.2	0.0	-4.2	0.4	15.7	15.2	-0.5	0.1190	0.7
13.2	754.0	4.4	0.0	-4.4	0.3	15.7	15.3	-0.4	0.0909	0.7
13.3	754.0	4.6	0.0	-4.6	0.3	15.7	15.3	-0.4	0.0870	0.8
13.4	754.0	4.8	0.0	-4.8	0.4	15.7	15.3	-0.4	0.0833	0.7
13.4	754.0	5.0	0.0	-5.0	0.3	15.9	15.5	-0.4	0.08	0.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
11.94	756.04	2.60	0.0	-2.60	0.26	14.12	14.27	0.16	-0.3524	0.76

Tablo C.6 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen **Oksijen (O₂)** gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
13.5	754.0	0.2	0.0	-0.2	0.3	14.9	15.6	0.7	-3.5	1.7
13.5	754.0	0.4	0.0	-0.4	0.3	14.7	15.5	0.8	-2.0	1.7
13.6	754.0	0.6	0.0	-0.6	0.3	14.7	15.4	0.7	-1.1667	1.9
13.6	754.0	0.8	0.0	-0.8	0.4	14.7	15.4	0.7	-0.875	1.7
13.6	754.0	1.0	0.0	-1.0	0.4	15.2	15.5	0.3	-0.3	1.6
13.6	754.0	1.2	0.0	-1.2	0.4	15.0	15.4	0.4	-0.3333	1.6
13.6	754.0	1.4	0.0	-1.4	0.4	14.8	15.2	0.4	-0.2857	1.5
13.5	754.0	1.6	0.0	-1.6	0.3	15.0	15.3	0.3	-0.1875	1.6
13.5	754.0	1.8	0.0	-1.8	0.4	14.6	15.0	0.4	-0.2222	1.6
13.6	754.0	2.0	0.0	-2.0	0.4	14.9	15.1	0.2	-0.1	1.6
13.6	754.0	2.2	0.0	-2.2	0.4	14.7	15.0	0.3	-0.1364	1.7
14.3	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.4	15.4	15.6	0.2	-0.0833	2.0
14.0	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.4	15.5	15.6	0.1	-0.0385	1.5
14.0	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.4	15.1	15.2	0.1	-0.0357	1.7
14.0	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.2	15.7	15.6	-0.1	0.0333	1.6
13.9	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.4	15.4	15.5	0.1	-0.0312	1.5
14.1	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.3	15.6	15.6	0.0	0.0	1.5
14.2	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.2	15.7	15.7	0.0	0.0	1.5
14.1	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.2	15.7	15.7	0.0	0.0	1.5
14.2	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.3	15.8	15.7	-0.1	0.025	1.8
14.3	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.3	15.4	15.2	-0.2	0.0476	1.5
14.4	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	16.0	15.7	-0.3	0.0682	1.5
14.3	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.3	15.9	15.6	-0.3	0.0652	1.5
14.3	752.0	4.8	0.0	-4.8	0.3	15.9	15.6	-0.3	0.0625	1.5
14.4	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.3	16.0	15.4	-0.6	0.12	1.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
13.91	752.88	2.60	0.0	-2.60	0.32	15.29	15.44	0.15	-0.3549	1.61

EK D:

FREON-22 İÇİN KISILMA DENEYLERİ TABLOLARI

Tablo D.1 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF₂) için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
17.6	752.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	19.1	19.3	0.2	-1.0	0.6
17.5	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	19.4	19.4	0.0	0.0	0.7
17.5	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	19.2	19.1	-0.1	0.1667	0.7
17.4	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	19.1	18.8	-0.3	0.375	0.6
17.4	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	19.2	18.5	-0.7	0.7	0.8
17.4	752.0	1.2	0.0	-1.2	-0.1	19.2	18.2	-1.0	0.8333	0.8
17.3	752.0	1.4	0.0	-1.4	-0.1	19.2	17.9	-1.3	0.9286	0.9
17.2	752.0	1.6	0.0	-1.6	-0.2	19.4	18.0	-1.4	0.875	1.0
17.2	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	19.5	18.0	-1.5	0.8333	1.0
17.2	752.0	2.0	0.0	-2.0	-0.2	19.6	17.8	-1.8	0.9	1.0
17.2	752.0	2.2	0.0	-2.2	-0.2	19.8	17.8	-2.0	0.9091	1.0
17.3	752.0	2.4	0.0	-2.4	-0.3	19.7	17.6	-2.1	0.875	0.8
17.2	752.0	2.6	0.0	-2.6	-0.3	20.0	17.8	-2.2	0.8462	0.7
17.2	752.0	2.8	0.0	-2.8	-0.3	19.8	17.3	-2.5	0.8929	0.9
17.2	752.0	3.0	0.0	-3.0	-0.3	20.0	17.5	-2.5	0.8333	0.7
17.5	752.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	19.8	17.3	-2.5	0.7813	0.8
17.5	752.0	3.4	0.0	-3.4	-0.3	19.8	16.8	-3.0	0.8824	0.9
17.4	752.0	3.6	0.0	-3.6	-0.4	19.7	16.4	-3.3	0.9167	0.8
17.4	752.0	3.8	0.0	-3.8	-0.4	19.9	16.9	-3.0	0.7895	0.6
17.5	752.0	4.0	0.0	-4.0	-0.2	20.0	16.3	-3.7	0.925	0.8
17.5	752.0	4.2	0.0	-4.2	-0.4	20.0	16.5	-3.5	0.8333	0.8
18.0	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	20.7	16.7	-4.0	0.9091	0.9
18.1	752.0	4.6	0.0	-4.6	-0.3	21.0	17.3	-3.7	0.8043	0.7
18.2	752.0	4.8	0.0	-4.8	-0.3	20.9	17.0	-3.9	0.8125	0.7
18.3	752.0	5.0	0.0	-5.0	-0.3	21.0	16.8	-4.2	0.84	0.9
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
17.49	752.00	2.60	0.0	-2.60	-0.16	19.80	17.64	-2.16	0.6985	0.80

Tablo D.2 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF₂) için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.4	753.0	0.2	0.0	-0.3	20.3	19.6	-0.7	3.5	1.6
18.5	753.0	0.4	0.0	-0.3	20.3	19.7	-0.6	1.5	1.5
18.4	753.0	0.6	0.0	-0.3	20.3	19.7	-0.6	1.0	1.7
18.4	753.0	0.8	0.0	-0.3	20.3	19.5	-0.8	1.0	1.5
18.5	753.0	1.0	0.0	-0.3	20.3	19.3	-1.0	1.0	1.6
18.5	753.0	1.2	0.0	-0.4	20.3	19.1	-1.2	1.0	1.6
18.2	753.0	1.4	0.0	0.0	20.5	19.5	-1.0	0.7143	1.6
18.2	753.0	1.6	0.0	-0.3	20.4	19.1	-1.3	0.8125	1.5
18.2	753.0	1.8	0.0	-0.3	20.6	19.3	-1.3	0.7222	1.6
18.4	753.0	2.0	0.0	-0.2	20.6	18.8	-1.8	0.9	1.6
18.5	753.0	2.2	0.0	-0.3	20.7	18.8	-1.9	0.8636	1.6
18.5	753.0	2.4	0.0	-0.4	20.6	18.4	-2.2	0.9167	1.6
18.5	753.0	2.6	0.0	-0.4	20.5	18.1	-2.4	0.9231	1.5
18.5	753.0	2.8	0.0	-0.4	20.6	17.5	-3.1	1.1071	1.6
18.5	752.0	3.0	0.0	-0.3	20.7	17.8	-2.9	0.9667	1.5
18.5	752.0	3.2	0.0	-0.2	20.4	17.2	-3.2	1.0	1.5
18.6	752.0	3.4	0.0	-0.4	20.7	17.7	-3.0	0.8824	1.5
18.6	752.0	3.6	0.0	-0.4	20.7	17.4	-3.3	0.9167	1.5
19.1	750.0	3.8	0.0	0.0	21.6	18.0	-3.6	0.9474	1.7
19.3	750.0	4.0	0.0	-0.4	21.5	16.7	-4.8	1.2	1.6
19.7	750.0	4.2	0.0	-0.4	21.9	17.1	-4.8	1.1429	1.6
20.0	750.0	4.4	0.0	-0.4	21.7	16.3	-5.4	1.2273	1.6
20.4	750.0	4.6	0.0	-0.4	22.0	16.5	-5.5	1.1957	1.8
20.6	750.0	4.8	0.0	-0.4	22.0	16.1	-5.9	1.2292	1.7
20.8	750.0	5.0	0.0	-0.4	21.9	16.2	-5.7	1.14	1.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
18.87	752.00	2.60	0.0	-0.32	20.86	18.14	-2.72	1.1123	1.58

Tablo D.3 0.5 m/s-1 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar , 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF₂) için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.6	748.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	21.8	21.8	0.0	0.0	0.8
19.6	748.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	21.8	21.8	0.0	0.0	0.8
19.6	748.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	22.0	21.8	-0.2	0.3333	0.9
19.6	748.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	21.9	21.6	-0.3	0.375	0.9
19.6	748.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	21.9	21.4	-0.5	0.5	1.0
19.7	748.0	1.2	0.0	-1.2	-0.1	22.0	21.3	-0.7	0.5833	1.0
19.7	748.0	1.4	0.0	-1.4	-0.2	21.5	20.6	-0.9	0.6429	1.0
19.7	748.0	1.6	0.0	-1.6	-0.2	21.7	20.6	-1.1	0.6875	0.9
19.7	748.0	1.8	0.0	-1.8	-0.2	21.5	20.1	-1.4	0.7778	1.0
19.7	748.0	2.0	0.0	-2.0	-0.3	21.6	19.9	-1.7	0.85	0.9
19.7	748.0	2.2	0.0	-2.2	-0.2	21.6	19.8	-1.8	0.8182	1.0
19.7	748.0	2.4	0.0	-2.4	-0.3	21.3	18.8	-2.5	1.0417	0.9
19.7	748.0	2.6	0.0	-2.6	-0.4	21.2	18.8	-2.4	0.9231	0.9
19.7	748.0	2.8	0.0	-2.8	-0.4	22.1	19.8	-2.3	0.8214	0.8
19.7	748.0	3.0	0.0	-3.0	-0.2	21.4	19.0	-2.4	0.8	0.8
19.7	748.0	3.2	0.0	-3.2	-0.4	21.7	18.7	-3.0	0.9375	0.8
19.7	747.0	3.4	0.0	-3.4	-0.3	21.6	18.5	-3.1	0.9118	0.8
19.7	747.0	3.6	0.0	-3.6	-0.3	21.7	19.2	-2.5	0.6944	0.5
19.7	747.0	3.8	0.0	-3.8	-0.4	21.5	18.4	-3.1	0.8158	0.6
19.7	747.0	4.0	0.0	-4.0	-0.4	21.4	18.0	-3.4	0.85	0.8
19.7	747.0	4.2	0.0	-4.2	-0.4	22.2	18.9	-3.3	0.7857	0.6
19.7	747.0	4.4	0.0	-4.4	-0.4	21.5	18.1	-3.4	0.7727	0.6
19.7	747.0	4.6	0.0	-4.6	-0.4	21.5	18.1	-3.4	0.7391	0.6
20.1	747.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	22.5	17.9	-4.6	0.9583	0.8
20.1	747.0	5.0	0.0	-5.0	-0.3	22.0	17.5	-4.5	0.9	0.8
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.71	747.64	2.60	0.0	-2.60	-0.23	21.72	19.62	-2.10	0.7008	0.82

Tablo D.4 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF₂) için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
20.1	747.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	21.8	21.7	-0.1	0.5	1.6
20.1	747.0	0.4	0.0	-0.4	-0.1	21.8	21.6	-0.2	0.5	1.6
20.1	747.0	0.6	0.0	-0.6	-0.1	21.8	21.4	-0.4	0.6667	1.7
20.1	747.0	0.8	0.0	-0.8	-0.1	21.8	21.2	-0.6	0.75	1.7
20.1	747.0	1.0	0.0	-1.0	-0.2	21.9	21.1	-0.8	0.8	1.7
20.1	747.0	1.2	0.0	-1.2	-0.2	21.8	20.8	-1.0	0.8333	1.6
20.1	747.0	1.4	0.0	-1.4	-0.3	21.8	20.7	-1.1	0.7857	1.6
20.2	747.0	1.6	0.0	-1.6	-0.3	22.0	20.6	-1.4	0.875	1.6
20.2	747.0	1.8	0.0	-1.8	-0.2	22.0	20.4	-1.6	0.8889	1.7
20.2	747.0	2.0	0.0	-2.0	-0.3	21.8	20.0	-1.8	0.9	1.5
20.2	747.0	2.2	0.0	-2.2	-0.3	21.7	19.5	-2.2	1.0	1.5
20.2	747.0	2.4	0.0	-2.4	-0.3	21.6	19.0	-2.6	1.0833	1.5
20.2	747.0	2.6	0.0	-2.6	-0.4	21.6	18.6	-3.0	1.1538	1.8
20.3	747.0	2.8	0.0	-2.8	-0.4	21.2	18.0	-3.2	1.1429	1.8
20.3	747.0	3.0	0.0	-3.0	-0.4	21.8	18.7	-3.1	1.0333	2.0
19.6	747.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	21.7	18.3	-3.4	1.0625	1.9
19.7	747.0	3.4	0.0	-3.4	-0.4	21.6	17.7	-3.9	1.1471	1.7
19.7	747.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	21.6	17.6	-4.0	1.1111	1.9
20.0	747.0	3.8	0.0	-3.8	-0.4	21.5	16.8	-4.7	1.2368	1.7
19.9	747.0	4.0	0.0	-4.0	-0.4	21.3	16.0	-5.3	1.325	1.6
19.8	747.0	4.2	0.0	-4.2	-0.4	21.7	17.3	-4.4	1.0476	1.5
19.8	747.0	4.4	0.0	-4.4	-0.5	22.0	17.7	-4.3	0.9773	1.5
19.7	748.0	4.6	0.0	-4.6	-0.5	22.5	18.2	-4.3	0.9348	1.5
19.7	748.0	4.8	0.0	-4.8	-0.5	23.0	18.0	-5.0	1.0417	1.5
19.7	748.0	5.0	0.0	-5.0	-0.5	22.0	16.3	-5.7	1.14	1.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
20.00	747.12	2.60	0.0	-2.60	-0.30	21.81	19.09	-2.72	0.9575	1.65

Tablo D.5 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF₂) için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	JouleThomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
19.4	749.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	22.1	22.4	0.3	-1.5	1.0
19.5	749.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	22.1	22.2	0.1	-0.25	1.0
19.5	749.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	22.0	22.0	0.0	0.0	1.0
19.6	749.0	0.8	0.0	-0.8	0.2	22.1	22.0	-0.1	0.125	1.0
19.6	749.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	22.0	21.6	-0.4	0.4	1.0
19.6	749.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.0	21.5	-0.5	0.4167	0.9
19.6	749.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.2	21.4	-0.8	0.5714	0.7
19.6	749.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	21.8	20.8	-1.0	0.625	0.6
19.6	749.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.2	21.0	-1.2	0.6667	0.7
19.6	749.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.0	20.5	-1.5	0.75	0.6
19.6	749.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	22.2	20.6	-1.6	0.7273	0.5
19.6	749.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	22.4	20.4	-2.0	0.8333	0.6
19.6	749.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	22.2	20.0	-2.2	0.8462	0.6
19.6	749.0	2.8	0.0	-2.8	-0.2	22.6	20.4	-2.2	0.7857	0.5
19.6	749.0	3.0	0.0	-3.0	-0.2	22.4	20.0	-2.4	0.8	0.6
19.6	749.0	3.2	0.0	-3.2	-0.2	23.0	20.3	-2.7	0.8438	0.5
19.6	749.0	3.4	0.0	-3.4	-0.2	22.7	20.1	-2.6	0.7647	0.5
19.6	749.0	3.6	0.0	-3.6	-0.2	23.0	20.2	-2.8	0.7778	0.5
19.6	749.0	3.8	0.0	-3.8	-0.3	23.5	20.5	-3.0	0.7895	0.5
19.9	754.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	22.5	18.9	-3.6	0.9	0.9
20.0	754.0	4.2	0.0	-4.2	-0.3	22.8	19.0	-3.8	0.9048	1.0
20.2	754.0	4.4	0.0	-4.4	-0.3	23.7	20.0	-3.7	0.8409	1.0
20.5	754.0	4.6	0.0	-4.6	-0.3	24.0	20.0	-4.0	0.8696	0.9
19.6	757.0	4.8	0.0	-4.8	-0.4	23.0	18.5	-4.5	0.9375	0.9
19.5	757.0	5.0	0.0	-5.0	-0.4	23.0	18.1	-4.9	0.98	1.0
Ortalama 19.67	Ortalama 750.44	Ortalama 2.60	Ortalama 0.0	Ortalama -2.60	Ortalama -0.06	Ortalama 22.54	Ortalama 20.50	Ortalama -2.04	Ortalama 0.5762	Ortalama 0.76

Tablo D.6 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Freon-22 (CHClF₂) için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
20.8	754.0	0.2	0.0	-0.2	22.3	22.1	-0.2	1.0	1.6
20.9	754.0	0.4	0.0	-0.1	22.6	22.3	-0.3	0.75	2.0
21.0	754.0	0.6	0.0	0.0	22.5	22.1	-0.4	0.6667	1.9
20.9	754.0	0.8	0.0	-0.1	22.5	22.0	-0.5	0.625	1.9
20.9	754.0	1.0	0.0	0.0	22.7	22.1	-0.6	0.6	1.6
20.9	754.0	1.2	0.0	0.0	22.8	22.0	-0.8	0.6667	1.6
21.0	754.0	1.4	0.0	-0.1	22.7	21.7	-1.0	0.7143	1.5
21.0	754.0	1.6	0.0	-0.1	22.7	21.5	-1.2	0.75	1.6
21.0	754.0	1.8	0.0	-0.1	23.0	21.6	-1.4	0.7778	1.8
21.0	754.0	2.0	0.0	-0.1	23.0	21.4	-1.6	0.8	1.7
21.0	754.0	2.2	0.0	-0.1	22.8	21.0	-1.8	0.8182	1.8
21.0	754.0	2.4	0.0	-0.2	23.0	21.0	-2.0	0.8333	1.7
21.0	754.0	2.6	0.0	-0.2	23.5	21.4	-2.1	0.8077	1.5
21.0	754.0	2.8	0.0	-0.2	23.6	21.5	-2.1	0.75	1.5
20.6	754.0	3.0	0.0	0.0	22.3	19.3	-3.0	1.0	1.6
20.6	756.0	3.2	0.0	-0.3	23.0	20.1	-2.9	0.9063	2.0
20.6	756.0	3.4	0.0	-0.3	24.0	21.1	-2.9	0.8529	2.0
20.7	756.0	3.6	0.0	-0.3	23.7	20.7	-3.0	0.8333	2.0
20.7	756.0	3.8	0.0	-0.3	23.5	20.0	-3.5	0.9211	1.8
20.7	756.0	4.0	0.0	-0.3	24.3	21.0	-3.3	0.825	1.5
20.7	756.0	4.2	0.0	-0.2	24.4	21.0	-3.4	0.8095	1.5
20.7	756.0	4.4	0.0	-0.2	24.4	20.0	-4.4	1.0	1.8
20.2	757.0	4.6	0.0	0.0	22.2	17.3	-4.9	1.0652	1.7
20.2	757.0	4.8	0.0	-0.3	22.7	17.7	-5.0	1.0417	1.6
20.5	757.0	5.0	0.0	-0.3	22.3	16.3	-6.0	1.2	1.9
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
20.78	754.92	2.60	0.0	-0.16	23.06	20.73	-2.33	0.8406	1.72

EK E :

KARBONDİOKSİT GAZI İÇİN KISILMA DENEYLERİ TABLÖLARI

Tablo E.1 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.3	743.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	21.8	21.8	0.0	0.0	1.0
19.3	743.0	0.4	0.0	-0.4	-0.1	21.7	21.8	0.1	-0.25	0.9
19.3	743.0	0.6	0.0	-0.6	-0.1	21.6	21.7	0.1	-0.1667	0.7
19.4	743.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	21.7	21.7	0.0	0.0	0.6
19.3	743.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	21.7	21.6	-0.1	0.1	1.0
19.3	743.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	21.6	21.5	-0.1	0.0833	0.8
19.3	743.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	21.7	21.5	-0.2	0.1429	0.7
20.6	746.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	22.6	22.3	-0.3	0.1875	1.0
20.6	746.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	22.8	22.5	-0.3	0.1667	0.7
20.6	746.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.9	22.5	-0.4	0.2	0.6
20.6	746.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	22.8	22.4	-0.4	0.1818	0.6
20.6	746.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	22.8	22.3	-0.5	0.2083	0.6
20.6	746.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	22.8	22.2	-0.6	0.2308	0.6
20.5	746.0	2.8	0.0	-2.8	0.0	22.7	22.0	-0.7	0.25	0.7
20.5	746.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	22.8	22.0	-0.8	0.2667	0.7
19.6	746.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	22.3	21.6	-0.7	0.2188	0.6
19.6	746.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	22.4	21.6	-0.8	0.2353	0.7
19.6	746.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	22.2	21.1	-1.1	0.3056	0.7
19.6	746.0	3.8	0.0	-3.8	-0.1	22.3	21.1	-1.2	0.3158	0.7
19.7	746.0	4.0	0.0	-4.0	-0.1	22.3	20.9	-1.4	0.35	0.8
19.7	746.0	4.2	0.0	-4.2	-0.2	22.2	20.6	-1.6	0.3810	0.7
19.7	746.0	4.4	0.0	-4.4	-0.3	22.1	20.2	-1.9	0.4318	0.9
19.6	746.0	4.6	0.0	-4.6	-0.3	22.2	20.4	-1.8	0.3913	0.8
19.6	746.0	4.8	0.0	-4.8	-0.3	22.1	20.1	-2.0	0.4167	0.8
19.7	746.0	5.0	0.0	-5.0	-0.4	22.0	19.8	-2.2	0.44	1.0
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.85	745.16	2.60	0.0	-2.60	-0.04	22.24	21.49	-0.76	0.2035	0.76

Tablo E.2 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.4	746.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	21.6	21.7	0.1	-0.5	1.8
19.2	746.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	21.6	21.7	0.1	-0.25	1.9
19.2	746.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	21.5	21.6	0.1	-0.1667	2.0
19.1	746.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	21.4	21.4	0.0	0.0	1.8
19.0	746.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	21.5	21.4	-0.1	0.1	1.7
18.9	746.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	21.3	21.1	-0.2	0.1667	1.8
18.8	746.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	21.3	21.0	-0.3	0.2143	1.8
18.7	746.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	21.2	20.7	-0.5	0.3125	1.9
18.7	746.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	21.1	20.5	-0.6	0.3333	1.9
18.7	746.0	2.0	0.0	-2.0	-0.1	21.2	20.5	-0.7	0.35	2.0
18.6	746.0	2.2	0.0	-2.2	-0.1	21.2	20.4	-0.8	0.3636	2.0
18.6	746.0	2.4	0.0	-2.4	-0.1	21.0	20.1	-0.9	0.375	1.7
18.5	746.0	2.6	0.0	-2.6	-0.2	21.1	20.0	-1.1	0.4231	1.9
18.4	746.0	2.8	0.0	-2.8	-0.2	21.0	19.8	-1.2	0.4286	1.9
18.3	746.0	3.0	0.0	-3.0	-0.2	21.0	19.8	-1.2	0.4	1.9
18.3	746.0	3.2	0.0	-3.2	-0.3	21.1	19.7	-1.4	0.4375	1.9
19.7	746.0	3.4	0.0	-3.4	-0.1	22.0	20.8	-1.2	0.3529	1.5
19.7	748.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	22.0	20.5	-1.5	0.4167	1.6
19.7	748.0	3.8	0.0	-3.8	-0.2	22.0	20.4	-1.6	0.4211	1.7
19.7	748.0	4.0	0.0	-4.0	-0.3	21.9	20.1	-1.8	0.45	1.8
19.7	748.0	4.2	0.0	-4.2	-0.3	21.9	19.9	-2.0	0.4762	1.9
19.7	748.0	4.4	0.0	-4.4	-0.3	21.8	19.5	-2.3	0.5227	2.0
19.7	748.0	4.6	0.0	-4.6	-0.3	21.8	19.4	-2.4	0.5217	1.8
19.8	748.0	4.8	0.0	-4.8	-0.4	21.8	19.3	-2.5	0.5208	1.8
19.8	748.0	5.0	0.0	-5.0	-0.4	21.7	19.0	-2.7	0.54	1.8
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.12	746.64	2.60	0.0	-2.60	-0.12	21.48	20.41	-1.07	0.2884	1.83

Tablo E.3 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.9	746.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	22.3	22.4	0.1	-0.5	0.6
19.9	746.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	22.3	22.4	0.1	-0.25	0.6
20.0	746.0	0.6	0.0	-0.6	0.0	22.3	22.3	0.0	0.0	0.9
20.0	746.0	0.8	0.0	-0.8	0.0	22.2	22.2	0.0	0.0	0.9
20.0	746.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	22.2	22.1	-0.1	0.1	1.0
20.1	746.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.3	22.1	-0.2	0.1667	0.8
20.1	746.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.2	21.9	-0.3	0.2143	1.0
20.2	746.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	22.2	21.7	-0.5	0.3125	1.0
20.2	746.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.2	21.6	-0.6	0.3333	0.9
20.2	746.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.2	21.5	-0.7	0.35	0.9
20.2	746.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	22.1	21.4	-0.7	0.3182	0.7
20.2	746.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	22.3	21.6	-0.7	0.2917	0.5
20.2	746.0	2.6	0.0	-2.6	-0.1	22.0	21.3	-0.7	0.2692	0.5
20.0	746.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.1	21.2	-0.9	0.3214	0.7
20.0	746.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.2	21.1	-1.1	0.3667	0.7
19.3	746.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	22.2	21.2	-1.0	0.3125	0.8
19.3	745.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	22.0	20.7	-1.3	0.3824	1.0
19.4	745.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	21.9	20.4	-1.5	0.4167	1.0
19.4	745.0	3.8	0.0	-3.8	-0.2	21.6	19.7	-1.9	0.5	1.0
19.4	745.0	4.0	0.0	-4.0	-0.3	22.0	20.1	-1.9	0.475	1.0
19.4	745.0	4.2	0.0	-4.2	-0.3	21.6	19.6	-2.0	0.4762	1.0
19.4	745.0	4.4	0.0	-4.4	-0.4	21.6	19.5	-2.1	0.4773	1.0
19.4	745.0	4.6	0.0	-4.6	-0.4	21.6	19.3	-2.3	0.5	0.9
19.4	745.0	4.8	0.0	-4.8	-0.3	21.7	19.1	-2.6	0.5417	1.0
19.4	745.0	5.0	0.0	-5.0	-0.3	21.6	18.6	-3.0	0.6	1.0
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.80	745.64	2.60	0.0	-2.60	-0.06	22.04	21.00	-1.04	0.2790	0.86

Tablo E.4 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lık boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.1	746.0	0.2	0.0	-0.2	-0.2	21.2	21.0	-0.2	1.0	1.6
19.1	746.0	0.4	0.0	-0.4	-0.1	21.2	21.0	-0.2	0.5	1.7
19.1	746.0	0.6	0.0	-0.6	-0.1	21.2	21.0	-0.2	0.3333	2.0
19.1	746.0	0.8	0.0	-0.8	-0.1	21.1	20.8	-0.3	0.375	1.8
19.1	746.0	1.0	0.0	-1.0	-0.1	21.0	20.6	-0.4	0.4	1.6
19.1	746.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	21.1	20.6	-0.5	0.4167	1.6
19.1	746.0	1.4	0.0	-1.4	-0.1	21.2	20.7	-0.5	0.3571	1.6
19.1	746.0	1.6	0.0	-1.6	-0.1	21.1	20.5	-0.6	0.375	1.6
19.1	746.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	21.1	20.4	-0.7	0.3889	1.5
18.9	746.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	21.0	20.0	-1.0	0.5	1.5
18.9	746.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	20.9	19.8	-1.1	0.5	1.6
18.9	746.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	20.8	19.6	-1.2	0.5	1.7
19.0	746.0	2.6	0.0	-2.6	-0.2	20.8	19.4	-1.4	0.5385	1.5
19.0	746.0	2.8	0.0	-2.8	-0.1	20.7	19.1	-1.6	0.5714	1.6
19.1	746.0	3.0	0.0	-3.0	-0.3	20.9	19.1	-1.8	0.6	1.6
19.1	746.0	3.2	0.0	-3.2	-0.2	20.8	18.8	-2.0	0.625	1.6
19.0	746.0	3.4	0.0	-3.4	-0.5	21.0	19.0	-2.0	0.5882	1.6
19.0	746.0	3.6	0.0	-3.6	-0.3	21.0	18.8	-2.2	0.6111	1.7
18.6	745.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	21.2	19.7	-1.5	0.3947	1.6
18.6	745.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	21.1	19.2	-1.9	0.475	1.6
18.6	745.0	4.2	0.0	-4.2	-0.1	21.0	18.7	-2.3	0.5476	1.6
18.6	745.0	4.4	0.0	-4.4	-0.4	21.3	18.7	-2.6	0.5909	1.6
18.6	744.0	4.6	0.0	-4.6	-0.2	21.1	18.2	-2.9	0.6304	1.9
18.6	744.0	4.8	0.0	-4.8	-0.5	21.0	18.2	-2.8	0.5833	1.8
18.6	744.0	5.0	0.0	-5.0	-0.3	20.9	17.6	-3.3	0.66	1.9
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
18.92	745.60	2.60	0.0	-2.60	-0.16	21.03	19.62	-1.41	0.5225	1.66

Tablo E.5 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
18.5	750.0	0.2	0.0	-0.2	0.2	20.9	21.0	0.1	-0.5	0.5
18.5	750.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	21.0	21.0	0.0	0.0	0.9
18.6	750.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	21.1	21.0	-0.1	0.1667	1.0
18.6	750.0	0.8	0.0	-0.8	0.2	21.1	20.9	-0.2	0.25	0.7
18.6	750.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	21.1	20.8	-0.3	0.3	0.7
18.7	750.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	21.2	20.7	-0.5	0.4167	0.8
18.7	750.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	21.2	20.7	-0.5	0.3571	1.0
18.7	750.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	21.1	20.5	-0.6	0.375	0.9
18.8	750.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	21.3	20.5	-0.8	0.4444	0.6
18.9	750.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	21.3	20.3	-1.0	0.5	0.6
18.9	750.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	21.2	20.1	-1.1	0.5	0.6
19.0	750.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	21.3	20.1	-1.2	0.5	0.6
19.0	750.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	21.1	19.8	-1.3	0.5	0.7
19.1	750.0	2.8	0.0	-2.8	-0.1	21.1	19.6	-1.5	0.5357	0.8
19.2	750.0	3.0	0.0	-3.0	-0.1	21.3	19.6	-1.7	0.5667	1.0
19.2	750.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	21.1	19.3	-1.8	0.5625	1.0
19.3	750.0	3.4	0.0	-3.4	-0.1	21.2	19.3	-1.9	0.5588	0.8
19.3	750.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	21.4	19.3	-2.1	0.5833	0.9
19.3	750.0	3.8	0.0	-3.8	-0.1	21.4	19.1	-2.3	0.6053	1.0
19.4	750.0	4.0	0.0	-4.0	-0.3	21.4	19.0	-2.4	0.6	1.0
19.4	750.0	4.2	0.0	-4.2	-0.2	21.4	19.0	-2.4	0.5714	0.9
19.4	750.0	4.4	0.0	-4.4	-0.2	21.6	19.0	-2.6	0.5909	0.9
19.4	750.0	4.6	0.0	-4.6	-0.2	21.6	18.8	-2.8	0.6087	0.7
19.4	750.0	4.8	0.0	-4.8	-0.2	22.0	18.8	-3.2	0.6667	0.6
19.5	750.0	5.0	0.0	-5.0	-0.2	22.0	18.8	-3.2	0.64	0.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.02	750.00	2.60	0.0	-2.60	0.0	21.30	19.88	-1.42	0.4360	0.79

Tablo E.6 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Karbondioksit (CO₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.5	751.0	0.2	0.0	-0.2	-0.4	21.1	20.7	-0.4	2.0	1.6
19.5	751.0	0.4	0.0	-0.4	-0.2	21.1	20.7	-0.4	1.0	1.5
19.5	751.0	0.6	0.0	-0.6	-0.2	21.2	20.8	-0.4	0.6667	1.5
19.5	751.0	0.8	0.0	-0.8	-0.1	21.1	20.8	-0.3	0.375	1.5
19.5	751.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	21.3	20.9	-0.4	0.4	1.5
19.6	751.0	1.2	0.0	-1.2	0.0	21.1	20.7	-0.4	0.3333	1.7
19.6	751.0	1.4	0.0	-1.4	0.0	21.5	20.9	-0.6	0.4286	1.5
19.6	751.0	1.6	0.0	-1.6	0.0	21.4	20.8	-0.6	0.375	1.7
19.6	751.0	1.8	0.0	-1.8	0.0	21.5	20.8	-0.7	0.3889	2.0
19.6	751.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	21.7	20.9	-0.8	0.4	1.9
20.4	751.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	22.8	22.4	-0.4	0.1818	1.6
20.4	751.0	2.4	0.0	-2.4	0.0	23.0	22.3	-0.7	0.2917	1.6
20.5	751.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	23.5	22.5	-1.0	0.3846	1.5
19.3	751.0	2.8	0.0	-2.8	0.2	21.8	20.3	-1.5	0.5357	1.8
19.4	753.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.0	20.2	-1.8	0.6	1.7
19.4	753.0	3.2	0.0	-3.2	-0.1	22.0	20.1	-1.9	0.5938	1.7
19.4	753.0	3.4	0.0	-3.4	-0.2	22.0	20.0	-2.0	0.5882	1.6
19.4	753.0	3.6	0.0	-3.6	-0.1	22.0	19.8	-2.2	0.6111	1.5
19.5	753.0	3.8	0.0	-3.8	-0.1	22.1	19.7	-2.4	0.6316	1.6
19.5	753.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	21.9	19.3	-2.6	0.65	1.6
19.5	753.0	4.2	0.0	-4.2	-0.1	21.8	19.1	-2.7	0.6429	1.6
19.5	753.0	4.4	0.0	-4.4	-0.1	22.0	19.1	-2.9	0.6591	1.6
19.5	753.0	4.6	0.0	-4.6	-0.1	21.8	18.8	-3.0	0.6522	1.5
19.5	753.0	4.8	0.0	-4.8	-0.5	21.6	18.5	-3.1	0.6458	1.5
19.5	753.0	5.0	0.0	-5.0	-0.3	21.7	18.2	-3.5	0.7	1.5
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.61	751.88	2.60	0.0	-2.60	-0.09	21.80	20.33	-1.47	0.5894	1.61

EK F :

AZOT GAZI İÇİN KISILMA DENEYLERİ TABLOLARI

Tablo F.1 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.7	751.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	22.2	22.5	0.3	-1.5	0.5
19.7	751.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	22.2	22.5	0.3	-0.75	0.6
19.7	751.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	22.2	22.4	0.2	-0.3333	0.6
19.8	751.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	22.1	22.4	0.3	-0.375	0.7
19.8	751.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	22.2	22.4	0.2	-0.2	0.5
19.8	751.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.2	22.4	0.2	-0.1667	0.5
19.8	751.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.2	22.3	0.1	-0.0714	0.5
19.8	751.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	0.5
19.8	751.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	0.6
19.8	751.0	2.0	0.0	-2.0	0.0	22.4	22.3	-0.1	0.05	0.7
19.8	751.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	22.3	22.3	0.0	0.0	0.6
19.8	751.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	22.4	22.3	-0.1	0.0417	0.5
19.8	751.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	22.1	22.2	0.1	-0.0385	0.7
19.8	751.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.3	22.2	-0.1	0.0357	0.6
19.8	751.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.1	22.2	0.1	-0.0333	0.5
19.2	751.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	21.8	21.6	-0.2	0.0625	0.5
19.2	751.0	3.4	0.0	-3.4	0.0	21.9	21.7	-0.2	0.0588	0.5
19.2	751.0	3.6	0.0	-3.6	0.0	22.0	21.8	-0.2	0.0556	0.5
19.2	751.0	3.8	0.0	-3.8	0.0	22.2	21.7	-0.5	0.1316	0.5
19.4	751.0	4.0	0.0	-4.0	0.0	22.0	21.8	-0.2	0.05	0.5
19.6	751.0	4.2	0.0	-4.2	0.0	22.2	21.9	-0.3	0.0714	0.5
20.3	753.0	4.4	0.0	-4.4	0.1	22.5	22.4	-0.1	0.0227	0.8
20.3	753.0	4.6	0.0	-4.6	0.1	22.7	22.5	-0.2	0.0435	0.9
20.3	753.0	4.8	0.0	-4.8	0.1	22.7	22.4	-0.3	0.0625	1.0
20.3	753.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	22.8	22.4	-0.4	0.08	0.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.75	751.32	2.60	0.0	-2.60	0.06	22.25	22.21	-0.04	-0.1081	0.60

Tablo F.2.1 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 3/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
20.3	753.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	22.3	22.4	0.1	-0.5	1.8
20.3	753.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	22.3	22.4	0.1	-0.25	1.9
20.3	753.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	22.3	22.4	0.1	-0.1667	2.0
20.3	753.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	22.3	22.4	0.1	-0.125	1.9
20.3	753.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	22.3	22.5	0.2	-0.2	1.8
20.3	753.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.4	22.5	0.1	-0.0833	1.5
20.3	753.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.4	22.4	0.0	0.0	1.6
20.3	753.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	22.4	22.4	0.0	0.0	1.8
20.3	753.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.4	22.4	0.0	0.0	1.6
20.3	753.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.4	22.4	0.0	0.0	2.0
20.3	753.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	22.4	22.4	0.0	0.0	1.8
20.3	753.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	22.5	22.4	-0.1	0.0417	1.6
20.4	753.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	22.5	22.4	-0.1	0.0385	1.8
20.4	753.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.4	22.3	-0.1	0.0357	1.9
20.4	753.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.0667	2.0
20.4	753.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.0625	1.7
20.4	753.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	22.4	22.3	-0.1	0.0294	1.8
20.4	753.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	22.6	22.4	-0.2	0.0356	1.6
20.4	753.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	22.4	22.2	-0.2	0.0526	1.7
20.3	753.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.05	1.6
20.3	753.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.0476	1.5
20.3	753.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	22.5	22.3	-0.2	0.0455	1.7
20.4	753.0	4.6	0.0	-4.6	0.0	22.5	22.3	-0.2	0.0435	1.6
20.4	753.0	4.8	0.0	-4.8	0.1	22.7	22.4	-0.3	0.0625	1.7
20.4	753.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	22.6	22.3	-0.3	0.06	1.7
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
20.34	753.00	2.60	0.0	-2.60	0.09	22.44	22.36	-0.08	-0.0253	1.74

Tablo F.3 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
19.7	752.0	0.2	0.0	-0.2	0.0	22.2	22.4	0.2	-1.0	0.7
19.7	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.1	22.3	22.4	0.1	-0.25	0.9
19.7	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	22.3	22.4	0.1	-0.1667	1.0
19.7	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	22.4	22.4	0.0	0.0	1.0
19.8	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.0	22.5	22.4	-0.1	0.1	0.9
19.8	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.5	22.5	0.0	0.0	0.8
19.9	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.6	22.5	-0.1	0.0714	0.6
19.9	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	22.6	22.5	-0.1	0.0625	0.6
19.9	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.7	22.6	-0.1	0.0556	0.6
19.9	752.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.7	22.6	-0.1	0.05	0.5
19.9	752.0	2.2	0.0	-2.2	0.1	22.8	22.6	-0.2	0.0909	0.5
19.9	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	22.8	22.6	-0.2	0.0833	0.6
19.9	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.1	22.8	22.6	-0.2	0.0769	0.6
19.9	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.8	22.6	-0.2	0.0714	0.8
20.0	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.7	22.6	-0.1	0.0333	0.8
20.0	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	22.8	22.6	-0.2	0.0625	0.6
20.0	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	22.9	22.6	-0.3	0.0882	0.5
20.0	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	22.8	22.6	-0.2	0.0556	0.6
20.0	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	22.9	22.6	-0.3	0.0789	0.6
20.0	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.1	22.9	22.6	-0.3	0.075	0.6
20.0	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.1	22.9	22.6	-0.3	0.0714	0.6
20.0	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.2	22.9	22.6	-0.3	0.0682	0.5
20.0	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.2	22.8	22.6	-0.2	0.0435	0.5
20.0	752.0	4.8	0.0	-4.8	0.2	22.8	22.6	-0.2	0.0417	0.5
20.0	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.2	23.0	22.6	-0.4	0.08	0.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.90	752.00	2.60	0.0	-2.60	0.11	22.70	22.55	-0.15	-0.0023	0.66

Tablo F.4 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 1/2"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
19.6	752.0	0.2	0.0	-0.2	-0.1	22.0	22.2	0.2	-1.0	1.6
19.6	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.0	22.2	22.3	0.1	-0.25	1.8
19.6	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.1	22.2	22.3	0.1	-0.1667	1.7
19.7	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	1.7
19.7	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	1.5
19.7	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	1.6
19.7	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	1.5
19.8	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	1.5
19.8	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.1111	1.6
19.8	752.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.1	1.6
19.8	752.0	2.2	0.0	-2.2	0.0	22.5	22.3	-0.2	0.0909	1.6
19.9	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.1	22.3	22.3	0.0	0.0	1.5
19.9	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.0	22.5	22.3	-0.2	0.0769	1.6
19.9	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.1	22.5	22.3	-0.2	0.0714	1.9
19.9	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.0	22.5	22.3	-0.2	0.0667	2.0
19.9	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.0	22.4	22.2	-0.2	0.0625	2.0
19.9	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.1	22.5	22.2	-0.3	0.0882	1.8
19.9	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.1	22.5	22.2	-0.3	0.0833	1.9
19.9	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.2	22.7	22.4	-0.3	0.0789	2.0
19.9	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.2	22.7	22.4	-0.3	0.075	1.9
19.9	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.2	22.7	22.3	-0.4	0.0952	1.6
19.9	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.2	22.7	22.3	-0.4	0.0909	1.5
19.9	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.2	22.5	22.2	-0.3	0.0652	1.5
19.9	751.0	4.8	0.0	-4.8	0.2	22.5	22.2	-0.3	0.0625	1.5
19.9	751.0	5.0	0.0	-5.0	0.2	22.6	22.2	-0.4	0.08	1.7
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.82	751.92	2.60	0.0	-2.60	0.10	22.44	22.28	-0.16	-0.0047	1.68

Tablo F.5 0.5 m/s-1m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru vana bağlantısı içinden geçen Azot (N₂) gazı için kısılma deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basınç Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı μ_{JT} (°C/bar)	Hız (m/s)
19.7	753.0	0.2	0.0	-0.2	0.1	22.2	22.5	0.3	-1.5	0.8
19.7	753.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	22.3	22.5	0.2	-0.5	0.9
19.7	753.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	22.4	22.5	0.1	-0.1667	0.9
19.8	753.0	0.8	0.0	-0.8	0.2	22.2	22.4	0.2	-0.25	0.9
19.8	753.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	22.4	22.5	0.1	-0.1	0.8
19.8	753.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	22.5	22.5	0.0	0.0	0.8
19.8	753.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	22.5	22.5	0.0	0.0	0.9
19.8	753.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	22.6	22.5	-0.1	0.0625	0.9
19.8	753.0	1.8	0.0	-1.8	0.1	22.7	22.5	-0.2	0.1111	0.7
19.9	753.0	2.0	0.0	-2.0	0.1	22.7	22.5	-0.2	0.1	0.7
19.9	753.0	2.2	0.0	-2.2	0.2	22.7	22.5	-0.2	0.0909	0.6
19.9	753.0	2.4	0.0	-2.4	0.2	22.8	22.5	-0.3	0.125	0.7
19.9	753.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	22.7	22.5	-0.2	0.0769	0.9
19.9	753.0	2.8	0.0	-2.8	0.2	22.8	22.5	-0.3	0.1071	0.8
19.9	753.0	3.0	0.0	-3.0	0.1	22.8	22.5	-0.3	0.1	0.8
19.9	753.0	3.2	0.0	-3.2	0.1	22.8	22.4	-0.4	0.125	0.8
19.9	753.0	3.4	0.0	-3.4	0.2	22.8	22.4	-0.4	0.1176	0.8
19.9	753.0	3.6	0.0	-3.6	0.2	22.7	22.4	-0.3	0.0833	0.9
20.0	753.0	3.8	0.0	-3.8	0.1	22.7	22.4	-0.3	0.0789	0.9
20.0	753.0	4.0	0.0	-4.0	0.2	22.8	22.4	-0.4	0.1	0.8
20.0	753.0	4.2	0.0	-4.2	0.2	22.7	22.4	-0.3	0.0714	0.5
19.6	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.0	22.7	22.3	-0.4	0.0909	0.7
19.6	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.2	22.8	22.4	-0.4	0.0870	0.8
19.7	752.0	4.8	0.0	-4.8	0.0	22.8	22.3	-0.5	0.1042	0.9
19.7	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.1	22.8	22.3	-0.5	0.1	0.6
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.82	752.84	2.60	0.0	-2.60	0.16	22.64	22.44	-0.19	-0.0314	0.79

Tablo F.6. 1.5 m/s-2 m/s hızları arasında, 5 bar'a kadar, 5/8"lik boru-vana bağlantısı içinden geçen Azot (N₂) gazı için kısımla deneyleri tablosu.

Oda Sıcaklığı (°C)	Atmosfer Basıncı (mmHg)	Giriş Basıncı (bar)	Çıkış Basıncı (bar)	Çıkış-Giriş Basıncı Değişimi(bar)	Termometrenin Deneyden Önceki Çıkış-Giriş Sıcaklık Farkı(°C)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Çıkış-Giriş Sıcaklık Değişimi(°C)	Joule-Thomson Katsayısı $\mu_{JT}(^{\circ}\text{C}/\text{bar})$	Hız (m/s)
19.8	752.0	0.2	0.0	-0.2	0.2	21.9	22.2	0.3	-1.5	1.6
19.8	752.0	0.4	0.0	-0.4	0.2	22.0	22.2	0.2	-0.5	2.0
19.8	752.0	0.6	0.0	-0.6	0.2	22.1	22.3	0.2	-0.3333	1.8
19.8	752.0	0.8	0.0	-0.8	0.2	22.2	22.3	0.1	-0.125	1.7
19.8	752.0	1.0	0.0	-1.0	0.2	22.1	22.3	0.2	-0.2	1.5
19.8	752.0	1.2	0.0	-1.2	0.2	22.2	22.3	0.1	-0.0833	1.6
19.8	752.0	1.4	0.0	-1.4	0.2	22.2	22.3	0.1	-0.0714	1.6
19.8	752.0	1.6	0.0	-1.6	0.2	22.5	22.4	-0.1	0.0625	1.7
19.9	752.0	1.8	0.0	-1.8	0.2	22.4	22.3	-0.1	0.0556	1.7
19.9	752.0	2.0	0.0	-2.0	0.2	22.5	22.4	-0.1	0.05	1.6
19.9	752.0	2.2	0.0	-2.2	0.2	22.2	22.3	0.1	-0.0455	1.6
19.9	752.0	2.4	0.0	-2.4	0.2	22.5	22.3	-0.2	0.0833	1.7
19.9	752.0	2.6	0.0	-2.6	0.2	22.6	22.3	-0.3	0.1154	1.8
19.9	752.0	2.8	0.0	-2.8	0.2	22.5	22.3	-0.2	0.0714	1.9
19.9	752.0	3.0	0.0	-3.0	0.2	22.6	22.3	-0.3	0.1	1.9
19.9	752.0	3.2	0.0	-3.2	0.3	22.5	22.3	-0.2	0.0625	1.9
20.0	752.0	3.4	0.0	-3.4	0.3	22.6	22.3	-0.3	0.0882	1.8
20.0	752.0	3.6	0.0	-3.6	0.2	22.6	22.3	-0.3	0.0833	2.0
20.0	752.0	3.8	0.0	-3.8	0.2	22.5	22.2	-0.3	0.0789	2.0
20.0	752.0	4.0	0.0	-4.0	0.3	22.6	22.2	-0.4	0.1	1.9
20.0	752.0	4.2	0.0	-4.2	0.3	22.5	22.1	-0.4	0.0952	1.7
20.0	752.0	4.4	0.0	-4.4	0.2	22.7	22.2	-0.5	0.1136	1.6
20.0	752.0	4.6	0.0	-4.6	0.3	22.7	22.2	-0.5	0.1087	1.5
20.0	752.0	4.8	0.0	-4.8	0.3	22.6	22.1	-0.5	0.1042	1.5
20.0	752.0	5.0	0.0	-5.0	0.2	22.7	22.1	-0.6	0.12	1.7
Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama	Ortalama
19.90	752.00	2.60	0.0	-2.60	0.22	22.42	22.26	-0.16	-0.0546	1.73

KAYNAKLAR

- [1] Wisniak, J., "The Joule-Thomson Coefficient for Pure Gases and Their Mixtures", *Chem. Educator* 4 (1999), 51-57.
- [2] Chacin, A., Va'zquez, J.M., Müller, E.A., "Molecular Simulation of the Joule-Thomson Inversion Curve of Carbondioxide", *Fluid Phase Equilibria*, 165 (1999) 147-155.
- [3] Kioupis, L.I., Arya, G., Maginn, E.J., "Pressure-enthalpy driven molecular dynamics for thermodynamic property calculation II: Application", *Fluid Phase Equilibria*, 200 (2002) 93-110.
- [4] Colina, C.M., Olivera-Fuentes, C., "Prediction of the Joule-Thomson inversion curve of air from cubic equations of state", *Cryogenics*, 38 (1998) 721-728.
- [5] Carroll, J.J., "Working with Fluid that warm upon Expansion", *Chemical Enginerring*, September 1999, 108-114.
- [6] Schoen, M., "The Joule-Thomson effect in confined fluid", *Physica A*, 270 (2000) 353-379.
- [7] Colina, C.M., Turrens, L.F., Gubbins, K.E., Olivera-Fuentes, C., Vega, L.F., "Predictions of the Joule-Thomson Inversion Curve for the n-Alkane Series and Carbondioxide from the soft-SAFT Equation of state", *Ind.Eng.Chem. Res.*, 41 (2002) 1069-1075.
- [8] Sreedhar, R., Sreedhar, A.K., "Joule-Thomson Cooling with binary mixtures", *Infrared Physics & Technology*, 39 (1998) 451-455.
- [9] Kortekaas, W.S., Peters, C.J., Arons, J.S., "Joule-Thomson Expansion of high-pressure high temperature gas condensates", *Fluid Phase Equilibria*, 139 (1997) 205-218.
- [10] Huang, D., W., "Inversion temperatures and molecular interactions", *Physica A.*, 256 (1998) 30-38.
- [11] Vent, S., "A Summary of the properties of Van der Waals fluid", *International Journal of Mechanical Enginerring Education*, 29 (200) 257-277.
- [12] Hirose, Y., Kitazawa, T., Yoshida, T., "The Joule-Thomson Expansion Coefficient by Formula Manipulation", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29 (1990), 1555-1558.
- [13] Saygın, H., Şişman, A., "Joule-Thomson coefficients of quantum ideal-gases", *Applied Energy*, 70 (2001) 49-57.
- [14] McGlashan, M.L., Wormald, C.J., "The Isothermal Joule-Thomson Coefficient of steam measured from T:313.000 K T:413.19 K ", *j. Chem. Thermodynamics*, 32 (2000) 1489-1503.

- [15] Balsöz, A.M., Termodinamik, İstanbul Teknik Okulu Yayınları Sayı:95, İstanbul, (1969) Sayfa 234-236.
- [16] Çengel, Y. A., Michael, A. B., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Türkçesi Derbentli, T., Literatür Yayıncılık, İstanbul, (1996) Sayfa 584-585.
- [17] Mertbaş, Ö.S., Termodinamik, Balıkesir Üniversitesi Yayınları No:004, Balıkesir, (1997), Sayfa 140-144.
- [18] Obert, E.F., Concept of Thermodynamics, USA, (1960) p 88.
- [19] Aybers, N., Mühendislik Termodinamiğinin Esasları, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul, (1990) Sayfa 164-167, 112-113, 346.
- [20] Balsöz, A. M., İleri Termodinamik ve Gaz Akımı, İstanbul (1962), Sayfa 87-90.
- [21] Kenneth, Jr. W., Thermodynamics, (1989) p 512-515.
- [22] Yalçın, H., Aybak, S., Kimya Mühendisliği Termodinamiği, Ankara, (1977) Sayfa 96-99.
- [23] Holman, J. P., Thermodynamics, (1988) p 162.
- [24] Doolittle, J. S., Thermodynamics for Engineers, Obert, E. F., USA Pennsylvania (1959) p 164-167.
- [25] Alpaut, O., Şenvar, C., Kimyasal Termodinamik, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, (1980) Sayfa 78-82.
- [26] Klotz, I. M., M. Rosenberg, R., Chemical Thermodynamics Basic Theory and Methods, (1991) p 102-106.
- [27] Matthews, G. P., Experimental Physical Chemistry, (1985) p 16-21.
- [28] Halpern, M. A., Experimental Physical Chemistry (A Laboratory Text book), (1997), p 89-99.
- [29] Cebe, M., Fizikokimya Cilt:1, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, (1992) Sayfa 131-134.
- [30] Kenneth, Jr.W., Advanced Thermodynamics For Engineers, Mc Graw-Hill, USA, (1995) p 228-234.
- [31] Jordan, R. C., Priester, G. B., Refrigeration and air conditioning, p 396-400.
- [32] www2.rhbc.ac.uk/~uhap027/PH4211/PH4211-files/section3.pdf (mayıs-2004)
- [33] Çiğdemoğlu M., Teknik Termodinamiğe Giriş, Ankara (1976) Sayfa 354-358.

- [34] Hsieh, J.S., Engineering Thermodynamics, (1993) p 584-587.
- [35] Zemansky, M.W., Heat and Thermodynamics, Newyork, (1968) p 335-341.
- [36] Perry H. R., Perry's Chemical Engineers' Handbook, Green, W. D., (1984) Chapter 3, p 107-111, p 6-24.
- [37] Chemlabs.uoregon.edu/Classes/Hardwick/CH418/Lectures/JouleTho.pdf (mayıs-2004)
- [38] Blinder, S.M., Advanced Physical Chemistry, (1969) p 348-353.
- [39] Reid, E.C., Chemical Thermodynamics, Mc Graw-Hill Publishing Company, (1990) p 68-71.
- [40] Berkem, A. R., Baykut, S., Fizikokimya, İstanbul Üniversitesi Yayınları Sayı:2735, İstanbul, (1980) Sayfa 264-269.
- [41] Erdik, E., Isı ve Termodinamik, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları Genel:115, Ankara, (1973) Sayfa 150-153.
- [42] Mertbaş, Ö.S., Termodinamik Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, (1997).
- [43] Goodenough, M.E. G.A., Principles of Thermodynamics, USA Newyork (1964) p 167-173.
- [44] Şenvar, C., Alpaut, O., Fizikokimya Cilt:1, Ankara, (1980) Sayfa 66-70.
- [45] Büyüktür, A.R., Termodinamik Cilt:2 (Uygulama Esasları), Birsen yayınevi, İstanbul, (1995) Sayfa 456-459.
- [46] Büyüktür, A. R., Termodinamik Cilt:1 (Termodinamiğin Temel Yasaları), Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı yayın No:24, Uludağ Üniversitesi Basımevi, (1989). Sayfa: 249-250.
- [47] Özkol, N., Uygulamalı Soğutma Tekniği, Makina Mühendisleri Odası yayınları No:115, Ankara, (1999) Sayfa 48-50, 178-179, 421-422.
- [48] Savaş, S., Soğutma Tekniğinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar, Makina Mühendisleri Odası Yayınları No:88, Ankara, (1974) Sayfa 30-31.