

**ENDÜSTRİYEL GAZLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
HESAPLANMASI İÇİN ÖNERİLEN BAĞINTILAR**

Ali Kemal GARİP

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalında

Bilim Uzmanlığı Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

ZONGULDAK

Haziran 2006

KABUL:

Ali Kemal GARİP tarafından hazırlanan "ENDÜSTRİYEL GAZLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN HESAPLANMASI İÇİN ÖNERİLEN BAĞINTILAR" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 19.06.2006

Başkan: Prof. Dr. Etem KİŞİOĞLU (ZKÜ)



Üye : Prof. Dr. Dilek DADAYLI PAKTAŞ (ZKÜ)



Üye : Prof. Dr. Meral HOŞCAN (KOÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. / /2006



Prof. Dr. Hsran TOROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Bilim Uzmanlığı Tezi

ENDÜSTRİYEL GAZLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN HESAPLANMASI İÇİN ÖNERİLEN BAĞINTILAR

Ali Kemal GARİP

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Etem KİŞİOĞLU

Haziran 2006, 92 sayfa

Bu çalışmada süperiletken üretim ve uygulama sistemlerinde kullanılmak üzere Ar ve SF₆ için sıcaklığa bağlı bağıntılar önerilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın birinci adımında araştırmacılar tarafından elde edilen yarı teorik deneysel veriler toplanmıştır. İkinci adımda çeşitli tipte sıcaklığın fonksiyonu analitik bağıntılar önerilmiştir. Sonraki adımda deneysel ve yarı teorik veriler kullanılarak hesapsal fizik metodları (En Küçük Kareler Katsayı Bulma Programı) kullanılarak bu bağıntıların sabitleri elde edilmiştir. Dördüncü adımda denel değerlere göre ortalama standart sapma ve yüzde toplam ortalama sapmalar hesap edilerek belirsizliği en az olan bağıntılar belirlenmiştir.

Ar ve SF₆ gazlarının ses hızları da hesaplanmıştır. Ayrıca yarı teorik fizik metodlarıyla bu gazların viskozite ve termal iletkenlik bağıntıları, bu transport özelliklerin de sıcaklığa bağlı olması olgusu kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen B(T), $\eta(T)$, $\lambda(T)$ bağıntıları kullanılarak elde edilen değerler deneysel ve teorik olanlarla karşılaştırılmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Sonra önerilen viskozite, termal iletkenlik ve ses hızları bağıntılarının belirsizlikleri hesap edilmiştir. Sonuç olarak $B(T)$, $\eta(T)$ ve $\lambda(T)$ kullanılarak hesaplanan değerlerin belirsizlikleri, bu fiziksel büyüklükleri iyi bir şekilde ifade edecek kadar azdır. Böylece Ar ve SF_6 için önerilen fiziksel bağıntılar ve türetilmiş şekilleri, ilgili sıcaklık ve basınç aralığında, teknoloji ve mühendislik alanlarında bilimsel olarak kullanılabilir.

Anahtar Sözcükler: Argon, Kükürt hekzaflorür, termodinamik özellikler, transport katsayılar, ikinci virial katsayısı, ses hızı, viskozite, termal iletkenlik

Bilim Kodu: 404.01.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE PROPOSED FORMULAE FOR CALCULATING THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF INDUSTRIAL GASES

Ali Kemal GARİP

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

Thesis Advisor: Prof. Etem KİŞİOĞLU

June 2006, 92 pages.

In our work, we have purposed to propose some thermodynamic formulae related to temperature for Ar and SF₆ to use these formulae in superconductor production and application systems. At the first step of our work, we have collected the semi-theoretical experimental data of second virial coefficients which were obtained by the researchers. At the second step, various type of analytical formulae related to the temperature have been proposed. At the next step using the experimental and semi theoretical data, the physical constants of these formulae have been obtained via computational physics methods (MINSQ fit program) At the forth step calculating the average standard deviations and total average percent deviations, we have determined the formulae which have the least uncertainties.

ABSTRACT (continued)

Velocity of sound have been calculated for these gases. Furthermore the viscosity and thermal conductivity formulae of Ar and SF₆ have been obtained via semi-theoretical physical methods, using the fact that these transport properties are related to the temperature. The values obtained using the proposed $B(T)$, $\eta(T)$ and $\lambda(T)$ formulae have been compared with the experimental and theoretical ones.

Then the uncertainty of proposed formulae of viscosity, thermal conductivity and velocity of sound have been calculated. Consequently uncertainties of the values calculated with the $B(T)$, $\eta(T)$ and $\lambda(T)$ formulae are little as these values express the physical magnitudes well. Thus, the physical formulae and their derived forms for Ar and SF₆ can be used scientifically in the fields of technology and engineering, spanning the required temperature and pressure range.

Key Words: Argon, Sulfurhexafluoride, thermophysical properties, transport coefficients, second virial coefficient, velocity of sound, viscosity, thermal conductivity

Science Code: 404.01.00

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince değerli bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, destek ve yardımları ile her zaman yanımda olan, kendisiyle çalışmaktan büyük onur duyduğum hocam, sayın Prof. Dr. Etem KİŞİOĞLU'na, ve beni ailelerinden biriymişim gibi görerek manevi destek veren eşi Ayla KİŞİOĞLU'na, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Lisans öğrenimim de dahil olmak üzere bu ana kadar bilgi ve tecrübesiyle hem maddi hem de manevi destek ve yardımını hiç esirgemeyen sayın Prof. Dr. Dilek DADAYLI PAKTAŞ'a en derin duygularıyla teşekkürlerimi sunarım. Yüksek Lisans Tezimin tamamlanması aşamasında özverili bir şekilde bana destek veren, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren Prof. Dr. Meral HOŞCAN'a yine en derin duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

ZKÜ'de çalışmaya başladığım günden itibaren bilgi ve tecrübesiyle benden yardımını esirgemeyen sayın Prof. Dr. M. Haluk GÜVEN'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince maddi manevi destekleriyle yanımda olan sayın Öğr. Grv. Dr. Alaaddin YILMAZ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Lisans öğrenimim dönemiyle başlayan ve ZKÜ'de çalışmaya başladığım günü de kapsayarak günümüze kadar gelen zaman aralığında bilgi ve tecrübeleriyle benden yardımını esirgemeyen sayın Doç. Dr. Yüksel AYAZ, Yrd. Doç. Dr. Meral ERYÜREK, Yrd. Doç. Dr. Halit TAŞKIN, Yrd. Doç. Dr. Kadir DEMİR, Yrd. Doç. Dr. Haydar ARSLAN, Yrd. Doç. Dr. Ali Ekber IRMAK'a en içten duygularıyla teşekkür ederim. Çalışmam süresince destek ve yardımlarını esirgemeyen ZKÜ Fen Edb. Fak. öğretim elemanlarına ve personeline, ayrıca ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü personeline teşekkür ederim.

Yaşamımın her anında yanımda olan, öğrenim hayatım boyunca beni sürekli teşvik ederek hiçbir zaman yalnız bırakmayan anneme, babama, kardeşlerim Filiz ve Nihal'e minnettarlığımı sunmaktan mutluluk ve onur duyarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 GAZLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN HESABINDA KULLANILAN GENEL BAĞINTILAR.....	3
2.1 TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER.....	3
2.1.1 Hal Denklemini.....	3
2.1.2 Virial Bağıntısı.....	5
2.1.3 Termodinamik Fonksiyonlar.....	6
2.2 MOLEKÜLLER ARASI KUVVETLER VE POTANSİYEL ENERJİ FONKSİYONLARI.....	8
2.2.1 Bazı Moleküller Arası Potansiyel Enerji Fonksiyonu Tipleri.....	8
2.2.2 Potansiyel Fonksiyonlarının Moleküllere Ait Özelliklerle İlişkisi.....	12
2.2.2.1 Moleküller Arası Kuvvetlerin Bilgi Kaynakları.....	13
2.2.2.2 Seyreltilmiş Gazların Transport Özellikleri.....	15
2.2.2.3 Çarpışma İntegrali $\Omega^{(l,s)}(T)$	15
2.2.2.4 İkinci Virial Teriminin Belirli bir Moleküller Arası Potansiyel Fonksiyonu Kullanılarak Tayin Edilmesi.....	17

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3 TRANSPORT ÖZELLİKLER.....	20
2.3.1 Saf Maddeler İçin Transport Özelliklere ait Birinci Dereceden Yaklaşım.....	20
2.3.2 Saf Maddeler İçin Transport Özelliklere ait İkinci Dereceden Yaklaşım.....	20
2.3.3 Gaza ait Viskozite ve Termal İletkenliğinin, Yoğunluğun ve Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Hesaplanması.....	22
 BÖLÜM 3 ENDÜSTRİYEL GAZLARDAN OLAN Ar VE SF ₆ 'NİN BAZI TRANSPORT VE TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN BAĞINTILAR.....	 24
3.1 Ar İÇİN ÖNERİLEN TERMOFİZİKSEL BAĞINTILAR.....	24
3.1.1 Ar'un Bazı Transport Ve Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılacak Genel Yöntem.....	24
3.1.2 Ar İçin Teklif Edilen İkinci Virial Bağıntısının Elde Edilmesi.....	24
3.1.3 Ar'un Transport Özelliklerinden Ses Hızının Termodinamik Bağıntılar Yardımıyla Hesaplanması ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması.....	32
3.1.4 Ar'un Transport Özelliklerinden Viskozitesinin Hesaplanması İçin Önerilen Bağıntılar ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması.....	33
3.1.5 Ar'un Transport Özelliklerinden Termal İletkenliğinin Hesaplanması Ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması.....	38
3.2 SF ₆ İÇİN ÖNERİLEN TERMOFİZİKSEL BAĞINTILAR.....	44
3.2.1 SF ₆ 'nın Bazı Transport Ve Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılacak Genel Yöntem.....	44
3.2.2 SF ₆ İçin Teklif Edilen İkinci Virial Bağıntısının Elde Edilmesi.....	45
3.2.3 SF ₆ 'nın Transport Özelliklerinden Ses Hızının Termodinamik Bağıntılar Yardımıyla Hesaplanması Ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması.....	50

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.2.4 SF ₆ 'nın Transport Özelliklerinden Viskozitesinin Hesaplanması	
İçin Önerilen Bağıntılar Ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması.....	53
3.2.4.1 SF ₆ için Viskozite Hesabında Kullanılacak Bağıntının	
Sıcaklığın Analitik Fonksiyonu Olarak Elde Edilmesi.....	54
3.2.4.2 SF ₆ için Viskozite Hesabında Kullanılacak $\Omega(T)$	
Bağıntısının Elde Edilmesi.....	55
3.2.5 SF ₆ 'nın Transport Özelliklerinden Termal İletkenliğinin	
Hesaplanması Ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması.....	57
3.2.5.1 SF ₆ için Termal İletkenlik Hesabında Kullanılacak	
Bağıntının Sıcaklığın Analitik Fonksiyonu Olarak Elde	
Edilmesi.....	58
3.2.5.2 SF ₆ İçin Termal İletkenlik Hesabında Kullanılacak $\Omega(T)$	
Bağıntısının Elde Edilmesi.....	59
 BÖLÜM 4 SONUÇ.....	 62
 KAYNAKLAR.....	 64
 EK AÇIKLAMALAR A.....	 66
 ÖZGEÇMİŞ.....	 92

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	LJ fonksiyonunun iki molekül arasındaki uzaklığa göre değişiminin şematik olarak gösterimi.....	9
2.2	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ikinci virial katsayısı $B(T)$ 'nin şematik değişimi.....	14
3.1	Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial bağıntısının mutlak sıcaklığa göre denel değerlerden sapma grafiği.....	28
3.2	Çalışmada önerilen (3.7) ikinci virial teriminin sıcaklığa göre değişimi ve denel değerlerle karşılaştırılması.....	29
3.3	Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial bağıntısının, mutlak sıcaklığa göre denel değerlerden sapma grafiği.....	48
3.4	Eşitlik (3.49)'daki ikinci virial teriminin sıcaklığa göre değişimi ve denel değerlerle karşılaştırılması.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Ar için önerilen moleküller arası potansiyel fonksiyonları kullanılarak elde edilen moleküler kuvvet sabitlerinin değerleri.....	11
3.1	Ar'a ait teklif edilen (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) B(T) ikinci virial terimlerinin ilgili parametreleri.....	27
3.2	Önerilen ikinci virial ve türev bağıntılarıyla hesaplanan değerlerin denel ikinci virial ve türev değerlerine göre belirsizlikleri.....	27
3.3	Önerilen ve belirsizliği en az olan (3.7) ikinci virial bağıntısıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapmasıyla literatürdeki bazı potansiyel enerji fonksiyonları yardımıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapmalarının karşılaştırılması.....	31
3.4	Sıfır yoğunluk viskozite değerlerinin sıcaklığa göre aldığı bazı değerler.....	34
3.5	Önerilen (3.21) ve (3.22) sıfır yoğunluk viskozite bağıntılarının ilgili katsayıları.....	35
3.6	Önerilen (3.21) ve (3.22) bağıntılarıyla hesap edilen sıfır yoğunluk viskozite değerlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri.....	35
3.7	Viskozite ikinci virial katsayısının sıcaklığa göre aldığı bazı değerler.....	36
3.8	Eşitlik (3.23), (3.24), (3.25) ve (3.26) ile verilen viskozite ikinci virial terimlerinin ilgili katsayıları.....	36
3.9	Önerilen (3.23), (3.24), (3.25) ve (3.26) bağıntılarıyla hesap edilen viskozite ikinci virial değerlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri.....	36
3.10	Viskozite üçüncü virial katsayısının sıcaklığa göre aldığı bazı değerler.....	37
3.11	Eşitlik (3.27) ve (3.28) viskozite üçüncü virial terimlerinin ilgili katsayıları.....	37
3.12	Önerilen (3.27) ve (3.28) bağıntılarıyla hesap edilen viskozite üçüncü virial değerlerinin deneysel değerlere göre belirsizlikleri.....	37
3.13	Önerilen (3.33) ve (3.34) bağıntılarının katsayıları.....	40

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.14	Önerilen (3.33) ve (3.34) bağıntılarının belirsizlikleri.....	40
3.15	Önerilen (3.35) ve (3.36) bağıntılarının katsayıları.....	40
3.16	Önerilen (3.35) ve (3.36) bağıntılarının belirsizlikleri.....	41
3.17	Önerilen (3.37) ve (3.38) bağıntılarının katsayıları.....	41
3.18	Önerilen (3.37) ve (3.38) bağıntılarının belirsizlikleri.....	41
3.19	Sun, Venart ve Prasad'ın çalışmaları ile bu çalışmada önerilen bağıntıların belirsizliklerinin karşılaştırılması	44
3.20	SF ₆ 'ya ait teklif edilen (3.45), (3.46), (3.47) ve (3.48) bağıntıları formundaki B(T) ikinci virial terimlerinin ilgili parametreleri.....	46
3.21	Önerilen ikinci virial ve türev bağıntılarıyla hesaplanan değerlerin denel ikinci virial ve türev değerlerine göre belirsizlikleri	47
3.22	C _p ⁰ (T)/R değerlerinin hesaplanması için önerilen (3.60) ve (3.61) bağıntılarının katsayıları.....	52
3.23	Önerilen C _p ⁰ (T)/R bağıntıları kullanılarak ilgili sıcaklıklar için hesaplanan değerlerin denel değerlere göre belirsizlikleri.....	52
3.24	SF ₆ için deneysel viskozite değerleri.....	53
3.25	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SF ₆ için önerilen viskozite bağıntılarının katsayıları.....	54
3.26	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SF ₆ için önerilen viskozite bağıntılarının belirsizlikleri.....	55
3.27	Eşitlik (3.67) ve (3.68)'ün ilgili katsayıları.....	56
3.28	SF ₆ için önerilen (3.67) ve (3.68) bağıntılarının belirsizlikleri.....	56
3.29	SF ₆ 'nın transport özelliklerinden olan viskozite katsayısının hesabı için önerilen (3.62) ve (3.65) bağıntılarının belirsizliklerinin karşılaştırılması.....	56
3.30	SF ₆ için deneysel termal iletkenlik değerleri.....	57
3.31	SF ₆ için önerilen termal iletkenlik bağıntılarının katsayıları.....	58
3.32	SF ₆ için önerilen termal iletkenlik bağıntılarının belirsizlikleri.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
3.33	SF ₆ için önerilen çarpışma integrali bağıntılarının katsayıları.....	60
3.34	SF ₆ için önerilen çarpışma integrali bağıntılarının belirsizlikleri.....	61
3.35	SF ₆ 'nın transport özelliklerinden olan termal iletkenliğinin hesabı için önerilen (3.70) ve (3.71) bağıntılarının belirsizliklerinin karşılaştırılması.....	61
A.1	Endüstriyel gazlardan Ar'un ikinci virial katsayılarını hesaplamak için önerilen (3.7) bağıntısı ve sıcaklığa göre birinci türeviyle hesaplanan katsayıların deneysel değerlerle birlikte gösterilmesi.....	67
A.2	Eşitlik (3.13)'deki B, B ₁ ve B ₂ katsayılarının belirli sıcaklıklar için hesaplanan değerleri ve belirli basınçlar için hesapla bulunan ses hızlarının deneysel olarak ölçülenlerle birlikte gösterilmesi.....	69
A.3	Eşitlik (3.20) kullanılarak belirli basınç ve sıcaklık değerleri için hesaplanan viskozite değerleriyle deneysel viskozite değerlerinin sapmalarıyla birlikte gösterilmesi.....	72
A.4	Endüstriyel gazlardan olan Ar'un belirli sıcaklık ve yoğunluk değerleri için ölçülen termal iletkenlik katsayılarının Sun, Venart ve Prasad'ın hesapladıkları ve bu çalışmada ilgili katsayılarla fit edilerek önerilen (3.44) bağıntısıyla hesaplanan katsayılarla birlikte gösterilmesi.....	75
A.5	Endüstriyel gazlardan SF ₆ 'nın ikinci virial katsayılarını hesaplamak için önerilen (3.49) bağıntısı ve sıcaklığa göre birinci türeviyle hesaplanan katsayıların deneysel değerlerle birlikte gösterilmesi.....	85
A.6	Eşitlik (3.55)'deki B, B ₁ ve B ₂ katsayılarının belirli sıcaklıklar için hesaplanan değerleri ve belirli basınçlar için hesapla bulunan ses hızlarının deneysel olarak ölçülenlerle birlikte gösterilmesi.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

η	:	viskozite
λ	:	termal iletkenlik
c_D	:	deneysel olarak ölçülen ses hizi
c_H	:	hesapla bulunan ses hizi
Ω	:	çarpışma integrali
B	:	ikinci virial katsayısı
B_1	:	ikinci virial bağıntısının sıcaklığa göre birinci türevi
B_2	:	ikinci virial bağıntısının sıcaklığa göre ikinci türevi
C	:	üçüncü virial katsayısı
B_H	:	hesaplanan ikinci virial katsayısı
B_D	:	deneysel ikinci virial katsayısı
ϑ	:	Ortalama Standart Sapma (OSS)
ξ	:	Yüzde Toplam Ortalama Sapma (YTOS)
b_o	:	co-volume (ko-hacim)

KISALTMALAR

MINSQ	:	en küçük kareler katsayı bulma programı
LJ	:	Lennard-Jones potansiyel enerji fonksiyonu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Süperiletken üretim ve teknolojik uygulama endüstrisi çalışmaları, vekil gazlar (Ar, N₂, CH₄, C₃H₈, CF₄ ve C₂F₆ vb.) ve işlem gazlarının (trimetil-gallium (TMGa), silane SiH₄, phosphine (PH₃ vb.), termodinamik özellikleri (iç enerji, entalpi, sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit basınçtaki ısı kapasitesi, Joule-Thomson katsayısı, ses hızı) ve transport özelliklerine (viskozite (momentum aktarımı), difüzyon (kütle aktarımı), ısı iletkenliği (gaz içinde ısı farkı olması nedeniyle oluşan ısı enerjisi iletimi)) ait değerlerin sıcaklığın fonksiyonu olarak belirsizliği en az olacak şekilde bilinmesini gerektirmektedir. Vekil gazlar ve uygulama gazları, akışkan uygulamalarında (güç üretme sistemleri, magnetohidrodinamik sistemler ve yüksek güçlü roket itme sistemleri vb.) kütle akışı kontrolünün kalibrasyonu için kullanılmaktadır. Vekil gazlardan Ar, N₂, SF₆, CH₄ yumuşak huylu (zararlı olmayan)'dur. Bununla birlikte trimetil-gallium (TMGa), silane (SiH₄) ve phosphine (PH₃) gazlarına ait yukarıda belirtilen özelliklerin elde edilmesi onların reaktif ve zehirli olmaları nedeniyle oldukça zordur. Bunlara ait gaz içinde ses hızı ölçümleri Hurly ve Gillis ile Mehl, Moldover ve Defibaugh tarafından yapılmıştır [1, 2]. Yine zararlı olmayan yumuşak huylu vekil gazlardan Ar, N₂, CH₄, SF₆, C₃H₈, CF₄ ve C₆F₆ viskozite ölçümleri Hurly, Gillis, Mehl, Moldover, Strehlow ve Vogel tarafından yapılmıştır [1, 3]. CO₂, O₂, CO, H₂, CH₄ ve N₂ gazlarına endüstriyel gaz adı da verilmektedir. Bu gazlar genelde basit yapıya sahip hemen hemen küresel yapıdaki çok atomlu gazlar olarak sınıflandırılırlar.

Bu çalışmada, süperiletken üretim ve uygulama sistemlerinde de kullanılmak üzere, Ar ve SF₆ gazlarının termodinamik ve transport özelliklerini veren fiziksel bağıntılar önerilerek bu bağıntılar yardımıyla, anılan özelliklerin değerleri sıcaklığın fonksiyonu olarak hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışmanın birinci adımında Ar ve SF₆'nın termodinamik özelliklerinin hesaplanmasında temel fiziksel büyüklük olan ikinci virial terimi B(T)'nin elde edilmesi için Ar ve SF₆'ya ait daha önce araştırmacılar tarafından elde edilen deneysel ve yarı teorik veriler derlenmiştir. [4-6]. İkinci adımda B(T)'nin sıcaklığın bir fonksiyonu

olması fiziksel olgusundan hareket ederek sıcaklığın analitik fonksiyonu olan çeşitli tipteki $B(T)$ bağıntıları önerilmiştir. Üçüncü adım olarak denel ve yarı teorik veriler kullanılarak önerilen bu bağıntıların fiziksel kapsamlı sabit değerleri hesapsal fizik yöntemleriyle (En Küçük Kareler Katsayı Bulma Programı vb.) elde edilmiştir. Dördüncü adım olarak ise Ar ve SF_6 gazlarının her ikisi için de ayrı ayrı denel verilere göre ortalama standart sapma ve yüzde toplam ortalama sapmaları hesap edilerek belirsizliği en az duyarlılığı en fazla olan bağıntılar elde edilmiştir.

Belirsizliği en az olacak şekilde bir ikinci virial terimi elde etme çalışmalarının diğer bir nedeni de $B(T)$ 'nin aynı zamanda iki molekül arasındaki etkileşimin tanımlanmasına ve moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu ile onun parametreleri olan, potansiyel kuyusu derinliği (ϵ) ve iki molekülün birbirlerine sıfır kinetik enerjiyle yaklaştıkları zamanki en kısa uzaklığının (σ) tayin edilmesine olanak vermesidir [7, 8].

Ayrıca ele alınan gazlardan Ar ve SF_6 'nın viskozite (η) ve termal iletkenlik (λ) bağıntıları, denel ve teorik veriler kullanılarak yarı teorik hesapsal fizik yöntemiyle, bunların yine sıcaklığın analitik bir fonksiyonu olması fiziksel olgusundan yola çıkılarak elde edilmiştir. Elde edilen $B(T)$, $\eta(T)$ ve $\lambda(T)$ bağıntılarından her gaz için hesaplanan değerler denel ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ele alınan gazlar için elde edilen viskozite, termal iletkenlik ve ses hızı bağıntılarının denel değerlere göre belirsizlikleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada Ar ve SF_6 akışkanları için önerilen $B(T)$, $\eta(T)$ ve $\lambda(T)$ ve ses hızı bağıntılarından hesapla elde edilen değerlerin belirsizliklerinin incelenen fiziksel büyüklükleri anlamlı olarak ifade ettiği görülmüştür. Dolayısıyla Ar ve SF_6 için önerilen $B(T)$, $\eta(T)$ ve $\lambda(T)$ ve ses hızı bağıntıları ve bunlardan türetilen termodinamik özelliklerin, kullanılan sınırlar içindeki istenilen sıcaklık ve basınç aralıklarında bilimsel olarak, teknoloji ve mühendislik alanlarında rahatlıkla kullanılabilir nitelikte olduğu sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 2

GAZLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN HESABINDA KULLANILAN GENEL BAĞINTILAR

2.1 TERMODİNAMİK ÖZELLİKLER

2.1.1 Hal Denklemi

Gazlara ait moleküler yapının ve termodinamik özelliklerin belirlenmesi amacıyla gazların basınç (P), hacim (V), sıcaklık (T) arasındaki ilişkileri $f(P,V,T)=0$ gibi açık bir fonksiyon şeklindeki bir hal denklemiyle ifade edilmesine ilişkin çalışmalar 18. yüzyılın sonlarında başlayıp bundan 1995 yılına kadar tüm hızıyla devam etmiştir [7, 8]. Son yıllardaki bilgisayar teknolojisi ve deney imkanlarının artması ve gelişmesi nedeniyle, hal denklemlerinin yerini gaz akışkanını oluşturan moleküller arası yeni tipte potansiyel fonksiyonları kullanılarak, çarpışma (Ω) integralinin elde edilmesi, ikinci virial bağıntısının bulunması, gaz içindeki ses hızı ölçümleri ve bağıntılarının bulunması, viskozite, termal iletkenlik ölçümleri ve bunlara ait bağıntıların bulunması çalışmaları almıştır [1-3, 8, 9].

Gaza ait bir hal denkleminin genel hali P (basınç) V(hacim) ve T(sıcaklık) olmak üzere;

$$f(P,V,T)=0 \quad (2.1)$$

olarak verilmektedir.

Bu denklem ideal gazlar (normal koşullardaki gaz) için ilk olarak

$$PV=RT \quad (2.2)$$

şeklinde Boyle-Mariotte tarafından 18.yüzyılın sonlarında verilmiştir. Eşitlik (2.2) ile verilen bir mol gaza ait hal denklemi, gazın makroskobik özelliklerden olan termodinamik özelliklerinin bulunması için yazılmıştır. Burada R evrensel gaz sabitidir. Yaklaşık 150 yıl kadar önce gazlara ait makroskobik özelliklerin ve yine gazı oluşturan moleküllere ait mikroskobik özelliklerden olan co-hacim ($b_0=2/3\pi N\sigma^3$ olmak üzere b_0 küresel molekülün 4 katına eşittir, σ küresel molekül çapıdır) 'i de içeren bir gerçek gaz hal denklemi Van der Waals tarafından 1873 yılında;

$$(P+a/V^2)((V-b)=RT \quad (2.3)$$

şeklinde teklif edilmiştir [7]. Burada a ve b'nin her gaz için değerleri farklıdır ve a moleküller arası kohezyonun bir ölçüsü, b molekülün hacmiyle orantılıdır.

Günümüze değin bu amaçla çeşitli araştırmacılar tarafından 100'den fazla gerçek gaz hal denklemi teklif edilmiştir [10-12].

Bunlardan bazıları gerçek gaz hal denklemlerine örnek olarak verilebilir. $T \geq 300$ K için Ar, H_2 , CO_2 apolar molekül yapılı gazlar ve polar molekül yapısına sahip NH_3 için hacme göre 7. dereceden indirgenmiş hal denklemi teklif edilmiştir [10]. Bu denklemden türetilen polar ve genelleştirilmiş izometrikler için ikinci virial terimi $T^*=kT/\epsilon$ ve $B(T)=b_0 \cdot B^*(T^*)$ olmak üzere şöyle verilmektedir.

$$B^*(T^*) = 1,6713 T^{*-0,25} - 3,4905 T^{*-0,861} - 0,6352 T^{*-2,71} \quad (2.4)$$

Polar gazlardan NH_3 'ün termofiziksel özelliklerinin ve moleküle ait kuvvet sabitlerinin belirlenmesi için yeni bir hal denklemi önerilmiştir [11]. NH_3 için önerilen yeni hal denkleminin ikinci virial terimi

$$B^*(T^*) = 1,415 T^{*-0,224} - 5,548 T^{*-2,719} - 2,274 T^{*-6,161} - 4,132 T^{*-1,001} \quad (2.6)$$

dir [11].

He ve Xe'nun termofizik ve termodinamik özelliklerinin ve bu gazları oluşturan moleküllere ait kuvvet sabitlerinin (σ , ϵ) belirlenmesi amacıyla hacme göre yedinci dereceden bir diğer hal denklemi daha oluşturulmuştur [12]. Bu denklemin $B^*(T^*)$ indirgenmiş ikinci virial terimi

$$B^*(T^*) = -3,3502 T^{*-0,9397} + 1,4192 T^{*-0,2233} - 0,6069 T^{*-2,6477} \quad (2.5)$$

dir.

1995 yılına değin konuya ilişkin araştırmacıların ana fikri gerçek gaz hal denklemi, gaza ait P, V, T arasındaki ilişkileri kritik izotermi de kaplayacak şekilde, kritik yoğunluğun 2,1 katına kadar duyarlı olarak oluşturmak ve bu denklemi kullanarak gaza ait $B(T)=f(T)$ şeklinde sıcaklığın bir fonksiyonu olan ikinci virial bağıntısı belirlenebilir şeklindeydi. Bu bağıntı yardımıyla iki molekül arasındaki etkileşimi ve diğer taraftan $C(T)=f(T)$ şeklinde sıcaklığın bir fonksiyonu olan üçüncü virial bağıntısı ve bunun yardımıyla da üç molekül arasındaki etkileşimler bulunabilirdi. Ayrıca yine bu denklemler kullanılarak gaza ait termodinamiksel fonksiyonlardan olan iç enerji, entalpi ve entropi değişimleri, ısı kapasiteleri, Boyle sıcaklığı, gaz içindeki ses hızı ve Joule-Thomson katsayısı hesaplanabilirdi [7].

2.1.2 Virial Bağıntısı

İdeal gazdan sapmaların denel olarak gözlenmesinden sonra Van der Waals, moleküller arası büyük uzaklıklarda moleküllerin birbirini çektiğini çok küçük uzaklıklarda birbirini ittiğini sayısal olarak göstermiştir ve bunun sonucunda iki sabitli denklemi geliştirmiştir. 1901 yılında H. Kamerlingh Onnes P, V, T arasındaki ilişkileri kapsayan virial hal denklemini,

$$PV/RT=1+B(T)/V+C(T)/V^2+D(T)/V^3 +... \quad (2.7)$$

şeklinde vermiştir. Burada $B(T)$, $C(T)$, $D(T)$ 'ye sırasıyla ikinci, üçüncü ve dördüncü virial katsayılarıdır. İstatistik mekaniğe göre virial katsayıları ile potansiyel enerji fonksiyonları elde edilmektedir. Eşitlik (2.7) deki ideal gazdan sapmaya ait terimler moleküller arası

kuvvet hakkında bilgiler vermektedir. B(T) iki molekül arasındaki, C(T) üç molekül arasındaki kuvvetler hakkında bilgi vermektedir. B(T) duyarlı olarak bilinirse iki molekül arasındaki potansiyel enerji fonksiyonu da belirlenebilir.

$$B(T) = -2\pi N_A \int_0^{\infty} [e^{-U(r)/kT} - 1] r^2 dr \quad (2.8)$$

Burada U(r) kullanılacak olan moleküller arası potansiyel fonksiyonu, N_A Avagadro sayısı, k boltzmann sabitidir.

Hidrojen ve Helyum ile bunların izotopları gibi oda sıcaklığının altında veya çok düşük sıcaklıklarda kuantum mekaniksel davranışlar gösteren moleküllere ait ikinci virial katsayıları kuantum mekaniksel olarak geliştirilmiş virial katsayıları bağıntılarıyla hesaplanabilmektedir. Endüstriyel gazlar yüksek basınçlarda, normal koşullarda ve düşük sıcaklıklarda bile kuantum mekaniksel davranışlar göstermezler.

2.1.3 Termodinamik Fonksiyonlar

Bir gaza ait $\rho = 2,2\rho_c$ yoğunluk aralığında (ρ_c kritik yoğunluktur) gerçek gaz hal denklemi bulunursa ve onun B(T) ve C(T) virial bağıntıları veya başka bir metodla elde edilen B(T) ve C(T) bağıntıları kullanılarak ele alınan gaza ait termodinamik özellikler hal denklemi ve virial katsayıları cinsinden aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilmektedir.

a. İç Enerji

$$U - U^0 = -RT \left\{ \frac{T}{V} \frac{dB}{dT} + \frac{T}{2V^2} \frac{dC}{dT} + \dots \right\} \quad (2.9)$$

Burada; T sıcaklık, V hacim, B ikinci virial ifadesi, C üçüncü virial ifadesi, R evrensel gaz sabitidir.

b. Entalpi

$$S - S^0 = -R \left\{ \ln p + \frac{T}{V} \frac{dB}{dT} + \frac{B^2}{2V^2} - \frac{C}{2V^2} + \frac{T}{2V^2} \frac{dC}{dT} + \dots \right\} \quad (2.10)$$

Burada; T sıcaklık, p basınç, V hacim, B ikinci virial C üçüncü virial ve R evrensel gaz sabitidir.

S^0 in ideal değeri p sıfıra giderken limit durumunda $S \rightarrow S^0 - R \ln p$ durumunu alır.

c. Sabit Hacimdeki Isı Kapasitesi

$$C_v - C_v^0 = -R \left\{ \frac{2T}{V} \frac{dB}{dT} + \frac{T^2}{V} \frac{d^2B}{dT^2} + \frac{T}{V^2} \frac{dC}{dT} + \frac{T^2}{2V^2} \frac{d^2C}{dT^2} + \dots \right\} \quad (2.11)$$

Burada; T sıcaklık, V hacim, C_v^0 ideal durum için sabit hacimdeki ısı kapasitesi, R evrensel gaz sabitidir.

d. Sabit Basıncıdaki Isı Kapasitesi

$$C_p - C_p^0 = -R \left\{ \frac{T^2}{V} \frac{d^2B}{dT^2} - \frac{\left(B - T \frac{dB}{dT} \right)^2}{V^2} - C + T \frac{dC}{dT} - T^2 \frac{d^2C}{dT^2} + \dots \right\} \quad (2.12)$$

Burada; T sıcaklık, p basınç, V hacim, C_p^0 ideal durum için sabit basıncıdaki ısı kapasitesi, R evrensel gaz sabitidir.

e. Joule-Thomson Katsayısı

$$\mu = \frac{1}{C_p} \left\{ T \frac{dB}{dT} - B + \frac{1}{V} \left[2B^2 - 2TB \frac{dB}{dT} - 2C + T \frac{dC}{dT} + \frac{RT^2}{C_p^0} \frac{d^2B}{dT^2} \left(T \frac{dB}{dT} - B \right) \right] + \dots \right\} \quad (2.13)$$

Burada μ Joule-Thomson katsayısını temsil etmektedir.

f. Akışkan İçindeki Ses Hızı

$$c_0^2 = \frac{\gamma RT}{M} \left\{ 1 + \frac{1}{V} \left[2B + 2(\gamma^0 - 1)T \frac{dB}{dT} + \frac{(\gamma^0 - 1)^2}{\gamma^0} T^2 \frac{d^2B}{dT^2} \right] + \dots \right\} \quad (2.14)$$

Burada; T sıcaklık, V hacim, R evrensel gaz sabiti, M örnek gazın atom ağırlığı ve $\gamma = C_p/C_v$ yaklaşık tüm gazlar için 5/3 olan bir sabittir [7].

2.2 MOLEKÜLLER ARASI KUVVETLER VE POTANSİYEL ENERJİ FONKSİYONLARI

2.2.1 Bazı Moleküller Arası Potansiyel Enerji Fonksiyon Tipleri

Skaler büyüklük olan moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu $U(r)$ bağıntısını kullanmak, vektörel büyüklük olan moleküller arası kuvveti $F(r)$ kullanmaktan daha uygun olmaktadır. Bu nedenle, tüm kaynaklarda ve kitaplarda moleküller arası enerji fonksiyonu ifadeleri kullanılmıştır.

Bu iki fiziksel büyüklük arasındaki ilişki ,

$$F(r) = -dU/dr \quad (2.15.a)$$

$$U(r) = \int_r^\infty F(r) dr \quad (2.15.b)$$

dir ve burada r iki molekül arasındaki uzaklıktır.

1924 yılında Lennard-Jones tüm molekül gruplarını içerecek şekilde yarı gerçekçi potansiyel enerji fonksiyonunu aşağıdaki gibi önermiştir.

$$U(r) = A/r^n - B/r^m \quad (2.16)$$

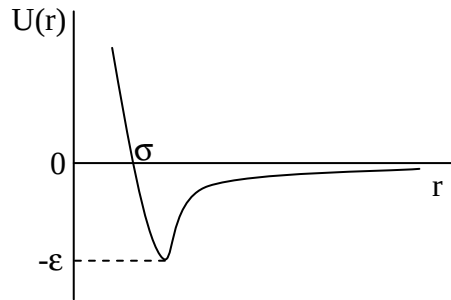
Bu potansiyel enerji fonksiyonunun yapısı iki molekül birbirlerine yeterince uzak olduklarında birbirlerini çektikleri ve yeterince yakın olduklarında birbirlerini ittikleri esasına dayanmaktadır.

B/r^m terimi moleküller arası çekimi A/r^n terimi de moleküller arası itmeyi ifade etmektedir. Polar olmayan moleküller için çoğunlukla kullanılan Lennard-Jones (6-12) potansiyel enerji fonksiyonu,

$$U(r) = 4\epsilon[(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6] \quad (2.17)$$

biçimindedir.

Burada σ birbirine sıfır göreli kinetik enerjiyle çarpışmak üzere yaklaşan iki molekülün çarpışmaması için en yakın olacakları uzaklıktır (Küresel yapılı moleküller için buna yaklaşık olarak molekül çapı da denilmektedir.). ϵ 'a potansiyel enerji çukuru derinliği veya molekülün bağlanma enerjisi adı verilir. Aynı zamanda $r=2^{1/6}.\sigma$ kadar uzaklıkta bulunan moleküllerin çekicilik enerjisinin maksimum değeri ϵ olur şeklinde bir tanım da yapılır. LJ fonksiyonunun iki molekül arasındaki uzaklığa göre değişimi şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir [7].



Şekil 2.1 LJ fonksiyonunun iki molekül arasındaki uzaklığa göre değişiminin şematik olarak gösterimi

Uygulamalarda Ar için en çok kullanılan moleküller arası potansiyel fonksiyonlarından bazıları,

Barker-Pompe Potansiyeli [8],

$$U^*(r) = \exp [\alpha(1-\bar{r})] \sum_{i=0}^n A_i (\bar{r}-1)^i + \sum_{j=0}^2 C_{2j+6}^* / (\delta + \bar{r}^{2j+6}) \quad (2.18)$$

ile verilir.

Bu, Ar için moleküller arası potansiyeli kurmada önemli bir rol oynayan Barker, Fisher ve Watts'ın bulduğu en önemli fonksiyon şeklidir.

Barker-Bobetic-Maitland-Smith (BBMS) Potansiyeli [8],

$$U^*(r) = U^*(\text{Barker-Pompe}) + \alpha' \exp\{-50(\bar{r}-1,33)^2\} \quad (2.19)$$

Maitland ve Smith Barker Pompe potansiyelinin bir uyarlamasını Barker ve Bobetic'in spektroskopik verilerine uygun olarak değiştirdiler. Bu da Ar için bir başka bir önemli potansiyel fonksiyonudur.

Parson-Siska-Lee (MSVIII) Potansiyeli [13],

$$U^*(r) = \exp\{-2\beta(\bar{r}-1)\} - 2\exp\{-\beta(\bar{r}-1)\} \quad 0 \leq \bar{r} \leq x_1 \quad (2.20.a)$$

$$U^*(r) = b_1 + (\bar{r} - x_1)\{b_2 + (\bar{r} - x_2)[b_3 + (\bar{r} - x_1)b_4]\} \quad x_1 \leq \bar{r} \leq x_2 \quad (2.20.b)$$

$$U^*(r) = C_6^* \bar{r}^{-6} + C_8^* \bar{r}^{-8} + C_{10}^* \bar{r}^{-10} \quad x_2 \leq \bar{r} \leq \infty \quad (2.20.c)$$

şeklinde dir. Moleküler ışıma verilerinde büyük ölçüde temel alınan bu potansiyel Ar etkileşimlerinin iyi bir temsilini verir.

Maitland-Smith [$n(\bar{r})-6$ (MS)] Potansiyeli [8],

$$U^*(r) = \left\{ \left(\frac{6}{n-6} \right) \bar{r}^{-n} - \left(\frac{n}{n-6} \right) \bar{r}^{-6} \right\} \quad (2.21.a)$$

olmak üzere n 'in $\bar{r} = r/r_m$ ile değişmesine izin verilir. Önerilen ifade aşağıda verilmiştir.

$$n = 13,0 + \gamma(\bar{r}-1) \quad (2.21.b)$$

Bu şekilde üç parametrelili basit bir fonksiyon olan ifade asal gazların potansiyel fonksiyonlarının dikkat çekecek doğrulukta bir temsilini verir.

Aziz-Chen (HFD-C) Potansiyeli [14],

$$U^*(r) = A \bar{r}^{-\gamma} \exp(-\alpha \bar{r}) + (C_6^* \bar{r}^{-6} + C_8^* \bar{r}^{-8} + C_{10}^* \bar{r}^{-10}) F(\bar{r}) \quad (2.22.a)$$

$$F(\bar{r}) = \exp \left\{ - \left[\frac{D}{\bar{r}} - 1 \right]^2 \right\} \quad \bar{r} < D \quad (2.22.b)$$

$$= 1 \quad \bar{r} \geq D \quad (2.22.c)$$

Son ifade de D=1,28 olarak alınabilir.

Bu potansiyel fonksiyonları için Ar'a ait elde edilen moleküler kuvvet sabitlerinin (σ ve ϵ) değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir [8].

Çizelge 2.1 Ar için önerilen moleküller arası potansiyel fonksiyonları kullanılarak elde edilen moleküler kuvvet sabitlerinin değerleri.

Potansiyel	Kaynaklar	Yıl	(ϵ/k)/K	10 σ /nm	10 r_m /nm
L J (12-6)	[15]	1962	125,2	3,405	3,822
Barker-Pompe	[8]	1968	147,7	3,341	3,756
Maitland-Smith (BBMS)	[8]	1971	142,5	3,355	3,76
Parson-Siska-Lee (MSVIII)	[13]	1972	140,7	3,345	3,76
Maitland-Smith $n(\bar{r})^{-6}$ (MS)	[8]	1973	142,1	-	3,76
Aziz-Chen(HFD-C)	[14]	1977	143,224	-	3,759

Diğer taraftan SF₆ hemen hemen küresel yapılu poliatomik bir molekül olduğundan genelde kullanılan potansiyel fonksiyonu

$$U^*(r) = \left(\frac{n}{n-m} \right) \left(\frac{n}{m} \right)^{m/(n-m)} \left[\left(\frac{\sigma - 2a}{r - 2a} \right)^n - \left(\frac{\sigma - 2a}{r - 2a} \right)^m \right] \quad r > 2a \quad (2.23.a)$$

$$U^*(r)=\infty \quad r < 2a \quad (2.23.b)$$

şeklinde verilmektedir [16]. Burada $n=12$ ve $m=6$ alındığında (2.23.a) denklemi

$$U^*(r)= 4 \left[\left(\frac{\sigma - 2a}{r - 2a} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma - 2a}{r - 2a} \right)^6 \right] \quad (2.24)$$

halini alır [2]. Burada a , seçilen sözde moleküle ait $U^*(r)=\infty$ daki çekirdeğin yarıçapıdır [17].

Eşitlik (2.23) ile verilen potansiyel; diğer adı hard-core Lennard-Jones (HCLJ) potansiyel fonksiyonu, bir grup araştırmacı Hurly, Defibaugh ve Moldover tarafından kullanılarak SF_6 'nın $B(T)$, $C(T)$ değerleri hesaplanmıştır [2]. Bu araştırmacılar ayrıca sıcaklığın $230K \leq T \leq 460K$, yoğunluğun $137 \text{ mol/m}^3 \leq \rho \leq 4380 \text{ mol/m}^3$ sınırları arasında ve basıncın $0,1$ ile $1,5 \text{ MPa}$ sınırları arasındaki değerleri için SF_6 içindeki ses hızlarını ölçmüşlerdir [2].

2.2.2 Potansiyel Fonksiyonlarının Moleküllere Ait Özelliklerle İlişkisi

Endüstriyel gazlardan olan Ar, en çok çalışılan ve bir çok termodinamik sistemin incelenmesi için model olarak kullanılan apolar yapıya sahip küresel simetrik bir kimyasal elementtir. Termodinamik özelliklerinin hesabı için, çok düşük (10 K civarı) sıcaklıklarda ve çok yüksek (10 MPa civarı) basınç hallerinde, sadece küçük kuantum düzeltmeleri gerektirir. Endüstride daha çok tercih edilmesi bu nedenlerden dolayıdır. Tek atomlu yapıya sahip olan Ar diğer moleküllere ait özelliklerin incelenmesinde uygun bir model olarak ele alınmaktadır.

Buna göre, seyreltilmiş Ar gazına ait denel termofizik özellikler kullanılarak, teoriye bağlı olarak geliştirilecek olan yeni termofiziksel bağıntıların geçerliliği kontrol edilebilmektedir. Bu çalışmalar sonucu deneyle hesaplamalar arasındaki belirsizliğin tayin edilmesi sonucunda yeni bağıntıların kullanışlılığı da ortaya çıkmaktadır.

Hard-Core geometrisine sahip olan SF_6 için de aynı termofiziksel özelliklerin hesabının yapılması, yararlanılan bağıntıların kullanılabilirliğinin çok atomlu moleküller için de söz

konusu olduğunu göstermektedir. SF_6 , kimyasal ve termik olarak karardır ve güçlü bir şekilde elektronegatifdir. Bu ve benzeri nedenlerden dolayı yüksek voltaj malzemeleri için iyi bir yalıtkan olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır. Kütle akış denetçilerinin kalibrasyonu için vekil gaz olarak yarıiletken işleme tabi tutma sanayinde kullanılmak üzere bu gazın termodinamik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. SF_6 neredeyse küresel poliatomik bir moleküldür. SF_6 gazının moleküller arası potansiyel fonksiyonu ile ilişkilendirilmiş termodinamik bağıntılar elde edilebilirse bu bağıntılar, bu gazdan vekil gaz olarak faydalanılan yerlerde kullanılabilmektedir.

Ar'un tek atomlu, SF_6 'nın ise çok atomlu olması bu iki gazın termodinamik özelliklerinde kullanılan bağıntıların da farklılaşmasına neden olmaktadır. Ancak ilgili termodinamik özelliklerin hesabında kullanılacak bağıntıların duyarlılığının yüksek olması için bu bağıntıların, gazların moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu ile uyum içerisinde bağıntılar olması gerekmektedir. Eğer termodinamik özelliklerin hesabında kullanılan bağıntılar tam olarak o gazın moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonuna ait değilse söz konusu bağıntıların belirsizliklerinin yüksek olması da normal bir sonuç olacaktır.

2.2.2.1 Moleküller Arası Kuvvetlerin Bilgi Kaynakları

Genel koşullarda ele alınan maddenin davranışına ilişkin maddenin P , V , T , ρ ... gibi termodinamik makroskobik özellikleri ve bu maddenin σ , ϵ .. gibi mikroskobik özellikleri arasında ve bunların da moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu arasında bir ilişki bulunmaktadır [7]. Deneyisel olarak ölçülen bu termodinamik özellikler kullanılarak mikroskobik özelliklerden olan moleküler kuvvetler geniş kapsamlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Aynı özellikler kullanılarak molekül çifti potansiyel enerji fonksiyonu da tayin edilebilmektedir. Belirlenen moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu moleküle ilgili her bir özelliği içermektedir.

Deneyisel bilgiler kullanılarak elde edilen bağıntılar yararlı olmasına rağmen, deneyisel ortam ve kullanılan aletlerin duyarlılığının da yapılacak hesaplamalarda ele alınması gerekmektedir.

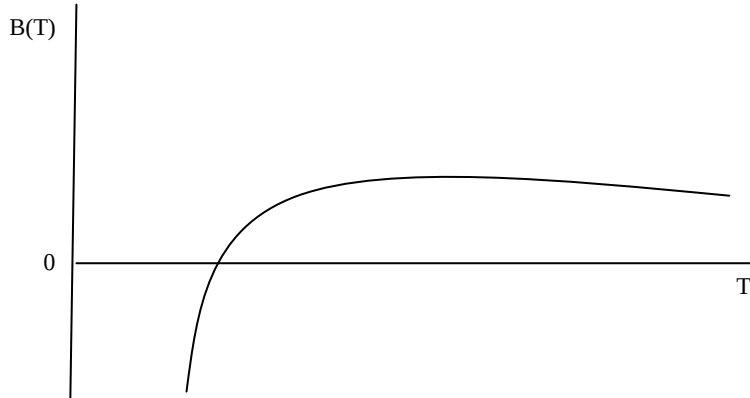
Moleküller arası bilgi kaynaklarından biri olarak virial açılımlı hal denklemi kullanılır. Bir gaza ait hal denkleminin virial açılımı klasik istatistik mekaniğe göre aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$PV/RT=1+B(T)/V+C(T)/V^2+D(T)/V^3 +... \quad (2.25)$$

İndirgenmiş virial açılımlı hal denklemindeki yüksek mertebeden terimler, moleküller arası etkileşimlerin katkısı olarak ifade edilir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olan ikinci virial katsayısı $B(T)$, iki molekül arasındaki etkileşim kuvvetlerini ifade etmektedir. Üçüncü virial katsayısı $C(T)$, üç molekül arasındaki etkileşim kuvvetlerini ifade eder. Eşitlik (2.26)'dan görüleceği gibi, iki molekül arasındaki potansiyel enerji fonksiyonu, ikinci virial katsayısı ile fiziksel ve matematiksel olarak ilişkilidir [8, 17].

$$B(T)=-2\pi N_A \int_0^{\infty} [e^{-U(r)/kT} - 1] r^2 dr \quad (2.26)$$

Genel olarak gazlara ait $B(T)$ ikinci virial teriminin sıcaklığa göre değişimi şematik olarak Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ikinci virial katsayısı $B(T)$ 'nin şematik değişimi [7].

2.2.2.2 Seyreltilmiş Gazların Transport Özellikleri

Gazdaki moleküllerin, sıcaklık ve konsantrasyon değişimi moleküller arası hız değişimi oluşturur. Bunun sonucunda gazda momentum aktarımı (viskozite), kütle aktarımı (difüzyon) ve enerji aktarımı (ısı iletimi) oluşmaktadır.

Gaz seyreltik halde olduğunda bu hareket gaz moleküllerin birbirleriyle çarpışması yerine saçılması gibi ele alınabilmektedir.

2.2.2.3 Çarpışma İntegrali $\Omega^{(l,s)}(T)$

Kinetik teoriye göre akışkanlara ait transport özelliklerin belirlenmesi $\Omega_{ij}^{(l,s)}$ çarpışma integralinin setleri şeklinde verilebilmektedir. $\Omega^{(l,s)}$ çarpışma integrali ve $Q^{(l)}$ tesir kesiti sıcaklığın bir fonksiyonudur. Burada l yörünge açısıl kuantum sayısı, s ise spin açısıl kuantum sayısıdır.

Moleküllere ait transport özelliklerden kütle akışı (difüzyon), momentum akışı (vizkozite) ve enerji akışının (termal iletkenlik) hesap edilebilmesi için $\Omega^{(l,s)}(T)$ çarpışma integralinin duyarlı olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu integralin içerdiği terimler; moleküllerin saçılmasına ait bilgileri içeren χ çarpışma parametresi veya saptırma fonksiyonu, $Q^{(l)}(g)$ tesir kesiti integrali ve moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu $U(r)$ 'dur. Çarpışma integrali ve bunlar arasındaki ilişki;

$$\chi(g,b)=\pi-2b \int_{r_m}^{\infty} \frac{dr/r^2}{\sqrt{1-\frac{b^2}{r^2}-\frac{\varphi(r)}{\frac{1}{2}\mu g^2}}} \quad (2.27)$$

$$Q^{(l)}(g)=2\pi \int_0^{\infty} (1-\cos^l \chi) b db \quad (2.28)$$

ve

$$\Omega^{(l,s)}(T)=\sqrt{kT/2\pi\mu} \int_0^{\infty} e^{-\gamma^2} \gamma^{2s+3} Q^{(l)}(g) d\gamma \quad (2.29)$$

olarak verilir.

Burada $\frac{1}{2} \mu g^2$ sistemin kinetik enerjisi, $\mu=(1/m_i)+(1/m_j)$ indirgenmiş kütle ve g çarpışan moleküllerin görelî hızı, b çarpışma parametresidir. Bağıntıda i ve j , çarpışan iki moleküle ait alt indislerdir. Eğer moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu duyarlı olarak elde edilebilir ise yukarıda verilen bağıntılar yardımıyla çarpışma integrali de duyarlı olarak hesaplanabilmektedir.

σ çaplı tam küresel katı bir molekül için tesir kesiti (2.28) ve çarpışma integrali (2.29) bağıntıları

$$[Q^{(l)}]_{\text{katı küre}} = \left[1 - \frac{1}{2} \frac{1 + (-1)^l}{1 + l} \right] \pi \sigma^2 \quad (2.30)$$

$$[\Omega^{(l,s)}]_{\text{katı küre}} = \sqrt{\frac{kT}{2\pi\mu} \frac{(s+1)!}{2}} [Q^{(l)}]_{\text{katı küre}} \quad (2.31)$$

olarak elde edilir.

$[Q^{(l)}]$ ve $[\Omega^{(l,s)}]$ bağıntıları sırasıyla (2.30) ve (2.31) bağıntılarına bölündüğünde indirgenmiş $Q^{(l)*}$ ve $\Omega^{(l,s)*}$ bağıntıları aşağıdaki gibi,

$$[Q^{(l)*}] = \frac{[Q^{(l)}]}{[Q^{(l)}]_{\text{katı küre}}} = \frac{Q^{(l)}}{\left[1 - \frac{1}{2} \frac{1 + (-1)^l}{1 + l} \right] \pi \sigma^2} \quad (2.32)$$

$$[\Omega^{(l,s)*}] = \frac{[\Omega^{(l,s)}]}{[\Omega^{(l,s)}]_{\text{katı küre}}} = \frac{\Omega^{(l,s)} \sqrt{2\pi\mu / kT}}{\frac{1}{2} (s+1)! \left[1 - \frac{1 + (-1)^l}{1 + l} \right] \pi \sigma^2} \quad (2.33)$$

elde edilmektedir.

2.2.2.4 İkinci Virial Teriminin Belirli bir Moleküller Arası Potansiyel Fonksiyonu Kullanılarak Tayin Edilmesi

Genel koşullarda maddenin herhangi gözlenebilir mikroskobik özelliklerinin olduğu gibi makroskobik özelliklerinin de moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu ile bir ilişki vardır. Deneysel olarak ölçülen termodinamik özellikler kullanılarak moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu belirlenebilmektedir. Özellikle moleküller arası etkileşimler hakkında bilgi sağlayan potansiyel fonksiyonu prensipte her bir özelliği içerir.

$$B(T) = -\frac{2\pi}{3} \int_0^{\infty} \frac{1}{kT} \frac{dU(r)}{dr} \exp\left[-\frac{U(r)}{kT}\right] r^3 dr \quad (2.34)$$

Bu ifade indirgenmiş ikinci virial terimi olarak $B^*(T^*) = B(T)/b_0$ şeklinde verilmektedir. Burada b_0 co-hacim ve $T^* = kT/\epsilon$ 'dir. Eşitlik (2.34)'den görüleceği gibi eğer başka bir metodla ikinci virial değerleri bulunursa, buradan hareketle potansiyel fonksiyonunun yapısı ve bağıntısı hakkında bilgi edinilir; veya herhangi bir metodla elde edilen potansiyel fonksiyonuna sahipsek, bu bağıntıyı kullanarak ikinci virial değerlerini hesaplayabiliriz.

Genel olarak Lennard-Jones potansiyel fonksiyonu,

$$U(r) = \frac{\lambda}{r^n} - \frac{\mu}{r^m} = U_0 \left[\frac{m}{n-m} \left(\frac{r_0}{r} \right)^n - \frac{n}{n-m} \left(\frac{r_0}{r} \right)^m \right] \quad (2.35)$$

olarak verilmektedir. Burada $\lambda, \mu > 0$ ve $n > m > 3$ olmalıdır [16].

$$f(r) = \exp[-U(r)/kT] - 1 \quad (2.36)$$

olmak üzere ikinci virial bağıntısı $B(T)$,

$$B(T) = -2\pi \int_0^{\infty} f(r) r^2 dr \quad (2.37)$$

bağıntısıyla hesap edilebilmektedir [16]. Bu ifade aşağıdaki gibi de verilmektedir.

$$B(T) = -\frac{2\pi}{3} \int_0^\infty \frac{1}{kT} \frac{dU(r)}{dr} \exp\left[-\frac{U(r)}{kT}\right] r^3 dr \quad (2.38)$$

Bağıntıda kullanılacak olan potansiyel fonksiyonunun sadece $\exp\left(\frac{\mu}{r^m} kT\right)$ kısmı güç serisine açılıp terim terim integrasyon işlemine gidilebilmektedir [7]. İntegral sonucunda ikinci virial bağıntısı

$$B(T) = -\frac{2\pi}{n} \left(\frac{\lambda}{kT}\right)^{3/n} \sum_{t=0}^{\infty} \Gamma\left(\frac{tm-3}{n}\right) \frac{y^t}{t!} \quad (2.39)$$

olarak elde edilir. Burada,

$$y \equiv \frac{\mu}{kT} \left(\frac{kT}{\lambda}\right)^{m/n} \quad (2.40)$$

dir.

Kuantum mekaniksel hesaplamaların mümkün olmadığı dönemlerde termodinamik özelliklerin ve moleküller arası etkileşim potansiyel hesaplarının duyarlı olarak yapılabilmesi pek olası olmadığından bu tür hesaplamalarda en iyi hesaplama yöntemi olarak Lennard-Jones (6-12) potansiyeli kullanılmıştır. (n=12 ve m=6 olarak ele alınmıştır.) Bununla birlikte bu yaklaşım, küresel yapıli moleküllere sahip akışkanların orta ve seyrek yoğunluktaki termodinamik özellikleri hakkında bilgi edinilmesini sağlamıştır.

LJ (6-12) potansiyeli kullanılarak ikinci virial terimi $B^*(T^*)$,

$$B(T) = b_0 B^*(T^*) \quad (2.41.a)$$

$$B^*(T^*) = \sum_{j=0}^{\infty} b^{(j)} T^{*-(2j+1)/4} \quad (2.41.b)$$

şeklinde yazılabilir. Burada sıcaklık $T^* = kT/\epsilon$ olmak üzere indirgenmiş olarak yazılmıştır ve $b^{(j)}$ katsayıları

$$b^{(j)} = -\frac{2^{j+1}}{4j!} \Gamma\left(\frac{2j-1}{4}\right) \quad (2.42)$$

formunda verilmektedir [7].

Bu bağıntıdan yararlanılarak ele alınan gazın sıcaklığa göre ikinci virial değerleri gazın küresel ve küresele yakın olması halinde, orta ve düşük yoğunluk aralığında ve kuantum mekaniksel davranışlarda bulunmadığı koşullarda hesaplanabilir [7].

İkinci virial terimi kullanılarak ele alınan gaz içindeki ses hızları, σ ve ϵ molekül kuvvet sabitleri ve moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonu ifadesi elde edilir. Ayrıca ikinci virial terimi $B(T)$ bağıntısı duyarlı olarak bilindiğinde [17],

$$B(T)=0 \quad (2.43)$$

eşitliğinden gazın ideal gaz olarak davrandığı Boyle sıcaklığı (T_B) hesaplanabilir [17].

Diğer taraftan,

$$d(B/T)/dT=0 \quad (2.44)$$

bağıntısından ele alınan gaza ait sıfır basınç Joule-Thomson (T_{JT}) inversiyon sıcaklığı bulunur. Joule Thomson katsayısının (μ) işaret değiştirdiği noktaya inversiyon sıcaklığı denilmektedir. Düşük sıcaklıklarda Joule Thomson değerleri pozitifdir ve isoentalpik genişleme sonucunda gaz soğumaktadır. Yüksek sıcaklıklarda Joule-Thomson değerleri negatiftir ve gaz serbest olarak genişlediğinde ısınmaktadır.

Ayrıca $B(T)$ 'nin maksimum olduğu düşük basınç Joule inversiyon sıcaklığı T_J

$$dB/dT=0 \quad (2.45)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanabilmektedir [17].

2.3 TRANSPORT ÖZELLİKLER

2.3.1 Saf Maddeler İçin Transport Özelliklere Ait Birinci Dereceden Yaklaşım

Katı küresel tipli molekül yapısına sahip olan saf gazlara ait transport özellikler birinci dereceden yaklaşım yapıldığında aşağıdaki gibi verilmektedir [7].

$$[D]_1 = \frac{3}{8} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 \Omega^{(1,1)*}} \right) \left(\frac{1}{\rho} \right) = \frac{3}{16} \frac{\sqrt{2 \pi k^3 T^3 / \mu}}{p \pi \sigma^2 \Omega^{(1,1)*}} \quad (2.46)$$

$$[\eta]_1 = \frac{5}{16} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 \Omega^{(2,2)*}} \right) \quad (2.47)$$

$$[\lambda]_1 = \frac{25}{32} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 \Omega^{(2,2)*}} \right) \left(\frac{c_v}{m} \right) \quad (2.48)$$

Burada D difüzyon (kütle aktarımı), η viskozite (momentum aktarımı), λ termal iletkenlik (ısı iletimi) dir.

2.3.2 Saf Maddeler İçin Transport Özelliklere Ait İkinci Dereceden Yaklaşım

Transport özelliklerin daha duyarlı hesaplanabilmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından yaklaşımlar teklif edilmiştir [16]. Saf ve katı küresel molekül yapıları gazlara ait bazı yaklaşımlar mevcuttur. Saf gazlar için transport özelliklerin daha duyarlı olarak hesaplanmasında ikinci dereceden Chapman-Cowling yaklaşımı [8] ve ikinci dereceden Kihara yaklaşımı [8], üçüncü dereceden Chapman-Cowling yaklaşımını içeren bağıntılar vardır [8, 18].

İkinci dereceden Chapman-Cowling yaklaşımıyla elde edilen viskozite bağıntısı;

$$[\eta]_2 = [\eta]_1 f_{\eta}^{(2)} \quad (2.49)$$

$$f_{\eta}^{(2)} = 1 + (H^{01})^2 / [H^{00} H^{01} - (H^{01})^2] \quad (2.50)$$

dır. Burada,

$$H^{00} = 1 / [\eta]_1 \quad (2.51.a)$$

$$H^{01} = \frac{1}{[\eta]_1} \left[\frac{7}{4} - 2E^* \right] \quad (2.51.b)$$

$$H^{11} = \frac{1}{[\eta]_1} \left[\frac{301}{48} - 7E^* + 5H^* \right] \quad (2.51.c)$$

$$E^* = \Omega^{(2,3)*} / \Omega^{(2,2)*} \quad (2.51.d)$$

$$H^* = \Omega^{(2,4)*} / \Omega^{(2,2)*} \quad (2.51.e)$$

dır.

İkinci dereceden Kihara yaklaşımıyla elde edilen self-difüzyon bağıntısı [8]

$$[D]_2 = [D]_1 f_D^{K(2)} \quad (2.52)$$

dır ve

$$f_D^{K(2)} = 1 + (6C^* - 5)^2 / (16A^* + 40) \quad (2.53)$$

olarak verilir. Burada,

$$A^* = \Omega^{(2,2)*} / \Omega^{(1,1)*} \quad (2.54.a)$$

$$C^* = \Omega^{(2,2)*} / \Omega^{(1,1)*} \quad (2.54.b)$$

dır. İkinci dereceden Chapman-Cowling yaklaşımıyla elde edilen termal iletkenlik bağıntısı

$$[\lambda]_2 = [\lambda]_1 f_\lambda^{(2)} \quad (2.55)$$

dır ve

$$f_\lambda^{(2)} = 1 + \frac{(L^{12})^2}{L^{11} L^{22} - (L^{12})^2} \quad (2.56)$$

formundadır. Burada,

$$L^{11} = \frac{1}{[\lambda]_1} \quad (2.57.a)$$

$$L^{12} = \frac{1}{[\lambda]_1} \left[\frac{7}{4} - 2E^* \right] \quad (2.57.b)$$

$$L^{22} = \frac{1}{[\lambda]_1} \left[\frac{77}{16} - 7E^* + 5H^* \right] \quad (2.57.c)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Çarpışma integrali $[\Omega^{(l,s)}]$ veya indirgenmiş çarpışma integrali $[\Omega^{(l,s)}]^*$ değerleri ele alınan gaz için iyi bir potansiyel fonksiyonu seçimi yapılarak, her bir sıcaklık değeri için hesaplanırsa; bu değerler ele alınarak ve yukarıdaki bağıntılar kullanılarak gaza ait transport katsayıları da duyarlı olarak hesaplanabilmektedir.

2.3.3 Gaza Ait Viskozite ve Termal İletkenliğinin, Yoğunluğun ve Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Hesaplanması

Bir gaza ait normal koşullardaki viskozluk bağıntısı sıcaklığın fonksiyonu olarak verilmektedir. Gazın hem yoğunluğu hem de sıcaklığı aynı anda değişebilir. Bu durumda gazın değişik sıcaklık ve yoğunluklardaki viskozluk bağıntısı,

$$\eta(T, \rho) = \eta_0(T) + a_1(T)\rho + a_2(T)\rho^2 + \dots \quad (2.58)$$

şeklinde verilmektedir [1, 3]. Burada η_0 , sıfır yoğunluk ($\rho \rightarrow 0$) veya ideal gaz viskozitesidir.

Bir gazın termal iletkenlik bağıntısı sıcaklığın ve yoğunluğun fonksiyonu olarak;

$$\lambda(T, \rho) = \lambda_0(T) + b_1(T)\rho + b_2(T)\rho^2 + \dots \quad (2.59)$$

şeklinde verilebilmektedir [3, 9].

Burada λ_0 , sıfır yoğunluk (bu durumda gaz ideal gaz olarak ele alınabilir) termal iletkenlik değeridir.

BÖLÜM 3

ENDÜSTRİYEL GAZLARDAN OLAN Ar VE SF₆'NİN BAZI TRANSPORT VE TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN BAĞINTILAR

3.1 Ar İÇİN ÖNERİLEN TERMOFİZİKSEL BAĞINTILAR

3.1.1 Ar'un Bazı Transport ve Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılacak Genel Yöntem

Yapılan bu çalışmada önce Ar'a ait termofiziksel (η viskozite (momentum aktarımı), λ termal iletkenlik (ısı iletimi) ve $B(T)$ ikinci virial terimi, c ses hızı) özelliklerin hesaplanmasında her biri için ayrı ayrı yeni bağıntılar önerilerek bu bağıntıların sabitleri hesapsal fizik yöntemi kullanılarak tayin edilmiştir. Teklif edilen bu bağıntılardan en geçerli olanı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. İstenilen fiziksel özelliklere ait elde edilen bağıntılar ve bunlardan hesapla bulunan değerlerin şimdiye kadar bu yöntemlerle elde edilenlerle kıyaslandığında belirsizliğin en az ve duyarlılığın en çok olması amaçlanmıştır. Ancak bu şekilde elde edilen bu fiziksel bağıntıların bilimsel ve teknolojik amaçlar için kullanılabilir olduğu düşünülmüştür. Bu amaçla Ar'a ait η , λ , $B(T)$ ve c değerlerine ilişkin şimdiye kadar yapılan çalışmalardan elde edilen denel değerlerden ve en geçerli sayılan moleküller arası potansiyel fonksiyonlarına ait verilerden yararlanılmıştır [1, 4-6, 9].

3.1.2 Ar İçin Teklif Edilen İkinci Virial Bağıntısının Elde Edilmesi

İkinci virial bağıntısı, eğer ele alınan akışkan için duyarlı bir moleküller arası potansiyel ve bu potansiyel fonksiyonunun moleküler kuvvet sabitlerinden olan ϵ (moleküler bağlanma enerjisi), σ (çarpışma yarıçapı) ile birlikte duyarlı olarak bilinirse moleküller arası potansiyel fonksiyonundan yararlanılarak hesaplanabilmektedir [7]. Bu çalışmalardan

birine örnek olarak Kihara'nın çalışmaları verilebilir [17]. Bu tip çalışmalardan elde edilen ikinci virial terimiyle hesaplanan sonuçların belirsizliklerinin bir ölçüsü olan toplam ortalama yüzde sapmanın, seçilen moleküller arası potansiyel fonksiyonunun geçerliliğine ve ters hesap yöntemlerindeki işlemlere bağlı olarak %1-2 mertebesinde olduğu bilinmektedir [2, 9]. $B(T)$ bağıntısı hesaplarında spektroskopik ölçümlerden hassas olarak elde edilen ϵ ve σ değerleri kullanılarak daha duyarlı sonuçlara ulaşılmaya çalışılmaktadır [8]. $B(T)$ ikinci virial bağıntısı ve değerlerinin elde edilmesi için çok geçerli olan bir yöntem, ele alınan akışkanın P , V , T değerlerinin denel olarak ölçülmesi ve bu akışkana ait gerçek gaz hal denkleminde (2.7) $B(T)$ değerlerinin yarı teorik hesapsal yöntemle denel veriler kullanılarak bulunmasıdır. Bu çalışmada diğer bir yöntem olan ikinci virial teriminin sıcaklığın bir fonksiyonu olması fiziksel olgusundan yararlanılmıştır [7]. Buradan hareket ederek çalışmanın bu aşamasında A_r 'un ikinci virial terimi duyarlı olacak şekilde önerilmiş ve buradan çeşitli sıcaklıklar için A_r 'un ikinci virial değerleri hesaplanmıştır. İkinci virial bağıntısı belirsizliği en az olacak şekilde elde edildikten sonra bağıntının sıcaklığa göre ilk türevi de hesaplanmıştır. $B(T)$ 'nin ilk ve ikinci türevleri, termofiziksel özelliklerin, Joule-Thomson inversiyon sıcaklığının ve A_r içindeki ses hızının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Önerilen $B(T)$ bağıntısının sadece denel değerlerle karşılaştırılması pek anlam taşımayabilir. Bunun için elde edilen bağıntının türevinden hesaplanan değerler, denel değerler kullanılarak bunlardan matematiksel yöntemlerle elde edilmiş türevlerle de karşılaştırıldığında onun da belirsizliğine ait yüzde toplam ortalama sapmasının kabul edilebilir sınırlarda olması gerekmektedir. Sadece $B(T)$ karşılaştırılmasıyla elde edilen bağıntılara, türev karşılaştırması yapılmazsa bu önerilen bağıntıların fiziksel geçerliliğinden şüphe edilebilir.

Bilindiği gibi $B(T)$ ikinci virial terimi, akışkana ait moleküller arası potansiyel fonksiyonu ve iki molekül arasındaki etkileşim hakkında duyarlı, fiziksel anlamlı bilgiler vermektedir. Ayrıca $B(T)$ gaza ait iç enerji, entalpi, sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit basınçtaki ısı kapasitesi, Joule-Thomson katsayısı, ses hızı gibi termodinamik özelliklerin hesaplanmasında duyarlı bilgiler vermektedir. Teorik çalışmalar ve denel sonuçlardan elde edilen veriler ikinci virial teriminin sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu hakkında kesin deliller ve bilgiler vermektedir [7, 8, 19].

Buna göre A_r 'a ait ikinci virial terimi $B(T)$ sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, fiziksel anlamlı ve analitik formda aşağıdaki bağıntılar şeklinde önerilir [7, 19].

$$B_1(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} \quad (3.1)$$

$$B_2(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \quad (3.2)$$

$$B_3(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + \frac{g}{(T/K)^h} \quad (3.3)$$

$$B_4(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + \frac{g}{(T/K)^h} + \frac{A}{(T/K)^t} \quad (3.4)$$

İkinci virial bağıntısının boyutu cm^3/mol olarak ele alınırsa son bağıntılarda kullanılan sabitlerin de boyutları ikinci virialin boyutunu cm^3/mol yapacak şekilde seçilmelidir. Burada sıcaklık (T/K) alınarak indirgenmiştir.

Bu çalışmada, yukarıdaki bağıntılarla verilen ikinci virial terimlerine ait ilgili katsayılar Ar için denel veriler [4-6] kullanılarak En Küçük Kareler Katsayı Bulma Programı ile elde edilmiştir.

Bu bağıntılardan en geçerli olanı, önerilen bağıntıların ve türevlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Bahsedilen belirsizlikler Yüzde Toplam Ortalama Sapma ve Ortalama Standart Sapma bağıntıları kullanılarak hesap edilmiştir.

Yüzde Toplam Ortalama Sapma (YTOS) ξ sembolü ile, ve Ortalama Standart Sapma (OSS) ϑ sembolü ile temsil edilmek üzere;

$$\xi = \frac{\sum_{n=1}^n |B_{DEN_n} - B_{HES_n}| / B_{DEN_n}}{n} \cdot 100 \quad (3.5)$$

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (B_{DEN_n} - B_{HES_n})^2}{n}} \quad (3.6)$$

şeklinde hesap edilmiştir.

Fit sonuçlarına bağlı olarak önerilen (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) bağıntılarının, Ar'a ait B(T) için tayin edilen parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Ar'a ait teklif edilen (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) B(T) ikinci virial terimlerinin ilgili parametreleri.

	B_1 (cm ³ /mol)	B_2 (cm ³ /mol)	B_3 (cm ³ /mol)	B_4 (cm ³ /mol)
a	$0,0455.10^2$	$-6582783,71.10^1$	$-40,86002.10^4$	$-40,86002.10^4$
b	-0,25011	3,093	1,81691	1,81691
c	$-2976,05071.10^2$	$-3049,5473.10^1$	$-0,53279.10^4$	$-0,53279.10^4$
d	1,59156	1,10184	0,60372	0,60372
e		$11,1956.10^1$	$0,16546.10^4$	$0,16546.10^4$
f		0,16776	0,4009	0,4009
g			$-68749,2089.10^4$	$-68749,2089.10^4$
h			3,79415	3,79415
A				0,00225
t				-0,0001

Önerilen (3.1), (3.2), (3.3) ve (3.4) ikinci virial bağıntılarının her birinin sıcaklığa göre türevi kullanılarak, ikinci virial değerleri ve her bir türev değeri ele alınan sıcaklıklar için hesaplanmış ve hesaplanan bu değerler, denel ikinci virial ve türevlerinin değerlerine göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. Yüzde toplam ortalama sapmalar ve ortalama standart sapmalar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Önerilen ikinci virial ve türev bağıntılarıyla hesaplanan değerlerin denel ikinci virial ve türev değerlerine göre belirsizlikleri.

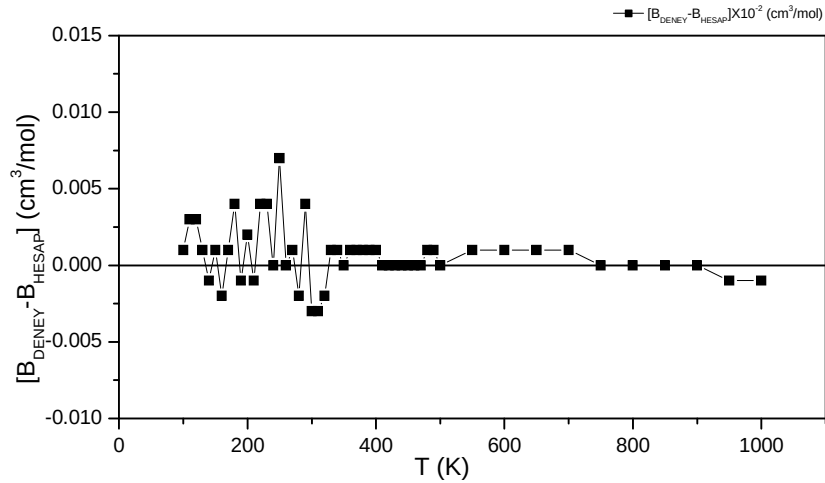
	OSS	YTOS
$B_1(T)$ (cm ³ /mol)	0,35	7,84
$B_2(T)$ (cm ³ /mol)	0,0046	0,1481
$B_3(T)$ (cm ³ /mol)	0,0804	0,1306
$B_4(T)$ (cm ³ /mol)	0,0019	0,0103
$\frac{dB_1(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,0314	4,379
$\frac{dB_2(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,00070	0,08675
$\frac{dB_3(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,000168	0,0589
$\frac{dB_4(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,000168	0,0589

Çizelge 3.2’den görüldüğü gibi Ar’a ait önerilen bağıntılardan en geçerli olanı, belirsizliği yani toplam ortalama, ortalama standart sapması en az olan ve ΔB ($B_{\text{DENEY}} - B_{\text{HESAP}}$)’nin T’ye göre değişim sapması dağılımı istatistiksel olarak en iyi olan (3.4) denklemiyle verilen $B_4(T)$ ikinci virial bağıntısıdır. Buna göre önerilen ve belirsizliği en az olan (3.4) ikinci virial bağıntısı, nümerik değerleri ile birlikte

$$B(T) = \frac{-40,86002 \cdot 10^4}{(T/K)^{1,81691}} - \frac{0,53279 \cdot 10^4}{(T/K)^{0,60372}} + \frac{0,16546 \cdot 10^4}{(T/K)^{0,4009}} - \frac{68749,2089 \cdot 10^4}{(T/K)^{3,79415}} + \frac{0,00225}{(T/K)^{-0,0001}} \quad (3.7)$$

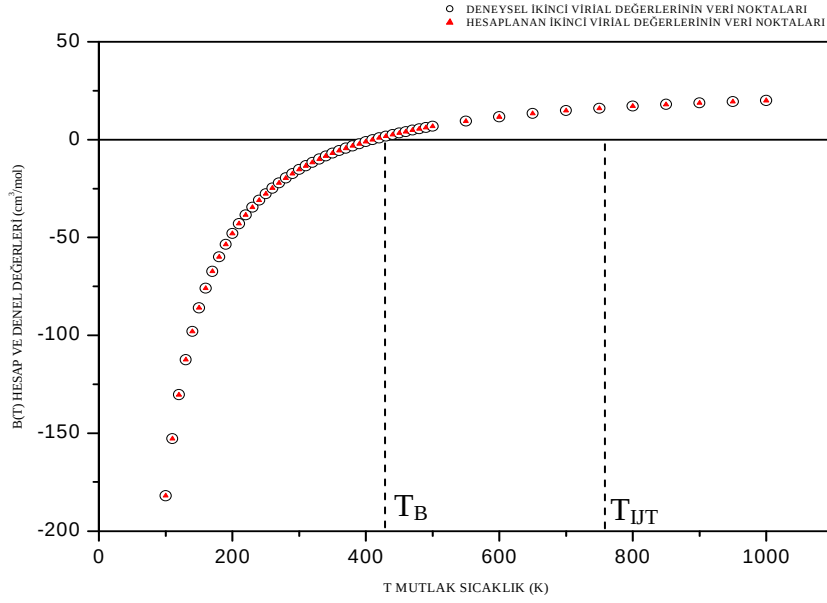
biçiminde verilebilmektedir.

İkinci virial bağıntısı (3.7)’nin denel değerlerden sapmasının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial bağıntısının mutlak sıcaklığa göre denel değerlerden sapma grafiği.

Eşitlik (3.7) ile hesaplanan ikinci virial değerlerinin sıcaklığa göre değişimi ve denel değerlerle karşılaştırılması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Çalışmada önerilen (3.7) ikinci virial teriminin sıcaklığa göre değişimi ve denel değerlerle karşılaştırılması ($T_B=410,50$ K, $T_{JT}=764,98$ K, $T_J=2605,23$ K).

Burada T_B Boyle sıcaklığı, T_{JT} sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığı, T_J Joule inversiyon sıcaklığıdır. Ar'a ait iç enerji, entalpi, sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit basınçtaki ısı kapasitesi, Joule-Thomson katsayısı, ses hızı gibi termodinamik özelliklerin hesabında ikinci virial bağıntısının sıcaklığa göre türevi de gerekli olduğu için önerilen (3.7) ikinci virial bağıntısının sıcaklığa göre türevi alınmış ve değişik sıcaklıklara ait hesaplanan değerlerinin denel değerlere göre sapmaları ve toplam ortalama sapmalarla ilgili sonuçlar Çizelge A.1'de gösterilmiştir.

İkinci virial terimi $B(T)$ 'nin

$$B(T)=0 \quad (3.8)$$

sıfır olduğu sıcaklığa Boyle sıcaklığı (T_B) adı verilmektedir. Bu sıcaklığın altında $B(T)$ değerleri negatif, üstünde ise pozitiftir. $B(T)$ 'nin eksi ve artı olarak aldığı değerler iki molekülün moleküller arası potansiyel kuyusundaki itici ve çekici kuvvetler hakkında bilgi vermektedir [7]. T_B sıcaklığında gaz ideal gaz (sıfır yoğunluk veya sıfır basınç sıfatlı) gibi davranmaktadır.

Önerilen ve belirsizliği en az olacak şekilde belirlenen (3.7) ikinci virial bağıntısının T_B , Boyle sıcaklığı (3.8) bağıntısı yardımıyla,

$$\frac{-40,86002.10^4}{(T/K)^{1,81691}} - \frac{0,53279.10^4}{(T/K)^{0,60372}} + \frac{0,16546.10^4}{(T/K)^{0,4009}} - \frac{68749,2089.10^4}{(T/K)^{3,79415}} + \frac{0,00225}{(T/K)^{-0,0001}} = 0 \quad (3.9)$$

şeklinde yazılmış ve buradan T_B , 410,50 K olarak Newton-Raphson nümerik kök bulma metodu kullanılarak bulunmuştur.

Bilindiği gibi düşük sıcaklıklarda Joule-Thomson katsayısı pozitifdir ve bu sıcaklıklarda isoentaltik genişleme sonucu gaz soğumaktadır. Yüksek sıcaklıklarda Joule-Thomson katsayısı negatiftir ve gaz dar boğazdan veya dirseklerden geçerken ısınmaktadır. Herhangi bir basınç değerindeki bir sıcaklıkta Joule-Thomson katsayısı işaret değiştirmektedir. Değişimin olduğu bu yere inversiyon noktası ve bu noktadaki sıcaklığa da T_{IT} inversiyon sıcaklığı denilmektedir. Sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığı (B/T 'nin maksimum olduğu sıcaklık) T_{IT} olarak adlandırılmaktadır. Buna göre önerilen ve en geçerli olan (3.7) ikinci virial bağıntısından hareketle A_r 'un sıfır basınç Joule-Thomson inversiyon sıcaklığını (T_{IT}) hesap edebilmek için aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır.

$$\frac{d(B/T)}{dT} = 0 \quad (3.10)$$

$$\mu = \frac{dB}{dT} \cdot T - B \quad (3.11)$$

Eşitlik (3.11)'de $\mu=0$ olduğu duruma karşılık gelen sıcaklık, sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığıdır. Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial bağıntısı (3.11) bağıntısında yerine yazılmış ve yine Newton-Raphson kök bulma metoduyla T_{IT} , 764,98 K olarak elde edilmiştir.

Ayrıca düşük basınç Joule inversiyon sıcaklığı olarak adlandırılan ve $B(T)$ 'nin bir maksimum olduğu T_J sıcaklığı dB/dT ifadesinin sıfıra eşitlenmesi sonucunda hesap edilebilmektedir.

$$\frac{d}{dT} \left[\frac{-40,86002 \cdot 10^4}{(T/K)^{1,81691}} - \frac{0,53279 \cdot 10^4}{(T/K)^{0,60372}} + \frac{0,16546 \cdot 10^4}{(T/K)^{0,4009}} - \frac{68749,2089 \cdot 10^4}{(T/K)^{3,79415}} + \frac{0,00225}{(T/K)^{-0,0001}} \right] = 0 \quad (3.12)$$

Buradan (3.12) denklemini sağlayan T_J inversiyon sıcaklığı, 2605,23 K olarak Newton-Raphson nümerik kök bulma metodu kullanılarak bulunmuştur.

Önerilen ikinci virial bağıntısından hesaplanan T_B , T_{JT} ve T_J değerleri moleküller arası potansiyel fonksiyonlarından teorik olarak ve denel yolla dolaylı olarak elde edilen [7, 8, 19] değerlerle uyum içindedir. T_B ve T_{JT} 'nin değerleri önerilen $B(T)$ 'nin sıcaklığa göre değişimini veren grafikte gösterilmiştir (Şekil 3.2). T_J sıcaklığı ise 2605,23 K gibi oldukça yüksek bir sıcaklıktır.

Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial ifadesi olan (3.7) bağıntısıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapması Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Daha önce önerilen bazı çift potansiyel fonksiyonları [8] yardımıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapmalarıyla bu çalışmada kullanılan ikinci virial bağıntısıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden [6] Ortalama Standart Sapmaları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Önerilen ve belirsizliği en az olan (3.7) ikinci virial bağıntısıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapmasıyla literatürdeki bazı potansiyel enerji fonksiyonları yardımıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapmalarının karşılaştırılması.

Kullanılan bağıntı	$\vartheta/(\text{cm}^3/\text{mol})$
Parson-Siska-Lee (MSVIII) potansiyel enerji fonksiyonu [8]	4,57
Maitland-Smith (BBMS) potansiyel enerji fonksiyonu [8]	2,09
Maitland-Smith $n(\bar{r})-6(\text{MS})$ potansiyel enerji fonksiyonu [8]	1,72
Barker-Pompe potansiyel enerji fonksiyonu [8]	1,29
Bu çalışmada önerilen önerdiğimiz (3.7) bağıntısı	0,0019

Bu çalışmada önerilen mutlak sıcaklığın bir fonksiyonu olan ikinci virial bağıntısı ve mutlak sıcaklığa göre türevi kullanılarak hesaplanan değerlerin belirsizliklerinin en az olması amaçlanmıştır. Çizelge 3.3'de Ar için iç enerji, entalpi, sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit basınçtaki ısı kapasitesi, Joule-Thomson katsayısı, ses hızı gibi

termofiziksel özelliklerin hesabında güvenle kullanılabilir duyarlılıkta olması beklenen (3.7) ikinci virial bağıntısının deneysel değerlerden ortalama standart sapmasının literatürdeki bazı hesaplanmış ortalama standart sapmalarla karşılaştırılmasını görülmektedir. Önerilen ikinci virial bağıntısının ortalama standart sapmasının diğerlerine göre bin kat daha az olması yapılan çalışmanın amacına ulaştığına dair bir kanıttır.

3.1.3 Ar'un Transport Özelliklerinden Ses Hızının Termodinamik Bağntılar Yardımıyla Hesaplanması ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması

Bu bölümde çalışmanın 3.1.2 kesiminde Ar için önerilen duyarlılığı en fazla ve belirsizliği en az olan ikinci virial terimi kullanılarak Ar için ses hızı hesabı yapılmıştır. Ses hızı hesabı için Bölüm 2'de verilen (2.14) bağıntısı kullanılabilir. Bu bağıntı ile ses hızı hesabının yapılabilmesi için önerilen ikinci virial bağıntısının mutlak sıcaklığa göre birinci ve ikinci türevlerinin de hesap edilmesi gerekmektedir. Ses hızı hesabında kullanılan bağıntı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$c_0^2 = \frac{\gamma^0 RT}{M} \left\{ 1 + \frac{P}{RT} \left[2B + 2(\gamma^0 - 1)T \frac{dB}{dT} + \frac{(\gamma^0 - 1)^2}{\gamma^0} T^2 \frac{d^2 B}{dT^2} \right] + \dots \right\} \quad (3.13)$$

Burada $R=8,314 \text{ J/(mol.K)}$ olup evrensel gaz sabitidir. M ise ilgilenilen gazın molekül ağırlığıdır ve Ar için $M_{Ar}= 39,948 \text{ g/mol}$ 'dür. İdeal gaz için,

$$C_p = C_v + R \quad (3.14)$$

yazılabilir.

γ^0 ısı kapasitesi oranı, termodinamik işlemlerde sıkça kullanılır birkaç tanımı aşağıda verilmiştir.

$$\gamma^0 = \frac{C_p}{C_v} \quad (3.15)$$

$$\gamma^0 = \frac{C_p}{C_p - R} \quad (3.16)$$

$$\gamma^0 = \frac{C_p / R}{(C_p - R) / R} \quad (3.17)$$

Sıcaklık ve basıncın yeterince düşük olduğunda tek atomlu gazlarda, He ve Ar gibi, bu gazların ısı kapasiteleri oranları $\gamma^0 \approx 1,667$ olarak alınabilir. Ayrıca eğer ilgilenilen gazın sıcaklığa bağlı olarak $C_p^0(T)/R$ değeri bilinirse (3.17) bağıntısı kullanılarak γ^0 ısı kapasitesi oranı hesap edilebilir. Bu çalışmada Ar için sıcaklığa bağlı denel $C_p^0(T)/R$ değerleri kullanılarak γ^0 ısı kapasitesi oranı hesap edilmiştir ve 1,667 olarak bulunmuştur [4-6].

γ^0 ısı kapasitesi oranı boyutsuz olup elde edilen sayısal değer kullanılarak Ar için ses hızı hesabı yapılmıştır.

Ar için önerilen ve belirsizliği en az, duyarlılığı en çok (3.7) ikinci virial bağıntısı B, birinci türevi (dB/dT) B₁ ve ikinci türevi (d²B/dT²) B₂, olmak üzere ilgili sıcaklık ve basınç değerleri için hesaplanan değerler Çizelge A.2’de verilmiştir. Burada c_H hesaplanan ses hızı ve c_D deneysel olarak ölçülen ses hızıdır. Çizelge A.2’de gösterilen belirli sıcaklık ve basınçlar için hesaplanmış ses hızı değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapması 0,31 m/s ve toplam yüzde ortalama sapması da 0,07’dir. Bu belirsizliklerin çok az olması nedeniyle, Ar için ses hızı hesabında kullanılan termodinamik bağıntıyla hesap edilen değerlerin bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve bu değerleri ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3.1.4 Ar’un Transport Özelliklerinden Viskozitesinin Hesaplanması İçin Önerilen Bağıntılar ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması

Bir gaza ait viskozite bağıntısı

$$\eta = \eta_0(T) + \eta_1(T)\rho + \eta_2(T)\rho^2 \quad (3.18)$$

ifadesiyle verilmektedir. Bu bağıntı (3.19) de olduğu gibi virial formunda yazılabilir.

$$\eta = \eta_0(T) \left[1 + \frac{\eta_1(T)}{\eta_0(T)} \rho + \frac{\eta_2(T)}{\eta_0(T)} \rho^2 \right] \quad (3.19)$$

Ar için belirli basınç ve sıcaklık aralığında viskozite hesabında kullanılan bu bağıntı daha sade bir şekilde aşağıda verildiği gibi ifade edebilir [1].

$$\eta = \eta_0 \left[1 + B_\eta \frac{P}{RT} + C_\eta \frac{P^2}{R^2 T^2} \right] \quad (3.20)$$

Burada $\eta_0=f(T)$ sıcaklığın bir fonksiyonu olan sıfır basınç (ideal gaz) viskozite terimi, $B_\eta=y(T)$ sıcaklığın bir fonksiyonu olan viskozite ikinci virial terimi ve $C_\eta= z(T)$ de yine sıcaklığın bir fonksiyonu olan viskozite üçüncü virial terimleridir [1].

Ar'a ait belirli sıcaklık ve basınç değerleri için denel olarak elde edilen viskozite ölçümleri kullanılarak En Küçük Kareler Katsayı Bulma Programı yardımıyla duyarlılığı en fazla olan $\eta_0=f(T)$, $B_\eta= y(T)$ ve $C_\eta= z (T)$ analitik fonksiyonlarının katsayıları belirlenebilmektedir [1].

Çizelge 3.4 Sıfır yoğunluk viskozite değerlerinin sıcaklığa göre aldığı bazı değerler.

T (K)	293,15	298,15	333,15	348,15	373,15
η_0 (μPa.s)	22,31	22,61	24,78	25,67	27,13

Buna göre (3.20) bağıntısına ait duyarlılığı en fazla olan $\eta_0=f(T)$ bağıntısını elde edebilmek için sıcaklığın fonksiyonu olan analitik tipli çeşitli bağıntılar önerilmiştir. Bu bağıntıların katsayıları Çizelge 3.4'deki denel değerler kullanılarak [1], En Küçük Kareler Katsayı Bulma Programıyla belirlenmiştir. Analitik tipli bu bağıntıların formları aşağıdaki gibidir.

$$\eta_{0I} = \frac{a_1}{(T / K)^{n_1}} \quad (3.21)$$

$$\eta_{0II} = \frac{a_1}{(T / K)^{n_1}} + \frac{a_2}{(T / K)^{n_2}} \quad (3.22)$$

Ar için viskozite hesabında kullanılacak, duyarlılığı en çok ve belirsizliği en az $\eta_0=f(T)$ bağıntısını elde edebilmek için önerilen (3.21) ve (3.22) bağıntılarının katsayıları

Çizelge 3.5’de verilmiştir. Bu bağıntıların denel değerlere göre olan belirsizlikleri, % sapma olarak Çizelge 3.7’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan önerilen sıfır yoğunluk viskozite bağıntılarının belirsizlikleri incelendiğinde geçerli olanın (3.21) eşitliği olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.5 Önerilen (3.21) ve (3.22) sıfır yoğunluk viskozite bağıntılarının ilgili katsayıları.

	a_1 ($\mu\text{Pa.s}$)	n_1	a_2 ($\mu\text{Pa.s}$)	n_2
η_{0I}	$2207,04165.10^{-4}$	-0,8126		
η_{0II}	0,18772813	-0,8414	$-7325,97267.10^{-22}$	-6,82071

Çizelge 3.6 Önerilen (3.21) ve (3.22) bağıntılarıyla hesap edilen sıfır yoğunluk viskozite değerlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri.

	η_{0I}	η_{0II}
YTOS	7,53	7,55
OSS /($\mu\text{Pa.s}$)	2,18	2,18

Bu çalışmada (3.20) bağıntısındaki sıcaklığın bir fonksiyonu olan $B_\eta(T)$ viskozite ikinci virial bağıntısının duyarlılığı en fazla ve belirsizliği en az olacak şekilde belirlenmesi amacıyla aşağıdaki bağıntılar önerilmiştir.

$$B_{\eta I} = \frac{b_1}{(T / K)^{k_1}} \quad (3.23)$$

$$B_{\eta II} = \frac{b_1}{(T / K)^{k_1}} + \frac{b_2}{(T / K)^{k_2}} \quad (3.24)$$

$$B_{\eta III} = \frac{b_1}{(T / K)^{k_1}} + \frac{b_2}{(T / K)^{k_2}} + \frac{b_3}{(T / K)^{k_3}} \quad (3.25)$$

$$B_{\eta IV} = \frac{b_1}{(T / K)^{k_1}} + \frac{b_2}{(T / K)^{k_2}} + \frac{b_3 + b_4}{(1 + ((T / K) / b_5)^{b_6} - b_7)} + b_8 - \left(\frac{b_9}{(1 + b_{10}(T / K))^{(1/b_{11})}} \right) \quad (3.26)$$

Bu bağıntıların katsayıları Çizelge 3.7’de verilen denel değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Önerilen (3.23), (3.24), (3.25) ve (3.26) bağıntılarının ilgili katsayıları

Çizelge 3.8’de verilmiştir. Çizelge 3.9’dan görüleceği gibi önerilen viskozite ikinci virial bağıntılarının arasında en geçerli olan (3.26) bağıntısıdır.

Çizelge 3.7 Viskozite ikinci virial katsayısının sıcaklığa göre aldığı bazı değerler.

T (K)	293,15	298,15	333,15	348,15	373,15
$B_{\eta}(T)$ (cm ³ .kmol ⁻¹)	22,9	24,2	24,0	23,9	23,0

Çizelge 3.8 Eşitlik (3.23), (3.24), (3.25) ve (3.26) ile verilen viskozite ikinci virial terimlerinin ilgili katsayıları.

	$B_{\eta I}$	$B_{\eta II}$	$B_{\eta III}$	$B_{\eta IV}$
b_1	28,35129	$-5426,63672 \cdot 10^{-6}$	$9450,22262 \cdot 10^{-3}$	$4647,51765 \cdot 10^8$
k_1	0,03167	-2,26471	0,03166	3,87389
b_2		$6140,67711 \cdot 10^{-6}$	$9450,22263 \cdot 10^{-3}$	$-6912,55491 \cdot 10^{15}$
k_2		-2,2449	0,03166	6,75781
b_3			$9450,22263 \cdot 10^{-3}$	-7018,17973
k_3			0,03166	-
b_4				0,00437
b_5				240,14158
b_6				26,91397
b_7				0,00437
b_8				0,0545
b_9				$-2,3917 \cdot 10^{19}$
b_{10}				0,02477
b_{11}				0,0523705

Çizelge 3.9 Önerilen (3.23), (3.24), (3.25) ve (3.26) bağıntılarıyla hesap edilen viskozite ikinci virial değerlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri.

	$B_{\eta I}$	$B_{\eta II}$	$B_{\eta III}$	$B_{\eta IV}$
YTOS	2,19	1,12	2,19	0,23
OSS /(cm ³ .kmol ⁻¹)	0,54	0,36	0,54	0,08

Ar için viskozite hesabında kullanılacak duyarlılığı en fazla ve belirsizliği en az olan $C_{\eta}=f(T)$ bağıntısını elde edebilmek için de aşağıdaki gibi sıcaklığın analitik fonksiyonu olan bağıntılar

$$C_{\eta I} = \frac{a_0}{(T / K)^{b_1}} \quad (3.27)$$

$$C_{\eta II} = a_0 + b_1 e^{-\frac{(T / K)-b_2}{b_3}} + c_1 e^{-\frac{(T / K)-c_2}{c_3}} + d_1 e^{-\frac{(T / K)-d_2}{d_3}} \quad (3.28)$$

olarak önerilmiş ve bu bağıntıların katsayıları Çizelge 3.10'daki denel değerler kullanılarak fit metoduyla tespit edilmiştir. Önerilen (3.27) ve (3.28) bağıntılarının ilgili katsayıları Çizelge 3.11'de verilmiştir. Söz konusu viskozite üçüncü virial bağıntılarının arasında duyarlılığı en yüksek olanı belirleyebilmek için belirsizlikler hesaplanmış ve Çizelge 3.12' de verilmiştir. Önerilen viskozite üçüncü virial bağıntılarının belirsizlikleri incelendiğinde (3.28) bağıntısının daha fiziksel bir bağıntı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.10 Viskozite üçüncü virial katsayısının sıcaklığa göre aldığı bazı değerler.

T (K)	293,15	298,15	333,15	348,15	373,15
$C_{\eta}(T) (\text{cm}^3 \cdot \text{kmol}^{-1})^2$	2,0	1,1	0,015	0,012	0,010

Çizelge 3.11 Eşitlik (3.27) ve (3.28) viskozite üçüncü virial terimlerinin ilgili katsayıları.

	$C_{\eta I}$	$C_{\eta II}$
a_0	$4,11943 \cdot 10^{87}$	0,00612
b_1	35,39139	4031585,581
b_2		163,27137
b_3		8,31597
c_1		4031411,74511
c_2		163,27137
c_3		8,31597
d_1		4031441.1494
d_2		163,27137
d_3		8,31597

Çizelge 3.12 Önerilen (3.27) ve (3.28) bağıntılarıyla hesap edilen viskozite üçüncü virial değerlerinin deneysel değerlere göre belisizlikleri.

	$C_{\eta I}$	$C_{\eta II}$
YTOS	40,49	22,68
OSS $/(\text{cm}^3 \cdot \text{kmol}^{-1})^2$	0,00620	0,00398

Duyarlılığı en fazla olacak şekilde belirlenen (3.21) bağıntısıyla sıfır yoğunluk viskozitesi $\eta_0(T)$, (3.26) bağıntısıyla viskozite ikinci virial katsayısı $B_{\eta}(T)$ ve (3.28) bağıntısıyla viskozite üçüncü virial katsayısı $C_{\eta}(T)$ belirlenerek; (3.20) denkleminde yerine yazılmış ve

$$\begin{aligned}
\eta = & \left(\frac{2207,04165 \cdot 10^{-4}}{(T/K)^{-0,8126}} \right) \left[1 + \left(\frac{4647,51765 \cdot 10^8}{(T/K)^{3,87389}} + \frac{-6912,55491 \cdot 10^{15}}{(T/K)^{6,75781}} \right. \right. \\
& + \frac{-7018,179 + 0,00437}{(1 + ((T/K)/240,14158)^{26,91397} - 0,00437)} + 0,0545 - \left. \left(\frac{-2,3917 \cdot 10^{19}}{(1 + 0,02477(T/K))^{(1/0,0523705)}} \right) \right] \frac{P}{RT} \\
& + \left((0,00612 + (4031585,581)e^{-\left(\frac{(T/K)-(163,27137)}{8,315973}\right)}) + (4031411,74511)e^{-\left(\frac{(T/K)-(163,27137)}{8,31597}\right)} \right. \\
& \left. + (4031441,1494)e^{-\left(\frac{(T/K)-(163,27137)}{8,315973}\right)} \right) \frac{P^2}{R^2 T^2} \quad (3.29)
\end{aligned}$$

eşitliği elde edilmiştir. Ar için bu ifade kullanılarak viskozite katsayıları Çizelge A.3’de verilen sıcaklık ve basınç değerleri için hesaplanmıştır [1].

Çizelge A.3’de gösterilen belirli sıcaklık ve basınçlar için hesaplanmış viskozite değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapması (OSS) 0,03 $\mu\text{Pa.s}$ ve yüzde toplam ortalama sapması (YTOS) 0,07’dir. Bu belirsizliklerin çok az olması yapılan çalışmanın amacına ulaştığına dair bir kanıttır. Bu nedenle Ar için belirli sıcaklık ve basınç aralığında viskozite katsayısı hesabında kullanılan termodinamik bağıntının bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve viskozite katsayılarını ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği söylenebilir.

3.1.5 Ar’un Transport Özelliklerinden Termal İletkenliğinin Hesaplanması ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması

Ar’un termal iletkenliği, sıcaklık ve yoğunluğa bağlı olarak aşağıdaki gibi bir bağıntı yardımıyla hesap edilebilir [9].

$$\lambda = \lambda_0(T) + \lambda_1(T)\rho + \lambda_2(T)\rho^2 \quad (3.30)$$

Termal iletkenlik hesabında kullanılacak (3.30) bağıntısını virial tipinde bir denklem haline getirmek için aşağıdaki işlem yapılabilir.

$$\lambda = \lambda_0(T) \left[1 + \frac{\lambda_1(T)}{\lambda_0(T)} \rho + \frac{\lambda_2(T)}{\lambda_0(T)} \rho^2 \right] \quad (3.31)$$

Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılacak virial tipindeki bağıntı daha sade bir şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\lambda = \lambda_0(T)[1 + B_\lambda(T)\rho + C_\lambda(T)\rho^2] \quad (3.32)$$

Burada $\lambda_0(T)$ sıcaklığın bir fonksiyonu olan sıfır yoğunluk termal iletkenlik terimidir. $B_\lambda(T)$ sıcaklığın bir fonksiyonu olan termal iletkenlik ikinci virial katsayısıdır. $C_\lambda(T)$ ise yine sıcaklığın bir fonksiyonu olan termal iletkenlik üçüncü virial katsayısıdır.

Bu çalışma Sun, Venart ve Prasad'ın çalışmalarında [9] Ar için verilen deneysel termal iletkenlik değerleri ile son derece uyumlu bir bağıntı elde edebilmek amacıyla yapılmıştır. Bu nedenle Ar için termal iletkenlik hesabında (3.32) bağıntısı kullanılmıştır. Bu bağıntı yardımıyla termal iletkenlik katsayılarını sıcaklığın ve yoğunluğun bir fonksiyonu olarak hesap edebilmek için gerekli fiziksel hesap yöntemleri kullanılmış ve ilgili bağıntıda yerlerine yazılması gereken sıfır yoğunluk termal iletkenlik terimi $\lambda_0(T)$, termal iletkenlik ikinci virial katsayısı $B_\lambda(T)$, termal iletkenlik üçüncü virial katsayısı $C_\lambda(T)$ duyarlı olarak belirlenmiştir. Önerilen bağıntıların Sun, Venart ve Prasad'ın [9] çalışmasındaki katsayılara göre belirsizliği en az olanları (3.32) bağıntısında yerine yazılmış ve Ar için belirli yoğunluk ve sıcaklık aralığında termal iletkenlik katsayıları hesap edilmiştir. Önerilen sıcaklığın analitik fonksiyonu olan sıfır yoğunluk termal iletkenlik bağıntıları aşağıdaki gibidir. Bu bağıntılardaki a_1 ve a_2 termal iletkenlik katsayısının boyutunda ve n_1 , n_2 katsayıları ise boyutsuzdur.

$$\lambda_{0I}(T) = \frac{a_1}{(T/K)^{n_1}} \quad (3.33)$$

$$\lambda_{0II}(T) = \frac{a_1}{(T/K)^{n_1}} + \frac{a_2}{(T/K)^{n_2}} \quad (3.34)$$

Bu bağıntıların ilgili katsayılara fit edilmesi sonucu belirlenen katsayılar Çizelge 3.13'de verilmiştir.

Çizelge 3.13 Önerilen (3.33) ve (3.34) bağıntılarının katsayıları.

	a_1	n_1	a_2	n_2
λ_{0I}	$0,30838.10^{-3}$	-0,71489		
λ_{0II}	$-3888,716.10^{-8}$	-0,989	$2698,046.10^{-7}$	-0,821

Önerilen bağıntıların arasında bir seçim yapabilmek için YTOS ve OSS belirsizlikleri hesaplanmış ve Çizelge 3.14’de verilmiştir. Önerilen (3.33) ve (3.34) bağıntılarının belirsizlikleri incelendiğinde (3.33) bağıntısının diğer bağıntıya göre daha duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3.14 Önerilen (3.33) ve (3.34) bağıntılarının belirsizlikleri.

	λ_{0I}	λ_{0II}
YTOS	0,04	0,06
OSS ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	$9,54.10^{-6}$	$1,37.10^{-5}$

Termal iletkenlik ikinci virial katsayısı için önerilen sıcaklığın analitik fonksiyonu bağıntılar da aşağıdaki formdadır.

$$B_{\lambda}(T) = \frac{a_1}{(T/K)^{n_1}} \quad (3.35)$$

$$B_{\lambda}(T) = \frac{a_1}{(T/K)^{n_1}} + \frac{a_2}{(T/K)^{n_2}} \quad (3.36)$$

Burada a_1 ve a_2 ; B_{λ} ’nın boyutunda, n_1 ve n_2 ise boyutsuzdur. Önerilen bu bağıntıların B_{λ} ’nın ilgili değerlerine fit edilmesi sonucu belirlenen katsayılar Çizelge 3.15’de verilmiştir.

Çizelge 3.15 Önerilen (3.35) ve (3.36) bağıntılarının katsayıları.

	a_1	n_1	a_2	n_2
$B_{\lambda I}$	0,06074	0,699		
$B_{\lambda II}$	$0,90164.10^{-1}$	0,78353	$0,13452.10^{-3}$	0,06121

Önerilen bağıntıların YTOS ve OSS belirsizlikleri Çizelge 3.16’da verilmiş ve sonuçlar incelendiğinde $B_{\lambda II}$ bağıntısının daha duyarlı olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 3.16 Önerilen (3.35) ve (3.36) bağıntılarının belirsizlikleri.

	$B_{\lambda I}$	$B_{\lambda II}$
YTOS	0,27	0,03
OSS $/((W.m^2)/(kg.K))$	$2,89.10^{-6}$	$3,11.10^{-7}$

Termal iletkenlik üçüncü virial katsayılarının hesabı için önerilen sıcaklığın analitik fonksiyonu bağıntılar da aşağıdaki formda verilebilmektedir.

$$C_{\lambda I}(T) = \frac{a_1}{(T / K)^{n_1}} \quad (3.37)$$

$$C_{\lambda II}(T) = \frac{a_1}{(T / K)^{n_1}} + \frac{a_2}{(T / K)^{n_2}} \quad (3.38)$$

Burada a_1 ve a_2 ; C_{λ} 'nın boyutunda, n_1 ve n_2 ise boyutsuzdur. Bu bağıntıların ilgili katsayılarla fit edilmesi sonucu belirlenen katsayılar Çizelge 3.17'de verilmiştir.

Çizelge 3.17 Önerilen (3.37) ve (3.38) bağıntılarının katsayıları.

	a_1	n_1	a_2	n_2
$C_{\lambda I}$	$0,11374.10^{-3}$	0,746		
$C_{\lambda II}$	$1,9729.10^{-13}$	-2	$0,12483.10^{-3}$	0,76354

Termal iletkenlik üçüncü virial katsayılarının hesabı için önerilen bağıntıların YTOS ve OSS belirsizlikleri Çizelge 3.18'de verilmiş ve (3.38) bağıntısının belirsizliğinin en az olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.18 Önerilen (3.37) ve (3.38) bağıntılarının belirsizlikleri.

	$C_{\lambda I}$	$C_{\lambda II}$
YTOS	0,83	0,02
OSS $/((W.m^5)/(kg^2.K))$	$1,24.10^{-8}$	$3,58.10^{-10}$

Belirsizlikleri en az olan (3.33), (3.36) ve (3.38) bağıntıları (3.32) genel termal iletkenlik bağıntısında yerine yazılırsa (3.39) eşitliği elde edilir.

$$\lambda = \left(\frac{0,30838 \cdot 10^{-3}}{(T/K)^{-0,71489}} \right) \left[1 + \left(\frac{0,90164 \cdot 10^{-1}}{(T/K)^{0,78353}} + \frac{0,13452 \cdot 10^{-3}}{(T/K)^{0,06121}} \right) \rho + \left(\frac{1,9729 \cdot 10^{-13}}{(T/K)^{-2}} + \frac{0,12483 \cdot 10^{-3}}{(T/K)^{0,76354}} \right) \rho^2 \right] \quad (3.39)$$

Bu bağıntı yardımıyla Ar için 296 K'den 425 K 'e, 61 MPa'a kadar olan basınçlar için yoğunluğun ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak termal iletkenlik katsayıları hesap edilebilmektedir. Buna göre Çizelge A.4 ile verilen sıcaklık ve yoğunluk değerleri için termal iletkenlik katsayıları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda önerilen bağıntının belirsizliğinin en az ve duyarlılığının en çok olması amaçlandığı için hesaplanan değerlerin deneysel değerlerden olan yüzde ortalama standart ve ortalama standart sapmaları hesap edilmiştir. Çalışmada önerilen (3.39) bağıntısıyla hesaplanan termal iletkenlik katsayılarının deneysel katsayılardan ortalama standart sapması $3,66 \cdot 10^{-4} \text{ W.m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ve yüzde toplam ortalama sapması 0,98'dir.

Söz konusu belirsizlikleri daha da azaltabilmek amacıyla (3.39) bağıntısına bir düzeltme teriminin eklemesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılan (3.39) bağıntısına bir düzeltme terimi olarak D terimi ilave edilirse, bağıntının belirsizliği azaltılabilmektedir. Ancak termal iletkenlik hesabında kullanılan (3.39) bağıntısının hem yoğunluk hem de sıcaklığın bir fonksiyonu olması nedeniyle (3.39) bağıntısına ilave edilen düzeltme teriminin de bu iki fiziksel niceliğin bir fonksiyonu olmasının önerilen bağıntının belirsizliğini daha da fazla azaltacağı düşünülmüştür ve bu nedenle önerilen (3.39) bağıntısı ile hesap edilen termal iletkenlik değerlerinin deneysel değerlerden sapmaları (3.40) bağıntısıyla hesap edilmiş

$$D = \lambda_D - \lambda_H \quad (3.40)$$

ve düzeltme terimi aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır.

$$D(T, \rho) = D(T) + D(\rho) \quad (3.41)$$

Önerilen düzeltme teriminin ilgili sıcaklık ve yoğunluk değerlerine göre fit edilmesi sonucu aşağıdaki ifade elde edilmiştir.

$$D(T,\rho)=\frac{4452,63681.10^{-7}}{(T / K)^{-0.41846}}+\frac{6956,86234.10^{-6}}{[\rho/(kg / m^3)]^{-0.06747}}+\frac{-1229,14016.10^{-5}}{[\rho/(kg / m^3)]^{-0.03842}} \quad (3.42)$$

Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılan (3.39) ifadesine (3.42) düzeltme terimi ilave edilmiş ve (3.43) bağıntısı elde edilmiştir.

$$\lambda' = \lambda_0(T)[1 + B_\lambda(T)\rho + C_\lambda(T)\rho^2] + D(T,\rho) \quad (3.43)$$

Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılan (3.43) bağıntısında sayısal değerler de yerine yazıldığına

$$\lambda' = \left(\frac{0,30838.10^{-3}}{(T / K)^{-0,71489}} \right) \left[1 + \left(\frac{0,90164.10^{-1}}{(T / K)^{0,78353}} + \frac{0,13452.10^{-3}}{(T / K)^{0,06121}} \right) \rho + \left(\frac{1,9729.10^{-13}}{(T / K)^{-2}} + \frac{0,12483.10^{-3}}{(T / K)^{0,76354}} \right) \rho^2 \right] + D(T, \rho) \quad (3.44)$$

şeklinde bir form elde edilmiştir. Burada λ' , düzeltme teriminin eklenmesi sonucu, Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılan duyarlılığı artırılmış ve belirsizliği azaltılmış bağıntıdır.

Eşilik (3.42) ile verilen $D(T,\rho)$ düzeltme teriminin Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılan (3.39) bağıntısına ilave edilmesiyle hesaplanan katsayıların denel katsayılara göre belirsizlikleri hesap edilmiş ve çalışmada önerilen (3.44) bağıntısıyla hesaplanan termal iletkenlik katsayılarının deneysel katsayılardan ortalama standart sapması $2,28.10^{-4} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ve yüzde toplam ortalama sapması 0,46 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi $D(T,\rho)$ düzeltme terimi Ar için termal iletkenlik hesabında kullanılmak üzere önerilen (3.39) bağıntısının belirsizliğini azaltmış ve duyarlılığını artırmıştır. Önerilen virial tipindeki bağıntının belirsizliğinin son derece az olması, Ar için belirli basınç ve sıcaklık aralığında güvenilirlikle kullanılabileceğine işaretir.

Sun, Venart ve Prasad'ın çalışmalarında Ar'un transport özelliklerinden termal iletkenliğinin hesaplanan katsayılarının deneysel katsayılardan [9] ortalama standart sapması $3,53.10^{-4} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ve yüzde toplam ortalama sapması 0,98'dir.

Çizelge 3.19 Sun, Venart ve Prasad'ın çalışmaları [9] ile bu çalışmada önerilen bağıntıların belirsizliklerinin karşılaştırılması.

	Eş. (3.39)	Eş. (3.44)	λ [9]
OSS ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	$3,66.10^{-4}$	$2,28.10^{-4}$	$3,53.10^{-4}$
YTOS	0,98	0,46	0,98

Çizelge 3.19'daki belirsizlikler incelenecek olursa çalışmada önerilen (3.44) bağıntısının duyarlılığının da yeterli olduğu görülmektedir. Bu nedenle Ar için belirli sıcaklık ve yoğunluk aralığında termal iletkenlik katsayısı hesabında kullanılan termodinamik bağıntının bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve termal iletkenlik katsayılarını ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği söylenebilir.

3.2 SF₆ İÇİN ÖNERİLEN TERMOFİZİKSEL BAĞINTILAR

3.2.1 SF₆'nın Bazı Transport ve Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılacak Genel Yöntem

Yapılan bu çalışmada önce SF₆ 'ya ait termofiziksel (η viskozite (momentum aktarımı), λ termal iletkenlik (ısı iletimi) ve B(T) ikinci virial terimi, SF₆ içindeki c ses hızı) özelliklerin hesaplanmasında her bir özellik için ayrı ayrı yeni bağıntılar önerilmiş ve buna göre gerekli hesaplamalar yapılmıştır. İstenilen fiziksel özelliklere ait elde edilen bağıntılar ve bunlardan hesapla bulunan değerlerin şimdiye kadar bu yöntemlerle elde edilenlerle kıyaslandığında belirsizliğin en az ve duyarlılığın en çok olması amaçlanmıştır. Ancak bu şekilde elde edilen bu fiziksel bağıntılar bilimsel ve teknolojik amaçlar için kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla SF₆ 'ya ait η , λ , B(T) ve c değerlerine ilişkin şimdiye kadar yapılan çalışmalardan elde edilen denel değerlerden [2, 3] ve en geçerli sayılan moleküller arası potansiyel fonksiyonlarına ait verilerden yararlanılmıştır. Yapılan çalışmada SF₆ için viskozite ve termal iletkenlik hesabında, geçerli moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonuna ait Ω çarpışma integrali, yine sıcaklığın fonksiyonu olan termofiziksel bağıntılar şeklinde önerilip, termofiziksel özellikler bu bağıntılar yardımıyla hesap edilmiştir. Ayrıca SF₆ için yapılacak ses hızı hesabında kullanılacak ideal gaz ısı kapasitesi için de yine sıcaklığın bir fonksiyonu olan termofiziksel bir bağıntı önerilmiştir.

3.2.2 SF₆ İçin Teklif Edilen İkinci Virial Bağıntısının Elde Edilmesi

Bilindiği gibi B(T) ikinci virial terimi, akışkana ait moleküller arası potansiyel fonksiyonu ve iki molekül arasındaki etkileşim hakkında duyarlı, fiziksel anlamlı bilgiler vermektedir. Ayrıca B(T) gaza ait iç enerji, entalpi, sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit basınçtaki ısı kapasitesi, Joule-Thomson katsayısı, ses hızı gibi termodinamik özelliklerin hesaplanmasında duyarlı bilgiler vermektedir.

SF₆ kimyasal ve termik olarak kararludur ve güçlü bir şekilde elektronegatifdir. Bu nedenle düşük basınçlarda yüksek gerilim malzemeleri için bir yalıtkan olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır. SF₆ 'nın termodinamik özelliklerinin bilinmesi bu gazın kütle akış denetçilerinin kalibrasyonu için vekil gaz olarak yarıiletken işlem endüstrisinde kullanılması için gereklidir. Bu nedenle doğruluğuna güvenilir, yani belirsizliği az olan termodinamik bağıntıların önerilmesi çalışmanın amacı olmuştur.

Ar için olduğu gibi SF₆ için de ikinci virial terimi B(T)'yi genel olarak sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, fiziksel anlamlı ve analitik formda

$$B_1(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} \quad (3.45)$$

$$B_2(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \quad (3.46)$$

$$B_3(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + g \cdot \exp(-h \cdot (T/K)) \quad (3.47)$$

$$B_4(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + \frac{g}{(T/K)^h} \quad (3.48)$$

bağıntıları şeklinde önerilmiştir. İkinci virial bağıntısının birimi cm³/mol olarak ele alınırsa önerilen bağıntılarda kullanılan sabitlerin de birimlerinin de ikinci virialin boyutunu cm³/mol yapacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu bağıntılarda a, c, e ve g (cm³/mol) ve T (K) birimindedir.

Bu çalışmada, (3.45), (3.46), (3.47) ve (3.48) bağıntıları ile verilen ikinci virial terimlerine ait ilgili katsayılar SF₆'ya ait denel veriler [2] kullanılarak En Küçük Kareler Katsayı Bulma Programı ile elde edilmiştir.

Bu bağıntılardan en geçerli olanı, önerilen bağıntıların ve türevlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri karşılaştırılarak tespit edilmiştir. Bahsedilen belirsizlikler yüzde toplam ortalama sapma ve ortalama standart sapma bağıntıları kullanılarak hesap edilmiştir. Bu belirsizlik bağıntılarının genel formu çalışmanın 3.1 kesiminde verilmiştir.

Fit sonuçlarına bağlı olarak önerilen (3.45), (3.46), (3.47) ve (3.48) bağıntılarının, SF₆'ya ait B(T) için tayin edilen parametreleri Çizelge 3.20'de verilmiştir.

Çizelge 3.20 SF₆'ya ait teklif edilen (3.45), (3.46), (3.47) ve (3.48) bağıntıları formundaki B(T) ikinci virial terimlerinin ilgili parametreleri.

	B ₁ (cm ³ /mol)	B ₂ (cm ³ /mol)	B ₃ (cm ³ /mol)	B ₄ (cm ³ /mol)
a	-397460695,368.10 ⁻¹	67,73932	1192,15644.10 ⁻⁶	1378,68526.10 ⁻¹⁶
b	2,07187	-0,0561	-1,566	-4,20509
c	0,80494.10 ⁻¹	-1584,24172.10 ⁸	-1647,07727.10 ⁻¹⁴	-508506,2099
d	-0,96936	3,8727	-3,93314	1,27899
e		-954609,1833	-2213548704,734	-7452,78733.10 ⁷
f		1,39973	2,90367	3,70471
g			-549,05375	175,97196
h			0,00457	0,06398

Önerilen (3.45), (3.46), (3.47) ve (3.48) ikinci virial bağıntılarının SF₆ için belirlenen katsayıları ilgili bağıntılarda yerlerine yazılarak her birinin sıcaklığa göre türevi alınmış, ikinci virial değerleri ve her bir türev değeri, ele alınan sıcaklıklar için hesaplanmış ve hesaplanan bu değerlerin, denel ikinci virial ve türevlerinin değerlerine göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. Yüzde toplam ortalama sapmalar (YTOS) ve ortalama standart sapmalar (OSS) Çizelge 3.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.21 Önerilen ikinci virial ve türev bağıntılarıyla hesaplanan değerlerin denel ikinci virial ve türev değerlerine göre belirsizlikleri.

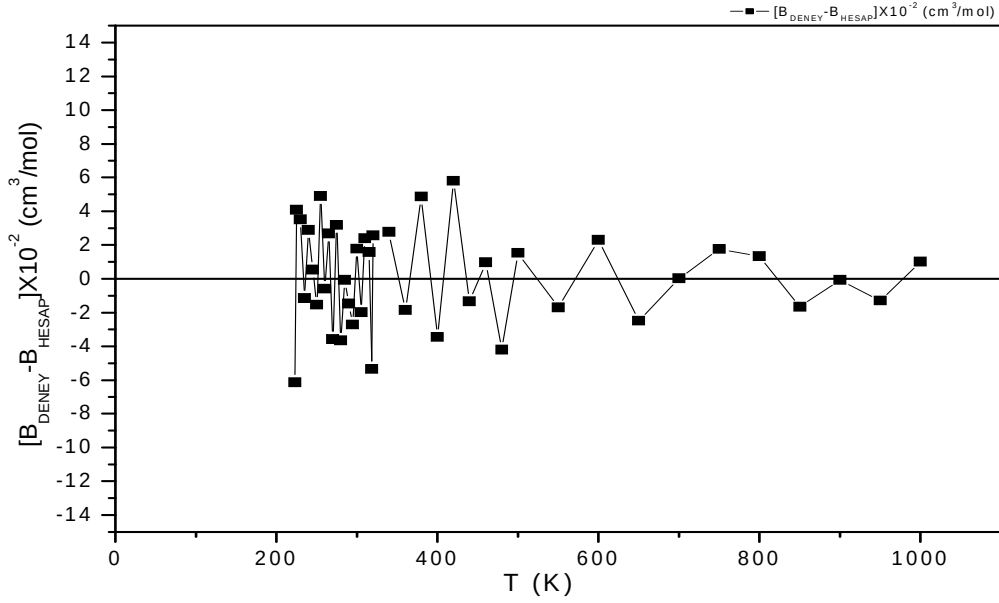
	OSS	YTOS
$B_1(T)$ (cm ³ /mol)	0,98	2,67
$B_2(T)$ (cm ³ /mol)	0,03	0,04
$B_3(T)$ (cm ³ /mol)	0,13	0,12
$B_4(T)$ (cm ³ /mol)	0,03	0,03
$\frac{dB_1(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,06	3,15
$\frac{dB_2(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,01	0,11
$\frac{dB_3(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,01	0,18
$\frac{dB_4(T)}{dT}$ ((cm ³ /mol)/K)	0,01	0,14

Çizelge 3.21’den görüldüğü gibi SF₆’ya ait önerilenlerden en geçerli olanı, belirsizliği yani toplam ortalama sapma ve ortalama standart sapması en az olan ve (3.48) denklemiyle verilen B₄(T) ikinci virial bağıntısıdır. Buna göre önerilen ve belirsizliği en az olan (3.48) ikinci virial bağıntısı, nümerik değerler yerine konulduğunda

$$B(T) = \frac{1378,68526 \cdot 10^{-16}}{(T/K)^{-4,20509}} + \frac{-508506,2099}{(T/K)^{1,27899}} + \frac{-7452,78733 \cdot 10^7}{(T/K)^{3,70471}} + \frac{175,97196}{(T/K)^{0,06398}} \quad (3.49)$$

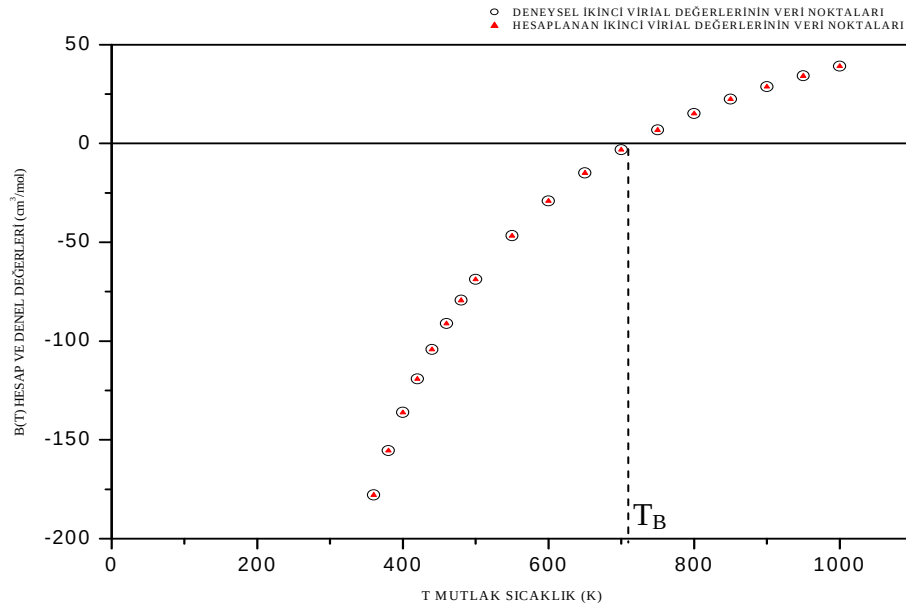
formunda verilebilmektedir.

Belirsizliği en az ikinci virial bağıntısının denel değerlerden sapmasının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Şekil 3.3’deki sapmaların son derece az olması nedeniyle SF₆ için ikinci virial katsayısı hesabında kullanılan termodinamik bağıntının bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve ikinci virial katsayılarını ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 3.3 Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial bağıntısının, mutlak sıcaklığa göre denel değerlerden sapma grafiği.

(3.49) bağıntısıyla hesaplanan ikinci virial değerlerinin sıcaklığa göre değişimi ve denel değerlerle karşılaştırılması Şekil 3.4'de gösterilmiştir. SF_6 için T_{UT} sıcaklık değeri ve T_J Joule inversiyon sıcaklıkları ilk kez bu çalışmada nümerik olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4 Eşitlik (3.49)'daki ikinci virial teriminin sıcaklığa göre değişimi ve denel değerlerle karşılaştırılması ($T_B=715,48$ K, $T_{\text{UT}}=1329,04$ K, $T_J=8300,22$ K).

Burada T_B Boyle sıcaklığı, T_{JT} sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığı, T_J Joule inversiyon sıcaklığıdır. SF_6 'ya ait iç enerji, entalpi, sabit hacimdeki ısı kapasitesi, sabit basınçtaki ısı kapasitesi, Joule-Thomson katsayısı, ses hızı gibi termodinamik özelliklerin hesabında ikinci virial bağıntısının sıcaklığa göre türevi de gerekli olduğu için önerilen (3.49) ikinci virial bağıntısının sıcaklığa göre türevi alınmış ve değişik sıcaklıklara ait hesaplanan değerlerinin deneysel değerlere göre sapmaları ve toplam ortalama sapmalarla ilgili sonuçlar Çizelge A.5'de gösterilmiştir.

İkinci virial terimi $B(T)$ 'nin

$$B(T)=0 \quad (3.50)$$

şeklinde sıfır olduğu sıcaklığa Boyle sıcaklığı (T_B) adı verilmektedir. Bu sıcaklığın altında $B(T)$ 'nin değerleri negatif, üstünde ise pozitiftir. $B(T)$ 'nin eksi ve artı olması iki molekülün moleküller arası potansiyel kuyusundaki itici ve çekici kuvvetler hakkında bilgi vermektedir [7]. T_B sıcaklığında gaz ideal gaz, (sıfır yoğunluk veya sıfır basınç sıfatlı) gibi davranmaktadır. Önerilen ve belirsizliği en az olacak şekilde belirlenen (3.49) ikinci virial bağıntısının T_B Boyle sıcaklığı (3.50) bağıntısı yardımıyla,

$$\frac{1378,68526 \cdot 10^{-16}}{(T/K)^{-4,20509}} + \frac{-508506,2099}{(T/K)^{1,27899}} + \frac{-7452,78733 \cdot 10^7}{(T/K)^{3,70471}} + \frac{175,97196}{(T/K)^{0,06398}} = 0 \quad (3.51)$$

şeklinde yazılmış ve buradan Boyle sıcaklığı T_B , 715,48 K olarak Newton-Raphson nümerik kök bulma metodu kullanılarak bulunmuştur.

Bilindiği gibi düşük sıcaklıklarda Joule-Thomson katsayısı pozitif, yani bu sıcaklıklarda isoentalpik genişleme sonucu gaz soğumaktadır. Yüksek sıcaklıklarda Joule-Thomson katsayısı negatif, yani gaz dar boğazdan veya dirseklerden geçerken ısınmaktadır. Herhangi bir basınç değerindeki sıcaklıkta Joule-Thomson katsayısı işaret değiştirmektedir. Değişimin olduğu bu yere inversiyon noktası ve bu noktadaki sıcaklığa da T_{JT} inversiyon sıcaklığı denilmektedir. Bu sıcaklık sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığı ($B(T)$ 'nin bir maksimum olduğu sıcaklık) olarak adlandırılmaktadır. Buna göre önerilen ve en geçerli olan (3.49) ikinci virial bağıntısından hareketle SF_6 'nın

sıfır basınç Joule-Thomson inversiyon sıcaklığını (T_{JT}) hesap edebilmek için aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır.

$$\frac{d(B/T)}{dT} = 0 \quad (3.52)$$

$$\mu = \frac{dB}{dT} \cdot T - B \quad (3.53)$$

Eşitlik (3.53)'de $\mu=0$ olduğu duruma karşılık gelen sıcaklık, sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığıdır. Önerilen ve belirsizliği en az olan ikinci virial bağıntısı (3.53) bağıntısında yerine yazılmış ve yine Newton-Raphson kök bulma metoduyla T_{JT} , (1329,04 K) olarak hesap edilmiştir.

Ayrıca düşük basınç Joule inversiyon sıcaklığı olarak adlandırılan ve $B(T)$ 'nin bir maksimum olduğu, (dB/dT) 'nin sıfır olmasını sağlayan T_J sıcaklığı (3.49) bağıntısı kullanılarak

$$\frac{d}{dT} \left[\frac{1378,68526 \cdot 10^{-16}}{(T/K)^{-4,20509}} + \frac{-508506,2099}{(T/K)^{1,27899}} + \frac{-7452,78733 \cdot 10^7}{(T/K)^{3,70471}} + \frac{175,97196}{(T/K)^{0,06398}} \right] = 0 \quad (3.54)$$

Newton-Raphson nümerik kök bulma metoduyla 8300,22 K olarak bulunmuştur [17].

Önerilen ikinci virial bağıntılarının denel değerlere göre belirsizliğinin en az olanının (3.49) bağıntısı olduğu tespit edildiği için SF_6 için T_B Boyle sıcaklığı, T_{JT} sıfır basınç Joule Thomson inversiyon sıcaklığı ve T_J Joule inversiyon sıcaklıklarının da güvenilir olduğu düşünülmektedir.

3.2.3 SF_6 'nın Transport Özelliklerinden Ses Hızının Termodinamik Bağıntılar Yardımıyla Hesaplanması ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması

Çalışmanın bu kesiminde, üçüncü bölümün 3.2.2 alt başlığında SF_6 için önerilen duyarlılığı en fazla ve belirsizliği en az olan ikinci virial terimi kullanılarak, SF_6 için ses hızı hesabı yapılmıştır. Ses hızı hesabının yapılabilmesi için önerilen ikinci virial bağıntısının mutlak

sıcaklığa göre birinci ve ikinci türevlerinin de hesap edilmesi gerekmektedir. Kesim 3.1.3’de Ar için yapılan ses hızı hesabında (3.17) bağıntısındaki γ^0 yerine Ar’un tek atomlu bir gaz olması nedeniyle sıcaklığın ve basıncın yeterince düşük olduğu durumlarda $\gamma^0 = 1,667$ olarak sabit bir değer kullanılmıştır. Ancak SF₆ ’ya ait yapılacak olan ses hızı hesabında kullanılacak olan γ^0 için sıcaklığa bağlı bir ifade türetilmesi gerekmektedir. SF₆ içinde ses hızı hesabında kullanılan bağıntı şu şekildedir:

$$c_0^2 = \frac{\gamma^0 RT}{M} \left\{ 1 + \frac{P}{RT} \left[2B + 2(\gamma^0 - 1)T \frac{dB}{dT} + \frac{(\gamma^0 - 1)^2}{\gamma^0} T^2 \frac{d^2 B}{dT^2} \right] + \dots \right\} \quad (3.55)$$

İdeal gaz için,

$$C_p = C_v + R \quad (3.56)$$

dir. Boyutsuz bir nicelik olan γ^0 ısı kapasitesi oranı termodinamik işlemlerde farklı şekillerde kullanılır ve başlıcaları

$$\gamma^0 = \frac{C_p}{C_v} \quad (3.57)$$

$$\gamma^0 = \frac{C_p}{C_p - R} \quad (3.58)$$

$$\gamma^0 = \frac{C_p / R}{(C_p - R) / R} \quad (3.59)$$

olarak tanımlanır. Sıcaklığın ve basıncın yeterince düşük olduğu tek atomlu gazlarda, He ve Ar gibi, bu gazların ısı kapasiteleri oranları $\gamma^0 \approx 1,67$ olarak alınabileceği belirtilmişti. Ancak bu durum SF₆’nın çok atomlu bir gaz olması nedeniyle geçerliliğini kaybetmektedir. Eğer ilgilenilen gazın sıcaklığa bağlı olarak $C_p^0(T)/R$ değeri bilinirse (3.59) bağıntısı kullanılarak γ^0 ısı kapasitesi oranı hesap edilebilir. Bu nedenle SF₆ için sıcaklığa bağlı

$C_p^0(T)/R$ değerleri kullanılarak γ^0 ısı kapasitesi oranının hesap edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla aşağıdaki gibi sıcaklığın analitik fonksiyonu olan bağıntılar

$$\frac{C_p^0(T)}{R} = -2,95 + \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} \quad (3.60)$$

$$\frac{C_p^0(T)}{R} = -2,95 + \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \quad (3.61)$$

olarak önerilmiştir a, b, c, d, e, f katsayılarının boyutları, $C_p^0(T)/R$ 'boyutunu sağlayacak şekilde seçilmiştir. Denel değerlere göre [2, 4] fit işlemleri yapılarak bu bağıntıların katsayıları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22 $C_p^0(T)/R$ değerlerinin hesaplanması için önerilen (3.60) ve (3.61) bağıntılarının katsayıları.

	a	b	c	d	e	f
Eş. (3.60)	1,36755	-1,06284	-1,23752	-1,07595		
Eş. (3.61)	32,6593	-0,21604	-0,15927	-0,77539	-57,74473	-0,06583

Önerilen bu iki bağıntının denel değerlere göre YTOS ve OSS belirsizlikleri hesap edilerek aralarında bir seçim yapılmıştır.

Çizelge 3.23 Önerilen $C_p^0(T)/R$ bağıntıları kullanılarak ilgili sıcaklıklar için hesaplanan değerlerin denel değerlere göre belirsizlikleri.

	Eş. (3.60)	Eş. (3.61)
YTOS	0,69	0,32
OSS	0,10	0,04

Çizelge 3.23'de sunulan sonuçlar incelendiğinde γ^0 ısı kapasitesi oranı hesabında kullanılacak en duyarlı bağıntının (3.61) bağıntısı olduğu görülmüştür.

(3.61) bağıntısıyla $C_p^0(T)/R$ değerleri, (3.59) bağıntısıyla γ^0 ısı kapasiteleri ilgili sıcaklıklar için hesaplanmış ve SF_6 'nın ses hızının elde edilmesinde kullanılmıştır. İfadelerde R evrensel gaz sabiti olup değeri 8,314 J/(mol.K) ve M ilgilenilen gazın molekül ağırlığı olup, SF_6 için değeri 146,05 g/mol'dür.

SF₆ için önerilen ve belirsizliği en az, duyarlılığı en çok (3.49) ikinci virial bağıntısı B, birinci türevi (dB/dT) B₁ ve ikinci türevi (d²B/dT²) B₂ olmak üzere ilgili sıcaklıklar için hesaplanan değerler Çizelge A.6’da verilmiştir. Burada c_H hesaplanan ses hızı ve c_D deneysel olarak ölçülen ses hızıdır [2].

Çizelge A.6’da gösterilen belirli sıcaklık ve basınçlar için hesaplanmış ses hızı değerlerinin deneysel değerlerden ortalama standart sapması 0,52 m/s ve toplam yüzde ortalama sapması 0,21’dir. Bu belirsizliklerin çok az olması nedeniyle, SF₆ için ses hızı hesabında kullanılan termodinamik bağıntıyla hesap edilen değerlerin bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve bu değerleri ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği söylenebilir.

3.2.4 SF₆’nın Transport Özelliklerinden Viskozitesinin Hesaplanması İçin Önerilen Bağıntılar ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması

SF₆ için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak önerilmiş viskozite hesabı bağıntısındaki sabitlerin fit edildiği deneysel veriler Çizelge 3.24’de verilmiş [3] ve denel verilerle uyum içerisinde bir bağıntı önerebilmek için iki yol izlenmiştir. Bunlardan biri sıcaklığa bağlı olarak Çizelge 3.24’de verilen viskozite değerlerini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlenen analitik formdaki bağıntılara fit etmektir. İkinci yol ise yine Çizelge 3.24’deki denel verilerle uyum içerisinde olacak şekilde sıcaklığın fonksiyonu olan, çarpışma integrali $\Omega(T)$ bağıntıları önermektir. Belirsizliği en az olacak şekilde en geçerli moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonları ait olarak elde edilen $\Omega(T)$ bağıntısı yardımıyla SF₆ için transport özelliklerden biri olan viskozite hesabı yapılabilmektedir.

Çizelge 3.24 SF₆ için deneysel viskozite değerleri.

T (K)	η (μ Pa.s)	T (K)	η (μ Pa.s)	T (K)	η (μ Pa.s)	T (K)	η (μ Pa.s)
223	11,760	270	13,960	318,7	16,180	500	23,810
225	11,860	275	14,190	320	16,230	550	25,740
230	12,090	280	14,420	340	17,120	600	27,590
235	12,330	285	14,650	360	18,000	650	29,370
240	12,560	290	14,880	380	18,870	700	31,080
245	12,800	295	15,100	400	19,730	750	32,730
250	13,030	300	15,330	420	20,570	800	34,320
255	13,260	305	15,560	440	21,400	850	35,840
260	13,490	310	15,780	460	22,220		
265	13,730	315	16,010	480	23,020		

3.2.4.1 SF₆ için Viskozite Hesabında Kullanılacak Bağıntının Sıcaklığın Analitik Fonksiyonu Olarak Elde Edilmesi

Sıcaklığın bir fonksiyonu olan SF₆'nın viskozite hesabında kullanılacak bağıntıları aşağıdaki gibi analitik formda önerebiliriz.

$$\eta_1(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} \quad (3.62)$$

$$\eta_2(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \quad (3.63)$$

$$\eta_3(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + \frac{g}{(T/K)^h} \quad (3.64)$$

Önerilen bu viskozite bağıntılarının Çizelge 3.24'deki denel verilere göre fit edilmesi sonucunda belirlenen katsayılar Çizelge 3.25'de verilmiştir.

Çizelge 3.25 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SF₆ için önerilen viskozite bağıntılarının katsayıları.

	η_1 (μPa.s)	η_2 (μPa.s)	η_3 (μPa.s)
a	-1327,51993.10 ⁻⁸	-6361,36018	3,18957
b	-1,99496	0,11781	-0,57263
c	6696,62037.10 ⁻⁵	6459,58152	229,1222
d	-0,96548	0,12677	-0,17499
e		37,20191	-219,25865
f		-0,21862	-0,19975
g			-3168,49721.10 ⁻⁶
h			-1,28423

Önerilen bu viskozite bağıntılarının a, c, e ve g katsayıları boyutlu katsayılar, diğerleri ise boyutsuz katsayılardır. (3.62), (3.63) ve (3.64) viskozite bağıntılarının deneysel değerlere göre belirsizlikleri Çizelge 3.26'da verilmiştir.

Çizelge 3.26 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak SF₆ için önerilen viskozite bağıntılarının belirsizlikleri.

	Eş. (3.62)	Eş. (3.63)	Eş. (3.64)
YTOS	0,04	0,43	0,08
OSS /(μPa.s)	0,008	0,073	0,014

Çizelge 3.26'daki sonuçlarda, önerilen (3.62) bağıntısının belirsizliğinin diğerlerine göre daha az olduğu görülmektedir.

3.2.4.2 SF₆ için Viskozite Hesabında Kullanılacak $\Omega(T)$ Bağıntısının Elde Edilmesi

Katı küresel molekül yapıya sahip olan saf gazlara ait transport özelliklerden viskozitenin birinci dereceden yaklaşımla aşağıdaki gibi verilebileceği Kesim 2.3.1'de belirtilmiştir. Buna göre SF₆'nın transport özelliklerinden viskozite, bu gazın da hemen hemen katı küresel yapıda olmasından dolayı aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesap edilebilmektedir [7].

$$[\eta]_1 = \frac{5}{16} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 \Omega^{(2,2)*}} \right) \quad (3.65)$$

Çizelge 3.24'deki denel viskozite değerleri yardımıyla $\Omega^{(2,2)*}$ indirgenmiş çarpışma integrali değerlerini hesap edilebilmek için (3.65) bağıntısından yola çıkarak (3.66) bağıntısı elde edilmiştir.

$$\Omega^{(2,2)*} = \frac{5}{16} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 [\eta]_1} \right) \quad (3.66)$$

Her gaz için farklı $\Omega^{(2,2)*}$ çarpışma integrali ifadesi önermek daha iyi sonuç vermektedir. Bu nedenle Çizelge 3.24'deki denel veriler yardımıyla hesap edilen çarpışma integrali, bunun da sıcaklığın analitik bir fonksiyonu olması olgusundan yararlanılarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\Omega_1^{(2,2)*}(T) = \left[\frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} \right] \cdot 10^{12} \quad (3.67)$$

$$\Omega_2^{(2,2)*}(T) = \left[\frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \right] \cdot 10^{12} \quad (3.68)$$

(3.66) bağıntısıyla hesap edilen çarpışma katsayılarına fit edilen (3.67) ve (3.68) bağıntılarının katsayıları Çizelge 3.27’de verilmiştir.

Çizelge 3.27 Eşitlik (3.67) ve (3.68)’ün ilgili katsayıları.

	a	b	c	d	e	f
$\Omega_1^{(2,2)*}$	$1,6218.10^{-5}$	-1,32067	$1396307,52.10^{-5}$	0,42921	-	-
$\Omega_2^{(2,2)*}$	0,15144	-0,1528	14,85005	0,58664	14,1209	0,6477

Önerilen (3.67) ve (3.68) bağıntılarının (3.66) bağıntısıyla hesap edilen denel çarpışma katsayılarına göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.28’de sunulmuştur.

Çizelge 3.28 SF₆ için önerilen (3.67) ve (3.68) bağıntılarının belirsizlikleri.

	Eş. (3.67)	Eş. (3.68)
YTOS	0,031	0,129
OSS	$4,28.10^{-4}$	$1,67.10^{-3}$

Çizelge 3.28’deki belirsizlikler incelendiğinde önerilen (3.67) bağıntısı SF₆’nın viskozite hesabında kullanılacak çarpışma integrali bağıntısı olması itibariyle, duyarlılığının (3.68) bağıntısına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Duyarlılığı yüksek ve belirsizliği en az olacak şekilde elde edilen çarpışma integrali bağıntısı (3.65) bağıntısında yerine yazılarak SF₆ ’nın transport özelliklerinden olan viskozitesi hesap edilmiştir. Bu yöntemle hesap edilen viskozite değerlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. SF₆ ’nın transport özelliklerinden olan viskozite hesabı için önerilen (3.65) bağıntısıyla hesaplanan değerlerin deneysel değerlerden ortalama standart sapması $9,28.10^{-9}$ µPa.s ve yüzde toplam ortalama sapması 0,03’dür.

SF₆’nın transport özelliklerinden viskozitesinin hesaplanması için çalışmanın 3.2.4.1 kesiminde önerilen bağıntının belirsizlikleri ile bu bölümde önerilen bağıntının belirsizliklerinin Çizelge 3.29 ile karşılaştırılması iki bağıntı arasında bir seçim yapılmasını daha kolay hale getirmiştir.

Çizelge 3.29 SF₆’nın transport özelliklerinden olan viskozite katsayısının hesabı için önerilen (3.62) ve (3.65) bağıntılarının belirsizliklerinin karşılaştırılması.

	Eş. (3.62)	Eş. (3.65)
YTOS	0,04	0,03
OSS /(µPa.s)	0,008	$9,28.10^{-9}$

Çizelge 3.29’da SF₆’nın transport özelliklerinden viskozite katsayısı hesabı için çarpışma integrali katsayıları kullanılarak fit metoduyla belirlenen (3.65) bağıntısının diğer bağıntıya göre daha duyarlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte önerilen (3.62) bağıntısının belirsizliği de son derece düşüktür. Bu nedenle SF₆ için önerilen termodinamik bağıntıyla hesaplanan viskozite katsayıları bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve bu değerleri ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği söylenebilir.

3.2.5 SF₆’nın Transport Özelliklerinden Olan Termal İletkenliğin Hesaplanması ve Denel Değerlerle Karşılaştırılması

Bu kesimde transport katsayılarından biri olan termal iletkenlik (ısı iletimi) hesabı için yeni bir bağıntı önerilmiştir. SF₆ için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak önerilmiş termal iletkenlik bağıntısındaki sabitlerin fit edildiği deneysel veriler Çizelge 3.30’dadır. Çizelge 3.30’daki denel verilerle uyum içersinde bir bağıntı önerebilmek için viskozite hesabında olduğu gibi iki yol izlenmiştir. Bunlardan birincisi sıcaklığa bağlı olarak Çizelge 3.30’da verilen termal iletkenlik değerlerini sıcaklığın bir fonksiyonu olarak önerilen analitik formdaki bağıntılara fit etmektir. İkinci olarak yine Çizelge 3.30’daki denel verilerle uyum içersinde olacak şekilde sıcaklığın fonksiyonu olan, çarpışma integrali $\Omega(T)$ bağıntıları önermektir. Belirsizliği en az olacak şekilde en geçerli moleküller arası potansiyel enerji fonksiyonlarına ait $\Omega(T)$ bağıntısı elde edilebilirse, bu bağıntı yardımıyla SF₆ için transport özellikler hesaplanabilir [3].

Çizelge 3.30 SF₆ için deneysel termal iletkenlik değerleri.

T (K)	λ (mW/(m.K))	T (K)	λ (mW/(m.K))	T (K)	λ (mW/(m.K))	T (K)	λ (mW/(m.K))
223	7,0	270	9,5	318.7	12,4	500	22,6
225	7,1	275	9,8	320	12,5	550	25,2
230	7,4	280	10,1	340	13,6	600	27,7
235	7,6	285	10,4	360	14,8	650	30,0
240	7,9	290	10,7	380	16,0	700	32,3
245	8,2	295	11,0	400	17,2	750	34,4
250	8,4	300	11,3	420	18,3	800	36,5
255	8,7	305	11,6	440	19,4	850	38,4
260	9,0	310	11,9	460	20,5		
265	9,3	315	12,2	480	21,6		

3.2.5.1 SF₆ için Termal İletkenlik Hesabında Kullanılacak Bağıntının Sıcaklığın Analitik Fonksiyonu Olarak Elde Edilmesi

SF₆'nın termal iletkenlik hesabında kullanmak amacıyla, bu transport özelliğın sıcaklığın bir fonksiyonu olması olgusundan yararlanılarak önerilen bağıntılar analitik formda aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\lambda_1(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \quad (3.69)$$

$$\lambda_2(T) = \frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + \frac{g}{(T/K)^h} + \frac{i}{(T/K)^j} \quad (3.70)$$

Önerilen bu termal iletkenlik bağıntılarının Çizelge 3.30'deki deneysel verilere göre fit edilmesi sonucunda belirlenen katsayılar Çizelge 3.31'de verilmiştir.

Çizelge 3.31 SF₆ için önerilen termal iletkenlik bağıntılarının katsayıları.

	λ_1 (mW/(m.K))	λ_2 (mW/(m.K))
a	-0,35106	2053,76097.10 ⁻⁴
b	-0,94945	-1,03159
c	-1577,26485.10 ⁻⁵	-3260,28222.10 ⁻⁴
d	-1,43662	-0,76414
e	1725,81347.10 ⁻⁴	-2354,34266.10 ⁻⁵
f	-1,18339	-1,26353
g	-	-6552,14576
h	-	1,10377
i	-	178787,51
j	-	1,78347

Önerilen (3.69) ve (3.70) termal iletkenlik bağıntılarının katsayıları hesaplanan termal iletkenlik değeri birimi (mW/(m.K)) olacak şekilde uygun boyutludur. (3.69) ve (3.70) termal iletkenlik bağıntılarının denel değerlere göre belirsizlikleri Çizelge 3.32'de verilmiştir.

Çizelge 3.32 SF₆ için önerilen termal iletkenlik bağıntılarının belirsizlikleri.

	Eş. (3.69)	Eş. (3.70)
YTOS	0,41	0,18
OSS /(mW/(m.K))	0,059	0,027

Çizelge 3.32'deki belirsizlikler incelendiğinde önerilen (3.70) bağıntısının belirsizliğinin diğerine göre daha az olduğu görülmüştür.

3.2.5.2 SF₆ İçin Termal İletkenlik Hesabında Kullanılacak $\Omega(T)$ Bağıntısının Elde Edilmesi

Katı küresel molekül yapıya sahip olan saf gazlara ait transport özelliklerden termal iletkenliğinin, birinci dereceden yaklaşım yapıldığında, aşağıdaki gibi verilebileceğinden Kesim 2.3.1'de söz edilmişti. Buna göre SF₆'nın transport özelliklerinden termal iletkenlik katsayısının hesabında, bu gazın da katı küresel yapıda olmasından dolayı aşağıdaki bağıntı hesaplamalarda kullanılabilir [7].

$$[\lambda]_1 = \frac{25}{32} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 \Omega^{(2,2)*}} \right) \left(\frac{c_v}{m} \right) \quad (3.71)$$

Çizelge 3.30'daki denel termal iletkenlik değerleri kullanılarak $\Omega^{(2,2)*}$ çarpışma integrali değerlerini hesap edilebilmek için (3.71) bağıntısından yararlanılarak

$$\Omega^{(2,2)*} = \frac{25}{32} \left(\frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2 [\lambda]_1} \right) \left(\frac{c_v}{m} \right) \quad (3.72)$$

bağıntısı elde edilebilir.

Bir ideal gaz için sabit basınçtaki ısı kapasitesi

$$C_p = C_v + R \quad (3.73)$$

yazılabilir olmasından dolayı SF₆ için ses hızı hesabında kullanmak üzere önerilen $C_p^0(T)/R$ bağıntısı yardımıyla (3.71) bağıntısındaki sabit hacimde ısı kapasitesi elde edilebilir. Ses hızı hesabında kullanılan $C_p^0(T)/R$ bağıntısı 500 K'den 850 K'e kadar olan sıcaklık değerleri için de fit edilmiştir. Önerilen $C_p^0(T)/R$ bağıntısının ilgili parametreleri yerlerine koyulduğunda

$$\frac{C_p^{\circ}(T)}{R} = -2,95 + \frac{32,6593}{(T/K)^{-0,21604}} + \frac{-0,15927}{(T/K)^{-0,77539}} + \frac{-57,74473}{(T/K)^{-0,06583}} \quad (3.74)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Önerilen bağıntıdaki sabitlerin boyutu da sonuca uygun olarak $C_p^0(T)/R$ 'nin boyutundadır.

Ayrıca $C_v^{\circ}(T)$ bağıntısı (3.73) bağıntısı kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.30'daki denel veriler yardımıyla (3.72) bağıntısıyla hesap edilen çarpışma integrali katsayılarını veren analitik formda ve sıcaklığın fonksiyonu bağıntıları aşağıdaki gibi önerilmiştir.

$$\Omega_1^{(2,2)*}(T) = \left[\frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} \right] \cdot 10^{12} \quad (3.75)$$

$$\Omega_2^{(2,2)*}(T) = \left[\frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} \right] \cdot 10^{12} \quad (3.76)$$

$$\Omega_3^{(2,2)*}(T) = \left[\frac{a}{(T/K)^b} + \frac{c}{(T/K)^d} + \frac{e}{(T/K)^f} + \frac{g}{(T/K)^h} \right] \cdot 10^{12} \quad (3.77)$$

(3.72) bağıntısıyla hesap edilen çarpışma integrali katsayılarına fit edilen (3.75), (3.76) ve (3.77) bağıntılarının katsayıları Çizelge 3.33'de verilmiştir.

Çizelge 3.33 SF₆ için önerilen çarpışma integrali bağıntılarının katsayıları.

	$\Omega_1^{(2,2)*}$	$\Omega_2^{(2,2)*}$	$\Omega_3^{(2,2)*}$
a	6,27245	-915069,915.10 ⁵	-38672506,0728
b	0,26738	4,62718	2,75508
c	4,59516	12644,07122.10 ⁵	306,49209
d	0,23832	3,82384	0,65631
e		8,46424	-41217,919
f		0,21734	1,43449
g			4819010,0088
h			2,25335

Önerilen bu bağıntıların (3.72) bağıntısıyla hesap edilen deneysel çarpışma katsayılarına göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. Belirsizlikler Çizelge 3.34’de verilmiştir.

Çizelge 3.34 SF₆ için önerilen çarpışma integrali bağıntılarının belirsizlikleri.

	Eş. (3.75)	Eş. (3.76)	Eş. (3.77)
YTOS	0,53	0,21	0,18
OSS	0,0176	0,0063	0,0060

Çizelge 3.34’deki belirsizlikler incelendiğinde önerilen (3.77) bağıntısının SF₆ için termal iletkenlik hesabında kullanılacak çarpışma integrali bağıntısı olması itibariyle, duyarlılığının diğer bağıntılara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Duyarlılığı yüksek ve belirsizliği en az olacak şekilde elde edilen çarpışma integrali bağıntısı eşitlik (3.71)’de yerine konularak SF₆’nın transport özelliklerinden olan termal iletkenliği hesap edilmiştir. Bu yöntemle hesap edilen termal iletkenlik değerlerinin denel değerlere göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. SF₆’nın transport özelliklerinden termal iletkenliğinin hesabı için önerilen (3.71) bağıntısıyla hesap edilen değerlerin deneysel değerlerden ortalama standart sapması 0,027 mW/(m.K) ve yüzde toplam ortalama sapması 0,18’dir.

SF₆’nın transport özelliklerinden olan termal iletkenliğinin hesaplanması için çalışmanın 3.2.5.1 kesiminde önerilen bağıntının belirsizlikleri ile bu bölümde önerdiğimiz bağıntının belirsizlikleri Çizelge 3.35’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu karşılaştırmayla en uygun bağıntının seçimi daha kolay yapılabilmektedir.

Çizelge 3.35 SF₆’nın transport özelliklerinden olan termal iletkenliğinin hesabı için önerilen (3.70) ve (3.71) bağıntılarının belirsizliklerinin karşılaştırılması.

	Eş. (3.70)	(3.71)
YTOS	0,179	0,179
OSS /(mW/(m.K))	0,026	0,026

SF₆’un transport özelliklerinden termal iletkenliğinin hesabı için çarpışma integrali katsayıları kullanılarak fit metoduyla belirlenen (3.79) bağıntısı diğer bağıntıya göre daha duyarlıdır. Bu sonuç Çizelge 3.35’den görülmemektedir. Bağıntıların duyarlılıklarının birbirine çok yakın olması nedeniyle aradaki bu fark çizelgede verilmemiştir. Bununla birlikte, önerilen diğer bağıntının belirsizliği de son derece azdır. Önerilen bağıntıların her birinin oldukça duyarlı olması nedeniyle SF₆ için termal iletkenlik katsayısı hesaplamada kullanılacak termodinamik bağıntılarla hesap edilen değerlerin bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve bu değerleri ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği söylenebilir.

BÖLÜM 4

SONUÇ

Yapılan çalışmada endüstriyel gazlardan Ar ve SF₆'nın termodinamik özellikleri ve tranport katsayılarının hesap edilebilmesi için yeni bağıntılar önerilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla hem Ar ve hem de SF₆ için en son yapılan çalışmalardan elde edilen deneysel verilerden yararlanılmıştır. İkinci virial bağıntılarının sıcaklığın bir fonksiyonu olması fiziksel gerçeğinden yola çıkılarak Ar ve SF₆ için çeşitli tipte sıcaklığın fonksiyonu analitik bağıntılar önerilmiştir. Önerilen bu bağıntılardan deneysel değerlere göre belirsizliği en az olanlar seçilmiştir. İkinci virial katsayısının gaz içinde iki molekül arasındaki etkileşimler hakkında bilgi vermesi ve Boyle sıcaklığı ile inversiyon sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılması nedeniyle bu ikinci virial bağıntılarının sıcaklığa göre türevlerinin de belirsizlikleri hesap edilmiştir. Hem Ar, hem de SF₆ için önerilen ikinci virial bağıntılarının hem kendileri hem de sıcaklığa göre türevleri deneysel değerlerle son derece uyum içersindedir. Ar için önerilen ikinci virial bağıntısıyla hesaplanan değerlerin denel değerlerden maksimum sapması 0,004 cm³/mol ve SF₆ için ise 0,06 cm³/mol'dür. Bu nedenle bu bağıntılar termodinamik özelliklerin hesabında güvenle kullanılabilir. Çalışmamızda Ar ve SF₆'nın termodinamik özelliklerinden ses hızları, önerilen ikinci virial bağıntıları kullanılarak hesap edilmiştir. Hesap edilen ses hızlarının belirsizlikleri son derece azdır. Ar için hesaplanan ses hızlarının denel değerlerden maksimum sapması 0,86 m/s ve SF₆ için ise 1,987 m/s'dir.

Diğer taraftan Ar ve SF₆'nın tranport özelliklerinden viskozite ve termal iletkenlik hesabı için de yeni bağıntılar önerilmiştir. Ar'un viskozitesinin hesaplanması için virial tipinde sıcaklığın ve yoğunluğun fonksiyonu olan bir bağıntı ve termal iletkenliğinin hesaplanması için de yine sıcaklığın ve yoğunluğun fonksiyonu olan bir bağıntı önerilmiştir. Önerilen bağıntılarla hesaplanan ilgili tranport katsayılarının denel değerlere göre belirsizlikleri, bu bağıntıların endüstride kullanılabilmesi için yeterli olacak kadar azdır. Ar için önerilen viskozite bağıntısıyla hesaplanan değerlerin deneysel değerlerden maksimum sapması 0,10 µPa.s ve önerilen termal iletkenlik bağıntısıyla hesaplanan değerlerin deneysel değerlerden maksimum sapması 0,0009 W.m⁻¹.K⁻¹ 'dir.

SF₆'nın transport özelliklerinden viskozitesinin hesaplanması için de sıcaklığın fonksiyonu olan bir bağıntı önerilmiştir ve önerilen bu bağıntı ile hesaplanan viskozite katsayılarının denel değerlere göre belirsizlikleri hesap edilmiştir. Ayrıca duyarlılığı yüksek bir çarpışma integrali bağıntısı kullanılarak da SF₆'nın hemen hemen katı küresel yapıda olması nedeniyle belirli bir yaklaşım yöntemiyle viskozitesi hesap edilmiştir. Sonuç olarak çarpışma integrali bağıntısı kullanılarak hesaplanan viskozite katsayılarının belirsizliğinin daha az olduğu tespit edilmiştir. SF₆'nın viskozite hesabı için önerilen duyarlılığı en yüksek bağıntıyla hesaplanan değerler arasında deneysel değerlerden maksimum sapma 0,030 $\mu\text{Pa.s}$ 'dir. SF₆'nın transort özelliklerinden termal iletkenliğinin de hesaplanması için yine sıcaklığın fonksiyonu olan bağıntılar önerilmiştir ve bu bağıntılar yardımıyla hesaplanan termal iletkenlik katsayılarının belirsizlikleri denel değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sıcaklığın fonksiyonu olarak önerilen analitik tipteki bağıntılar arasından duyarlılığı en yüksek olan seçilmiştir. SF₆'nın viskozitesi için izlenen yola benzer olarak yine termal iletkenlik katsayısının hesaplanması için de çarpışma integrali bağıntısı kullanılmıştır. Duyarlılığı en yüksek olan çarpışma integrali bağıntısı belirlendikten sonra yine SF₆'nın hemen hemen katı küresel yapıda olmasından dolayı Bölüm 3'deki gibi bir yaklaşım bağıntısı kullanılarak termal iletkenlik hesap edilmiştir. Sonuç olarak yine çarpışma integrali bağıntısı kullanılarak hesaplanan termal iletkenlik katsayılarının denel değerlere göre belirsizliklerinin daha az olduğu görülmüştür. SF₆ için termal iletkenlik hesabı için önerilen duyarlılığı en yüksek bağıntıyla hesap edilen değerler arasında deneysel değerlerden maksimum sapması 0,0535 $\text{mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ 'dir.

Yapılan çalışma sonucunda, endüstriyel gazlardan Ar ve SF₆ için önerilen termodinamik bağıntılarla hesap edilen termofiziksel özellikler ve transport katsayıların bilimsel, teknolojik ve endüstriyel araştırmalarda ve bu değerleri ölçmeye yarayan aletlerin kalibrasyonunda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Hurly, J.J., Gillis, K.A., Mehl, J.B. and Moldover, M.R.** (2003) The Viscosity of Seven Gases Measured with a Greenspan Viscometer. *International Journal of Thermophysics*, Vol. 24, No.6, pp. 1441-1474.
- [2] **Hurly, J.J., Defibaugh, D.R. and Moldover, M.R.** (2000) Thermodynamic properties of sulfur hexafluoride. *International Journal Of Thermophysics*, Vol. 21, No. 3, pp. 739-765.
- [3] **Strehlow, T. and Vogel, E.** (1989) Temperature Dependence and Initial Density Dependence of the Viscosity of Sulphur Hexa fluoride. *Physica A*, Vol. 161, pp. 101.
- [4] **IUPAC** (1995) Atomic Weights of the Elements 1993. *Journal Physical and Chemical Reference Data*, Vol. 24, No. 4, pp. 1561-1576.
- [5] **IUPAC** (1972) *International Thermodynamic Tables of the Fluid State–Argon*. Butterworths press, London.
- [6] **Aziz, R.A.** (1993) A highly Accurate Interatomic Potential for Argon. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 99, No. 6, pp. 518-4525.
- [7] **Joseph, O., Hirschfelder, C.F., Curtiss, R. and Bird, B.** (1954) *Molecular Theory of Gases and Liquids*. (Wiley, New York, 1954).
- [8] **Maitland, G.C., Rigby, M., Smith, E.B. and Wakeham, W.A.** (1981) *Intermolecular Forces Their Origin and Determination*, Clarendon Press-Oxford.
- [9] **Sun, L., Venart, J.E.S. and Prasad, R.C.** (2002) The Thermal Conductivity, Thermal Diffusivity, and Heat Capacity of Gaseous Argon. *International Journal of Thermophysics*, Vol. 23, No.2, pp. 357-389.
- [10] **Kişioğlu E.** (1979) *Polar ve Apolar Gazlara Ait Kuvvet Sabitlerinin Bulunması ile Potansiyel Fonksiyonlarının Hesaplanması*. Doçentlik Tezi, Yıldız Üniversitesi, İSTANBUL.
- [11] **Hoşcan M., Kişioğlu E.,** (1990) NH₃ Moleküler Kuvvet Sabitlerinin ve Potansiyel Fonksiyonunun Hesaplanması. *Doğa Tr. Journal of Physics*, Vol. 14, pp. 19-22.
- [12] **Yılmaz A.** (2002) *He ve Xe'nun Termodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Önerilen Gerçek Gaz Hal Denklemi ve İkinci Virial Bağıntısı*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.

- [13] **Parson, J. M., Siska, P.E. and Lee, Y.T.** (1972) Intermolecular Potentials from Crossed-Beam Differential Elastic Scattering Measurements. IV. Ar+Ar. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 56, No. 4, pp. 1511-1516.
- [14] **Aziz, R.A. and Chen, H.H.** (1977) An accurate intermolecular potential for argon. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 67, No. 12, pp. 5719-5726.
- [15] **Fender, B.E F. and Halsey Jr., G.D.** (1962) Second Virial Coefficients of Argon, Krypton, and Argon-Krypton Mixtures at Low Temperatures. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 36, No. 7, pp. 1881-1888.
- [16] **Kihara, T.** (1953) Virial Coefficients and Models of Molecules in Gases. *Review of Modern Physics*, Vol. 25, No. 4, pp. 831.
- [17] **Masom, E.A. and Spurling, T.H.** (1969) The International Encyclopedia of Phys. Chem. And. Chem. Phys, Pergamon Press , Oxford. London.
- [18] **Rosser, W.G.V.** (1985) *An Introduction to Statistical Physics*. Ellis Harwood Limited, Halsted Press, New York.
- [19] **Boschi-Filho, H. and Buthers, C.C.,** (1997) Second Virial Coefficient For Real Gases at High Temperature.http://arxiv.org/PS_cache/cond-mat/pdf/9701/9701185.pdf

**EK AÇIKLAMALAR A
ÇİZELGELER**

Çizelge A.1 Endüstriyel gazlardan Ar'un ikinci virial katsayılarını hesaplamak için önerilen (3.7) bağıntısı ve sıcaklığa göre birinci türeviyle hesaplanan katsayıların deneysel değerlerle birlikte gösterilmesi.

T (K)	B _{DENEY} (cm ³ /mol)	(dB/dT) _{DENEY} (cm ³ /mol)/K _D	B _{HESAP} (cm ³ /mol)	(dB/dT) _{HESAP} (cm ³ /mol)/K	B _{HESAP} OSS/(cm ³ /mol)	B _{HESAP} YTOS	(dB/dT) _{HESAP} OSS/((cm ³ /mol)/K)	(dB/dT) _{HESAP} YTOS
100	-181,990	3,347	-181,991	3,346	6,183.10 ⁻⁰⁷	0,000	5,220.10 ⁻⁰⁷	0,022
110	-152,820	2,541	-152,823	2,541	6,978.10 ⁻⁰⁶	0,002	1,434.10 ⁻⁰⁷	0,015
120	-130,320	1,991	-130,323	1,991	1,205.10 ⁻⁰⁵	0,003	2,509.10 ⁻⁰⁷	0,025
130	-112,470	1,600	-112,471	1,600	1,596.10 ⁻⁰⁶	0,001	6,809.10 ⁻⁰⁹	0,005
140	-97,980	1,312	-97,979	1,312	9,085.10 ⁻⁰⁷	0,001	4,611.10 ⁻⁰⁸	0,016
150	-85,990	1,095	-85,991	1,095	1,736.10 ⁻⁰⁶	0,002	3,916.10 ⁻⁰⁸	0,018
160	-75,920	0,927	-75,918	0,927	2,559.10 ⁻⁰⁶	0,002	6,929.10 ⁻⁰⁸	0,028
170	-67,340	0,794	-67,341	0,794	1,483.10 ⁻⁰⁶	0,002	6,510.10 ⁻⁰⁸	0,032
180	-59,950	0,687	-59,954	0,687	1,639.10 ⁻⁰⁵	0,007	1,288.10 ⁻⁰⁸	0,017
190	-53,530	0,601	-53,529	0,601	1,475.10 ⁻⁰⁶	0,002	3,433.10 ⁻⁰⁹	0,010
200	-47,890	0,529	-47,892	0,529	3,451.10 ⁻⁰⁶	0,004	5,258.10 ⁻¹⁰	0,004
210	-42,910	0,470	-42,909	0,469	1,197.10 ⁻⁰⁶	0,003	4,335.10 ⁻⁰⁸	0,044
220	-38,470	0,419	-38,474	0,419	1,874.10 ⁻⁰⁵	0,011	9,507.10 ⁻⁰⁹	0,023
230	-34,500	0,376	-34,504	0,376	1,601.10 ⁻⁰⁵	0,012	1,198.10 ⁻⁰⁸	0,029
240	-30,930	0,340	-30,930	0,340	8,485.10 ⁻⁰⁹	0,000	6,534.10 ⁻⁰⁹	0,024
250	-27,690	0,308	-27,697	0,308	5,340.10 ⁻⁰⁵	0,026	4,392.10 ⁻⁰⁸	0,068
260	-24,760	0,280	-24,760	0,280	1,757.10 ⁻⁰⁸	0,001	1,733.10 ⁻⁰⁸	0,047
270	-22,080	0,256	-22,081	0,256	5,810.10 ⁻⁰⁷	0,003	2,237.10 ⁻⁰⁸	0,058
280	-19,630	0,235	-19,628	0,235	6,046.10 ⁻⁰⁶	0,013	3,472.10 ⁻⁰⁹	0,025
290	-17,370	0,216	-17,374	0,216	1,416.10 ⁻⁰⁵	0,022	2,421.10 ⁻¹⁰	0,007
300	-15,300	0,200	-15,297	0,200	1,060.10 ⁻⁰⁵	0,021	1,742.10 ⁻⁰⁸	0,066
310	-13,380	0,185	-13,377	0,185	8,449.10 ⁻⁰⁶	0,022	2,451.10 ⁻⁰⁸	0,085
320	-11,600	0,171	-11,598	0,171	3,472.10 ⁻⁰⁶	0,016	1,172.10 ⁻⁰⁸	0,063
330	-9,944	0,159	-9,945	0,159	2,134.10 ⁻⁰⁶	0,015	7,690.10 ⁻¹¹	0,006
340	-8,406	0,149	-8,407	0,149	2,936.10 ⁻⁰⁷	0,006	2,606.10 ⁻⁰⁹	0,034
350	-6,970	0,139	-6,970	0,139	1,993.10 ⁻⁰⁷	0,006	3,493.10 ⁻⁰⁹	0,043
360	-5,627	0,130	-5,628	0,130	3,465.10 ⁻⁰⁷	0,010	7,409.10 ⁻⁰⁹	0,066
370	-4,369	0,122	-4,370	0,122	2,789.10 ⁻⁰⁷	0,012	4,845.10 ⁻⁰⁹	0,057
380	-3,188	0,114	-3,189	0,114	6,482.10 ⁻⁰⁷	0,025	1,703.10 ⁻⁰⁹	0,036
390	-2,078	0,108	-2,079	0,108	6,436.10 ⁻⁰⁷	0,039	6,836.10 ⁻¹⁰	0,024
400	-1,033	0,102	-1,034	0,101	3,961.10 ⁻⁰⁷	0,061	1,941.10 ⁻⁰⁹	0,043
410	-0,048	0,096	-0,048	0,096	7,083.10 ⁻¹⁰	0,055	1,224.10 ⁻⁰⁸	0,115
420	0,883	0,090	0,883	0,090	7,977.10 ⁻⁰⁸	0,032	3,261.10 ⁻¹⁵	0,000
430	1,763	0,086	1,763	0,086	2,705.10 ⁻⁰⁸	0,009	8,649.10 ⁻¹⁰	0,034
440	2,596	0,081	2,596	0,081	1,955.10 ⁻⁰⁸	0,005	8,407.10 ⁻¹⁰	0,036
450	3,386	0,077	3,386	0,077	5,428.10 ⁻⁰⁹	0,002	1,799.10 ⁻⁰⁹	0,055
460	4,136	0,073	4,136	0,073	6,024.10 ⁻⁰⁸	0,006	7,226.10 ⁻¹¹	0,012
470	4,848	0,069	4,848	0,069	1,356.10 ⁻¹⁰	0,000	6,492.10 ⁻⁰⁹	0,116
480	5,526	0,066	5,525	0,066	3,385.10 ⁻⁰⁷	0,011	1,326.10 ⁻⁰⁹	0,055
490	6,171	0,063	6,170	0,063	4,627.10 ⁻⁰⁷	0,011	6,523.10 ⁻⁰⁹	0,128
500	6,785	0,060	6,785	0,060	1,993.10 ⁻⁰⁸	0,002	6,496.10 ⁻¹²	0,004
550	9,466	0,048	9,465	0,048	3,988.10 ⁻⁰⁷	0,007	1,253.10 ⁻⁰⁹	0,074
600	11,623	0,039	11,622	0,039	3,124.10 ⁻⁰⁷	0,005	6,208.10 ⁻¹⁰	0,064
650	13,388	0,032	13,387	0,032	9,260.10 ⁻⁰⁷	0,007	6,299.10 ⁻¹⁰	0,078
700	14,851	0,027	14,850	0,027	4,362.10 ⁻⁰⁷	0,004	6,211.10 ⁻¹¹	0,030
750	16,078	0,023	16,078	0,023	7,816.10 ⁻⁰⁸	0,002	3,355.10 ⁻¹²	0,008

Çizelge A.1 (devam ediyor)

T (K)	B_{DENEY} (cm ³ /mol)	$(dB/dT)_{DENEY}$ (cm ³ /mol)/K _D	B_{HESAP} (cm ³ /mol)	$(dB/dT)_{HESAP}$ (cm ³ /mol)/K	B_{HESAP} OSS/(cm ³ /mol)	B_{HESAP} YTOS	$(dB/dT)_{HESAP}$ OSS/((cm ³ /mol)/K)	$(dB/dT)_{HESAP}$ YTOS
800	17,117	0,019	17,117	0,019	$5,202.10^{-08}$	0,001	$1,842.10^{-09}$	0,224
850	18,005	0,016	18,005	0,016	$4,310.10^{-09}$	0,000	$1,526.10^{-09}$	0,237
900	18,768	0,014	18,768	0,014	$1,794.10^{-07}$	0,002	$1,870.10^{-09}$	0,304
950	19,428	0,012	19,429	0,012	$1,282.10^{-06}$	0,006	$1,096.10^{-10}$	0,085
1000	20,003	0,011	20,004	0,011	$9,157.10^{-07}$	0,005	$1,048.10^{-09}$	0,302
Toplam Top/N Sonuç					$1,925.10^{-04}$	0,523	$1,434.10^{-06}$	3,006
					$3,774.10^{-06}$		$2,812.10^{-08}$	
					0,00194	0,0103	0,000168	0,0589

Burada N toplam veri sayısıdır.

Çizelge A.2 Eşitlik (3.13)'deki B , B_1 ve B_2 katsayılarının belirli sıcaklıklar için hesaplanan değerleri ve belirli basınçlar için hesapla bulunan ses hızlarının deneysel olarak ölçülenlerle birlikte gösterilmesi.

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
0,3074	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,11	319,09
0,4227	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,19	319,17
0,541	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,27	319,25
0,6619	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,34	319,34
0,7828	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,42	319,43
0,91	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,51	319,53
1,04	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,59	319,64
1,17	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,68	319,77
1,292	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,76	319,84
1,4273	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,84	319,96
1,5528	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	319,93	320,07
1,6998	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,02	320,21
1,8271	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,10	320,32
1,9638	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,19	320,45
2,1104	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,29	320,6
2,2675	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,39	320,75
2,3929	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,47	320,88
2,525	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,56	321,02
2,664	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,65	321,17
2,8102	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,75	321,33
2,9626	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,84	321,5
3,1265	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	320,95	321,68
3,3004	293,15	-16,701409	0,210734	-0,001701	321,06	321,92
0,2537	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	321,80	321,79
0,3823	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	321,90	321,88
0,5031	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	321,98	321,97
0,6143	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,06	322,06
0,7352	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,15	322,16
0,8576	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,24	322,26
0,9819	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,33	322,36
1,105	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,42	322,47
1,2228	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,50	322,58
1,3527	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,59	322,7
1,6029	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,77	322,93
1,4711	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,68	322,81
1,7247	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,86	323,05
1,8557	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	322,96	323,18
1,9963	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,06	323,32
2,1473	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,16	323,48
2,2678	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,25	323,61
2,3949	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,34	323,74
2,529	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,44	323,89
2,6705	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,54	324,05
2,8195	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,65	324,22
2,9767	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,76	324,4
3,1421	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	323,88	324,6
3,3162	298,15	-15,668592	0,202473	-0,001605	324,00	324,82
0,12	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,10	340,14

Çizelge A.2 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
0,3491	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,35	340,38
0,12	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,10	340,14
0,3491	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,35	340,38
0,4519	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,47	340,5
0,4519	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,47	340,5
0,5536	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,58	340,61
0,6535	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,69	340,73
0,7571	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,80	340,85
0,8613	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	340,91	340,97
0,9616	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,02	341,09
1,0736	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,14	341,22
1,1767	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,26	341,35
1,2897	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,38	341,49
1,3876	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,48	341,6
1,4923	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,60	341,73
1,4923	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,60	341,73
1,6102	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,73	341,89
1,7104	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,83	342,01
1,8166	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	341,95	342,15
1,9294	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,07	342,29
2,049	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,20	342,45
2,1759	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,34	342,61
2,3105	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,49	342,8
2,4534	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,64	343
2,5534	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,75	343,14
2,6574	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,86	343,28
2,7656	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	342,98	343,43
2,8781	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	343,10	343,59
2,9951	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	343,23	343,75
3,1168	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	343,36	343,93
3,2433	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	343,49	344,11
3,3745	333,15	-9,448975	0,155863	-0,001100	343,64	344,32
0,6174	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	348,29	348,26
0,7461	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	348,44	348,43
0,8678	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	348,59	348,58
0,9904	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	348,74	348,75
1,1092	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	348,88	348,91
1,2418	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	349,04	349,08
1,3642	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	349,19	349,25
1,4963	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	349,35	349,43
1,6205	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	349,50	349,6
1,7607	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	349,67	349,79
1,9128	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	349,85	350,01
2,0354	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	350,00	350,18
2,1658	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	350,15	350,37
2,3044	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	350,32	350,57
2,4517	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	350,49	350,79
2,6082	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	350,68	351,02
2,7747	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	350,88	351,27
2,9516	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	351,09	351,53

Çizelge A.2 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
3,0757	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	351,24	351,72
3,2051	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	351,40	351,92
3,3403	348,15	-7,228826	0,140537	-0,000948	351,56	352,15
0,3693	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	360,31	360,29
0,4872	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	360,47	360,45
0,6056	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	360,63	360,61
0,7236	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	360,79	360,78
0,8474	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	360,96	360,95
0,9729	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	361,13	361,13
1,0949	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	361,30	361,31
1,232	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	361,48	361,51
1,3593	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	361,66	361,7
1,498	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	361,85	361,91
1,6288	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	362,02	362,1
1,7771	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	362,22	362,33
1,897	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	362,39	362,51
2,025	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	362,56	362,71
2,1616	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	362,75	362,92
2,3072	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	362,94	363,15
2,4625	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	363,15	363,39
2,6281	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	363,38	363,66
2,8047	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	363,62	363,95
2,9291	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	363,78	364,16
3,0591	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	363,96	364,38
3,1946	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	364,14	364,61
3,3358	373,15	-3,989585	0,119423	-0,000751	364,33	364,84

Çizelge A.3 Eşitlik (3.20) kullanılarak belirli basınç ve sıcaklık değerleri için hesaplanan viskozite değerleriyle deneysel viskozite değerlerinin [1] sapmalarıyla birlikte gösterilmesi.

P (MPa)	T(K)	η_H ($\mu\text{Pa.s}$)	η_D ($\mu\text{Pa.s}$)	$\Delta\eta$	$ \Delta\eta /\eta_{DEN} .100$
0,3074	293,15	22,38	22,36	0,02	0,08
0,4227	293,15	22,40	22,4	0,00	0,01
0,541	293,15	22,43	22,42	0,01	0,03
0,6619	293,15	22,45	22,45	0,00	0,01
0,7828	293,15	22,48	22,48	0,00	0,01
0,91	293,15	22,51	22,51	0,00	0,02
1,04	293,15	22,53	22,54	-0,01	0,03
1,17	293,15	22,56	22,57	-0,01	0,04
1,292	293,15	22,59	22,6	-0,01	0,06
1,4273	293,15	22,61	22,64	-0,03	0,11
1,5528	293,15	22,64	22,66	-0,02	0,09
1,6998	293,15	22,67	22,69	-0,02	0,08
1,8271	293,15	22,70	22,72	-0,02	0,10
1,9638	293,15	22,73	22,75	-0,02	0,10
2,1104	293,15	22,76	22,79	-0,03	0,14
2,2675	293,15	22,79	22,82	-0,03	0,13
2,3929	293,15	22,82	22,87	-0,05	0,23
2,525	293,15	22,85	22,9	-0,05	0,24
2,664	293,15	22,87	22,93	-0,06	0,24
2,8102	293,15	22,91	22,97	-0,06	0,28
2,9626	293,15	22,94	23,02	-0,08	0,36
3,1265	293,15	22,97	23,05	-0,08	0,34
3,3004	293,15	23,01	23,11	-0,10	0,44
0,2537	298,15	22,68	22,64	0,04	0,17
0,3823	298,15	22,71	22,7	0,01	0,03
0,5031	298,15	22,73	22,74	-0,01	0,03
0,6143	298,15	22,76	22,76	0,00	0,01
0,7352	298,15	22,79	22,79	0,00	0,02
0,8576	298,15	22,81	22,82	-0,01	0,03
0,9819	298,15	22,84	22,85	-0,01	0,04
1,105	298,15	22,87	22,87	0,00	0,01
1,2228	298,15	22,89	22,89	0,00	0,02
1,3527	298,15	22,92	22,92	0,00	0,01
1,6029	298,15	22,98	22,99	-0,01	0,05
1,4711	298,15	22,95	22,94	0,01	0,04
1,7247	298,15	23,01	23	0,01	0,02
1,8557	298,15	23,03	23,04	-0,01	0,02
1,9963	298,15	23,07	23,07	0,00	0,02
2,1473	298,15	23,10	23,11	-0,01	0,05
2,2678	298,15	23,13	23,14	-0,01	0,06
2,3949	298,15	23,15	23,18	-0,03	0,11
2,529	298,15	23,18	23,21	-0,03	0,11

Çizelge A.3 (devam ediyor)

P (MPa)	T(K)	η_H ($\mu\text{Pa.s}$)	η_D ($\mu\text{Pa.s}$)	$\Delta\eta$	$ \Delta\eta /\eta_{DEN} .100$
2,6705	298,15	23,22	23,24	-0,02	0,10
2,8195	298,15	23,25	23,28	-0,03	0,13
2,9767	298,15	23,28	23,32	-0,04	0,16
3,1421	298,15	23,32	23,36	-0,04	0,17
3,3162	298,15	23,36	23,42	-0,06	0,26
0,12	333,15	24,78	24,8	-0,02	0,07
0,3491	333,15	24,83	24,85	-0,02	0,07
0,12	333,15	24,78	24,8	-0,02	0,07
0,3491	333,15	24,83	24,85	-0,02	0,07
0,4519	333,15	24,85	24,89	-0,04	0,14
0,4519	333,15	24,85	24,89	-0,04	0,14
0,5536	333,15	24,88	24,9	-0,02	0,09
0,6535	333,15	24,90	24,93	-0,03	0,13
0,7571	333,15	24,92	24,95	-0,03	0,12
0,8613	333,15	24,94	24,98	-0,04	0,15
0,9616	333,15	24,96	24,99	-0,03	0,10
1,0736	333,15	24,99	25,02	-0,03	0,13
1,1767	333,15	25,01	25,03	-0,02	0,08
1,2897	333,15	25,03	25,06	-0,03	0,10
1,3876	333,15	25,06	25,08	-0,02	0,10
1,4923	333,15	25,08	25,1	-0,02	0,09
1,4923	333,15	25,08	25,1	-0,02	0,09
1,6102	333,15	25,10	25,13	-0,03	0,11
1,7104	333,15	25,12	25,15	-0,03	0,10
1,8166	333,15	25,15	25,17	-0,02	0,09
1,9294	333,15	25,17	25,2	-0,03	0,11
2,049	333,15	25,20	25,23	-0,03	0,13
2,1759	333,15	25,22	25,24	-0,02	0,06
2,3105	333,15	25,25	25,29	-0,04	0,14
2,4534	333,15	25,28	25,3	-0,02	0,06
2,5534	333,15	25,31	25,34	-0,03	0,14
2,6574	333,15	25,33	25,36	-0,03	0,13
2,7656	333,15	25,35	25,38	-0,03	0,11
2,8781	333,15	25,38	25,41	-0,03	0,14
2,9951	333,15	25,40	25,43	-0,03	0,12
3,1168	333,15	25,43	25,46	-0,03	0,13
3,2433	333,15	25,45	25,49	-0,04	0,14
3,3745	333,15	25,48	25,52	-0,04	0,15
0,6174	348,15	25,79	25,79	0,00	0,00
0,7461	348,15	25,82	25,83	-0,01	0,05
0,8678	348,15	25,84	25,85	-0,01	0,03
0,9904	348,15	25,87	25,89	-0,02	0,08
1,1092	348,15	25,89	25,91	-0,02	0,06
1,2418	348,15	25,92	25,93	-0,01	0,03

Çizelge A.3 (devam ediyor)

P (MPa)	T(K)	η_H ($\mu\text{Pa.s}$)	η_D ($\mu\text{Pa.s}$)	$\Delta\eta$	$ \Delta\eta /\eta_{DEN} .100$
1,3642	348,15	25,95	25,96	-0,01	0,04
1,4963	348,15	25,98	26	-0,02	0,09
1,6205	348,15	26,00	26,02	-0,02	0,07
1,7607	348,15	26,03	26,04	-0,01	0,03
1,9128	348,15	26,06	26,07	-0,01	0,02
2,0354	348,15	26,09	26,1	-0,01	0,04
2,1658	348,15	26,12	26,12	0,00	0,01
2,3044	348,15	26,15	26,17	-0,02	0,09
2,4517	348,15	26,18	26,18	0,00	0,00
2,6082	348,15	26,21	26,23	-0,02	0,07
2,7747	348,15	26,25	26,26	-0,01	0,05
2,9516	348,15	26,28	26,3	-0,02	0,06
3,0757	348,15	26,31	26,32	-0,01	0,03
3,2051	348,15	26,34	26,36	-0,02	0,08
3,3403	348,15	26,37	26,39	-0,02	0,09
0,3693	373,15	27,22	27,19	0,03	0,12
0,4872	373,15	27,25	27,23	0,02	0,06
0,6056	373,15	27,27	27,25	0,02	0,07
0,7236	373,15	27,29	27,28	0,01	0,05
0,8474	373,15	27,32	27,31	0,01	0,03
0,9729	373,15	27,34	27,32	0,02	0,08
1,0949	373,15	27,37	27,35	0,02	0,06
1,232	373,15	27,40	27,38	0,02	0,06
1,3593	373,15	27,42	27,4	0,02	0,08
1,498	373,15	27,45	27,44	0,01	0,03
1,6288	373,15	27,47	27,46	0,01	0,05
1,7771	373,15	27,50	27,49	0,01	0,05
1,897	373,15	27,53	27,51	0,02	0,07
2,025	373,15	27,55	27,55	0,00	0,02
2,1616	373,15	27,58	27,56	0,02	0,08
2,3072	373,15	27,61	27,6	0,01	0,04
2,4625	373,15	27,64	27,63	0,01	0,05
2,6281	373,15	27,68	27,67	0,01	0,02
2,8047	373,15	27,71	27,68	0,03	0,11
2,9291	373,15	27,74	27,73	0,01	0,02
3,0591	373,15	27,76	27,74	0,02	0,08
3,1946	373,15	27,79	27,78	0,01	0,04
3,3358	373,15	27,82	27,8	0,02	0,07

Çizelge A.4 Endüstriyel gazlardan olan Ar'un belirli sıcaklık ve yoğunluk değerleri için ölçülen termal iletkenlik katsayılarının Sun, Venart ve Prasad'ın [9] hesapladıkları ve bu çalışmada ilgili katsayılarla fit edilerek önerilen (3.44) bağıntısıyla hesaplanan katsayılarla birlikte gösterilmesi.

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_o (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
5,413	296,200	0,018019	0,001139	1,64	0,01769	0,01824	0,01764
5,382	297,893	0,018094	0,001134	1,63	0,01777	0,01832	0,01773
5,344	299,969	0,018185	0,001128	1,62	0,01787	0,01841	0,01783
5,413	296,200	0,018019	0,001139	1,64	0,01769	0,01824	0,01764
5,356	299,161	0,018149	0,001131	1,62	0,01777	0,01837	0,01779
5,294	302,787	0,018308	0,001121	1,61	0,01788	0,01853	0,01797
5,410	296,630	0,018038	0,001138	1,63	0,01772	0,01826	0,01766
5,379	298,304	0,018112	0,001133	1,63	0,01776	0,01833	0,01775
5,379	298,313	0,018112	0,001133	1,63	0,01774	0,01834	0,01775
5,356	299,594	0,018168	0,001129	1,62	0,01778	0,01839	0,01781
5,356	299,588	0,018168	0,001129	1,62	0,01776	0,01839	0,01781
5,327	301,199	0,018239	0,001125	1,62	0,01788	0,01846	0,01789
5,327	301,187	0,018238	0,001125	1,62	0,01789	0,01846	0,01789
5,291	303,246	0,018328	0,001119	1,61	0,01794	0,01855	0,01799
5,291	303,249	0,018329	0,001119	1,61	0,01793	0,01855	0,01799
14,388	296,180	0,018018	0,001139	1,64	0,01800	0,01843	0,01786
14,355	296,844	0,018047	0,001137	1,63	0,01799	0,01846	0,01789
14,314	297,679	0,018084	0,001135	1,63	0,01803	0,01850	0,01793
14,257	298,831	0,018135	0,001131	1,63	0,01807	0,01855	0,01799
14,185	300,299	0,018199	0,001127	1,62	0,01804	0,01861	0,01806
62,334	296,140	0,018016	0,001139	1,64	0,01913	0,01952	0,01903
62,056	297,348	0,01807	0,001136	1,63	0,01918	0,01957	0,01908
61,843	298,266	0,01811	0,001133	1,63	0,01919	0,01960	0,01912
61,567	299,461	0,018163	0,00113	1,62	0,01920	0,01965	0,01917
61,247	300,864	0,018224	0,001126	1,62	0,01926	0,01970	0,01924
60,875	302,519	0,018297	0,001121	1,61	0,01932	0,01977	0,01931
119,821	296,190	0,018019	0,001139	1,64	0,02063	0,02101	0,02057
119,303	297,248	0,018065	0,001136	1,63	0,02066	0,02104	0,02060
118,923	298,027	0,018099	0,001134	1,63	0,02066	0,02107	0,02063
118,431	299,046	0,018144	0,001131	1,62	0,02069	0,02110	0,02067
117,832	300,301	0,018199	0,001127	1,62	0,02070	0,02114	0,02072
117,169	301,705	0,018261	0,001124	1,61	0,02075	0,02118	0,02077
249,710	296,110	0,018015	0,001139	1,64	0,02465	0,02509	0,02471
248,779	296,905	0,01805	0,001137	1,63	0,02468	0,02509	0,02472
248,083	297,507	0,018077	0,001135	1,63	0,02461	0,02509	0,02472
247,182	298,293	0,018111	0,001133	1,63	0,02467	0,02510	0,02473
246,045	299,295	0,018155	0,00113	1,62	0,02465	0,02510	0,02474
244,813	300,394	0,018203	0,001127	1,62	0,02465	0,02510	0,02475
243,494	301,585	0,018256	0,001124	1,61	0,02465	0,02511	0,02476
353,224	296,200	0,018019	0,001139	1,64	0,02870	0,02906	0,02871
352,129	296,839	0,018047	0,001137	1,63	0,02863	0,02904	0,02870

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ⁵ .K ⁻¹ .kg ⁻²)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
351,269	297,347	0,01807	0,001136	1,63	0,02873	0,02902	0,02869
350,163	298,005	0,018099	0,001134	1,63	0,02861	0,02901	0,02868
348,821	298,810	0,018134	0,001131	1,63	0,02861	0,02899	0,02866
347,337	299,709	0,018173	0,001129	1,62	0,02858	0,02897	0,02865
345,637	300,750	0,018219	0,001126	1,62	0,02852	0,02894	0,02863
455,165	296,270	0,018022	0,001139	1,64	0,03296	0,03358	0,03327
453,962	296,829	0,018047	0,001137	1,63	0,03284	0,03355	0,03324
453,021	297,271	0,018066	0,001136	1,63	0,03303	0,03352	0,03322
451,879	297,810	0,01809	0,001134	1,63	0,03286	0,03349	0,03319
450,459	298,485	0,01812	0,001132	1,63	0,03284	0,03345	0,03316
448,781	299,289	0,018155	0,00113	1,62	0,03279	0,03341	0,03312
446,981	300,159	0,018193	0,001128	1,62	0,03276	0,03336	0,03307
545,316	296,340	0,018025	0,001138	1,64	0,03739	0,03809	0,03780
543,271	297,196	0,018063	0,001136	1,63	0,03732	0,03802	0,03774
542,126	297,678	0,018084	0,001135	1,63	0,03729	0,03798	0,03770
540,711	298,277	0,01811	0,001133	1,63	0,0372	0,03793	0,03766
539,053	298,983	0,018142	0,001131	1,62	0,03714	0,03788	0,03760
537,164	299,793	0,018177	0,001129	1,62	0,03707	0,03781	0,03755
535,167	300,656	0,018215	0,001126	1,62	0,03701	0,03775	0,03748
622,168	296,370	0,018027	0,001138	1,64	0,04162	0,04231	0,04205
620,214	297,155	0,018061	0,001136	1,63	0,04148	0,04223	0,04197
619,146	297,585	0,01808	0,001135	1,63	0,04156	0,04219	0,04193
617,857	298,106	0,018103	0,001133	1,63	0,04144	0,04214	0,04188
616,327	298,727	0,01813	0,001132	1,63	0,04135	0,04208	0,04183
614,453	299,492	0,018164	0,00113	1,62	0,04128	0,04201	0,04176
612,702	300,211	0,018195	0,001128	1,62	0,04123	0,04194	0,04169
685,166	296,400	0,018028	0,001138	1,64	0,04570	0,04603	0,04578
684,126	297,117	0,018059	0,001136	1,63	0,04565	0,04600	0,04575
682,370	297,509	0,018077	0,001135	1,63	0,04547	0,04591	0,04566
681,179	297,986	0,018098	0,001134	1,63	0,04538	0,04586	0,04562
679,791	298,544	0,018122	0,001132	1,63	0,04531	0,04580	0,04556
678,171	299,198	0,018151	0,00113	1,62	0,04521	0,04573	0,04549
676,331	299,944	0,018184	0,001128	1,62	0,04512	0,04565	0,04542
740,837	296,420	0,018029	0,001138	1,63	0,04962	0,04952	0,04928
739,221	297,074	0,018058	0,001136	1,63	0,04962	0,04944	0,04920
738,321	297,437	0,018074	0,001135	1,63	0,04933	0,04940	0,04916
737,220	297,882	0,018093	0,001134	1,63	0,04931	0,04935	0,04911
735,906	298,415	0,018117	0,001133	1,63	0,04923	0,04929	0,04906
734,412	299,023	0,018143	0,001131	1,62	0,04914	0,04922	0,04899
732,720	299,714	0,018174	0,001129	1,62	0,04904	0,04914	0,04892
788,442	296,440	0,01803	0,001138	1,63	0,05323	0,05264	0,05241
786,872	297,093	0,018058	0,001136	1,63	0,05304	0,05256	0,05234
786,873	297,092	0,018058	0,001136	1,63	0,05315	0,05256	0,05234
786,101	297,415	0,018073	0,001135	1,63	0,05295	0,05252	0,05230

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ⁵ .K ⁻¹ .kg ⁻²)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
786,106	297,411	0,018072	0,001135	1,63	0,05308	0,05252	0,05230
785,117	297,826	0,018091	0,001134	1,63	0,05300	0,05248	0,05225
785,123	297,819	0,01809	0,001134	1,63	0,05299	0,05248	0,05225
783,940	298,315	0,018112	0,001133	1,63	0,05291	0,05242	0,05220
783,943	298,311	0,018112	0,001133	1,63	0,05289	0,05242	0,05220
782,592	298,879	0,018137	0,001131	1,63	0,05283	0,05235	0,05214
782,600	298,874	0,018137	0,001131	1,63	0,05281	0,05236	0,05214
781,068	299,518	0,018165	0,00113	1,62	0,05268	0,05228	0,05206
781,069	299,516	0,018165	0,00113	1,62	0,05268	0,05228	0,05206
12,678	323,560	0,019208	0,001068	1,53	0,01922	0,01958	0,01918
12,650	324,283	0,019239	0,001066	1,53	0,01926	0,01962	0,01921
12,616	325,124	0,019275	0,001064	1,53	0,01930	0,01965	0,01925
12,570	326,305	0,019325	0,001061	1,52	0,01939	0,01970	0,01931
12,438	329,683	0,01947	0,001054	1,51	0,01957	0,01984	0,01947
56,330	323,580	0,019209	0,001068	1,53	0,02031	0,02057	0,02024
56,090	324,853	0,019263	0,001065	1,53	0,02037	0,02062	0,02029
55,910	325,814	0,019304	0,001063	1,53	0,02041	0,02066	0,02033
55,678	327,061	0,019358	0,00106	1,52	0,02047	0,02070	0,02039
55,410	328,516	0,01942	0,001056	1,52	0,02052	0,02076	0,02045
110,015	323,580	0,019209	0,001068	1,53	0,02168	0,02193	0,02165
109,588	324,664	0,019255	0,001065	1,53	0,02169	0,02197	0,02169
109,251	325,523	0,019292	0,001063	1,53	0,02181	0,02200	0,02172
108,836	326,592	0,019338	0,001061	1,52	0,02182	0,02203	0,02176
108,338	327,889	0,019393	0,001058	1,52	0,02187	0,02207	0,02181
107,764	329,393	0,019457	0,001054	1,51	0,02194	0,02212	0,02187
221,036	323,580	0,019209	0,001068	1,53	0,02503	0,02530	0,02507
220,279	324,443	0,019246	0,001066	1,53	0,02504	0,02531	0,02509
219,700	325,112	0,019274	0,001064	1,53	0,02508	0,02532	0,02510
218,969	325,962	0,019311	0,001062	1,53	0,02513	0,02533	0,02511
218,068	327,020	0,019356	0,00106	1,52	0,02514	0,02534	0,02514
217,009	328,276	0,01941	0,001057	1,52	0,02515	0,02536	0,02516
215,893	329,616	0,019467	0,001054	1,51	0,02523	0,02538	0,02519
316,061	323,570	0,019208	0,001068	1,53	0,02852	0,02875	0,02856
315,112	324,303	0,01924	0,001066	1,53	0,02853	0,02874	0,02855
314,389	324,869	0,019264	0,001065	1,53	0,02856	0,02874	0,02855
313,495	325,573	0,019294	0,001063	1,53	0,02858	0,02873	0,02855
312,362	326,472	0,019333	0,001061	1,52	0,02858	0,02873	0,02855
311,053	327,520	0,019377	0,001059	1,52	0,02861	0,02872	0,02855
309,647	328,658	0,019426	0,001056	1,52	0,02863	0,02872	0,02855
403,203	323,530	0,019207	0,001068	1,53	0,03212	0,03238	0,03221
401,382	324,654	0,019255	0,001065	1,53	0,03213	0,03235	0,03219
400,404	325,263	0,019281	0,001064	1,53	0,03206	0,03233	0,03217
399,095	326,083	0,019316	0,001062	1,53	0,03208	0,03231	0,03216
397,669	326,984	0,019354	0,00106	1,52	0,03200	0,03229	0,03214

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
396,126	327,967	0,019396	0,001058	1,52	0,03204	0,03226	0,03212
394,316	329,132	0,019446	0,001055	1,52	0,03203	0,03223	0,03209
486,058	323,550	0,019208	0,001068	1,53	0,03582	0,03625	0,03611
484,204	324,546	0,01925	0,001066	1,53	0,03581	0,03621	0,03606
483,157	325,109	0,019274	0,001064	1,53	0,03579	0,03618	0,03604
481,908	325,786	0,019303	0,001063	1,53	0,03574	0,03615	0,03601
480,391	326,613	0,019339	0,001061	1,52	0,03576	0,03611	0,03598
478,722	327,529	0,019378	0,001059	1,52	0,03569	0,03607	0,03594
476,952	328,509	0,01942	0,001056	1,52	0,03573	0,03602	0,03590
558,928	323,590	0,019209	0,001068	1,53	0,03948	0,04000	0,03986
557,089	324,497	0,019248	0,001066	1,53	0,03942	0,03994	0,03981
556,094	324,993	0,019269	0,001065	1,53	0,03944	0,03990	0,03978
554,864	325,609	0,019296	0,001063	1,53	0,03944	0,03987	0,03974
553,476	326,307	0,019326	0,001061	1,52	0,03939	0,03982	0,03970
551,826	327,142	0,019361	0,001059	1,52	0,0394	0,03977	0,03965
549,935	328,106	0,019402	0,001057	1,52	0,03933	0,03971	0,03960
621,771	323,580	0,019209	0,001068	1,53	0,04317	0,04347	0,04335
620,047	324,407	0,019244	0,001066	1,53	0,04313	0,04341	0,04329
619,106	324,859	0,019264	0,001065	1,53	0,04309	0,04337	0,04326
617,972	325,406	0,019287	0,001064	1,53	0,04303	0,04333	0,04322
616,587	326,077	0,019316	0,001062	1,53	0,04298	0,04328	0,04317
614,984	326,857	0,019349	0,00106	1,52	0,04298	0,04322	0,04312
613,210	327,725	0,019386	0,001058	1,52	0,04289	0,04316	0,04306
677,448	323,590	0,019209	0,001068	1,53	0,04669	0,04675	0,04663
675,801	324,372	0,019243	0,001066	1,53	0,04664	0,04668	0,04657
674,952	324,775	0,01926	0,001065	1,53	0,04665	0,04665	0,04654
673,870	325,290	0,019282	0,001064	1,53	0,04651	0,04660	0,04650
672,582	325,905	0,019308	0,001062	1,53	0,04649	0,04655	0,04645
671,130	326,601	0,019338	0,001061	1,52	0,04647	0,04649	0,04640
669,463	327,404	0,019372	0,001059	1,52	0,04644	0,04643	0,04633
728,377	323,580	0,019209	0,001068	1,53	0,05031	0,04990	0,04979
726,068	324,673	0,019256	0,001065	1,53	0,05021	0,04980	0,04970
725,036	325,165	0,019277	0,001064	1,53	0,05017	0,04976	0,04966
723,855	325,729	0,019301	0,001063	1,53	0,05009	0,04971	0,04961
722,497	326,380	0,019329	0,001061	1,52	0,05002	0,04965	0,04956
720,940	327,129	0,019361	0,00106	1,52	0,04997	0,04958	0,04949
719,263	327,939	0,019395	0,001058	1,52	0,04991	0,04951	0,04943
11,971	347,460	0,020219	0,001014	1,46	0,02026	0,02058	0,02031
11,916	349,032	0,020285	0,001011	1,45	0,02039	0,02065	0,02039
11,875	350,220	0,020334	0,001009	1,45	0,02045	0,02069	0,02044
11,822	351,777	0,020399	0,001006	1,44	0,02055	0,02076	0,02052
11,754	353,761	0,020481	0,001001	1,44	0,02074	0,02084	0,02061
54,121	347,470	0,02022	0,001014	1,46	0,02135	0,02153	0,02134
53,905	348,760	0,020273	0,001012	1,45	0,02144	0,02158	0,02139

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
53,744	349,738	0,020314	0,00101	1,45	0,02148	0,02161	0,02143
53,526	351,063	0,020369	0,001007	1,45	0,02164	0,02166	0,02149
53,289	352,519	0,02043	0,001004	1,44	0,02165	0,02172	0,02156
53,015	354,222	0,020501	0,001001	1,44	0,02180	0,02178	0,02163
101,208	347,470	0,02022	0,001014	1,46	0,02254	0,02271	0,02256
100,835	348,610	0,020267	0,001012	1,45	0,0226	0,02275	0,02260
100,556	349,466	0,020303	0,00101	1,45	0,02267	0,02278	0,02264
100,198	350,573	0,020349	0,001008	1,45	0,02276	0,02281	0,02268
99,755	351,955	0,020406	0,001005	1,44	0,02285	0,02286	0,02273
99,273	353,475	0,02047	0,001002	1,44	0,02294	0,02291	0,02279
200,780	347,450	0,020219	0,001014	1,46	0,02555	0,02564	0,02554
200,121	348,385	0,020258	0,001013	1,45	0,02562	0,02566	0,02557
199,645	349,068	0,020286	0,001011	1,45	0,0256	0,02567	0,02558
198,996	350,006	0,020325	0,001009	1,45	0,02565	0,02569	0,02561
198,220	351,138	0,020372	0,001007	1,45	0,02571	0,02571	0,02564
197,336	352,439	0,020427	0,001004	1,44	0,02574	0,02573	0,02567
196,324	353,945	0,020489	0,001001	1,44	0,02587	0,02576	0,02571
283,550	347,440	0,020218	0,001014	1,46	0,02843	0,02852	0,02846
282,731	348,248	0,020252	0,001013	1,45	0,02842	0,02852	0,02846
282,101	348,872	0,020278	0,001012	1,45	0,02852	0,02852	0,02847
281,323	349,646	0,02031	0,00101	1,45	0,02856	0,02853	0,02848
280,361	350,610	0,02035	0,001008	1,45	0,0286	0,02853	0,02849
279,234	351,750	0,020398	0,001006	1,44	0,0286	0,02854	0,02850
277,908	353,105	0,020454	0,001003	1,44	0,0287	0,02854	0,02851
368,370	347,440	0,020218	0,001014	1,46	0,03169	0,03189	0,03185
366,722	348,697	0,020271	0,001012	1,45	0,03171	0,03187	0,03184
365,851	349,367	0,020299	0,00101	1,45	0,0318	0,03186	0,03183
364,748	350,220	0,020334	0,001009	1,45	0,03184	0,03185	0,03183
363,486	351,204	0,020375	0,001007	1,45	0,03182	0,03184	0,03182
362,138	352,263	0,020419	0,001005	1,44	0,03188	0,03183	0,03182
360,405	353,639	0,020476	0,001002	1,44	0,03196	0,03181	0,03181
447,650	347,450	0,020219	0,001014	1,46	0,03512	0,03542	0,03540
445,934	348,561	0,020265	0,001012	1,45	0,03517	0,03539	0,03537
444,984	349,181	0,020291	0,001011	1,45	0,03515	0,03537	0,03536
443,862	349,918	0,020322	0,001009	1,45	0,03519	0,03535	0,03534
442,553	350,782	0,020358	0,001008	1,45	0,03520	0,03532	0,03532
441,023	351,800	0,0204	0,001005	1,44	0,03522	0,03529	0,03530
439,345	352,926	0,020447	0,001003	1,44	0,03528	0,03526	0,03527
515,191	347,460	0,020219	0,001014	1,46	0,03835	0,03872	0,03872
513,457	348,487	0,020262	0,001012	1,45	0,03835	0,03868	0,03868
512,552	349,025	0,020284	0,001011	1,45	0,03841	0,03865	0,03866
511,438	349,691	0,020312	0,00101	1,45	0,03840	0,03863	0,03863
510,104	350,492	0,020346	0,001008	1,45	0,03840	0,03859	0,03860
508,567	351,421	0,020384	0,001006	1,45	0,03843	0,03855	0,03857

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ⁵ .K ⁻¹ .kg ⁻²)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
506,918	352,424	0,020426	0,001004	1,44	0,03844	0,03851	0,03853
576,258	347,470	0,02022	0,001014	1,46	0,04166	0,04194	0,04195
574,624	348,386	0,020258	0,001013	1,45	0,04167	0,04189	0,04190
573,687	348,914	0,02028	0,001011	1,45	0,04169	0,04186	0,04188
572,620	349,517	0,020305	0,00101	1,45	0,04164	0,04183	0,04185
571,318	350,256	0,020336	0,001009	1,45	0,04165	0,04179	0,04181
569,834	351,103	0,020371	0,001007	1,45	0,04169	0,04174	0,04177
568,084	352,108	0,020413	0,001005	1,44	0,04168	0,04169	0,04172
630,732	347,480	0,02022	0,001014	1,46	0,04490	0,04500	0,04501
629,140	348,351	0,020256	0,001013	1,45	0,04495	0,04494	0,04496
628,273	348,826	0,020276	0,001012	1,45	0,04482	0,04491	0,04493
627,243	349,391	0,0203	0,00101	1,45	0,04490	0,04488	0,04490
626,038	350,055	0,020327	0,001009	1,45	0,04485	0,04483	0,04486
625,975	350,890	0,020362	0,001007	1,45	0,04489	0,04487	0,04490
623,054	351,711	0,020396	0,001006	1,44	0,04488	0,04473	0,04477
682,413	347,460	0,020219	0,001014	1,46	0,04823	0,04806	0,04808
680,945	348,255	0,020252	0,001013	1,45	0,04822	0,04800	0,04803
680,123	348,699	0,020271	0,001012	1,45	0,04822	0,04797	0,04800
679,075	349,267	0,020295	0,001011	1,45	0,04827	0,04793	0,04796
677,982	349,861	0,020319	0,001009	1,45	0,04823	0,04789	0,04792
676,669	350,577	0,020349	0,001008	1,45	0,04822	0,04784	0,04788
675,146	351,411	0,020384	0,001006	1,45	0,04823	0,04778	0,04782
10,944	373,500	0,021292	0,000963	1,38	0,02131	0,02163	0,02152
10,896	375,125	0,021358	0,00096	1,38	0,02150	0,02170	0,02159
10,860	376,340	0,021407	0,000958	1,38	0,02159	0,02175	0,02165
10,813	377,970	0,021473	0,000955	1,37	0,02184	0,02181	0,02172
10,757	379,920	0,021551	0,000952	1,37	0,02200	0,02189	0,02181
48,726	373,510	0,021292	0,000963	1,38	0,02239	0,02247	0,02243
48,539	374,870	0,021347	0,000961	1,38	0,02252	0,02252	0,02249
48,404	375,860	0,021387	0,000959	1,38	0,02253	0,02256	0,02253
48,230	377,150	0,021439	0,000957	1,37	0,02267	0,02261	0,02259
48,028	378,650	0,0215	0,000954	1,37	0,02279	0,02267	0,02265
96,052	373,500	0,021292	0,000963	1,38	0,02349	0,02365	0,02365
95,720	374,670	0,021339	0,000961	1,38	0,02362	0,02369	0,02370
95,469	375,565	0,021375	0,00096	1,38	0,02369	0,02371	0,02373
95,152	376,700	0,021421	0,000958	1,38	0,02384	0,02375	0,02377
94,756	378,130	0,021479	0,000955	1,37	0,02401	0,02380	0,02383
94,297	379,805	0,021547	0,000952	1,37	0,02416	0,02386	0,02390
183,173	373,480	0,021291	0,000963	1,38	0,02607	0,02615	0,02621
182,618	374,450	0,02133	0,000962	1,38	0,02615	0,02617	0,02623
182,184	375,215	0,021361	0,00096	1,38	0,02624	0,02619	0,02626
181,618	376,220	0,021402	0,000958	1,38	0,02632	0,02621	0,02628
180,944	377,425	0,021451	0,000956	1,37	0,02646	0,02624	0,02632
180,155	378,850	0,021508	0,000954	1,37	0,02658	0,02627	0,02636

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ⁻² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ⁻² .K ⁻¹ .kg ⁻²)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
179,330	380,355	0,021569	0,000951	1,37	0,02668	0,02631	0,02640
259,760	373,510	0,021292	0,000963	1,38	0,02876	0,02872	0,02881
259,027	374,400	0,021328	0,000962	1,38	0,02889	0,02873	0,02882
258,497	375,045	0,021354	0,000961	1,38	0,02884	0,02874	0,02884
257,818	375,875	0,021388	0,000959	1,38	0,02888	0,02875	0,02885
256,985	376,900	0,021429	0,000957	1,38	0,02903	0,02876	0,02887
255,950	378,185	0,021481	0,000955	1,37	0,02913	0,02878	0,02889
254,977	379,405	0,021531	0,000953	1,37	0,02920	0,02879	0,02891
337,542	373,510	0,021292	0,000963	1,38	0,03162	0,03169	0,03180
336,716	374,285	0,021323	0,000962	1,38	0,03164	0,03169	0,03180
336,082	374,880	0,021348	0,000961	1,38	0,03176	0,03168	0,03180
335,275	375,640	0,021378	0,00096	1,38	0,03178	0,03168	0,03181
334,305	376,560	0,021416	0,000958	1,38	0,03186	0,03168	0,03181
333,206	377,610	0,021458	0,000956	1,37	0,03195	0,03168	0,03181
331,821	378,945	0,021512	0,000954	1,37	0,03201	0,03168	0,03182
411,083	373,520	0,021292	0,000963	1,38	0,03464	0,03482	0,03495
409,535	374,735	0,021342	0,000961	1,38	0,03471	0,03480	0,03494
408,659	375,430	0,02137	0,00096	1,38	0,03478	0,03479	0,03493
407,667	376,220	0,021402	0,000958	1,38	0,03485	0,03478	0,03492
406,463	377,185	0,021441	0,000957	1,37	0,03492	0,03476	0,03491
405,033	378,340	0,021488	0,000955	1,37	0,03502	0,03474	0,03490
403,665	379,435	0,021532	0,000953	1,37	0,03505	0,03473	0,03489
474,022	373,540	0,021293	0,000963	1,38	0,03761	0,03775	0,03790
472,445	374,655	0,021338	0,000961	1,38	0,0376	0,03772	0,03787
471,568	375,280	0,021364	0,00096	1,38	0,03779	0,03770	0,03786
470,542	376,015	0,021394	0,000959	1,38	0,03771	0,03768	0,03784
469,299	376,910	0,02143	0,000957	1,38	0,03779	0,03766	0,03783
467,933	377,900	0,02147	0,000955	1,37	0,03782	0,03764	0,03781
465,199	379,000	0,021514	0,000953	1,37	0,03787	0,03755	0,03773
534,334	373,550	0,021294	0,000963	1,38	0,04054	0,04078	0,04094
532,826	374,545	0,021334	0,000961	1,38	0,04060	0,04074	0,04091
531,960	375,120	0,021357	0,00096	1,38	0,04065	0,04072	0,04089
530,872	375,845	0,021387	0,000959	1,38	0,04077	0,04070	0,04087
529,602	376,695	0,021421	0,000958	1,38	0,04081	0,04066	0,04084
528,310	377,565	0,021456	0,000956	1,37	0,04087	0,04063	0,04081
526,781	378,600	0,021498	0,000954	1,37	0,04091	0,04060	0,04078
593,143	373,510	0,021292	0,000963	1,38	0,04350	0,04394	0,04411
591,596	374,485	0,021332	0,000962	1,38	0,04359	0,04390	0,04407
590,815	374,980	0,021352	0,000961	1,38	0,04354	0,04387	0,04405
589,824	375,610	0,021377	0,00096	1,38	0,04366	0,04384	0,04402
588,618	376,380	0,021408	0,000958	1,38	0,04373	0,04381	0,04399
587,276	377,240	0,021443	0,000957	1,37	0,04377	0,04377	0,04396
585,593	378,325	0,021487	0,000955	1,37	0,04381	0,04372	0,04392
641,987	373,500	0,021292	0,000963	1,38	0,04691	0,04672	0,04690

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ⁻² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ⁻² .K ⁻¹ .kg ⁻²)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
640,531	374,395	0,021328	0,000962	1,38	0,04700	0,04667	0,04685
639,747	374,880	0,021348	0,000961	1,38	0,04692	0,04665	0,04683
638,797	375,470	0,021371	0,00096	1,38	0,04702	0,04662	0,04680
637,705	376,150	0,021399	0,000959	1,38	0,04706	0,04658	0,04677
636,457	376,930	0,021431	0,000957	1,38	0,04707	0,04654	0,04673
635,079	377,795	0,021466	0,000956	1,37	0,04714	0,04649	0,04669
10,810	398,730	0,022302	0,00092	1,32	0,02253	0,02264	0,02268
10,789	399,485	0,022331	0,000919	1,32	0,02263	0,02267	0,02271
10,765	400,375	0,022366	0,000917	1,32	0,02265	0,02270	0,02275
10,732	401,600	0,022415	0,000915	1,31	0,02274	0,02275	0,02281
10,689	403,180	0,022477	0,000913	1,31	0,02295	0,02281	0,02288
45,435	398,720	0,022301	0,00092	1,32	0,02338	0,02341	0,02352
45,271	400,100	0,022356	0,000918	1,32	0,02357	0,02346	0,02357
45,149	401,130	0,022396	0,000916	1,32	0,02361	0,02349	0,02362
44,987	402,515	0,022451	0,000914	1,31	0,02382	0,02355	0,02368
44,790	404,210	0,022517	0,000911	1,31	0,02402	0,02361	0,02375
89,040	398,710	0,022301	0,00092	1,32	0,02451	0,02447	0,02463
88,754	399,895	0,022348	0,000918	1,32	0,02461	0,02451	0,02467
88,527	400,845	0,022385	0,000916	1,32	0,02475	0,02454	0,02471
88,242	402,045	0,022432	0,000915	1,31	0,02489	0,02458	0,02476
87,874	403,605	0,022493	0,000912	1,31	0,02504	0,02464	0,02482
87,525	405,095	0,022552	0,00091	1,31	0,02517	0,02469	0,02488
169,468	398,710	0,022301	0,00092	1,32	0,02689	0,02674	0,02694
168,968	399,755	0,022342	0,000918	1,32	0,02703	0,02676	0,02697
168,592	400,545	0,022373	0,000917	1,32	0,02701	0,02678	0,02700
168,115	401,550	0,022413	0,000915	1,31	0,02709	0,02681	0,02703
167,535	402,785	0,022461	0,000913	1,31	0,02722	0,02684	0,02707
166,814	404,330	0,022522	0,000911	1,31	0,02739	0,02688	0,02712
240,652	398,690	0,0223	0,00092	1,32	0,02926	0,02906	0,02929
240,020	399,600	0,022336	0,000918	1,32	0,02933	0,02907	0,02931
239,517	400,330	0,022365	0,000917	1,32	0,02948	0,02908	0,02933
238,920	401,200	0,022399	0,000916	1,32	0,02943	0,02910	0,02935
238,154	402,325	0,022443	0,000914	1,31	0,02956	0,02911	0,02937
237,280	403,620	0,022494	0,000912	1,31	0,02970	0,02913	0,02940
236,405	404,925	0,022545	0,00091	1,31	0,02983	0,02915	0,02943
315,766	398,970	0,022311	0,00092	1,32	0,03203	0,03184	0,03211
315,017	399,495	0,022332	0,000919	1,32	0,03216	0,03183	0,03210
314,449	400,125	0,022357	0,000918	1,32	0,03211	0,03183	0,03211
313,762	400,890	0,022387	0,000916	1,32	0,03214	0,03184	0,03212
312,855	401,905	0,022427	0,000915	1,31	0,03230	0,03184	0,03213
311,796	403,100	0,022474	0,000913	1,31	0,03248	0,03185	0,03214
310,754	404,285	0,02252	0,000911	1,31	0,03244	0,03185	0,03215
381,578	398,660	0,022299	0,00092	1,32	0,03478	0,03453	0,03481
380,760	399,425	0,022329	0,000919	1,32	0,03492	0,03453	0,03481

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
380,156	399,990	0,022351	0,000918	1,32	0,03472	0,03452	0,03481
379,416	400,685	0,022379	0,000917	1,32	0,03489	0,03452	0,03481
378,468	401,580	0,022414	0,000915	1,31	0,03494	0,03451	0,03481
377,336	402,655	0,022456	0,000914	1,31	0,03499	0,03451	0,03481
376,128	403,810	0,022502	0,000912	1,31	0,03506	0,03450	0,03482
442,251	398,650	0,022298	0,00092	1,32	0,03754	0,03725	0,03755
440,774	399,880	0,022347	0,000918	1,32	0,03766	0,03723	0,03753
439,955	400,565	0,022374	0,000917	1,32	0,03756	0,03722	0,03753
439,002	401,365	0,022405	0,000916	1,32	0,03752	0,03720	0,03752
437,835	402,350	0,022444	0,000914	1,31	0,03768	0,03719	0,03751
436,499	403,485	0,022489	0,000912	1,31	0,03768	0,03717	0,03750
435,119	404,665	0,022535	0,00091	1,31	0,03774	0,03715	0,03749
499,383	398,680	0,0223	0,00092	1,32	0,04029	0,04001	0,04032
497,942	399,785	0,022343	0,000918	1,32	0,0404	0,03998	0,04030
497,118	400,420	0,022368	0,000917	1,32	0,04034	0,03996	0,04029
496,051	401,245	0,022401	0,000916	1,32	0,04037	0,03994	0,04027
495,054	402,020	0,022431	0,000915	1,31	0,04035	0,03992	0,04026
493,831	402,975	0,022469	0,000913	1,31	0,04048	0,03990	0,04024
492,450	404,060	0,022511	0,000911	1,31	0,04054	0,03987	0,04022
549,542	398,680	0,0223	0,00092	1,32	0,04282	0,04259	0,04291
548,114	399,720	0,022341	0,000918	1,32	0,04286	0,04255	0,04288
547,341	400,285	0,022363	0,000917	1,32	0,04282	0,04253	0,04287
546,373	400,995	0,022391	0,000916	1,32	0,04308	0,04251	0,04285
545,193	401,865	0,022425	0,000915	1,31	0,04301	0,04248	0,04283
543,997	402,750	0,02246	0,000913	1,31	0,04295	0,04245	0,04280
542,801	403,640	0,022495	0,000912	1,31	0,04309	0,04243	0,04278
9,863	422,140	0,023213	0,000884	1,27	0,02346	0,02353	0,02372
9,830	423,550	0,023267	0,000882	1,27	0,02364	0,02358	0,02378
9,804	424,655	0,02331	0,00088	1,26	0,02367	0,02363	0,02383
9,772	426,050	0,023363	0,000878	1,26	0,02383	0,02368	0,02389
9,732	427,795	0,02343	0,000876	1,26	0,02407	0,02374	0,02397
43,143	422,130	0,023213	0,000884	1,27	0,02424	0,02426	0,02452
43,019	423,305	0,023258	0,000882	1,27	0,02439	0,02431	0,02457
42,922	424,225	0,023293	0,000881	1,27	0,02450	0,02434	0,02461
42,696	425,395	0,023338	0,000879	1,26	0,02464	0,02438	0,02466
42,649	426,850	0,023394	0,000877	1,26	0,02483	0,02443	0,02472
85,583	422,160	0,023214	0,000884	1,27	0,02540	0,02530	0,02560
85,349	423,245	0,023256	0,000882	1,27	0,02550	0,02533	0,02564
85,181	424,030	0,023286	0,000881	1,27	0,02560	0,02536	0,02567
84,957	425,075	0,023326	0,00088	1,26	0,02568	0,02539	0,02571
84,676	426,400	0,023376	0,000878	1,26	0,02584	0,02544	0,02576
84,360	427,900	0,023434	0,000876	1,26	0,02598	0,02549	0,02582
157,490	422,240	0,023217	0,000884	1,27	0,02745	0,02729	0,02764
157,113	423,160	0,023252	0,000882	1,27	0,02751	0,02732	0,02767

Çizelge A.4 (devam ediyor)

ρ (kg/m ³)	T (K)	λ_0 (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	B_λ (W.m ² .K ⁻¹ .kg ⁻¹)	$C_\lambda \times 10^{-6}$ B_λ (W.m ⁵ .K ⁻¹ .kg ⁻²)	λ_D (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H [9] (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	λ_H' (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)
156,827	423,860	0,023279	0,000881	1,27	0,02760	0,02733	0,02769
156,454	424,775	0,023314	0,00088	1,26	0,02774	0,02736	0,02772
156,013	425,865	0,023356	0,000879	1,26	0,02779	0,02739	0,02776
155,467	427,255	0,023409	0,000877	1,26	0,02793	0,02742	0,02781
225,338	422,240	0,023217	0,000884	1,27	0,02969	0,02945	0,02983
224,835	423,080	0,023249	0,000883	1,27	0,02977	0,02946	0,02985
224,473	423,690	0,023273	0,000882	1,27	0,02983	0,02948	0,02987
224,008	424,475	0,023303	0,000881	1,26	0,02989	0,02949	0,02989
223,429	425,460	0,023341	0,000879	1,26	0,02997	0,02951	0,02991
222,745	426,630	0,023385	0,000877	1,26	0,03010	0,02953	0,02994
293,659	422,220	0,023216	0,000884	1,27	0,03204	0,03189	0,03231
293,099	422,945	0,023244	0,000883	1,27	0,03209	0,03190	0,03232
292,659	423,515	0,023266	0,000882	1,27	0,03218	0,03191	0,03233
292,097	424,245	0,023294	0,000881	1,27	0,03222	0,03191	0,03234
291,412	425,140	0,023328	0,00088	1,26	0,03234	0,03192	0,03235
290,605	426,200	0,023369	0,000878	1,26	0,03243	0,03193	0,03237
289,638	427,480	0,023418	0,000876	1,26	0,03255	0,03194	0,03239
357,504	422,170	0,023214	0,000884	1,27	0,03451	0,03443	0,03486
356,405	423,360	0,02326	0,000882	1,27	0,03455	0,03443	0,03487
355,788	424,030	0,023286	0,000881	1,27	0,03472	0,03443	0,03487
355,045	424,840	0,023317	0,00088	1,26	0,03479	0,03443	0,03488
354,178	425,790	0,023353	0,000879	1,26	0,03486	0,03443	0,03489
353,116	426,960	0,023398	0,000877	1,26	0,03498	0,03443	0,03489
352,247	427,925	0,023435	0,000876	1,26	0,03500	0,03443	0,03490
416,537	422,170	0,023214	0,000884	1,27	0,03715	0,03699	0,03744
415,382	423,270	0,023257	0,000882	1,27	0,03724	0,03698	0,03743
414,755	423,870	0,02328	0,000881	1,27	0,03723	0,03697	0,03743
413,985	424,610	0,023308	0,00088	1,26	0,03728	0,03696	0,03743
413,146	425,420	0,023339	0,000879	1,26	0,03728	0,03696	0,03743
412,110	426,425	0,023377	0,000878	1,26	0,03738	0,03695	0,03743
411,024	427,485	0,023418	0,000876	1,26	0,03745	0,03694	0,03743

Çizelge A.5 Endüstriyel gazlardan SF₆'nın ikinci virial katsayılarını hesaplamak için önerilen (3.49) bağıntısı ve sıcaklığa göre birinci türeviyle hesaplanan katsayıların deneysel değerlerle birlikte gösterilmesi.

T (K)	B _{DENEY} (cm ³ /mol)	(dB/dT) _{DENEY} (cm ³ /mol)/K _D	B _{HESAP} (cm ³ /mol)	(dB/dT) _{HESAP} (cm ³ /mol)/K	B _{HESAP} OSS/(cm ³ /mol)	B _{HESAP} YTOS	(dB/dT) _{HESAP} OSS/((cm ³ /mol)/K)	(dB/dT) _{HES} AP YTOS
223	-528,8	5,337	-528,7	5,329	3,787.10 ⁻³	0,012	6,353.10 ⁻⁵	0,149
225	-518,2	5,176	-518,2	5,170	1,658.10 ⁻³	0,008	4,052.10 ⁻⁵	0,123
230	-493,3	4,802	-493,3	4,799	1,233.10 ⁻³	0,007	9,281.10 ⁻⁶	0,063
235	-470,2	4,466	-470,2	4,465	1,347.10 ⁻⁴	0,002	1,221.10 ⁻⁶	0,025
240	-448,6	4,164	-448,6	4,164	8,269.10 ⁻⁴	0,006	2,230.10 ⁻⁸	0,004
245	-428,5	3,889	-428,5	3,890	2,706.10 ⁻⁵	0,001	7,467.10 ⁻⁷	0,022
250	-409,7	3,641	-409,7	3,642	2,384.10 ⁻⁴	0,004	1,265.10 ⁻⁶	0,031
255	-392	3,415	-392,0	3,416	2,404.10 ⁻³	0,013	1,577.10 ⁻⁶	0,037
260	-375,5	3,208	-375,5	3,209	3,489.10 ⁻⁵	0,002	1,502.10 ⁻⁶	0,038
265	-359,9	3,019	-359,9	3,020	7,166.10 ⁻⁴	0,007	1,306.10 ⁻⁶	0,038
270	-345,3	2,846	-345,3	2,847	1,289.10 ⁻³	0,010	1,500.10 ⁻⁶	0,043
275	-331,4	2,687	-331,4	2,688	1,016.10 ⁻³	0,010	1,093.10 ⁻⁶	0,039
280	-318,4	2,541	-318,4	2,541	1,329.10 ⁻³	0,011	4,239.10 ⁻⁷	0,026
285	-306	2,406	-306,0	2,406	4,708.10 ⁻⁷	0,000	2,584.10 ⁻⁷	0,021
290	-294,3	2,281	-294,3	2,281	2,169.10 ⁻⁴	0,005	1,805.10 ⁻⁷	0,019
295	-283,2	2,165	-283,2	2,165	7,424.10 ⁻⁴	0,010	7,564.10 ⁻⁸	0,013
300	-272,6	2,058	-272,6	2,058	3,136.10 ⁻⁴	0,006	1,362.10 ⁻¹⁰	0,001
305	-262,6	1,899	-262,6	1,958	3,924.10 ⁻⁴	0,008	3,467.10 ⁻³	3,100
310	-253	1,865	-253,0	1,865	5,710.10 ⁻⁴	0,009	8,753.10 ⁻⁹	0,005
315	-243,9	1,779	-243,9	1,779	2,488.10 ⁻⁴	0,006	3,414.10 ⁻⁸	0,010
318,7	-237,5	1,719	-237,4	1,719	2,866.10 ⁻³	0,023	8,278.10 ⁻⁸	0,017
320	-235,2	1,698	-235,2	1,698	6,589.10 ⁻⁴	0,011	1,160.10 ⁻⁷	0,020
340	-204,1	1,424	-204,1	1,424	7,733.10 ⁻⁴	0,014	3,311.10 ⁻⁷	0,040
360	-177,9	1,210	-177,9	1,210	3,469.10 ⁻⁴	0,010	1,271.10 ⁻⁷	0,029
380	-155,4	1,040	-155,4	1,040	2,362.10 ⁻³	0,031	1,092.10 ⁻⁷	0,032
400	-136,1	0,903	-136,1	0,903	1,191.10 ⁻³	0,025	1,720.10 ⁻⁸	0,015
420	-119,1	0,791	-119,2	0,791	3,352.10 ⁻³	0,049	6,356.10 ⁻⁹	0,010
440	-104,3	0,698	-104,3	0,699	1,815.10 ⁻⁴	0,013	8,090.10 ⁻⁸	0,041
460	-91,1	0,621	-91,1	0,621	9,390.10 ⁻⁵	0,011	1,244.10 ⁻⁷	0,057
480	-79,4	0,555	-79,4	0,556	1,782.10 ⁻³	0,053	1,134.10 ⁻⁷	0,061
500	-68,8	0,500	-68,8	0,500	2,344.10 ⁻⁴	0,022	1,152.10 ⁻⁷	0,068
550	-46,7	0,392	-46,7	0,392	2,896.10 ⁻⁴	0,036	2,163.10 ⁻⁸	0,038
600	-29,1	0,315	-29,1	0,315	5,321.10 ⁻⁴	0,079	2,888.10 ⁻⁹	0,017
650	-14,9	0,258	-14,9	0,258	6,182.10 ⁻⁴	0,167	3,308.10 ⁻⁹	0,022
700	-3,1	0,215	-3,1	0,215	1,454.10 ⁻⁸	0,004	3,225.10 ⁻⁸	0,083
750	6,8	0,182	6,8	0,182	3,115.10 ⁻⁴	0,260	9,052.10 ⁻⁸	0,165
800	15,2	0,156	15,2	0,155	1,778.10 ⁻⁴	0,088	7,545.10 ⁻⁸	0,176
850	22,4	0,135	22,4	0,134	2,801.10 ⁻⁴	0,075	5,077.10 ⁻⁸	0,167
900	28,7	0,118	28,7	0,117	4,204.10 ⁻⁷	0,002	1,049.10 ⁻⁸	0,087
950	34,2	0,103	34,2	0,103	1,699.10 ⁻⁴	0,038	1,542.10 ⁻⁸	0,120
1000	39,1	0,092	39,1	0,092	1,001.10 ⁻⁴	0,026	1,959.10 ⁻⁷	0,484
Toplam					3,350.10 ⁻²	1,174	3,594.10 ⁻³	5,556
Top/N					8,171.10 ⁻⁴		8,765.10 ⁻⁵	
Sonuç					0,03	0,03	0,01	0,14

Burada N toplam veri sayısıdır.

Çizelge A.6 Eşitlik (3.55)'deki B , B_1 ve B_2 katsayılarının belirli sıcaklıklar için hesaplanan değerleri ve belirli basınçlar için hesapla bulunan ses hızlarının deneysel olarak ölçülenlerle birlikte gösterilmesi.

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
0,13143	230	-493,335119	4,799127	-0,070274	117,803	117,714
0,16261	230	-493,335119	4,799127	-0,070274	117,018	116,867
0,19468	230	-493,335119	4,799127	-0,070274	116,206	115,98
0,22141	230	-493,335119	4,799127	-0,070274	115,525	115,225
0,10291	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	121,095	121,072
0,1544	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	119,942	119,866
0,20242	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	118,856	118,699
0,25653	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	117,620	117,34
0,30861	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	116,418	115,981
0,36204	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	115,173	114,534
0,4012	240	-448,628756	4,163601	-0,057384	114,251	113,431
0,17474	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	122,163	122,098
0,21377	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	121,370	121,257
0,255	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	120,525	120,342
0,31025	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	119,385	119,087
0,35499	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	118,453	118,037
0,41017	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	117,294	116,701
0,45793	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	116,281	115,508
0,51611	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	115,035	113,993
0,55197	250	-409,684559	3,641925	-0,047360	114,261	113,027
0,10273	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	126,071	126,086
0,14393	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	125,325	125,313
0,18741	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	124,532	124,487
0,23189	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	123,716	123,625
0,27493	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	122,921	122,773
0,31468	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	122,182	121,973
0,35947	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	121,344	121,051
0,40959	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	120,400	119,994
0,46361	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	119,373	118,824
0,51506	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	118,388	117,674
0,56629	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	117,398	116,495
0,61382	260	-375,494094	3,209303	-0,039471	116,472	115,366
0,10154	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	128,493	128,515
0,13377	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	127,965	127,962
0,16546	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	127,444	127,432
0,19954	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	126,881	126,848
0,23148	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	126,351	126,292
0,2569	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	125,928	125,845
0,2846	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	125,465	125,356
0,30755	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	125,081	124,944
0,3562	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	124,261	124,061
0,41111	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	123,330	123,043
0,46206	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	122,459	122,076
0,51113	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	121,615	121,125
0,56252	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	120,724	120,105
0,61824	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	119,751	118,971
0,66651	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	118,902	117,959
0,71747	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	117,999	116,866
0,76589	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	117,134	115,798
0,80243	270	-345,264096	2,847151	-0,033192	116,477	114,973
0,05005	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	131,604	131,636
0,0638	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	131,401	131,433

Çizelge A.6 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
0,07716	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	131,203	131,231
0,0899	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	131,015	131,035
0,1027	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	130,825	130,841
0,11772	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	130,602	130,613
0,13006	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	130,419	130,427
0,14373	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	130,215	130,218
0,15271	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	130,082	130,082
0,19856	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	129,396	129,375
0,24214	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	128,741	128,695
0,28371	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	128,113	128,037
0,32887	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	127,427	127,312
0,3724	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	126,763	126,604
0,41661	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	126,084	125,874
0,45592	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	125,478	125,215
0,50909	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	124,653	124,307
0,56153	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	123,834	123,397
0,61104	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	123,056	122,52
0,66443	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	122,212	121,555
0,72248	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	121,287	120,481
0,76797	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	120,557	119,621
0,81635	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	119,776	118,687
0,86777	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	118,940	117,672
0,90701	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	118,298	116,881
0,94754	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	117,632	116,048
1,00442	280	-318,363548	2,541365	-0,028144	116,690	114,852
0,10295	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	135,388	135,402
0,11693	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	135,216	135,226
0,13168	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	135,034	135,043
0,1458	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	134,860	134,863
0,16046	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	134,679	134,681
0,17372	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	134,515	134,513
0,18834	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	134,333	134,328
0,20155	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	134,170	134,16
0,21575	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	133,993	133,98
0,23116	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	133,802	133,783
0,25532	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	133,501	133,473
0,31049	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	132,811	132,76
0,3636	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	132,144	132,066
0,41711	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	131,468	131,358
0,47125	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	130,780	130,634
0,5219	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	130,134	129,947
0,57914	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	129,399	129,16
0,63359	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	128,697	128,401
0,6828	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	128,059	127,705
0,71827	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	127,597	127,199
0,76862	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	126,938	126,471
0,82296	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	126,223	125,675
0,8656	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	125,660	125,039
0,92555	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	124,863	124,137
0,97209	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	124,241	123,426
1,0205	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	123,591	122,675
1,0707	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	122,912	121,882
1,1225	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	122,209	121,051
1,1768	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	121,467	120,165

Çizelge A.6 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
1,2334	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	120,688	119,226
1,2684	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	120,205	118,634
1,3272	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	119,388	117,622
1,3885	300	-272,617708	2,057988	-0,020689	118,530	116,543
0,07323	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	140,094	140,106
0,08403	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,983	139,996
0,09443	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,876	139,886
0,10475	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,770	139,779
0,11655	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,649	139,655
0,12714	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,540	139,546
0,13703	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,438	139,442
0,14804	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,325	139,326
0,15342	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	139,269	139,272
0,1936	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	138,854	138,85
0,23454	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	138,430	138,417
0,27478	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	138,011	137,992
0,31515	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	137,590	137,562
0,35308	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	137,194	137,156
0,39218	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	136,784	136,734
0,42798	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	136,407	136,346
0,46786	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	135,986	135,911
0,5067	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	135,575	135,487
0,56555	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	134,950	134,836
0,63605	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	134,198	134,048
0,67033	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	133,830	133,661
0,71423	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	133,358	133,162
0,77261	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	132,728	132,496
0,81484	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	132,270	132,008
0,86381	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	131,737	131,44
0,91456	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	131,182	130,843
0,97799	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	130,485	130,09
1,0303	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	129,908	129,466
1,0645	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	129,529	129,051
1,1201	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	128,911	128,372
1,1791	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	128,252	127,646
1,2174	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	127,822	127,166
1,2811	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	127,104	126,365
1,3225	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	126,635	125,836
1,3648	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	126,155	125,293
1,4084	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	125,657	124,726
1,453	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	125,146	124,142
1,4998	320	-235,225668	1,698097	-0,015611	124,608	123,523
0,10311	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	144,042	144,048
0,10475	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	144,028	139,779
0,25794	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	142,698	142,684
0,30708	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	142,268	142,251
0,35306	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	141,866	141,842
0,40557	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	141,404	141,373
0,50663	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	140,512	140,464
0,60919	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	139,600	139,533
0,71153	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	138,684	138,594
0,80834	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	137,813	137,696
0,91816	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	136,817	136,667
1,0147	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	135,936	135,752

Çizelge A.6 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
1,1196	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	134,972	134,746
1,2353	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	133,901	133,62
1,3234	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	133,079	132,752
1,4091	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	132,275	131,898
1,4983	340	-204,127809	1,423542	-0,012046	131,433	130,999
0,10181	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	148,176	148,164
0,15414	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	147,793	147,783
0,20211	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	147,442	147,431
0,25812	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	147,031	147,017
0,30228	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	146,705	146,69
0,35998	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	146,280	146,261
0,40608	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	145,938	145,92
0,51419	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	145,135	145,112
0,60754	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	144,438	144,41
0,71982	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	143,595	143,562
0,80256	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	142,970	142,931
0,92061	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	142,075	142,029
1,0263	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	141,268	141,216
1,1115	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	140,614	140,556
1,2363	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	139,651	139,581
1,3369	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	138,870	138,789
1,4408	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	138,059	137,966
1,5	360	-177,881375	1,209643	-0,009478	137,594	137,494
0,10192	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	152,179	152,164
0,15364	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	151,859	151,842
0,20466	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	151,543	151,527
0,25688	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	151,219	151,202
0,30859	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	150,897	150,881
0,3531	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	150,619	150,605
0,4062	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	150,287	150,273
0,50813	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	149,648	149,637
0,61436	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	148,979	148,971
0,70558	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	148,402	148,401
0,81329	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	147,717	147,721
0,90762	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	147,115	147,126
1,0126	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	146,443	146,462
1,1299	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	145,687	145,719
1,2251	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	145,072	145,114
1,3286	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	144,399	144,453
1,4419	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	143,659	143,728
1,5052	380	-155,448603	1,039933	-0,007585	143,244	143,323
0,23496	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	155,377	155,363
0,29363	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	155,068	155,053
0,35764	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	154,730	154,719
0,40468	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	154,481	154,473
0,51433	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	153,899	153,901
0,60367	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	153,424	153,434
0,71141	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	152,848	152,871
0,82058	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	152,263	152,301
0,9183	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	151,737	151,789
1,028	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	151,144	151,218
1,1198	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	150,646	150,739
1,2197	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	150,103	150,217

Çizelge A.6 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
1,3173	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	149,570	149,705
1,4353	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	148,923	149,088
1,5038	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	148,547	148,73
0,10095	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	156,081	156,061
0,15191	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	155,814	155,797
0,20596	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	155,530	155,513
0,25231	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	155,286	155,27
0,30533	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	155,006	154,993
0,36	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	154,718	154,706
0,40239	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	154,493	154,485
0,50905	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	153,927	153,927
0,60416	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	153,421	153,428
0,71934	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	152,806	152,826
0,80883	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	152,326	152,357
0,90863	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	151,789	151,836
1,0232	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	151,170	151,237
1,1164	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	150,665	150,75
1,217	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	150,118	150,222
1,3156	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	149,579	149,706
1,4349	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	148,925	149,082
1,5025	400	-136,065482	0,903119	-0,006161	148,554	148,73
0,10124	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	159,877	159,854
0,15116	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	159,655	159,633
0,20583	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	159,412	159,392
0,25604	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	159,188	159,17
0,30291	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	158,978	158,965
0,35848	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	158,730	158,72
0,40764	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	158,510	158,502
0,51143	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	158,044	158,047
0,60264	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	157,633	157,646
0,71236	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	157,137	157,167
0,81127	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	156,690	156,735
0,94875	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	156,065	156,135
1,0255	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	155,715	155,803
1,1107	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	155,326	155,434
1,2188	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	154,830	154,969
1,309	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	154,416	154,578
1,422	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	153,895	154,096
1,4934	420	-119,157901	0,791270	-0,005070	153,565	153,788
0,2055	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	163,192	163,181
0,25406	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	163,008	162,997
0,3073	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	162,807	162,8
0,35824	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	162,614	162,61
0,41176	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	162,411	162,411
0,50374	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	162,062	162,072
0,61453	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	161,641	161,662
0,71474	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	161,259	161,297
0,8075	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	160,904	160,96
0,91378	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	160,497	160,578
1,0033	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	160,153	160,255
1,1018	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	159,774	159,904
1,2011	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	159,391	159,546

Çizelge A.6 (devam ediyor)

P (MPa)	T (K)	B (cm ³ /mol)	B ₁ ((cm ³ /mol)/K)	B ₂ ((cm ³ /mol)/K ²)	c _H (m/s)	c _D (m/s)
1,3103	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	158,968	159,158
1,4292	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	158,507	158,737
1,5048	440	-104,286528	0,698694	-0,004222	158,213	158,469
0,41244	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	166,216	166,216
0,51276	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	165,895	165,905
0,60802	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	165,589	165,613
0,71452	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	165,247	165,288
0,82277	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	164,899	164,963
0,90069	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	164,648	164,726
1,0185	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	164,267	164,376
1,1192	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	163,941	164,076
1,2324	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	163,574	163,745
1,2999	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	163,354	163,547
1,4197	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,964	163,2
1,4989	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,706	162,973
1,4992	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,705	162,971
1,4995	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,704	162,97
1,5	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,702	162,969
1,5002	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,701	162,968
1,5006	460	-91,109690	0,621222	-0,003551	162,700	162,967

ÖZGEÇMİŞ

Ali Kemal GARİP, 1980 yılında Araklı-TRABZON’da doğdu; İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak’ta tamamladı; 1997 yılında girdiği Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’nden 2001 yılında Fizikçi olarak mezun oldu; 2001 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı; 2002 yılından beri Z.K.Ü Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Zonguldak Karaelmas Üni.
Fen-Edebiyat Fak. Fiz. Böl.
67100 ZONGULDAK

Tel: (372) 257 4010
Faks: (372) 257 4181
E-posta: alikemalgarip@yahoo.com