

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÖNDÜRÜLEN SİLİNDİRİK KAPLARDAKİ SIVILARIN
SOĞUMASINA DEVİR SAYISININ ETKİSİ**

Makina Müh. Yavuz Can Özkaptan

**FBE Makina Müh. Anabilim Dalı Isı-Proses Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Teke

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1 GİRİŞ	1
2 KAYNAK ARAŞTIRMALARI.....	2
2.1 Yayın Araştırması.....	2
2.1.1 Silindirik Şekilli Kaplarda Bulunan Sıvıların Soğutulmasına İlişkin Yayınlar ...	2
2.1.2 Silindirik Cisimlerin Dönmesinin, Taşınımıyla Isı Transferine Olan Etkisinin İncelendiği Yayınlar	5
2.2 Patent Araştırması.....	11
3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	19
3.1 Deney Düzeneği	19
3.1.1 Dış Ortam Şartlandırma Ünitesi	19
3.1.2 Hava Tüneli ve Fan.....	20
3.1.3 Döndürme Aparatı	22
3.1.4 Veri Toplama Ünitesi.....	24
3.1.5 Isıtıcı Aparat	24
3.1.6 Kontrol Ünitesi	25
3.2 Deneylerin Yapılması ve Bulguların Değerlendirilmesi.....	26
3.2.1 Öncül Deneyler.....	26
3.2.2 Hava Tüneli İçerisindeki Hızların Ölçülmesi.....	26
3.2.3 Voltaj-Devir İlişkisinin İncelenmesi.....	28
3.2.4 Isılçiftlerin Kalibrasyonu	29
3.3 Dönme Hızının Silindir Yüzeyindeki Ortalama Nu Değerine Etkisinin İncelenmesi.....	29
3.4 Sıvı Dolu Kapta Dönüş Hızının İçerideki Isı Transfer Katsayısına Etkisinin İncelenmesi.....	39
4 SONUÇLAR	47
5 KAYNAKÇA	50

SİMGE LİSTESİ

A	Alan (m^2)
c_p	Sabit basınçta özgül ısı ($J/kg\ K$)
D	Çap (m)
$h_{iç}$	İç ısı taşınım katsayısı ($W/ m^2\ K$)
$h_{dış}$	Dış ısı taşınım katsayısı ($W/ m^2\ K$)
k	Isı iletim katsayısı ($W/ m\ K$)
m	Silindir/su kütlesi (kg)
Nu	Nusselt Sayısı
Pr	Prantl sayısı
Re_d	Dönmeden kaynaklanan Reynold sayısı
$Re_{\bar{u}}$	Dış akıştan kaynaklanan Reynold sayısı
r	Yarıçap (m)
Q	Isı transfer değeri (W)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
U	Hız (m/sn)
V	Hacim (m^3)
ΔT	Sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)
ν	Kinematik viskozites (m/sn^2)
Ω	Devir ($1/sn$)
σ	Stefan-Boltzman Sabiti ($W/m^2\ K^4$)
ε	Yayma oranı
μ	Dinamik viskozite (m/sn^2)

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
PCM	Phase Change Material (Faz Değiştiren Madde)
XPS	Ekstrüde Polistren Sert Köpük

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Soğutucuda tasarlanan yeni hava kanalı sistemi ve modellemesi yapılan kabın raf içerisindeki konumu	3
Şekil 2.2 Deney sonucunda elde edilen soğuma grafiği	4
Şekil 2.3 a)Özerdem tarafından kurulan deney düzeneği ; b)Isılçiftlerin yerleşimi.....	5
Şekil 2.4 Dönme Reynolds değeri ile ortalama Nusselt değeri(Nu) arasındaki değişim	7
Şekil 2.5 Re_u değerine bağlı olarak Nu_o değerinin değişimi	8
Şekil 2.6 Re_d değerine bağlı olarak Nu_o değerinin değişimi: (a) 2.koşul şartında, (b) 3.koşul şartında	9
Şekil 2.7 KR20010081392 numaralı patent	12
Şekil 2.8 US4078397 numaralı patent	13
Şekil 2.9 US5966964 numaralı patent	13
Şekil 2.10 US5504054 numaralı patent	14
Şekil 2.11 KR20010048205 numaralı patent	15
Şekil 2.12 US6314751 numaralı patent	16
Şekil 2.13 WO03070027 numaralı patent	16
Şekil 2.14 JP4283379 numaralı patent.....	17
Şekil 2.15 JP2009024979 numaralı patent	18
Şekil 2.16 US4549409 numaralı patent	18
Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan fan.....	20
Şekil 3.2 Kullanılan fanın karakteristik eğrisi.....	21
Şekil 3.3 Kanal içerisine yerleştirilen vektör düzelticiler	21
Şekil 3.4 Kanal içerisine yerleştirilen petek yapıdaki akım düzleştirici	22
Şekil 3.5 Hava tünelinin iç yapısı	22
Şekil 3.6 Destek elemanları.....	23
Şekil 3.7 DC motor	23
Şekil 3.8 Alüminyum çubuk ve sıvı kabının sisteme bağlanma şekilleri	24
Şekil 3.9 Veri toplama ünitesi	24
Şekil 3.10 Isıtıcı aparat ve aparatın silindir üzerine yerleştirilme biçimi	25
Şekil 3.11 Kontrol elemanları.....	25
Şekil 3.12 Hız eğrilerinin çıkartılması için hazırlanan düzenek.....	26
Şekil 3.13 Tarama alanı ve tarama yapılan doğrultular	27
Şekil 3.14 Silindir etrafındaki hız bölgeleri	28
Şekil 3.15 Kullanılan bir ısılciftin kalibrasyon eğrisi	29
Şekil 3.16 Nu değeri hesaplarında kullanılan "k" değerinin çıkartılması [İERADİ, James çalışması]	31

Şekil 3.17 Doğal taşınım deneylerinde alüminyum çubuğun sistemde ve ortamda konumlandırılma şekilleri	32
Şekil 3.18 Çubuğun ortamda ve sistemde bulunma durumundaki soğuma süreleri.....	33
Şekil 3.19 Döndürme deneyleri sonucunda elde edilen soğuma eğrileri	34
Şekil 3.20 Zorlanmış taşınımında gerçekleştirilen referans deney sonucu	37
Şekil 3.21 Dönme deneyleri sonucun da elde edilen soğuma eğrileri	37
Şekil 3.22 İç ve dış yüzeylerinde farklı akışkanlar olan silindirik duvar yapısı ve sıcaklık değişimi	40
Şekil 3.23 Silindir iç bölgesinden itibaren sıcaklık dağılımı ve meydana gelen ısı dirençler	40
Şekil 3.24 İçerisinde sıvı bulunan kapta, dış akışın olmadığı durumda dönüş hızına göre elde edilen soğutma eğrileri	42
Şekil 3.25 Dış akışın olduğu durumda içerisinde sıvı bulunan kabın dönüş hızına bağlı soğuma eğrileri.....	44
Şekil 3.26 İçerisinde 330 ml sıvı bulunan silindirik bir kabın dikey ve yatay pozisyonlarındaki durumu	45
Şekil 4.1 Alüminyum çubuk etrafında, dış akış olmadığı durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama Nu değişimi	47
Şekil 4.2 Alüminyum çubuk etrafında, dış akış olduğu durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama Nu değişimi	47
Şekil 4.3 Silindirik kap etrafında, dış akış olmadığı durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama iç ısı taşınım katsayısının değişimi	48
Şekil 4.4 Silindirik kap etrafında, dış akış olduğu durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama iç ısı taşınım katsayısının değişimi	48

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Deney şartları	4
Çizelge 2.2 Tezde incelenen patentlerin genel bilgileri	11
Çizelge 2.3 Patentteki sistemle yapılan deney sonuçları	14
Çizelge 3.1 Kullanılan fanın belirli özellikleri	20
Çizelge 3.2 Voltaja bağlı olarak sistemden elde edilen devir değerleri.....	28
Çizelge 3.3 Döndürme deneylerinde karşılaştırılan RPM değerleri ve bunlara karşılık gelen çevresel hızlar.....	34
Çizelge 3.4 Dönüş hızlarına bağlı olarak elde edilen soğutma kapasitesi miktarı(W)	35
Çizelge 3.5 Dönme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama Nu değerlerinin dönme Reynolds değerine göre değişimi	36
Çizelge 3.6 Dış akışta dönüş hızına bağlı olarak soğutma kapasitesinin değişimi.....	38
Çizelge 3.7 Dış akışın olduğu durumda dönüş hızına bağlı olarak ortalama Nu değerinin değişimi	39
Çizelge 3.8 Dış akışın olmadığı durumda, içerisinde sıvı bulunan kabın döndürülmesi sonucunda elde edilen iç ısı taşınım katsayısı.....	43
Çizelge 3.9 Dış akışın olduğu durumda silindir içerisindeki ortalama ısı transfer katsayısının değişimi	45

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasını yöneten, olumlu eleştiri ve önerileri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Prof. Dr. İsmail TEKE'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam için tüm imkan ve olanaklarını sunarak bana destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, AR-GE Direktörü Sn. Dr. Cemil İNAN ve Ar-Ge Yöneticisi Sn. Fatih ÖZKADI'ya teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar için her türlü donanımın sağlanmasında yardımcı olan Termodinamik Teknoloji Ailesi lideri Sn. Yalçın GÜLDALI ile düşüncelerini ve önerilerini paylaşan Sn. Dr. Alper SOYSAL'a teşekkür ederim.

Deney düzeneğinin kurulmasında vermiş olduğu teknik destekten ötürü Sn. Murat BAKYÜZ'e, hem düzenek üzerinde yaptığı yardımlar hem de fan ve hava hız ölçümlerinde vermiş olduğu destekten dolayı Sn. Nihat KANDEMİR'e, deneysel çalışmalarım süresince her konuda yardımcı olan tüm Arçelik A.Ş. Ar-Ge Termodinamik Ailesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Tez çalışmaların sırasında sıkıntılı zamanlarımda bana her konuda destek olan başta kız arkadaşım Tuğçe ŞAHİN olmak üzere, Yük. Müh. Tolga APAYDIN, Yük. Müh. Yusuf KOÇ, Kıvanç AKKÖSE, Mehmet KALP, Hüda SÖNMEZ, Barış PAKDİL ve Ar-Ge lisans/yüksek lisans öğrencisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde benden maddi ve manevi her türlü desteği hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli AİLEME en derin duygularıyla teşekkür eder, bu tezi merhum annem Mürüvvet ÖZKAPTAN'a adamaktan mutluluk duyarım.

ÖZET

Gerçekleştirilecek tez çalışması için silindirik kaplarda bulunan sıvıların soğumasına etki eden parametreler araştırılmıştır. Yapılan araştırma neticesinde, dış ortam sıcaklığının, kap etrafındaki akış hızının, kap içerisindeki sıvının fiziksel özelliklerinin soğumaya etki ettiği belirlenmiştir. Araştırmalar sonucunda, bu etkenlere ilave olarak, kap içerisindeki sıvıya hareket kazandırılmasının da bir etken olabileceği görülmüştür.

Tezde, içerisinde sıvı bulunan silindirik kaba, dönerek hareket kazandırılması neticesinde, kabın dış ve iç yüzeylerinde oluşan ısı taşınım katsayısının, dönüş hızına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Dış yüzey ısı taşınım katsayısını incelemek için 66mm çapında ve 124mm boyunda alüminyum çubuk; iç yüzey ısı taşınım katsayısını incelemek için ise içerisinde 330ml saf su bulunan silindirik bir kap kullanılmıştır. Dönme hızının etkisini görebilmek için 4 farklı dönüş hızı belirlenmiştir.(62, 88, 112 ve 133 d/dk) Ayrıca, deneylerde silindir etrafında dış akışın olduğu ve olmadığı 2 ortam şartının etkileri de karşılaştırılmıştır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması dört ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümdeki giriş kısmında genel bir bilgilendirme yapılmıştır.

İkinci bölümde, konu ile ilgili olarak gerçekleştirilen literatür ve patent araştırmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan deney tesisatı ve kontrol sistemi detaylı olarak açıklanmış; tez konusu kapsamında silindir etrafında dış akışın olduğu ve olmadığı ortam şartlarında, farklı dönme hızlarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde de gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir

ABSTRACT

Thesis will be held until the cylindrical container in which the parameters of beverages to cool effects were investigated. As a result of the research, the outside temperature, the flow speed around the container's and physical properties of liquids in containers, were found to affect the cooling rate. In addition to these factors, the increase of container rotation speed within the fluid can be applied to the other was identified as a factor.

In the thesis, the effect of the rotation speed on the convection heat transfer coefficient which was occur on the outer and the inner surface of the container was investigated. In the experiments, to examine the exterior and inner convective heat transfer coefficient, aluminium rod, which has 66 mm diameter and 124 mm lenght and a container which is the same dimensions and filled with 330 ml distilled water, was used. To determine the effect of rotation, four different rotational speeds were identified. (62, 88, 112 ve 133 RPM)

This thesis consist of four main sections. In the first section, which is an introduction, it was informed about thesis.

In the second section, relevant literature and patent research is performed as has been explained in the thesis.

In the third section, used experimental equipments, control system and experiments, which were made in the thesis, were explained in detail.

In the fourth section, reviews the results of the study was conducted.

1 GİRİŞ

Günümüzde sıvıların soğutulması büyük önem taşımaktadır. Özellikle sıcak günlerde, tüketici tarafından alınan ve içme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda bulunan sıvıların hızlı bir şekilde soğutulması, tüketici tarafından soğutucularda aranan bir özellik haline gelmiştir. Bu sebeple üreticiler, sıvıların daha kısa sürede soğutulması üzerine yoğunlaşmıştır.

Bu kapsamda yapılan patent araştırmaları sonucunda, sıvıların soğutma hızının artırılması için çeşitli yöntemlere rastlanmıştır. Bu yöntemler daha çok kap üzerindeki hava hızının artırılması, soğutucu sistemlerdeki soğutucu akışkan yardımıyla soğutma vb. şekillerde tasarlanmaktadır.

Yapılan araştırmalar, ana yöntemlerin yanında yardımcı yöntemlerinde kullanıldığını göstermiştir. Bu yöntemlerden en çok üzerinde durulana, sıvı kabının belirli bir hızda döndürülmesi olarak belirlenmiştir. Bu konuda yapılan literatür araştırmaları sonucunda silindirik şeklindeki cisimlerin dönmesinin, ısı transferi üzerine etkisinin incelendiği makalelere rastlanmıştır.

Bu çalışmada, silindirik kaplarda bulunan sıvıların soğutulmasına etki eden parametrelerden dönme hızının, kabın dış ve iç yüzeyinde meydana getirdiği ısı taşınım katsayısına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2 KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Belirlenen tez konusu ışığında literatür ve patent araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen literatür araştırmaları sonucunda silindirik şekilli kaplarda depolanan sıvıların soğutulmasına yönelik makalelere rastlanmıştır. Fakat soğutma esnasında sıvı kabının belli devirde dönmesinin veya içeride sıvıya hareket kazandırılmasının, soğuma üzerindeki etkisini inceleyen makalelere rastlanmamıştır.

Bunun yanında, belli bir devirde dönen silindirik şekildeki katı cismin yüzeyindeki ısı transfer katsayısının değişimini inceleyen makaleler literatürde bulunmaktadır. Bulunan bu makaleler incelendiğinde, çalışmalarda doğal ve zorlanmış taşınım olmak üzere iki ısı transfer şekli için incelemelerin gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

Literatür araştırmaları ile birlikte patent araştırması da gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda bazı yabancı menşeli soğutucu üretici firmalarının hareketli soğutma sistemleri üzerine patent aldıkları belirlenmiştir. Alınan patentlerde, hareket iki şekilde sağlanmış olup bunlardan ilki kabın döndürülmesi ikincisi ise kabın titreştirilmesidir.

2.1 Yayın Araştırması

Gerçekleştirilen literatür araştırmaları, incelemesi yapılan konuya göre kendi aralarında sınıflandırılmıştır. Yapılan bu sınıflandırmalar;

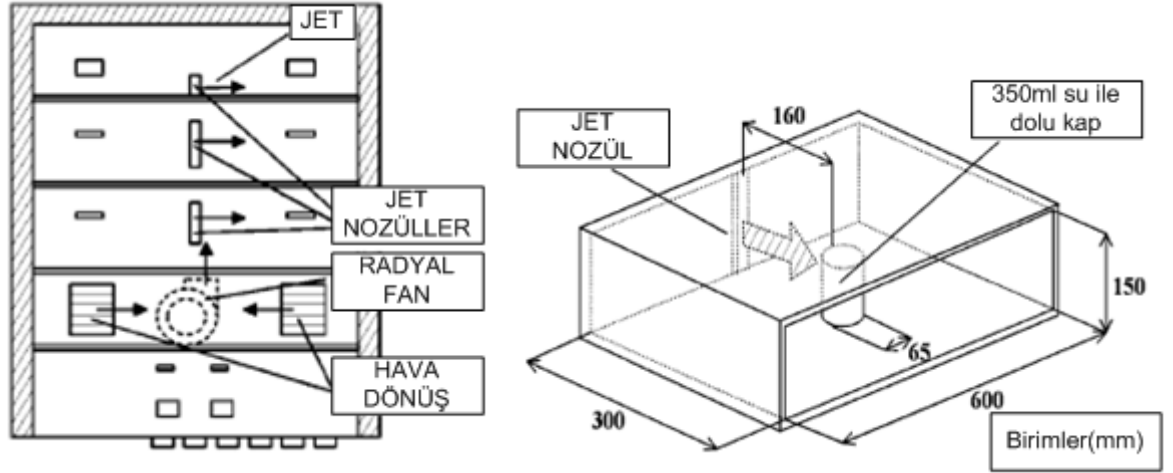
- Silindirik şekilli kaplarda bulunan sıvıların soğutulmasına ilişkin yayınlar,
- Silindirik cisimlerin dönmesinin, taşınım ile ısı transferine etkisinin incelendiği yayınlar,

şeklinde yapılmıştır.

2.1.1 Silindirik Şekilli Kaplarda Bulunan Sıvıların Soğutulmasına İlişkin Yayınlar

Kazuhira Fukuyo, Taichi Tanaami, Haruko Assida tarafından (2002) yayınlanmış olan çalışmada, soğutucu içerisindeki sıcaklık dağılımının homojenleştirilmesi ve soğutma etkinliğinin artırılması için tasarlanan yeni hava dağıtım sisteminin dolaba etkileri incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda soğutucudaki hava üfleme hızlarının artırılmasına karar verilmiş olup; bunu sağlamak için soğutucu içerisine radyal fan yerleştirilmiştir. Ayrıca sistemde ek olarak hava çıkış ağzlarının kesitleri daraltılarak “jet nozül” uygulaması da gerçekleştirilmiştir. İlgili makalede ayrıca yeni gerçekleştirilen sistemde 330ml’lik silindirik bir sıvı kabının soğuması modellenmiştir. Dolapta

gerçekleştirilen yeni sistem ve kabın raf üzerindeki yerleşimi ile birlikte raf özellikleri Şekil 2.1’de belirtilmiştir.



Şekil 2.1 Soğutucuda tasarlanan yeni hava kanalı sistemi ve modellemesi yapılan kabın raf içerisindeki konumu

Gerçekleştirilen modellemede, silindir üzerindeki ısı taşınım katsayısının belirlenebilmesi için yaptıkları literatür araştırmalarından edinilen Denklem 2.1’de kullanılmıştır.

$$\alpha = \beta \frac{k_{hava}}{D} \left(\frac{U_{akis} D}{v_{hava}} \right)^{\gamma} Pr^{\delta} \quad (2.1)$$

Denklemde bulunan β , γ ve δ değerleri deneysel sabitler olarak belirtilip; gerçekleştirilen deneyler sonucunda bu değerler sırasıyla 0.386, 0.618 ve 1/3 olarak bulunmuştur.

Kabın içerisindeki sıcaklık dağılımının homojen olduğu kabul edilerek;

$$\rho_{su} C_p V_{kap} \left(\frac{\partial T_{kap}}{\partial t} \right) = -\alpha A_{kap} (T_{kap} - T_{hava}) \quad (2.2)$$

şeklinde enerji denklemi yazılmıştır. Denklemin sol tarafı kap içerisindeki suya ait olacağı için devamlı azalacaktır. Denklemin sağ tarafı ise hava ile yüzey arasındaki ısı transferini vermektedir. Denklem 2.2 çözümlenerek, sıcaklık farkının zamana bağlı olarak değişimi bulunmuştur. (Denklem 2.3)

$$\Delta T = T_0 \exp \left(\frac{-\alpha A}{\rho C_p V} t \right) \quad (2.3)$$

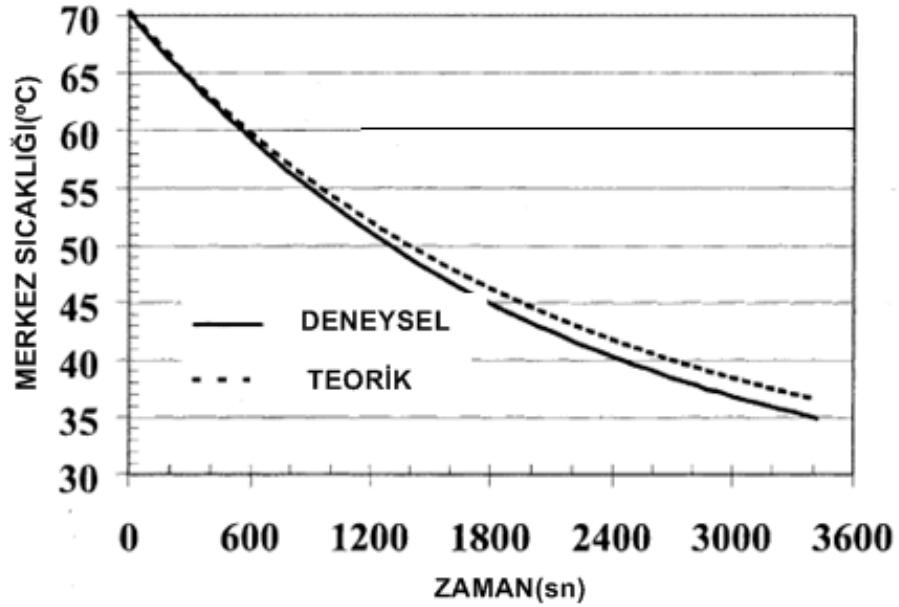
Burada;

- T – Kapla üfleme sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)
- $T_0 - T$ 'nin başlangıçtaki değeri ($^{\circ}\text{C}$), olarak belirtilmiştir.

Elde edilen denklemin doğruluğunu belirlemek için gerçekleştirilen deneyde %9 hata payı ile doğruluk sağlanmıştır. Gerçekleştirilen deney şartları Çizelge 2.1’de, deney sonucunda elde edilen soğuma grafiği de Şekil 2.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Deney şartları

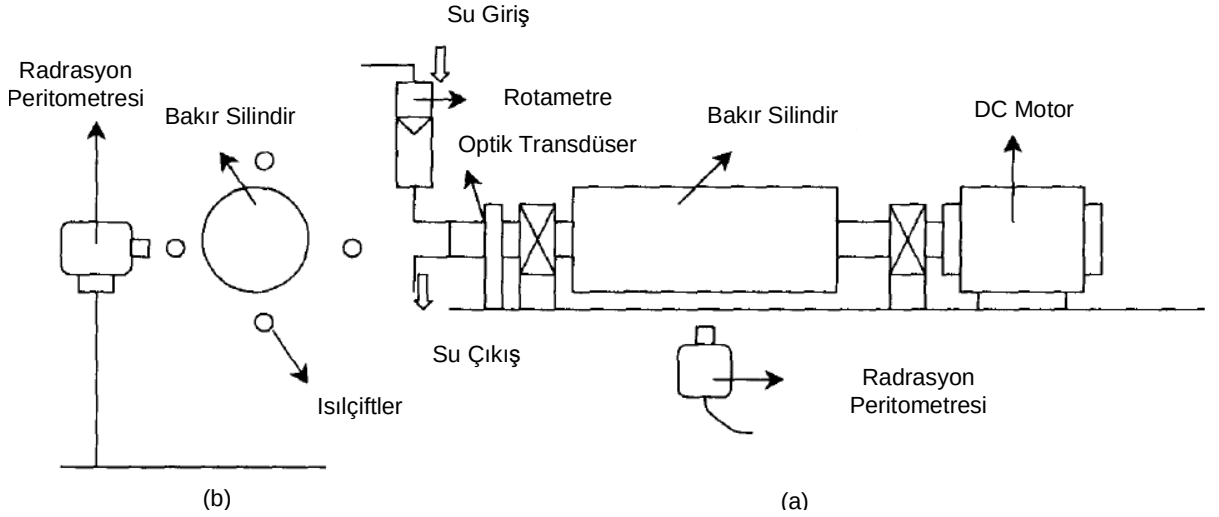
Kabın çapı(m)	0.066
Kabın hacmi(m^3)	0.000385
Kabın yüzey alanı(m^2)	0.0264
Su başlangıç sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	70.2
Üfleme sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)	26.4
Üfleme hızı(m/sn)	1.4
Üfleme hızı ile kap arasındaki mesafe(m)	0.16



Şekil 2.2 Deney sonucunda elde edilen soğuma grafiği

2.1.2 Silindirik Cisimlerin Dönmesinin, Taşınım İle Isı Transferine Olan Etkisinin İncelendiği Yayınlar

Barış ÖZERDEM tarafından (2000) yayınlanmış olan makalede, durgun ortamda, yatay eksen etrafında belirli bir devirde dönme hareketi yapan bakır silindirin yüzeyinde meydana gelen ortalama ısı transfer katsayısı incelenmiştir. Ayrıca çalışmada ortalama Nusselt değeri hesaplanıp, bu değerin dönme sonucu oluşan Reynolds değeri ile bağlantısı da gösterilmiştir. Çalışmalar için kurulan deney düzeneği Şekil 2.3’de belirtilmiştir.



Şekil 2.3 a)Özerdem tarafından kurulan deney düzeneği ; b)Isılçiftlerin yerleşimi

Gerçekleştirilen deneylerde 500 mm boyunda, üç farklı çapa sahip (95, 66 ve 54 mm) bakır silindirler kullanılmıştır. Bakır silindirlerin yatay eksen etrafında döndürülebilmesi için gerekli olan tahrik gücü, sisteme yerleştirilen DC motor tarafından sağlanmış olup,. dönme hızını ölçebilmek için sisteme optik okuyucu eklenmiştir. Silindirleri ısıtmak için gerekli olan ısı enerjisi sisteme eklenen banyo ile sağlanmıştır. Ortam sıcaklığının okunabilmesi için silindir etrafına 4 adet ısılçift yerleştirilmiştir. (Şekil 2.3b) Silindirlerin yüzey sıcaklıklarının okunabilmesi için sisteme radyasyon pirometresi eklenmiştir.

Deneylerde ortalama ısı taşınım katsayısının (h_{du}) hesabı için Denklem 2.4’den yararlanılmıştır.

$$Q = \frac{2\pi L(T_{yüzey} - T_{ortam})}{\frac{1}{h_{du} r}} \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’de belirtilen, Q toplam ısı miktarı hesaplanırken Denklem 2.5 kullanılmıştır..

$$Q = mc_p (T_{su_giriş} - T_{su_çıkış}) \quad (2.5)$$

Denklemden yer alan;

- $T_{su_siriş}$ – Silindirlere giren suyun sıcaklığı (C)
- $T_{su_çıkış}$ – Silindirden çıkan suyun sıcaklığı (C) olarak belirtilmiştir.

Elde edilen deney dataları formülasyonlarda yerine konulduğunda istenilen ortalama taşınım katsayısına ulaşılmıştır. Elde edilen ortalama taşınım katsayısı Denklem 2.6’da yerine konarak ortalama Nusselt değeri(Nu) elde edilmiştir.

$$Nu = \frac{h_{du} D_o}{k} \quad (2.6)$$

Ayrıca ortalama ısı taşınım katsayısından(h_{du}) hesaplanan ortalama Nusselt değerinin(Nu), aynı zamanda dönme neticesinde meydana gelen Reynolds değeri ve Prandtl sayısına bağlı olduğu belirtilmiştir (Denklem 2.7).

$$Nu = f(Re_d, Pr) \quad (2.7)$$

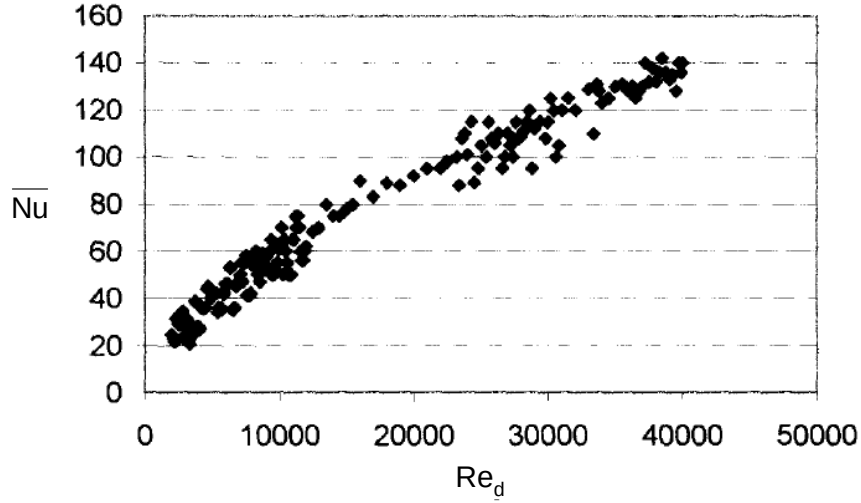
Bu fonksiyon da Prandtl değeri hava için sabit olup 0.72 alınmıştır. Bu nedenle ortalama Nusselt değeri sadece dönme Reynolds değerinin fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. (Denklem 2.8)

$$Nu = f(Re_d) \quad (2.8)$$

Makalede dönme sonucu oluşan Reynolds değeri Denklem 2.9’dan hesaplanmıştır.

$$Re_d = \frac{\Omega D^2 \rho}{2\mu} \quad (2.9)$$

Yapılan deneyler sonunda dönme hızının artırılmasının ortalama Nusselt değerini(Nu) arttırdığı belirlenmiş olup, dönme Reynolds değeri ile ortalama Nusselt değeri(Nu) arasında ampirik bir formülasyon elde edilmiştir



Şekil 2.4 Dönme Reynolds değeri ile ortalama Nusselt değeri(Nu) arasındaki değişim

Stefan aus der Wieshe tarafından (2006) yayınlanmış olan makalede, belli bir hızda akan havanın içerisine yerleştirilmiş ve dikey eksen etrafında dönen bir diskin yüzeyinde meydana gelen ortalama Nusselt değerini incelenmiştir. Makalede Nusselt değerinin diskin bulunduğu şartlardaki Prandtl sayısına, hava akışından ve dönmeden kaynaklanan Reynolds değerlerine (Re_u , Re_d) bağlı olduğu belirtilmiştir (Denklem 2.10).

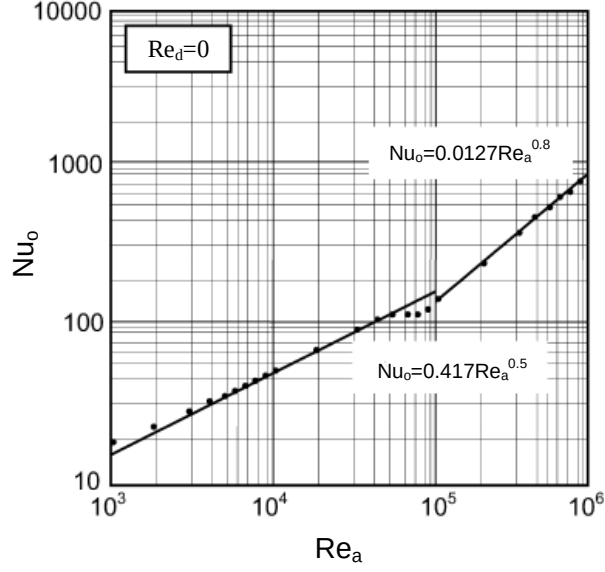
$$Nu_o = f(Pr, Re_d, Re_u) \quad (2.10)$$

Çalışmalar teorik olarak gerçekleştirilmiş olup, 3 tane deney koşulu belirlenmiştir. Bunlar;

1. Duran diskin üzerinden belirli bir hızda havanın geçirilmesi,
2. Dönen diskin durgun havanın içerisinde bulunması,
3. Dönen diskin üzerinden belli bir hızda havanın geçirilmesidir.

1.Koşul:

Yapılan çalışmalarda diskin dönmediği kabul edilmiştir. Bu durumda Nu_o değeri sadece Re_u ve Pr değerlerine bağlı olarak değişeceği belirtilmiştir. Pr değeri hava için 0.7 olarak kabul edilmiş ve değişkenler teke düşürülmüştür. Yapılan incelemelerde Re_u değerinin 50000'e ulaşması durumunda türbülansın başladığı görülmüştür. Türbülansın tam gelişmiş hale gelmesi için ise Re_u değerinin 100000 olması gerektiği belirtilmiştir. Bu koşula göre yapılan çalışmalar sonucunda laminar akış ve tam gelişmiş türbülanslı akış bölgesi için bazı formülasyonlar çıkarılmıştır. Re_u değerine göre Nu_o değerinin değişimi de Şekil 2.5'de belirtilmiştir.



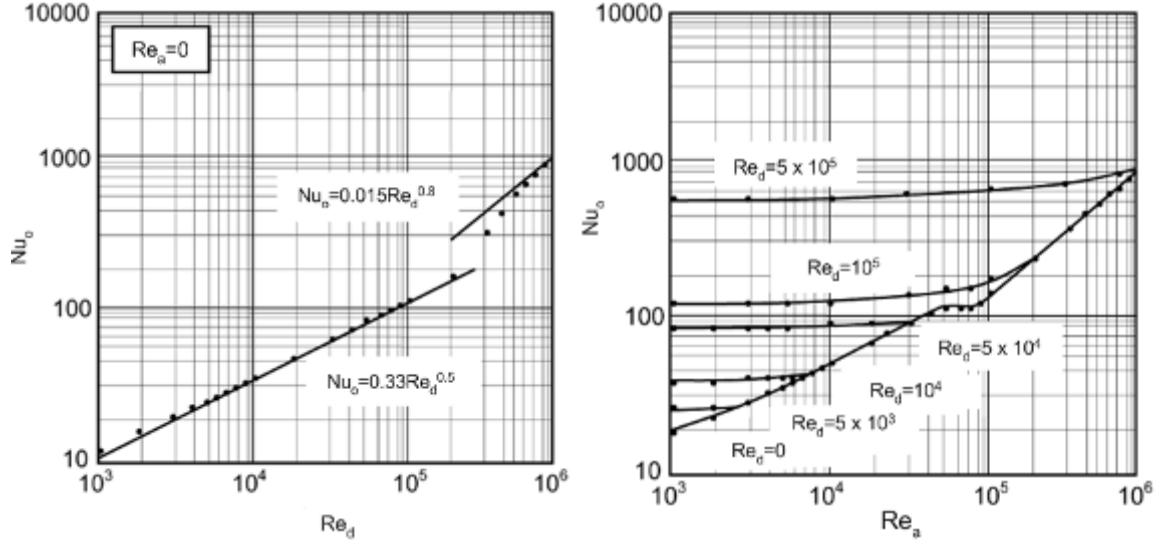
Şekil 2.5 Re_u değerine bağlı olarak Nu_o değerinin değişimi

2.Koşul:

Yapılan ikinci çalışmada durgun havada dönen diskin üzerindeki Nu_o değeri incelenmiştir. İncelenmiş olan eski çalışmalar, dönme hareketinin, yüzeye yakın bölgelerde akışı etkilediğini ve yönlendirdiğini belirtmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Nu_o değerinin Re_d değerine bağlı olarak değişimi elde edilmiş olup, edinilen grafik Şekil 2.6 (a)'da belirtilmiştir.

3.Koşul:

Yapılan üçüncü çalışmada, dönen disk üzerinden hava geçirilmesi durumundaki Nu_o değişimi incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda dönme hareketinin disk yüzeyinde oluşan Nu_o değerini arttırdığı bulunmuştur. Ancak bu artışın Re_d değerinin Re_u değerine oranla çok büyük olduğu değerlerde meydana geldiği de makalede belirtilmiştir. ($Re_d \gg Re_u$) Meydana gelen iyileşme Şekil 2.6(b)'deki grafikte belirtilmiştir.



Şekil 2.6 Re_d değerine bağlı olarak Nu_0 değerinin değişimi: (a) 2.koşul şartında, (b) 3.koşul şartında

Yapılan çalışmalar sonucunda Nu_0 değerinin iyileşebilmesi için Re_u ile Re_d arasında kritik bir oranın olduğu belirlenmiştir. Bu oran 1.4 olarak belirtilmiştir. Bu değer altındaki değerlerde dönmenin Nu_0 üzerine bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür. Bulunan bu orana ve Re_u değerine bağlı olarak çeşitli korelasyonlar geliştirilmiştir.

Ali Abdul-Aziz Mohammed Shehata tarafından (1994) yapılmış olan yüksek lisans tezinde çapraz akış içerisinde, kendi eksenini etrafında dönen yatay silindir üzerinde doğal ve zorlanmış taşınımı birlikte incelemiştir. Gerçekleştirdiği literatür araştırmaları eski yayınları kapsadığından ötürü, burada yapılan literatür araştırmalarında bu yayınların özetlerine yer verilmiştir. Bu özetler;

- Yatay eksenini etrafında dönen silindirik cismin üzerindeki ısı transferini ilk inceleyen Anderson ile Saunders olmuştur. Anderson incelemelerinde farklı dönme hızları, silindir sıcaklıkları ve silindir çaplarını incelemiştir. Ayrıca bazı deneyler 4 atm’lik ortamda gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda, doğal taşınım da, ısı transferinin iyileşmesi için belirli bir dönme hızına ihtiyaç olduğunu bulmuşlardır. Bu değer altındaki dönme hızlarında ortalama ısı transfer katsayısının değişmediğini belirlemişlerdir.
- Dropkin ve Carmi tarafından yapılan çalışmada durgun havada yatay eksenini etrafında dönen silindirin üzerindeki doğal taşınım incelenmiştir. Yapılan çalışmalar Re değerinin 43300 ve dönme hızının $150d/dk$ ’in üzerinde olduğu şartlarda yapılmıştır. Bu çalışmalar, kritik bir Re değerine kadar dönmenin bir etkisinin olmadığı ancak kritik değer

üzerinde, dönme hızının artmasına bağlı olarak ısı transfer katsayısının da arttığını göstermiştir. Bu kritik Re değeri 15000 olarak tanımlanmış olup, yapılan çalışmalara göre bir korelasyon geliştirilmiştir.

– Kays ve Bıorklund tarafından gerçekleştirilen çalışma da, yatay eksen etrafında dönen silindir üzerinde zorlanmış taşınım olduğu ve olmadığı durumlardaki ısı transferi durumu incelenmiştir. Yapılan deneyler iki ayrı rejimde yapılmış olup; bunlardan ilki dönme hızının üfleme hızına oranının 2 den küçük olduğu ; ötekisi ise bu oranın 2 den büyük olduğu durumlardır. Çalışmalar Re_d değerinin 2000 ile 45000 olduğu bölgede gerçekleştirilmiş olup, yapılan deneylere göre bir korelasyon gerçekleştirilmiştir.

– Ryohachi tarafından yapılan çalışma da yatay eksen etrafında dönen silindir üzerinde zorlanmış taşınım olduğu ve olmadığı durumlardaki ısı transferi durumu incelenmiştir. Döner silindir etrafındaki sıcaklık ve akış bölgeleri her iki durum içinde görsel olarak incelenmiş ve ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda doğal taşınım da, Re_u değerinin 1000'in üzerinde olduğu değerlerde ısı transfer katsayısında bir değişikliğin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca Re_d değerinin Re_u değerine oranının 2 olduğu noktalarda ısı transferinin en düşük seviyeye indiği belirtilmiştir.

– Becker tarafından yapılan çalışma da, deneyler hava ortamında değil, su ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler Re değerinin 1000 ile 46000 ve Pr değerinin 2.2 ile 6.4 değerleri arasında gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara yer verilmemiştir.

olarak açıklanmıştır.

Yapılan teorik ve görselleme çalışmaları sonucunda, kendi eksen etrafında döner silindir etrafındaki kaldırma kuvvetinin hem termal hem de akış çizgileri üzerinde büyük etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. Düşük dönüş oranları için, kaldırma kuvvetlerinin (Gr/Re^2) artmasının ortalama Nu değerinin iyileşmesine neden olduğu belirlenmiştir. Gr/Re^2 değerinin 0 – 0,1 arasında olması durumunda ortalama Nu değerine etkisinin az olduğu; 1 – 6 arasındaki değerlerde ise ortalama Nu değerinde lineer bir artış sağlayacak şekilde etkisinin olduğu belirlenmiştir.(Bu hesaplamalarda Re değeri sabit tutularak Gr değeri arttırılmıştır.)

Ancak yüksek dönüş oranlarında, kaldırma kuvvetlerindeki artış, ortalama Nu değerinde azalmaya neden olduğu görülmüştür.

2.2 Patent Araştırması

Literatür araştırmasının yanında, hem tez düzeneğinin kurulması aşamasında yardımcı olması hem de araştırması yapılan tez konusunun uygulanabilirliğinin belirlenmesi amacı ile patent araştırması gerçekleştirilmiştir.

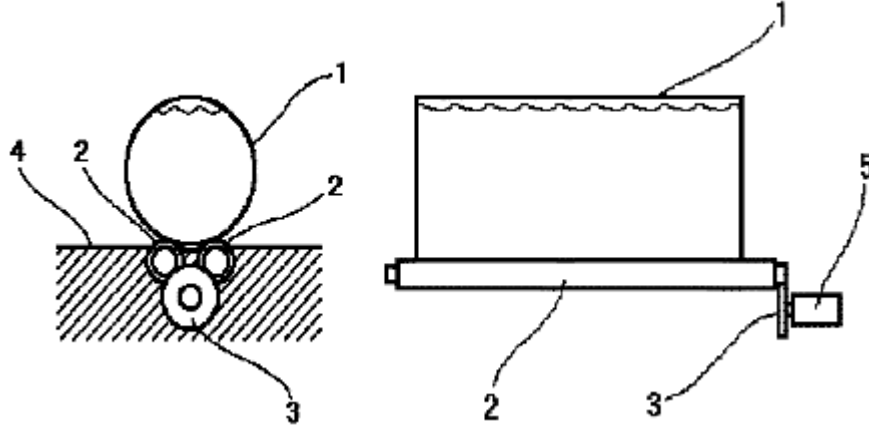
Gerçekleştirilen patent araştırmasının sonucunda, sıvıların kısa sürede soğutulabilmesi için tasarlanan sistemleri içeren patentlere ulaşılmıştır. Bulunan patentlerde soğutma işlemlerinde genel olarak soğuk sıvı ve hava kullanılmıştır. Bunların yanında soğutma işlemi sırasında silindirik kap içerisinde bulunan sıvıya hareket kazandırarak, soğutma işleminin daha da hızlandırılacağını öngören patentlerde bulunmuştur. Bulunan patentlerin genel özeti Çizelge 2.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2 Tezde incelenen patentlerin genel bilgileri

PATENT NUMARASI	PATENT İSMİ	SOĞUTMA ŞEKLİ
KR20010081392	Quick Cooling Apparatus for Can Beverage	Hava + Döndürme
US4078397	Beverage Container Cooling Device	Buz + Döndürme
US5966964	Beverage Cooling Appliance and Method Using Same	Buz + Döndürme
US5504054	Rapid Beverage Cooling	Buzlu su + Döndürme
KR20010048205	Refrigerator	Hava + Döndürme
US6314751	Beverage Cooling Apparatus	Buzlu su + Döndürme
WO03070027	Rapid Coolind Device for Drinks and Foods	Buz + Döndürme
JP4283379	Refrigerator	Hava + Döndürme
JP2009024979A	Refrigerator	Hava + Döndürme
US4549409	Apparatus for Cooling Beverage Containers and Like That	Hava + Döndürme

Kım Tae Seung tarafından yayınlanan KR20010081392 numaralı çalışmada, sıvıların daha kısa sürede soğumaları için, kap içerisinde karıştırılmalarını sağlayan bir tasarım geliştirilmiştir (Şekil 2.7).

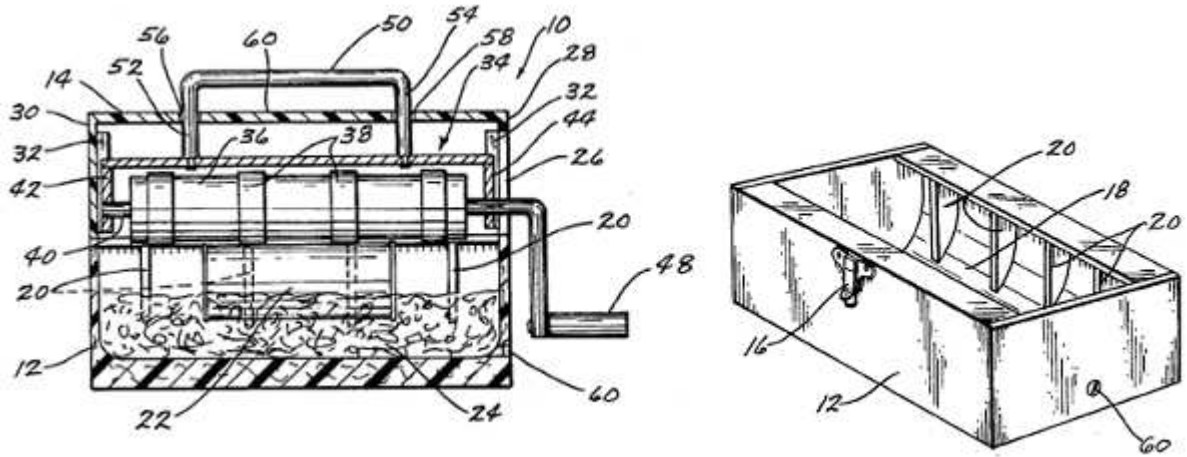
Gerçekleştirilen bu tasarım ile kap içerisinde bulunan sıvıların karıştırılması sonucunda, kap yüzeyine daha çok temas ederek daha hızlı soğuyacakları belirtilmiştir. Yapılan tasarım 2 adet mil (2) ve bir motordan (5) oluşmaktadır. Tasarımda bulunan 2 mil, aralarında belli bir mesafe olacak şekilde yatay olarak yerleştirilmekte ve soğutulacak kap (1) bu iki milin üzerine yatay olarak konumlandırılmaktadır. Motor tarafından sistemdeki ilk mile hareket verilmekte; verilen bu hareket sayesinde de soğutulmak istenen kap döndürülmektedir. Dönmekte olan kap, hem mesnet hem de destek mili olarak yerleştirilen ikinci mili döndürmektedir. Soğutma işleminin hava ile yapılacağı ayrıca gerekirse sisteme fan eklenebileceği belirtilmiştir.



Şekil 2.7 KR20010081392 numaralı patent

Bruce R. Brande tarafından yayınlanan US4078397 numaralı çalışmada, içerisinde sıvı kaplarının taşınabileceği ve aynı zamanda bu sıvının hızlı bir şekilde soğutmasını sağlayacak bir hazne tasarımı geliştirilmiştir (Şekil 2.8).

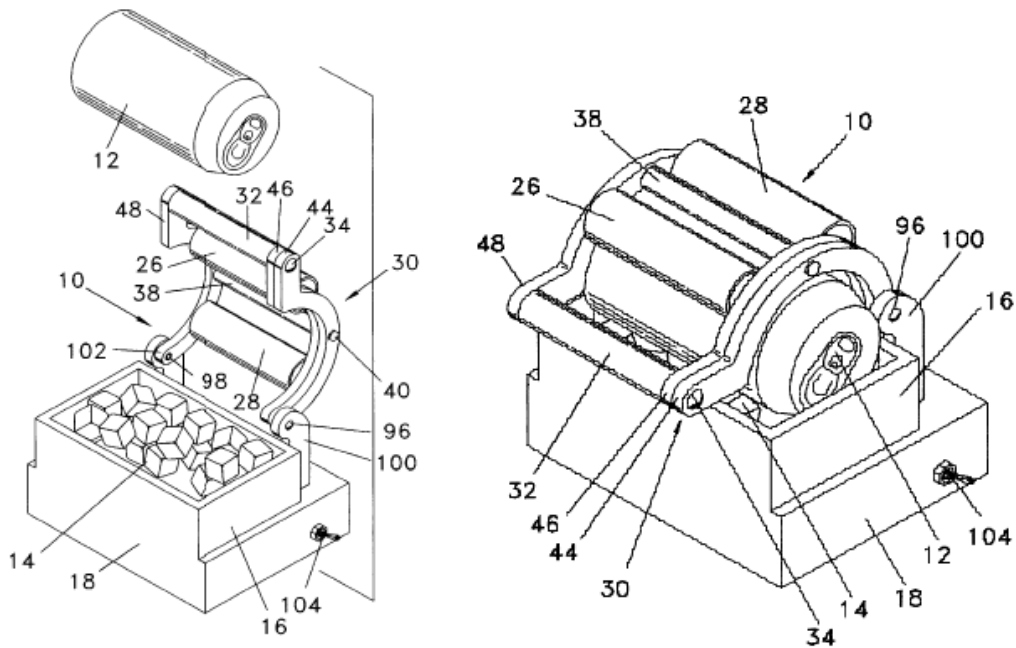
Geliştirilen hazne (10), birbirine monte edilebilir alt (12) ve üst (14) iki bölmeden oluşmaktadır. Alt bölme, içerisine sıvı kabını alacak şekilde yarım silindirik (18) olarak tasarlanmıştır. Bu bölme ayrıca soğutma işlevini sağlamak amacı ile buz kalıpları ile doldurulabilmektedir. Üst bölme kendi içerisinde üzerinde kasnaklar (38) bulunan silindirik (36) bir yapıyı bulundurmaktadır. Bu yapı, doldurulan buzların arasına yerleştirilen kabın buz içerisinde sıkıştırılması ve döndürülmesini sağlamaktadır. Döndürme işlemi tüketici tarafından gerçekleştirmektedir. Bunun için sistem dışından, kasnağa bağlı bir kol (48) uzatılmıştır.



Şekil 2.8 US4078397 numaralı patent

Clarke C. Pattee tarafından yayınlanan US5966964 numaralı çalışmada, sıvıların hızlı soğutulması için tasarlanan soğutma aparatı belirtilmiştir (Şekil 2.9).

Belirtilen soğutma aparatı (10), ufak bir buz kabini (18) ve döndürme işlemini gerçekleştirecek olan milli bir yapıdan (30) oluşmaktadır. Siçerisinde sıvı bulunan kap, buz haznesi üzerine konulup üzerine milli yapı kapatılmaktadır. Kapatma işlemi sonucunda sıvı kabı hazne içerisinde ortalanmaktadır. Kapatma işlemi tüketici tarafından gerçekleştirilmektedir. Bunun için sistemde bir bastırıcı kol (32) bulunmaktadır. Buz kabininin hemen altında bulunan bir motor kutusu sayesinde dönme işlemi gerçekleştirilmektedir. Dönme işlemi ile soğutma işlemi başlatılmış olmaktadır.



Şekil 2.9 US5966964 numaralı patent

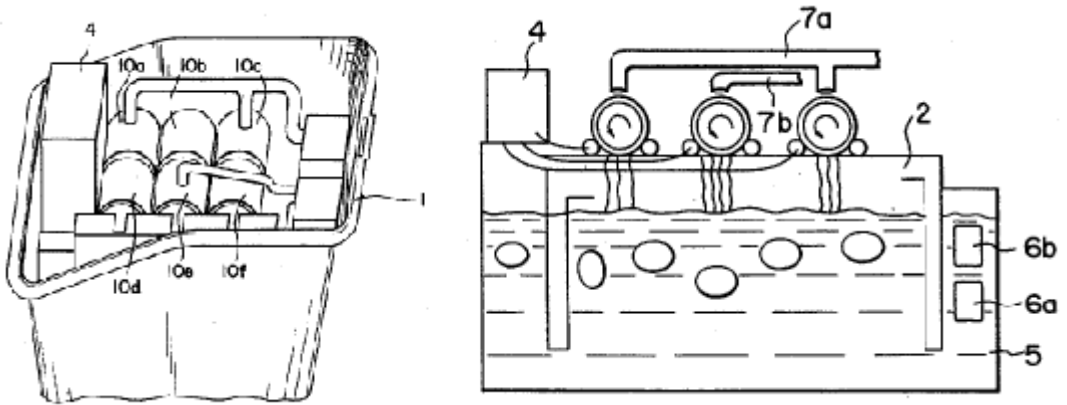
Gregory H. Loible tarafından yayınlanan US5504054 numaralı çalışmada, sıvıların hızlı soğutulması için tasarlanan soğutma sistemi belirtilmiştir (Şekil 2.10).

Patent 12ons'luk sıvı kaplarının oda sıcaklığından(23°C'den) içilebilme sıcaklığı olan 5°C'ye, 1 dakikanın altına indirmek için uygulanmış sistemi anlatmaktadır. Sistemde, kavanoz veya cam şişeler yatay pozisyonda belli devirde döndürülerek, üzerlerinden soğutucu sıvı geçirilmesiyle hızlı soğutmanın yapılacağı belirtilmektedir. Sistemde şişelerin döndürülmesi için ufak bir motor (4) ve bunları döndürecek rulman sistemi kullanılmıştır. Akışkan olarak 0/-5°C arası su (5) kullanılmıştır. Soğutucu olarak kullanılan su, sistemin altında bulunan rezervuardan, su pompaları (6a, 6b) ile alınmaktadır. Daha sonra belli debide soğuk su kutularının üzerine gönderilerek soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Patentte verilen örneklerde; ortam sıcaklığından (30°C kabul edilip); içilebilme sıcaklığına (5-7°C'ye) indirebilmek için, 90 lt/dk'da ve 751 d/dk devirde çeşitli sayıdaki kavanozlarda yapılan deneylerde ulaşılan değerler aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Patentteki sistemle yapılan deney sonuçları

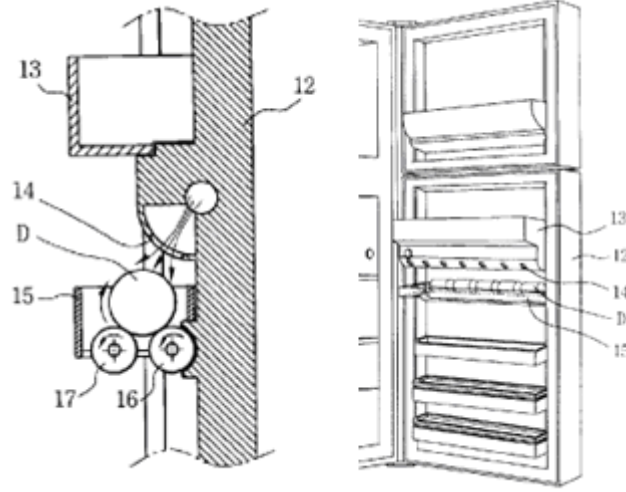
Kutu tipi ve ebatları	Son sıcaklık(°C)	Zaman(dakika)
340 gram kavanoz	5,9	1,5
454 gram kavanoz	6,2	1,5
710 gram kavanoz	6,75	1,5
340 gram şişe	5,2	3,5
910 gram şişe	6,9	7,0



Şekil 2.10 US5504054 numaralı patent

Kore menşeli bir soğutucu firması tarafından yayınlanan KR20010048205 numaralı çalışmada, sıvı kaplarının soğutucu kapısında daha hızlı soğutulması için tasarlanan ikincil soğutma sistemi belirtilmiştir (Şekil 2.11).

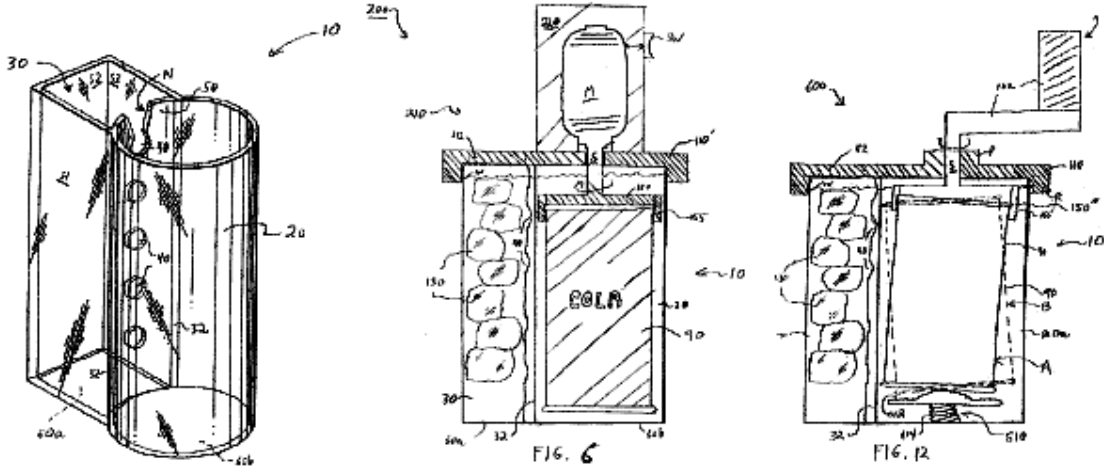
Sistem nozüllerden (14) hızlı bir şekilde hava üflenmesine dayanmaktadır. Kutuda homojen bir soğutma sağlanabilmesi için kutular dönebilen yataklar (16, 17) üzerine yerleştirilmiştir. Soğutma işlemi boyunca kutular belli devirde dönmekte, böylece hem kutu içinde türbülans oluşturularak sıcaklık dağılımı homojenleştirilmekte hem de her tarafın soğuk havadan yararlanması sağlanmaktadır.



Şekil 2.11 KR20010048205 numaralı patent

Gilbert Sebastian Gjversvik tarafından yayınlanan US6314751 numaralı çalışmada, içerisinde sıvı bulunan kapların ve kutulanmış gıdaların hızlı soğutulması için tasarlanan soğutma sistemi belirtilmiştir (Şekil 2.12).

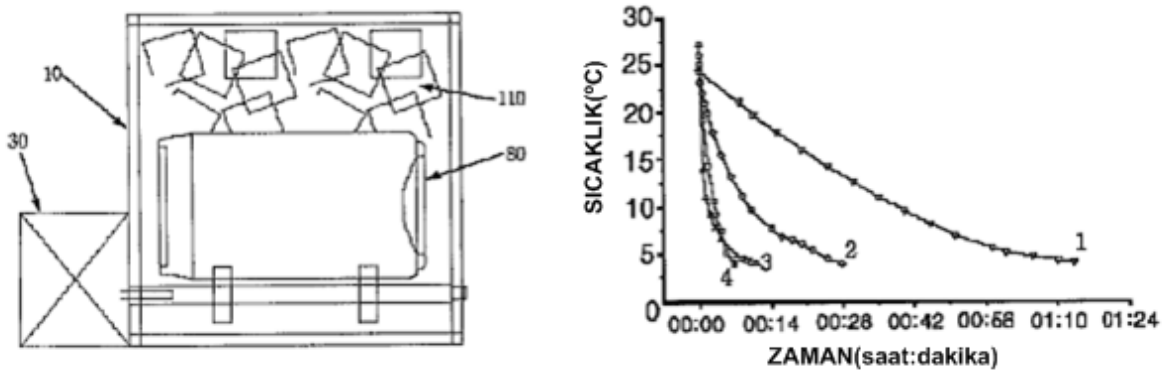
Belirtilen tasarım, 2 hazneden oluşmaktadır. Haznenin bir tanesi (30) içerisinde soğutucu sıvıyı, ikinci hazne (20) ise içerisine soğutulacak olan silindirik şeklindeki sıvı veya gıda kutusunu muhafaza etmek için tasarlanmıştır. İlk haznenin üzerinde, soğutucu sıvının ikinci hazneye geçmesini sağlayacak olan delikler (40) bulunmaktadır. (Bu deliklerin, buzların kap bölmesine girmesini engellemek için, buz kalıplarından küçük yapılacağı belirtilmiştir.) Soğutucu sıvı olarak buzlu su belirtilmiştir. Ayrıca sistem de ister dışarıdan elle ister tepeye yerleştirilen bir elektrik motoru ile kabın döndürüleceği de belirtilmiştir. Bu sayede soğuma hızının arttırılacağı anlatılmıştır. Ayrıca kabın zeminine yerleştirilen bir aparat ile dönme sırasında kaba yalpalama hareketi yaptırılarak soğuma hızının daha da arttırılacağı belirtilmiştir.



Şekil 2.12 US6314751 numaralı patent

Hong Hiki ve Yoon In Soop tarafından yayınlanan WO03070027 numaralı çalışmada, sıvı kaplarının hızlı soğutulması için tasarlanan soğutma sistemi belirtilmiştir (Şekil 2.13).

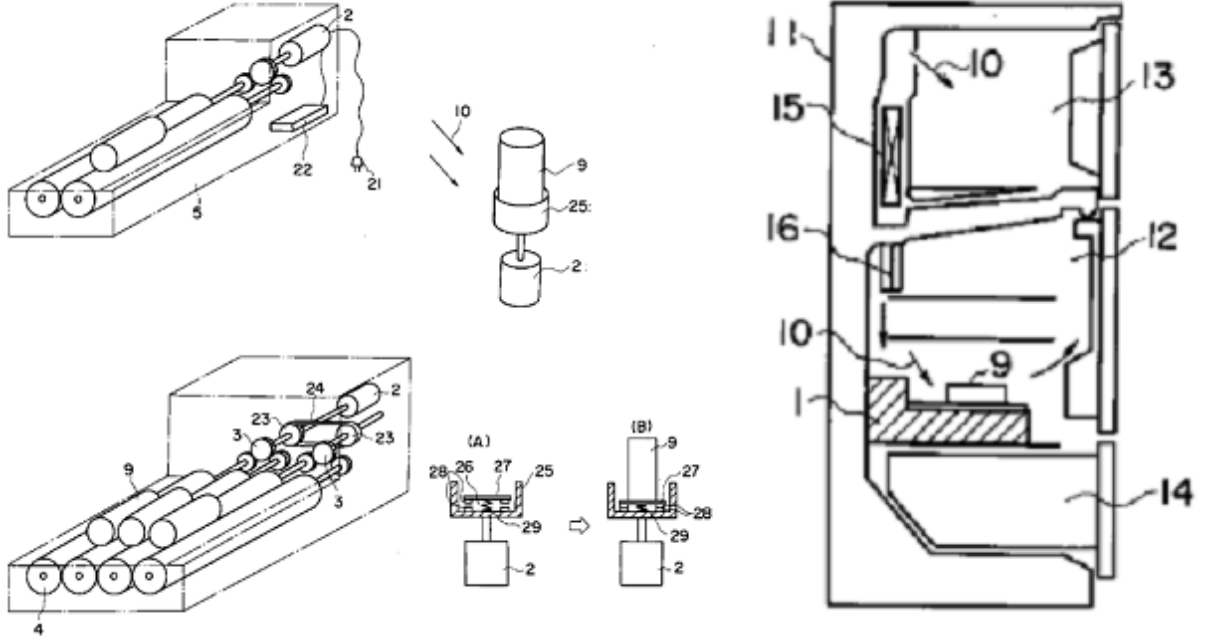
Belirtilen sistemde gıda kutusu veya sıvı kaplarının döndürülmesi için iki milli ve dönmeyi sağlayacak kasnak yapısı olan bir sistem tasarlanmıştır. Millerden bir tanesi motora bağlı olup ötekisi destek sağlamaktadır. Soğutma işleminin buz ile yapılabileceği gibi çevresine yerleştirilecek olan PCM ile de yapılabileceği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen sistemle yaptıkları denemelerde elde ettikleri deney sonuçlarına patentte yer vermişlerdir.(1-evdeki derin dondurucu bölmesi; 2-kutunun etrafında buz olduğu zaman; 3-kutunun etrafında buz-su karışımı olduğu zaman; 4-buz-su karışımında kutu döndürüldüğü zaman)



Şekil 2.13 WO03070027 numaralı patent

Japon menşeli bir soğutucu firması tarafından yayınlanan JP4283379 numaralı çalışmada, sıvıların hızlı soğutulması için tasarlanan ve soğutucu içerisinde yer alacak olan ikincil bir soğutma ünitesi belirtilmiştir (Şekil 2.14).

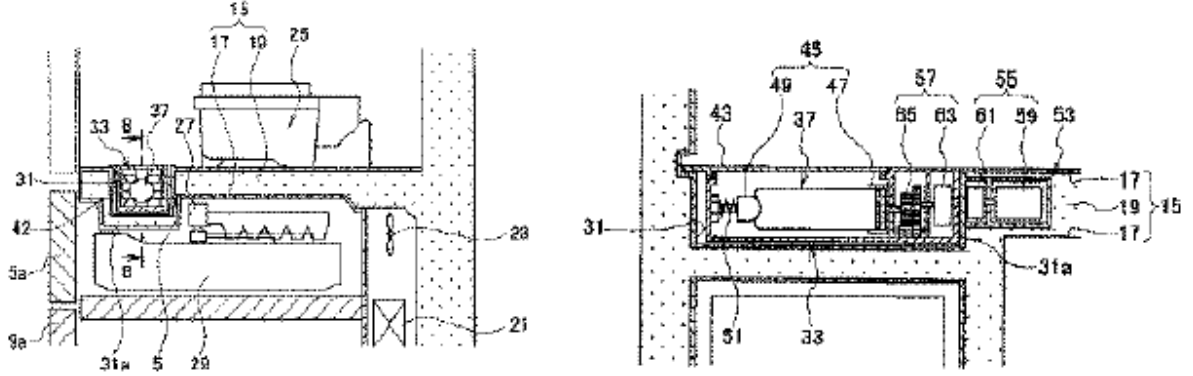
Soğutucu olarak mevcut dolap içerisindeki hava kullanılmış olup, sistem dolabın içerisinde ayrı bir bölme olarak tasarlanmıştır. Sistem sıvı kaplarını döndürerek soğutma üzerine tasarlanmıştır. Dönme mekanizması en az iki olmak üzere belirli sayıda millerden oluşmaktadır. Miller birbirine paralel olup kap bu millerin ortasına oturtulmaktadır. Millere hareket sistemdeki bir elektrik motoru ile sağlanmıştır.



Şekil 2.14 JP4283379 numaralı patent

Toshiba Corp. tarafından yayınlanan JP2009024979A numaralı çalışmada, kapların hızlı soğutulması için tasarlanan, soğutucu bir ünite içerisinde yer alacak olan ikincil bir soğutma ünitesi belirtilmiştir (Şekil 2.15).

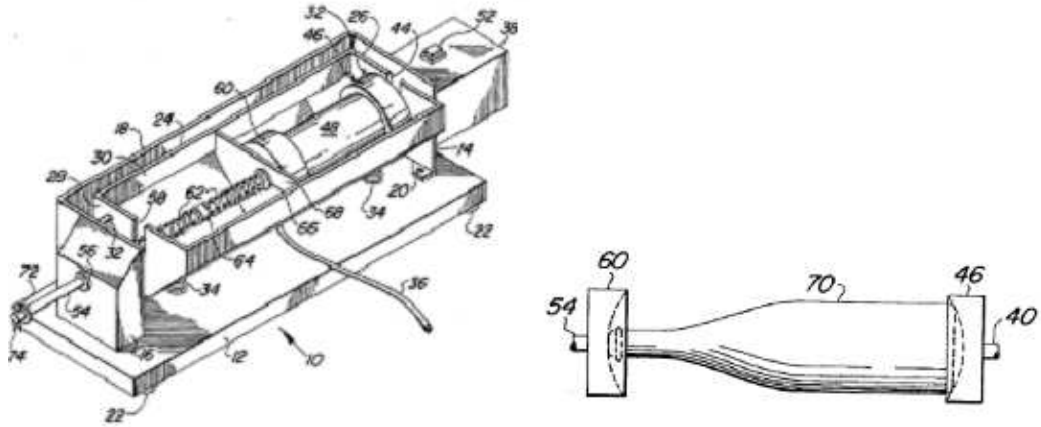
Belirtilen tasarımda kapların yatay eksenli etrafında döndürülmesine olanak sağlayacak motor yay mekanizması (51) geliştirilmiştir. Sistemde sıvı kabı (37) yatay olarak havada asılı kalmaktadır. Bunu sağlamak için kap iki tarafından desteklenmektedir. Desteklerden bir tanesi bir mil yardımıyla, dönme işlemini gerçekleştirecek olan elektrik motoruna (59) bağlıdır. İkinci desteği sağlamak için ilk desteğin tam karşısında ikinci bir destek bulunmaktadır. Bu destek bir yayla sistem iskeletine bağlantı olup, değişik ebatlardaki kapları tutmaya olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.15 JP2009024979 numaralı patent

Jeffrey I. Smith tarafından yayınlanan US4549409 numaralı çalışmada, sıvıların hızlı soğutulması için gerçekleştirilen tasarım belirtilmiştir (Şekil 2.16).

Belirtilen tasarım bir önceki patentte anlatılan sistem ile aynı mekanizmaya sahiptir. Sistemde kabın yatay eksenini etrafında döndürülmesine olanak sağlayacak motor yay mekanizması geliştirilmiş olup, kap yatay olarak havada asılı kalmaktadır. Bunu sağlamak için kap iki tarafından desteklenmektedir. Desteklerden bir tanesi bir mil yardımıyla, dönme işlemini gerçekleştirecek olan elektrik motoruna bağlıdır. İkinci desteği sağlamak için ilk desteğin tam karşısında ikinci bir destek bulunmaktadır. Bu destek bir yayla sistem iskeletine bağlanış olup, değişik ebatlardaki sıvı kaplarının girmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 2.16 US4549409 numaralı patent

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Deney Düzenegi

Gerçekleştirilen literatür ve patent araştırmaları sonucunda içerisinde sıvı bulunan kapların soğumasına etki eden parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler;

- Sıcaklık
- Soğutucu Akışkan Hızı, (hava, su...)
- Döndürme
- Soğutulan sıvının fiziksel özellikleri, olarak belirlenmiştir.

Günümüzde hava sıcaklığının ve taşınım hızının sıvıların soğuması üzerindeki etkileri bilinmektedir. Ancak silindirik kabın yatay eksen boyunca belli bir hızda dönmesinin sıvı soğutması üzerine etkisi bilinmemektedir. Bu nedenden ötürü, tez kapsamında gerçekleştirilecek deneylerde kabın dönme hızının kap yüzeyindeki ve kap içerisindeki ısı taşınım katsayısına etkisi incelenecektir.

Tez konusu kapsamında planlanmış olan deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için ortam sıcaklığının, hava ve kap dönme hızının, kontrol edilebildiği bir deney düzenegi oluşturulmuştur.

Oluşturulan deney düzenegi aşağıda verilen ünitelerden oluşmaktadır:

- Dış ortam havası şartlandırma ünitesi(hava sıcaklığı)
- Hava tüneli ve fan (hava hızı)
- Döndürme aparatı (dönme hızı)
- Isıtma aparatı (başlangıç silindir sıcaklığı)
- Veri toplama ünitesi
- Kontrol ünitesi

3.1.1 Dış Ortam Şartlandırma Ünitesi

Tez kapsamında yapılması planlanan deneyler 25°C sıcaklıktaki ortamda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kabul edilecek başlangıç şartlarının her deneyde aynı olması için, deneylerin yapıldığı ortam sıcaklığının değişmemesi gerekmektedir. Bu nedenden ötürü, oda havasının sıcaklığı, içeride bulunan hava şartlandırma ünitesi tarafından ayarlanmıştır.

3.1.2 Hava Tüneli ve Fan

Gerçekleştirilecek deneylerde dış akışın olmadığı durumun yanı sıra dış akışın mevcut olduğu(zorlanmış taşınım) durum için de deneyler gerçekleştirilmiştir. Zorlanmış taşınım deneyleri için sistemde hava tüneli kullanılmıştır. Hava tünelinin ebatları 115x140x425 mm ebatlarında olup 3 mm'lik plastikten yapılmıştır.

Deneylerde önemli olan bir kriterde hava kanalı içerisinde istenen hızların, homojen bir şekilde silindir yüzeyinden geçmesidir. Kanalda istenen hava hızlarının sağlanabilmesi için hava tünelinin girişinde 12 VDC gücünde fan kullanılmıştır (Şekil 3.1).

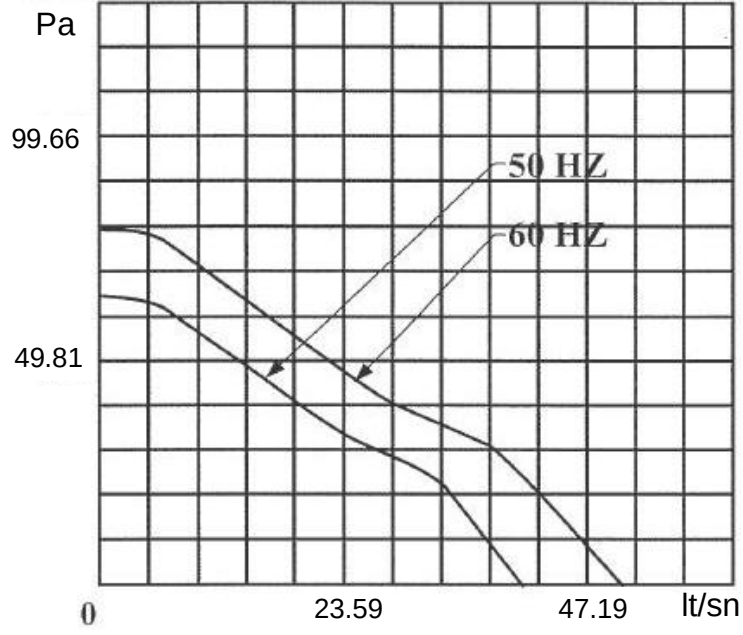


Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan fan

Kullanılan fanın özellikleri ile karakteristik eğrisi Çizelge 3.1 ve Şekil 3.2’de belirtilmiştir.

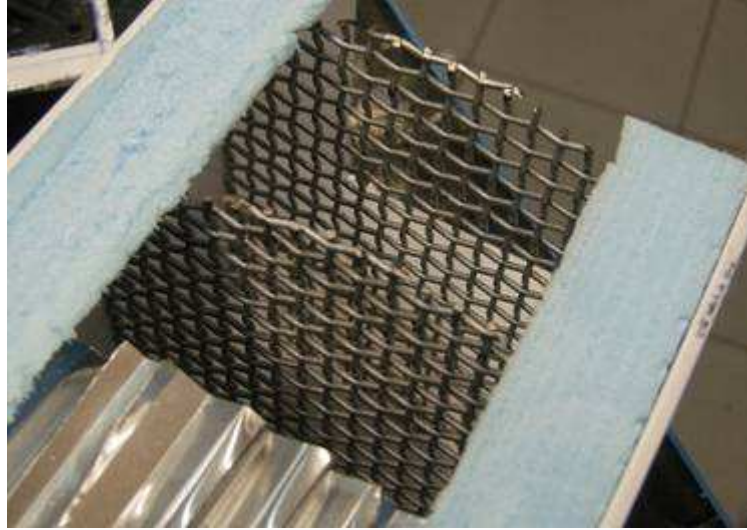
Çizelge 3.1 Kullanılan fanın belirli özellikleri

Özellikler	KULLANILAN FAN
Çalışma Voltaj Aralığı	185-245 VAC
Dönme Hızı	2750-3050 D/DK
Güç	20 Watt
Kanat Sayısı	5
Kanat Dönme Yönü	Saat Yönünün Tersi



Şekil 3.2 Kullanılan fanın karakteristik eğrisi

Kanal içerisinde homojen akışın sağlanabilmesi için fan çıkışından itibaren belirli mesafe aralıklarla vektör düzelticiler yerleştirilmiştir. Kullanılan bu metal yapı sayesinde, fan tarafından üflenen hava akımının kanal içerisine dağıtılması sağlanmaktadır (Şekil 3.3).



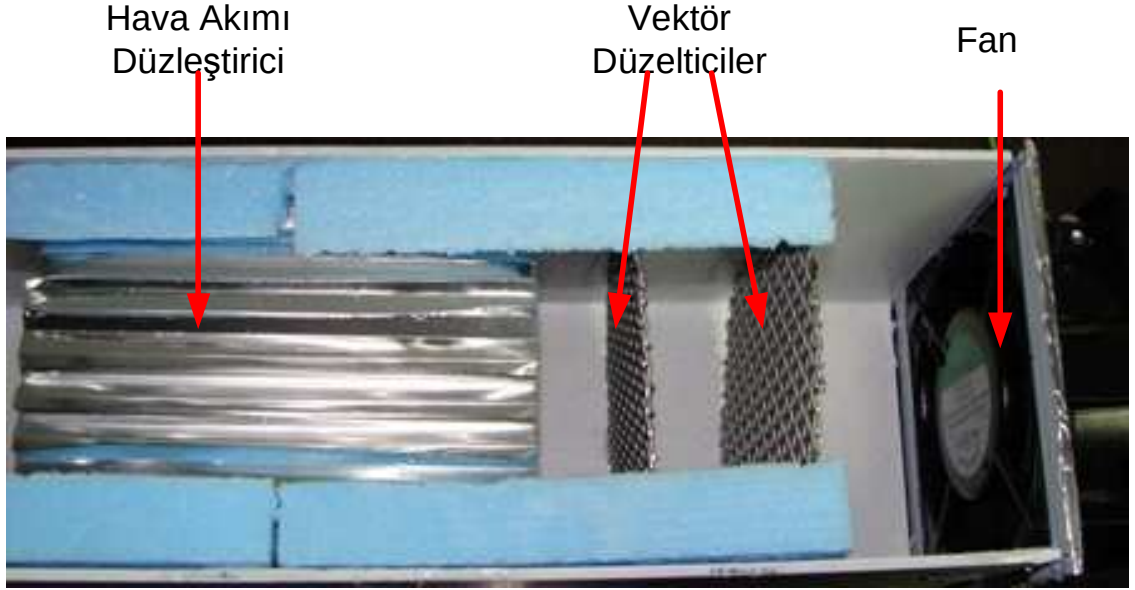
Şekil 3.3 Kanal içerisine yerleştirilen vektör düzelticiler

Ayrıca hava akımının düzleştirilmesi amacı ile vektör dağıtıcılarının önüne petek yapıda bir hava kanalı yerleştirilmiştir. Böylece vektör dağıtıcılar tarafından kanala yayılan hava akımı düzleştirilerek silindire gönderilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kanal içerisine yerleştirilen petek yapıdaki akım düzleştirici

Belirtilen elemanlar ile oluşturulan hava tünelinin yapısı Şekil 3.5’de belirtilmiştir.

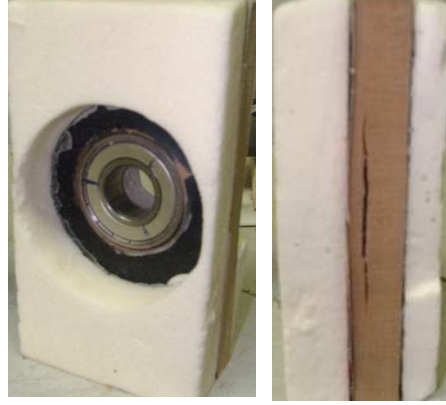


Şekil 3.5 Hava tünelinin iç yapısı

3.1.3 Döndürme Aparatı

Tezde etkisinin incelenmesi için, sistemde silindirik şekilli kabın dönmesini sağlayacak bir aparat tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tasarım, 2 adet destek elemanı, dönme hareketini verecek bir adet DC motordan ile dönme aparatlarından oluşmaktadır. Oluşturulan destek elemanları Şekil 3.6’da belirtilmiş olup, göbeklerine rulmanlar yerleştirilmiştir.

Yerleştirilen rulmanlar ile hem çubuk ve kutu ağırlıklarını taşıırken hem de dönme hareketi için yatak görevi görmüşlerdir.



Şekil 3.6 Destek elemanları

Sisteme dönme hareketini vermesini için 12 VDC gücünde 0-145 d/dk aralığında çalışan ufak bir motor monte edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 DC motor

Sistemde motorun uyguladığı dönme hareketini, çubuk veya sıvı kabına iletmesi için dönme aparatları tasarlanmıştır. Bu aparatlar direk çubuk veya kola kutusu ile temas ettirilmemiş; iletimle meydana gelecek ısı transferini engelleyebilmek için aralarına 15 mm'lik XPS yerleştirilmiştir. Ayrıca motordan gelen dönme hareketini, dönme aparatları üzerinden çubuğa aktarabilmek için plastik vidalar kullanılmıştır. Kullanılan plastik vida ile hem dönme hareketi çubuğa aktarılmış hem de vida üzerinden gerçekleşecek iletimle ısı transferi minimuma indirgenmiştir. Plastik vidalar alüminyum çubuk ile dış ısı transfer katsayısının değişimi deneylerinde kullanılmıştır. Sıvı kabı ile yapılan iç ısı transfer katsayısının belirlenmesi deneylerinde, kap yalıtımlar üzerine terostat adı verilen yalıtım özelliği olan yapıştırıcılar ile yapıştırılmıştır. Şekil 3.8'de dönme aparatlarının çubuk ve sıvı kabına bağlanış şekilleri belirtilmiştir.



Şekil 3.8 Alüminyum çubuk ve sıvı kabının sisteme bağlanma şekilleri

3.1.4 Veri Toplama Ünitesi

Deney düzeneği üzerinden ölçülen sıcaklık değerlerinin deney boyunca takip edilebilmesi ve ölçülen bu değerlerin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için veri toplama ünitesi kurulmuştur. Şekil 3.9’da Agilent marka veri toplama ünitesi sunulmuştur.



Şekil 3.9 Veri toplama ünitesi

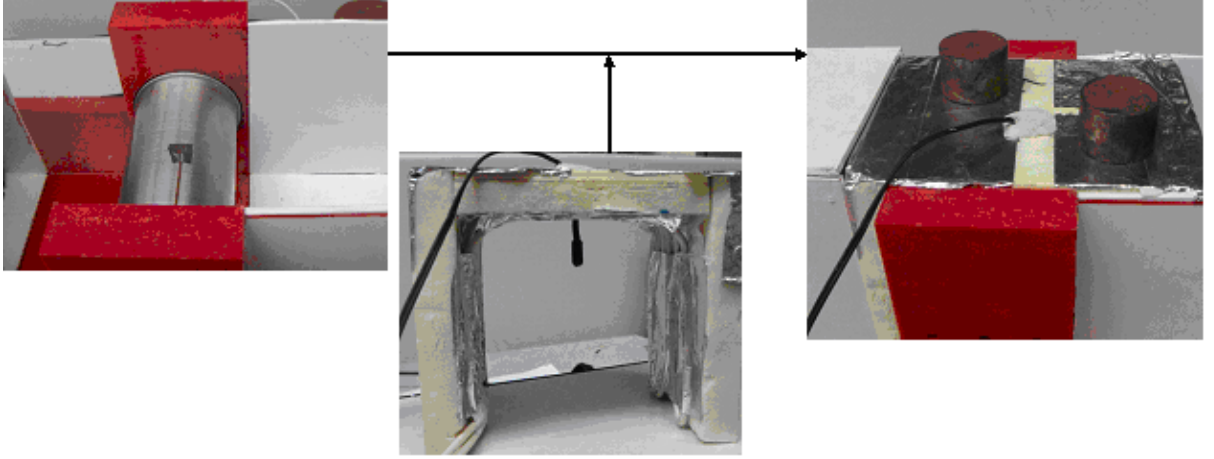
Isıl çiftler, Agilent marka 34970A model veri toplama ünitesi aracılığıyla bilgisayara bağlanmıştır. Isıl çiftlerden gelen veriler, Agilent BenchLink Veri Toplama Ünitesi programı ile bilgisayara kaydedilmiştir.

3.1.5 Isıtıcı Aparat

Deneylerde silindir yapının 45°C’den 30°’ye gelme süresi incelenmiştir. Başlangıç anında silindirin yüzey sıcaklığı ile merkez sıcaklığının aynı olması gerekmektedir. Bu nedenden

ötürü silindirin sisteme bağlı iken ısıtılması gerekmektedir. Aksi taktirde, sistem dışarısında ısıtılan silindirin sisteme konumlandırılması sırasında yüzey sıcaklığında değişimler meydana gelecektir. Bu sebepten ötürü silindirlerin ısıtılması sağlayacak ısıtıcı bir aparat oluşturulmuştur (Şekil 3.10).

Oluşturulan bu aparatın etrafı 3 cm'lik XPS yalıtım malzemesi ile kaplanmıştır. Yalıtımın iç yüzeylerine de 25W gücünde kablo ısıtıcı döşenmiştir. Deney öncesinde, aparat silindir etrafına yerleştirilerek ısıtma işlemi gerçekleştirilmiş; ardından sistemden çıkartılarak deneylere başlanmıştır.



Şekil 3.10 Isıtıcı aparat ve aparatın silindir üzerine yerleştirilme biçimi

3.1.6 Kontrol Ünitesi

Isıtılan silindirin son sıcaklığın 45°C'de stabil durması için ısıtıcının çalışma aralıkları kontrol elemanları tarafından ayarlanmıştır. Dijital termostat olarak da bilinen kontrol elemanları Şekil 3.11'de sunulmuştur. Silindiri ısıtma prosesinde ısıtıcının çalıştırılıp durdurulması, ısıtıcı aparatın içerisinde alınan sıcaklık değerlerine bağlı olarak kontrol edilmiştir.



Şekil 3.11 Kontrol elemanları

3.2 Deneylerin Yapılması ve Bulguların Değerlendirilmesi

Kurulan deney düzeneğinde, dönme hızının silindirik kaplarda bulunan sıvıların soğumasına etkisini incelemek amacıyla deneyler yapılmıştır.

Oluşturulan deney düzeneğinde gerçekleştirilen deney aşamaları;

- Öncül deneyler
- Dönme hızının silindir dışındaki ısı transfer katsayısına etkisinin incelenmesi
- Dönme hızının silindir içerisindeki ısı transfer katsayısına etkisinin incelenmesi

şeklinde özetlenmiştir.

3.2.1 Öncül Deneyler

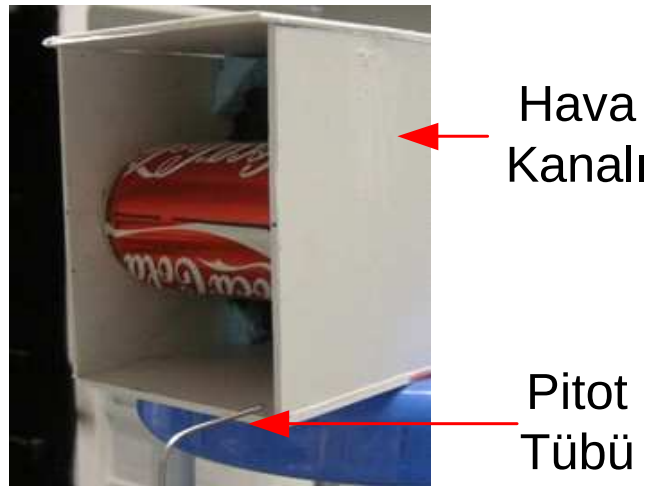
Gerçekleştirilen öncül deneylerde, hazırlanan tez düzeneğinin istenilen deney şartlarını sağlayıp sağlayamadığı belirlenmiştir. Bu kapsamda;

- o Hava tüneli içerisindeki hızların ölçülmesi,
- o Döndürme aparatının voltaj-devir ilişkisinin belirlenmesi,
- o Kullanılacak ısı çiftlerinin kalibrasyonunun gerçekleştirilmesi

işlemleri gerçekleştirilmiştir.

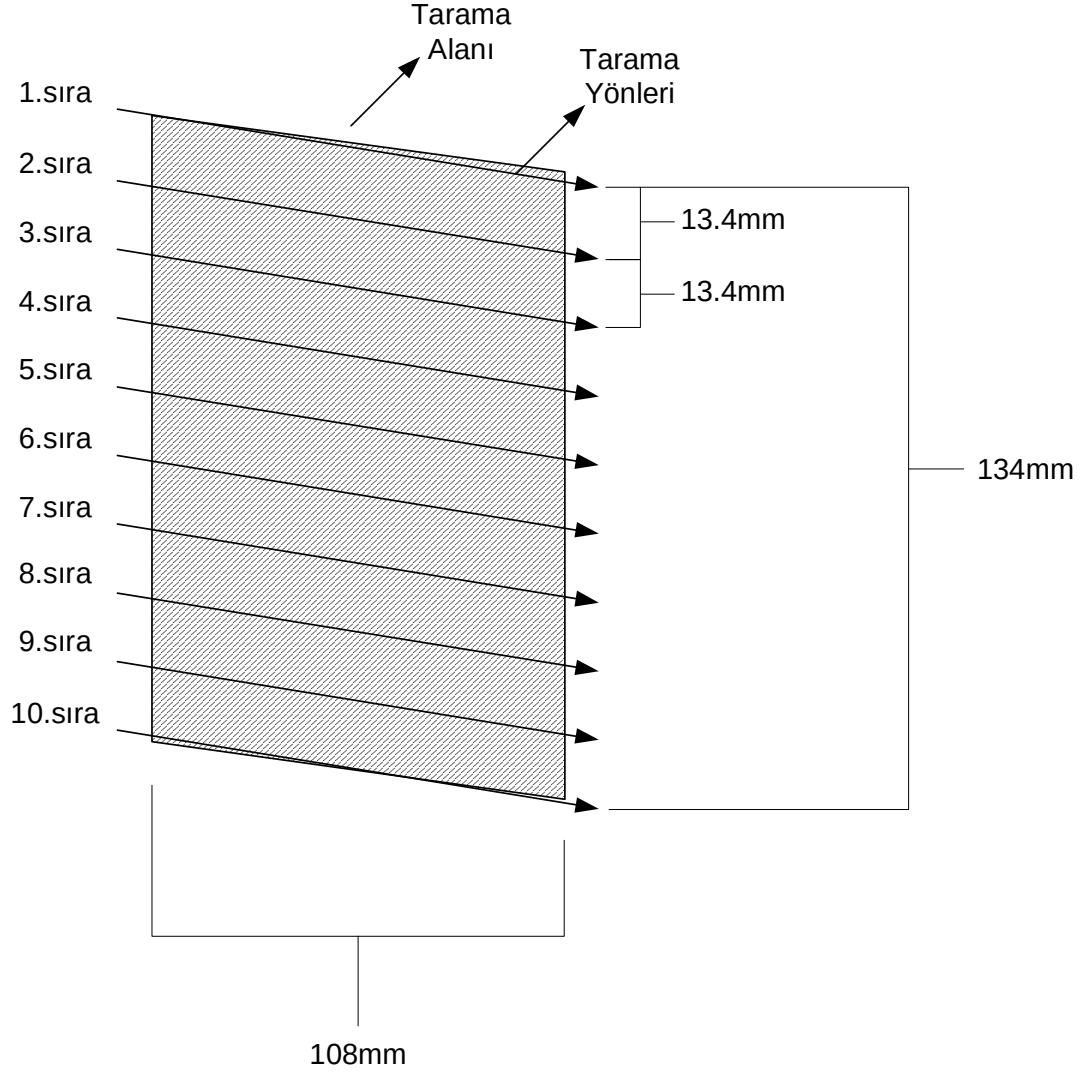
3.2.2 Hava Tüneli İçerisindeki Hızların Ölçülmesi

Deneylere başlamadan önce, tasarlanan hava tünelinde, silindir kabın üzerinde istenilen homojen dağılımı sağlayıp sağlamadığını görmek için sistemin hız eğrileri çıkartılmıştır. Bunun için mevcut hava kanalının sonuna 330 ml'lik bir kap bağlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Hız eğrilerinin çıkartılması için hazırlanan düzenek

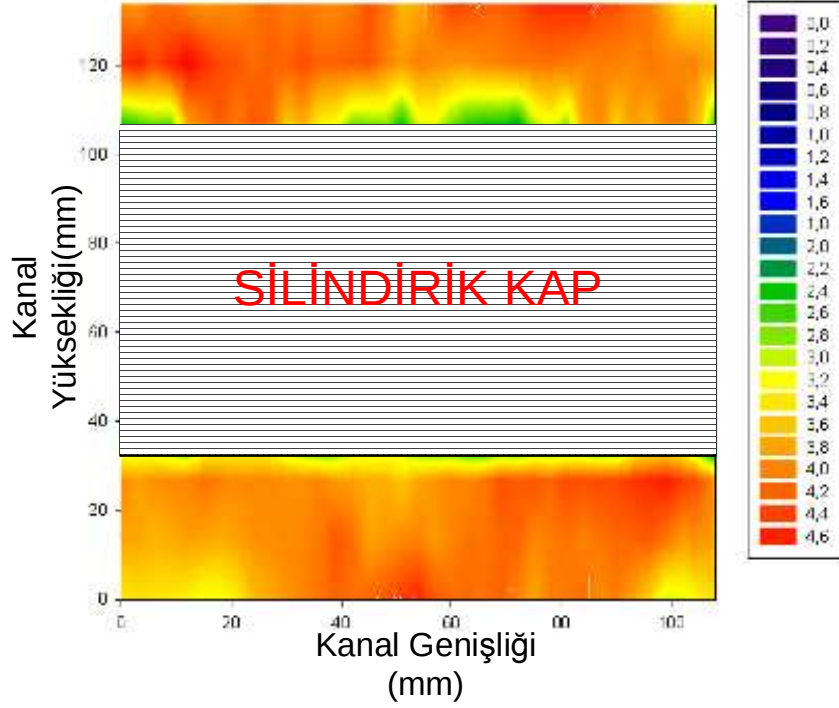
Mevcut kanal kesiti 140x115 mm ebatlarında olup, tarama kesiti 134x108 mm'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir.. Bunun için dikey uzunluk, birbirleri arasındaki uzaklık 13,4 mm olacak şekilde 10 eşit sıraya bölünmüş ve her sıra 108 mm'lik uzunluk boyunca taranmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Tarama alanı ve tarama yapılan doğrultular

Elde edilen data lar SIGMA PLOT programı yardımıyla birleştirilerek silindir etrafındaki hız eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 3.14). Eğriler incelendiğinde silindir etrafında homojene yakın bir akış profilinin oluşturulduğu belirlenmiştir.

Silindir üzerinden geçen hızlar ortalama 3,92 m/sn olarak tespit edilmiştir. Bu hız değeri daha sonra kanal içerisindeki Nusselt değerini bulmak için kullanılacak olan Re değerinin teorik olarak hesaplanmasında kullanılacaktır.



Şekil 3.14 Silindir etrafındaki hız bölgeleri

3.2.3 Voltaj-Devir İlişkisinin İncelenmesi

Gerçekleştirilecek olan deney değişik dönme devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Dönmeyi sağlayacak olan motor DC voltajla çalıştığından ötürü, deneylere başlamadan önce voltaj-devir ilişkisi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuç Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

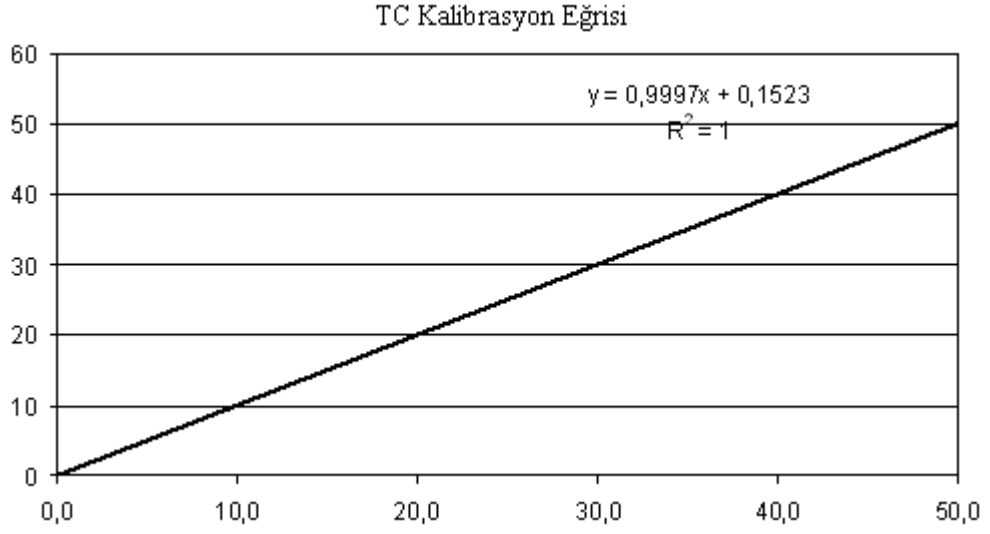
Çizelge 3.2 Voltaja bağlı olarak sistemden elde edilen devir değerleri

VOLTAJ (DC)	RPM
3	25
4	37
5	50
6	62
7	74
8	88
9	100

VOLTAJ	RPM
10	112
11	123
12	133

3.2.4 Isılçiftlerin Kalibrasyonu

Sıcaklık ölçümlerini gerçekleştirmek amacıyla ısıl-çiftler kullanılmıştır. Isıl-çiftlerin kalibrasyonu FLUKE 5500 kalibratör yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, ısıl-çift kanallarına istenen sıcaklığa karşılık gelen gerilim değerini yollayarak ısıl-çift kalibrasyonu yapabilmektedir. Isıl-çiftler 0°C, 10°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıkları için kalibre edilmiştir. Gerçekleştirilen kalibrasyon sonucunda, tüm ısıl-çiftler için gerekli düzeltme katsayıları elde edilmiştir. Örnek bir ısıl-çift kanalının kalibrasyon sonucu Şekil 3.15’de verilmektedir.



Şekil 3.15 Kullanılan bir ısılçiftin kalibrasyon eğrisi

3.3 Dönme Hızının Silindir Yüzeyindeki Ortalama Nu Değerine Etkisinin İncelenmesi

Yapılacak olan deneylerde, ilk olarak silindir dönüş hızının, silindir yüzeyindeki ortalama Nu değerine etkisi incelenecektir. Ortalama Nu değerini hesaplanırken, deneyler sonucunda elde edilen veriler kullanılacaktır. Elde edilen bu veriler, alüminyum çubuk için yazılmış olan enerji dengesi sonucunda elde edilen formülasyonlar yardımıyla kullanılacaktır.

Ortalama Nu değerini belirlemek amacıyla alüminyum çubuk için enerji dengesi;

$$\dot{Q}_{\text{çubuk}} = \dot{Q}_{\text{taş.}} + \dot{Q}_{\text{radyasyon}} + \dot{Q}_{\text{iletim}} \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Alüminyum çubuğun her iki tarafına 20mm’lik yalıtım yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu yalıtımların her iki tarafına ısılçiftler yerleştirilerek ısıtma ve soğutma zamanlarındaki sıcaklık dağılımları incelenmiş ve yapılan hesaplamalar sonucunda iletimle ısı transferinin ihmal

edilecek mertebede olduğu görülmüştür. Bu sebepten ötürü Q_{iletim} değeri Denklem 3.1'den çıkarılmıştır. Bu durumda denklem;

$$\dot{Q}_{\text{çubuk}} = \dot{Q}_{\text{taş.}} + \dot{Q}_{\text{radyasyon}} \quad (3.2)$$

şeklini almıştır. Denklem 4.2 açıldığı zaman;

$$m \times c_p \times \Delta T = h \times A_{du} \times (T_{yüz.} - T_{\infty}) + \varepsilon \times \sigma \times A_{du} \times (T_{yüz.}^4 - T_{\infty}^4) \quad (3.3)$$

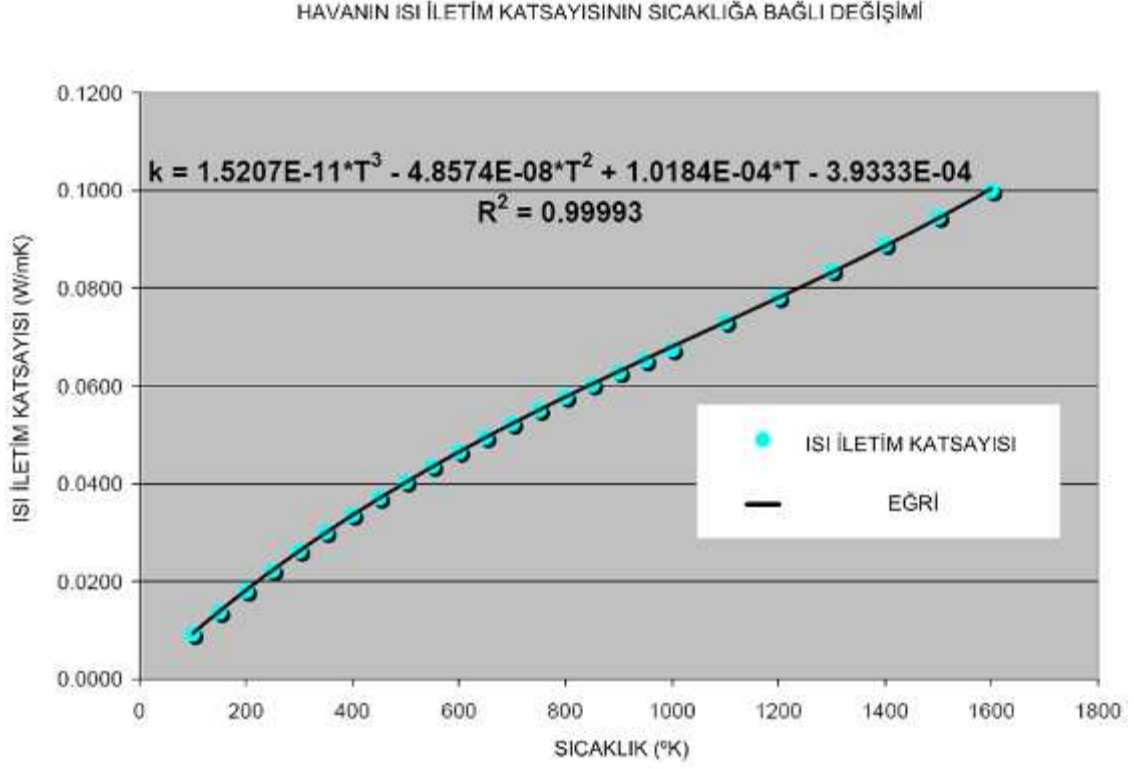
şekline gelmektedir. Denklem 3.3'deki yüzey sıcaklık değerleri ve çubuğun merkez sıcaklık değeri zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenden ötürü bu değerler, zamanın birer fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Bu fonksiyon eğrisini elde edebilmek için deney sırasında belirlenen dakika aralıklarında sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler ile çubuğun yüzey ve merkezi için soğuma eğrilerine ulaşılmıştır.

Fonksiyonda bulunan “m” kütle değeri çubuğun ağırlığını göstermekte olup, hassas terazi ile ölçümü gerçekleştirilmiştir. Alüminyum çubuğun “ c_p ” değeri çubukların alındığı firma tarafından deklare edilmiştir. Denklemde bulunan “ ε ”, çubuğun yayıcılığı farklı sıcaklık değerleri için yapılan termal kamera optimizasyonu ile belirlenmiştir.

Elde edilen veriler Denklem 3.3'de kullanılarak yapılan deneyler sonrasında her deney için ortalama “h” ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer birlikte Denklem 3.4'te kullanılarak ortalama Nu değeri hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{h_{du} \times D}{k} \quad (3.4)$$

Fonksiyonda bulunan “D” değeri çubuğun çapını, “k” değeri de yüzeyde oluşan film sıcaklığındaki hava tabakasının ısı iletim katsayısını belirtmektedir. “k” değeri belirlenirken Şekil 3.16'da belirtilen denklemden yararlanılmıştır. Bu denklem ile değişken film sıcaklığı da hesaba katılmıştır.



Şekil 3.16 Nu değeri hesaplarında kullanılan "k" değerinin çıkartılması [İERADİ, James çalışması]

Gerçekleştirilen döndürme deneyleri düşünüldüğünde, dönüş hızına bağlı olarak çubuğun çevresinde artan hız tabakaları oluşmaktadır. Oluşturulan bu hız tabakaları nedeniyle döndürme işlemlerini doğal taşınım içerisinde tanımlamak yanlış olmaktadır. En genel halde dönme işlevinin de içerisinde bulunduğu ortalama Nu değeri;

$$Nu = f(Re_u, Re_d, Pr) \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem 3.5'te bulunan "Pr" değeri hava için sabit bir değer olup 0.72 alınırken; "Re_d" değeri dönüş hızına, "Re_u" ise silindir etrafındaki zorlanmış akış hızına bağlı olarak oluşturulan boyutsuz bir terim olup,

$$Re_d = \frac{\Omega \times D}{\nu} \quad (3.6)$$

$$Re_u = \frac{V \times D}{\nu} \quad (3.7)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Denklem 3.6'da belirtilen "Ω" değeri çubuğun yüzeyinde dönüş hızına bağlı oluşan çevresel hızı, Denklem 3.7'deki "V" değeri ise zorlanmış taşınımdaki hava hızını göstermektedir. "D" çubuk çapını, "ν" ise kinematik viskoziteyi belirtmektedir.

Denemelerde dış akışın olduğu ve olmadığı durumlar için ayrı ayrı deneyler gerçekleştirilmiştir. Dış akışın olmadığı denemelerde Denklem 3.5;

$$Nu = f(Re_d, Pr) \quad (3.8)$$

şeklini almaktadır. Buradan ortalama Nu değeri ile dönme Re değeri, arasında bağlantı kurulmuştur.

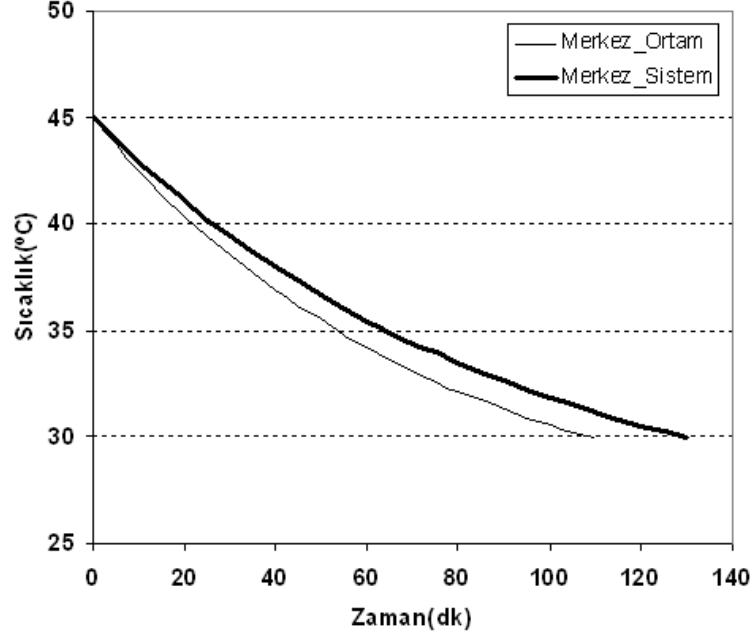
Dış Akışın Olmadığı Deneyler:

Gerçekleştirilen deneylerde ilk olarak dönme hızının, dış akışın olmadığı ortam üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan doğal taşınım deneylerinde ilk olarak tasarımı yapılan sistemin doğruluğu test edilmiştir. Bu nedenden ötürü karşılaştırma amaçlı iki deney yapılmıştır. Bunlardan ilki alüminyum çubuğun oluşturulan deney düzeneğinde (sistemde) bulunma hali iken; ikincisi çubuğun şartlandırılmış ortamda sistemden bağımsız halde bulunma durumudur. Çubuğun iki durumda da ortamda konumlandırılma biçimi Şekil 3.17’de belirtilmiştir.



Şekil 3.17 Doğal taşınım deneylerinde alüminyum çubuğun sistemde ve ortamda konumlandırılma şekilleri

Gerçekleştirilen deneyler sonrasında, çubuğun sistemde bulunma durumunda, 45°C’ den 30°C’ ye gelme süresi 125 dk iken; sistemden bağımsız durumda bu süre 110 dk olarak belirlenmiştir. Bu karşılaştırma Şekil 3.18’de belirtilen grafikte sunulmuştur.



Şekil 3.18 Çubuğun ortamda ve sistemde bulunma durumundaki soğuma süreleri

Gerçekleştirilen bu deneyin sonucunda, şartlandırılmış ortamda bulunan çubuğun bütün yüzeylerinden (yanal ve çevresel yüzeyler) taşınım ile ısı transferi meydana geldiği için soğuma süresi daha kısa çıkmaktadır. Çubuğun sistemde bulunma durumunda ise yan yüzeylerin yalıtımla kapatılması nedeniyle, bu bölgelerden taşınım ile ısı transferi meydana gelmemektedir. Ayrıca yan yüzeylerin yalıtımlı olmasından ötürü bu bölgelerden iletimle meydana gelecek ısı transferi de çok büyük ölçüde azaltılmıştır. Bu sebepten yan yüzeylerden taşınım ile ısı transferinin yanı sıra, aralara koyulan yalıtım malzemesi sayesinde iletimle ısı transferinin de engellendiği görülmüştür.

Bu iki durum sonucunda, çubuğun sistemde bulunma durumunda yalnızca çevresel yüzeylerinden ısı transferi meydana geleceği kesinleştirilmiş ve sistemin güvenilirliği kanıtlanmıştır. Bu nedenden ötürü, bundan sonra gerçekleştirilecek olan deneylere referans olarak, çubuğun sistemde bulunduğu durum alınacaktır.

Sistemde gerçekleştirilen referans deneylerin ardından dönüş hızının etkisinin incelenmesi için döndürme deneylerine başlanmıştır. Döndürme işleminin taşınım ile ısı transferini iyileştireceğini sağlayacağını düşündüren olgu, yüzeylerde meydana getirdiği hız sınır tabakasıdır. Oluşan bu hız sınır tabakası ile sistem doğal taşınımdan zorlanmış taşınıma geçmekte ve taşınım ile meydana gelen ısı transferi artmaktadır.

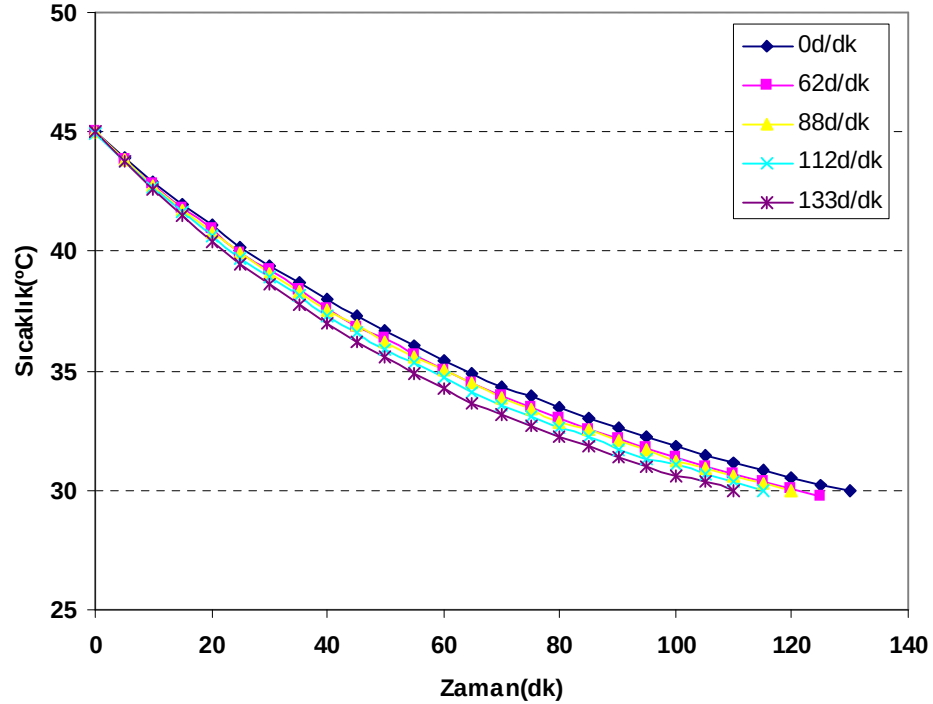
Gerçekleştirilen döndürme deneyleri 25 C' ye şartlandırılmış bir oda da gerçekleştirilmiştir. Deneylere başlamadan önce alüminyum çubuk 45 C' ye kadar ısıtılmaktadır. Isıtma işleminde

kullanılan ısıtma aparatı ve ısıtmanın nasıl yapıldığı Bölüm 3.1.5’de anlatılmıştır. Isıtma işleminin tamamlanmasından sonra ısıtıcı aparat, çubuk üzerinden çıkarılmakta ve çubuk döndürülmeye başlanmakta, çubuğun merkez sıcaklığının 30 C’ ye gelmesi ile deney son bulmaktadır. Deney süresince çubuğun yüzeyinden ve merkezinden 5 dk’da bir 15 sn aralıkla sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler, soğuma boyunca çubuk üzerindeki ortalama Nu değerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Deneylerde 4 farklı dönüş hızı denenmiştir. Denenen dönüş hızları ve bu hızların çubuk etrafında meydana getirdiği çevresel hızlar Çizelge 3.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 Döndürme deneylerinde karşılaştırılan RPM değerleri ve bunlara karşılık gelen çevresel hızlar

RPM (1/dk)	V (m/sn)
62	0,034
88	0,048
112	0,061
133	0,073

Gerçekleştirilen deneylerin sonucunda elde edilen soğuma eğrileri Şekil 3.19’da belirtilmiştir.



Şekil 3.19 Döndürme deneyleri sonucunda elde edilen soğuma eğrileri

Yapılan referans deney sonucunda, dönmenin etkisinin bulunmadığı zaman soğuma süresi 130 dk olarak bulunmuştur. Döndürme deneyleri sonrasında dönüş hızının artmasına bağlı olarak çubuğun soğuma hızının da arttığı görülmüştür. Grafik incelendiğinde dönüş hızının 62 d/dk olduğu zaman soğuma süresinin 122 dk; 88 d/dk olduğu zaman 120dk; 112 d/dk olduğu zaman 115 dk; 133 d/dk olduğu zaman ise 110 dk olarak belirlenmiştir. Ancak seçilen dönüş hızlarının düşük mertebelerde olmasından ötürü her ne kadar soğuma etkinliğinde iyileştirme sağlanmış olsa da, bu iyileştirmeler büyük artışlar göstermemiştir.

Gerçekleştirilen hesaplamalarda da ilk olarak toplam soğutma yükü ($Q_{\text{çubuk}}$) hesaplanmıştır. Hesaplanan toplam soğutma yükü 14500 J olarak belirlenmiştir. Dış akışın olmadığı ve döndürmenin gerçekleştirilmediği referans deneyde toplam soğutma süresi 7800 sn sürmüştür. Buradan doğal taşınım da toplam soğutma kapasitesi 1,86 W olarak bulunmuştur. Gerçekleştirilen döndürme deneyleri incelendiğinde arttırılan dönüş hızı ile orantılı olarak soğuma sürelerinin azaldığı; buna bağlı olarak gerçekleştirilen soğutma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Dönüş hızı 62 d/dk olduğunda soğutma kapasitesi 1,97 W; 88 d/dk' de 2,01 W; 112 d/dk' de 2,09 W; 133 d/dk'de de 2,20 W olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4 Dönüş hızlarına bağlı olarak elde edilen soğutma kapasitesi miktarı(W)

Dönüş Hızı (d/dk)	S. Kapa (W)
0	1,86
62	1,97
88	2,02
112	2,09
133	2,20

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda belirlenen dönüş hızları için ortalama Nu değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda Nu değerlerindeki artış belirlenmiş ancak artışın çok fazla olmadığı görülmüştür. Özellikle 62 d/dk ile 88 d/dk dönüş hızlarında Nu değerleri birbirine çok yakın çıkmış, ancak 88 d/dk'den sonra artarak yükselmeye başlamıştır. Buradan daha yüksek dönüş hızlarında sistemin soğutma kapasitesinin daha da arttırılabileceği belirlenmiştir. Dönme deneylerinde Nu değeri etkileyen en büyük etkinin dönme Reynolds

değeri olduğu için ortalama Nu değerlerinin dönme Reynolds' una bağlı değişimi Çizelge 3.5'de belirtilmiştir.

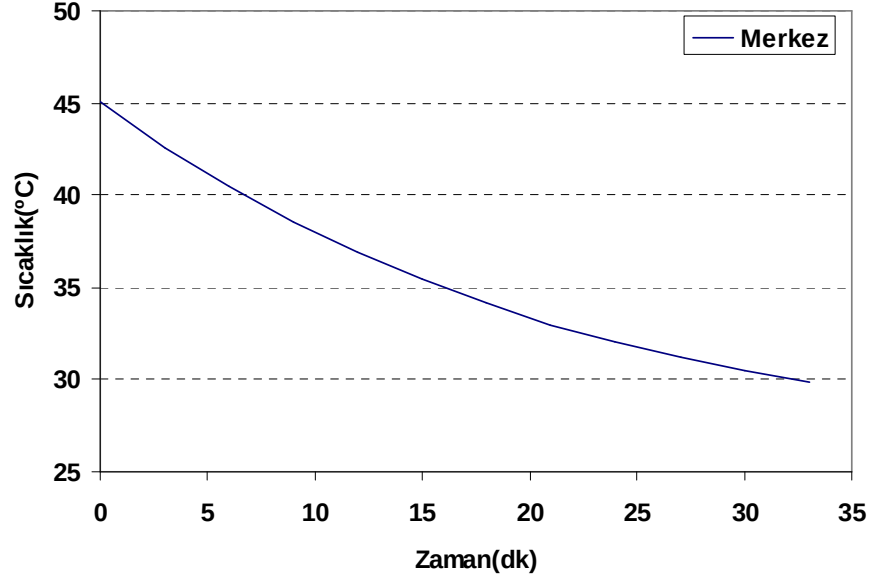
Çizelge 3.5 Dönme deneyleri sonucunda elde edilen ortalama Nu değerlerinin dönme Reynolds değerine göre değişimi

Devir	1/sn	Red	Nu
0	0,00	0,00	16,52
62	1,04	68,12	17,39
88	1,43	94,02	17,41
112	1,86	121,80	18,13
133	2,21	145,20	19,56

Yapılan ilk deneylerde zorlanmış taşınımın olmadığı durumlarda, dönüş hızının artırılmasının alüminyum çubuk üzerinden olan ısı transferini iyileştirdiği belirlenmiştir. Hesaplanan ortalama Nu değerleri incelendiğinde, dönüş hızına bağlı olarak bu değerlerinde arttığı ancak artışın çok düşük seviyelerde kaldığı görülmüştür. Bunun nedeni ise uygulanan dönme hızlarının düşük olmasıdır.

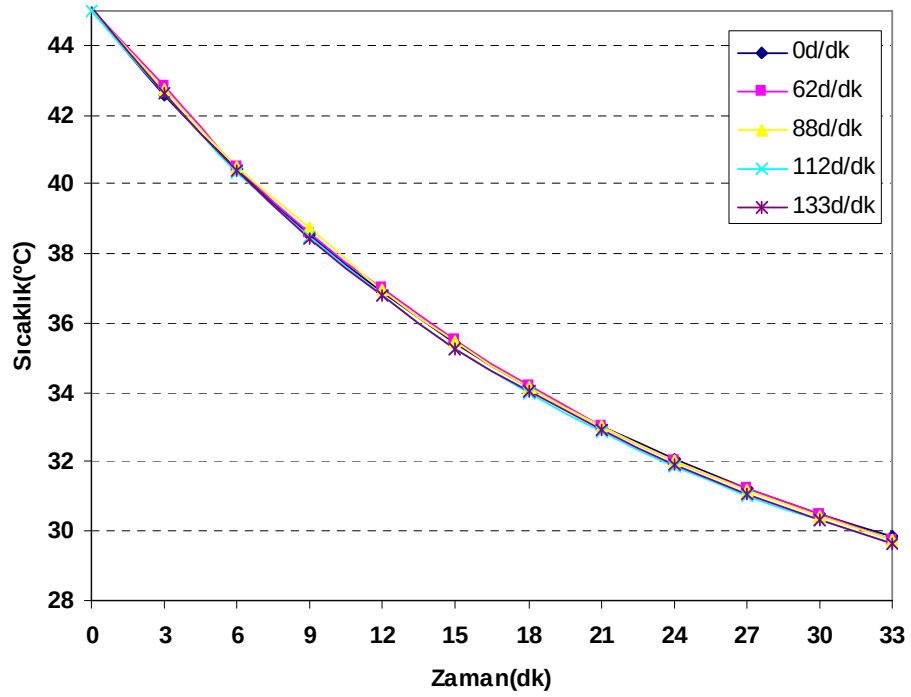
Dış Akışın Olduğu Deneyler

Dönme deneylerinden önce ilk olarak referans deney gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde önceki deneylerde olduğu gibi çubuk öncelikle 45 C' ye kadar ısıtılmıştır. Daha sonradan çubuğun 45 C' den 30 C' ye gelme süresi incelenmiştir. Isıtma aparatı ile ısıtılan çubuk, ısıtma işleminin sonunda sistemden çıkartılıp, sisteme hava tüneli konumlandırılmıştır. Konumlandırılan hava tünelinin yapısı, özellikleri ve deneyler de kullanılan fanın karakteristik özellikleri Bölüm 3.2.1'de detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Deneyler de üfleme hızı sabit ve 3.92 m/sn olarak belirlenmiştir. hızı belirlemek için önceden pitot tüpüyle hız- alan taraması gerçekleştirilmiştir. Taramanın detaylı anlatımı Bölüm 3.2.2'de anlatılmıştır. Deneylerde sıcaklık ölçümleri dönme deneylerine de uygun olması amacı ile 3'er dakikalık aralıklarla ölçülmüştür. Gerçekleştirilen referans deney sonucunda çubuğun 45 C' den 30 C' ye gelme süresi 32 dk olarak belirlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 Zorlanmış taşınımında gerçekleştirilen referans deney sonucu

Gerçekleştirilen referans deneyden sonra düşük dönme hızlarının zorlanmış taşınım üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde sıcaklık ölçümleri referans deneyde olduğu gibi 3'er dakika aralıklarla alınmıştır. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen soğuma eğrileri Şekil 3.21'de belirtilmiştir.



Şekil 3.21 Dönme deneyleri sonucunda elde edilen soğuma eğrileri

Yapılan deneyler sonrasında, çubuğun 45 C' den 30 C' ye gelme süresinin dönüş hızına bağlı olarak değişimi çok düşüktür. Genel soğuma süreleri incelendiğinde, soğuma sürelerinin 32dk civarında olduğu ve dönüş hızına bağlı olarak saniyeler mertebesinde değişimler gösterdiği belirlenmiştir. Ancak yapılan hesaplamalarda dönüş hızının artmasının toplam soğutma kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Fakat asıl soğutma yükü zorlanmış taşınım tarafından sağlanmakta olduğundan ötürü deneylerde kabul edilen dönüş hızlarında bu iyileşme belirgin şekilde ortaya konulamamıştır. Bu durumda, kanal içerisindeki üfleme Reynolds değerinin dönmeden kaynaklanan Reynolds değerine oranla çok yüksek kalmasının neden olmaktadır. Bu nedenden ötürü daha yüksek dönme hızlarında, üfleme Reynolds değeri ile dönme Reynolds değeri arasındaki oran azalacağından, ısı transferindeki iyileşmenin daha iyi olacaktır.

Yapılan deneylerde önceki deneylerde olduğu gibi ilk olarak soğutma kapasitesindeki artış belirlenmiştir. Toplam soğutma yükü değişmemiş ancak dış akışın olmasından ötürü toplam soğutma zamanında azalmalar meydana gelmiştir. Dönmenin olmadığı referans deneyde toplam soğutma süresi 1980 sn olup toplam soğutma kapasitesi 7,32 W olarak bulunmuştur. Bu süre dış akışın olmadığı deneylerde 7800 sn olarak belirlenmişti. Dış akışın olduğu sisteme dönme fonksiyonunun eklenmesiyle yapılan deneylerde, dönüş hızı 62 d/dk olduğunda soğutma kapasitesi 7,57 W; 88 d/dk' de 7,55 W; 112 d/dk' de 7,68 W; 133 d/dk' de de 7,63 W olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.6 Dış akışta dönüş hızına bağlı olarak soğutma kapasitesinin değişimi

Dönüş Hızı (d/dk)	S. Kapa. (W)
0	7,32
62	7,57
88	7,55
112	7,68
133	7,63

Yapılan hesaplamalar sonucunda soğutma kapasitelerinde çok az artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kapasiteler incelendiğinde dönme ile eşdeğer bir artış gözlemlenmemektedir. Bazı dönüş hızlarında kapasitenin azaldığı belirlenmiştir. Ortalama Nu

değerleri incelendiğinde Nu artışlarının devamlılık göstermediği ancak genel hareket incelendiğinde ortalama Nu değerinin yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür. Ancak meydana gelen yükselmeler çok yüksek mertebelerde olmamıştır. Dönmenin etkisinin olmadığı bazı deney karşılaştırıldığı zaman ortalama Nu değerindeki artışların ortalama 1,4 civarında olduğu görülmektedir. Buradan da dış akışın olduğu durumda düşük dönüş hızlarının Nu iyileştirmesinde çok etkisinin olmadığı ancak artan dönüş hızlarında değer artışının iyileşeceği görülmüştür. Dönüş hızına göre Nu değerlerindeki değişim Çizelge 3.7’de belirtilmiştir.

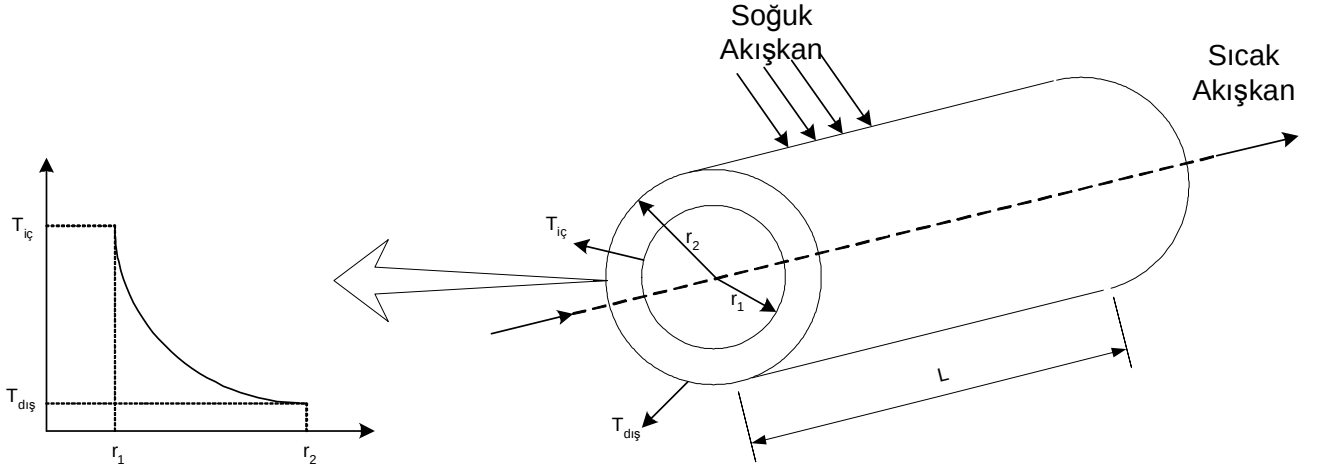
Çizelge 3.7 Dış akışın olduğu durumda dönüş hızına bağlı olarak ortalama Nu değerinin değişimi

Dönüş Hızı (d/dk)	1/sn	Red	Nu
0	0,00	0,00	84,43
62	1,04	68,12	85,87
88	1,43	94,02	85,53
112	1,86	121,80	86,55
133	2,21	145,20	86,23

3.4 Sıvı Dolu Kaptaki Dönüş Hızının İçerideki Isı Transfer Katsayısına Etkisinin İncelenmesi

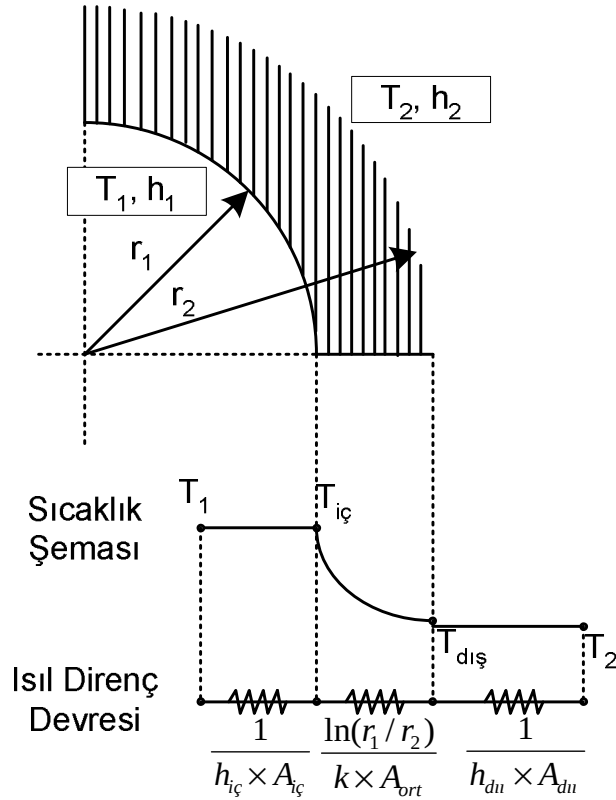
Şu ana kadar gerçekleştirilen deneylerde dönüş hızının dış ısı transfer katsayısına olan etkisi gözlemlenmiştir. Elde edilen bu değerler ise iç ısı transfer katsayısının değişiminin hesaplanmasında kullanılacaktır.

Gerekli hesaplamalar yapılırken, iç ve dış yüzeyleri farklı akışkanların etkisinde olan silindirik duvar yaklaşımı gerçekleştirilmiştir. Bu duvar içerisinde ısı iletimi ile ilişkili sıcaklık dağılımı logaritmik olup Şekil 3.22’deki ayrıntıda gösterilmiştir.



Şekil 3.22 İç ve dış yüzeylerinde farklı akışkanlar olan silindirik duvar yapısı ve sıcaklık değişimi

Şekil 3.22’de belirtilen silindirik duvar için ısı akışı incelendiğinde, sıcak olan akışkandan, silindir iç bölgesinden, dışarıya doğru taşınım ve iletimle ısı transferi meydana gelmektedir. Meydana gelen bu ısı transferine karşı ise sistem tarafından ısı dirençler oluşmaktadır. Oluşan bu ısı dirençler, ısı transferinin yönüne bağlı olarak, Şekil 3.23’de seri bağlı devre şeması şeklinde belirtilmiştir.



Şekil 3.23 Silindir iç bölgesinden itibaren sıcaklık dağılımı ve meydana gelen ısı dirençler

Şekil 3.23’de belirtilen duvar yapısında, ara yüzey temas dirençleri ihmal edilirse sistemden geçen ısı miktarı;

$$q = \frac{T_{merkez} - T_{hava}}{\frac{1}{h_{du} \times A_{du}} + \frac{\ln(r_1 / r_2)}{k \times A_{ort}} + \frac{1}{h_{iç} \times A_{iç}}} \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Denklem 3.9’da belirtilmiş olan “ $h_{iç}$ ” değeri silindir içerisindeki akışkan hareketi sonucunda meydana gelen ısı taşınım katsayısını; “ k ” silindir cidarındaki ısı iletim katsayısını; “ $h_{dış}$ ” ise silindirin dış yüzeyindeki ısı taşınım katsayısını belirtmektedir. Mevcut sistemde silindirik kabın cidar kalınlığı çok ince olduğundan ötürü denklemde bulunan “ $\ln(r_1/r_2)$ ” değeri 0’ a gitmekte ayrıca $A_{dış}$ ve $A_{iç}$ değerleri arasındaki fark da çok küçülmektedir. Bu nedenden ötürü denklemdeki iletim ısı direnç ifadesi ihmal edilir ve $A_{dış}$ ile $A_{iç}$ birbirine eşit kabul edilirse denklem,

$$q = \frac{T_{merkez} - T_{hava}}{\frac{1}{h_{du} \times A} + \frac{1}{h_{iç} \times A}} \quad (3.10)$$

şekline gelmektedir.

Bu bölümde yapılan deneylerde, dönme sonucunda silindirik kap içerisinde oluşan ısı taşınım katsayısının değişiminin inceleneceği bölüm başında belirtilmiştir. Hesaplamalarda kullanılacak olan denkleme bakıldığında, denklemde “ $h_{dış}$ ” dış ısı taşınım katsayı değeri bulunmaktadır. Bu değer, bir önceki bölümde yapılan çalışmalar sonucunda dönüş hızına bağlı olarak değişimi bulunmuştur. İçerisinde su bulunan silindirik kapta yapılan deneyler sonucunda elde edilen deneysel datalar, Denklem 3.10’da yerine konularak ortalama iç taşınım katsayısı hesaplanacaktır.

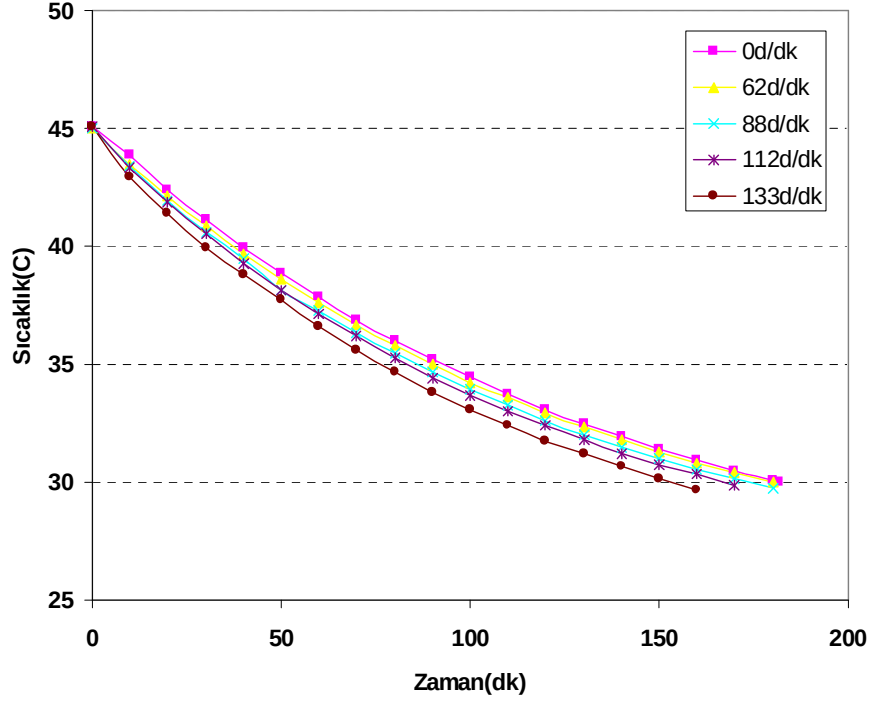
Dış Akışın Olmadığı Deneyler:

Silindir yüzeyindeki ortalama Nu değeri hesaplamalarında olduğu gibi iç ısı taşınım katsayısı hesaplamalarında da ilk önce dış akışın olmadığı durum incelenmiştir. Deneylere hazırlık sırası önceki deneyler ile aynı olup; İçerisinde 330ml saf su bulunan silindirik kap 45 C’ ye kadar ısıtılıp 30 C’ ye kadar soğutulmuştur. Deney boyunca silindirik kabın merkezi ve yüzeyinden sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deneylerde ilk olarak yüzeyde meydana gelen ortalama Nu değerinin doğruluğu belirlenmiştir. Bunun için öncelikle referans deney yapılmıştır. Yapılan referans deneyde döndürmenin olmadığı durumda silindir kabın yüzeyinde meydana gelen ortalama

Nu değeri 16.70 olarak hesaplanmıştır. Alüminyum üzerinde yapılan ilk deneylerde bu değer 16.52 olarak bulunmuştur. Buradan alüminyum çubuk üzerinde yapılan deneylerde bulunan ortalama Nu değerlerinin, iç ısı taşınım katsayısının hesaplanmasında kullanılabilmesinde herhangi bir sorun olmayacağı anlaşılmıştır.

Sistemde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen soğuma eğrileri Şekil 3.24’de belirtilmiştir.



Şekil 3.24 İçerisinde sıvı bulunan kapta, dış akışın olmadığı durumda dönüş hızına göre elde edilen soğutma eğrileri

Soğuma eğrileri incelendiğinde, artan dönüş hızlarında soğumanın iyileştiği görülmektedir. Bir önceki bölümde yapılan dış ısı taşınım katsayısı hesaplamalarında, 62 ve 88 d/dk dönüş hızlarında dış ısı taşınım katsayısındaki artışın ihmal edilebilecek kadar az olduğu ve bu sebepten ötürü soğutma kapasitesindeki artışın çok düşük seviyelerde kaldığı belirlenmişti. Döndürme deneyleri sonucunda soğuma eğrileri incelendiğinde 88 d/dk’ da sürelerde iyileşme belirlenmiştir. Bu durumda dönmeden ötürü kap içerisinde ısı taşınım katsayısının meydana geldiği söylenebilmektedir.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen iç ısı taşınım katsayısının katsayı Çizelge 3.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.8 Dış akışın olmadığı durumda, içerisinde sıvı bulunan kabın döndürülmesi sonucunda elde edilen iç ısı taşınım katsayısı

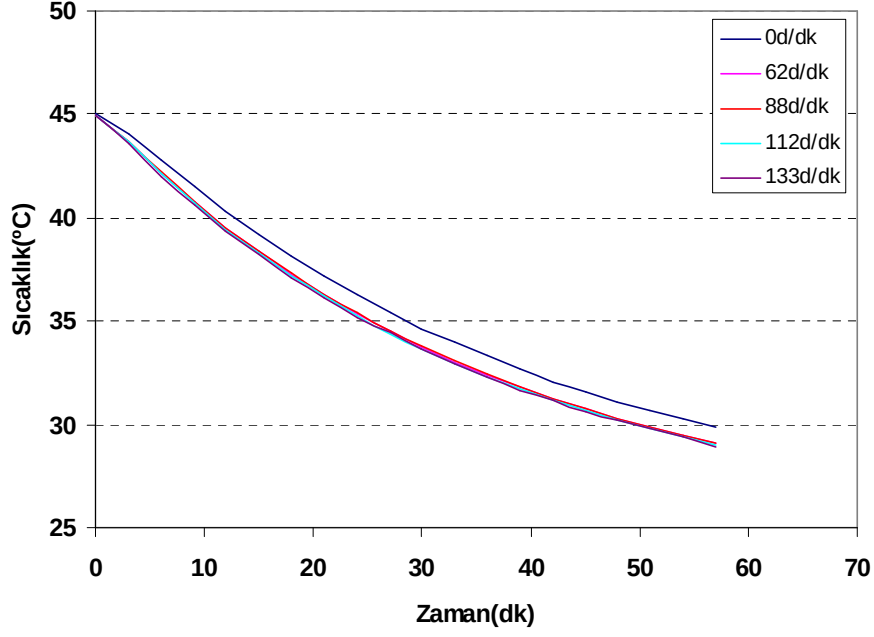
Dönüş Hızı (d/dk)	1/sn	h (W/m² K)
0	0,00	0,00
62	1,04	45,81
88	1,43	53,17
112	1,86	65,95
133	2,21	67,76

Hesaplanan değerlerde içerideki ısı taşınım katsayısının artan dönüş hızına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Ancak 112 d/dk ile 133 d/dk dönüş hızlarında içerideki ısı taşınım katsayısındaki değişimin azaldığı belirlenmiştir. Buradan iç ısı taşınım katsayısının, daha yüksek devirlerde değişmeyeceği ve sabit kalacağı belirlenmiştir.

Dış Akışın Olduğu Deneyler:

Alüminyum çubuk üzerinde gerçekleştirilen ilk denemeler de dış akışın olduğu durumda üfleme Re değerinin, dönmeden kaynaklanan Re değerine oranının çok yüksek olmasından ötürü soğuma kapasitelerindeki değişimin çok düşük kaldığı görülmüştü. Döndürmenin olmadığı durumda 7.32 W olan soğuma kapasitesi, döndürme hızının arttırılması ile artma yönünde eğilim göstermiş ancak toplamdaki soğuma kapasitesi en fazla 7.63 W değerine ulaşmıştır. Bu deneyler sonrasında dış akışın olduğu ortamda düşük dönüş hızlarının ortalama Nu değerine bir etkisinin bulmadığı belirlenmiştir.

Aynı şartlar altında, aynı deneyler, içerisinde su bulunan silindirik kap için tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen soğuma grafiği Şekil 3.25’de belirtilmiştir.



Şekil 3.25 Dış akışın olduğu durumda içerisinde sıvı bulunan kabın dönüş hızına bağlı soğuma eğrileri

Gerçekleştirilen deney sonrasında soğuma eğrileri incelendiğinde döndürme işlemi sonucunda referans durumuna göre iyileşme görülmüştür. Ancak alüminyum üzerinde gerçekleştirilen deneylerde, dış akış olduğunda silindir yüzeyindeki ortalama Nu değerlerindeki değişimler çok düşük bulunmuştu. Buradan dış dönmenin çok az etkisinin olduğu düşünüldüğünde soğuma zamanlarındaki bu iyileşmenin dönme sonucun içeride oluşturulan taşınımın kaynaklandığı görülmektedir.

Dönme işlemi sonucun meydana gelen iyileşme değeri dönme hızına eş olarak devamlılık göstermiş ancak iyileşmeler 1-3 dk ile sınırlı kalmıştır. Sistemde dönme sonucunda hesaplanan soğuma kapasiteleri incelendiğinde döndürmenin olmadığı durumda 6.19 W olup; 62 ve 88 d/dk' de soğutma kapasiteleri 6.93 ve 7.03 W; 112 ve 133 d/dk' de ise bu değerlerin 7.10 ve 7.17 W olduğu hesaplanmıştır. 62 d/dk ve 88 d/dk' deki dönme hızlarında dış yüzeydeki taşınım etkisinin aynı olduğu göz önünde bulundurulduğunda, artan dönüş hızlarında içerideki taşınımın da arttığı görülmektedir. Fakat özellikle son 2 dönme hızında (112 d/dk, 133 d/dk) dış yüzey taşınım değerleri 133 d/dk' de daha yüksek olmasına karşın soğuma süreleri çok yakın çıkmıştır. Buradan daha yüksek dönüş hızlarında, kabın iç yüzeyindeki taşınımın değişmediği yorumlanmaktadır.

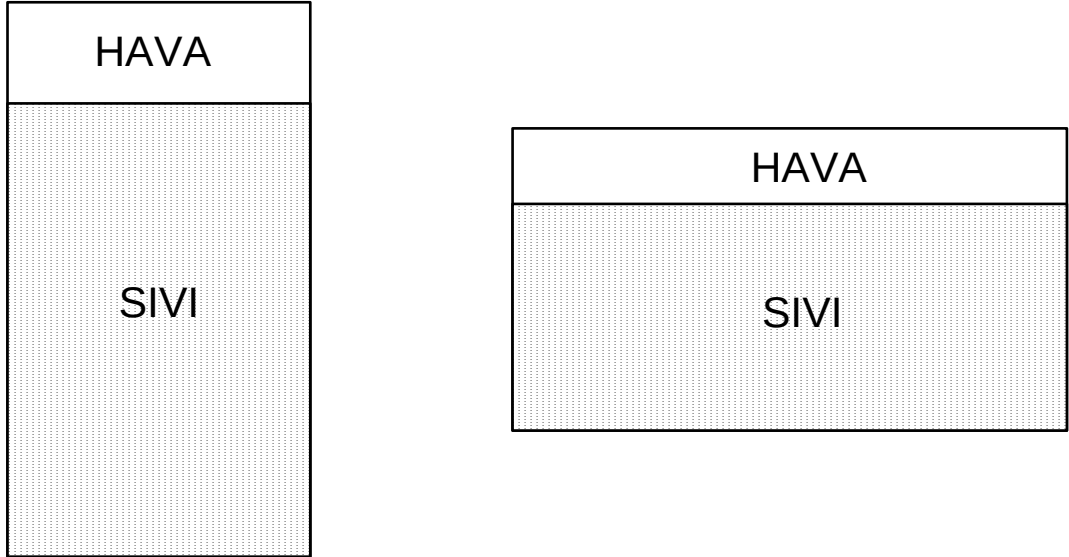
Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda kabın iç yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı h değerinin dönüş hızına göre değişimi Çizelge 3.9'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.9 Dış akışın olduğu durumda silindir içerisindeki ortalama ısı transfer katsayısının değişimi

Dönüş Hızı (d/dk)	1/sn	h (W/m² K)
0	0,00	0,00
62	1,04	327,73
88	1,43	338,01
112	1,86	357,55
133	2,21	359,83

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuçlar, bir önceki kısımda anlatılan dış akışın olmadığı durumdaki sonuçlarla benzerlik göstermiştir. Devir sayısındaki artışa bağlı olarak iç ısı taşınım katsayısı artış göstermiş ancak 112 ve 133 d/dk arasında bu artış çok azalmıştır.

Meydana gelen bu durum katı cisim dönmesi ile açıklanmaktadır. Mevcut durumda içerisinde 330 ml bulunan silindirik kabın yatay ve dikey konumları ve içerisinde bulunan sıvının kesit görünümü Şekil 3.26’da belirtilmiştir.



Şekil 3.26 İçerisinde 330 ml sıvı bulunan silindirik bir kabın dikey ve yatay pozisyonlarındaki durumu

Gerçekleştirilen deneylerde silindirik kap yatay durumda döndürülmüştür. Bu durumda döndürme sırasında, sıvı yüzeyi, kabın dönüş hızına bağlı olarak hareket edecektir. Normal şartlar altında, tam dolu bir kapta, içerideki sıvının, kapla temasta olan yüzeyi, kap harekete

başladığında kapla birlikte harekete başlamaktadır. Zaman ilerledikçe, bu hareket sıvının merkezine kadar ilerlemektedir. Belli bir zaman sonrasında kap içerisindeki bütün sıvı molekülleri, kapla aynı hızda hareket etmeye başlamaktadır. Literatürde buna “katı cisim dönmesi” denmektedir.

Katı cisim dönmesi başlayana kadar geçen sürede, sıvı içerisindeki moleküller arasında bağlı hız vektörleri meydana geleceğinden ötürü, sistem başlangıcında iletimle olan ısı transferi, bu süre içerisinde taşınım dönüşmektedir. Katı cisim dönmesi meydana geldiği anda, moleküller arasındaki hız vektörleri sıfırlandığı için sistem içerisindeki ısı taşınımını tekrar iletme dönüşmektedir.

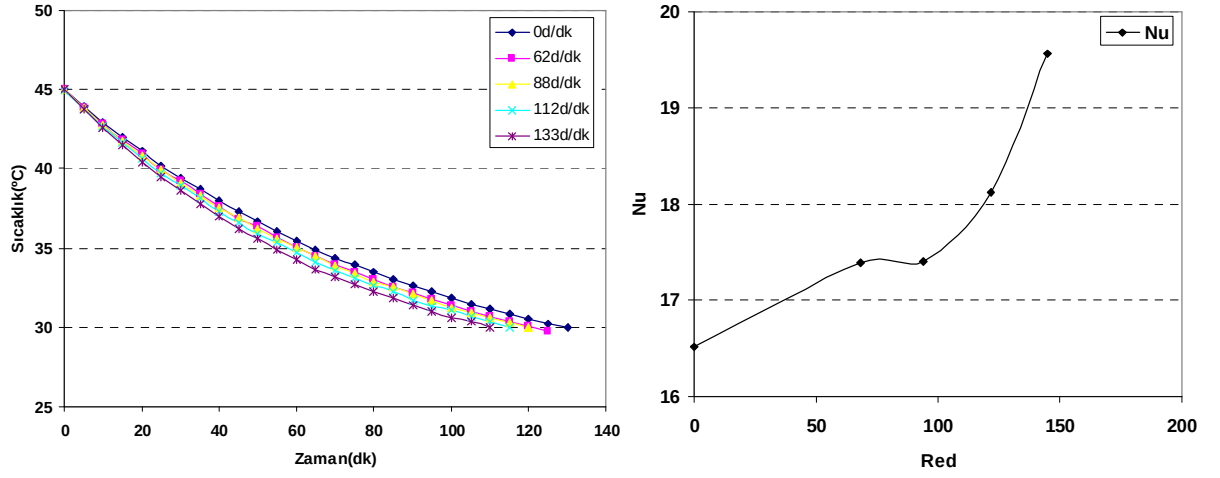
Yapılan çalışmada, kabın tam dolu olmadığı durum söz konusudur. Bu durumda kabın üst bölgesinde sıvının bulunmadığı bir bölge meydana gelmektedir. Eğer kabın dönüş hızı yeterli değilse içerideki sıvı kap yüzeyini tam olarak kaplayamamakta ve içeride hız vektörlerinin bozulmadığı devamlı bir taşınım meydana gelmektedir.

Elde edilen iç taşınım katsayıları incelendiğinde, 112 ve 133 d/dk’ da taşınım değerlerinin birbirine yakın çıkmasının nedeni bu devirlerde, sıvının kap yüzeyine büyük oranda yayılmasıdır. Ancak taşınım katsayılarının artış göstermesi, uygulanan devirlerin katı cisim dönmesini meydana getirmediğini göstermektedir.

4 SONUÇLAR

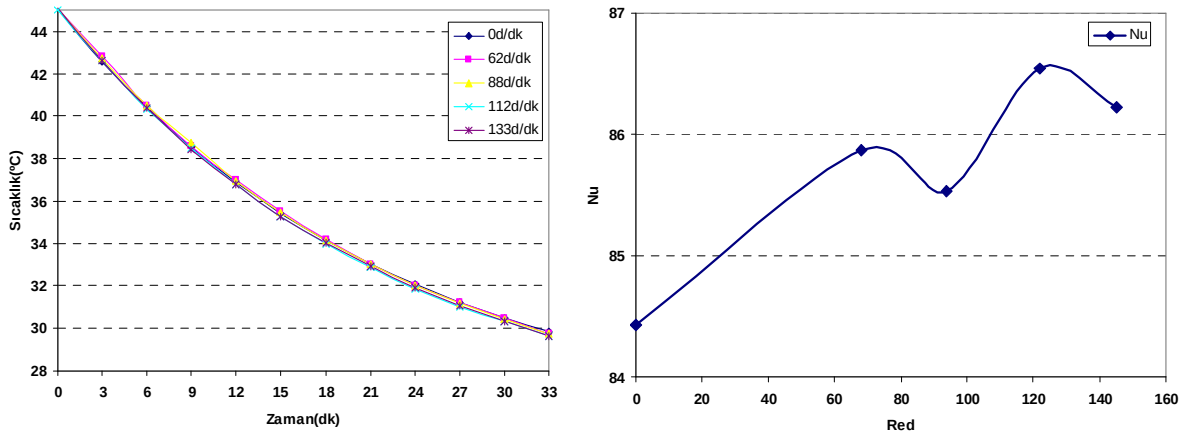
Bu çalışmada, silindirik şekillerdeki kaplarda bulunan sıvıların soğutulmasına etki eden faktörlerden döndürme işleminin kabın dışarısında ve içerisinde oluşturduğu ısı taşınım katsayılarına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Silindir etrafında dış akışın olmadığı durumda, artan dönüş hızlarında dış ısı taşınım katsayısı da artmaktadır. Bu iyileşme, artan dönüş hızlarında, silindirin çevresel hızının artırılarak etrafında bağıl hız oluşturulması ile meydana gelmektedir.



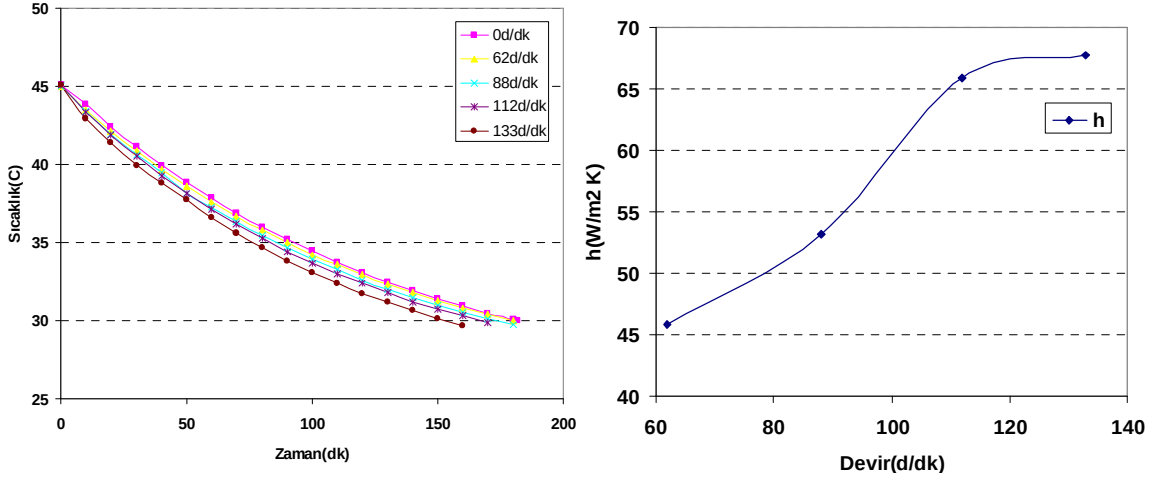
Şekil 4.1 Alüminyum çubuk etrafında, dış akış olmadığı durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama Nu değişimi

- Silindir etrafında dış akışın olduğu durumda, dış akış hızının dönüş hızına oranla çok fazla olmasından ötürü, artan dönüş hızlarında dış ısı taşınım katsayısında belirgin bir iyileşme görülmemekte fakat iyileşme eğilimi göstermektedir.

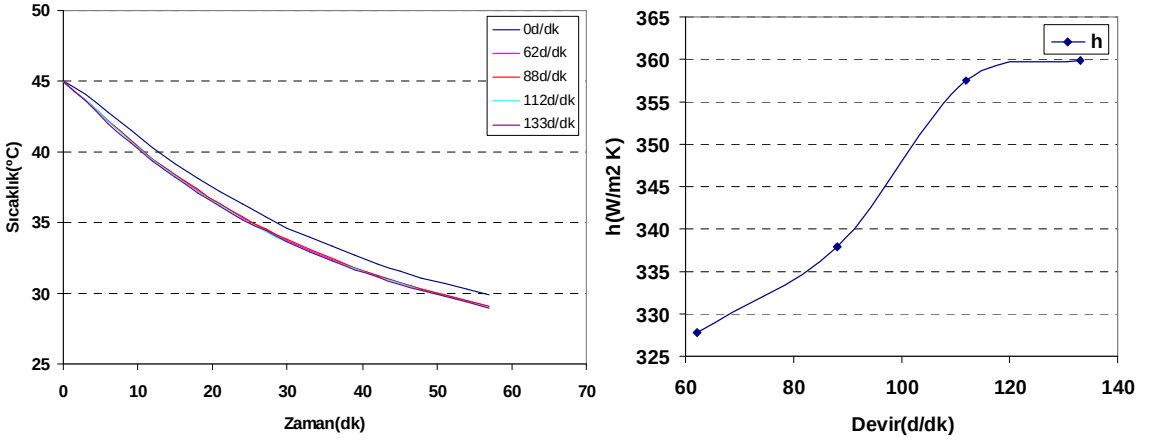


Şekil 4.2 Alüminyum çubuk etrafında, dış akış olduğu durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama Nu değişimi

- İçerisinde sıvı bulunan silindirik kapta, dış akışın olduğu/olmadığı durumda, artan dönüş hızlarında iç ısı taşınım katsayısı iyileşmektedir (Şekil 4.3) (Şekil 4.4)



Şekil 4.3 Silindirik kap etrafında, dış akış olmadığı durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama iç ısı taşınım katsayısının değişimi



Şekil 4.4 Silindirik kap etrafında, dış akış olduğu durumda, dönüş hızına bağlı olarak elde edilen soğuma eğrileri ve ortalama iç ısı taşınım katsayısının değişimi

Ancak yüksek dönüş hızlarında , 112 ve 133 d/dk iç ısı taşınım katsayısındaki artışlar çok azalmıştır. 3. Bölümün sonlarında da belirtildiği üzere, içerideki boşluk miktarına bağlı olarak sistemin katı cisim dönmesine başlayacağı bir sınır dönüş hızı bulunmaktadır. Yapılan deneylerde de 112 d/dk' dan sonra iç taşınımın sabitlenmeye başlaması, sistemin artık katı cisim dönmesine başladığını belirtmektedir. Buradan günümüz kaplarındaki doluluk oranı için sınır dönüş hızının 112 d/dk olduğu söylenebilmektedir.

- Gerçekleştirilen deneyler sonucunda dönme işleminin sıvıların daha hızlı soğutulmasında, bir etken olabileceği belirlenmiştir. Artan dönüş hızları dış akışın olmadığı durumda doğal taşınımı zorlanmış taşınımına çevirdiğinden ötürü; dış akışın olduğu durumda ise dönme hızı ile oranına bağlı olarak soğumayı daha da iyileştirebileceği belirlenmiştir.
- Bu kapsamda, içerisinde sıvı bulunan silindirik kaplarda, dış akışın olduğu veya olmadığı durumlarda en iyi soğutma, sistemin katı cisim özelliği göstermeye başladığı noktada sağlanmaktadır. Bu noktanın üzerinde iç taşınım miktarı sabitlenecek, artan dönüş hızlarında ise azalacaktır. Dış taşınımın devamlı artmasına rağmen, iç taşınımın etkisinin azalmasıyla etkili olarak sistemin toplam ısı transfer miktarı azalacaktır.

5 KAYNAKÇA

Çengel, A. Y., Boles, M. A., (1996), “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Literatür Yayınevi, İstanbul

Çengel, A. Y., Cimbala, J. M., (1996), “Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları”, Güven Bilimsel Yayınevi, İstanbul

Incropera, F., DeWitt, D., (2002), Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayınevi İstanbul Isısan Çalışmaları, Sıhhi Tesisat, No. 272

K.Fukuyo,T.Tanaami,H.Ashida, (2003), “Thermal Uniformity and Rapid Cooling Inside Refrigerator”, International Journal of Refrigeration, 249-255

Özerdem, Barış, (2000), “Measurement of Convective Heat Transfer Coefficient for a Horizontal Cylinder Rotating in Quiescent Air”, International Comm. Heat and Mass Transfer”, Vol27, No3, 389-395

Prof.Dr. Dağsöz, K, (1995), “Isı Geçiş Transferi”, Beta Yayınevi, İstanbul

Prof. Dr. Genceli, O. F., (1994), “Ölçme Tekniği, Birsen Yayınevi”, İstanbul

Prof. Dr. Genceli, O. F., (2002), “Çözümlü Isı Taşınımı Problemleri”, Birsen Yayınevi, İstanbul

Prof.Dr.Özcan, O., (2005), “Akışkanlar Dinamiği Ders Notları”, YTÜ, İstanbul

Shehata Ali Abdul-Aziz Mohammed, (1994), “Mixed Convection from a Horizontal Cylinder Rotating in a Cooling CrossStream” Master Thesis in Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals

Stefan aus der Wiesche, (2007), “Heat Transfer from a Rotating Disk in a Parallel Air Crossflow”, International Journal of Thermal Science, 745-754

tr.espacenet.com

www.freepatentsonline.com

http://users.wpi.edu/~ierardi

ÖZGEÇMİŞ**Doğum tarihi** 29.09.1986**Doğum yeri** Kocaeli**Lise** 2001–2004 Kocaeli Anadolu Lisesi**Lisans** 2004-2008 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü**Yüksek Lisans** 2008-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı**Çalıştığı kurum(lar)**2007-2010 Arçelik AŞ. Arge Termodinamik Teknolojileri
Ailesinde Proje Yardımcılığı