

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ FAZLI AKIŞ ŞARTLARINDA AYRIŞTIRICIDAKİ
DAMLACIK HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Ömer ÜNAL

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail TEKE

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1 Dikey Borularda İki Fazlı Akış Formları	4
2.1.1 Boru İçinde Dikey Akışlar için Adyabatik Akış Form Haritaları.....	5
2.2 Akış Görselleme	8
2.2.1 Geçici Rejimde İki Fazlı Akışın İncelenmesi.....	8
2.2.2 Rotary Kompresörde Kullanılan Ayrıştırıcı İçerisindeki Akışın Nicel Analizi	15
2.2.3 Sıvı-Gaz Halkasal Akışında Damlacık Çapı Ölçümü.....	17
2.3 Ayrıştırıcı Tasarımı.....	18
2.3.1 Ayrıştırıcının Evsel Tip Bir Soğutucuda Soğutucu Akışkan Dağılımına Etkisinin İncelenmesi	18
2.3.2 Soğutma Sistemlerinde Akustik ve Isı Transferi Üzerine Bir Çalışma	19
2.3.3 Yer Çekimi Kuvveti Esasına Dayanan Ayrıştırma Teorisi.....	24
2.3.4 Yer Çekimi Kuvveti Esasına Dayanan Ayrıştırma İşleminin Temelleri ve Tasarım	27
2.3.5 Sıvı – Buhar Ayrıştırma Verimi ve Sıvı Damlacık Çapı Hesabı	31
2.3.6 Emiş Hattı Ayrıştırıcısında Soğutucu Akışkan – Yağ Karışımının İncelenmesi...	31
2.3.7 Otomobil Soğutma Sistemlerinde Kullanılan J Tipi Ayrıştırıcı	34
3. DENEY DÜZENEGİ.....	40
3.1 Hızlı Kamera Sistemi.....	40
3.2 Soğuk Işık Kaynaklı Boroskop Sistemi	42
3.3 Ledli Beyaz Işık Kaynağı	43
3.4 Akış Görselleme Çalışması Ön Hazırlıkları	44
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	48
4.1 Isı Odası Deneyleri	48
4.2 Kompresör Kalorimetre Deneyleri	48
4.3 Ayrıştırıcı İçerisinde Depolanan Sıvı Soğutucu Akışkan Miktarının Belirlenmesi	49
4.4 Ayrıştırıcı İçerisinde Hareket Eden Soğutucu Akışkan Damlacıklarının Analizi .	51

5.	MATEMATİKSEL MODEL.....	57
5.1	Matematiksel Model için Yapılan Kabuller	57
5.2	Zamanla Değişen Açık Sistemlerde Kütleinin Korunumu	58
5.3	Soğutucu Akışkan Debisinin Hesaplanması.....	59
5.4	Ayrıştırıcıda Depolanan Sıvı Soğutucu Akışkan Miktarının Belirlenmesi	61
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	69
	KAYNAKLAR	71
	EKLER.....	73
	Ek 1 EES Matematiksel Model	74
	ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGE LİSTESİ

A	Alan, m^2
a	İvme, m/s^2
C_i	Debi katsayısı
D	Çap, m
\vec{F}	Kuvvet vektörü, N
G	Kütlesel akı, kg/m^2s
g	Yer çekimi ivmesi, m/s^2
h	Yükseklik, m
L	Uzunluk, m
M	Kütle, kg
\dot{m}	Kütlesel debi, kg/s
r	Yarıçap, m
S	Emniyet Katsayısı
t	Zaman, s
T	Sıcaklık, $^{\circ}C$
\vec{v}, \vec{u}	Hız vektörü, m/s
V	Hacim, m^3
\dot{V}	Hacimsel Debi, m^3/h

Yunan Harfleri

α	Dinamik viskozite, m^2/s
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
μ	Dinamik viskozite, m^2/s
η	Ayrıştırma verimi

İndisler

A	Ayrıştırıcı
a	Ayrıştırılan
ak	Akışa katılan
b	Buhar
ζ	Çıkan
d	Damlacık
g	Giren
f	Film
s	Sıvı
t	Toplam
y	Yoğuşma

KISALTMA LİSTESİ

ACRC	Air Conditioning and Refrigeration Center
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
CCD	Charge Coupled Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
EES	Engineering Equation Solver
FPS	Frame Per Second
KH	Kontrol Hacmi
PTV	Particle Tracking Velocimetry
R134a	1,1,1,2-Tetrafloretan
R600a	Isobutane
REFPROP	Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Dikey bir boruda yukarı doğru akışta oluşabilecek iki fazlı akış formları.....	4
Şekil 2.2 Dikey bir buharlaştırıcı borusu içindeki akış formları (Collier ve Thome,1994)	6
Şekil 2.3 Dikey borular için iki fazlı akış rejim haritası (Fair, 1960)	7
Şekil 2.4 Dikey borular için iki fazlı akış rejim haritası (Hewit ve Roberts, 1969).....	8
Şekil 2.5 Deneysel akış devresinin şematik gösterimi (ACRC TR-254, 2006)	10
Şekil 2.6 Optik film kalınlık sensörü deney düzeneğinin şematik gösterimi	11
Şekil 2.7 Web kamera ve yüksek hızlı kamera akış görselleme düzeneği (ACRC TR-254, 2006).....	12
Şekil 2.8 30kPa basınç farkında, 13,4mm çapındaki boru içinde sıvı tıkaçlarının, 125kare/s hızındaki bir yüksek hızlı kamera ile elde edilen görüntüleri (ACRC TR-254, 2006)	14
Şekil 2.9 207kPa basınç farkında yapılan su-hava testi (ACRC TR-254, 2006).....	14
Şekil 2.10 Boru yüzeyinde depolanarak tıkaçın neden olduğu basınç artışı ile akışa katılan sıvı damlacıklarının temsili olarak gösterimi (ACRC TR-254, 2006)	14
Şekil 2.11 Rotary kompresör ayrıştırıcı prototipi (Sang-Joon Lee vd., 2003)	16
Şekil 2.12 Hız vektörlerinin zamanla değişimi (Sang-Joon Lee vd., 2003).....	16
Şekil 2.13 Damlacık çapı ölçümü için kurulan deney düzeneği (L.B. Fore vd., 2002)	17
Şekil 2.14 Kompresördeki soğutucu akışkan-yağ karışımının miktarının ölçülmesi (Cara Sanderson Martin, 2007).....	18
Şekil 2.15 Ayrıştırıcıdaki sıvı seviyesinin ölçülmesi (Cara Sanderson Martin, 2007)	19
Şekil 2.16 Konvansiyonel soğutma çevrimi (Serdar Çelik, 2007)	20
Şekil 2.17 Ayrıştırıcı uygulamaları, (a) dikey, (b) eğik, (c) yatay (Serdar Çelik, 2007).....	20
Şekil 2.18 Ayrıştırıcı içine doğru akış (Serdar Çelik, 2007)	21
Şekil 2.19 Buharlaştırıcı çıkışında sıcaklığın zamana bağlı değişimi (Serdar Çelik, 2007)	21
Şekil 2.20 Buharlaştırıcı ve çıkışında konumlandırılan ayrıştırıcı (Serdar Çelik, 2007)	22
Şekil 2.21 Çalışma periyodunun başında soğutucu akışkanın davranışı (Serdar Çelik, 2007) 23	
Şekil 2.22 Gaz akışında sıvı damlacığına etki eden kuvvetler	24
Şekil 2.23 Küresel parçacıklar için Re sayısı ve sürüklenme katsayısı.....	25
Şekil 2.24 Küresel parçacıklar için sürüklenme katsayısı	26
Şekil 2.25 Damlacık çapı ve sıvı-gaz karışımı sıcaklığına bağlı olarak terminal hızının değişimi.....	29
Şekil 2.26 Amonyak sıvı-buhar karışımı için sıcaklık ve damlacık çapının fonksiyonu olarak teorik K' katsayısı	30
Şekil 2.27 Dikey bir sıvı-buhar ayrıştırıcının şematik olarak gösterimi.....	30
Şekil 2.28 Emiş hattında konumlandırılan ayrıştırıcının yapısı	32

Şekil 2.29 Kompresör ve ayrıştırıcıda depolanan yağ miktarının soğutucu akışkan debisiyle değişimi.....	34
Şekil 2.30 Sistemde dolaşan yağın konsantrasyonunun soğutucu akışkan debisiyle değişimi	34
Şekil 2.31 Otomobil soğutma sistemlerinde kullanılan ayrıştırıcı tasarımı.....	35
Şekil 2.32 Sıvı yüksekliğinin giriş kuruluk derecesine göre değişim grafiği.....	36
Şekil 2.33 Basınç düşümünün giriş kuruluk derecesine göre değişimi	36
Şekil 2.34 Giriş borusundaki doyma sıcaklığı ve sabit basınç düşümünde kütleli debi	37
Şekil 2.35 Ayrıştırıcıda depolanan yağ ve soğutucu akışkan miktarı.....	38
Şekil 2.36 Sıvı seviyesindeki değişim	39
Şekil 2.37 İç basınç değişimi	39
Şekil 3.1 Phantom v5.1 hızlı kameranın bağlantı bölümü (Phantom v5.1 Manual).....	40
Şekil 3.2 Kameranın çekim modunda monitörün görünümü (Phantom v5.1 Manual)	41
Şekil 3.3 a) Embrioların mikroskop altında elde edilen görüntüsü b) Ayrıklaştırılmış embriyo gövdelerinin eşleniği c) Analiz sonunda embriyo alanlarının belirlenmesi.....	42
Şekil 3.4 Hızlı kamera sistemine entegre edilmiş boroskop.....	43
Şekil 3.5 Soğuk ışık kaynağı	43
Şekil 3.6 Streamlight Stringer beyaz ledli ışık kaynağı	44
Şekil 3.7 Ayrıştırıcının soğutma sistemindeki konumu	44
Şekil 3.8 Hazırlanan ayrıştırıcı prototipi	45
Şekil 3.9 Montajı gerçekleştirilen ayrıştırıcı prototipi	45
Şekil 3.10 Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi için kurulan soğuk ışık kaynaklı boroskop sistemi	46
Şekil 3.11 Damlacık analizi için kurulan hızlı kamera sistemi	47
Şekil 4.1 Kompresör kalorimetresi test düzeneğinin şematik gösterimi: 1: Kompresör, 2: Yoğuşturucu, 3: Ayrıştırıcı, 4: Aşırı soğutma ünitesi, 5: Debiölçer, 6: Aşırı soğutma ünitesi-2, 7: Kısılma vanası, 8: Buharlaştırıcı	49
Şekil 4.2 Bir çevrim boyunca ayrıştırıcı doluluk oranının zamana bağlı değişimi	50
Şekil 4.3 Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının boroskop ile ölçümü	50
Şekil 4.4 Damlacık analizi için kurulan deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi.....	51
Şekil 4.5 ImageJ programına aktarılan ve fotoğraf işleme sonrasında elde edilen görüntüler.	52
Şekil 4.6 Ayrıştırıcı içerisinde hareket eden soğutucu akışkan damlacıklarının olasılık dağılımı	52
Şekil 4.7 Ayrıştırıcı içerisinde hareket eden soğutucu akışkan damlacıklarının normal dağılımı	53
Şekil 4.8 Ayrıştırıcı içerisinde hareket eden damlacıkların ölçülen hızları ve çapları	54
Şekil 4.9 Sıvı soğutucu akışkan damlacığı üzerine etkiyen kuvvetler	55

Şekil 4.10 Çalışma rejiminin başında akışkanın ayrıştırıcıya iki fazlı olarak gelmeye başladığı anda değişik çaplara sahip damlacıkların sahip olduğu hızların zamana göre değişimi.....	55
Şekil 4.11 Çalışma rejiminin ortasında değişik çaplara sahip damlacıkların sahip olduğu hızların zamana göre değişimi	56
Şekil 4.12 Çalışma rejiminin sonunda değişik çaplara sahip damlacıkların sahip olduğu hızların zamana göre değişimi	56
Şekil 5.1 Kontrol hacminin şematik olarak gösterimi	57
Şekil 5.2 Buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına bağlı soğutucu akışkan debisinin değişim grafiği.....	59
Şekil 5.3 Yoğuşma ve yoğuşturucu giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği.....	61
Şekil 5.4 Bir çevrim boyunca buharlaşma, ayrıştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği	61
Şekil 5.5 Uzun kılcal borulu sistemde buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi.....	63
Şekil 5.6 Uzun kılcal borulu sistemde ayrıştırıcı depolama süresince kütleli debinin zamana bağlı değişimi.....	63
Şekil 5.7 Uzun kılcal borulu sistemde sıvı soğutucu akışkan kütleli debisinin zamana bağlı değişimi.....	64
Şekil 5.8 Uzun kılcal borulu sistemde boşluk oranının zamana bağlı değişimi.....	64
Şekil 5.9 Çevrim başlangıcında 670µm çapındaki damlacık için hesaplanan sürüklenme katsayısı.....	66
Şekil 5.10 Çevrim ortasında 500µm çapındaki damlacık için hesaplanan sürüklenme katsayısı	66
Şekil 5.11 Çevrim sonunda 650µm çapındaki damlacık için hesaplanan sürüklenme katsayısı.....	67
Şekil 5.12 Kısa kılcal borulu sistemde buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi.....	67
Şekil 5.13 Kısa kılcal borulu sistemde buharlaştırıcı çıkışında boşluk oranının zamana bağlı değişimi.....	68

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Kırılma indisleri (ACRC TR-254, 2006)	11
Çizelge 2.2 Foto diyot yerleşimi için kırılma yarıçapları (ACRC TR-254, 2006).....	11
Çizelge 5.1 Hesaplanan soğutucu akışkan debisi katsayıları	59

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenim hayatım ve tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile desteğini hiçbir zaman esirgemedi katkıda bulunan danışman hocam Sn. Prof. Dr. İsmail TEKE'ye en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam için tüm imkan ve olanaklarını sunarak bana destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Cemil İNAN ve Sn. Fatih ÖZKADI'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar için her türlü donanımın sağlanmasında yardımcı olan Akışkanlar Dinamiği Teknoloji Ailesi lideri Sn. Levent AKDAĞ'a, deneysel ve teorik çalışmalar sırasında bilgi birikiminden ve tecrübelerinden yoğun bir şekilde faydalandığım Sn. Hüsnü KERPIÇÇİ'ye, deney düzeneği kurmamda ve tez çalışmamın planlı ve başarılı bir şekilde ilerlemesi için bana her zaman destek olan Sn. Aydın ÇELİK'e, bilgi ve tecrübelerini her zaman paylaşan ve tez çalışmama katkıda bulunan Sn. Murat KANTAŞ ve Sn. Vasi Kadir ERTİŞ'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin kurulmasında, deneysel çalışmalar ve analizler süresince vermiş oldukları teknik destekten ötürü Sn. Çetin LALE'ye, Sn. Nihat KANDEMİR'e, Sn. Fikri ÇAVUŞOĞLU'na ve Sn. Sabahattin HOCAOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalar süreci içerisinde her konuda yardımcı olan başta Sn. Faruk KOCABIYIK, Sn. Erkan KARAKAYA ve Sn. Ercan KURTULDU olmak üzere tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Termodinamik Ailesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca vermiş oldukları idari ve manevi destekten dolayı Sn. Özden AĞRA ve Sn. Özlem EMANET'e teşekkür ederim.

Tez çalışmaların sırasında sıkıntılı zamanlarımda bana her konuda destek olan Sn. Selçuk KARAGÖZ, Sn. Ercan GÜMÜŞ, Sn. Yusuf KOÇ, Sn. Hüsnü ÖZPEDAL ve Sn. Oğuz İSTİF'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen Sn. Önder BALIOĞLU ve Sn. Mert TOSUN'a teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olarak bana moral ve motivasyon aşıl原因an Ar-Ge yüksek lisans ve lisans öğrencisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde benden maddi ve manevi her türlü desteği hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli aileme en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olarak varlığıyla bana en güzel anları yaşatan en değerli hazinem sevgili eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2009

Ömer ÜNAL

ÖZET

Günümüzde enerji kaynaklarının azalması ve buna bağlı olarak enerji maliyetlerinin artması bilim, teknoloji ve mühendislik uygulamalarında enerji verimliliği konusunda yüksek ivmeli gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalar rekabet sürecinde var olabilmek için araştırma, geliştirme ve üretim aşamalarında hedeflenen düşük üretim maliyeti ve enerji tüketimi değerlerini elde etmeye yönelik yeni projeler geliştirmek zorunluluğunu hissetmektedir. Bu zorunluluk sonucunda birçok yenilikçi fikirlerin ve uygulamaların geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında iki fazlı akış şartlarında soğutma sisteminde buharlaştırıcı çıkışında dikey olarak konumlandırılan bir ayrıştırıcının etkinliği incelenmiştir.

Tez çalışması altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmaya başlama nedenleri ve gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda hedeflenen sonuçlar özetlenmiştir.

İkinci bölümde konu ile ilgili olarak gerçekleştirilen kaynak araştırması sunulmuştur. Kaynak araştırması bölümünde ayrıştırıcılarda meydana gelebilecek iki fazlı akış rejimleri hakkında genel bir bilgilendirmenin ardından ayrıştırıcılar üzerinde iki fazlı akış karakteristiklerine yönelik olarak gerçekleştirilen görselleme ve tasarım çalışmaları paylaşılmıştır.

Üçüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan deney düzeneği ve ekipmanları detaylı olarak anlatılmış, deneysel çalışmalarda izlenen yol açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde deneysel çalışmalar için hazırlanan prototip ayrıştırıcının ayırıştırma veriminin belirlenmesine yönelik olarak hızlı kamera ve görüntü analiz programıyla gerçekleştirilen damlacık çapı ve hızı ölçümlerinin sonuçları sunulmuştur.

Beşinci bölümde boroskop ve görüntü analiz programı yardımıyla elde edilen ayrıştırıcı dolma eğrileri, hızlı kamera ile gerçekleştirilen damlacık çapı ölçümü ve sıcaklık ölçümlerinden yararlanarak oluşturulan matematiksel model paylaşılmıştır. Elde edilen eşitlikler ve akış hareketlerinin detaylı olarak gözlemlendiği ayrıştırıcı prototipi yardımıyla buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin ve boşluk oranının zamana bağlı değişimi belirlenmiş, damlacıklar üzerine etkiyen net kuvvet yardımıyla sürükleme katsayısı belirlenmiştir.

Tez çalışmasının altıncı ve son bölümünde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ileriki çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ayrıştırıcı, ayırıştırma verimi, iki fazlı akış, hızlı kamera, akış görselleme, damlacık analizi

ABSTRACT

Due to reduction of energy resources, technological and engineering applications aim on efficient usage of energy nowadays. In order to compete in the energy sector, companies need to produce new research and development projects that will reduce the production costs and energy consumption.

This thesis study investigates the efficiency of vertical separator, which is mounted on the outlet of evaporator, under two-phase flow conditions.

This thesis study is composed of six main chapters. In chapter one, motivation and aim of this study was explained.

The second chapter consists of the literature survey about the subject. Literature survey includes general information about two phase flow regimes which can occur in the separator. Afterwards, flow visualization and system design studies were investigated.

Experimental setup and equipments were explained along with experimental studies in chapter three.

The fourth chapter of this work contains the results of droplet diameter and velocity measurements. High-speed camera pictures were taken to measure the liquid refrigerant droplet diameter and velocity for different test conditions to determine the efficiency of separator.

In chapter five, mathematical model which was developed by using separator filling curves obtained with the use of boroscope and image processing software analysis, droplet diameter and temperature values are measured by high speed camera is represented.

In the sixth and the last chapter the results of this study are evaluated. The suggestions for further studies are presented.

Keywords: separator, separation efficiency, two phase flow, high speed camera, flow visualization, droplet analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarının azalması ve buna bağlı olarak enerji maliyetlerindeki artış bilim, teknoloji ve mühendislik uygulamalarında enerji verimliliği konusunda yüksek ivmeli gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Enerji sektöründe faaliyet gösteren firmalar rekabet sürecinde var olabilmek için araştırma, geliştirme ve üretim aşamalarında hedeflenen düşük üretim maliyeti ve enerji tüketimi değerlerini elde etmeye yönelik yeni projeler geliştirme zorunluluğunu hissetmektedir. Bu zorunluluk sonucunda birçok yenilikçi fikrin ve uygulamanın geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

En genel tanımı ile soğutma işlemi bir maddenin ya da ortamın sıcaklığının onu çevreleyen hacmin sıcaklığının altına indirilmesi ve orada muhafaza edilmesi için ısının alınmasıdır. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinde soğutma, buharlaştırıcı içerisindeki sıvı soğutucu akışkanın soğutma hacminden ısı çekerek buharlaştırılması ile gerçekleşmektedir. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri dört ana komponentten oluşmaktadır. Bunlar kompresör, buharlaştırıcı, kılcal boru ve yoğuşturucudur.

İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi kompresörde izantropik sıkıştırma, yoğuşturucuda çevreye sabit basınçta ısı geçişi, kısılma ve ardından buharlaştırıcıda akışkana sabit basınçta ısı geçişi ile sonlanmaktadır. İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminde, soğutucu akışkan kompresöre doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak yoğuşturucu basıncına sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi sırasında, soğutucu akışkanın sıcaklığı çevre ortam sıcaklığının üzerine çıkar. Soğutucu akışkan daha sonra kızgın buhar olarak yoğuşturucuya girer ve yoğuşturucudan doymuş sıvı olarak ayrılır. Yoğuşma sırasında akışkandan çevreye ısı geçişi olur. Soğutucu akışkanın sıcaklığı doymuş sıvı halindeyken de çevre sıcaklığının üzerindedir. Doymuş sıvı halindeki akışkan daha sonra bir genişleme vanası veya kılcal borudan geçirilerek buharlaştırıcı basıncına kısıılır. Bu hal değişimi sırasında soğutucu akışkanın sıcaklığı, soğutulan ortamın sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıya kuruluk derecesi düşük bir doymuş sıvı buhar karışımı olarak girer ve soğutulan ortamdan ısı alarak tümüyle buharlaşır. Soğutucu akışkan buharlaştırıcıdan doymuş buhar halinde çıkar ve kompresöre girerek çevrimi tamamlar.

Buhar sıkıştırımlı bir soğutma çevriminde içinde sürekli akışın olduğu elemanlar yer alır. Bu nedenle çevrimi oluşturan dört hal değişimi de sürekli akışlı açık sistem olarak ele alınabilir. Soğutucu akışkanın kinetik ve potansiyel enerji değişimleri iş ve ısı geçişi terimlerine oranla küçük olduğu için ihmal edilebilir.

Buhar sıkıştırırmalı soğutmanın gelişimi, 1834'te İngiliz Jacob Perkins'in, eter ve diğer uçucu akışkanları kullanarak gerçekleştirdiği kapalı çevrim buz makinesinin patentini almasıyla başlar. Bu makinenin çalışan bir modeli yapılmış fakat seri üretimine geçilememiştir. 1850 yılında Alexander Twining, zamanın buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemlerinin soğutucu akışkanı olan etil eteri kullanarak buhar sıkıştırırmalı buz makineleri tasarlayıp yapmaya başlamıştır. Başlangıçta büyük yer kaplayan buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri daha çok buz yapımı, biracılık ve soğuk depolamada kullanılmıştır. Otomatik kontrolden yoksun olan bu sistemler buhar makineleriyle çalıştırılmışlardır. 1890'lı yıllarda elektrik motorlarıyla çalışan, otomatik kontrollü daha küçük makineler eskilerin yerini almaya başlamış ve soğutma sistemleri evlere ve kasap dükkanlarına girmiştir. 1930'lardan başlayarak bu konuda yapılan yenilikler ve geliştirmeler etkinliği yüksek, güvenli, küçük ve ucuz soğutma sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır.

Gerçek buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi, ideal çevrimden birkaç bakımdan farklıdır. Bu farklılık daha çok, gerçek çevrimi oluşturan elemanlardaki tersinmezliklerden kaynaklanır. Tersinmezliğin iki ana kaynağı, basıncın düşmesine neden olan akış sürtünmesi ve çevreyle olan ısı alışverişidir. İdeal çevrimde, buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkan kompresöre doymuş buhar halinde girer. Bu koşul uygulamada gerçekleşmez, çünkü soğutucu akışkanın halini hassas bir biçimde kontrol etmek olanaksızdır. Bunun yerine sistem, soğutucu akışkanın kompresör girişinde biraz kızgın buhar olmasını sağlayacak biçimde tasarlanır. Burada amaç, akışkanın kompresöre girişinde tümüyle buhar olmasını güvenceye almaktır. Ayrıca, buharlaştırıcıyla kompresör arasındaki bağlantı genellikle uzundur. Böylece akış sürtünmesinin yol açtığı basınç düşümü ve çevreden soğutucu akışkana olan ısı geçişi önem kazanabilir. Yukarıda sıralanan etkilerin toplam sonucu, soğutucu akışkanın özgül hacminin ve buna bağlı olarak kompresör işinin artmasıdır. Çünkü sürekli akış işi özgül hacimle doğru orantılıdır.

İdeal çevrimde sıkıştırma işlemi içten tersinir ve adyabatiktir. Başka bir deyişle izantropiktir. Gerçek sıkıştırma işleminde ise entropiyi etkileyen akış sürtünmesi ve ısı geçişi vardır. Sürtünme entropiyi artırır. Isı geçişi ise hangi yönde olduğuna bağlı olarak entropiyi artırır veya azaltır. Bu iki etkiye bağlı olarak soğutucu akışkanın entropisi sıkıştırma işlemi sırasında artabilir veya azalabilir. İdeal çevrimde soğutucu akışkanın yoğunlaştırıcıdan çıkış hali, kompresör çıkış basıncında doymuş sıvıdır. Gerçek çevrimde ise kompresör çıkışıyla kısılma vanası girişi arasında bir basınç düşümü vardır. Akışkanın kısılma vanasına girmeden önce tümüyle sıvı halde olması istenir. Doymuş sıvı halini uygulamada tam bir hassaslıkla

gerçekleştirmek zor olduğundan, yoğuşturucudan çıkış hali genellikle sıkıştırılmış sıvı bölgesindedir. Soğutucu akışkan doyma sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulur. Başka bir deyişle aşırı soğutulur. Bunun bir sakıncası yoktur. Çünkü bu durumda soğutucu akışkan buharlaştırıcıya daha düşük bir entalpide girer ve buna bağlı olarak ortamdaki daha çok ısı çekebilir. Kısılma vanası ile buharlaştırıcı birbirine çok yakındır. Bu nedenle aradaki basınç düşümü küçük olmaktadır.

Ayrıştırıcı soğutma sisteminde kullanılan önemli bir komponenttir. Sıvı soğutucu akışkan kompresörde önemli hasarlara neden olabileceğinden kompresöre sadece buhar fazdaki soğutucu akışkanın girmesi garanti edilmelidir. Bu sebeple soğutma sistemlerinde sıvı fazdaki soğutucu akışkanın kompresöre gitmesini önlemek için buharlaştırıcıdan sonra kompresör öncesinde, buharlaştırıcı çıkışına yakın bir yerde ayrıştırıcı kullanılmaktadır. Kompresör çalışma ya da durma periyotlarında buharlaştırıcıdan ayrıştırıcıya sıvı soğutucu akışkan gelebilmektedir. Ayrıştırma veriminin çalışma periyodu boyunca değişimi, bunu etkileyen en önemli parametre olan ortalama damlacık çaplarının tahmin edilmesinin zorluğu yüzünden bilinmemektedir. Ayrıca sistem performansının ve veriminin belirlenebilmesi için soğutucu akışkanın sistem komponentlerindeki dağılımı da iyi belirlenmelidir.

Bu çalışmada, bir soğutma sisteminde buharlaştırıcı çıkışında dikey olarak konumlandırılan bir ayrıştırıcıda değişik kılcal boru uzunlukları için oluşan iki fazlı akış karakteristikleri hızlı kamera yardımıyla incelenmiştir. Kompresör çalışma periyodu süresince ayrıştırıcı içerisinde sıvı soğutucu akışkanın damlacık çapı dağılımları elde edilerek ayrıştırıcının ayrıştırma verimi belirlenmiştir. Ayrıca ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının zamana bağlı değişimi belirlenerek buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin ve boşluk oranının zamana bağlı değişimi belirlenmiştir. Ardından hızlı kamera yardımıyla çapları ve hızları belirlenen sıvı soğutucu akışkan damlacıklarında kuvvet dengesi yardımıyla sürüklenme katsayısı belirlenmiştir. Bu çalışma sadece hızlı kamera ile görüntü işleme tekniklerinin kullanılmasıyla damlacık çapı dağılımının belirlenmesi, damlacık hızı ölçümü, ayrıştırıcı veriminin belirlenmesi ve soğutucu akışkanın sistem komponentlerindeki dağılımı çalışmalarına yardımcı olması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

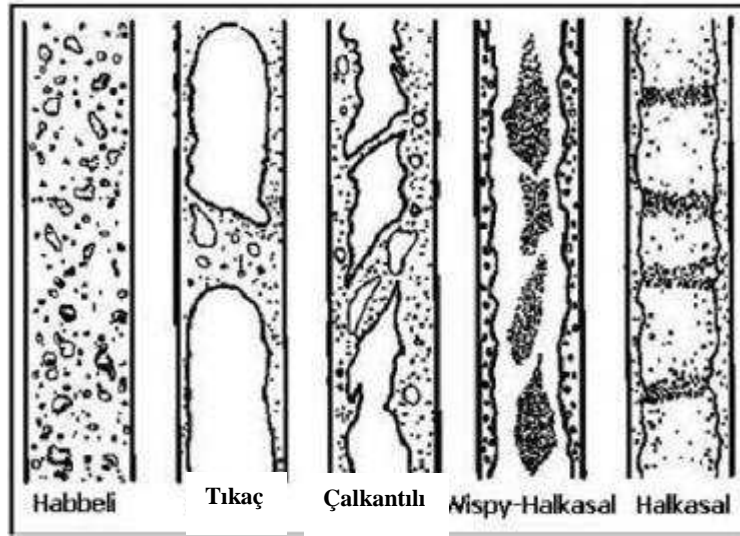
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde soğutma sistemlerinde kullanılan ayrıştırıcılar ile ilgili teorik ve deneysel birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan tez çalışmasına yön veren yaklaşık 50 adet çalışma incelenmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde incelenen çalışmalardan konuyla ilgili olanlar özet halinde sunulmuştur.

2.1 Dikey Borularda İki Fazlı Akış Formları

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında incelenen dikey borularda iki fazlı akış formları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ayrıştırıcı soğutma sisteminde dikey olarak konumlandırıldığından ayrıştırıcı içerisinde oluşan iki fazlı akış formunun belirlenmesinde yardımcı olacağı düşünülen çıktılar paylaşılmıştır.

Dikey bir boruda, buhar ve sıvı fazlarının eş yönlü akışları için çeşitli iki fazlı akış formları oluşabilmektedir. Oluşan bu iki fazlı akış formları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Dikey bir boruda yukarı doğru akışta oluşabilecek iki fazlı akış formları

Kabarcıklı (Habbeli) Akış: Akan sıvı faz içinde gaz fazı olarak gözle görülebilir çok sayıda kabarcık dağılmış olarak bulunmaktadır. Kabarcıklar şekil ve boyut olarak geniş bir alanda çeşitlendirilebilir. Genel olarak küresel olan kabarcıkların çapları borunun çapından çok daha küçüktür.

Tıkaç Akış: Gaz boşluk oranının artmasıyla birlikte kabarcıklar arasındaki uzaklık iyice azalır ve bu kabarcıklar birleşerek boru çapına yakın çaplarda daha büyük kabarcıklar haline dönüşürler. Kabarcıkların karakteristik şekilleri ucu yarı küresel, kuyruğu ise keskin olmayan bir mermiye benzemektedir. Bu şekildeki kabarcıklar genellikle Taylor kabarcıkları olarak

anılmaktadırlar. Taylor kabarcıkları sıvı dalgaları içerisindeki diğer küçük kabarcıklardan ayrılmaktadırlar. Taylor kabarcıkları kendileri ile boru yüzeyi arasında bulunan ince bir sıvı filmi tarafından sarılırlar.

Çalkantılı Akış: Akış hızının yükselmesi ile birlikte aşağı-yukarı salınımlı hareket eden akışın yapısı daha kararsız hale gelmektedir. Bu kararsızlık, Taylor kabarcıklarını saran ince sıvı filmi üzerinde birbirlerine zıt yönde etkiyen kesme ve yer çekimi kuvvetlerinin denkleğinin bir sonucudur. Aslında bu akış formu tıkaç akış ile halkasal akış formları arasındaki bir geçiş formu olarak bilinmektedir. Küçük çaplı borularda çalkantılı akış tam olarak gelişemeyebilir ve akış direk olarak tıkaç akıştan halkasal akışa geçebilir. Çalkantılı akış engellenmesi gereken bir akış formudur. Çünkü çalkantılı akış formunda oluşan yüksek türbülans ve dalgalanmaların boru sistemi üzerinde zararlı etkileri olmaktadır.

Halkasal Akış: Sıvı filmi üzerinde yüksek hızdaki gazın ara yüzey kesme kuvveti, yer çekimi kuvvetine nazaran daha baskın olmaya başlar. Gaz boru merkezinde yukarı doğru sürekli olarak akarken, sıvı borunun merkezinden boru cidarına doğru adeta itilerek cidar üzerinde ince bir film halinde akmaya başlar. Ara yüzey yüksek frekanstaki titreşimler ve dalgalar tarafından bozulur. Bunun yanında, sıvı küçük damlacıklar halinde gaz akışı içine katılabilir. Hatta sıvı filmi içerisindeki sıvı oranı ile akışa katılan sıvının oranı aynı olabilmektedir. Bu akış formu, iki fazlı boru akışlarında kararlı ve arzu edilen bir akış formudur.

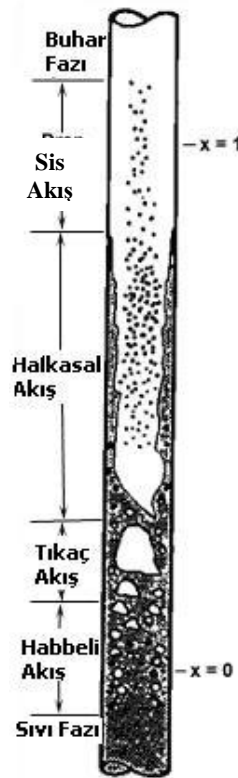
Wispy-Halkasal Akış: Akış hızı daha da yükseldiğinde gaz akışına katılan sıvı damlacıkları buhar akışının merkezindeki sıvı demetleri şeklinde, geçici olarak birbirlerine tutunan yapılar halini almaktadır.

Sis Akış: Halkasal film çok büyük gaz akış hızlarında ara yüzey üzerindeki gaz kesme kuvveti tarafından yok olana kadar inceltilmektedir. Böyle bir durumda tüm sıvı gaz akışına damlacıklar halinde katılmaktadır. Sis akış formu habbeli akış formunun tersine benzer. Sıvı damlacıklarının birbirleriyle çarpışmaları nedeniyle boru cidarı bölgesel ve aralıklı olarak ıslatılır. Genellikle sis içerisindeki sıvı damlacıkları özel ışıklandırma ve büyütme yapılmadan görülemeyecek kadar küçüktürler.

2.1.1 Boru İçinde Dikey Akışlar için Adyabatik Akış Form Haritaları

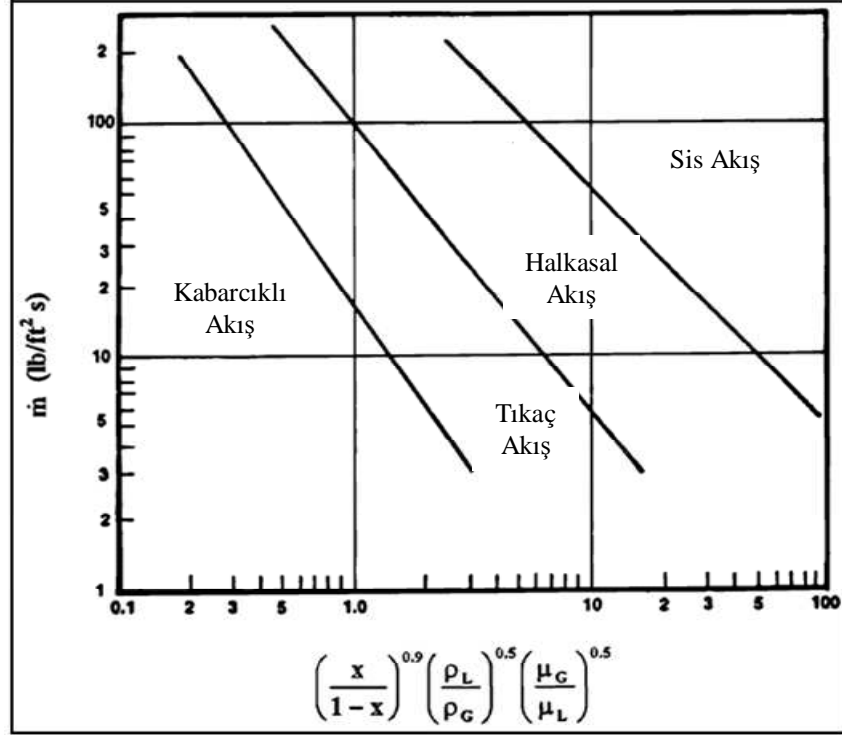
Yukarı yöndeki dikey bir akış için, Şekil 2.2'de bir buharlaştırıcı borusunun girişinden çıkışına kadar karşılaşılabilecek akış formları sıralanmış halde gösterilmiştir. Akış şekilleri tipik olarak girişte çekirdek kaynamasının başlaması sonrasında habbeli akış formunun oluşmasıyla başlamaktadır. Bu çekirdek kaynaması borunun aşırı soğutulmuş sıvı bölgesinde

başlayabilmektedir. Bu bölgede kabarcıklar, ısıtılmış boru çeperi üzerindeki kızgın termal sınır tabaka içinde çekirdeklenmektedirler. Fakat aşırı soğutulmuş sıvı içerisindeki kabarcıklar yoğuşma eğilimine sahiptirler. Çekirdek kaynamasının başlaması, girişte aşırı soğutulmuş sıvı ve düşük ısı akısı durumunda yerel kuruluk derecelerinin sıfırdan büyük bir değere ulaşmasını da geciktirebilmektedir. Kabarcıklı akıştan sonra tıkaç akış formu başlamakta ve sonrasında sıvı halkasal filme sahip halkasal akış formu bunu takip etmektedir. Halkasal film en sonunda tamamen kurumakta ya da ara yüzey buhar kesmesi tarafından kesilmekte ve halkasal akış formunun yerini sis akış formu almaktadır. Sıvı damlacıkları, akış içinde hala az miktarda da olsa bulunabilirler ve kuruluk derecesi 1'den küçük olabilir.



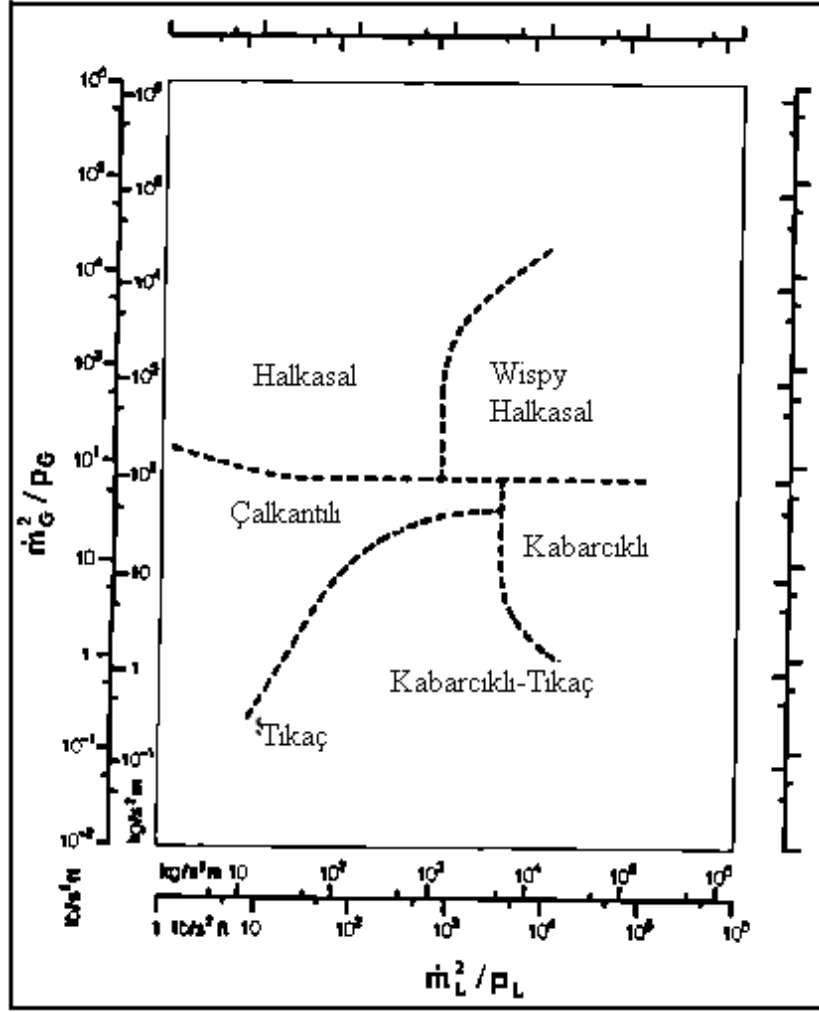
Şekil 2.2 Dikey bir buharlaştırıcı borusu içindeki akış formları (Collier ve Thome,1994) Bir boru içerisinde yerel akış formlarının önceden kestirilebilmesi için akış rejim haritaları kullanılmaktadır. Bunlar akış formları arasındaki geçiş sınırlarını gösteren diyagramlardır. Bu diyagramlar sıvı ve gaz kütleli akışlarını temsil etmek üzere boyutsuz parametreler kullanılarak, bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ikisinin de asıl değerlerinin logaritmik değerleri biçiminde ifade edildiği fonksiyonel denklem eksenleri üzerinde tipik olarak çizilmektedir. Fair (1960) ve Hewitt ile Roberts (1969) yukarı yönde dikey akışlar için geniş bir yelpazede aktarılmış akış rejim haritalarını önermişlerdir. Bunlar Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te sırasıyla gösterilmiştir. Akış rejim haritaları üzerindeki geçiş eğrileri laminar ve türbülanslı akışlar arası geçiş bölgeleri gibi dikkate alınmalıdır. İki fazlı akış geçişleri için daha detaylı

bir değerlendirme için Barnea ve Tatiel'in (1986) çalışmasına başvurulmalıdır. Fair'in (1960) oluşturduğu Şekil 2.3'teki akış rejim haritasından faydalanmak için ilk olarak x eksenini değeri ve kütleli akı hesaplanmalıdır. Bu iki değer keşitirilerek akış formu yerel olarak tespit edilebilir. Kalın eğik çizgiler akış form geçişlerini göstermektedir.



Şekil 2.3 Dikey borular için iki fazlı akış rejim haritası (Fair, 1960)

Hewit ve Roberts'ın (1969) akış rejim haritası Şekil 2.4'te gösterilmektedir. Bu haritayı kullanabilmek için öncelikle sıvı ve buhar fazlarının kütleli debilerinin hesaplanması gerekmektedir. Sonrasında x ve y eksenlerindeki değeri belirlenerek bu iki değeri harita üzerindeki keşitim noktasından bu akış koşullarında akış formu belirlenmektedir.



Şekil 2.4 Dikey borular için iki fazlı akış rejim haritası (Hewit ve Roberts, 1969)

2.2 Akış Görselleme

Tez çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen kaynak araştırmasının bu bölümünde ayrıştırıcı deney düzeneğinde hızlı kamera kullanılarak yapılan akış görselleme çalışmasına altyapı oluşturulabileceği düşünülen literatürdeki bazı çalışmalar paylaşılmıştır.

2.2.1 Geçici Rejimde İki Fazlı Akışın İncelenmesi

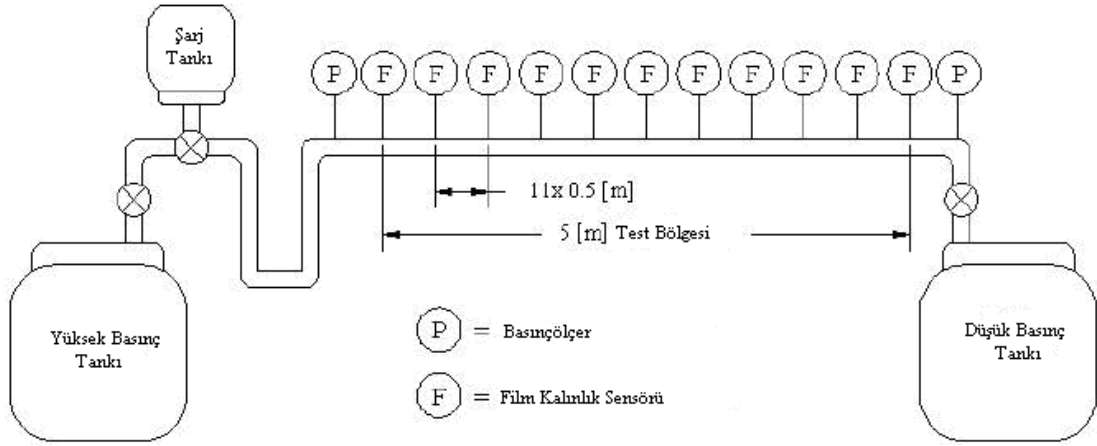
ACRC'de M. J. Hedrick, E. W. Jassim ve T. A. Newell (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın amacı soğutma sisteminin çalışma başlangıcı şartları altında geçici tıkaç akış için modeller geliştirmektir. Tıkaç akış hava-su karışımı ve iki fazlı R134a için 69-250 kPa basınç farkları, 40-400 ml tıkaç hacimleri yüksek ve düşük basınç tarafı 6,35, 10,2 ile 13,4 mm boru çapları ile oluşturulmuştur. Akış görselleme görüntüleri hızlı kamera ve dijital web kamera ile kaydedilmiştir. Çalışmada bir film kalınlık sensörü tasarımından bahsedilmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda çıktı olarak tıkaç hızlanmasını ve yavaşlamasını belirlemek için dört

ayrı model oluşturulduğu belirtilmiştir. Basitleştirilmiş model tıkaç hızlanmasını ve yavaşlamasını akışkana, uygulanan basınç farkına, tıkaç hacmine ve boru çapına göre belirlenmesini sağlamaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada ayrıca modelin belirsizlik analizi ve etkinliği de ele alınmıştır. Çalışmada ek olarak tıkaç yavaşlaması için gereken boru uzunluğunu belirlemek için de farklı modeller oluşturulmuştur.

Soğutma sistemi durma periyoduna girdiğinde soğutucu akışkan buharı hem yüksek basınç tarafında hem de düşük basınç tarafında yoğunlaşarak birikinti oluşturmaktadır. Kompresörün çalışmaya başlamasıyla tıkaç boyunca oluşan basınç farkının sonucu olarak bu sıvı kütlesi durgun halden hızlanarak hareket etmeye başlar. Sıvı tıkaçları istenmeyen seslere neden olmak, sistem komponentlerine zarar vermek ve kararlı rejim şartlarına ulaşmayı geciktirmek gibi negatif etkiler ortaya çıkarmaktadırlar. Bu araştırma sıvı tıkaçının hareketini, sıvı tıkaçının dağılması veya yavaşlaması esnasında ortaya çıkan şartları anlatmaya çalışmaktadır. Soğutucu akışkan tıkaçı tam olarak modellenilebilirse komponentlere zarar veren adımlar yok edilebilir ve istenmeyen etkiler en aza indirilebilir.

Yüksek basınç tarafında soğutucu akışkan tıkaç hareketi, düşük basınç tarafı ile karşılaştırıldığında beklenenden daha farklı davranmaktadır. Yüksek basınç tarafında bir tıkaç çalışmaya başlama periyodundaki basınç artışından dolayı aşırı soğutulmuş sıvı olarak kalma eğiliminde olacaktır. Bu kütle daha sonra bir toplayıcıya ya da genleşme vanasına doğru hızlanarak hareket edecektir. Düşük basınç tarafında çalışmaya başlama periyodu boyunca basınç düşer. Bu düşüş, soğutucu akışkan doyma basıncının altındaki bir değere kadar olabilir. Bu soğutucu akışkan tıkaçının hızlanma ve yavaşlaması buhar kabarcıklarının çekirdeklenmesine yol açabilir. Yüksek ve alçak basınç taraflarında oluşan tıkaç hareketlerinin her ikisi de akış kaynaklı gürültüye neden olmaktadır.

Bu çalışmada geçici rejimde iki fazlı akış deneyleri için kullanılan sistem Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Buhar yüksek basınç kaynağından "u" şeklindeki sıvı ayırıcısına doğru akmaktadır. Bu "u" şeklindeki ayırıcı sıvı tıkaçlarını oluşturmak için kullanılmıştır. Tıkaç daha sonra, uzunluğu boyunca film kalınlık sensörleri ve basınçölçerler içeren test bölgesine doğru hareket eder. Son olarak tıkaç düşük basınç kaynağına doğru hareket etmektedir.



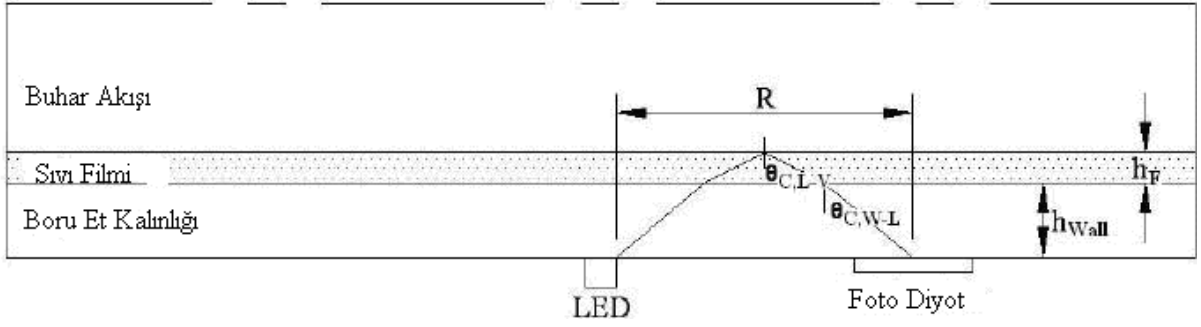
Şekil 2.5 Deneysel akış devresinin şematik gösterimi (ACRC TR-254, 2006)

Test boyunca şarj tankından bir sıvı şarjı sisteme eklenir ve “u” şeklindeki kısımda toplanır. Sıvı hacmi kararludur ve yüksek basınç kaynağı ya da düşük basınç kaynağı vanalarından herhangi biri tıkaç boyunca basınç farkı oluşturmak için açılabilir. Tıkaç daha sonra, sıvı ayırıcısındaki kararlı durumundan düşük basınç kaynağına doğru hareket eder. Deney düzeneği üç ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar; basınç kaynakları, sıvı ayırıcısı ve test bölgesidir. Basınç kaynağı olarak iki 27kg’lık tank kullanılmıştır. Test başlangıcında yüksek basınç tankı şarjın yaklaşık olarak 11kg’ını, düşük basınç tankı ise yaklaşık 2kg’ını içermektedir. Test bölgesi sıvı toplayıcısı ile düşük basınç kaynağı arasındaki 5m uzunluğundaki PVC’den oluşmaktadır. Test bölgesinde her 0,5m’lik aralıklara 11 adet film kalınlık sensörü yerleştirilmiştir.

Deneyin geçici rejimde gerçekleştirilecek olması, yüksek hızda veri toplama yeteneği ihtiyacını doğurmuştur. Bunun için 16 adet analog girdi ile saniyede 1000 veri toplayabilen bir sistem kurulmuştur.

Her bir test kesitinin sonuna, rezervuar tanklarının yanına, doyma basıncını ölçmek için kısa bir tepki süresine sahip iki adet basınçölçer yerleştirilmiştir. Bu basınçölçerler 0,1ms tepki süresine sahiptir.

Çalışmada sensör tasarımı Hurlburt ve Newel’in (1996) çalışmasından yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Sensörler bir LED ve bir foto diyottan meydana gelmektedir. Çalışma prensibi, iki akışkanın kırılma indislerindeki fark yüzünden oluşan yüzey yansıtıcılığının değişimine dayanmaktadır. Şekil 2.6’da bu prensip şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Optik film kalınlık sensörü deney düzeneğinin şematik gösterimi

(ACRC TR-254, 2006)

Burada kritik bir açı vardır. Bu açı akışkanların sıvı-buhar ara yüzeyindeki kırılma indisleri ile belirlenir. Kırılma yarıçapının büyümesiyle foto diyot yüzeyine daha fazla ışık ulaşır ve bu da foto diyot çıkışındaki gerilim değerini artırır. Eğer akışkanın özellikleri biliniyorsa foto diyottan çıkan gerilim direkt olarak film kalınlığı ile ilişkilendirilebilir.

Boru yüzeyinin dağılma açısına katkısı eşitlik (2.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$R = 2h_{wall} \tan \theta_{C,W-L} + 2h_F \tan \theta_{C,L-V} \quad (2.1)$$

Çizelge 2.1’de foto diyot yerleşimi için yapılan hesaplamalar için kullanılan kırılma değerlerinin indeksi görülmektedir. PVC için kırılma indisi imalatçı firmalardan, sıvı ve buhar R134a için Chae vd. (1990) çalışmasından, sıvı haldeki su ve hava için ise Hurlburt ve Newel’in (1996) çalışmasından elde edilmiştir.

Çizelge 2.1 Kırılma indisleri (ACRC TR-254, 2006)

Madde	Kırılma İndisi
PVC	1.54
Su	1.33
Hava	1.00
R134a - Sıvı	1.23
R134a - Buhar	1.00

Bu iki farklı boru ve hava-su ile iki fazlı soğutucu akışkan sistemlerinin her ikisi için de kırılma yarıçapları hesaplanmıştır. Sonuçlar .

Çizelge 2.2’de verilmiştir.

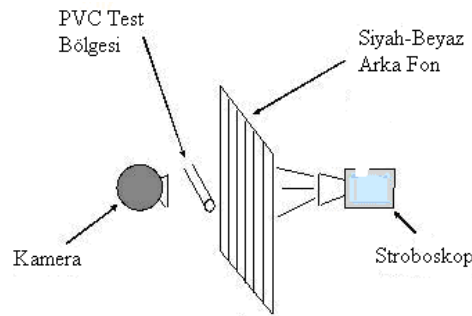
Çizelge 2.2 Foto diyot yerleşimi için kırılma yarıçapları (ACRC TR-254, 2006)

Boru Çapı [mm]	Akışkan	Kırılma Yarıçapı [mm]
10.2	Hava-Su	11.9
10.2	R134a	9.2
13.4	Hava-Su	13.6
13.4	R134a	10.5

Foto diyotlar, 10,2mm ve 13,4mm çaplarındaki boruların alt taraflarına sırasıyla LED'den 9,2mm ve 10,5mm uzaklığa yerleştirilmiştir. Sensörlerin akışkan cinsine aldırmadan iyi bir şekilde çalışabilmelerini garanti etmek için Çizelge 2.2'den en küçük kırılma yarıçapı seçilmiştir. Hem halkasal hem de katmanlı akış formlarında yapılacak film kalınlığı ölçümü göz önünde bulundurarak sensörlerin borunun alt tarafına yerleştirildiği belirtilmiştir.

Foto diyotlar 21m²'lik aktif yüzey alanı ve 1ms'lik tepki süresi ile kullanılmaktadır. Büyük yüzey alanı hava-su için 4,5mm maksimum ölçülebilir film kalınlığına, iki fazlı R134a için de 3,6mm maksimum ölçülebilir film kalınlığına izin vermektedir.

Geçici tıkaç akışın görselleme görüntülerinin elde edilmesi için iki farklı video kaydetme sistemi kullanılmıştır. Şekil 2.7'de akış görselleme düzeneği gösterilmiştir. Web kamera düzeneği test bölgesini 30fps'deki stroboskop ile aydınlatarak ve yine aynı hıza sahip kamerayı kullanarak iyi kalitede görüntü elde etmeyi sağlamaktadır. Sıvı tıkaçı tarafından, bozulmadan önce kat edilen mesafenin belirlenebilmesi için FASTCAM Ultima-1024 hızlı kamera kullanılarak 125fps hızında video kaydedilmiştir. Bu görüntü yakalama hızı tüm geçici akış rejiminin kaydedilebilmesi için yeterlidir. Fakat web kamera ile kaydedilen görüntüye nazaran görüntü kalitesi daha düşüktür. Her iki kamera için de buhar-sıvı ara yüzünün görünümünü geliştirebilmek için arka planda siyah-beyaz dikey çizgili bir desen kullanılmıştır. Kullanılan optik teknik Jassim (2006) tarafından geliştirilmiştir.



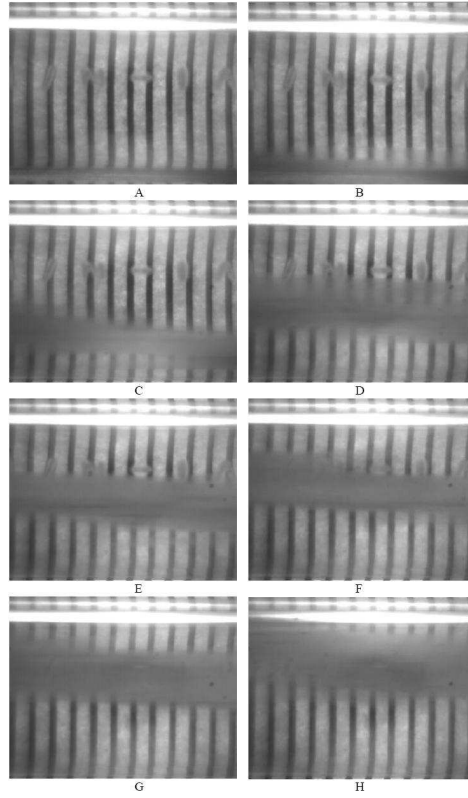
Şekil 2.7 Web kamera ve yüksek hızlı kamera akış görselleme düzeneği
(ACRC TR-254, 2006)

Web kameradan ve hızlı kameradan elde edilen görüntüler tıkaç hızını belirlemek için kullanılmıştır. Web kamera görselleme düzeneği esas olarak akış formlarını ve tıkaç bölgelerini belirlemek için kullanılmıştır.

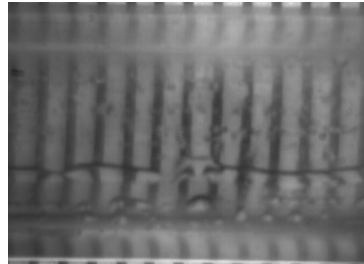
Gerçekleştirilen çalışmada tıkaç hızı verilen görüntü kare hızında art arda gelen görüntüler arasında tıkaç pozisyonundaki değişimin elde edilmesiyle belirlenmektedir. Kullanılan dijital web kamera için maksimum görüntü kare hızı 30kare/s ve izlenebilir en büyük yatay boyut 95mm'dir. Web kamerasının art arda iki görüntü yakalayabilmesi için, bir tıkaçın web kamerasının yerleştirildiği yerde 2,88m/s'den daha yavaş hareket etmesi gerekmektedir. Fakat tıkaçların büyük bir çoğunluğunun hızı 2,88m/s'nin üstünde olduğu için web kamera ile görüntü elde etmek kolay olmamıştır.

Hızlı kameranın ayarlanabilir görüntü kare hızı tıkaçın çoklu görüntülerinin yakalanmasına olanak tanımaktadır. Buna rağmen sıvı-buhar ara yüzeyindeki karışım nedeniyle tıkaçın cephesi kolay belirlenemez. Karışım ara yüzeyde bulanık bir görüntüye sebep olmaktadır. 200ml'nin üstünde hacimlere sahip sıvı tıkaçları 10m/s'ye yaklaşan hızlarda hareket etmektedirler. Daha küçük tıkaç hacimleri (200ml'den daha az) 15-25m/s aralığında hızlara sahip olabilmektedirler.

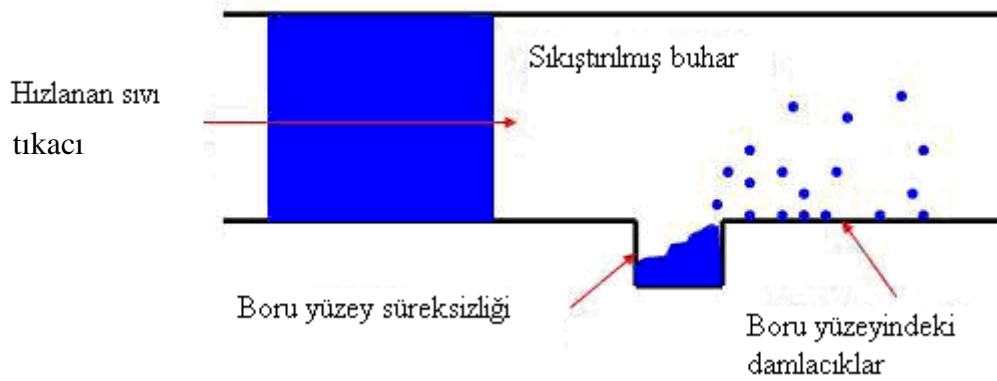
Şekil 2.8'de 13,4mm çapa sahip bir boru içerisinde 200ml'lik bir R134a tıkaç cephesinin hızlı kamera ile elde edilmiş fotoğrafları görülmektedir. Görüntüler 4ms aralıklarla elde edilmiştir. Özellikle yüksek basınç ve küçük hacim testlerinde, karışma olayı sıvı-buhar ara yüzeyinin fark edilebilmesinin zorlaştığı belirtilmektedir. Şekil 2.8 uzun tıkaç bölgesini göstermektedir. Burada katmanlı bir sıvı tabakası borunun alt tarafını doldurmaya başlamıştır. Bu film tabakası boruyu doldurana kadar yavaş yavaş yükselmiştir. Tıkaç cephesinin biçiminde yer çekiminin önemli bir rol oynayabileceği ortaya atılmıştır. Deney şartları daha büyük ivmelere yol açtığından, iç kuvvetlerin yer çekimi kuvvetini yenmeye başlamasıyla tıkaç açısı negatif yönde artmaktadır. Sıvı damlacıklarının test kesitinin başlangıcında sıvı tıkaçı gözlenmeden önce boru yüzeyinde nadiren depolandığı gözlemlenmektedir. Boru yüzeyinde bazı küçük süreksizlikler (küçük kesikler gibi) bulunmaktadır. Bu süreksizliklerde önceki testlerden kalan sıvı damlacıkları bulunmaktadır. Tıkaçın hızlanmasıyla buhar itilir ve bu sıvı damlacıkları buhar tarafından parçalara ayrılırlar. Şekil 2.10'da bu olay gösterilmektedir.



Şekil 2.8 30kPa basınç farkında, 13,4mm çapındaki boru içinde sıvı tıkaçlarının, 125kare/s hızındaki bir yüksek hızlı kamera ile elde edilen görüntüleri (ACRC TR-254, 2006)



Şekil 2.9 207kPa basınç farkında yapılan su-hava testi (ACRC TR-254, 2006)

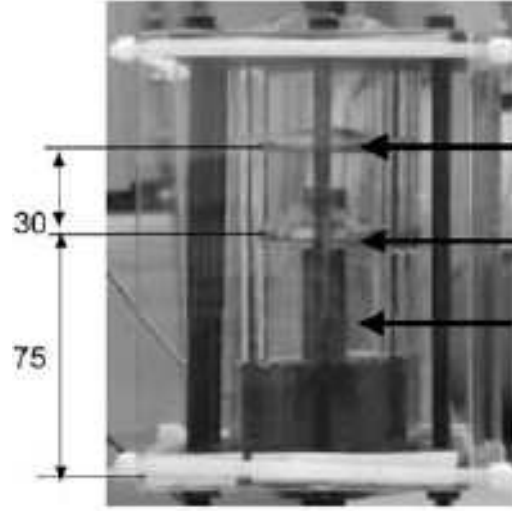


Şekil 2.10 Boru yüzeyinde depolanarak tıkaçın neden olduğu basınç artışı ile akışa katılan sıvı damlacıklarının temsili olarak gösterimi (ACRC TR-254, 2006)

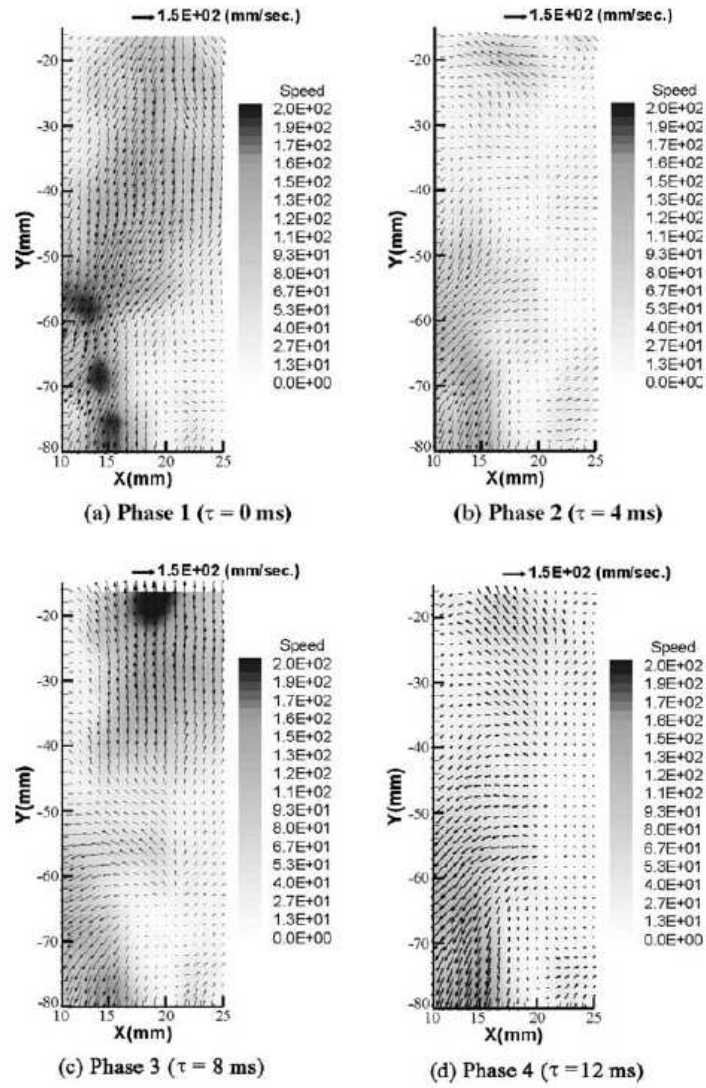
2.2.2 Rotary Kompresörde Kullanılan Ayırıştırıcı İçerisindeki Akışın Nicel Analizi

Sang-Joon Lee vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada PTV (particle tracking velocimetry) metodu kullanılarak bir rotary kompresörün ayırıştırıcısı içerisindeki akış yapısının deneysel olarak incelenmesi sunulmaktadır. Makalede prototip akümülatör üzerinde gerçekleştirilen görselleme çalışmasının gerçek çalışma şartlarında yapıldığı belirtilmektedir. Görselleme çalışmasında hızlı kamera kullanılmıştır. Rotary kompresörün bir çevrim periyodu dört faza bölünmüş ve ayırıştırıcı içerisindeki hız alanları bir faz-ortalama tekniği ile ölçülmüştür. Ayırıştırıcı içerisindeki akış, özellikle iki muhafaza arasındaki bölgede rotary kompresörün dönme fazına göre periyodik titreşimli bir akış yapısı göstermektedir.

Ayırıştırıcı rotary kompresörlerde genellikle kompresör giriş bölgesine yakın bir yere bağlanmaktadır. Ayırıştırıcının birincil görevinin sıvı fazdaki taşkın soğutucu akışkanın kontrol etmek olduğu belirtilmektedir. Ayırıştırıcı sıvı fazdaki soğutucu akışkanın ayırıştırılmasını ve emme hattındaki sıvının toplanmasını sağlamaktadır. Bu sayede kompresöre sıvı soğutucu akışkanın gitmesi yüzünden ortaya çıkabilecek mekanik hasarın önüne geçilmiş olduğu vurgulanmıştır. Bu yüzden ayırıştırıcının maliyeti, performansı, akış kaynaklı gürültüyü ve sıvı fazdaki taşkın soğutucu akışkanın kontrol edilebilmesindeki yeterliliği etkileyen önemli bir komponent olduğu belirtilmiştir. Rotary kompresörlerde kullanılan tüm ayırıştırıcılar damlacıkların geçişinin engellenmesi için filtre içermektedir. Filtrenin gözenek boyutları geçebilecek partiküllerin boyutunu belirlemektedir. Ayrıca gözenek boyutları akümülatördeki basınç düşümü ile ilişkilidir. Gürültü açısından bakıldığında akümülatörler akustik bir ses emici olarak çalışabildiği gibi bir ses kaynağı olarak da çalışabilmektedir. Bu yüzden ayırıştırıcı tasarımında ses ve performans arasında bir optimizasyon yapılması gerektiği belirtilmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda kullanılan şeffaf ayırıştırıcı prototipi Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Akış görselleme çalışmaları hibrid PTV sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayırıştırıcı içerisindeki hız vektörlerinin belirlenmesine yönelik olarak 1000fps çekim hızında 512x512 piksel çözünürlükte çekim yapabilen bir CCD hızlı kamera (SpeedCam 512), aydınlatma için 150W gücünde bir soğuk ışık kaynağı kullanılmıştır. 4ms’lik zaman aralıkları ile elde edilen hız vektörleri ise Şekil 2.12’de sunulmuştur.



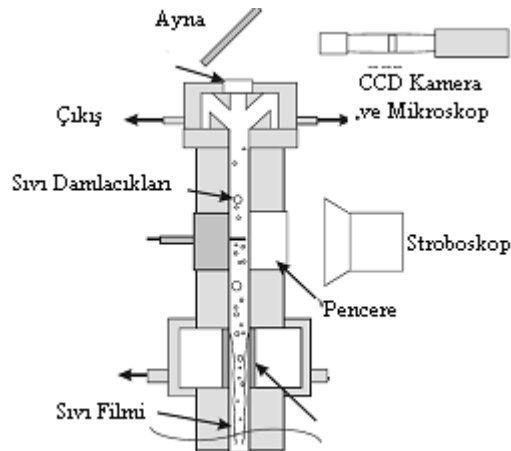
Şekil 2.11 Rotary kompresör ayırıcı prototipi (Sang-Joon Lee vd., 2003)



Şekil 2.12 Hız vektörlerinin zamanla değişimi (Sang-Joon Lee vd., 2003)

2.2.3 Sıvı-Gaz Halkasal Akışında Damlacık Çapı Ölçümü

Bu çalışmada damlacık çapı dağılımları 9,67mm hidrolik çapa sahip bir kanal içindeki nitrojen-su halkasal akışı için 3,4 ve 10bar sistem basınçlarında ve 38°C sıcaklığında ölçülmüştür. Deney düzeneğinde hem gaz hem de sıvı birer kapalı çevrim hattında akmaktadır. Sistemde gaz ve sıvı akışkanlara rezervuar görevi üstlenen bir ayırıştırıcı kullanılmıştır. Damlacık boyutları halkasal akış şartları altında çekilen video görüntüleri ile ölçülmüştür. Görselleme deneylerinde mikroskop monte edilmiş bir CCD kameranın yanında damlacıkların aydınlatılabilmesi için ortalama 400W gücüne ve 20µs flaş süresine sahip Kodak MAS stroboskop kullanılmıştır. Stroboskop dışarıdan 60Hz frekansa sahip bir üreteç ile çalıştırılmaktadır. Kameranın elektronik çekim ayarları sürekli çekime ayarlandığından stroboskop ile senkronizasyon gerekmemektedir. Her damlacık manuel olarak tanımlanmakta ve damlacık çapı ölçümü Optimas programı ile gerçekleştirilmektedir. Kamera saniyede 60 görüntü elde etmektedir. Görüntüler 580 yatay 350 dikey çizgi içermektedir Bu yüzden her yarı-görüntü 580 yatay ve 175 dikey çizgiden oluşmaktadır. Halkasal akış için literatürde ± 17 - ± 10 doğruluk için 500 ile 1400 örneğin alındığı belirtilmektedir. Bu çalışmada ise 800 ile 2000 arasında örnek incelenmiştir. 101,6x5,08mm kesitinde yapılan çalışmalarda mikroskop lensinin alan derinliği yaklaşık olarak 10mm'dir. Yapılan çalışmalarda iki adet kümülatif dağılım fonksiyonu tanımlanmıştır. Bunlar kümülatif büyüklük fonksiyonu ve kümülatif hacim dağılım fonksiyonudur. Bir olasılık yoğunluk fonksiyonu bu iki kümülatif dağılım fonksiyonu ile ilişkilendirilmiştir. Görüntülerden elde edilen damlacık büyüklükleri sınıflara ayrılmıştır. Ardından bu büyüklük sınıflarına giren toplam damlacık sayıları belirlenmiştir. Bunun sonucunda damlacık çapı olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmiştir. Şekil 2.13'te kurulan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Damlacık çapı ölçümü için kurulan deney düzeneği (L.B. Fore vd., 2002)

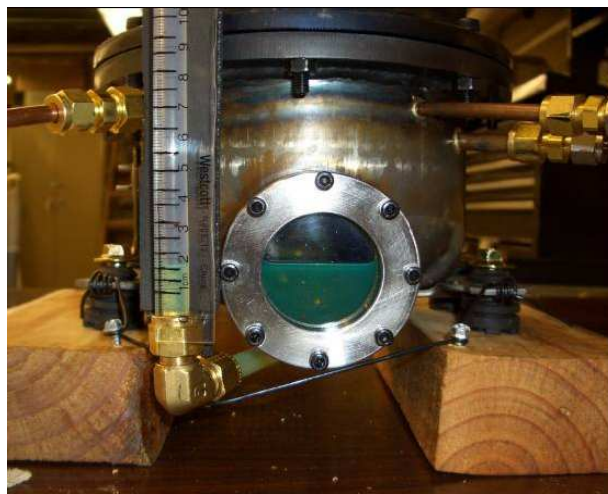
2.3 Ayrıştırıcı Tasarımı

Kaynak araştırmasının bu bölümünde soğutma sistemlerinde kullanılan ayrıştırıcılar hakkında genel bilgilerin, parametrik çalışmaların ve tasarım kriterlerinin yer aldığı literatürde mevcut çalışmalara değinilmiştir. Elde edilen bilgilerin gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonrasında oluşturulacak tasarım modelinde kullanılmak üzere fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

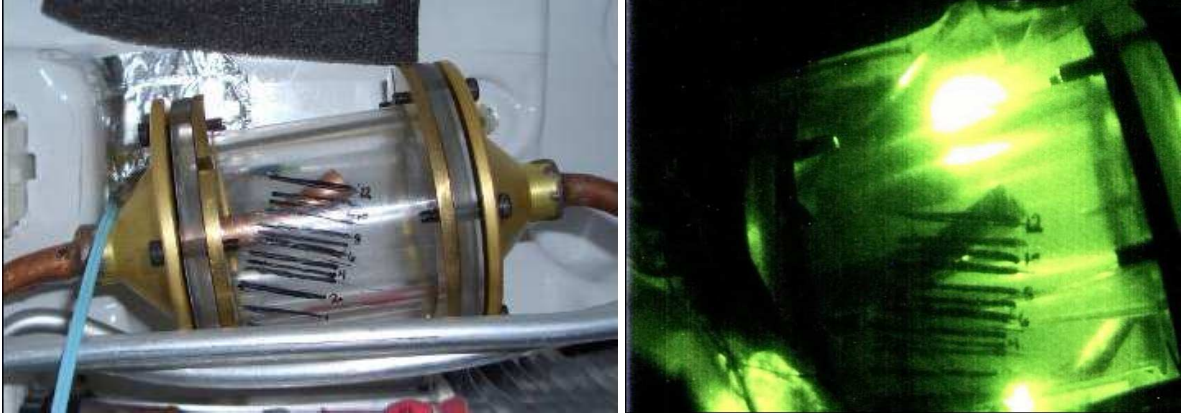
2.3.1 Ayrıştırıcının Evsel Tip Bir Soğutucuda Soğutucu Akışkan Dağılımına Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışma ayrıştırıcının soğutma sistemindeki rolü ile birlikte kompresör ve ayrıştırıcıdaki yağ ile soğutucu akışkanın sisteme etkisinin incelenmesi ile ilgilidir. Özellikle kompresör, ayrıştırıcı, ayrıştırıcı çıkışı ile emme ve basma hatlarından toplanan veriler ile birlikte çekilen video görüntüleri sayesinde sistem içerisindeki akış hareketi belirlenmeye çalışılmıştır. Soğutucu akışkan ile yağın etkileşimi belirlenmiş; kompresörün zararlı etkilerden korunması için ayrıştırıcı kullanmanın yararı doğrulanmıştır.

Ayrıca ayrıştırıcısız olarak da deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıştırıcının sistemden kaldırılmasının yağın ve soğutucu akışkanın akış formlarının değişmesine neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıştırıcısız buzdolabında düşük ortam sıcaklıklarındaki çalışma rejiminde ve defrost periyodunda kompresörün zarar görebileceği belirlenmiştir. Çalışmada kompresör ve ayrıştırıcı içerisindeki sıvı seviyelerinin belirlenebilmesi için oluşturulan prototipler sırasıyla Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'te sunulmuştur.



Şekil 2.14 Kompresördeki soğutucu akışkan-yağ karışımının miktarının ölçülmesi (Cara Sanderson Martin, 2007)



Şekil 2.15 Ayrıştırıcıdaki sıvı seviyesinin ölçülmesi (Cara Sanderson Martin, 2007)

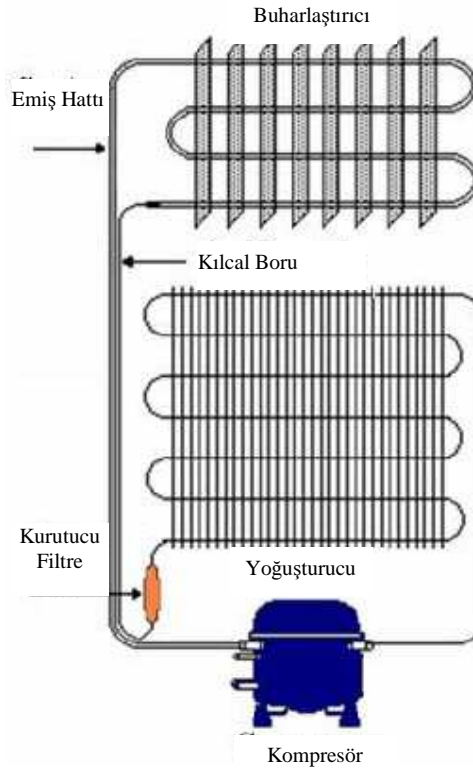
2.3.2 Soğutma Sistemlerinde Akustik ve Isı Transferi Üzerine Bir Çalışma

Bu çalışmada soğutma sistemlerinde soğutma performansının artırılmasına yönelik olarak ısı değiştiricilerdeki ısı transferi üzerine yoğunlaşmıştır. Buna ek olarak konvansiyonel soğutma sistemlerinde akış kaynaklı gürültünün düşürülmesi üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmalar konvansiyonel soğutma sistemleri ve alternatif bir soğutma teknolojisi olan termo-akustik soğutma sistemlerinin her ikisi ile de yakından ilişkilidir.

Genellikle akış kaynaklı gürültü, içinde akışın olduğu sistemlerde katı sınırları ile akışkanın etkileşiminden dolayı ortaya çıkan ve istenmeyen akış sesi olarak tanımlanabilir. Akışkan tek fazlı ya da iki fazlı olabilir. Soğutma ünitesinin buharlaştırıcısı boyunca akan soğutucu akışkan iki fazlı akış durumundadır. Bu tür akışlarda faz değişimi sonucunda sıvı-buhar oranının değişmesi ile ek akış kaynaklı gürültü kaynakları gözlemlenebilir. Akış kaynaklı gürültünün başka bir özel formu da aerodinamik gürültüdür. Bu gürültüye katı sınırları ile etkileşen yüksek hızdaki ya da kararsız haldeki gaz akışları neden olur.

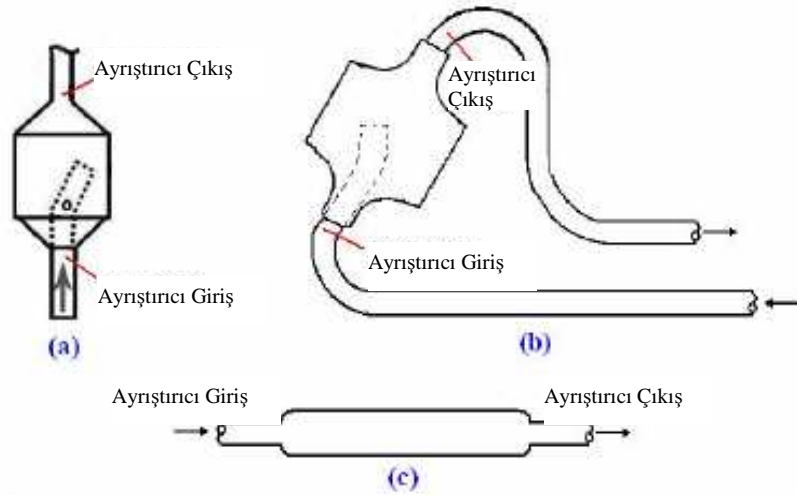
Konvansiyonel soğutma sistemlerinde gürültü genellikle kompresörlerin ve fanların çalışması ile ya da soğutucu akışkanın ısı değiştiriciler içerisindeki akışı ile ortaya çıkar. Isı değiştiricilerin tasarımında önemli problemlerden biri boruların akış kaynaklı titreşimidir. Buradaki çalışmanın amacı kompresörün durma-kalkma periyodunda yükselen akış kaynaklı gürültüyü belirlemektir.

Çalışmada tersinir Rankine çevrimi esasına göre çalışan konvansiyonel bir soğutma sistemi kullanılmıştır. Şekil 2.16'da konvansiyonel bir soğutma çevriminin ana elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Konvansiyonel soğutma çevrimi (Serdar Çelik, 2007)

Bazı buharlaştırıcıların çıkışına sıvı soğutucu akışkanın kompresöre doğru akışını engellenmek için ayırıştırıcı bağlanabilir. Şekil 2.17’de soğutma sistemlerinde kullanılan bazı ayırıştırıcı uygulamaları görülmektedir.



Şekil 2.17 Ayırıştırıcı uygulamaları, (a) dikey, (b) eğik, (c) yatay (Serdar Çelik, 2007)

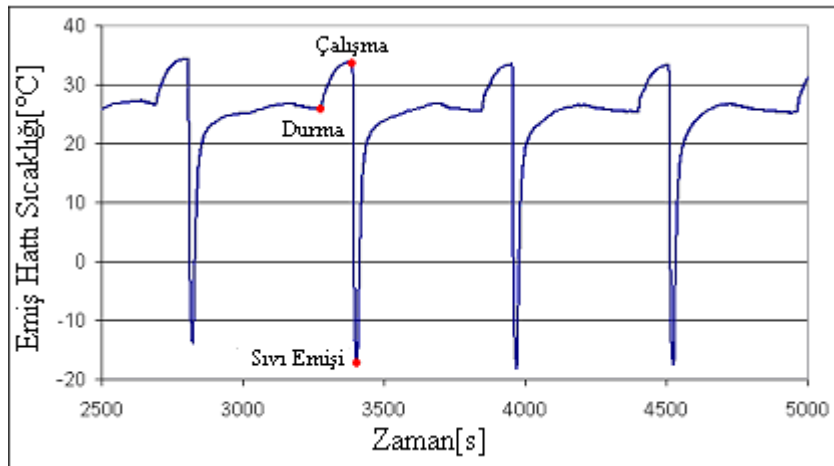
Ayrıştırıcılı soğutma sistemlerinde ayırıştırıcı çevresinde akış kaynaklı gürültü duyulabilmektedir. Bu gürültü kompresörün çalışmaya başlamasıyla oluşan türbülans nedeniyle ortaya çıkmaktadır. İki fazlı soğutucu akışkanın eğik olarak konumlandırılan bir ayırıştırıcı içerisine doğru akışı Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Kompresöre doğru akan soğutucu

akışkanın buharlaşmaya devam etmesine rağmen içerisinde bulunan sıvı soğutucu akışkan damlacıklarından ve türbülanslı akıştan dolayı akış kaynaklı gürültü oluşmaya devam edebilmektedir.



Şekil 2.18 Ayırıştırıcı içine doğru akış (Serdar Çelik, 2007)

Kompresörün çalışmaya başlamasıyla kompresör emiş hattının sıcaklığı, sıvı soğutucu akışkanın kompresöre doğru akması yüzünden hızla düşmekte ve kompresör emişinde toplanmış sıvı soğutucu akışkan dağıldığında kompresör emiş hattının sıcaklığı yeniden yükselmeye başlamaktadır. Sabit bir sıcaklıkta soğutma sisteminin kararlı çalışma periyoduna doğru bir geçiş olmaktadır. Kompresör durduğunda ise konvektif ısı transferi olmadığından sıcaklık bir sonraki çalışma periyodu başlangıcına kadar yeniden yükselmeye devam etmektedir. Şekil 2.19 emiş hattı sıcaklığının çalışma/durma periyotları sırasında davranışını göstermektedir.



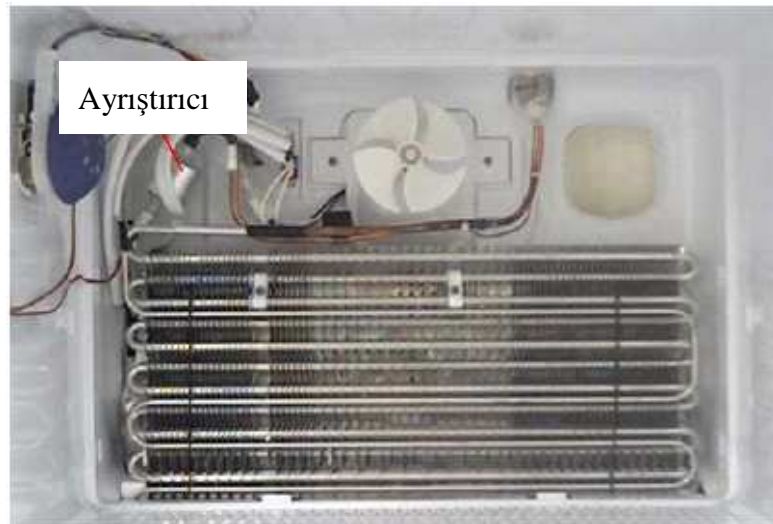
Şekil 2.19 Buharlaştırıcı çıkışında sıcaklığın zamana bağlı değişimi (Serdar Çelik, 2007)

Bu çalışma sırasında çeşitli buharlaştırıcı modelleri tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Bazı sistemlerle birlikte düşük gürültü seviyeleri ve/veya yüksek ısıl verimlilikler elde edilirken, bazılarının sistemin geliştirilmesi için bir yarar sağlamadığı görülmüştür.

Ayrıştırıcının emiş hattında yatay olarak konumlandırıldığı durumda kompresörün durma periyodunda daha fazla sıvı fazındaki soğutkanın buharlaşmasına izin vereceği öngörülmüştür. Fakat soğutma sisteminin 14 saatlik uzun bir süreç boyunca durma periyodu konumuna gelemediği görülmüştür. Bu durum için olası sebebin ayrıştırıcının ısı değiştirici performansının yeteri kadar yükselememiş olduğu düşünülmektedir. Çalışmada ayrıca ayrıştırıcıya alternatif farklı uygulamaların prototip tasarımları da denenmiştir.

Konvansiyonel soğutma sistemi üzerindeki deneysel çalışmalar önceden hazırlanmış olan değişik buharlaştırıcı prototipleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu soğutma ünitesinde ısıl ve akustik deneyler ile görselleme çalışmaları gerçekleştirilmiş, tüm deneyler sırasında sıcaklık, basınç ve akustik veriler toplanmıştır. Soğutma sistemleri R134a veya R600a soğutucu akışkanları kullanılarak ayrıştırıcılı ve ayrıştırıcısız durumlar için test edilmiştir.

Soğutma sisteminde ayrıştırıcı çevresindeki ve kompresör çıkışındaki akış kaynaklı gürültü üzerine çalışılmıştır. Ön deneysel çalışmaların kompresörün kararlı hal mekanik gürültüsünün akış kaynaklı gürültüden çok daha yüksek olması sebebiyle kompresör bölgesinde akış kaynaklı gürültünün ayırt edilemeyeceğini gösterdiği belirtilmektedir. Çalışmanın yapıldığı soğutma sistemi iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlar dondurucu bölme ve taze gıda bölmeleridir. Bu iki bölme iki farklı termostat ile kontrol edilirken sistemde tek hermetik kompresör bulunmaktadır. İki bölmenin toplam hacmi 435l'dir. Kompresörün kapasitesi 205,2W'tır. R134a soğutucu akışkanı ile çalışılmıştır. Çalışmada soğutma çevriminin emiş hattına yerleştirilmiş olan ayrıştırıcı üzerine yoğunlaşmıştır. Dondurucu bölme buharlaştırıcısı ve ayrıştırıcı Şekil 2.20'de gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Buharlaştırıcı ve çıkışında konumlandırılan ayrıştırıcı (Serdar Çelik, 2007)

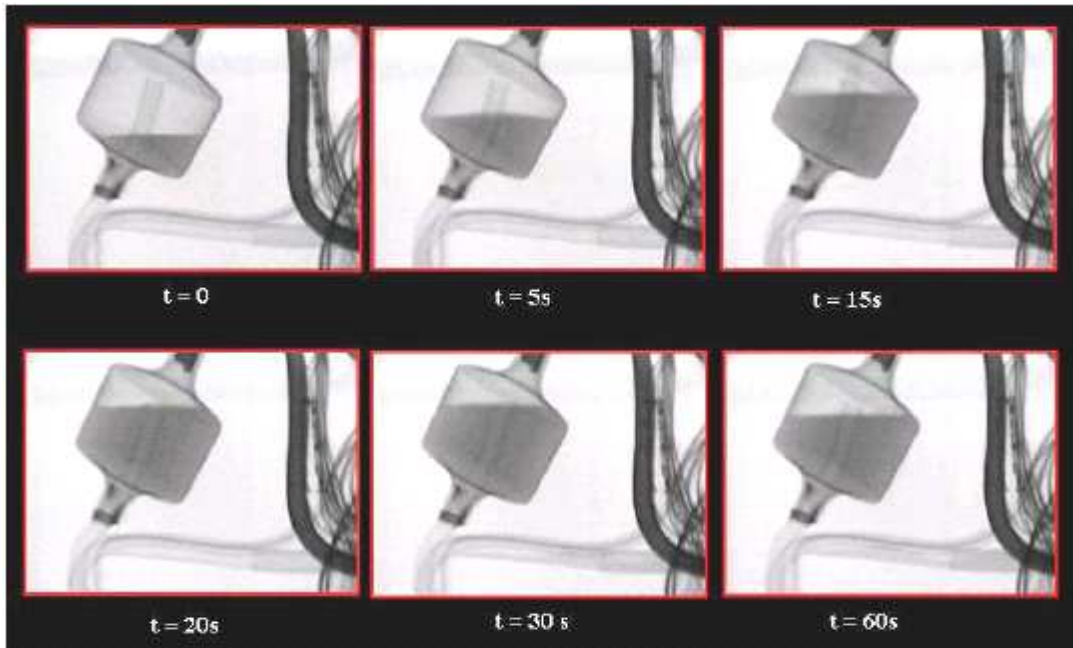
Yapılan çalışmada durma periyodu sonunda kompresörün çalışmaya başlamasıyla ayrıştırıcı çevresinde soğutucu akışkan kararsız akış gürültüsünün yaklaşık 50s süreyle duyulabildiği belirtilmektedir. Daha sonra bu gürültünün kaybolarak yerini kararlı hal gürültüsüne bıraktığı görülmüştür. Emiş hattında gürültü oluşumunun daha iyi anlaşılabilmesi için ayrıştırıcı bölgesi üç parçaya bölünmüştür. Bunlar;

Ayrıştırıcı girişi: Buhar fazındaki soğutucu akışkan, sıvı fazındaki R134a ve biraz da yağ molekülleri ile birlikte oluşan bir karışım akmaktadır.

Ayrıştırıcı iç hacmi: Kompresör çalışmaya başlayınca ayrıştırıcı çoğunluğu sıvı fazında olan ve bir kısmı da buhar fazında olan soğutucu akışkan ile dolmaktadır.

Ayrıştırıcı çıkışı: Buhar fazındaki soğutucu akışkan ayrıştırıcıyı terk etmektedir.

Ayrıştırıcıdaki çap düşüşü türbülansa ve basınç dalgalanmalarına neden olmaktadır. Kompresör çalışma başlangıcından itibaren ayrıştırıcı bölgesinde soğutucu akışkanın davranışı Şekil 2.21’de adım adım gösterilmiştir.

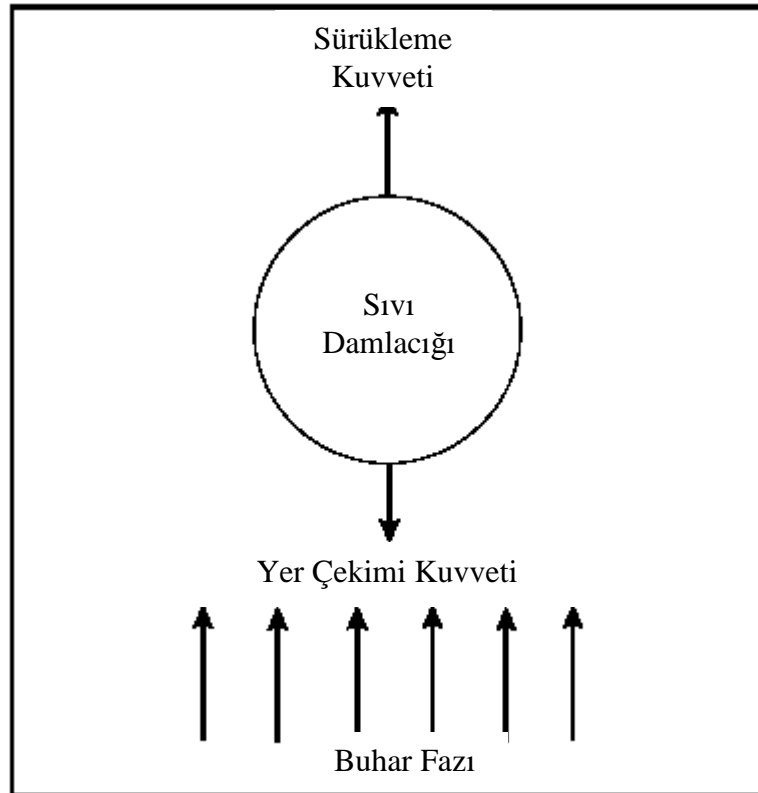


Şekil 2.21 Çalışma periyodunun başında soğutucu akışkanın davranışı (Serdar Çelik, 2007) Kompresörün çalışmaya başlamasıyla ayrıştırıcı içerisindeki sıvı soğutucu akışkan çalkalanmaya başlamaktadır. Buharlaştırıcıda hapsedilmiş olan sıvı soğutucu akışkan nedeniyle ayrıştırıcıdaki sıvı seviyesinin birkaç saniye içinde yükseldiği, ardından soğutucu akışkanın tüm çevrim boyunca kararlı hale gelmesi ile kılcal boru çıkışında denge sağlanmaya başladığından yükselmenin 2-3 saniyeliğine durduğu belirtilmiştir. Daha sonra buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin yeniden azaldığı ve sıvı-buhar karışımının ayrıştırıcının giriş

borusuna doğru türbülanslı olarak akmaya başladığı görülmektedir. Bu süreç sistemin bu kısmındaki akış kaynaklı gürültünün büyük bölümünü oluşturmaktadır. Kompresörün çalışmaya başlamasından yaklaşık olarak 30s sonra ayrıştırıcı içerisindeki sıvı soğutucu akışkan seviyesi giriş borusunun en üst noktasına kadar ulaşmakta daha sonra kaynamaya benzer bir sese neden olmaktadır. Yaklaşık 40s sonra ayrıştırıcı içerisinde buharlaşan sıvı miktarı ayrıştırıcı içerisine akan sıvı miktarından daha fazla olduğundan sıvı seviyesi yeniden düşmeye başlamaktadır. Sıvı seviyesi çalışma periyodunun geri kalan kısmında ve durma periyodunda ayrıştırıcı hacminin yaklaşık üçte birinde sıvı kalana kadar düşmeye devam etmektedir. Daha sonra bir sonraki çalışma periyodu başlamakta ve yukarıda anlatılan adımlar tekrarlanmaktadır.

2.3.3 Yer Çekimi Kuvveti Esasına Dayanan Ayrıştırma Teorisi

Eğer sıvı damlacıkları üzerine etkiyen yer çekimi kuvveti, damlacığın etrafındaki buhar akışının sürüklenme kuvvetinden daha büyük olursa, sıvı damlacıkları gaz fazdan ayrılırlar. Bu kuvvetler Şekil 2.22’de gösterilmiştir.



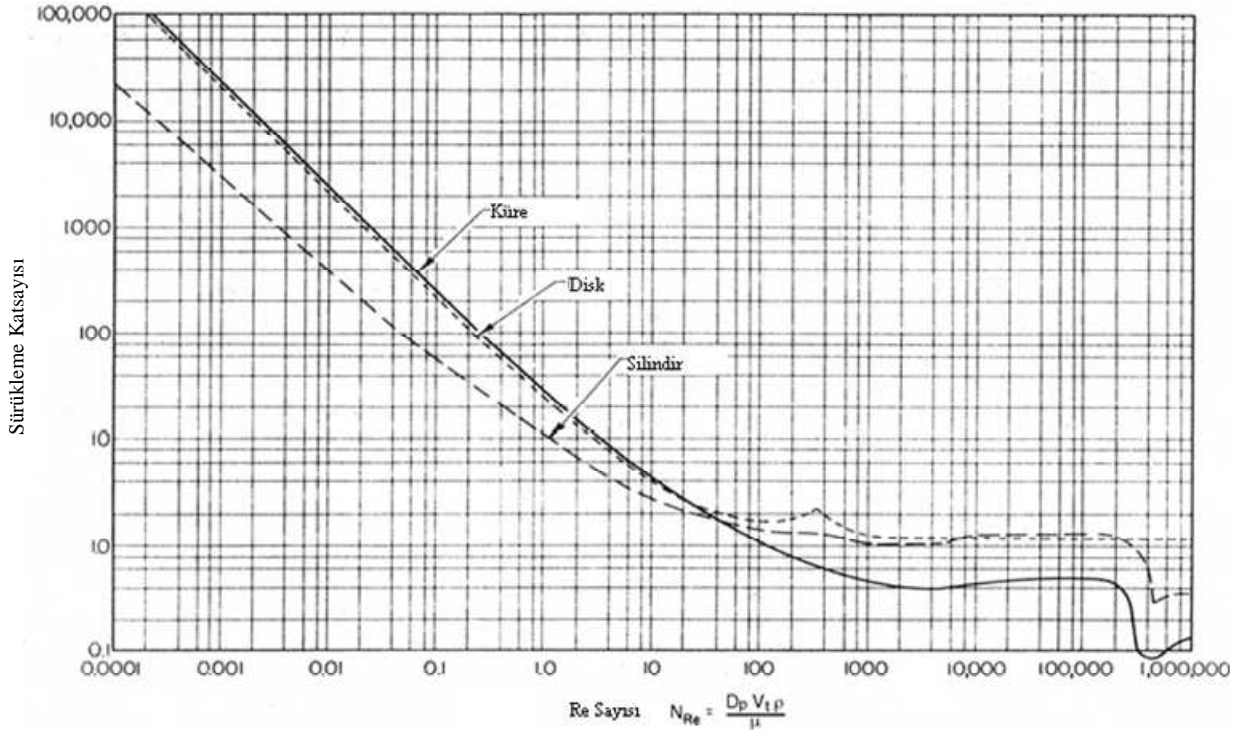
Şekil 2.22 Gaz akışında sıvı damlacığına etki eden kuvvetler
Damlacık üzerine etkiyen kuvvetlerin denkliği yazılacak olursa Eşitlik (2.1) elde edilir.

$$\sqrt{\frac{2gM_d(\rho_s - \rho_b)}{\rho_s \rho_b A_d C_D}} = \sqrt{\frac{4gD_d(\rho_s - \rho_b)}{3\rho_b C_D}} \quad (2.1)$$

Sürüklenme katsayısı, akan gazın Re sayısı ve damlacığın biçiminin bir fonksiyonudur. Bu denklemi çözmek için damlacık katı bir küre gibi kabul edilebilir. Re sayısı Eşitlik (2.2) ile tanımlanmıştır.

$$\text{Re} = \frac{1,488D_d U \rho_b}{\mu} \quad (2.2)$$

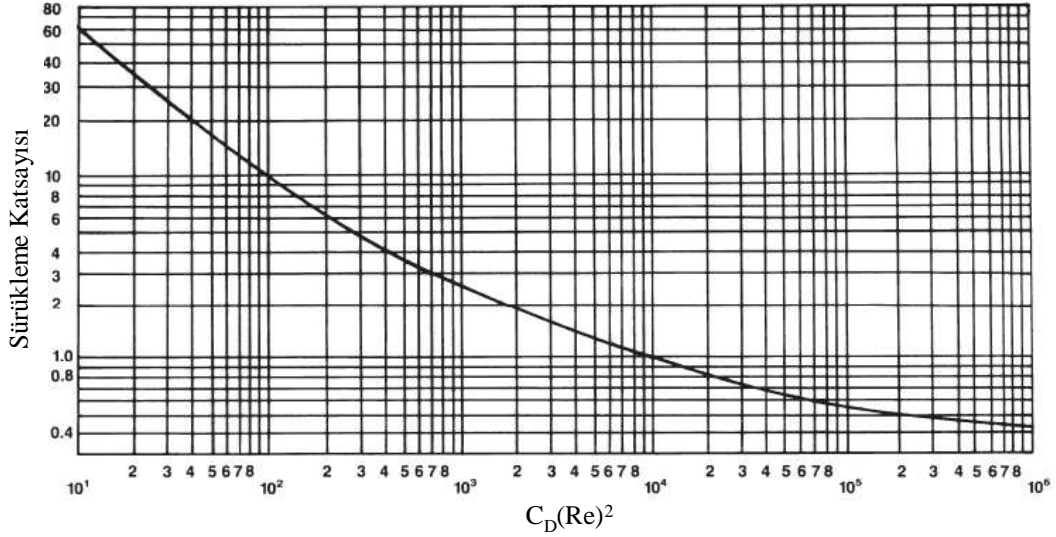
Şekil 2.23, küresel parçacıklar için sürüklenme katsayısı ile damlacık Re sayısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 2.23 Küresel parçacıklar için Re sayısı ve sürüklenme katsayısı

Bu formda damlacık çapı (D_d) ve terminal hız (U) için bir deneme-yanılma çözümü gereklidir. Deneme-yanılmanın önüne geçilebilmesi için sürüklenme katsayılarının değerleri Şekil 2.24'da (C_D)'nin bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Grafiğin yatay koordinatı Eşitlik (2.3)'te verilmiştir.

$$C_D(\text{Re})^2 = \frac{(0,95)(10^8)\rho_b D_d^3(\rho_s - \rho_b)}{\mu^2} \quad (2.3)$$



Şekil 2.24 Küresel parçacıklar için sürüklenme katsayısı

- **Stoke Yasası**

Düşük Re sayılarında ($Re < 2$) sürüklenme katsayısı ile Re sayısı arasında lineer bir ilişki vardır. Bu yüzden Stoke Yasası ile (2.1) eşitliği Eşitlik (2.4)'deki forma dönüşmektedir.

$$U = \frac{1,488 g D_d^2 (\rho_s - \rho_b)}{18 \mu} \quad (2.4)$$

Damlacık çapı Eşitlik (2.5)'e göre hesaplanırken Re sayısına bağlı olarak $K_{CR}=0,025$ alınarak bulunabilir.

$$D_d = K_{CR} \left[\frac{\mu^2}{g \rho_b (\rho_s - \rho_b)} \right]^{0,33} \quad (2.5)$$

Bu denklemlerin özeti, damlacık boyutları ve toplayıcı seçimini de özetleyen bir tablo Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

- **Geçiş Yasası**

Bu yasa da Re sayısının 2 ile 500 arasında olduğu durumlarda kullanılır. Bu durumda terminal hız için Eşitlik (2.6) kullanılmaktadır.

$$U = \frac{3,49 g^{0,71} D_d^{1,14} (\rho_s - \rho_b)^{0,71}}{\rho_b^{0,29} \mu^{0,43}} \quad (2.6)$$

- **Newton Yasası**

Newton Yasası Re sayısının 500 ile 200.000 arasında olduğu geniş bir alanda kullanılabilir ve büyük damlacıkların ya da parçacıkların buhar fazından ayrılması için uygulanabilir. Re sayısı 500'den büyük iken limit sürüklenme katsayısı yaklaşık olarak 0,44'tür. (2.7) eşitliği Newton Yasası denklemini göstermektedir.

$$U = 1,74 \sqrt{\frac{g D_p (\rho_s - \rho_b)}{\rho_b}} \quad (2.7)$$

Newton Yasası'ndan sonraki bir üst limitte artık damlacıklar çok büyüktür ve ayrışmanın gerçekleşebilmesi için gereken terminal hız, aşırı türbülans oluşmasına neden olur. Bunun için gerekli Re sayısı 200.000 ve $K_{CR} = 18,13$ 'tür.

Yer çekimi kuvveti esasına dayanan ayrıştırma teorisi, gazdaki sıvı damlacıkları ya da sıvı içinde farklı yoğunluğa sahip sıvı damlacıkları gibi, devamlı fazda yayılan damlacıkların ayrılmasına etki eden fiziksel özelliklerin ve yapının öneminin görülmesini sağlar. Ancak burada bazı problemler vardır;

- Gerçek damlacık boyutlarının belirlenmesi zordur.
- Damlacık formunda akışa katılan sıvı miktarının belirlenmesi zordur.

2.3.4 Yer Çekimi Kuvveti Esasına Dayanan Ayrıştırma İşleminin Temelleri ve Tasarım

Todd B. Jekel, Douglas T. Reindi, ve Micheal Fisher (2001) yer çekimi kuvveti esasına dayanan ayrıştırıcıların tasarımına yönelik olarak gerçekleştirdikleri çalışmada tasarımın öncelikli amacının damlacıkların buhar akışı ile bağlantısını kesmek, birbirlerinden ayrılmalarını sağlamak için sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinin, yer çekimi kuvvetine karşı yenik düşmesini sağlayacak boyutlandırmanın yapılması olduğunu belirtmektedirler. Tipik bir sıvı damlacığına etkiyen kuvvetler için kuvvet dengesi, Newton'un yasasına başvurarak kurulabilir:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i(t) = m_d \vec{a}(t) \quad (2.8)$$

Kuvvetler (F_i), ve ivme, (\vec{a}), zamanın, (t), fonksiyonlarıdır. m_d ise damlacığın kütlesidir. Yer çekimi kuvvetinin, kaldırma kuvvetinin ve sürüklenme kuvvetinin büyüklükleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir:

$$F_G = \rho_s V_d g \quad (2.9)$$

$$F_B = -\rho_b V_d g \quad (2.10)$$

$$F_D = -\rho_s U^2 C_D A_d / 2 \quad (2.11)$$

Yer çekimi kuvveti daima aşağı yönde, kaldırma kuvveti yer çekimi kuvvetinin tersi yönde ve sürüklenme kuvveti ise damlacık hız vektörünün tersi yöndedir. Damlacık Re sayısı atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanır ve kullanılan karakteristik uzunluk ise damlacık çapıdır.

$$Re_d = \frac{\rho_b U D_d}{\mu_b} \quad (2.12)$$

Burada ρ_b buharın yoğunluğu, μ_b buharın mutlak viskozitesi ve U da damlacığa göre buharın hızıdır. Sürüklenme katsayısı (C_D), düzgün bir alan için sayısal olarak yaklaşık aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir (Bird, 1960):

$$C_D = \frac{24}{Re_d} \quad Re_d < 1 \quad (2.13)$$

$$C_D = \frac{18,5}{Re_d^{3/5}} \quad 1 < Re_d < 500 \quad (2.14)$$

$$C_D \approx 0,44 \quad 500 < Re_d < 2 \times 10^5 \quad (2.15)$$

veya (Gerhart, 1985):

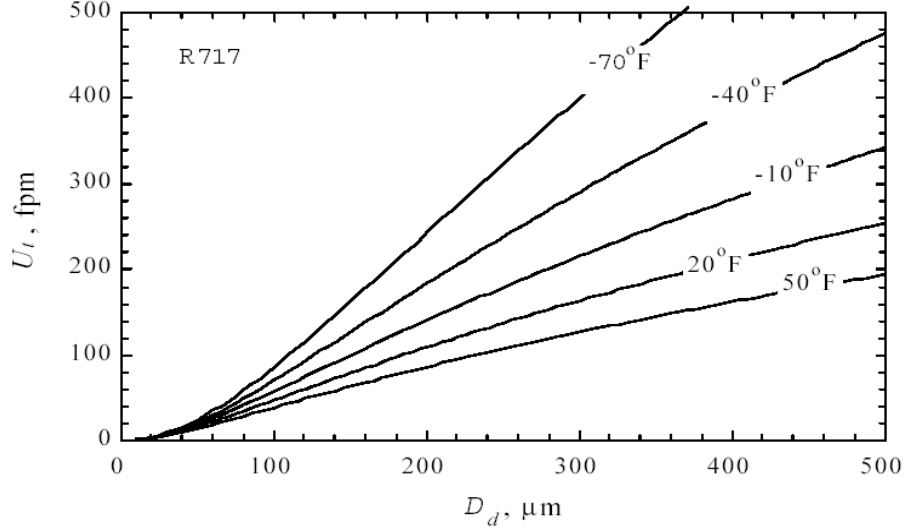
$$C_D = \frac{24}{Re_d} + \frac{6}{1 + \sqrt{Re_d}} + 0,4 \quad Re_d < 2 \times 10^5 \quad (2.16)$$

Yer çekimi kuvveti ile ayırmanın önemli kavramlarından biri de terminal hızıdır. Terminal hız, sürüklenme kuvvetinin düşey bileşeninin, net yer çekimi kuvvetine (yer çekimi kuvveti – kaldırma kuvveti) eşit olduğu anda sıvı damlacığın sahip olduğu hıza denir. Kuvvet dengesinden sonra gövde üzerindeki ivme sıfır olur ve terminal hız sabit bir hıza düşer.

Wu (1984) ve Svrcek ile Monnery (1993) düşey doğrultudaki (y) buhar hızına bağlı olarak, damlacık hızını tanımlamışlardır.

$$U = U_{b,y} - v_{d,y} \quad (2.17)$$

Bu eşitlikten yola çıkarak, ayrışmanın gerçekleşebilmesi için buhar hızının ($U_{b,y}$), damlacık hızından (U), (terminal hız) düşük olması gerektiği bulunabilir. Şekil 2.25'te damlacık çapı ve karışım sıcaklığına göre terminal hızın değişimi görülmektedir.



Şekil 2.25 Damlacık çapı ve sıvı-gaz karışımı sıcaklığına bağlı olarak terminal hızının değişimi

Souders ile Brown (1934), Gerunda (1981) ve Svrcek ile Monnery (1993) hesaplamaları basitleştirmek için kuvvet dengesini yeniden düzenlemişler ve Eşitlik (2.18)'deki haline dönüştürmüşlerdir.

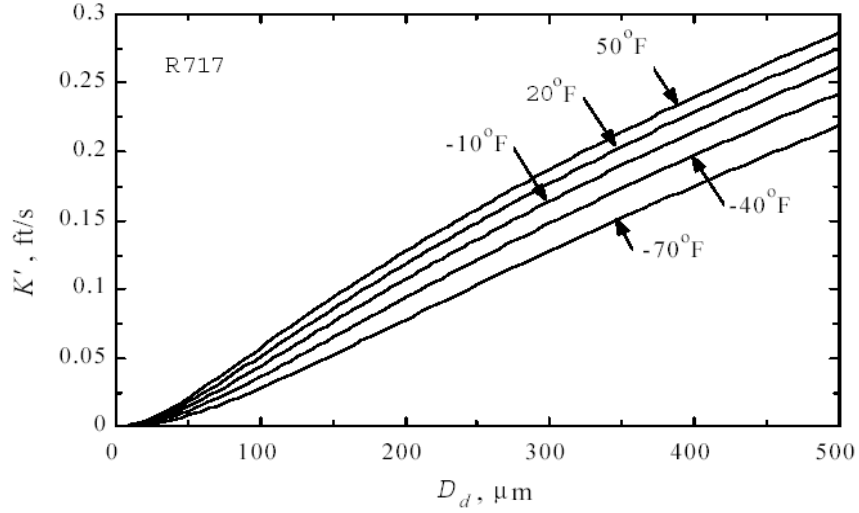
$$U = K' \sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_b)}{\rho_b}} \quad (2.18)$$

Burada K' damlacık çapı ve sürüklenme katsayısına (Bu katsayı ayrıştırıcı boyutuna, buhar özelliklerine, buhar debisine ve damlacık çapına bağlıdır.) bağlıdır.

Teorik K' Eşitlik (2.19) ile hesaplanmaktadır.

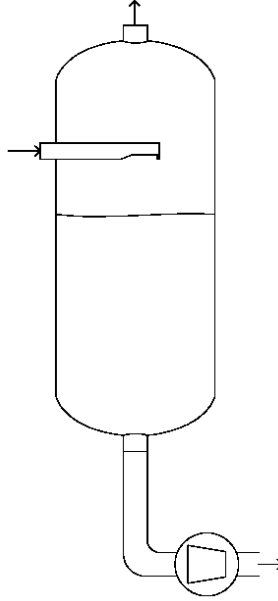
$$K' = \sqrt{\frac{4gD_d}{3C_D}} \quad (2.19)$$

Burada C_D bir önceki bölümde verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu sayede bir önceki bölümdeki eşitliklerle K' çeşitli buhar, sıvı şartları ve damlacık boyutları için belirlenebilmektedir. Şekil 2.26 amonyak için sıvı-buhar karışımının teorik K' değerini göstermektedir. Gerunda dikey ayrıştırıcı tasarımında K' için 0,227 değerini ve hesaplanan terminal hızının %15'i kadarının kullanılmasını önermiştir. Gerunda'ya göre tipik sistemlerde K' değeri 0,1 ile 0,35 arasında değişmektedir.



Şekil 2.26 Amonyak sıvı-buhar karışımı için sıcaklık ve damlacık çapının fonksiyonu olarak teorik K' katsayısı

Dikey ayırıştırıcılarda tüm hareketler tek düzlemde dikey olduğundan yer çekimi ayırmasının en basit durumudur. Buna ek olarak, dikey ayırıştırıcıda, buhar akış alanı ve buna karşılık gelen buhar hızı sıvı seviyesinden etkilenmez. Şekil 2.27'de dikey bir sıvı-buhar ayırıştırıcısı görülmektedir.



Şekil 2.27 Dikey bir sıvı-buhar ayırıştırıcısının şematik olarak gösterimi

Ayrışmanın gerçekleşebilmesi için, buhar hızının damlacık terminal hızından daha düşük olması gereklidir. Bu yüzden ayırıştırıcı çapının bulunması için damlacık büyüklüğü ile terminal hızın verilmesi gerekir. Damlacık çapı (2.20) eşitsizliğine göre belirlenir:

$$D \geq \sqrt{\frac{4\dot{V}}{\pi S U}} \quad (2.20)$$

Burada D ayırıştırıcı çapı, arzu edilen damlacık çapı için ayırıştırmanın garanti edilmesi için kullanılan S emniyet katsayısı ve \dot{V} ise hacimsel debidir.

2.3.5 Sıvı – Buhar Ayırıştırma Verimi ve Sıvı Damlacık Çapı Hesabı

W.D. Monnery ve W.Y. Svrcek (2000) gerçekleştirdikleri çalışmada ayırıştırma verimi için matematiksel bir ifade türetmişler, sıvı damlacık çapının önceden tahmin edilebilmesi için gerekli iteratif işlemleri sıralanmıştır. Ayrıca daha önceki bölümlerde anlatılan ayırıştırıcı tasarımı için yayımlanan makalelere atıfta bulunarak ifadeleri yeniden düzenlenmişlerdir.

Deneyleer için sıcaklık, basınç ve buhar-sıvı bileşimlerinden HYSYSTM proses simülatöründen yoğunluk ve viskozite değerlerinin elde edildiği belirtilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonrasında ayırıştırıcı için tanımlanan ayırıştırma verimi (2.21) eşitliği ile verilmiştir.

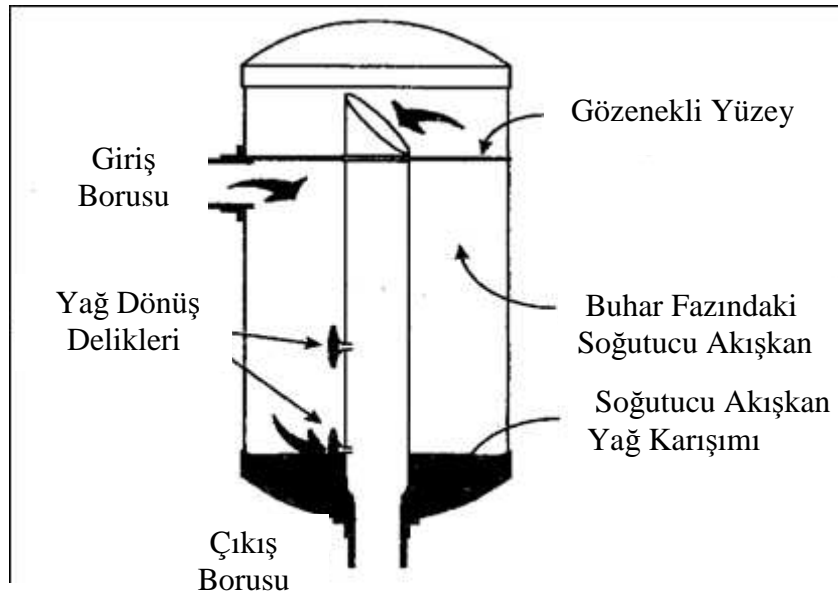
$$\eta = \frac{\left(\frac{V_{g,s} - V_{D,s}}{t_{deney}} \right)}{V_{g,s}} \times 100 \quad (2.21)$$

2.3.6 Emiş Hattı Ayırıştırıcısında Soğutucu Akışkan – Yağ Karışımının İncelenmesi

Skowron (1998) kompresör emiş hattındaki bir ayırıştırıcıda soğutucu akışkan-yağ akışını incelemiştir. Ayırıştırıcı kompresörün hemen öncesinde konumlandırılmıştır. İncelenen ayırıştırıcı ve kompresör multipleks tipinde bir ısı sisteminin elemanlarıdır.

Bir adet dış üniteye birden fazla iç ünitenin bağlandığı multipleks ısı sistemlerinde, üniteler arasındaki tesisat karışık, soğutma hatları uzun ve hat üzerinde çok değişik noktalarda düşey yükselmeler bulunmaktadır. Bununla beraber sistemde, herhangi bir anda diğerlerinden farklı olarak çalışmayan iç ünitelerin şarjları bir ayırıştırıcıda biriktirilmektedir. Diğer taraftan bu tür sistemlerde, değişken hızlı türde kompresörler kullanılmaktadır. Değişken hızlı kompresörün yüksek devirde çalıştığı dönemlerde açığa çıkan bir problem de kompresör hızıyla artan soğutucu akışkan debisine paralel olarak sistemde dolaşan yağ miktarının artmasıdır. Fakat sistemde dolaşan yağın tamamı kompresöre geri dönmeyebilmektedir. Yağın tamamının kompresöre dönmemesi kompresördeki yağ miktarının azalmasına neden olabilir. Dolayısıyla, multipleks türü ısı sistemlerinde, çevrim elemanları içinde soğutucu akışkan ve yağ hareketleri çok önemlidir. Bu elemanlardan biri de kompresörün emiş hattı üzerinde, kompresör öncesinde yer alan ayırıştırıcıdır.

Bu tip kompresörlerde emiş portuna sıvı soğutucu akışkan girerse, “slugging” adı verilen bir durumla karşılaşılır. Bu olay kompresöre mekanik zarar verebilir. Bu problemi çözmek için buharlaştırıcı ile kompresör arasına bir ayırıştırıcı yerleştirilir. Ayırıştırıcının görevlerinden biri de sıvı fazdaki soğutucu akışkanı kompresör öncesinde toplayarak, içinde biriktirdiği akışkanın kompresöre buhar fazında yollanmasını sağlamaktır. Ayırıştırıcıda biriktirilen sıvı soğutucu akışkan aynı zamanda, sistemde dolanan yağı da hapseder. Dolayısıyla ayırıştırıcıda soğutucu akışkanla birlikte yağ da tutulmaktadır. Skowron çalışmasında, soğutucu akışkan-yağ karışımının ayırıştırıcı ve soğutma sistemi içindeki davranışını incelemiştir.

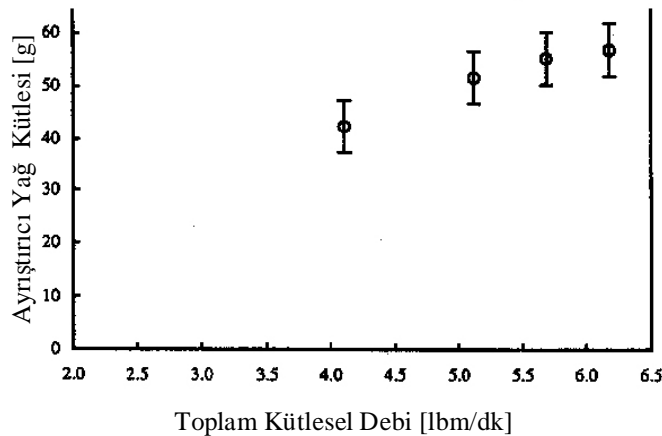
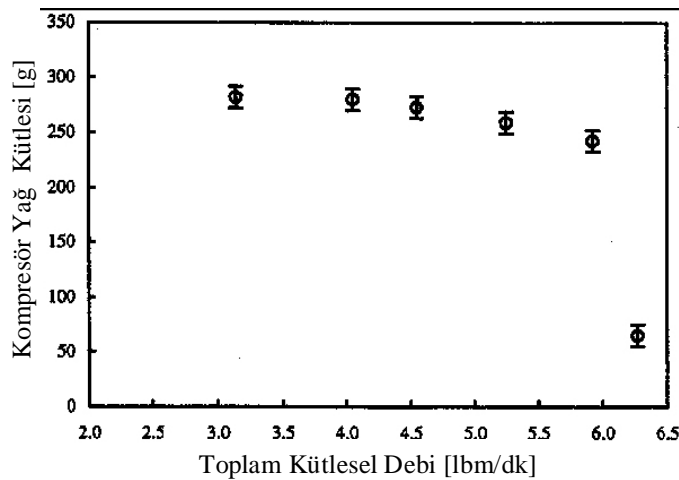


Şekil 2.28 Emiş hattında konumlandırılan ayırıştırıcının yapısı

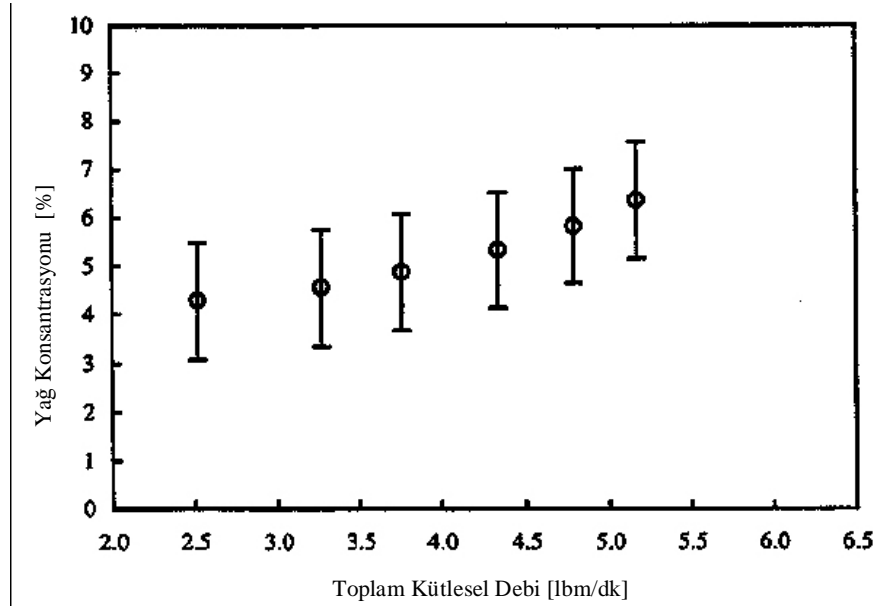
Şekil 2.28’de yer alan ayırıştırıcıda soğutucu akışkan girişi üst yan taraftan, çıkışı ise gövdeye eşmerkezli biçimde yerleştirilmiş olan bir boru vasıtasıyla alt taraftan sağlanmıştır. Ayırıştırıcı hacmi, giriş borusu seviyesinde, poroz yapıdaki bir disk ile iki bölmeye ayrılmış durumdadır. Çıkış borusunun emiş ağzı üstteki bölmede kalacak şekilde ve emiş ağzı giriş borusuna ters bakacak yönde açılmıştır. Çıkış borusu üzerinde, iki adet yağ dönüş deliği bulunmaktadır.

Sıvı ve buhar soğutucu akışkan karışımını ayırıştırıcı hacmine açıldığında, sıvı damlacıkları ayrıştırılarak ayırıştırıcı tabanında birikirken, buhar fazındaki soğutucu akışkan, ayırıştırıcı hacmi içerisinde yukarıda toplanır. Dolayısıyla kompresör emişine, çıkış borusu üzerinden yalnızca buhar fazındaki soğutucu akışkan gider. Ayırıştırıcı hacmi içerisinde biriktirilen sıvı soğutucu akışkan-yağ karışımı, seviyesi delik seviyesine ulaştığında, çıkış borusundaki ana akışa katılır. Yoğuşma sıcaklığının 54.4°C , buharlaşma sıcaklığının 7.2°C şartlarında tutulduğu sistemde, R22 soğutucu akışkanıyla birlikte sentetik alkil benzen ($300\text{SUS}=64\text{cSt}$) yağı dolanmaktadır. Sistemdeki soğutucu akışkan şarjı 1503g ’da, yağ şarjı ise 397g ’da

tutulmuştur. Deneyleerde, basınç, sıcaklık ve kütleel debiye ilave olarak, sıvı hattında yağ konsantrasyonu, kompresörde yağ kütlesi ve ayrıştırıcıda yağ kütlesi parametreleri de ölçülmüştür. Sıvı hattında yağ konsantrasyonunu ölçümünde, ultrasonik güç çeviriciler yardımıyla karışım üzerine basınç dalgaları gönderilerek karışımının akustik hızı belirlenmektedir. Karışım, farklı yağ konsantrasyonları için farklı hız değerleri vermektedir. Deneysel çalışmalar sırasında kompresör ve ayrıştırıcıdaki yağ kütleleri, bu elemanların sistemden ayrılması sonrasında, soğutucu akışkan deşarjı ve vakumunu takiben, yağ kütlesinin tartılması suretiyle ölçülmüştür. Şekil 2.29’da kompresör ve ayrıştırıcıda tutulan yağ kütlesinin soğutucu akışkan debisiyle değişimini gösteren deney sonuçları görülmektedir. Soğutucu akışkan debisi arttıkça, kompresörde tutulan yağ kütlesi azalırken, ayrıştırıcıda tutulan yağ kütlesi artmaktadır. Başka bir deyişle, artan kompresör hızına paralel olarak artan soğutucu akışkan debisine ters orantılı olarak kompresöre dönen yağ miktarı azalmaktadır. Bunun sebebi, bu davranışa paralel olarak ayrıştırıcıda daha fazla miktarda yağ birikmesidir. Soğutucu akışkan debisinin artmasıyla, ayrıştırıcıda tutulan yağ miktarının artmasına paralel olarak, sistemde soğutkan içinde dolanan yağ miktarının artışı Şekil 2.30’daki grafikte görülebilir.



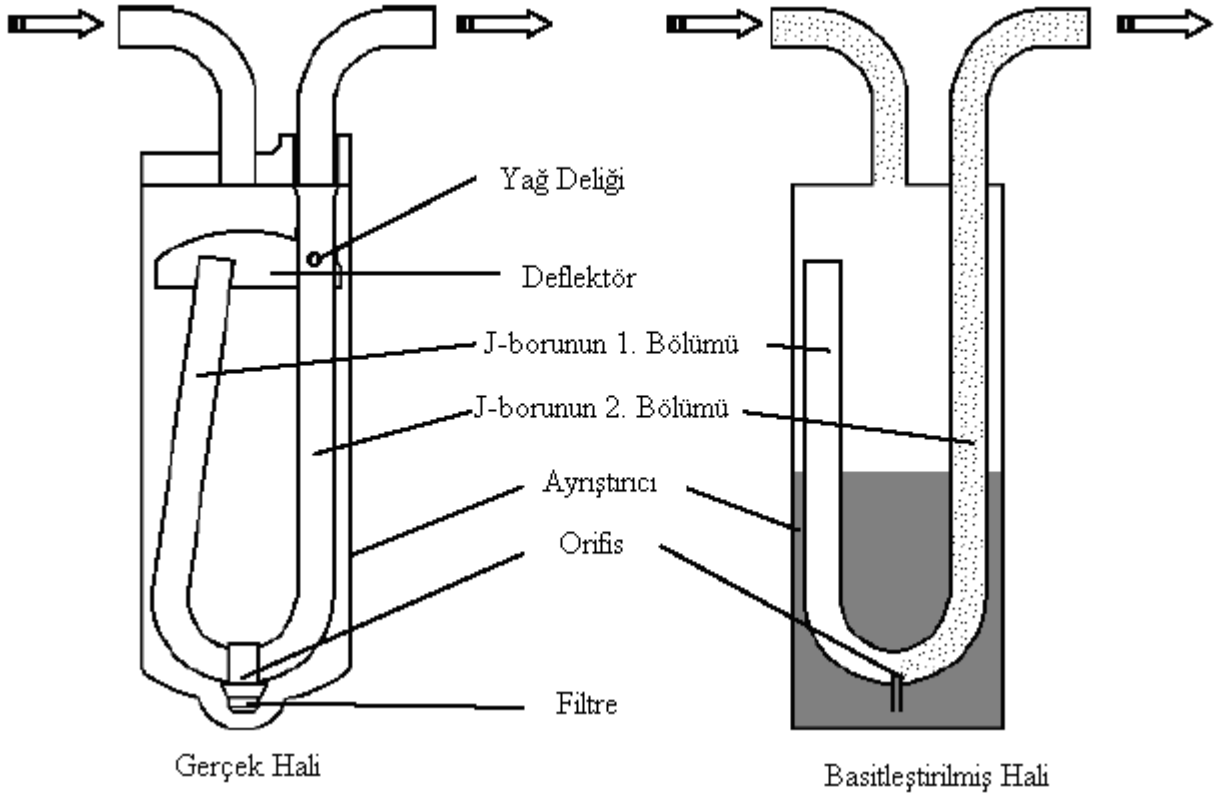
Şekil 2.29 Kompresör ve ayrıştırıcıda depolanan yağ miktarının soğutucu akışkan debisiyle değişimi



Şekil 2.30 Sistemde dolaşan yağın konsantrasyonunun soğutucu akışkan debisiyle değişimi

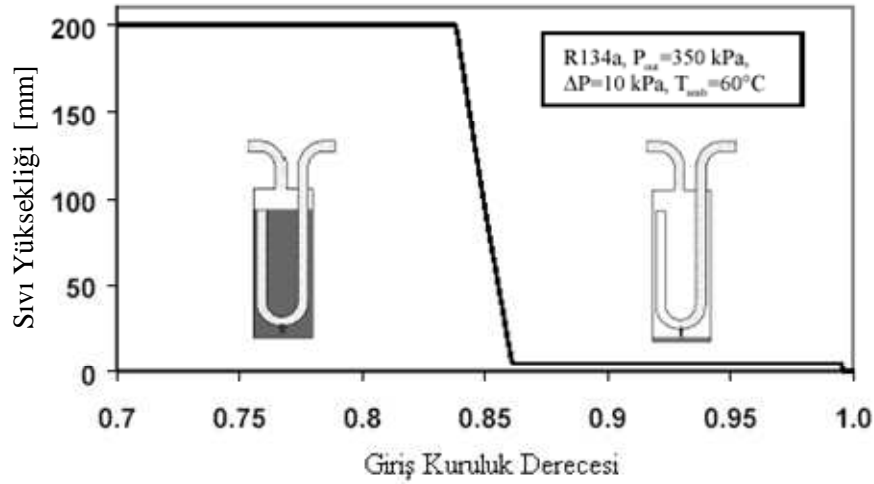
2.3.7 Otomobil Soğutma Sistemlerinde Kullanılan J Tipi Ayrıştırıcı

Otomobil soğutma sistemlerinde kullanılan ayrıştırıcılar üzerine yapılan çalışmada ayrıştırıcıların davranışı ve yağın kompresöre geri dönüşünü sağlamadaki etkilerinin simüle edilmesi için yeni bir model geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada genel bir çözücü oluşturmak amacıyla ayrıştırıcı geometrisi tüm ayrıştırıcıların genel hatlarını kapsayacak şekilde basitleştirilmiştir. Simülasyon tankının şekli tam bir silindirdir. Otomobil soğutma sisteminde kullanılan ayrıştırıcı geometrisi Şekil 2.31’de gösterilmiştir.



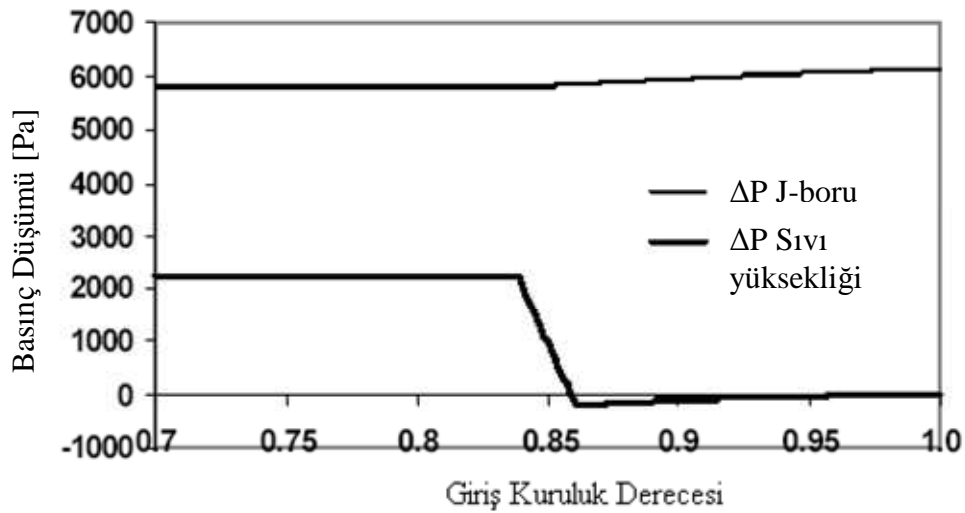
Şekil 2.31 Otomobil soğutma sistemlerinde kullanılan ayrıştırıcı tasarımı

Ayrıştırıcıda iki fazlı akışın değişik etkileri basınç düşüşüne yol açmaktadır. İlk etki sürtünmeden ve giriş borusundaki kıvrımdan kaynaklanan kayıptır. İkinci olarak, soğutucu akışkan ayrıştırıcıya girdiğinde hızın aniden değişmesidir. Soğutucu akışkanın hızının hemen hemen sıfıra düştüğü varsayılabilir. İçeride akış sıvı ve buhar fazına ayrıştırılır. Sıvı depolanır ve sadece orifisten geçerek ya da buharlaşarak ortamı terk edebilir. Buhar ise J-borudan çıkar. J-borunun girişinde, hemen hemen sıfıra yakın olan buhar hızı ani daralmadan dolayı çıkış hızına yükselmek zorundadır. Bu da başka bir basınç düşüşüne neden olur. Ayrıca J-borudaki ve çıkış borusundaki sürtünmeden ve kıvrımlardan kaynaklanan kayıplar da vardır. J-borunun girişinde sürtünme daha fazladır. Çünkü bir kararlı hız profili formuna dönüşmesi zaman alır. J-borunun ilk parçasındaki (giriş ve orifis arası) kayıplara ve sıvı yüksekliğine bağlı olarak orifise doğru basınç değişimi değişir. Bu ayrıştırıcıyı terk eden sıvı kütleli debisini etkiler. Tüm bu etkiler kütleli debinin, kuruluk derecesinin ve basıncın fonksiyonları olan hızın ve yoğunluğun fonksiyonudur. Şekil 2.32 giriş kuruluk derecesinin ve diğer sınır koşullarının bir fonksiyonu olarak sıvı yüksekliğinin davranışını göstermektedir.



Şekil 2.32 Sıvı yüksekliğinin giriş kuruluk derecesine göre değişim grafiği

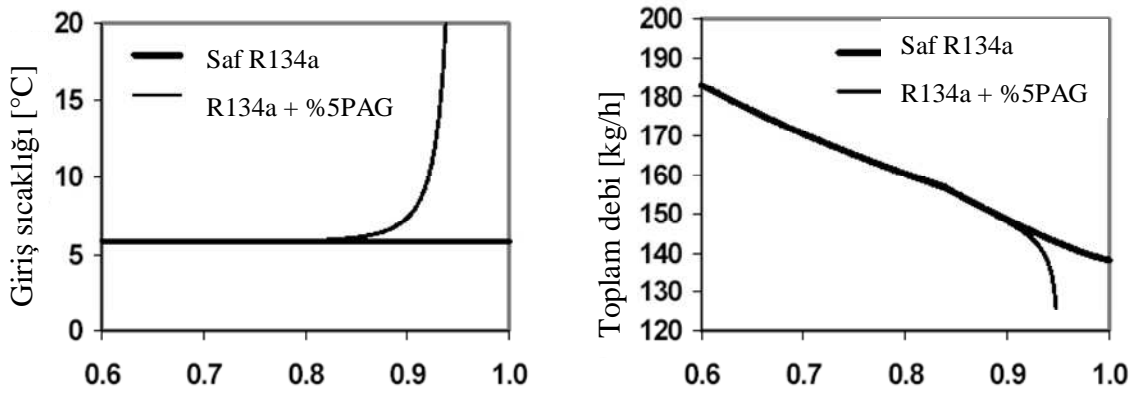
Giriş kuruluk derecesindeki küçük bir değişim sıvı yüksekliğinin minimumdan maksimuma çıkmasına sebep olmaktadır. Sonuçları doğrulamak için sıvının orificeye doğru gitmesini ve ardından ayrıştırıcıyı terk etmesini sağlayan basınç gradyanı hesaplanmıştır. Basınç gradyanının oluşmasında iki etki rol oynamaktadır. Bunlar sıvı yüksekliği ve J-borunun birinci kısmındaki basınç düşüştür. Şekil 2.33 sıvı yüksekliği ve J-borunun basınç düşüşü üzerine etkisini göstermektedir. Basınç düşüşü üzerine J-borunun sıvı yüksekliğine nazaran etkisi bariz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.33 Basınç düşümünün giriş kuruluk derecesine göre değişimi

Günümüzde kullanılan sistemlerin çevrim bileşenlerinde (kompresörler, yoğuşurucular, genişleme elemanları ve buharlaştırıcılar) sıvı fazdaki düşük yağ kütle oranları (%5) sebebiyle soğutucu akışkan özellikleri üzerinde çok küçük bir etki vardır. Buna rağmen ayrıştırıcının girişinde sıvı fazdaki yağ kütle oranı %20 - %80 arasında değişir. Şekil 2.34'te girişte %5 yağ kütle oranına sahip olan R134a / PAG karışımının etkisi görülmektedir. Kalın çizgi saf

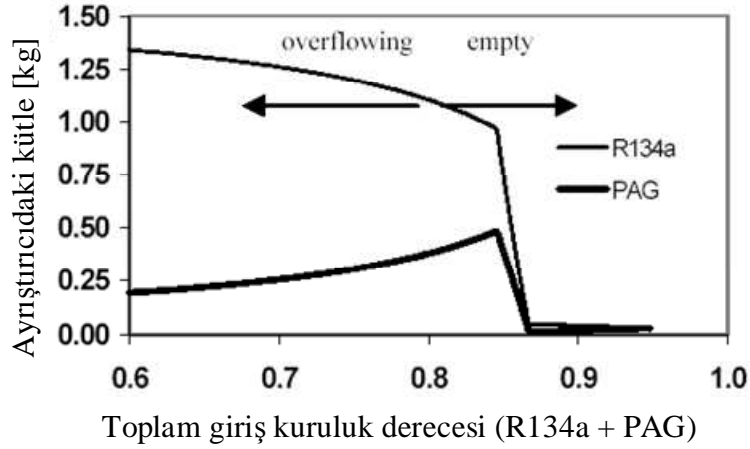
soğutucu akışkanın ince çizgi ise karışımın davranışını göstermektedir. Kuruluk dereceleri 0,8 civarında olduğunda doyma sıcaklığı önemli bir şekilde artmaya başlar. Kuruluk derecesinin 0,95'e ulaşması için karışım yağın doyma sıcaklığına kadar soğutulması şarttır (yaklaşık 343 kPa'da 350°C). Bu soğutucu akışkan/yağ karışımları için buharlaştırıcı çıkışında her zaman bir miktar sıvı soğutucu akışkanın bulunacağını göstermektedir. Buharlaştırıcı çıkışında saf soğutucu akışkanın doyma sıcaklığının üstünde bir sıcaklık sağlanabilir fakat karışım halen kızdırılmış değildir. Şekil 2.34 ayrıca kütleli debinin kuruluk derecesi ile değişimini de göstermektedir.. Kuruluk derecesinin 0,85 olduğu yerdeki ani değişiklik J-borudaki sürtünmenin değişiminin bir sonucudur. 0,85'in üstünde J-borunun ilk bölümünde tek fazlı akış giriş ve çıkışında ise iki fazlı akış vardır. 0,85'in altında ise J-boru taşma durumuna girer ve tüm borularda iki fazlı sürtünme vardır.



Toplam giriş kuruluk derecesi (PAG+R134a) Toplam giriş kuruluk derecesi (PAG+R134a)

Şekil 2.34 Giriş borusundaki doyma sıcaklığı ve sabit basınç düşümünde kütleli debi. Klima sistemi uygulamalarında çoğu kompresör yağlamaya ihtiyaç duyar ve yağın sirkülasyonu genel olarak soğutucu akışkan ile sağlanır. Normal koşullar altında sistem, kompresöre mümkün mertebede yağın dönmesini sağlayacak ve sıvı soğutucu akışkan ile viskozitenin aşırı düşmesinin önüne geçecek şekilde tasarlanmaktadır. Ayrıştırıcı yağın geri dönüşü üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve iyi bir şekilde tasarlanmamışsa yağın kompresöre dönüşüne de engel olabilir. Bu nedenle ayrıştırıcıların tasarımı için yağın kompresöre geri dönüş karakteristikleri önemli olmaktadır. çok küçük bir orifise sahip bir ayrıştırıcıda ya da ayrıştırıcı girişinde düşük kuruluk derecelerine sebep olan bir buharlaştırıcı tasarımına sahip bir sistemde, ayrıştırıcıda ne kadar yağ engellenebileceği gösterilmektedir. Bu ayrıştırıcı geometrisi yaklaşık olarak 0,8 kg soğutkanın ve 0,2 kg yağ beslendiği bir sistem için tasarlanmıştır. Bu tasarım sıvı seviyesinin orifisin üzerinde çıkmasını engeller. %50 veya daha fazla yağ ayrıştırıcıda depolanabilmiştir. Çünkü ayrıştırılmış sıvı içindeki yağ

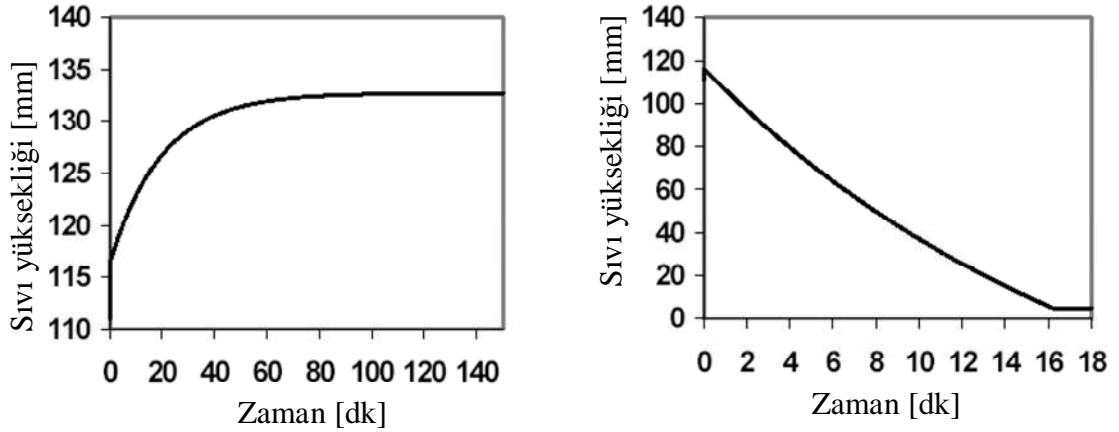
kütle oranı sıvı faz içindeki yağ kütle oranı ile bağlantılıdır. Yağ kütle oranı buharlaştırıcı çıkışındaki kuruluk derecesinin düşmesiyle yükselir.



Şekil 2.35 Ayrıştırmacıda depolanan yağ ve soğutucu akışkan miktarı

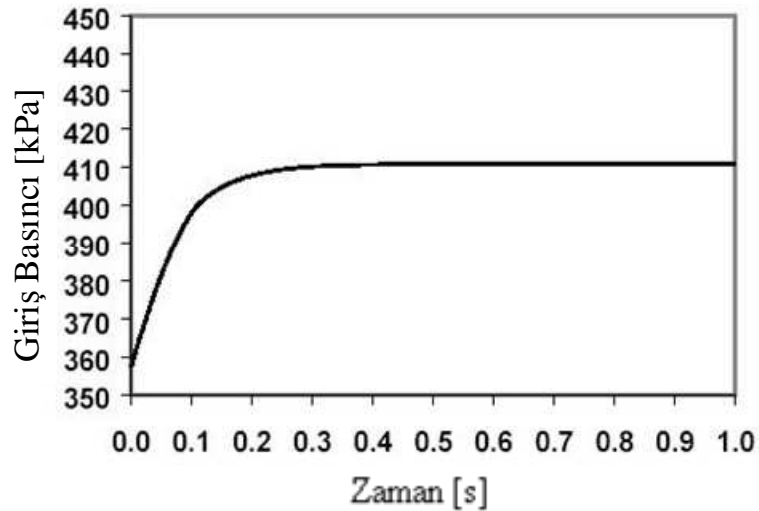
Eğer, başta buharlaştırıcıdan ayrıştırmacıya çok fazla sıvı gelirse kütleli yağ oranı çok küçük olacaktır. Çünkü soğutucu akışkan buharlaştırıcıya taşınır ve böylece çok düşük yağ konsantrasyonu olacaktır. Bununla birlikte, eğer sıvı seviyesi orifise kadar düşmezse kütleli yağ oranı gereğinden fazla yükselir. Tüm bu hususlar tek bir sonuca neden olur; iyi tasarlanmış bir ayrıştırmacı başlangıçta sıvının önemli bir kısmını toplayabilir. Fakat sıvı seviyesi normal çalışma durumunda orifise yakın olmalıdır.

Emiş ayrıştırmacıları otomobil klima sistemlerinde olduğu gibi sıklıkla çalışma noktalarının değiştiği sistemlerde kullanılır. Bu sistemlerde kompresör motor hızıyla kendi hızını değiştirir ve soğutma kapasitesi kompresörün on/off olmasıyla sağlanır. Bu sistemler geçici rejimde çalışırlar. Bu sistemler için ayrıştırmacı tasarlarken geçiş davranışının simüle edilmesi gerekmektedir. Özellikle giriş şartlarının değişmesine nasıl cevap verdiğini bilmek gereklidir. Bu sebeplerden ötürü geçici hal modeli geliştirilmiştir. Şekil 2.36'da sıvı seviyesindeki değişim görülmektedir.



Şekil 2.36 Sıvı seviyesindeki değişim

Geçici modelin sonuçları ayırıştırıcının değişen koşullara ne hızla cevap verdiğini anlamak için değerlendirilmiştir. Sıvı yüksekliği giriş ve çıkış şartlarına bağlı olarak saatler sonra yeni bir seviyeye ulaşabilir ya da orifis seviyesine birkaç dakikada düşebilir. Şekil 2.36'da görülen ilk grafik sınır şartlarındaki küçük bir değişimde sıvı seviyesinin daha yüksek bir konuma gelmesini göstermektedir. İkinci grafik başlangıçtan sonra çok fazla sıvının depolanması ve daha sonra sıvı seviyesinin düşerek sistemin normal çalışma moduna ulaşmasını göstermektedir. Kısa çevrim süreleri için ayırıştırıcı yüksekliği hiçbir zaman denge seviyesine ulaşamayabilir. İç basıncın değişimi Şekil 2.37'de görülmektedir. Bu ayırıştırıcı hacmi ile boruların çapı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Normal şartlar altında, bir dakika içinde ayırıştırıcı içine yaklaşık olarak depolanan miktar kadar buhar girmektedir. Bu nedenle, iç basınç 0,5s zarfında yeni değerinin %99,9'una ulaştığından dikkate alınmaz.



Şekil 2.37 İç basınç değişimi

3. DENEY DÜZENEGİ

Buharlaştırıcı çıkışında dikey olarak konumlandırılan ayırıştırıcıya soğutucu akışkan bir çevrim boyunca değişik kütleli akılarda ve kuruluk derecelerinde gelebilmektedir. Bu yüzden kompresörün çalışmaya başlamasından durma periyodu başlangıcına kadar olan süreçte ayırıştırıcıdaki akışın karakteristiklerinin ve ayırıştırıcıda ayırıştırılarak depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi, ayırıştırıcının soğutma sistemi üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılması açısından kritik olmaktadır. Tez çalışması kapsamında kurulan ayırıştırıcı deney düzeneği dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- Hızlı kamera sistemi
- Boroskop ve soğuk ışık kaynağı
- Ledli ışık kaynağı
- Akış görsellemenin yapılacağı kısım

3.1 Hızlı Kamera Sistemi

Hızlı kamera sistemi aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır.

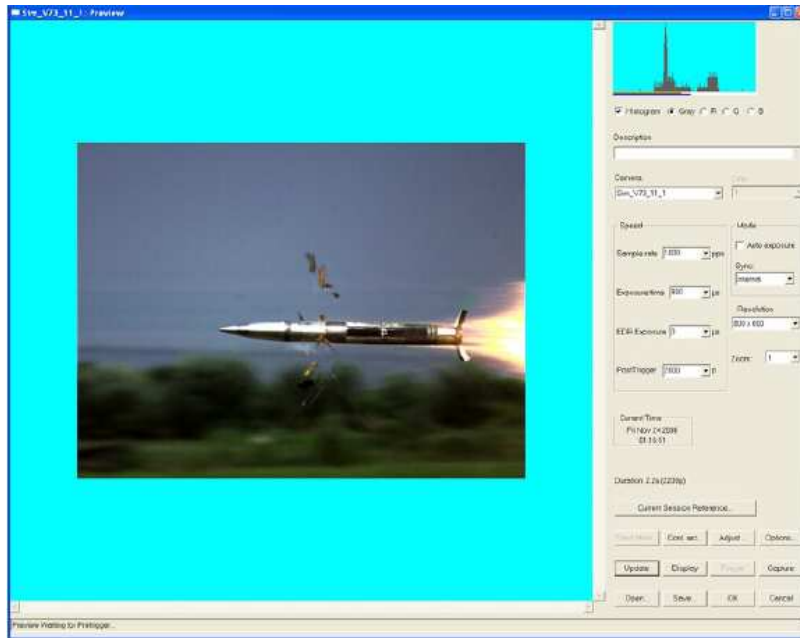
- Phantom v5.1 Hızlı Kamera
- NIKON – Nikkor AF ED 180mm F2.8D Mercek
- SIGMA Dg Macro 24-70mm F2.8 Mercek
- Gelişmiş SR-CMOS sensör (10 bit 1024*1024 piksel)
- Uzatma Tüpü

Şekil 3.1’de Phantom v5.1 hızlı kameranın bilgisayara bağlantı bölümü gösterilmektedir.



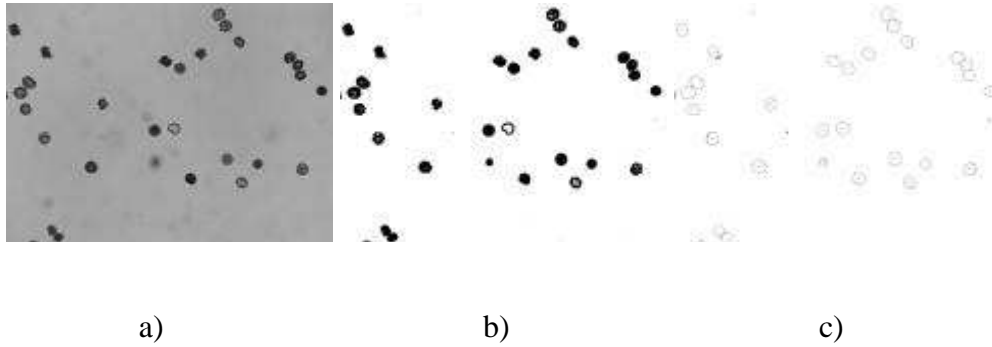
Şekil 3.1 Phantom v5.1 hızlı kameranın bağlantı bölümü (Phantom v5.1 Manual)
Hızlı kamera sistemi ile birlikte kamera ayarlarının ve çekimlerin yapılabilmesini sağlayan Phantom 669 programı ve damlacık çapı ölçümü için ImageJ görüntü analiz programı kullanılmaktadır. Phantom 699 programının temel kullanım amacı, çekimler öncesi kamera

ayarlarının ve video boyutlarının ayarlanması ve çekimlerin gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır. Bu program ile kameranın tüm ayarları yapılabilmekte, çekilen görüntüler kameranın belleğinden bilgisayara aktarılabilmekte, videolar ve fotoğraflar programın kendi formatı olan “.cin” ve “.cine” formatlarından “.avi”, “.tiff”, “.jpeg” ve “.mov” gibi birçok formattaki görüntülere dönüştürebilmektedir. Bu program ile çekim hızı, görüntü boyutları, kontrast, parlaklık ve renk ayarları kolaylıkla yapılabilmektedir. Netlik ayarının daha iyi yapılabilmesi için optik yakınlaşma özelliğinin yanında program ayrıca dijital yakınlaşma imkanı da tanımaktadır. Bu sayede küçük alanlar için programın dijital yakınlaşma özelliği kullanılarak daha hassas netlik ayarı yapılabilmektedir. Programın yüklenmesiyle oluşturulan “.stg” uzantılı bir dosya ile kamera ilk ayarlarına döndürülebilmektedir. Kameranın “yakalama” özelliği ile de anlık kareler yakalanabilmektedir. Kameranın çekim modunda monitörün görünümü Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Çekim moduna geçildikten sonra kamera görüntüleri kendi belleğinde depolamaktadır. Çekim işlemi bittikten sonra dosya bilgisayara aktarılabilir. Akış görselleme görüntüleri bilgisayara aktarıldıktan sonra “.jpeg” formatındaki fotoğraflara dönüştürülerek ImageJ görüntü analiz programı ile sıvı soğutkan damlacıklarının çapları ve ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkanın yüksekliği belirlenebilmektedir.



Şekil 3.2 Kameranın çekim modunda monitörün görünümü (Phantom v5.1 Manual)
Phantom 669 programında hareket ettiği belirlenen damlacıklar görüntü işleme teknikleri ile ImageJ programında ayrıştırılmakta ve çapları program tarafından ölçülebilmektedir. ImageJ programında örnek olarak yapılmış bir çalışmada mikroskop altında edilen bir görüntü içerisinde bulunan embriyoların analizi Şekil 3.3’te sunulmuştur. Örnek çalışmada mikroskop

altında elde edilen görüntüde bulunan embriyolar görüntüden ayrıştırıldıktan sonra gerçekleştirilen analiz ile büyüklükleri tespit edilmiştir.



Şekil 3.3 a) Embriyoların mikroskop altında elde edilen görüntüsü b) Ayrıştırılmış embriyo gövdelerinin eşleniği c) Analiz sonunda embriyo alanlarının belirlenmesi

3.2 Soğuk Işık Kaynaklı Boroskop Sistemi

Soğuk ışık kaynaklı boroskop sistemi daha çok kapalı ameliyatlarda kullanılan bir sistemdir. Ayrıştırıcı içerisindeki akışın incelenmesi küçük hacimlerde çekim yapmayı gerektirdiğinden ve kameranın sistemde fazla tahribata yol açmadan bu ortamlara yerleştirilmesi mümkün olmadığından boroskop sisteminin kameraya harici olarak monte edilmesi gerekmektedir. Kapalı ve küçük hacimlerdeki akış görselleşiminin ve şekil değişimlerinin incelenebilmesi için hızlı kamera sistemiyle birlikte bir boroskop sistemi kurulmuştur. Ayrıştırıcı yalıtım içerisinde olduğundan ısı kazançlarının önüne geçmek için deney düzeneğine soğuk ışık kaynağı da entegre edilmiştir. Soğuk ışık kaynaklı boroskop sistemi elemanları aşağıda sıralanmıştır.

- Boroskop (320mm*8mm)
- Soğuk ışık kaynağı (150W)
- Fiber optik ışık aktarım kablosu
- Boroskop-kamera lensi bağlantı aparatı

Şekil 3.4'te gösterilen ve Storz firmasından temin edilen boroskopun teknik özellikleri aşağıda belirtilmektedir.

- -100°C / +150°C sıcaklık aralıklarında çalışabilmekte
- Yağ, yakıt ve çözelti maddesine karşı dayanımı bulunmakta
- +5bar'a kadar basınç dayanımına sahip ve



Şekil 3.4 Hızlı kamera sistemine entegre edilmiş boroskop Boroskop sistemi ile soğuk ışık kaynağı fiber optik bir kablo vasıtasıyla bağlantı halindedir. Böylece akış görselleme için gerekli olan ışıklandırma da boroskop üzerinden sağlanmış olmaktadır. Kullanılan soğuk ışık kaynağı yüksek ışık yoğunluğunda 150W'lık kapasitede kademesiz olarak ışık şiddetinin ayarlanmasına olanak sağlamakta olup Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Soğuk ışık kaynağı

3.3 Ledli Beyaz Işık Kaynağı

Hızlı kamera çekimlerinde yüksek ışık şiddetine ihtiyaç duyulmaktadır. Renk sıcaklığı ışık kaynaklarının renk kalitesini belirlemek için kullanılır ve birimi Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)' dir. Kelvin cinsinden tanımlanan ışığın rengi 0 ila 20000 $^{\circ}\text{K}$ değerine sahip olabilmektedir. Beyaz olarak tanımlanan ışığın renk sıcaklığı 5500 Kelvin'dir. Bu değer altındaki ışık kaynakları sarı, turuncu ve kırmızıya doğru kayarlar. Üstündeki ışık kaynakları ise yeşil, mavi ve mora kayarlar. Çekim yapılacak bölgenin küçük olması ışığın o bölgeye odaklanmasını gerektirmektedir. Ayrıca bu tür çekimlerde renklerin doğal haliyle elde edilebilmesi için ışık kaynağının renk sıcaklığının 5500 $^{\circ}\text{K}$ civarında olması istenmektedir. Bu nedenle hızlı çekimlerde kullanılmak üzere Streamlight firmasından 210 lümen gücünde 5500 $^{\circ}\text{K}$ renk

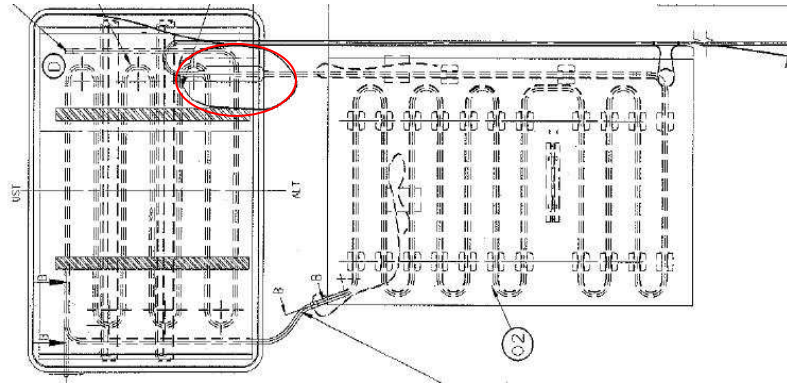
sıcaklığında ışık verebilen Stringer Ledli el feneri temin edilmiştir. Işık kaynağının ledli olması ayrıştırıcı içerisindeki akışın radyasyonla ısı transferine maruz kalmasını engellemektedir. Ledli ışık kaynağı Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Streamlight Stringer beyaz ledli ışık kaynağı

3.4 Akış Görselleme Çalışması Ön Hazırlıkları

Çalışmalar için seçilen soğutucunun resmi ve soğutucu üzerinde ayrıştırıcının bulunduğu kısım Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, ayrıştırıcı soğutucu arka yüzeyinde, poliüretan esaslı yalıtım içerisinde konumlanmıştır. Bulduğu yer itibariyle dondurucu ve taze gıda bölmelerinin arasındaki hacimdedir. Soğutma çevrimi açısından bakıldığında ise ayrıştırıcı, taze gıda bölümü buharlaştırıcısı çıkışında kompresör dönüş borusu öncesinde konumlandırılmıştır.



Şekil 3.7 Ayrıştırıcının soğutma sistemindeki konumu

Ayrıştırıcı prototipleri LOCTITE Hysol 9466 epoksi yapıştırıcı ile hazırlanmıştır. Hazırlanan prototiplerden biri Şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.8 Hazırlanan ayrıştırıcı prototipi

Akış görselleme çalışması için hazırlanan poliüretan kapak açıldığında dış ortam sıcaklığı ve bağıl neme bağlı olarak saydam ayrıştırıcı prototipinin dış yüzeyinde yoğuşma gözlemlenmektedir. Bu olay akış görsellemeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bunun engellenmesi için ayrıştırıcı yüzeyine ince bir tabaka halinde gliserin uygulanmıştır. Akış görselleme çalışması için hazırlanan bir saydam ayrıştırıcı prototipinin soğutma sistemine montajından sonraki hali Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Montajı gerçekleştirilen ayrıştırıcı prototipi

Prototip ayrıştırıcıların içerisindeki soğutucu akışkan hareketinin gözlemlenebilmesi için soğutucunun arka yüzeyine küçük bir pencere açılmıştır. Açılan bu pencerenin akış görselleme çalışmaları ardından kapatılabilmesi için iki parçalı bir poliüretan kapak hazırlanmıştır. Ayrıca açılan hacim içerisine damlacık çapı ölçümünde kullanılacak 1/64” hasiyetinde metal bir cetvel yerleştirilmiştir. Hızlı kamera ile damlacık çapı ölçümünün yanında ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi için kullanılacak boroskop için soğutucunun yan yüzeyine bir kanal açılmıştır. Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesine yönelik olarak kurulan soğuk ışık

kaynaklı boroskop sistemi Şekil 3.10’de sunulmuştur. Akış görsellemenin yapılabilmesi için soğutucu ısı odası istasyonunda standart deneylere göre 180° döndürülmüş olarak konumlandırılmıştır. Yoğuşma sıcaklığının standart deneylerde olduğu gibi sağlanabilmesi için soğutucunun arka yüzeyine ısı odası deney standartlarına uygun bir plaka yerleştirilmiş ve bu plakaya da kapaklı bir pencere açılmıştır. Ayrıştırıcı deney düzeneğinde damlacık çapı ölçümü için kurulan hızlı kamera sistemi ise Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesi için kurulan soğuk ışık kaynaklı boroskop sistemi



Şekil 3.11 Damlacık analizi için kurulan hızlı kamera sistemi

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde standartlara uygun bir ısı odasında şeffaf ayrıştırıcı prototiplerinin bulunduğu soğutma sistemleri üzerinde kritik noktaların sıcaklıklarının belirlenmesi için yapılan ısı odası deneyleri, kullanılan kompresörün değişik çalışma şartlarındaki kapasitesinin ve soğutucu akışkan debisinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen kalorimetrik deneyler ve ayrıştırıcı içerisindeki soğutucu akışkan hareketlerinin incelenmesi için gerçekleştirilen görselleme çalışmaları sunulmuştur.

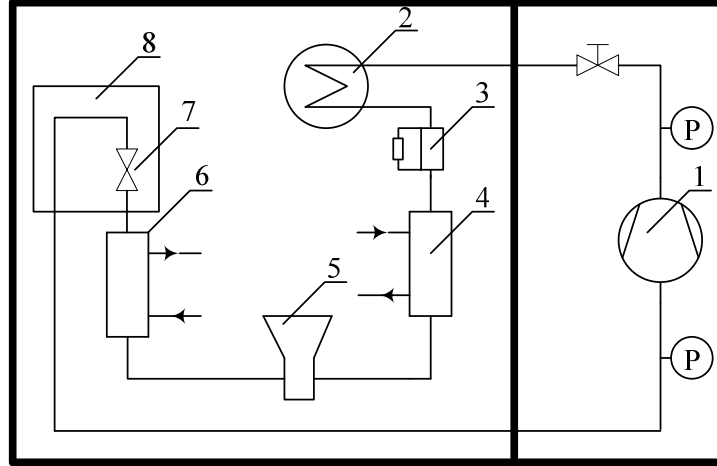
4.1 Isı Odası Deneyleri

Bu bölümde tez çalışması kapsamında TS 15502'ye uygun standart bir ısı odasında şeffaf ayrıştırıcı prototipleri üzerinde gerçekleştirilen görselleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalarda boroskop, soğuk ışık kaynağı ve hızlı kamera sistemi birleştirilerek şartlandırılmış standart bir ısı odasında 25°C dış ortam sıcaklığında bir çevrim boyunca ayrıştırıcı içerisindeki akışkan hareketleri gözlemlenmiştir. Isı odasında ayrıştırıcı içerisinde depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarı 2 farklı kılcal boru uzunluğunda belirlenmiştir.

4.2 Kompresör Kalorimetre Deneyleri

Kompresörün farklı şartlarda test edilmesi amacıyla kalorimetre test düzenekleri kullanılmaktadır. Tez çalışmaları kapsamında kullanılan kalorimetre test düzeneği şematik olarak Şekil 4.1'de sunulmuştur. Şekilde görüleceği üzere, kompresör kalorimetresi test düzeneğinde kullanılan ekipmanlar iki ayrı hacme yerleştirilmiştir. Sağ tarafta bulunan hacim içerisinde test edilecek olan kompresör ve kompresör giriş – çıkış basınçlarının ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar bulunmaktadır. Soğutma ve ölçüm sisteminin geri kalan ekipmanları ise sol tarafta bulunan hacim içerisine yerleştirilmiş olup, her iki hacim de iç hava sıcaklığı 32,2°C olacak şekilde şartlandırılmaktadır. Kalorimetre ölçümlerinin doğru ve hassas olarak gerçekleştirilebilmesi için yoğuşma basıncının stabil olması gerekmekte; bu amaçla, toplam ısıl geçirgenliği oldukça yüksek iç içe borulu bir ısı değiştiricisi yoğuşturucu kullanılmaktadır. Yoğuşturucu toplam ısıl geçirgenliğinin yüksek olması sayesinde, soğutma suyu sıcaklığı ile yoğuşma sıcaklığı arasında oldukça küçük bir farka ihtiyaç duyulmakta (~0,5°C) ve yoğuşturucu soğutma suyunun sıcaklığının hassas olarak kontrol edilmesiyle, deneyler boyunca sabit bir yoğuşma basıncı elde edilebilmektedir. Çalışma şartlarında soğutucu

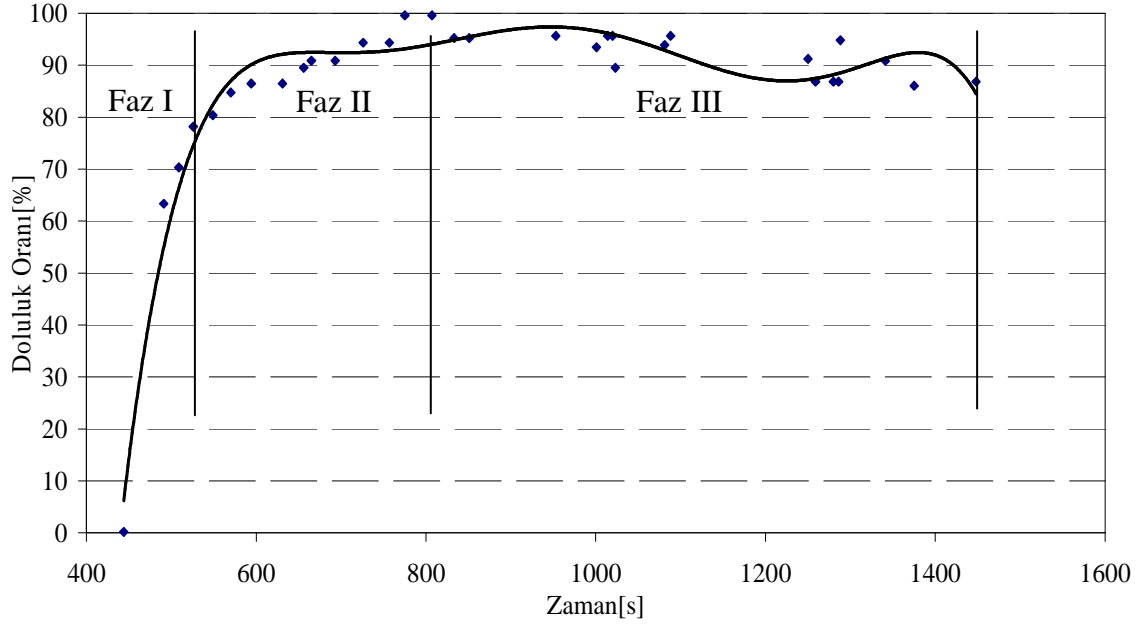
akışkan debisinin belirlenebilmesi için bu şartlara göre kompresör giriş ve çıkışındaki basınçlar ayarlanmaktadır. Böylece soğutma sisteminde kullanılan kompresörün değişik buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarında verdiği debi değerlerini gösteren eğriler belirlenmiş olup gerçekleştirilen regresyon analizi sonrasında belirlenen debi katsayıları tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen matematiksel modelde kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Kompresör kalorimetresi test düzeneğinin şematik gösterimi: 1: Kompresör, 2: Yoğuşturucu, 3: Ayrıştırıcı, 4: Aşırı soğutma ünitesi, 5: Debiölçer, 6: Aşırı soğutma ünitesi-2, 7: Kısılma vanası, 8: Buharlaştırıcı

4.3 Ayrıştırıcı İçerisinde Depolanan Sıvı Soğutucu Akışkan Miktarının Belirlenmesi

Elde edilen görüntüler Phantom 669 programı ile analiz edilerek ayrıştırıcıdaki sıvı soğutucu akışkan doluluk oranı belirlenmiştir. Ayrıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı andan itibaren ayrıştırıcının tamamen sıvı soğutucu akışkan ile dolduğu ana kadar geçen sürede ayrıştırıcı doluluk oranının zamana bağlı değişimi Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Kompresörün çalışmaya başlamasından 440s sonra soğutucu akışkan ayrıştırıcıya iki fazlı olarak gelmeye başlamaktadır. Bu andan itibaren Faz I’de ayrıştırıcı hızlı bir şekilde sıvı soğutucu akışkan ile dolmaktadır. Bunun sebebi yüksek kütleli akı ve düşük kuruluk derecesidir. Bu süreci kütleli akının düşmesine ve kuruluk derecesinin artmasına bağlı olarak ayrıştırıcı doluluk oranı eğrisinin eğiminin azaldığı Faz II takip etmektedir. Ayrıştırıcı depolama hacminin tamamının dolmasıyla birlikte ayrıştırıcıya giren ve çıkan kütlelerin eşit kabul edilebileceği, sürekli rejim şartlarının sağlandığı Faz III evresine geçilmektedir. Ayrıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı andan doluluk oranının en yüksek olduğu ana kadar geçen sürenin 331,2 s olduğu belirlenmiştir. Faz I ve Faz II sürelerinin toplamı olan bu zaman aralığı Bölüm 5’te sunulan matematiksel model için kullanılmıştır.



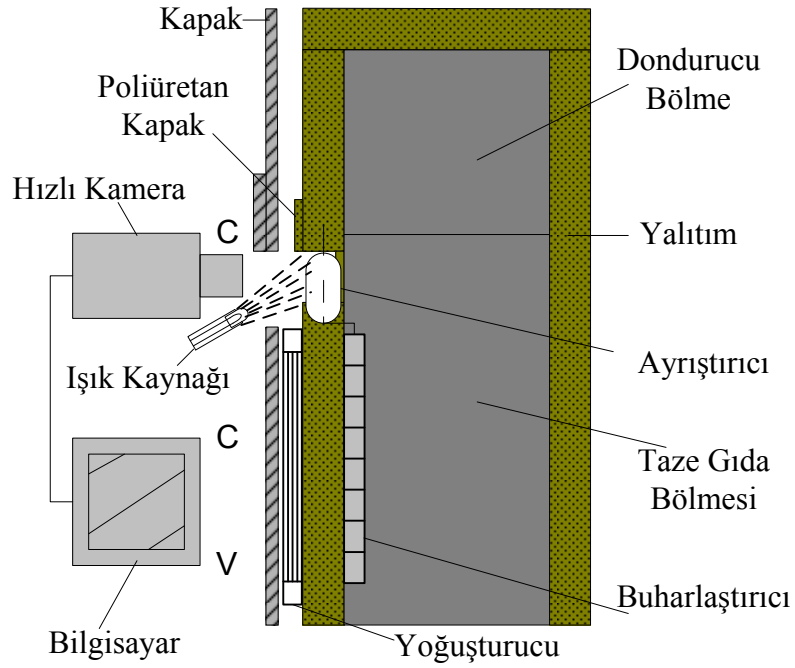
Şekil 4.2 Bir çevrim boyunca ayrıştırıcı doluluk oranının zamana bağlı değişimi. Depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının belirlenmesine yönelik olarak hızlı kamera, boroskop ve soğuk ışık kaynağı ile gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen görüntülerden alınan bir fotoğraf Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



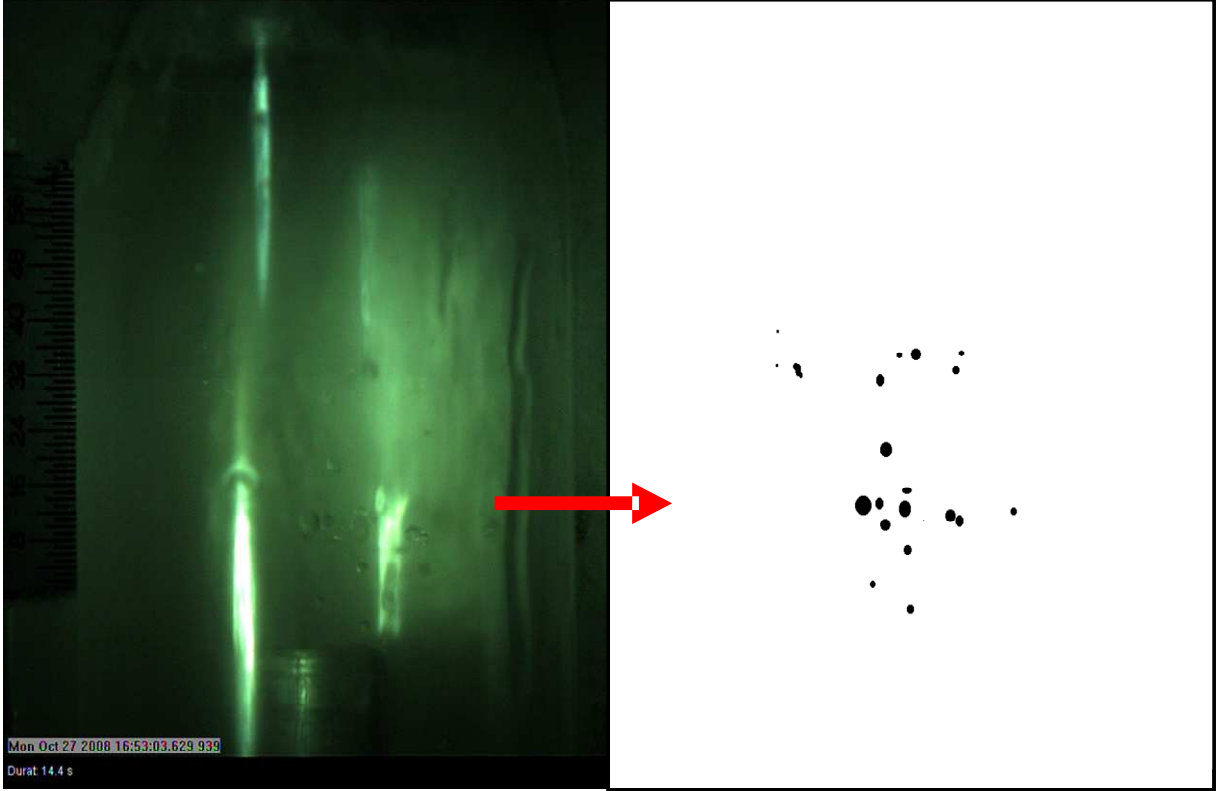
Şekil 4.3 Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının boroskop ile ölçümü

4.4 Ayrıştırıcı İçerisinde Hareket Eden Soğutucu Akışkan Damlacıklarının Analizi

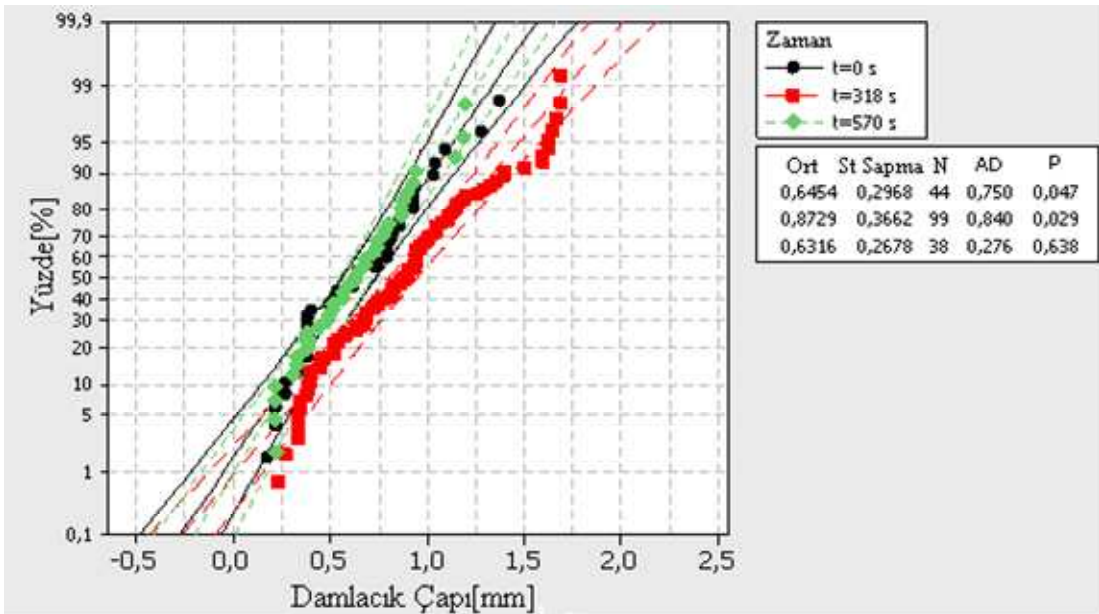
Tez çalışmaları kapsamında ayrıştırıcı prototipi içerisinde gerçekleşen ayrıştırma prosesi incelenmiştir. 25°C sabit dış ortam sıcaklığında bir çevrim boyunca 512x512 piksel boyutunda, 1000fps ile çekilen hızlı kamera görüntülerinden elde edilen fotoğraflar ImageJ programında analiz edilerek Sauter Ortalama Damlacık Çapı belirlenmiştir. Ayrıca ayrıştırıcı tarafından ayrıştırılabilen ve akışa katılan damlacıklar belirlenerek ayrıştırıcının bu şartlar altındaki ayrıştırma verimi ifadesi elde edilmiştir. Bu çalışmada 50-100µm çaplarındaki en küçük damlacıkların incelenebilmesi için hızlı kamera SIGMA 24-70mm F 2.8 makro lens ve 50mm uzunluğundaki uzatma tüpü kullanılmıştır. Uzatma tüpleri içi boş tüpler olduğundan sisteme optik bir ekleme yapmazlar. Bu sayede görüntü kalitesinde bir kayba neden olmazlar. Uzatma tüpünün uzunluğu arttıkça ışık geçirgenliğinin azalmasına karşın elde edilen büyütme oranı artmaktadır. Böylece ImageJ programında gerçekleştirilen damlacık analizi daha doğru sonuçlar vermektedir. Şekil 4.4'te damlacık analizi için kurulan deney düzeneği şematik olarak gösterilmektedir.



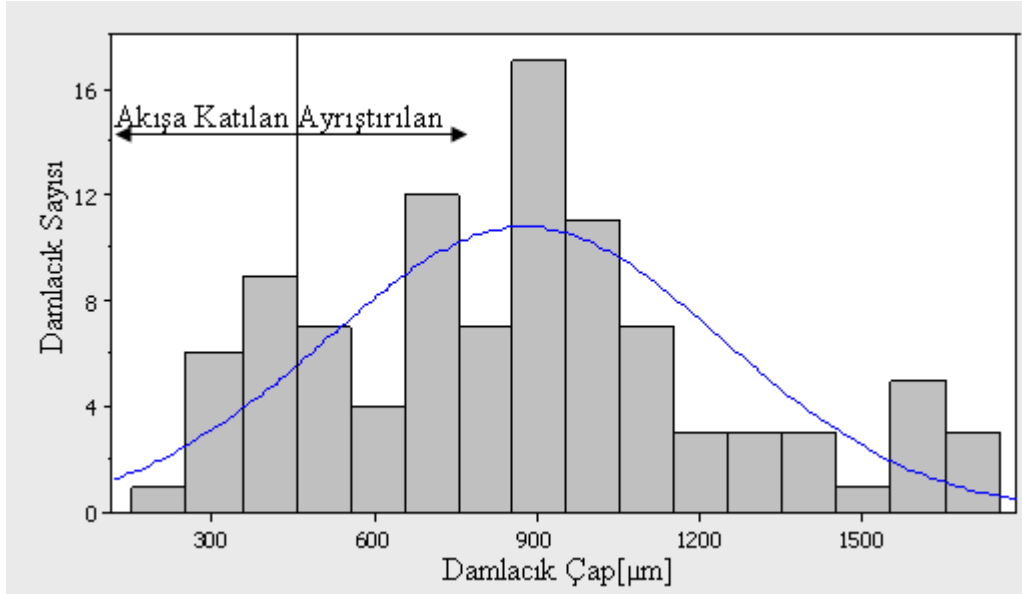
Şekil 4.4 Damlacık analizi için kurulan deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi. Deney düzeneği üzerinden hızlı kamera ile elde edilen görüntülerin tamamı fotoğraflara ayrılarak analizler için ImageJ programına aktarılmaktadır. Soğutucu akışkan damlacıkları bu programa aktarılan fotoğraflardan görüntü işleme teknikleri ile ayrıştırılarak analizler için hazır hale getirilmektedir. Görüntü işleme öncesinde ve sonrasında elde edilen fotoğraflar Şekil 4.5'te sunulmuştur.



Şekil 4.5 ImageJ programına aktarılan ve fotoğraf işleme sonrasında elde edilen görüntüler Tüm görüntülerden elde edilen damlacık çapı ölçümleri ile Minitab programında soğutucu akışkan damlacıklarının olasılık dağılımı ve normal dağılımı belirlenmiştir. Olasılık dağılım grafiği ve normal dağılım grafiği sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.6 Ayrıştırıcı içerisinde hareket eden soğutucu akışkan damlacıklarının olasılık dağılımı



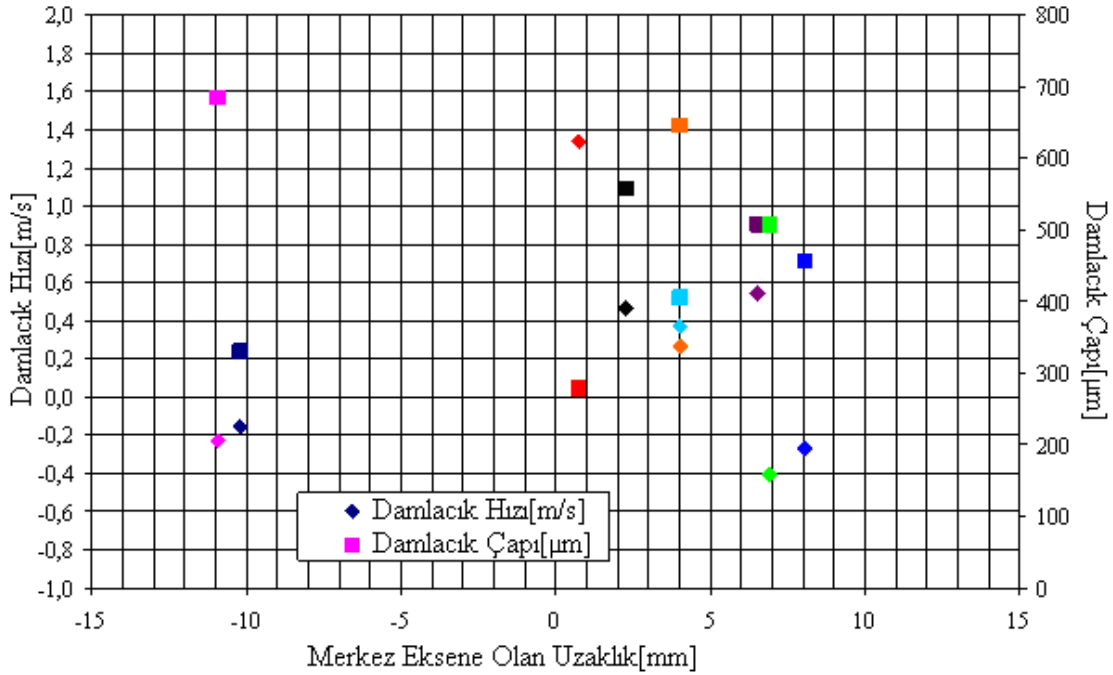
Şekil 4.7 Ayrıştırıcı içerisinde hareket eden soğutucu akışkan damlacıklarının normal dağılımı. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile gerçekleştirilen analizlerde ayrıştırıcı içerisinde hareket eden sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının çaplarının 180µm-2000µm arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıştırma veriminin belirlenebilmesi için akışa katılan ve ayrıştırılan damlacıkların çapları gözlemlenmiştir. Çalışmalar sırasında bu ayrıştırıcı içerisinde 400µm'den daha büyük çapa sahip damlacıkların ayrıştırılabildiği belirlenmiştir. 400µm'den daha küçük çaptaki damlacıklar buhar akışına katılarak ayrıştırıcıyı terk etmektedirler. Marcos Bockholt vd.'nin (2008) tanımlamış olduğu ayrıştırma verimi ifadesinde bir çevrim boyunca akışa katılan ve ayrıştırılan damlacık çapları yerlerine yazılacak olursa ayrıştırma verimi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\eta_s = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{s,i} d_{a,i}^3}{\sum_{i=1}^n \rho_{s,i} d_{a+ak,i}^3} = \frac{15122,5 + 61836 + 8818,2}{15485,2 + 62183,6 + 9017,5} \approx 0,99$$

Ayrıştırıcının ayrıştırma verimi 99% olarak belirlenmiştir. Bu sonuçtan hareketle ayrıştırıcı doluluk oranı en yüksek değerine ulaşana dek geçen sürede ayrıştırıcı çıkışında kuruluk derecesi, $x_c \approx 1$ olarak alınabilir. Bu sonuç 5. Bölüm'de sunulmuş olan matematiksel modelde işlemleri kolaylaştırmak amacıyla yapılan kabuller içerisinde kullanılmıştır.

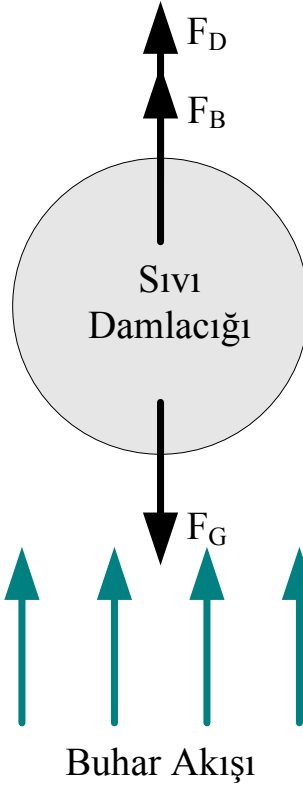
Damlacık çapı analizine ek olarak sırayla çekilen iki fotoğrafta ayrıştırıcı içerisinde buhar fazıyla birlikte hareket eden sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının hızları, çapları ve merkezden geçen eksene olan uzaklıkları belirlenmiştir. Şekil 4.8'de görüleceği üzere sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının hızları damlacık çapı ve damlacığın merkez eksene olan

uzaklığı ile değişmektedir. Ayrıca sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının hız dağılımının yatay eksen boyunca normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4.8’de pozitif ve negatif hız değerleri sırasıyla akışa katılan ve ayrıştırılan damlacıkları ifade etmektedir.

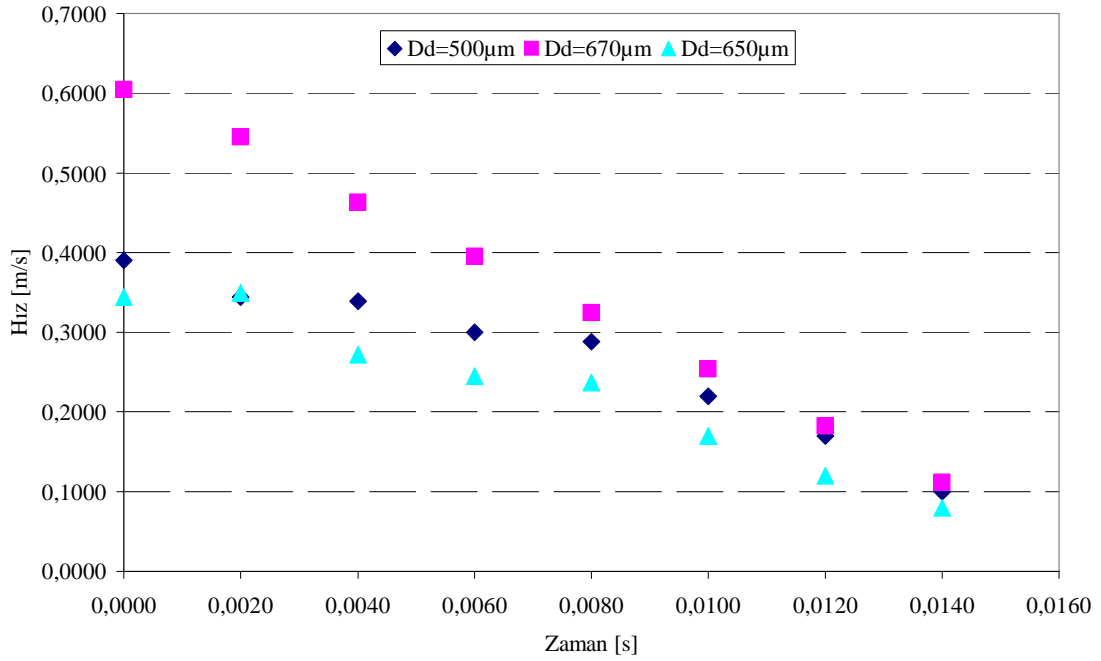


Şekil 4.8 Ayrıştırmacı içerisinde hareket eden damlacıkların ölçülen hızları ve çapları. Kaynak araştırması bölümünde buhar akışı içerisinde sürüklenme, kaldırma ve yer çekimi kuvvetlerinin etkisi altında hareket eden sıvı damlacığının buhar fazından ayrıştırılması için gerekli tasarım kriterleri elde edilmiştir. Çalışma rejiminin başında, ortasında ve sonunda gerçekleştirilen damlacık hızı ölçümlerinin sonuçları sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de paylaşılmıştır. Beşinci bölümde bu ölçüm sonuçlarından ve kuruluk derecesi, boşluk oranı, kuvvet denklığı gibi ifadelerden faydalanarak ayrıştırmacıdaki sürüklenme katsayısı belirlenmiştir.

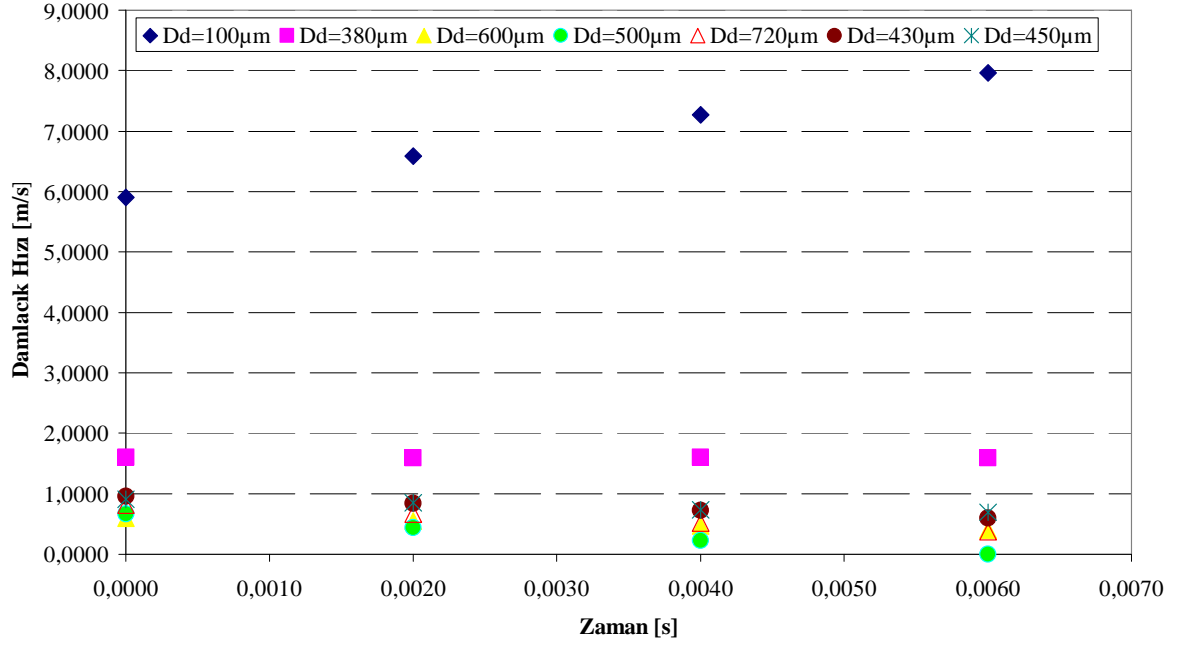
Hız-zaman grafikleri incelenecek olursa büyük çapa sahip sıvı damlacıklarının küçük çapa sahip olanlara göre daha kolay ayrıştığı görülebilir.



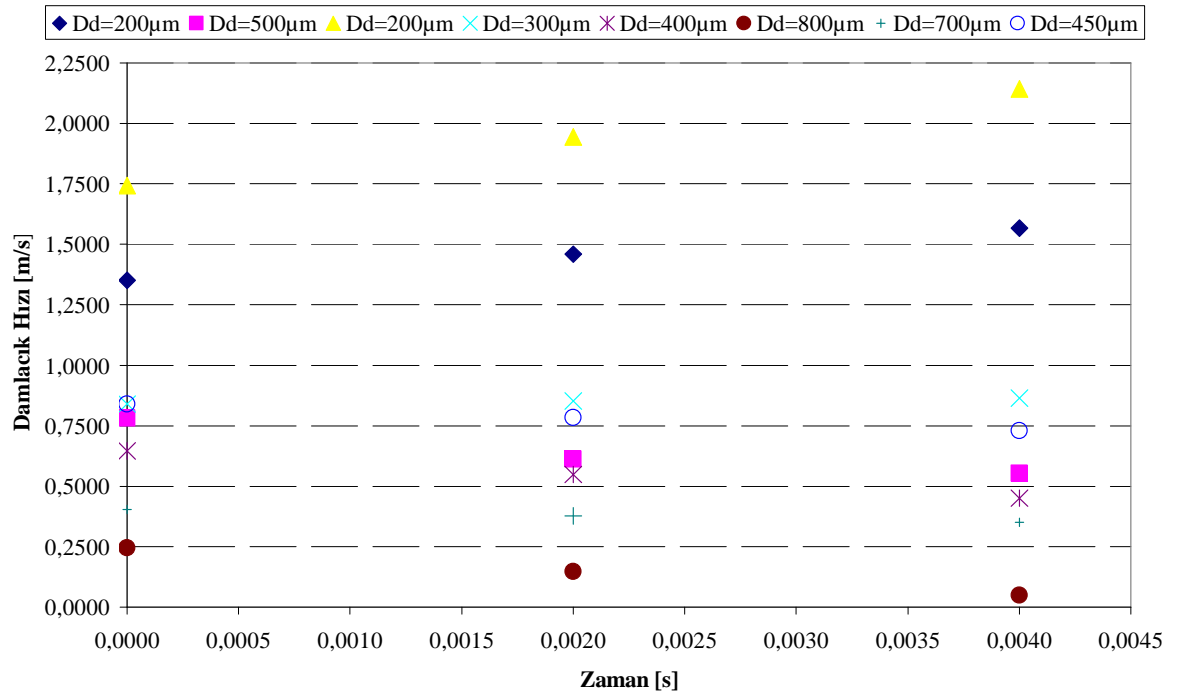
Şekil 4.9 Sıvı soğutucu akışkan damlacığı üzerine etkiyen kuvvetler



Şekil 4.10 Çalışma rejiminin başında akışkanın ayrıştırıcıya iki fazlı olarak gelmeye başladığı anda değişik çaplara sahip damlacıkların sahip olduğu hızların zamana göre değişimi



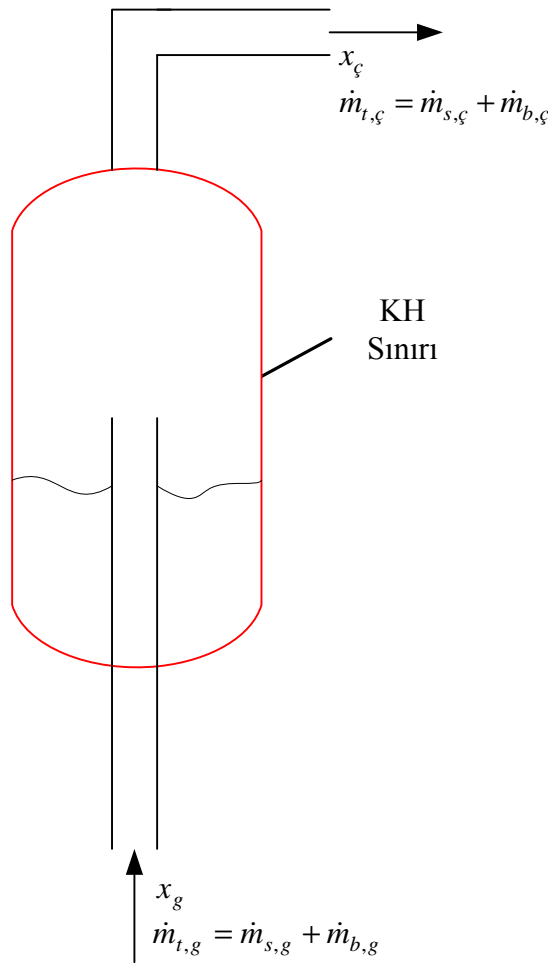
Şekil 4.11 Çalışma rejiminin ortasında değişik çaplara sahip damlacıkların sahip olduğu hızların zamana göre değişimi



Şekil 4.12 Çalışma rejiminin sonunda değişik çaplara sahip damlacıkların sahip olduğu hızların zamana göre değişimi

5. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde ayrıştırıcıda gerçekleşen ayrışma prosesinin matematiksel analizi paylaşılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalarda kontrol hacmi (KH) sınırı ayrıştırıcının kendisi olarak kabul edilmiştir. Kütleli debinin ve kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi ifade edilmiştir. Şekil 5.1’de en genel durum için ayrıştırıcıya giren-çıkan soğutucu akışkanın debileri ve kuruluk dereceleri ile ayrıştırıcıda depolanan soğutucu akışkan miktarı gösterilmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda ayrıştırıcı giriş sıcaklığının ve buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarının zamana bağlı değişimleri ifade edilmiştir.



Şekil 5.1 Kontrol hacminin şematik olarak gösterimi

5.1 Matematiksel Model için Yapılan Kabuller

Gerçek çalışma şartlarında buharlaştırıcı çıkışında konumlandırılan ayrıştırıcının ayrıştırma verimi %100 değildir. Gerçek çalışma şartlarında ayrıştırıcının ayrıştırma verimi hakkında daha detaylı bir çalışma 5. Bölüm’de sunulmuştur. Prototip ayrıştırıcının ayrıştırma verimi

%100 olarak kabul edilmiştir. Bunun sonucu olarak soğutucu akışkanın kontrol hacmine iki fazlı olarak gelmeye başlamasından itibaren sıvı soğutucu akışkan miktarının kontrol hacmindeki en yüksek değerine ulaşmasına kadar geçen sürede ayrıştırıcı çıkışında kuruluk derecesi $x_{\zeta} = 1$ olarak kabul edilmiştir. Başka bir deyişle kontrol hacminden çıkan kütleli debinin tamamının buhar fazında çıktığı söylenebilir. Bu durumda matematiksel modelde $\dot{m}_{t,\zeta} = \dot{m}_{b,\zeta}$ eşitliği kullanılabilir. Ayrıştırıcı yalıtımlı bir bölgede olduğundan buharlaşma ya da yoğuşmanın olmadığı kabul edilebilir. Ayrıca ayrıştırıcı depolama hacminin dolma anına kadar ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkanın buhar fazıyla sürüklenmediği kabul edilebilir. Bu sayede $\dot{m}_{b,g} = \dot{m}_{b,\zeta}$ kabulü yapılabilir.

5.2 Zamanla Değişen Açık Sistemlerde Kütlenin Korunumu

Kontrol hacmi içerisinde zamana bağlı değişikliklerin olması nedeniyle sistem zamanla değişen açık sistem olarak nitelendirilebilir. Zamanla değişen açık sistem olarak nitelenen kontrol hacimleri için kütlenin korunumu (6.1) eşitliği ile verilmiştir.

$$\sum \dot{m}_{t,g} - \sum \dot{m}_{t,\zeta} = \Delta \dot{m}_{KH} = (\dot{m}_2 - \dot{m}_1)_{KH} \quad (6.1)$$

(6.1) eşitliği Δt ile bölünür ve $\Delta t \rightarrow 0$ limiti alınırsa zamanla değişen açık sistem için kütlenin korunumu ilkesi Eşitlik (6.2) gibi yazılabilir.

$$\sum \dot{m}_{t,g} - \sum \dot{m}_{t,\zeta} = \frac{dm_{KH}}{dt} \quad (6.2)$$

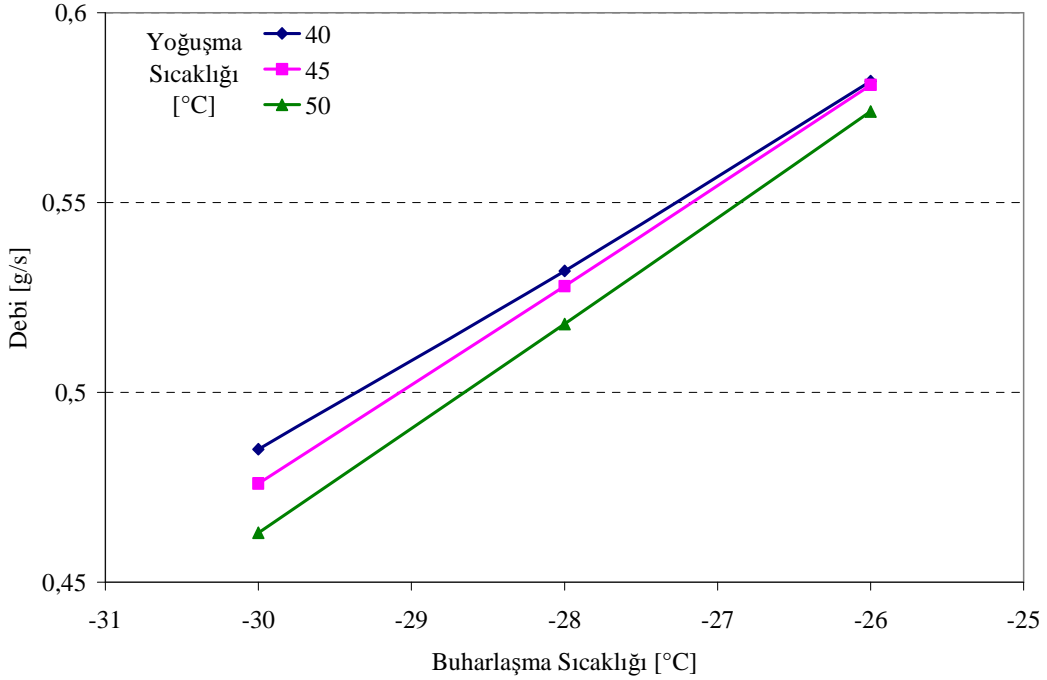
Ayrıştırıcı için belirlenen kontrol hacmi için $\dot{m}_{t,\zeta} = \dot{m}_{b,\zeta} = \dot{m}_{b,g}$ olduğu hatırlanarak Eşitlik (6.2) düzenlenecek olursa Eşitlik (6.3) elde edilir.

$$\sum \dot{m}_{s,g} = \frac{dm_{s,d}}{dt} \quad (6.3)$$

(6.3) eşitliği yardımıyla ayrıştırıcı içerisinde depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının zamana bağlı değişimi belirlenirse sıvı soğutucu akışkan debisinin de zamana bağlı değişimi belirlenebilir. Değişik kılcal boru uzunlukları için ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarının zamana bağlı değişimi boroskop ve hızlı kamera görüntü analiz programı ile belirlenmiştir. Bu görüntülerden elde edilen eğrilerin denklemleri EES programında gerçekleştirilen analiz çalışmalarında girdi olarak kullanılmıştır.

5.3 Soğutucu Akışkan Debisinin Hesaplanması

Deney düzeneğinde kullanılan kompresör için çalışma şartlarında gerçekleştirilen kalorimetrik deneylerden elde edilen soğutucu akışkan debisinin buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına bağlı değişimini gösteren grafik Şekil 5.2’de sunulmuştur. Yoğuşma sıcaklığı ve dolayısıyla buharlaşma sıcaklığı yükseldiğinde soğutucu akışkan debisi artmaktadır.



Şekil 5.2 Buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına bağlı soğutucu akışkan debisinin değişim grafiği

Kalorimetrik deneylerden elde edilen sonuçlar ile Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi bünyesinde kullanılan Minitab programında gerçekleştirilen regresyon analizi sayesinde soğutucu akışkan debisinin buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına bağlı fonksiyonunda kullanılacak olan debi katsayıları belirlenmiştir. Soğutucu akışkan toplam debisi için kullanılan buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıklarına bağlı eşitlik Eşitlik (6.4)'te verilmiştir. Çizelge 5.1’de kütleli debinin yoğuşma ve buharlaşma sıcaklıkları ile belirlenebilmesi için elde edilen katsayılar sunulmuştur.

$$\dot{m}_t = (c_1 + c_2 * T_b + c_3 * T_b^2) + (c_4 + c_5 * T_b + c_6 * T_b^2) * T_y + (c_7 + c_8 * T_b + c_9 * T_b^2) * T_y^2 \quad (6.4)$$

Çizelge 5.1 Hesaplanan soğutucu akışkan debisi katsayıları

C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
8,993	0,627	0,011	-0,328	-0,025	-0,00048	0,0035	0,00027	6*10 ⁻⁵

Soğutucu akışkan debisinin belirlenebilmesi için 25°C dış ortam sıcaklığındaki ısı odasında şeffaf ayırıştırıcı prototipi ile gerçekleştirilen deneylerde yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve ayırıştırıcı üzerinde bir çevrim boyunca ölçülen sıcaklıkların zamana bağlı değişim grafikleri sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmektedir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen matematiksel modelde ayırıştırıcı girişinde hızlı kamera ve boroskop sistemi ile belirlenen ve iki fazlı akış başlangıcından ayırıştırma işleminin sonuna kadar geçen sürede bu grafikler yardımıyla oluşturulan zamana bağlı sıcaklık değişim fonksiyonları kullanılmıştır.

Ayırıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı andan doluluk oranının en yüksek değere ulaştığı ana kadar geçen süre için buharlaşma sıcaklığının deneysel sonuçlardan elde edilen zamana bağlı değişimi (6.5) eşitliği ile verilmiştir.

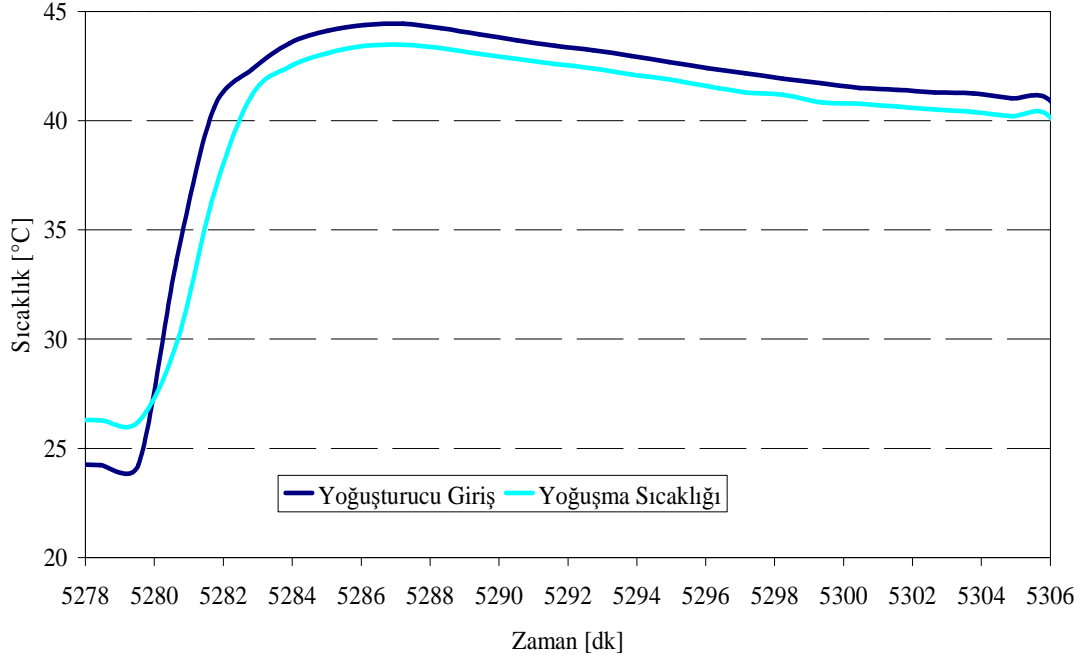
$$T_b = -21,2 - 17,06 \times 10^{-3} \times t + 16,54 \times 10^{-5} \times t^2 - 15,8 \times 10^{-7} \times t^3 + 73,12 \times 10^{-10} \times t^4 - 15,82 \times 10^{-12} \times t^5 + 12,95 \times t^6 \quad (6.5)$$

Ayırıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı andan doluluk oranının en yüksek değere ulaştığı ana kadar geçen süre için yoğuşma sıcaklığının deneysel sonuçlardan elde edilen zamana bağlı değişimi (6.6) eşitliği ile verilmiştir.

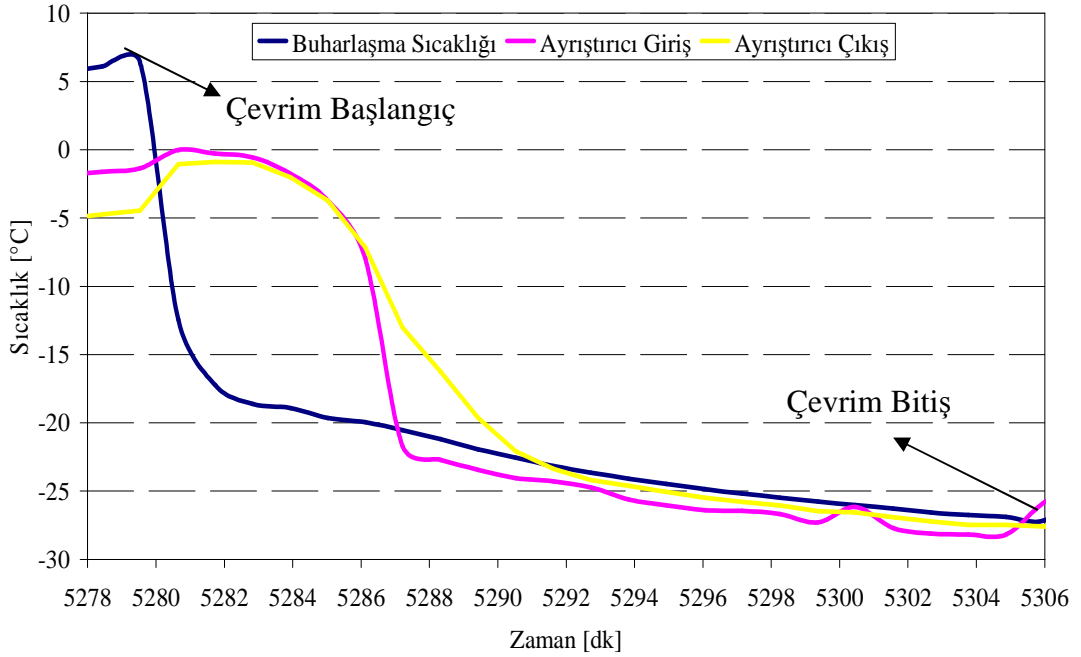
$$T_y = 43,32 - 70,18 \times 10^{-4} \times t + 95,38 \times 10^{-6} \times t^2 - 10,32 \times 10^{-7} \times t^3 + 51,98 \times 10^{-10} \times t^4 - 12,16 \times 10^{-12} \times t^5 + 10,64 \times 10^{-15} \times t^6 \quad (6.6)$$

Ayırıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı andan doluluk oranının en yüksek değere ulaştığı ana kadar geçen süre için ayırıştırıcı giriş sıcaklığının deneysel sonuçlardan elde edilen zamana bağlı değişimi (6.7) eşitliği ile verilmiştir.

$$T_a = -22,7 - 36,74 \times 10^{-4} \times t - 22,24 \times 10^{-5} \times t^2 + 21,1 \times 10^{-7} \times t^3 - 71,15 \times 10^{-10} \times t^4 + 79,46 \times 10^{-12} \times t^5 \quad (6.7)$$



Şekil 5.3 Yoğuşma ve yoğuşturucu giriş sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği



Şekil 5.4 Bir çevrim boyunca buharlaşma, ayrıştırıcı giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişim grafiği

5.4 Ayrıştırıcıda Depolanan Sıvı Soğutucu Akışkan Miktarının Belirlenmesi

Ayrıştırıcıda buhar fazından ayrıştırılarak depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarındaki değişim hızlı kamera ve boroskop sistemi ile belirlenerek matematiksel model çalışmalarına eklenmiştir. Bu çalışma ile buharlaştırıcı çıkışındaki kuruluk derecesinin zamana bağlı

değişiminin bulunması amaçlanmıştır. Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan miktarındaki zamana bağlı değişim (6.8) eşitliği ile ifade edilmiştir.

$$h_{s,d} = (74,54 \times 10^{-3} + 54,04 \times t - 58,33 \times 10^{-4} \times t^2 + 32,68 \times 10^{-6} \times t^3 - 94,56 \times 10^{-9} \times t^4 + 12,68 \times 10^{-10} \times t^5 - 52,46 \times 10^{15} \times t^6) \div 1000 \quad (6.8)$$

Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkanın hacminin zamana bağlı değişimi (6.9) eşitliği ile ifade edilmiştir.

$$V_{s,d} = \pi \times h_{s,d} \times (D_a^2 - D_b^2) / 4 \quad (6.9)$$

Ayrıştırıcıda depolanan sıvı soğutucu akışkan kütlesi de hacim değişiminin soğutucu akışkanın T_a sıcaklığındaki yoğunluğu ile çarpımına eşittir.

$$m_{s,d} = V_{s,d} \times \rho_{s,T_a} \times 1000 \quad (6.10)$$

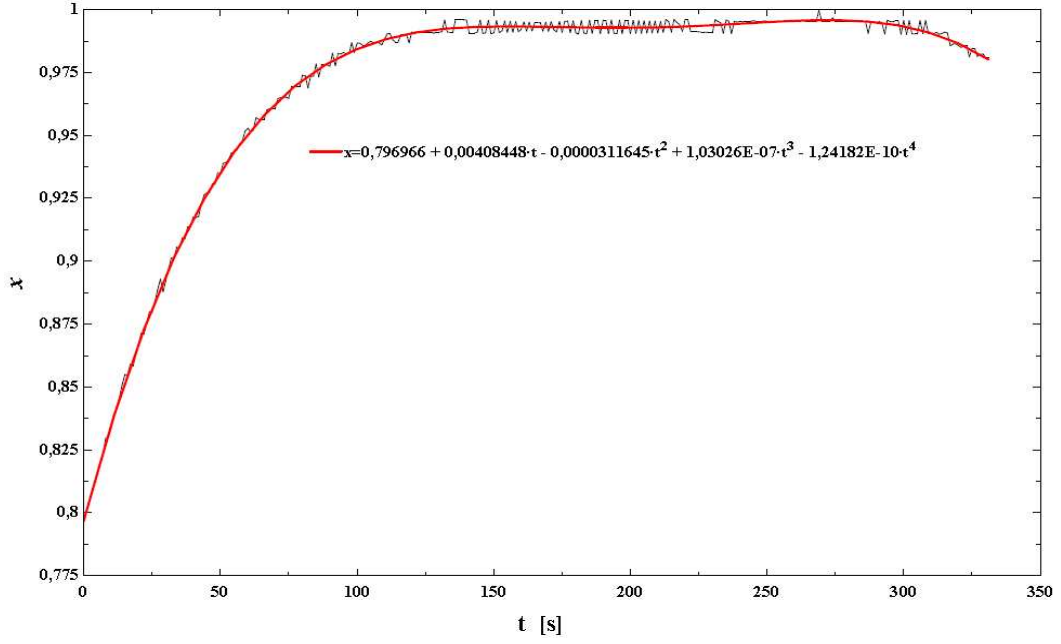
Eşitlik (6.10) ile buharlaştırıcı çıkışında sıvı soğutucu akışkanın debisini veren Eşitlik (6.3)'teki $\frac{dm_s}{dt}$ terimi hesaplanabilir. Çünkü m_s zamana bağlı olarak ifade edilmiştir. Sıvı soğutucu akışkan debisi başka bir ifadeyle (6.11) eşitliği ile de hesaplanabilir.

$$\dot{m}_{s,g} = \dot{m}_t (1 - x) \quad (6.11)$$

Eşitlik (6.3) ile Eşitlik (6.11) birbirine eşitlenecek olursa buharlaştırıcı çıkışındaki ayrıştırıcı depolama zaman aralığında kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi elde edilebilir.

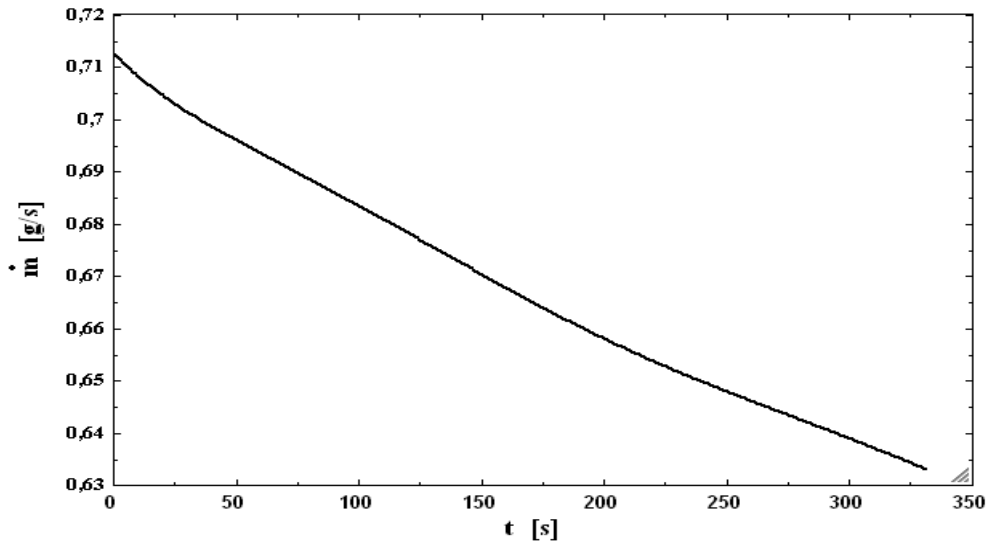
$$\dot{m}_{s,g} = \dot{m}_t (1 - x) = \frac{dm_{s,d}}{dt} \quad (6.12)$$

Ayrıştırma işleminin gerçekleştiği süre boyunca T_a 'nın zamana bağlı değişimi Eşitlik (6.4)'te ifade edilmişti. EES programında T_a sıcaklığına bağlı olarak ρ_s 'in de değişimi ifade edilmiştir. Şekil 4.2'de sunulan ayrıştırıcı doluluk oranının zamana bağlı değişim grafiği ayrıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı andan doluluk oranının en yüksek olduğu ana kadar geçen sürenin 331,2s olduğu belirlenmiştir. Bu andan sonra kontrol hacmine giren ve çıkan toplam kütleli debiler yaklaşık olarak eşit olmaktadır ve kontrol hacmi sürekli akışlı açık sistem olarak çalışmaktadır. Bu yüzden matematiksel analiz ilk kılcal boru uzunluğu için ayrıştırıcıya soğutucu akışkanın ilk iki faz olarak gelişinden itibaren 331 s kadar geçen sürede gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.5 Uzun kılcal borulu sistemde buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi

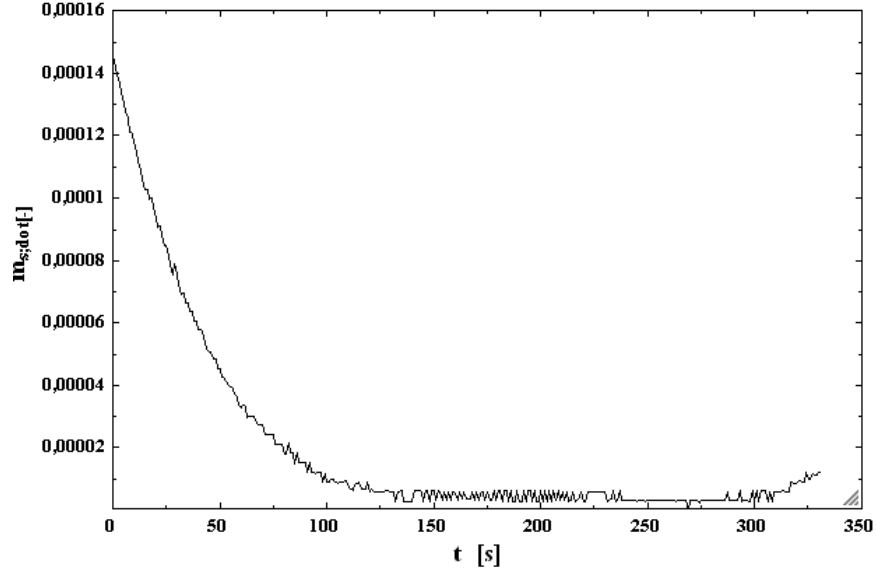
Şekil 5.5'te görüldüğü üzere kuruluk derecesi ayrıştırıcıya iki fazlı akışın gelmeye başladığı ilk andan itibaren yaklaşık 100 s boyunca hızlı bir şekilde artmaktadır. Ayrıştırma verimi yüksek olan ayrıştırıcı sıvı soğutucu akışkanı hızlı bir şekilde depolamaktadır. Bununla birlikte buharlaşma sıcaklığındaki düşüşün de devam etmesiyle kütleli debi azalmaktadır. Toplam kütleli debinin ve sıvı fazın kütleli debisinin zamana bağlı değişimi sırasıyla Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Uzun kılcal borulu sistemde ayrıştırıcı depolama süresince kütleli debinin zamana bağlı değişimi

Kuruluk derecesinin, kütleli debinin buna bağlı olarak kültsel akının, sıcaklığa bağlı olarak değişen soğutucu akışkan özelliklerinin zamana bağlı değişimi bilindiğinden buharlaştırıcı

çıkış borusunda halka akış şartları için boşluk oranı belirlenerek buhar fazın hızı hesaplanabilmektedir.

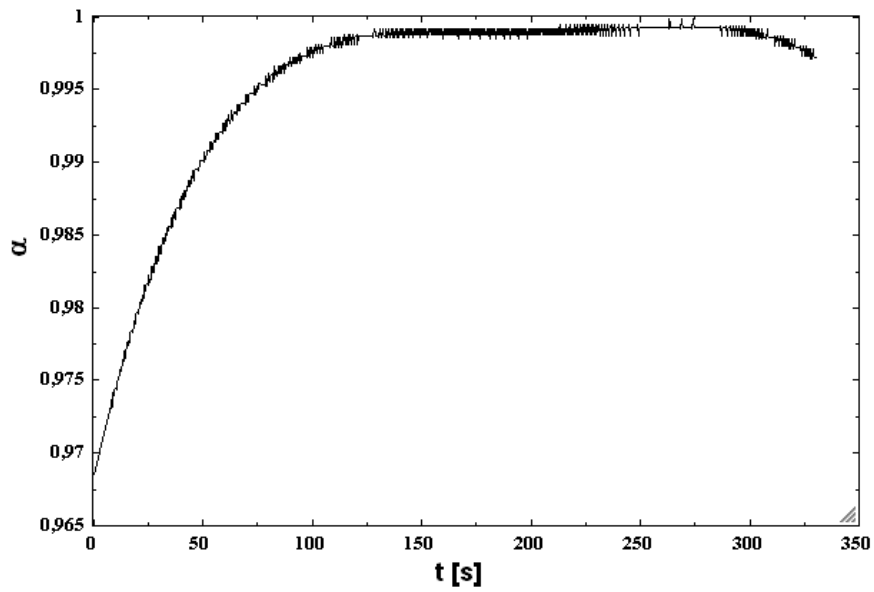


Şekil 5.7 Uzun kılcal borulu sistemde sıvı soğutucu akışkan kütleli debisinin zamana bağlı değişimi

Buharlaştırıcı çıkışında boşluk oranının belirlenebilmesi için Steiner'in (1993) yatay borular için vermiş olduğu (6.13) eşitliği kullanılmıştır.

$$\alpha = \frac{x}{\rho_b} \left(\left[1 + 0,12(1-x) \right] \left[\frac{x}{\rho_b} + \frac{1-x}{\rho_s} \right] + \frac{1,18(1-x) [g\sigma(\rho_s - \rho_b)]^{0,25}}{G\rho_s^{0,5}} \right)^{-1} \quad (6.13)$$

Bu eşitliğe göre boşluk oranının zamana bağlı değişimi Şekil 5.8'de sunulmuştur.



Şekil 5.8 Uzun kılcal borulu sistemde boşluk oranının zamana bağlı değişimi

Kütleli akı (6.14) eşitliğinde gösterildiği üzere kütleli debinin akım kesit alanına bölünmesiyle elde edilebilir.

$$G = \frac{\dot{m}}{A_{boru}} \quad (6.14)$$

Akım kesit alanı dairesel borular için (6.15) eşitliği ile bulunur.

$$A_{boru} = \pi \frac{d_{boru}^2}{4} \quad (6.15)$$

Buhar fazının hızı (6.16) eşitliği ile hesaplanabilir. Sıvı faz için ise hızlı kamera ile gerçekleştirilen damlacık çapı ve hızı ölçümlerinin sonuçları kullanılabilir.

$$u_b = \frac{Gx}{\rho_b \alpha} \quad (6.16)$$

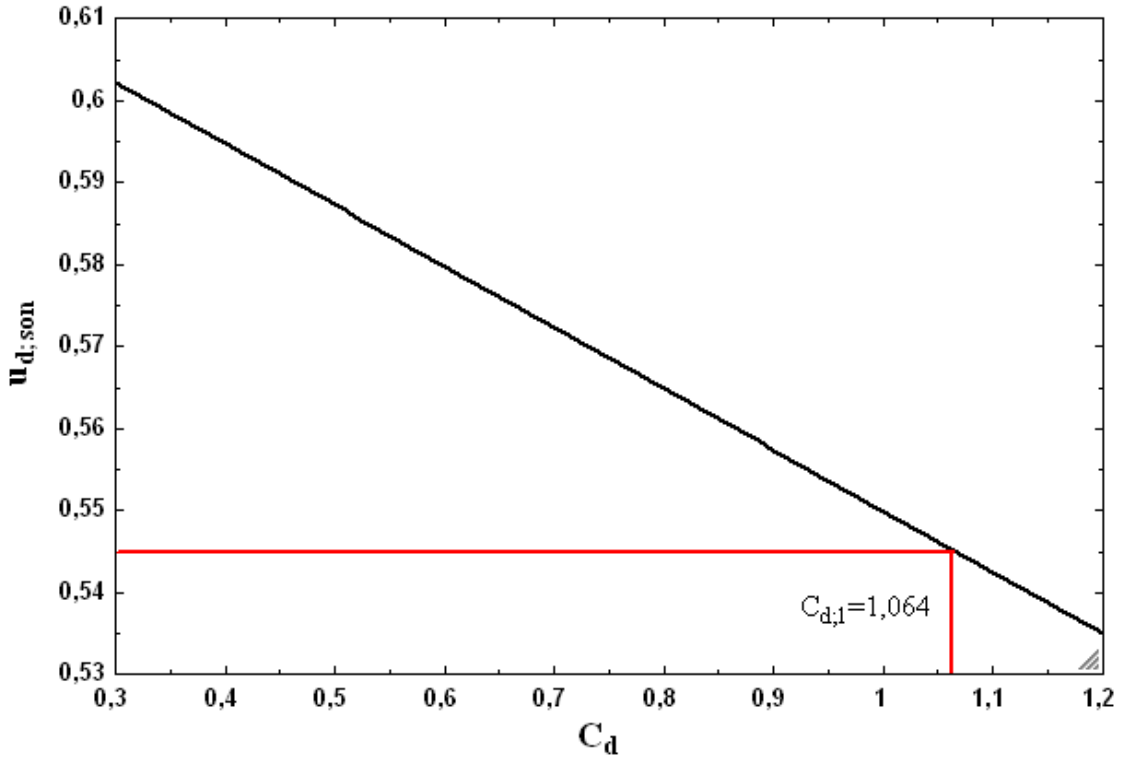
Çalışmanın ikinci bölümünde damlacığın üzerine etkiyen kuvvetlerin denkliği sırasıyla (2.8), (2.9), (2.10) ve (2.11) eşitliklerinden yazılırsa (6.17) eşitliği elde edilir.

$$m_d a = F_G + F_B + F_D = \rho_s V_d g - \rho_b V_d g - \rho_s U^2 C_D A_d / 2 \quad (6.17)$$

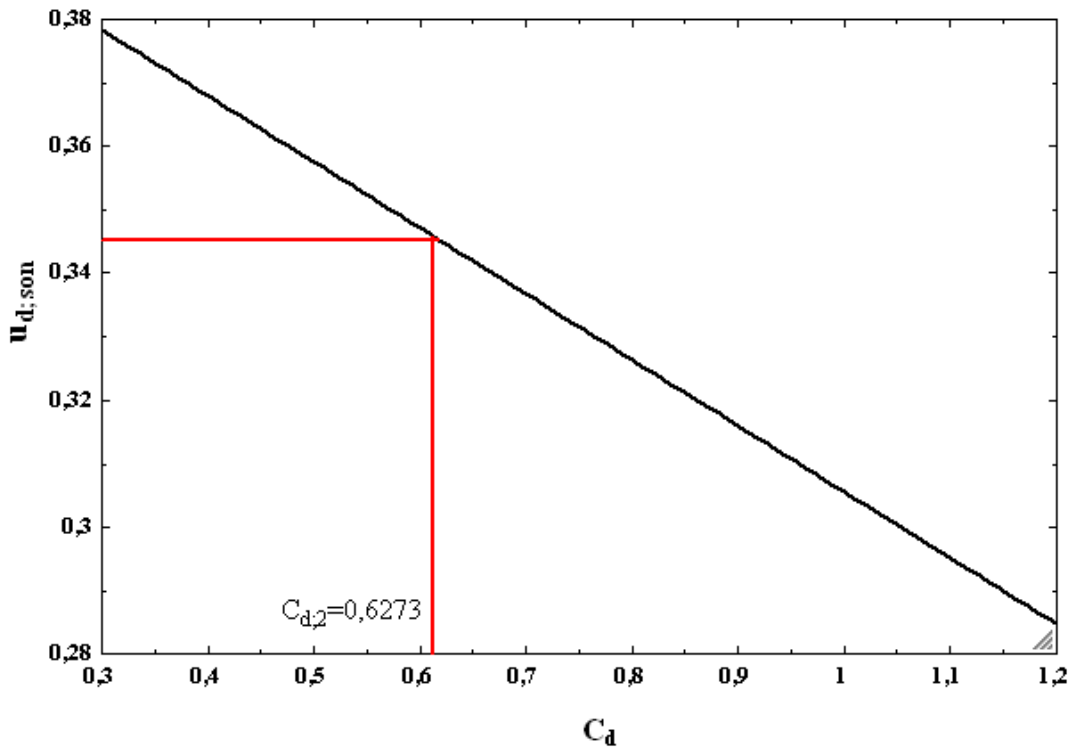
Bu denklemde iki adet bilinmeyen bulunmaktadır. Bunlardan birincisi a ikincisi ise F_D kuvvetinin içerisindeki C_D 'dir. Tez çalışmasının hedeflerinden biri de hızlı kamera ölçümleri ile C_D 'nin belirlenebilmesidir. Bunun için damlacıkların kamera çekim alanında en az 3 noktada yakalanabilmesi gerekmektedir. Bu noktalarda yapılan hız ölçümlerinden ivme değerlerine geçilerek C_D belirlenebilmektedir. Gerçekleştirilen kamera çekimlerinde iki fotoğraf arasındaki süre 0,002s olarak ayarlanmıştır. Damlacığın ilk ve son noktalar arasında hareketi esnasında geçen süre ve bu noktalardaki hızları kullanılarak (6.18) eşitliğinden a hesaplanabilmektedir. Böylelikle ayrıştırıcı içerisinde sürüklenme katsayısı belirlenebilmektedir.

$$u_{d,son} = u_{d,ilk} + \int_{t,ilk}^{t,son} (a) dt \quad (6.18)$$

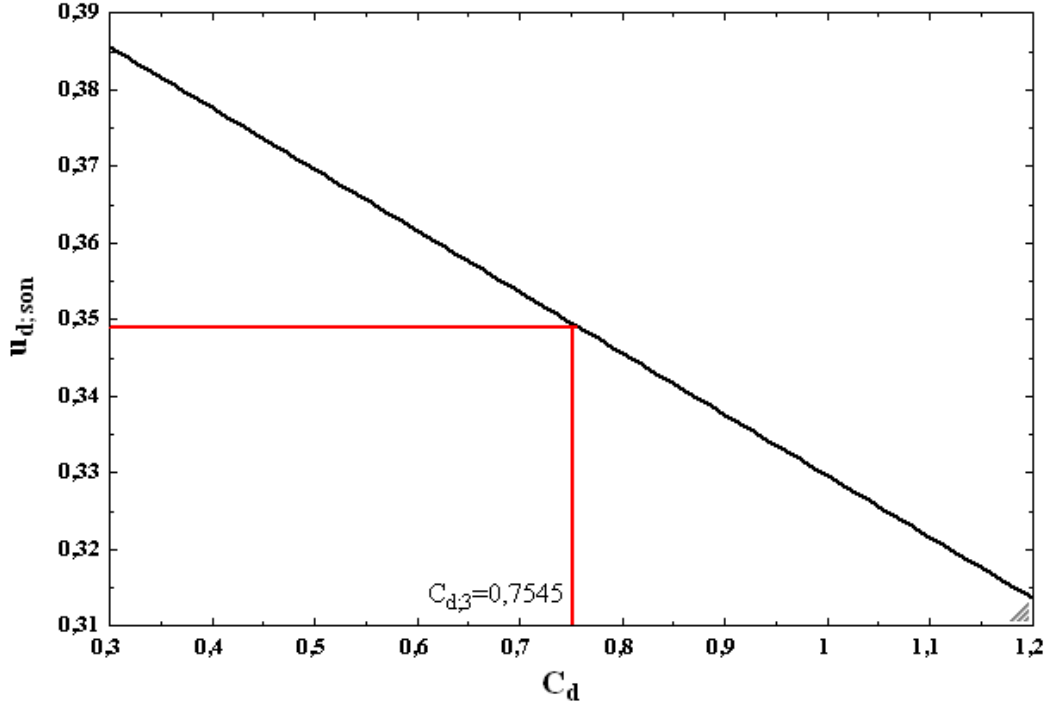
Çevrim başlangıcında seçilen 3 damlacık için C_D hesaplanmıştır. Bu işlem sırasında damlacığın sahip olduğu son hızın sürüklenme katsayısına göre değişim eğrisi çizilmiş, ardından damlacığın sahip olduğu son hıza karşılık gelmesi gereken C_D okunmuştur.



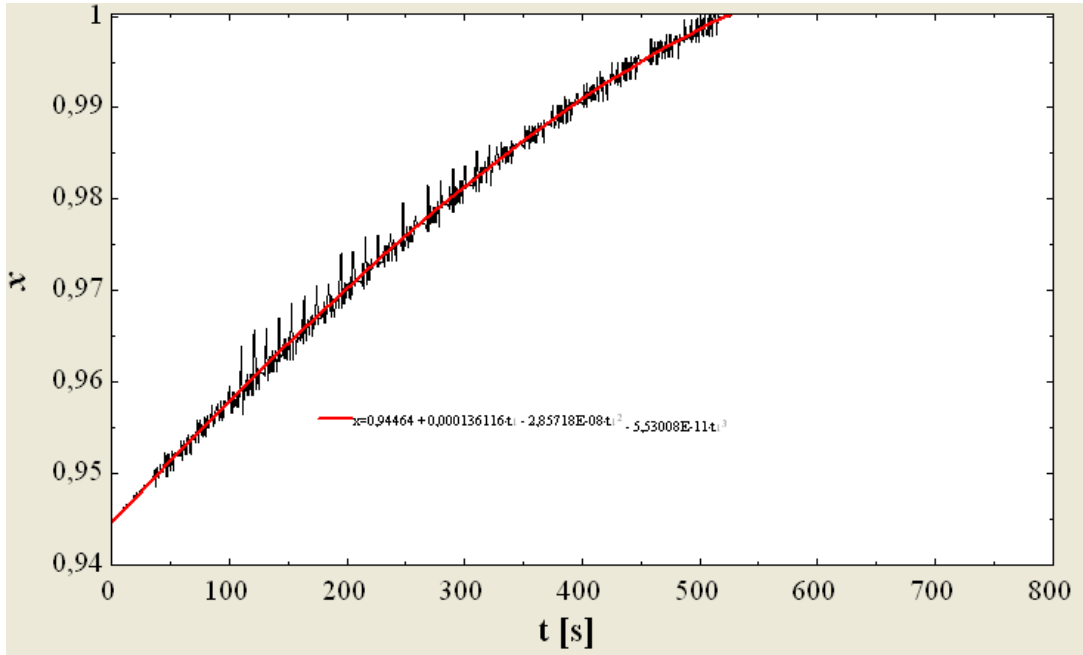
Şekil 5.9 Çevrim başlangıcında 670 μm çapındaki damlacık için hesaplanan sürüklenme katsayısı



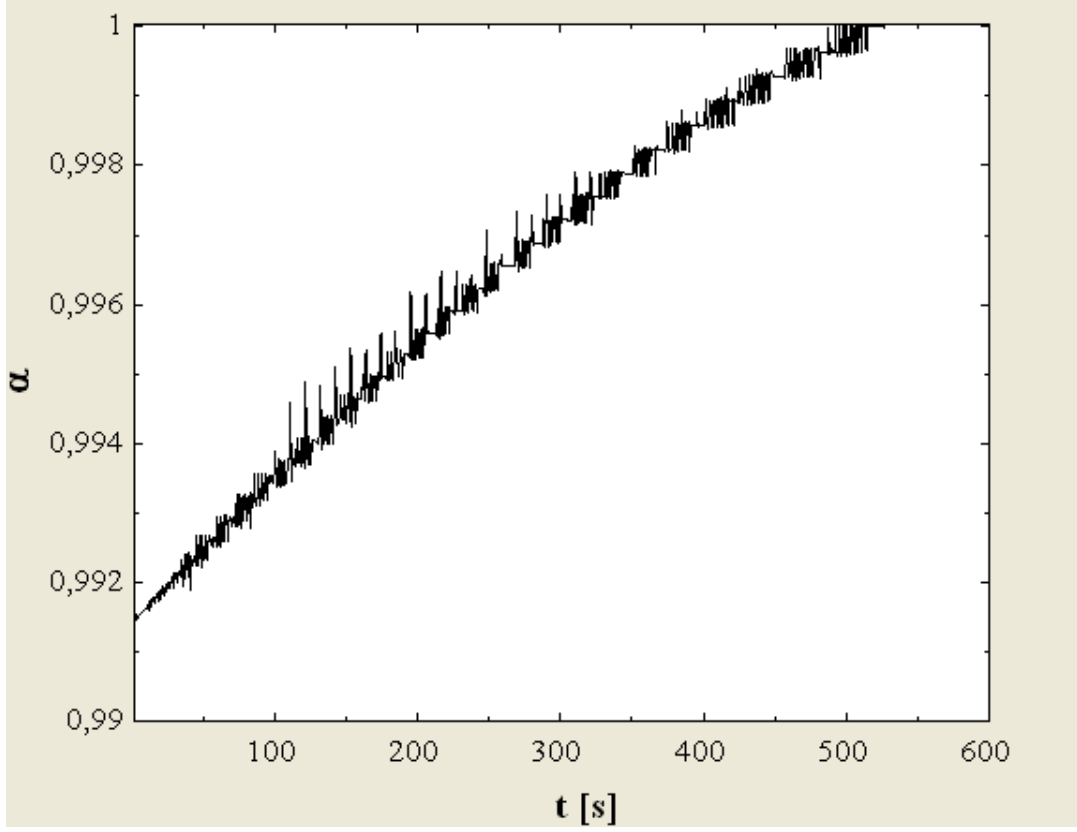
Şekil 5.10 Çevrim ortasında 500 μm çapındaki damlacık için hesaplanan sürüklenme katsayısı



Şekil 5.11 Çevrim sonunda 650 μm çapındaki damlacık için hesaplanan sürüklenme katsayısı Aynı prototip ayırıştırıcı için daha kısa kılcal boru boyu ile buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi ve boşluk oranı ifadeleri elde edilmiştir. İlk iki fazlı akışın geldiği anda kuruluk derecesi 0,94 olarak belirlenmiştir. Uzun kılcal borulu sistemde ise bu değer daha düşük ölçülmüştü.



Şekil 5.12 Kısa kılcal borulu sistemde buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana bağlı değişimi



Şekil 5.13 Kısa kılcal borulu sistemde buharlaştırıcı çıkışında boşluk oranının zamana bağlı değişimi

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ayrıştırıcı soğutma sisteminde kullanılan önemli bir komponenttir. Sıvı soğutucu akışkan kompresörde önemli hasarlara neden olabileceğinden kompresöre sadece buhar fazdaki soğutucu akışkanın girmesi garanti edilmelidir. Bu yüzden ayrıştırıcıların çalışma şartları iyi irdelenip, tasarımlarının ve soğutma sistemlerine göre seçimlerinin uygunluğuna dikkat edilmelidir. Ayrıştırıcılar ile ilgili gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Gerçekleştirilen kaynak araştırmasında ayrıştırıcılar içerisinde gerçekleşen faz ayrıştırma işleminin ve buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana bağlı bir model ile karşılaşılmamıştır. Ayrıca R600a soğutucu akışkanı ile gerçekleştirilmiş bir damlacık analizi de mevcut değildir.
- Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile gerçekleştirilen analizlerde ayrıştırıcı içerisinde hareket eden sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının çaplarının 180 μ m-2000 μ m arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir.
- Çalışmalar sırasında bu ayrıştırıcı içerisinde 400 μ m'den daha büyük çapa sahip damlacıkların ayrıştırılabildiği belirlenmiştir. 400 μ m'den daha küçük çaptaki damlacıklar buhar akışına katılarak ayrıştırıcıyı terk etmektedirler. Mevcut ayrıştırıcının ayrıştırma veriminin maksimum doluluk oranına ulaşana dek %99 olduğu belirlenmiştir.
- Sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının hızları damlacık çapı ve damlacığın merkez eksene olan uzaklığı ile değişmektedir. Ayrıca sıvı soğutucu akışkan damlacıklarının hız dağılımının yatay eksen boyunca normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir.
- Ayrıştırıcı depolama süresi içerisinde buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin ve boşluk oranının zamana bağlı değişimleri iki farklı kılcal boru uzunluğu için belirlenmiştir.
- Hızlı kamera sistemi ile ölçülen sıvı damlacıklarının hızlarından sürüklenme katsayısının belirlenmesine yönelik öncül çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada ayrıştırıcıların ayrıştırma veriminin, buharlaştırıcı çıkışında kuruluk derecesinin zamana göre değişiminin ve sürüklenme katsayısının hızlı kamera ile yapılan akış görselleme çalışmalarıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Hızlı kamera ile

gerçekleştirilen bu tez çalışması daha detaylı çalışmaların yapılmasının önünü açmıştır. Bu konuda gelecekte yapılması önerilen çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

- Ayırıştırıcıların ve hızlı kameranın değişik ortam şartlarında akış görselleme çalışmasına uygun hale getirilerek doluluk oranı, damlacık çapı ve hızı ölçümlerinin gerçekleştirilmesi,
- Daha yüksek büyütme faktörü olan lenslerin kullanılması, alternatif aydınlatma yöntemleri ile keskinliğin, çekim hızının ve sonuç olarak damlacık analizlerinin doğruluğunun artırılması,
- Yapılacak çalışmalarda damlacıkların konum-zaman, hız-zaman, ivme-zaman grafiklerinin ve boyut analizinin otomatik olarak izlenerek bir program tarafından gerçekleştirilmesinin sağlanması.

KAYNAKLAR

- Ağra O., (2007), Soğutucu Akışkanların Yatay Boru İçinde Halka Akış Şartlarında Yoğuşmasının İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- C. M. Winkler, J. E. Peters, Refrigerant Droplet Size Measurements in Conjunction with a Novel Method for Improving Flow Distribution in Evaporators, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, 2002
- Cara Sanderson Martin, Investigation of Refrigerant Distribution in a Household Refrigerator with a Focus on the Role of the Accumulator, University of Maryland, M.S. Mechanical Engineering, 2007
- Çelik Serdar, A Study on the Acoustics and Heat Transfer in Cooling Systems' Heat Exchangers, A Dissertation, Department of Mechanical Engineering and Energy Process in the Graduate School Southern Illinois University Carbondale, August 2007
- Dongbei Yue, Yudong Xu, Rasool Bux Mahar, Fuqiang Liu, Yongfeng Nie, Analytical Solution of Gravity Separation Model (GSM): Separation of Water Droplets from Vapour in Submerged Combustion Evaporator, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 1000084, China, 2006
- Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, Volumes 1&2, Section 7, 2004
- Gpsa Engineering Data Book 12th Edition, Separation Equipment, 2004
- Inan Cemil, Gonul Turgay, Tanes M. Yalcin, X-Ray Investigation of a Domestic Refrigerator. Observations at 25°C Ambient Temperature, ARCELİK A.S., Research and Technology Development Center, 81719 Tuzla-Istanbul, Turkey, 2002
- John G. Collier, John R. Thome, Convective Boiling and Condensation, Oxford, 1994
- John R. Thome Engineering Data Book, Wolverine Tube Inc., 2004 L.B. Fore, B.B. Ibrahim, S.G. Beus, Visual measurements of droplet size in gas-liquid annular flow, International Journal of Multiphase Flow, 2002
- Larry Reinking, Examples of Image Analysis Using ImageJ, Department of Biology Millersville University, 2007
- M. J. Hedrick, E. W. Jassim ve T. A. Newell, Investigation of Transient Two-Phase Flow during Refrigeration and Air Conditioning System Startup, ACRC, 2006
- Marcos Bockholt, Wilhelm Tegethoff, Nicholas Lemke, Nils-Christian Strupp, Christoph Richter, Transient Modeling of a Controllable Low Pressure Accumulator in CO₂ Refrigeration Cycles, Modelica, 2008
- Oğuz Emre, Hermetik Soğutucu Akışkan Kompresörlerinde Zamana Bağlı Isı Transferinin Kompresör Performansına Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, 2008
- R. Terblache, H.C.R. Heuter, D. G. Kröger, Drop Size Distribution Below Different Wet Cooling Tower Fills, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Stellenbosch, Private Bag X1, Matieland, 7602, South Africa, 2008
- REFPROP NIST Standard Reference Database 23, Version 7.0
- Sang-Joon Lee, Hyoung-Bum Kim, Jeong-Ki Huh, Seung-Joon Lee, Byoung-Ha Ahn, Quantitative Analysis of Flow inside the Accumulator of a Rotary Compressor, International Journal of Refrigeration, 2003

Torsten Schwarz, Marco Galluzzi, David Richardson, Reinhard Radermacher, (2002), Model to Investigate the Performance of Accumulators in Vapor Compression Systems, University of Maryland

Todd B. Jekel, Douglas T. Reindi, Micheal Fisher, Gravity Separator Fundamentals and Design, IAR 2001 Ammonia Refrigeration Convention & Exhibition Long Beach, CA, 2001

W.D. Monnery, W.Y. Svrcek, Analytical Study of Liquid/Vapour Separation Efficiency, Department of Chemical & Petroleum Engineering University of Calgary, Calgary, AB T2N 1N4, 2000

EKLER

Ek 1 EES Matematiskel Model

Ek 1 EES Matematiksel Model

```

t1 = 330

h2 = (0.07456 + 0.64044813 · t1 - 0.006833 · t12 + 0.00003288 · t13 - 9.456 × 10-6 · t14 + 1.288 × 10-10 · t15 - 5.248 × 10-14 · t16) / 1000

Taw = -22.7 - 0.003674 · t1 - 0.0002226 · t12 + 0.00000211 · t13 - 7.116 × 10-9 · t14 + 7.946 × 10-12 · t15

Teva = -21.2 - 0.01707 · t1 + 0.0001654 · t12 - 0.00000158 · t13 + 7.312 × 10-9 · t14 - 1.582 × 10-11 · t15 + 1.294 × 10-14 · t16

Tbond = 43.32 - 0.007018 · t1 + 0.00008638 · t12 - 0.000001032 · t13 + 5.198 × 10-9 · t14 - 1.216 × 10-11 · t15 + 1.063784 × 10-14 · t16

m = c1 + c2 · Teva + c3 · Teva2 + [c4 + c5 · Teva + c6 · Teva2] · Tbond + [c7 + c8 · Teva + c9 · Teva2] · Tbond2

c1 = 8.993
c2 = 0.62726
c3 = 0.011376
c4 = -0.328
c5 = -0.02636
c6 = -0.000475
c7 = 0.00362
c8 = 0.00027
c9 = 0.000006

ps = p["R800a":T=Taw;x=0]
pb = p["R800a":T=Taw;x=1]
mu = Visc["R800a":T=Taw;x=1]

g = 9.81

```

$$\sigma = 0,01289 - 0,0001224 \cdot T_{\text{aktu}}$$

$$D_{\text{aktu}} = 0,025$$

$$d_{\text{boru}} = 0,0064$$

$$V_s = \pi \cdot h_s \cdot \left[\frac{D_{\text{aktu}}^2 - d_{\text{boru}}^2}{4} \right]$$

$$\dot{m}_s = \dot{m} \cdot [1 - x]$$

$$m_{s,d} = V_s \cdot \rho_s$$

$$\dot{m}_s = \text{Differentiate} [\text{'Lookup 2': 't1': 'm_{s,d}': 't1' = t_1}] \cdot 1000$$

Rouhani ve Axelsson Bölük Oraný Ýfadesi

$$\alpha = \frac{x}{\rho_b} \cdot \left[(1 + 0,12 \cdot [1 - x]) \cdot \left(\frac{x}{\rho_b} + \frac{1 - x}{\rho_s} \right) + \frac{1,18 \cdot (1 - x) \cdot (g \cdot \sigma \cdot [\rho_s - \rho_b])^{0,25}}{g \cdot \rho_s^{0,5}} \right]^{-1}$$

$$A_{\text{boru}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{boru}}^2}{4}$$

$$\dot{G} = \frac{\dot{m}}{A_{\text{boru}} \cdot 1000}$$

$$u_b = \frac{\dot{G} \cdot x}{\rho_b \cdot \alpha}$$

$$u_{\text{çilk}} = 0,344$$

$$u_{\text{çözen}} = 0,3276$$

Reynolds

$$D_d = 0,0065$$

$$v = u_b - u_{\text{çilk}}$$

$$Re = \rho_b \cdot |v| \cdot \frac{D_d}{\mu_b}$$

Kuvvet Dengesi

$$m_d \cdot a = F_g + F_b + F_d$$

$$F_g = \rho_s \cdot V_d \cdot g$$

$$F_b = -\rho_b \cdot V_d \cdot g$$

$$F_d = -0,5 \cdot C_d \cdot v^2 \cdot \rho_b \cdot A_d$$

Damlacıyk

$$V_d = \pi \cdot \frac{D_d^3}{6}$$

$$A_d = \pi \cdot \frac{D_d^2}{4}$$

$$m_d = V_d \cdot \rho_s$$

Hız

$$time = 0,002 \text{ [s]}$$

$$u_{dson} = u_{dilk} + \int_0^{time} [a] dt$$

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.05.1984	
Doğum yeri	Eskişehir	
Lise	1998 – 2002	Eskişehir Anadolu Lisesi
Lisans	2003 – 2007	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2007 – 2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

Çalıştığı Kurumlar

2007 – 2009	Arçelik A.Ş. Ar-Ge Departmanı Akışkanlar Dinamiği Teknoloji Ailesi
2009 –	Arçelik A.Ş. Buzdolabı İşletmesi Kalite Güvence Yöneticiliği