

**İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA
KANALLARININ SERAMİK KATKILI BOYALARLA ISI YALITIMI
VE KLASİK YALITIM SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Serkan ŞENYURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006
ANKARA**

**İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA
KANALLARININ SERAMİK KATKILI BOYALARLA ISI YALITIMI
VE KLASİK YALITIM SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Serkan ŞENYURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2006
ANKARA**

Serkan ŞENYURT tarafından hazırlanan İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA KANALLARININ SERAMİK KATKILI BOYALARLA ISI YALITIMI VE KLASİK YALITIM SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof.Dr. Ö. Ercan ATAER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Doç. Dr. Cemil Yamalı

Üye : Prof. Dr. Ö.Ercan ATAER

Üye : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

Üye : Y. Doç. Dr. İbrahim ATILGAN

Üye : Y. Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Serkan ŞENYURT

**İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE HAVALANDIRMA
KANALLARININ SERAMİK KATKILI BOYALARLA ISI YALITIMI
VE KLASİK YALITIM SİSTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serkan ŞENYURT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2006

ÖZET

Bu çalışmada, iklimlendirme sistemlerinde kullanılan havalandırma kanallarının yalıtımı ile ilgili karşılaştırmalı deneysel bir çalışma yapılmıştır. Hava kanalı yalıtım malzemelerinden biri olan cam yünü ile alternatif hava kanalı yalıtım malzemesi olan seramik katkı boya izolasyonu deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma sırasında hava kanallarında türbülanslı akış oluşturulmuş ve deneyler bu koşullarda yapılmıştır. Deneylerde havanın ısı yalıtımlı kanallara giriş ve çıkışlarında sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sırasında ısıtılan ve ortama bırakılan havanın ortam sıcaklığını ve bağıl nemini değiştirmedeği yapılan ölçümler sonucunda görülmüştür. Deneysel çalışmada havaya nemlendirme veya nem alma işlemleri uygulanmamıştır. Sadece elektrikli direnç ısıtıcı serpantin ile kanallar içinde akan hava ısıtılmıştır. Elde edilen veriler, karşılaştırmalı grafikler haline getirilmiş kanalların ısı kayıpları irdelenmiş ve camyünü yalıtım malzemesinin daha etkili ısı yalıtım yaptığı görülmüştür. Kullanılan ısı yalıtım malzemeleri için maliyet analizi yapılmıştır.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Hava kanalı, ısı yalıtımı, seramik katkı boya, vakumlu mikro seramik küreler
Sayfa Adedi : 88
Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Ö.Ercan ATAER

**THERMAL INSULATION OF VENTILATING DUCTS IN AIR
CONDITIONING SYSTEMS THROUGH PAINTS WITH CERAMIC
ADDITIVES AND ITS COMPARISON TO CLASSICAL INSULATION
SYSTEMS
(M.Sc. Thesis)**

Serkan ŞENYURT

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2006**

ABSTRACT

Throughout this thesis, a comparative experimental study on insulation of ventilating ducts used in air conditioning systems has been done. Glasswool with aluminum foil on its one surface which is one of insulation materials used for ventilating ducts, and paints with ceramic additives as an alternative material have been examined experimentally. During the experimental study a turbulent flow has been generated in ventilating ducts and experiments have been done under this condition.

In these experiments heat and acceleration of air at the inlet and outlet of insulated ventilating ducts have been measured. It has been observed that the air heated and released to ambient during the experiments does not change the ambient temperature and relative humidity. In the experimental study humidification and dehumidification processes have not been applied to the air. Only through an electrical serpentine heater with resistance, flowing air in the ducts has been heated.

Data derived from the experiment have been transformed into comparative graphics, heat dissipations of the ducts have been examined and it has been

inferred that glasswool as an insulation material provides more effective heat insulation. Cost analysis of heat insulation materials, used in the experiment, has been done.

Science Code : 914.1.065

**Key Words : Ventilating duct, heat insulation, ceramic additive paint,
vacuumed micro ceramic spheres**

Page Number: 88

Adviser : Prof.Dr. Ö.Ercan ATAER

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanması boyunca bilgi, ilgi ve yardımları ile beni yönlendiren Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ö. Ercan ATAER'e öncelikle teşekkür ederim. Deney düzeneğinde kullanılan malzemelerin teminini ve montajını sağlayan Grup Isı Endüstriyel Ltd.Şti. ve Klisom Klima Ltd. Şti.'ye, hava kanalları için seramik katkılı boyayı temin eden ve kanalları boyayan Bor-Tek Ltd. Şti.'ye teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım boyunca sürekli beni destekleyen değerli arkadaşım Makine Mühendisi Araştırma Görevlisi Sayın Ümit KESKİN'e teşekkür ederim. Öğrenim hayatım boyunca beni hiç yalnız bırakmayan ve sürekli destekleyen Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. HAVA KANALLARINDA ISI TAŞINIMI	3
2.1 Ortalama Hız	10
2.2. Ortalama Sıcaklık	11
2.3. Zorlanmış Isı Taşınımında Kullanılan Boyusuz Sayılar ve Fiziksel Anlamları	12
2.3.1. Reynolds sayısı (Re)	12
2.3.2. Prandtl sayısı (Pr)	12
2.3.3. Nusselt sayısı (Nu)	13
3. HAVA KANALLARINDA ISI YALITIMI	14
3.1. Klasik Yalıtım Malzemeleri	15
3.1.1. Cam yünü	16
3.1.2. Elastomerik kauçuk köpüğü	17
3.2. Vakumlu Mikro Seramik Küre Katkılı Yalıtım Malzemeleri	20

Sayfa

4. SERAMİK KATKI MADDELERİNİN ÜRETİMİ	27
4.1. Katkı Maddelerinin Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	27
4.2. Katkı Maddelerinin Üretimiyle İlgili Yapılan Çalışmalar ve Üretim Yöntemleri	30
5. SERAMİK KATKILI BOYANIN HAVA KANALALRINDA ISI YALITIMI ÖZELLİKLERİNİN KLASİK KANAL YALITIM SİSTEMİYLE DENEYSEL OLARAK KIYASLANMASI.....	38
5.1. Deney Düzeneği	38
5.2. Deneysel Yöntem	48
5.3. Deneysel Sonuçlar	52
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	62
EKLER.....	65
EK-1. Deney Düzeneği ile ilgili resimler.....	66
EK-2. Hava kanalı kesitinde sıcaklık dağılımı.....	69
EK-2. LABVIEW programı	74
EK-2. Sıcaklık ölçümleri.....	84
Özgeçmiş.....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Degens'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması.....	28
Çizelge 4.2. R.L. Bates'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması.....	28
Çizelge 4.3. Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri.....	29
Çizelge 5.1. Deney düzeneğinde kullanılan kanal tipi fanların teknik verileri	41
Çizelge 5.2. Dijital anemometrenin teknik özellikleri	47
Çizelge 5.3. Cam yünü ile yalıtılan hava kanalları için deneysel veriler.....	53
Çizelge 5.4. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalları için deneysel veriler.....	54
Çizelge 5.5. Cam yünü yalıtımlı kanal verilerinin vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanallından farkı	56
Çizelge 5.6. Veri toplama cihazı LabVIEW ve hız ölçüm cihazları için belirsizlikler.....	57
Çizelge 5.7. Hava kanallarının 1m ² 'sinin ağırlığı.....	58
Çizelge 5.8. Hava kanallarında kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin maliyet analizi	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Taşınım ile ısı transferinde sınır tabaka gelişimi	4
Şekil 2.2. Dairesel kanal içerisindeki laminar ve türbülanslı akışta hız profillerinin değişimi.....	8
Şekil 2.3. Dairesel kanal içerisindeki akışta ısı bölgenin gelişimi.....	9
Şekil 3.1. Cam yününün mikro yapısı.....	16
Şekil 3.2. Elastomerik kauçuk köpüğünün mikro yapısı.....	18
Şekil 3.3. Mikro yapıdaki içi boş seramik küre	21
Şekil 3.4. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyanın nemli ve kuru halleri	22
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü	39
Şekil 5.2. Deney düzeneğinde kullanılan kanal tipi fanın şematik görünümü	41
Şekil 5.3. Elektrikli direnç ısıtıcının bağlantı şeması.....	42
Şekil 5.4. Deney düzeneğinde kullanılan elektrikli ısıtıcılar	43
Şekil 5.5. Deney ölçüm kanallarında sıcaklık ve hız ölçüm deliklerinin şematik görünümü	44
Şekil 5.6. Hava kanallarında ısı çiftlerinin yerleşimi ve yataydaki hareketi.....	45
Şekil 5.7. ETHG-913R model elektronik higrometre	46
Şekil 5.8. Testo 435 model dijital anemometre.....	47
Şekil 5.9. Deneylerde kullanılan rüzgargülü prob	47
Şekil 5.9. Sıcaklık ölçümü için ısı çiftlerinin bağlantısı	51

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Vakumlu mikro seramik küreciklerin elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafı	23
Resim 3.1. Vakumlu mikro seramik küreciklerin elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafı	23
Resim 3.1. Vakumlu mikro seramik küreciklerin elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafı	24

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_s	Kanal yüzey alanı, m^2
A_k	Kanal kesit alanı, m^2
C_p	Sabit basınçta özgül ısı, $J/kg.K$
D, d	Çap, m
D_h	Hidrolik çap, m
E	Isıtıcılar ile kanala verilen enerjisi miktarı, W
$\dot{E}_t$	Akışkan tarafından taşınan ısı enerjisi miktarı, W
F	Şekil faktörü, -
f	Darey sürtünme faktörü, -
h	Yerel ısı taşınım katsayısı, $W/m^2.K$
h_m	Ortalama ısı taşınım katsayısı, $W/m^2.K$
k	Isı iletim katsayısı, $W/m.K$
L	Kanal boyu, m
Nu_m	Ortalama Nusselt sayısı, -
P	Çevre uzunluğu, m
Pr	Prandtl sayısı, -
Q	Taşınım ile gerçekleşen ısı transferi miktarı, W
q''	Isı akısı, W/m^2

Simgeler	Açıklama
Q_t	Kanal içerisinde taşınım ile gerçekleşen ısı transferi miktarı, W
Q_i	İletim ile dış ortama kaybolan ısı transferi miktarı, W
Q_r	Radyasyon ile kaybolan ısı transferi miktarı, W
Re	Kanal içerisindeki akış için Reynolds sayısı, -
R_e	Elektrik direnci, Ω
R	Yarıçap değeri, m
T_b	Kanal içindeki akışkanın ortalama sıcaklığı, K
T_w	Kanal yüzey sıcaklığı, K
T_∞	Dış ortam sıcaklığı, K
T_{mg}	Akışkanın test kanalına girişindeki ortalama sıcaklık, K
$T_{mç}$	Akışkanın test kanalından çıkışındaki ortalama sıcaklık değeri, K
u_∞	Serbest akış şartlarında akışkan hızı, m/s
V	Akışkanın kanal içerisindeki ortalama hızı, m/s
V_e	Isıtıcılarda elektrik voltajı, Volt
x, y	Kartezyen koordinatlarda uzunluk, m
$x_{fd,h}$	Hidrodinamik giriş uzunluğu, m
$x_{fd,t}$	Isıl giriş uzunluğu, m
α	Isıl yayılım katsayısı, m^2/s
ΔT	Sıcaklık farkı, K
ΔT_{lm}	Logaritmik sıcaklık farkı, K

Simgeler	Açıklama
Δx	Yalıtım malzemesinin kalınlığı, m
ε	Yüzeyin yayıcılığı, -
μ	Dinamik viskozite, kg/m.s
ν	Kinematik vizkozite, m ² /s
ρ	Akışkanın yoğunluğu, kg/m ³
δ	Hidrodinamik sınır tabakası kalınlığı, m
δ_t	Isıl sınır tabakası kalınlığı, m

1. GİRİŞ

Son yıllarda enerji kaynaklarının giderek azalması, enerji maliyetlerinin artması enerjinin verimli kullanımını kaçınılmaz hale getirmektedir. Dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması gerçeğinin giderek daha geniş kesimlerce anlaşılması, bilimsel çevreleri enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve varolan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye sevk etmiştir.

Isı yalıtımı olarak kaynağında yapılması yönünden ve yatırımın geri dönüş süresi açısından verimli yalıtım türü tesisatlardaki ısı yalıtımıdır. Önemli bir kullanım potansiyeline sahip olan klima kanallarının yalıtımı, üzerinde ciddiyetle durulması gereken bir uygulamadır. Klima kanalları yaygın olarak hem soğutma hem de ısıtma amaçlı kullanılabilmekte ve günümüzde gerek konfor özellikleri, gerekse yatırım maliyeti ve işletme maliyeti açısından özellikle iş merkezleri, alışveriş merkezleri, ofisler, fabrikalar ve restoranlar, sinemalar, vb. ticari işletmelerde tercih edilmektedir. Bu sistemlerde hem soğutma ve ısıtmada enerji giderlerini düşürmek, hem de daha konforlu ve sağlıklı bir havalandırma sağlamak açısından ısı yalıtımı yapılması ciddi önem taşır. Hava kanalları yalıtımlı olarak üretilmekte veya kanalın üretimi sonrasında kanalın dış yüzeyine ısı yalıtım malzemesi uygulanmaktadır.

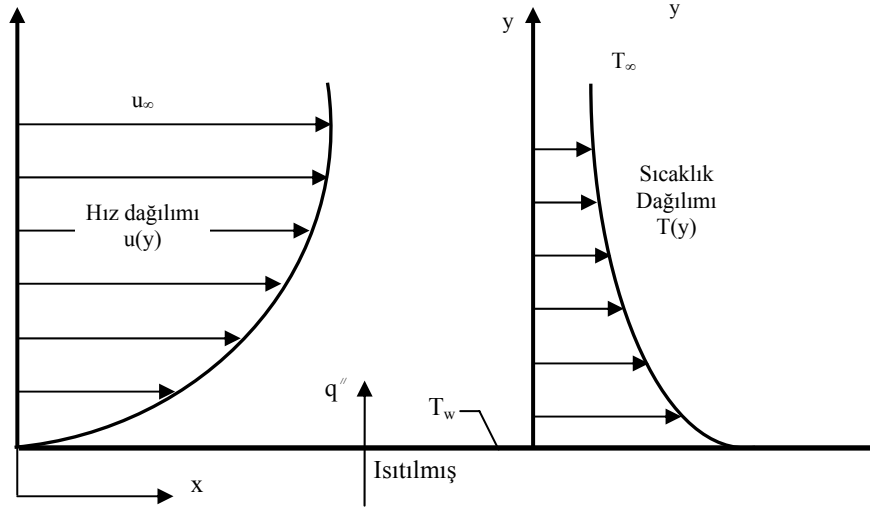
Dünya ülkeleri ısı yalıtımı için yatırımlar yapmaktadır. Bu nedenle, çeşitli bilimsel araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında ele alınan konulardan biri de katı olan yalıtım malzemelerinin uygulama kalınlıklarının daha da inceltilmesidir. Günümüzde kullanılmakta olan katı yalıtım malzemeleri yeterince esnek olmadıkları için pek çok uygulama alanında kullanılamamaktadırlar. “*ince seramikler*” veya “*ileri teknoloji seramikleri*” olarak bilinen seramiklerin boyalarla birlikte kullanılması ile oluşturulan vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların kalınlıkları incedir. Katı yalıtım malzemelerine oranla kolay uygulanabilir, enerji tasarrufu uygulamaları alanındaki çoğu eksiğin de giderilmesini sağlamaktadırlar. Bu çalışmada, vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların hava kanallarında ısı yalıtım özellikleri incelenmiş ve klasik yalıtım yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

Hava kanalları imal edildikleri malzemelere ve geometrilerine göre sınıflandırılırlar. İklimlendirme tesisatlarında genellikle dikdörtgen kesitli ve galvanizli sacdan imal edilen kanallar kullanılmaktadır. Bu deneysel çalışmada, bu tipte kanallar kullanılmış deneyler ve hesaplamalar bu tür kanallar için yapılmıştır.

2. HAVA KANALLARINDA ISI TAŞINIMI

Isı taşınımı, rastgele hareket eden moleküller nedeniyle meydana gelen enerji transferi ve akışkanın kütle ya da mikroskobik hareketiyle oluşan enerji transferi şeklinde gerçekleşmektedir. Akışkanın kütle ya da mikroskobik hareketiyle oluşan enerji transferi, çok sayıda molekülün birlikte hareketiyle gerçekleşmekte ve mevcut sıcaklık gradyanında ısı transferini arttırmaktadır. Akışkanın kütle hareketiyle oluşan toplam ısı enerjisinin ve moleküllerin rastgele hareketiyle oluşan enerji taşınımının birlikte gerçekleşmesi, toplu halde moleküllerin rastgele hareketine sebep olur.

Mühendislik uygulamalarında genellikle, farklı sıcaklıklarda bulunan hareket halindeki bir akışkan ile bir yüzey arasında konveksiyonla gerçekleşen ısı transferiyle ilgilenilmektedir. Isıtılmış bir yüzey üzerindeki akış için hız ve sıcaklık değişimi Şekil 2.1’de verilmiştir. Akışkanla yüzeyin etkileşiminin bir sonucu olarak akışkan içerisinde, hızı akışa bağlı olarak yüzeyde sıfır değerinden, sonlu bir u_∞ değerine kadar değiştiği bir bölge oluşur. Bu bölge hidrodinamik (hız) sınır tabakası olarak isimlendirilir. Bununla birlikte, akışkan yüzey sıcaklıkları farklı ise, sıcaklık değeri $y = 0$ ’da T_w ve dış kısımda T_∞ olan bir akışkan bölgesi oluşur. Bu bölge ise ısıl sınır tabaka olarak isimlendirilir ve hidrodinamik sınır tabakadan daha küçük, daha büyük veya onunla aynı büyüklükte olabilir. $T_w \neq T_\infty$ olduğu herhangi bir durumda yüzeyle akışkan arasında taşınım ısı transferi gerçekleşir.



Şekil 2.1 Taşınım ile ısı transferinde sınır tabaka gelişimi

Isıl taşınımında, sınır tabaka içerisindeki akışkanın kütle hareketi ve rastgele molekül hareketiyle ısı transferine olan katkısı, akışkan hızının düşük olduğu bölgelerde etkindir. Yüzeyde ($y = 0$) akışkan hızı sıfırdır ve ısı sadece iletimle transfer edilir. Akışkanın kütle hareketiyle ısı transferine olan katkısı, x yönünde ilerleyen akışkanın sınır tabakasını geliştirmesiyle meydana gelir. Sonuçta, bu tabaka içerisinde taşınan ısı, alt akışlar tarafından süpürülür ve sınır tabaka dışındaki akışkana transfer edilir. Taşınım ile ısı transferi Newton'un soğuma kanunuyla aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q'' = h(T_w - T_\infty) \quad (2.1)$$

Akış şartları yüzeyde her noktada değişmekte, buna bağlı olarak q'' ve h 'in değerleri de yüzey boyunca değişmektedir.

Tüm yüzey için ortalama ısı taşınım katsayısı h_m ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$) tanımlanırsa toplam ısı transferi Eş.2.2'de olduğu gibi verilir.

$$Q = h_m A_s (T_w - T_\infty) \quad (2.2)$$

Buradaki ortalama ısı taşınım katsayısı ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$h_m = \frac{1}{A_s} \int_{A_s} h dA_s \quad (2.3)$$

Dış akışlarda sınır tabakanın gelişimi sınırlama olmaksızın devam ederken, iç akışlarda akışkan kanal yüzeyi tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle de, sınır tabaka gelişimi sınırlanmaktadır.

İç akış tipi, ısı transferiyle ilgili mühendislik uygulamalarında oldukça sık rastlanılan bir durumdur. Özellikle ısı değiştiricilerinin dizaynı ve ısı transferi analizleri için kanal içerisindeki akış koşulları çok büyük önem taşımaktadır. Isı değiştiricilerinin boyutları öncelikli olarak kanalın iç yüzeyi ile kanal içerisindeki akışkan arasındaki ısı transferi katsayısına bağlıdır. Kanal içerisindeki akışta ortalama ısı transferi katsayısı biliniyorsa, kanal ile akışkan arasındaki ısı transferi miktarı, akışkanın kanal içerisindeki ortalama sıcaklığı ve kanalın yüzey sıcaklığı kullanılarak,

$$Q_t = h_m A_s (T_w - T_b) \quad (2.4)$$

bağıntısı ile bulunmaktadır.

Herhangi bir ısı taşınımı problemini tanımlamanın ilk adımı, akışın laminar ya da türbülanslı olup olmadığını belirlemektir. Yüzey sürtünmeleri ve ısı taşınımı bu şartların varlığına bağlıdır. Laminer ve türbülanslı akış şartları arasında oldukça büyük farklar bulunmaktadır. Laminer akış şartında akışkan hareketi oldukça düzenlidir ve parçacıkların hareket alanı boyunca akım çizgilerini belirlemek mümkündür. Akım hattı boyunca akışkan hareketi düşey ve eksenel doğrultudaki hız bileşenleriyle karakterize edilebilir. Yüzeye normal doğrultudaki v hız bileşeni sınır tabaka boyunca enerji ve momentum transferine etki eder. Türbülanslı akış şartında ise akışkan hareketi oldukça düzensizdir ve dalgalanma hızlarıyla karakterize edilir. Bu dalgalanmalar momentum ve enerji transferini artırır ve böylece taşınım

meydana gelen ısı transferinde yüzey sürtünmelerinin artmasına neden olur. Türbülanslı akış bölgesindeki şartlar, çok sayıda akışkan parçacığının gelişigüzel ve üç boyutlu hareketiyle karakterize edilmektedir. Türbülanslı akış tipinde sınır tabaka boyunca üç farklı bölge görülmektedir. Laminer alt tabakadaki taşınım difüzyon etkilidir ve hız profili lineere yakındır. Bunun bitişiğinde difüzyon ve türbülans karışımının olduğu bir ara tabakayla karşılaşılır ve daha üst kısımlarda ise taşınım türbülans karışımlarının baskın olduğu türbülanslı bölge görülür.

Akışın laminer veya türbülanslı olduğuna karar vermek için Reynolds sayısına bakılması gerekmektedir. Farklı geometrilerdeki kanal içerisindeki akışta Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. Kanal içerisindeki akışta kritik Reynolds sayısı,

$$Re \approx 2300 \quad (2.6)$$

olarak alınabilir. Bu değer laminer akış ile türbülanslı akış için bir ara değerdir.

Laminer akış için,

$$Re \leq 2300 \quad (2.7)$$

şeklinde tanımlanır.

Benzer şekilde tam türbülanslı akış için ise,

$$Re > 10000 \quad (2.8)$$

olarak ifade edilmektedir.

Kanal içerisindeki akışta akışın laminar veya türbülanslı olmasına ek olarak, giriş ve tam gelişmiş olma koşulları da irdelenmektedir. Akışkan, kanal içerisine girerken yüzeyle temas etmeye başlar, yüzeyle teması sonucunda da sürtünme etkileri önem kazanır ve kanal içerisinde ilerledikçe sınır tabak gelişir. Bu gelişme, sürtünmesiz akış bölgesinin giderek küçülmesi ve kanal ekseninde sınır tabakalarının birleşmesiyle sona erer. Bu birleşme noktasından sonra, sürtünme bu kesit boyunca etkili olur ve hız profili artık aksenel yönde değişmez. Bu noktadan sonra akış tam gelişmiş olarak adlandırılır. Girişten itibaren bu koşulun gerçekleştiği noktaya kadar olan uzaklık hidrodinamik giriş uzunluğu ($x_{fd,h}$) olarak tanımlanır.

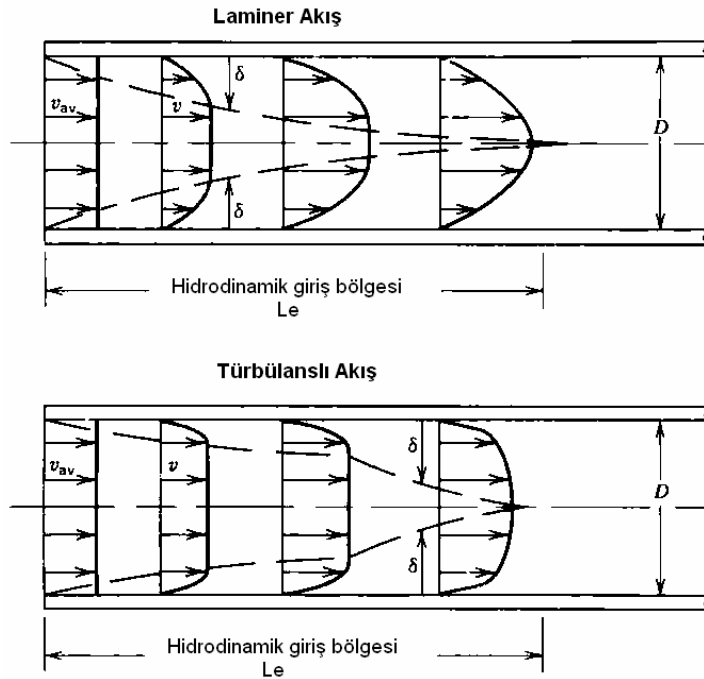
Elde edilen sonuçların ışığı altında, laminar akış için hidrodinamik olarak tam gelişmiş bölgenin olduğu kanal uzunluğu,

$$\frac{x_{fd,h}}{D_h} \approx 0,05 Re \quad (2.9)$$

olarak ifade edilmektedir. Bununla birlikte, türbülanslı akış için laminar akıştaki gibi genel bir ifade yoktur. Türbülanslı akış şartlarında bu uzunluğun Reynolds sayısından bağımsız olduğu bilinmektedir. Türbülanslı akış şartlarında hidrodinamik olarak tam gelişmiş bölgenin uzunluğu,

$$10 \leq \left(\frac{x_{fd,h}}{D_h} \right) \leq 60 \quad (2.10)$$

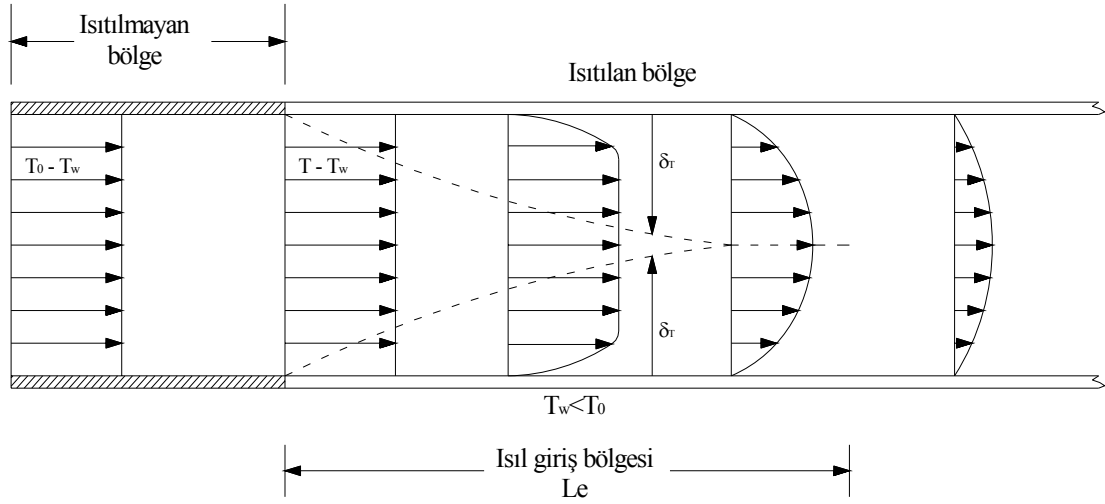
olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle, $(x_{fd,h}/D_h) > 10$ şartı türbülanslı akış şartlarında hidrodinamik olarak tam gelişmiş şartlara ulaşılan mesafeyi vermektedir.



Şekil 2.2. Dairesel kanal içerisindeki laminar ve türbülanslı akışta hız profillerinin değişimi

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi tam gelişmiş laminar akış şartlarında hız profili parabolik bir şekil almaktadır. Türbülanslı akış şartlarında ise, hız profili laminar akıştaki parabolik hız profilinden daha düz bir şekil almaktadır. Hız profilindeki bu düzlük, türbülanslı akış içerisindeki bir çok partikülün çarpışması ve partiküllerin birbiri ile karışması sonucu oluşmaktadır. Bu karışmanın sonucu, kanalın duvar kısmındaki partiküllerin hızının artmasına, buna karşılık kanalın merkezindeki partiküllerin hızlarının düşmesine neden olmaktadır.

Bir akışkan kanalın yüzey sıcaklığından farklı bir sıcaklıkta kanala girdiğinde ise, taşınım ile ısı transferi olmakta ve ısı sınır tabaka gelişmeye başlamaktadır. Sınır tabakanın bu gelişimi kanal içerisinde ısı açıdan tam gelişmiş koşullara ulaşınca kadar devam eder. Ayrıca, kanal yüzeyinde sınır şartı sabit sıcaklık (T_w) ya da sabit ısı akısı (q'') olsa da kanal boyu yeterince uzun ise ısı olarak tam gelişmiş koşullara ulaşılmaktadır. Isıl olarak tam gelişmiş koşullara ulaşıldığında ısı taşınım katsayısı eksenel yönden bağımsız hale gelmektedir. Kanal içerisindeki akışkan için ısı giriş bölgesi ve tam gelişmiş bölgenin gelişimi Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Dairesel kanal içerisindeki akışta ısıtılmış bölgenin gelişimi

Laminer akış için ısıl giriş uzunluğu:

$$\left(\frac{x_{fd,t}}{D_h} \right)_{lam} \approx 0,05 Re Pr \quad (2.11)$$

olarak ifade edilmektedir.

Bununla birlikte, türbülanslı akışta koşullar yaklaşık olarak Prandtl sayısından bağımsızdır ve ısıl giriş uzunluğu genellikle $(x_{fd,t}/D_h) \cong 10$ olarak tanımlanmaktadır.

Eş. 2.11 ve Eş. 2.9 karşılaştırılırsa, $Pr > 1$ için hidrodinamik sınır tabakanın, ısıl sınır tabakadan $(x_{fd,h} < x_{fd,t})$ daha hızlı geliştiği, $Pr < 1$ için ise tersinin doğru olacağı görülmektedir. Yağlar gibi ($Pr \geq 100$) Prandtl sayısı çok büyük olan akışkanlar için ise $x_{fd,h}$, $x_{fd,t}$ 'den çok küçüktür ve ısıl giriş bölgesinin her yerinde tam gelişmiş hız profilinin oluştuğunu varsaymak mantıklıdır.

2.1. Ortalama Hız

Hız kesit boyunca değiştiğinden, iç akış söz konusu olduğunda ortalama hızla çalışmak gerekmektedir. Bu hız, akışkan yoğunluğu (ρ) ve kanal kesit alanı (A_k) ile çarpıldığında, kanal içerisinde geçen kütleli debiyi verecek şekilde,

$$\dot{m} = \rho V A_k \quad (2.12)$$

tanımlanmıştır. Sabit kesit alanlı boruda, sürekli, sıkıştırılamaz akışlar için, kütleli debi ($\dot{m}$) ve ortalama hız (V) eksenel yönden bağımsız sabitlerdir. Dairesel kesitli kanallarda ($A_k = \pi D^2/4$) akış için Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \quad (2.13)$$

biçiminde ifade edilir.

Kütle debisi, kesit boyunca kütle debisinin ($\rho u A$) integrali olarak da ifade edileceğinden,

$$\dot{m} = \int_{A_k} \rho u(r, x) dA_k \quad (2.14)$$

eşitliği yazılabilir. Dairesel borularda sıkıştırılamaz akış için ortalama hız,

$$V = \frac{\int_{A_k} \rho u(r, x) dA_k}{\rho A_k} = \frac{2\pi\rho}{\rho\pi_0^2} \int_0^R u(r, x) r dr = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r, x) r dr \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir. Eksen boyunca herhangi bir noktada, hız profili $u(r)$ biliniyorsa, bu bağıntı ortalama hızı (V) hesaplamak için kullanılabilir.

2.2. Ortalama Sıcaklık

Serbest akış hızının bilinmemesi, iç akışı tanımlamak için ortalama hızın kullanımını gerektirdiği gibi, serbest akış sıcaklığının bilinmemesi de ortalama sıcaklığın kullanımını zorunlu kılmaktadır. Verilen bir kesitte akışkanın ortalama (bulk) sıcaklığı, bu kesitten geçen akışkan tarafından taşınan ısı enerjisi dayanarak tanımlanmaktadır. Birim zamanda taşınan enerji ($\dot{E}_t$), birim kütlenin iç enerjisi ($C_v T$) ile kütle akı (ρu) çarpımının kesit boyunca integrali alınarak,

$$\dot{E}_t = \int_{A_k} \rho u C_v T dA_k \quad (2.16)$$

şeklinde elde edilmektedir. Buradan ortalama sıcaklık,

$$\dot{E}_t = \dot{m} C_v T_b \quad (2.17)$$

ifadesi kullanılarak,

$$T_b = \frac{\int_{A_k} \rho u C_v T dA_k}{\dot{m} C_v} \quad (2.18)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Dairesel borularda sıkıştırılmaz akış için c_v sabit olduğundan ortalama sıcaklık,

$$T_b = \frac{2}{VR^2} \int_0^R u(r, x) T(r, x) r dr \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada V kanal içindeki ortalama hız değerini ifade etmektedir.

2.3. Zorlanmış Isı Taşınımında Kullanılan Boyutsuz Sayılar ve Fiziksel Anlamları

Boyutsuz sayıların kullanılmasındaki amaç, birçok parametreyle uğraşmak yerine bu parametreleri aynı anda içeren boyutsuz sayılarla işlemi basitleştirmektir. Zorlanmış ısı taşınımında kullanılan boyutsuz sayılar arasında Reynolds sayısı (Re), Nusselt sayısı (Nu) ve Prandtl sayısı (Pr) sayılabilmektedir.

2.3.1. Reynolds sayısı (Re)

Atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak ifade edilen Reynold sayısı (Re), kanal içerisindeki bir akışta,

$$Re = \frac{VD_h}{\nu} \quad (2.20)$$

şeklinde tanımlanır. Burada ν (m^2/s) kinematik vizkoziteyi ifade etmektedir.

2.3.2. Prandtl sayısı (Pr)

Akışkanın ısı geçiş özelliğini belirtmektedir. Momentumun ve ısı yayılım katsayılarının oranıdır.

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.21)$$

şeklinde tanımlanır. Burada; α (m^2/s) akışkanın ısı yayılım katsayısını, C_p (J/kg.K) ise akışkanın özgül ısını ifade etmektedir.

$Pr=1$ olduğunda hidrodinamik ve ısı sınır tabaka kalınlıkları eşit olur. $Pr<1$ olduğunda hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ısı sınır tabaka kalınlığından daha küçüktür, $Pr>1$ olduğunda ise hidrodinamik sınır tabaka kalınlığı ısı sınır tabaka

kalınlığından daha büyüktür. Hidrodinamik ve ısıl sınır tabaka arasındaki oran Pr sayısının bir fonksiyonudur.

2.3.3. Nusselt sayısı (Nu)

Yüzeyde taşıınım ile olan ısı transferinin, iletimle olan ısı transferine oranı yada yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanı olarak ifade edilir. Nusselt sayısı (Nu), dairesel olmayan kanal içerisindeki akışta,

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (2.22)$$

şeklinde ifade edilir. Yüksek Nusselt sayılarında taşıınım ile olan ısı transferi fazladır.

3. HAVA KANALLARINDA ISI YALITIMI

Klima ve havalandırma tesisatlarında havanın nakliyle ısıl konforun sağlanabilmesi için hava kanalları kullanılmaktadır. Hava kanallarında havanın akışı fanlar aracılığıyla sağlanmaktadır. Kullanılan fanlar sebebiyle, kanal içerisinden dış ortama olan ısı aktarımı zorlanmış taşınım şeklinde gerçekleşmektedir. Literatürde dikdörtgen kesitli kanallarda, zorlanmış ısı taşınımı ile ilgili pek çok analiz vardır.

Barlette ve Pulvirenti [21] tarafından yapılan çalışmalara göre, dairesel kesitli olmayan kanallarda, özellikle dikdörtgen kesitli kanallarda, ısı transferine olan ilgi birincil olarak ısı değiştiricileri alanındaki ve hava kanallarındaki uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Dikdörtgen kesitli kanallarda ısı taşınımı konusunda literatürde mevcut olan en önemli araştırmalar Shah ve London [22], Shah ve Bahhti [23] ve Hartnett ve Kostic [24] tarafından yapılmıştır. Son yıllarda dikdörtgen kesitli kanallarda zorlanmış ısı taşınımı alanında yapılan çalışmalarda yeni sonuçlar elde edilmiştir.

Wang ve arkadaşları [25], yatay dikdörtgen kesitli hava kanallarında laminar akış şartlarında taşınım ile olan ısı aktarımını analitik ve sayısal olarak incelemiştir.

Hirota ve arkadaşları [26], kare kesitli düz bir kanal içerisindeki türbülanslı akışta ısı transferini incelemiştir. Bu deneysel çalışmada, düz kanal içerisindeki türbülanslı akışın momentum ve ısı transferinden kaynaklanan akış ve sıcaklık karakteristiklerinin karmaşık olduğu görülmüştür. Türbülanslı bir akışta ısı aktarımının anlaşılabilmesi için, türbülanslı akışın sıcaklık karakteristikleri bilinmelidir. Hirota ve arkadaşlarının yaptıkları bu çalışma kare kesitli kanalda zorlanmış ısı taşınımı için hesaplanan ısı akılarını ve hız ile sıcaklık dalgalanmaları arasındaki ilişkiyi sunmaktadır. Ayrıca, türbülanslı akıştaki ısı akısı ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki incelenmiştir. Deneysel ölçümlerin sonuçlarına dayanarak, türbülans viskozitesi, türbülans ısı yayılımı ve türbülans Prandtl sayısı elde edilmiştir. Sonuç olarak kare kesitli bir kanal ile dairesel kesitli bir kanalın simetri eksenlerinde türbülans viskozitesi ve türbülans Prandtl sayısının benzer olduğu; fakat

kanal köşelerine doğru gidildikçe bu türbülans ısı yayılımının azaldığı ve türbülans Prandtl sayısının arttığı görülmüştür. Dolayısıyla türbülans Prandtl sayısının sabit olarak alınmasının kare kesitli kanaldaki türbülanslı bir akış için uygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Ahmed ve Brundrett [27], dairesel kesitli olmayan kanallarda türbülanslı akışı incelemişlerdir. Bu çalışmada, kare kesitli bir kanalda türbülanslı akışın geliştiği bölgede akış özellikleri incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar 50000 ve 150000 arasındaki Reynolds sayıları için ortalama hız profilini, bazı bölgelerdeki kayma gerilmelerinin dağılımını ve statik basınç dağılımını içermektedir. Duvar yakınındaki bölgelerde akışın hızlı bir şekilde tam gelişmiş özellikler gösterdiği görülmüştür. Mühendislik hesaplamalarında kanallarda ısı transferi ve kayma gerilmesi ile ilgili olarak etkin bir gelişme uzunluğunun tanımlanması incelenmiştir.

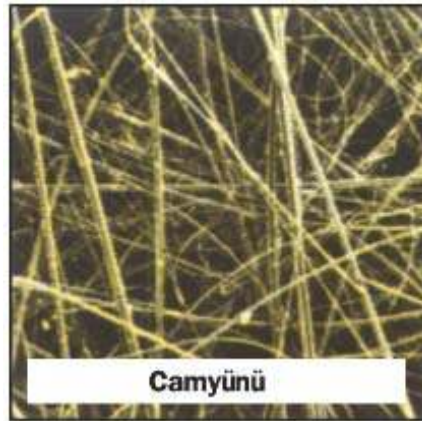
Isıtma, havalandırma, iklimlendirme ve hava kanallarında ısı transferi ve ısı yalıtımı Amerikan Isıtma, Soğutma, İklimlendirme Mühendisleri Birliği (ASHRAE) tarafından incelenmiş ve standardize edilmiştir. Bu standartlara göre hava kanalları içerisinden dış ortama olan ısı kaybının ve enerji tüketiminin minimum düzeyde tutulması için havalandırma kanallarında ısı yalıtımı yapılmalıdır. Bu amaçla farklı ısı yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır.

3.1. Klasik Yalıtım Malzemeleri

Yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile tesisat ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan ısı yalıtım malzemeleri birbirinden farklı özellikler göstermektedir. Hava kanallarında klasik yalıtım malzemeleri iki ana grupta incelenebilir. Bunlar; mineral lifli malzemeler (cam yünü vb.) ve yumuşak köpüklerdir (Elestomerik kauçuk köpüğü vb.).

3.1.1. Cam yünü

Cam, ısı yalıtım malzemesi olarak çapları mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Cam yünü elde edilmesi için hammadde oranları farklılık göstermekle birlikte, ortalama olarak %54 SiO₂, %15,7 Al₂(OH)₃, %0,5 Fe₂O₃, %16 CaO, %3,8 MgO, %8 boroksit alınır. İmal usulüne göre takriben 3 - 40 mikron çapındaki liflerden meydana gelmiş olup, 500 °C gibi yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilir. Özel olarak imal edilip 700 °C sıcaklığa kadar kullanılan türleri de mevcuttur. Daha yüksek sıcaklıklar için arada hava boşluğu bırakılır veya taş yünü gibi daha yüksek sıcaklıklara dayanıklı yalıtım malzemeleri araya yerleştirilir. Özgül ağırlıkları ortalama 15 - 200 kg/m³ arasında değişip ısı iletim katsayıları 0 °C sıcaklıkta $k = 0,028 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ değerinden 450 °C sıcaklıkta $k = 0,065 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ değerine kadar artar. Özgül ısı 0,18 kcal/kg°C gibi çok küçük değerde olduğundan aralıklı çalışmalar için uygundur. Cam yününün mikro yapısı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Cam yününün mikro yapısı

Diğer ısı yalıtım malzemelerine göre yalıtım uygulamalarında oldukça geniş bir kullanım sahası olan cam yününün başlıca özellikleri şunlardır:

- Yanıcı değildir.
- Dış kuvvetler tesiriyle kolayca deforme olur, kuvvet etkisi geçince eski formuna gelir.
- Higroskopik (havadan nem emme özelliği) değildir.
- Kimyasal olarak nötrdür, korozyon tehlikesi yoktur.
- Atmosferik şartlara dayanıklıdır.
- Asitlere karşı (hidrofluorik asit hariç) dayanıklıdır.
- Küf tutmaz.
- Üzerinde haşere yuvalanmaları oluşmaz.
- Bıçak gibi kesici bir aletle kolayca kesilebilir.
- Vana gibi çok girintili olan parçaların yalıtımında uygundur.
- Deri ile temas edince kaşıntıdır ve bu sebeple eldiven kullanılması gerekir.
- Sarsıntı ve ufalanmaya dayanıklıdır.

Cam yünü hava kanallarında, buzdolaplarında, havagazı fırınlarında, merkezi ısıtma sistemlerinde, duvar, döşeme ve tavanlarda, sanayide, vana ısı yalıtımında, taşıtlarda çok fazla kullanılmaktadır. Cam yünü altı farklı yöntemle üretilir.

- Çubuk çekme yöntemi
- Hazne tambur yöntemi
- Meme çekme yöntemi
- Meme üfleme yöntemi
- Savurma yöntemi
- Kombine savurma ve uzatma yöntemi

3.1.2. Elastomerik kauçuk köpüğü

Esnek kapalı hücre yalıtım malzemeleri ilk olarak yaklaşık 50 yıl önce üretilmeye başlanmıştır. Zamanla bu tür yalıtım malzemelerinin kullanımı oldukça artmıştır. Bu malzemeler soğutma sistemlerinde, iklimlendirme ve soğutulmuş su uygulamalarında yoğunlaşma ve enerji kaybını (ısı transferini) önlemede oldukça başarılı olmuştur. Ayrıca, evlerde kullanılan sıcak sudan, orijinal makine üreticilerinin su soğutucuları

ve çiller gibi uygulamalarına kadar değişen geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Esnek kapalı hücre yalıtım malzemelerinin enerji kaybının önlenmesi ve doğal kaynakların korunmasına yönelik ikincil etkisi, enerji tüketimiyle oluşan sera gazlarını azaltmasıdır. Kapalı hücre yalıtım malzemesi, birbirinden bağımsız küçük hücrelerden oluşan bir yalıtım malzemesi olarak tanımlanmaktadır.

Elastomerik esaslı yalıtım malzemeleri genel olarak, kimyasal bir şişirme ortamı kullanarak polivinilklorür (PVC) ve nitrilbütadien kauçuğun (NBR) karışımı esasına dayanır. Üretimdeki temel proses adımları; karıştırma, ekstrüzyon veya şekillendirme ve ısıtmadır. Isıtma adımı süresince, malzemenin elastomerik kısmı çapraz bağlanır ya da başka bir ifade ile vulkanize olur ve kimyasal şişirme ajanı, azot gazı verecek şekilde bozunmaya uğrar. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan levha formunda ki ürün 1930'larda üretilmiştir. 1940'ların sonunda, bugün kullanılanlara benzer levha ürünler yalıtım ve ped uygulamaları için askeriye tarafından kullanılmak üzere ticari olarak üretilmiştir. İlk kesiksiz boru ürün 1950'lerde üretilmiştir. Günümüzde düz levha şeklinde de ekstrüzyonla şekillendirilen kesiksiz levha ürünler, ilk olarak geniş çaptaki boruların ortadan kesilmesi ile üretilmiştir. Levha ürünler 50 mm kalınlık ve 2 m ene kadar üretilabilmektedir. Boru ürünler ise 200 mm iç çapa ve 32 mm kalınlığa kadar üretilmektedir. Şekil 3.2'de elastomerik kauçuk köpüğünün mikro yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. Elastomerik kauçuk köpüğünün mikro yapısı

Günümüze kadar satılan elastomerik esaslı yalıtım malzemelerinin büyük çoğunluğu PVC/NBR kauçuk polimerik karışım esaslıdır. Standart elastomerik esaslı yalıtım malzemeleri PVC'nin yanı sıra, ürünün yanma özelliklerini iyileştiren halojenli maddeler de içerir. Son zamanlarda yeni bir elastomerik esaslı ürün sınıfı dikkat çekmektedir. Bu yeni türdeki malzemeler PVC esaslı değildir ve halojen içermezler. Bu karışımlar, halojen içeren ürünlerle ilgili, ürün yandığında oluşan korozif duman gibi potansiyel problemleri tamamen ortadan kaldırır. Ancak, son zamanlarda piyasadaki halojen olmayan ürünler, ASTM E-84'e (Yapı Malzemeleri Yüzeyleri Yanma Karakteristikleri Standardı) göre test edildiğinde, standart kalınlık için duman oluşum indeksi 50 değerine ulaşmamaktadır. Elastomerik esaslı yalıtım malzemeleri mükemmel esneklik, düşük su buharı iletimi, düşük ısıl iletkenlik ve yönetmelikler için gereklilikleri karşılayan yanma özellikleri sunmaktadır. Bu polimerik karışımın sağladığı diğer özellikler, yağ ve ozona karşı iyi direnç ve mükemmel yapışma-kaplanma özelliği değeridir. Kullanım sıcaklık aralığı -57 °C ile 105 °C'dir. Kapalı hücre elastomerik esaslı yalıtım malzemelerinin fiziksel özellikleri, çok sayıdaki katkı maddesinin (dolgu maddeleri, yumuşatıcılar ve alev geciktiriciler vb.) eklenmesiyle artırılabilir. Elastomerik esaslı yalıtım malzemeleri, soğutma, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında ısı yalıtımı ve yoğunlaşmayı önlemek için kullanılmaktadır. Belirtilen sıcaklık aralığında, bu ürünün uygun uygulama teknikleri ile kullanımına engel teşkil eden sınırlamalar yok denecek kadar azdır. Bu malzemeler tesisatlarda (sıcak ve soğuk su), toprak altı boru uygulamalarında, kanal yalıtımı ve sıcak su ısıtma sistemlerinde kullanılabilir. Elastomerik esaslı yalıtım malzemeleri elyaf, toz ve toksin madde içermez. Üretim prosesinde CFC (Chlorofluorocarbons) gazlarını kullanmaz

Elastomerik kauçuk köpüğü malzemelerinin üretimini altı ana başlıkta tarif etmek mümkündür. Bunlar; hammadde, master batch, final batch, ekstrüder, vulkanizasyon ve ürün teminidir. Bu üretim aşamaları;

- Kauçuk köpüğü üretiminde, çinko, plastikler, alev geciktiriciler, yağlar, dolgular, sülfür gibi yaklaşık 30 – 35 hammadde kullanılmaktadır.

- Masterbatch aşamasında kauçuk hammaddes, yüksek sıcaklıkta, bambury'den geçer. "Open Roller" ünitesinde çekilerek "Ön Levha" formuna getirilir. Masterbatch aşamasında yarı mamul uzun süre stoklanabilmektedir.
- Finalbatch aşamasında kimyasal hızlandırıcı ve yavaşlatıcılar ile köpürtme ve şişirme amaçlı kimyasal katkıları kullanılır. Elde edilen mamulün 6 – 10 saat içinde tüketilmesi gereklidir. Farklı reçeteler kullanılarak boru, levha ve diğer özel ürün tipleri elde edilmektedir.
- Finalbach'ten gelen karışıma, extrüderde form verilir ve ürün son şekline yaklaşır.
- Ekdrüderden çıkan ürün fırına girer. Fırında yüksek sıcaklıklarda pişirilir ve ardından şişirme işlemi gerçekleştirilir.
- Su ile soğumanın ardından elastomerik kauçuk köpüğü son şeklini alır.

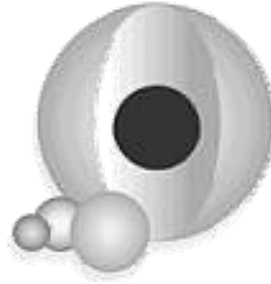
3.2. Vakumlu Mikro Seramik Küre Katkılı Yalıtım Malzemeleri

İçi boş mikro seramik taneciklerin başlıca özelliklerini şöyle sıralayabiliriz; [16]

- Boyanın dayanıklılığını artırır ve ömrünü uzatır.
- Isıl iletim katsayıları 0,1 W/m°C gibi düşük bir değerdedir.
- Isıya dayanıklıdır.
- Et kalınlıkları çaplarının 1/10'u kadardır.
- Kimyasallara karşı oldukça dirençlidirler.
- Tepkimeye girmezler.
- 280 kg/cm², 44816 - 413685 kPa basınç dayanımına sahiptirler.
- Yaklaşık 1800 °C 'ye kadar sıcaklık dayanımına sahiptirler.
- Isı, ses ve nem yalıtımı sağlarlar.
- Korozyonu önleme özellikleri vardır.
- Toksik madde içermezler.

- UV (mor ötesi) ışınlar karşı ve uzun dönemli olumsuz iklim etkilerine karşı koruyucudurlar.
- Radyasyonu yansıtır ve engelleyebilirler.
- Diğer malzemelerle karıştırıldıklarında ısı dirençlerini artırırlar.

Bu özellikler içlerindeki fazın tamamının çıkarılıp, sıcak hava akımını azaltmak için tasarlanmış, bir vakum ortamı oluşturulması ile geliştirilmiştir. Şekil 3.3.'de mikro yapıdaki seramik küre içindeki boşluk görülmektedir.

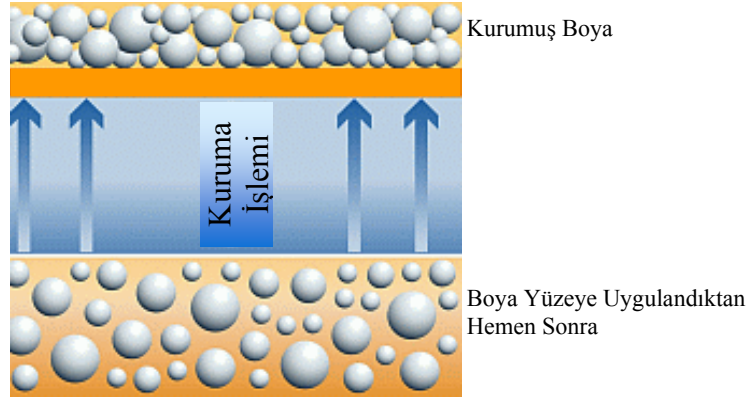


Şekil 3.3. Mikro yapıdaki içi boş seramik küre

Seramik parçaların diğer maddelerle kimyasal reaksiyona girmemeleri, toksin olmamaları gibi özellikleri herhangi bir tip boya, kaplama, yapıştırıcı ve yapı malzemesiyle birlikte kullanımına izin verir.

Mikro seramik taneciklerin içinde herhangi bir gazın mevcut olmaması ile boya içerisine karıştırıldığında, birbirlerine daha da yaklaşarak, kaplama sıkıca daralır, boyadan daha hafif olduklarından yüzeyde bir film şeridi oluştururlar.

Mikro tanecikler başka materyallerle birleştğinde bu materyallerin termal dirençlerini artırırlar.

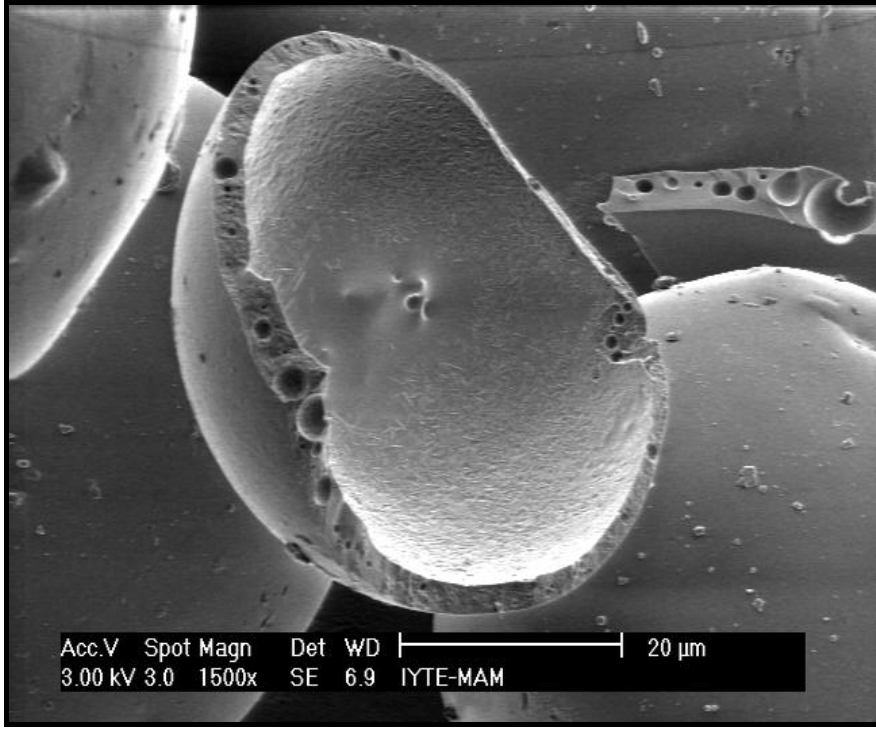


Şekil 3.4. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyanın nemli ve kuru halleri

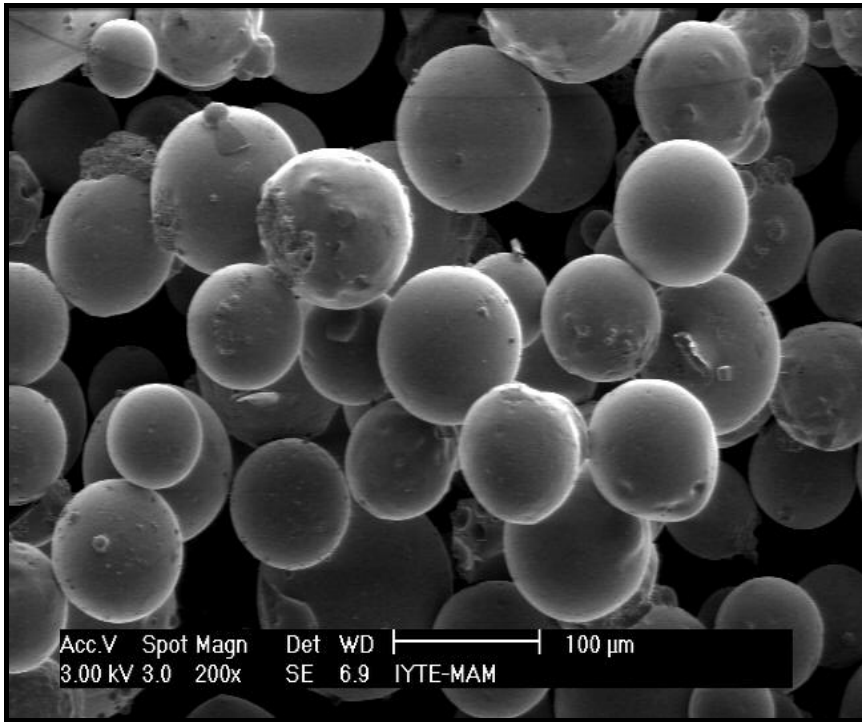
Şekil 3.4’de görüldüğü gibi yüzeyin kuruması ile birlikte yüzeydeki ısı transferi minimum düzeye iner.

Katkı maddelerinin kullanılması ile üretilen ürünler, çeşitli sanayi sektörlerindeki kullanıcıların ihtiyacına cevap vermek üzere, katkı oranı, ilave katkılar ve işleme yöntemleri değiştirilerek imal edilir ve kullanıcıya sunulurlar.

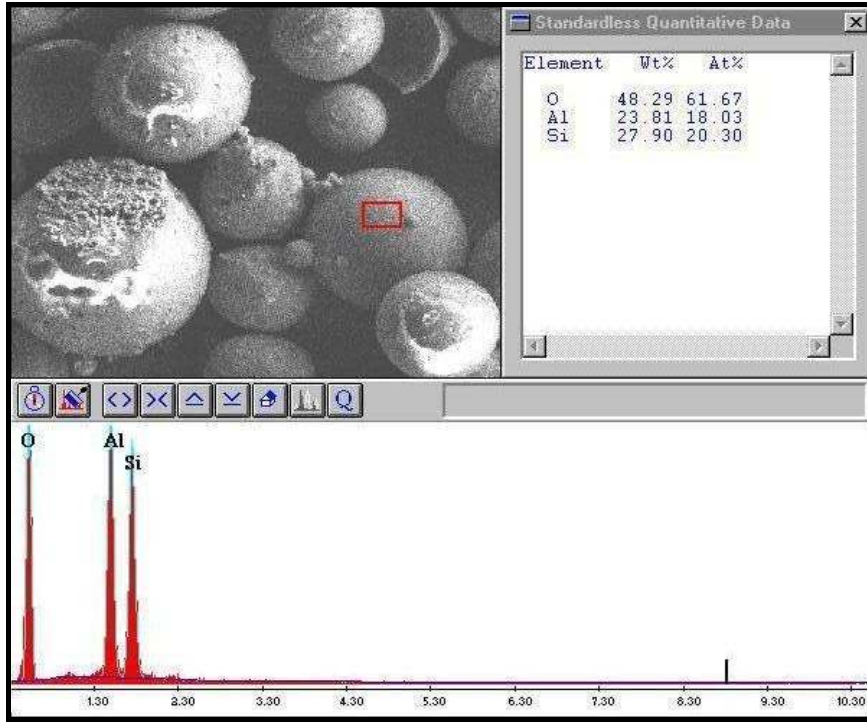
Güneş ışınlarının %95’ini ve atmosfere radyasyonla geri dönen mor ötesi ışınların %85’ini engelleyerek ısıyı hızla dağıtır.



Resim 3.1. Vakumlu mikro seramik küreciklerin elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafları



Resim 3.2. Vakumlu mikro seramik küreciklerin elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafları



Resim 3.3. Vakumlu mikro seramik küreciklerin elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafları

Resim 3.1, Resim 3.2 ve Resim 3.3’de vakumlu mikro seramik kürelerin elektro mikroskopla çekilen fotoğrafları görülmektedir.

Resim 3.1’de verilen fotoğrafta taneciklerin içinin boş, çaplarının oldukça küçük ve et kalınlığının çok ince olduğu görülmektedir. Bu fotoğraf 1500 kez büyütülerek çekilmiştir.

Resim 3.2’de vakumlu mikro seramik mikro kürelerin bir kısmının büyük, bir kısmının küçük boyutlarda olduğu görülmektedir. Ayrıca bu taneciklerin geometrilerinin tam küre olmaması fotoğrafta görülen tanecikler üzerine farklı ışınların gönderilmesi sonucu veya uygulanan ısı işlemlerden kaynaklanmış olabilir. Bu fotoğraf 200 kez büyütülerek çekilmiştir.

Resim 3.3’de vakumlu mikro seramik kürelerin elementsel içerikleri gösterilmiştir. Yapılarında sırasıyla en fazla oksijen, silisyum ve alüminyum bulunmaktadır.

Vakumlu mikro seramik küre katkı malzemesinin boyalarla kullanımı tavsiyeler. Seramik katkı uygun miktarda boya ile karşılaştırılmalıdır. Karışım oranı 4 ölçek boya için 1 ölçek seramik katkı şeklindedir. Katkı ve boya yavaş yavaş dökülerek büyük bir kaptaki karıştırılmalıdır. Yalıtım seramikleri parçacıklarının tamamen homojen dağılmış olması gerekir. Seramik katkının boyayla tamamen karıştığından emin olunmalıdır. Eğer boya son kullanımından sonra 2 saatten fazla beklemişse, boyaya başlamadan önce, 1 dakika boyunca karıştırılmalıdır. [15]

Seramik katkı, zehirleyici olmayan, organik seramik mikrokürelerden oluşan çevre zararlı maddeler içermeyen bir karışımdır. Eğer, bu ürünün boya ile karıştırılmadan önce hava ile taşınımı söz konusuysa, fazlaca solunumu solunum organlarına zarar vereceğinden, boya toz halindeyken toz maskesi takılmalıdır. [15]

Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların bazı özelliklerini üretici firma tarafından tanımlanmıştır. Boya şeklinde yüzeye uygulandığında, mikro taneciklerden oluşan kaplama küçülür ve vakum hücrelerinden oluşan yoğun bir film tabaka yaratır. Mikro seramik tanecik katkılı boya yüzeye gelen güneş ışınlarının %95'ini, ultraviyole ışınlarının %85'ini geri yansıtırlar. Uygulandığı atmosfere açık yüzeylerde ısı yalıtımını sağlar, nemi önler, korozyona karşı kesin çözüm sağlar, ultraviyole ışıklardan korur, ses yalıtımı sağlar ve termit gibi böcekleri uzak tutar. Kesinlikle toksik madde içermediği için doğa ve insan sağlığı açısından zararlı değildir. [15]

Yalıtımlı seramik teknolojisi, içinden sıcak akışkan geçen boru ve kanalların yüzeylerine uygulandığında ısıнын dışarı akışını engellemekte, içinden soğuk akışkan geçen boru ve kanallarla uygulandığında ise ısıнын içeri doğru akışını önlemektedir.

İçerisi boş seramik mikro tanecikler içlerinde herhangi bir gaz mevcut olmadığı için boya içerisine karıştırıldığında birbirlerine daha da yaklaşarak boyadan daha hafif oldukları için yüzeyde bir film şeridi oluştururlar. Yüzeyin kuruması ile birlikte, içleri vakumlu mikro seramik küreler, vakum içerisinde hiçbir madde olmadığından,

hiçbir etkiyi iletim yoluyla aktarmazlar. İçi boş mikroküreler ısıнын iletimi için gerekli yolu küçölterek ısıнын absorbe edilmesini engeller ve dağıtırlar.

Eğer, bu ürünün boya ile karıştırılmadan önce hava ile taşınımı söz konusuysa, fazlaca solunumu solunum organlarına zarar vereceğinden, boya toz halindeyken toz maskesi takılmalıdır.

4. SERAMİK KATKI MADDELERİNİN ÜRETİMİ

4.1. Katkı Maddelerinin Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Seramik üretiminde kullanılan hammaddelerin içinde hem teknolojik, hem de miktar açısından en önemli bileşen killerdir. Dünyada ve Türkiye’de seramik denilince akla killer gelmektedir

Dünyada teknolojik gelişmelere paralel olarak ileri teknoloji seramiklerin önemi giderek artmaktadır. Bu nedenle seramiğin hammaddesi olan killer hakkında birçok bilimsel araştırma yapılmış ve halen araştırılmaya devam edilmektedir.

Dünya ve Türkiye literatürlerinde seramik killeri; kil, kaolen, refrakter kil ve bentonit ile birlikte değerlendirilmektedir. Bu nedenle özellikle dünyada yapılan literatür taramalarında, seramik killeri sınıflandırmak çok zor olmaktadır. Türkiye’de üretim yapan ve tüketen kuruluşlardan elde edilen bilgiler paralelinde, seramik killeri bilgileri sınıflandırmaya çalışılmıştır. Tanım ve sınıflama çalışmalarında bahsedildiği gibi, kil ve kaolenler aynı kimyasal sınıflama içerisinde tanımlanmakta, sadece fiziksel özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. [14]

Literatürde kil minerallerinin sınıflanmasında bir birliktelik mevcut değildir. Birçok araştırmacı tarafından kabul edilen sınıflamalar mevcuttur. Killer, sulu alüminyum silikat olup bu sınıflama içerisindeki tüm mineraller için partikül boyu 1/256 mm veya 4 mikron olarak verilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda kil boyutunun 2 mikrona kadar düştüğü savunulmaktadır. Daha büyük boyutları kil kavramına dahil edilmemektedir. [14]

Hem hidrotermal faaliyetin sebep olduğu bozuşma ürünleri için, hem de sedimantasyon yoluyla çökelmiş taneler için geçerli bir kavram olarak sayılmakta olup, bu tür küçük parçacıkları oluşturan minerallere göre kimyasal sınıflandırmalar yapılmıştır. Kil minerallerini kristal yapılarına göre sınıflandıran DEGENS’in yaptığı çalışma Çizelge 4.1’de verilmiştir. [14]

Çizelge 4.1. Degens'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması [14]

Yapı	Grup	Cins
2 Tabakalı olanlar	Kaolinit Grubu	Kaolinit
	a- Eş boyutlu olanlar	Dikit
	b- Bir yönde uzamış olanlar	Halloysit
3 Tabakalı olanlar	Smektit Grubu	Montmorillonit
	İllit Grubu	Bedielit
	Vermikülit Grubu	İllit
		Vermikülit
4 Tabakalı olanlar	Klorit Grubu	Klorit
Zincir Yapısı olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit
		Atapulgit
		Paligorskit

Bu konuda diğer bir araştırmacı olan R.L. Bates'in kil mineralleri için yaptığı çalışma ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. R.L. Bates'e göre kil minerallerinin sınıflandırılması [14]

A- Kaolinit grubu	Bileşim	Köken
1- Kaolinit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Ayrışma, hidrotermal ayrışma
2- Dikit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
3- Nakrit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
4- Anaksit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Hidrotermal ayrışma
5- Halloysit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Ayrışma
6- Endellit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$	Ayrışma
B- Smektit grubu	Bileşim	Köken
1- Montmorillonit	$Mg_2Al_10Si_4(OH)_{12}(Na,Ca)$	Hidrotermal ayrışma
2- Nontronit	$FeSi_{22}Al_{22}O_{60}(OH)_{12}(Na_2)$	Hidrotermal ayrışma
3- Saponit	$Mg_{18}Si_{22}Al_2O_{60}(OH)_{12}(Na_2)$	Hidrotermal ayrışma
4- Beidellit	$Al_{13}Si_{19}Al_5O_{60}(OH)_{12}(Na)$	Hidrotermal ayrışma
5- Hektorit	$Li_2(Al,Fe,Mg)(Si_2Al_2)O_5OH$	Hidrotermal ayrışma
C- İllit grubu	Bileşim	Köken
	$(Al_4Fe_4Mg_6)O_{20}(OH)_4Ky(Sig-yAl_y)$	Ayrışma (Hidromika Grubu)
D- Klorit grubu	Bileşim	Köken
1- Atapulgit	$Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2 \cdot 4H_2O$	Ayrışma, kim. çökelim
2- Sepiyolit	$Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot n H_2O$	Ayrışma, kim. çökelim
3- Allofan	$Al+SiO_2+H_2O$	Ayrışma

Literatürde yer alan çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.3.' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri [14]

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	H ₂ O	TOPLAM
Kaolinit	46.90	37.40	0.66	0.27	0.29	0.84	0.44	0.18	12.95	99.92
Nakrit	44.75	39.48	0.53	0.19	0.13	0.34	0.22	-	14.40	100.94
Dikit	46.86	37.12	1.43	0.09	0.22	0.60	0.07	0.51	12.99	99.89
Halloysit	44.75	36.94	0.31	-	0.11	0.60	-	-	17.42	100.01
Anauxit	54.32	29.96	2.00	0.14	0.32	-	0.37	-	12.64	99.75
Nontronit	40.54	5.19	31.63	0.06	1.92	0.24	0.14	-	20.75	100.47
Klorit	31.44	17.62	-	37.64	-	-	-	-	13.19	99.89
Proklorit	23.69	21.26	26.52	17.60	3.22	-	-	-	7.63	99.92
Sepiyolit	52.50	0.60	2.99	21.31	0.47	-	-	-	21.27	99.14
Atapulgit	57.85	7.89	2.82	13.44	0.30	0.08	0.53	-	16.95	99.86

Killer hakkında çalışan diğer araştırmacılar Herman ve Parmelee, killerin belirli özelliklerini aşağıdaki şekilde göstermektedirler [14].

1. Kompozisyonları

A- Mineralojik kompozisyon : Mineral çeşitleri, tipleri

B- Fiziki Kompozisyon : Partikül ebatları, dağılımlar, her bir mineralin şekli

C- Kimyevi kompozisyon

2. Birinciden türemiş faktörler veya özellikler

A- Absorbsiyon olayı

B- Dokusal karakteristikler

3. İkincinin A ve B'siyle kontrol edilen fiziki özellikler

A- Kuru mukavemet

B- Kuru küçülme

C- Plastisite

- D- Akış Karakteristiği
- E- Süspansiyonların durgunluğu
- F- Kuru davranış
- G- Geçirgenlik

4.2. Katkı Maddelerinin Üretimiyle İlgili Yapılan Çalışmalar ve Üretim Yöntemleri

Károly ve Szépvölgyi [28], RF ısı plazma yöntemiyle içi boş alümina küresel mikro parçacıkların hazırlanmasını incelemiştir. Bu çalışmanın amacı, hammaddelerin (alümina ve alüminyum hidroksit) su yüzdesi, gözenekliliği ve gaz fazının boşlukların oluşumuna etkisini araştırmaktır. Károly ve Szépvölgyi, farklı yapıdaki seramik taneciklere uygulanan ısı plazma işleminin taneciklerin küreselleşmesinde etkili olduğunu gözlemlemiştir. Başlangıçta yüksek su oranı boşlukların şekillenmesi için bir gereklilik değilken, gözenekli yapı en önemli faktördür. Deneysel çalışmada, hammadde Al_2O_3 ile $Al(OH)_3$ malzemeleri, gaz ortam olarak ise $Ar + O_2$ ve $Ar + H_2$ kullanılmıştır. Gaz ortam $Ar+H_2$ iken, içi boş parçacıkların büyüklükleri Al_2O_3 için ısı işleminden önce 30,3 μm , ısı işleminden sonra ise 38,3 μm ve alüminyum hidroksit için ise, ısı işleminden önce 37,2 μm , ısı işleminden sonra 33,4 μm olmaktadır.

Küreselleşme tanecik boyutunu 45 μm altında tutarak $Al(OH)_3$ ile daha kolay gerçekleştirilmektedir. Yığın halinde olmayan küreselleşmiş tanecikler özel cihazlarla taranarak daha iyi gözlenebilir. Taneciklerin yüzeyi tanecik boyutuna bağlı kısmi ya da toplam buharlaşmayı engelleyen nano boyutlardaki taneciklerle az ya da çok kaplanmıştır.

İşlem sonrası hacim küçülmeleri ve yüksek yoğunluk kısmi eriyen yüzeyin buharlaşmasına bağlıdır. Boyutlardaki değişimler üretilen taneciklerin gözenekli yapısını göstermektedir. Taratılan nesnelerdeki bazı kırık küresel tanecikler de bunu desteklemektedir. Bu içi boş kürelerin hacimsel genişlemeleri düşük yoğunluklu ürünler yaratmaktadır. $Al(OH)_3$ ile yapılan işlemler, bazıları şekillerini korurken,

çoğunlukla küreselleştirilmiş taneciklerle sonuçlanmıştır. İçi boş mikro kürelerin oluşturulması için en önemli teorilerden birisi geniş iç boşlukların yüksek sıcaklıkta ergimiş küreler içindeki gazın hacim artışıyla yaratılmasıdır. Belirli bir kalınlığa ulaştıktan sonra, erimiş aluminadaki yüksek yüzey gerilmelerine bağlı olarak eriyen bölgede merkeze doğru küçük baloncuklar oluşmaktadır. Eğer baloncukların etrafı tamamen kaplanırsa, ergimiş dış kaplama içerisindeki hareket kabiliyetleri viskoz alumina akışkan içerisinde azalacaktır. Baloncukların ergimiş yüzey donmadan önce yüzeylerinin kırılması ile oluşan krater şeklindeki tanecikler bu ilgi çekici konuda iyi bir örnektir. İşlemler sırasında oluşan yüksek basınç gazların dışarı çıkmasını kolaylaştırmaktadır. Isıl plazmanın karakteristik özelliklerinden biri olan yüksek kademeli ısı düşüşü gerçekleştiği için, ergimiş taneciklerin donması hızlı olmaktadır.

Károly ve Szépvölgyi [29], bir RF ısı plazma reaktörü içerisinde küresel ve mikro boyutlardaki seramik taneciklerin yapılışını incelemişlerdir. Hammadde olarak kullanılan tozların büyük boyutlu olarak dağılımının küçük taneciklerin oldukça çok buharlaşmasına veya büyük taneciklerin yeterince erimemesine sebep olduğu sonucu elde edilmiştir. İçi boş seramik küreler özel ön işlemlerden geçirilmiş tozlardan hazırlanabilmektedir.

Cochran [30] tarafından detaylıca tarif edilen yaygın uygulama alanlarından dolayı içi boş seramik mikro kürelerin üretimi ile ilgili oldukça fazla araştırma yapılmaktadır. 5-200 µm çapında içi boş seramik mikro kürelerin yapımı için çeşitli üretim (işleme) teknikleri geliştirilmiştir. Su çekme esasına dayanan sol-gel işleme tekniği geleceği parlak yöntemlerden biridir.

Yığın halinde olmayan küreselleştirilmiş tanecikler özel cihazlarla taranarak daha iyi gözlenebilir. Taneciklerin yüzeyi tanecik boyutuna bağlı kısmi ya da toplam buharlaşmayı engelleyen nano boyutlardaki partiküllerle az ya da çok kaplanmıştır.

Boyutlardaki değişimler ve yoğunlukla çelişen genel beklentiler:

İşlem sonrası hacim küçülmeleri ve yüksek yoğunluk kısmi eriyen yüzeyin buharlaşmasına ve iç gözenekliliğinin olası eliminasyonuna bağlıdır. Bu yoğunlukla sonuçlarla ilgili bir durum değildir.

Boyutlardaki değişimler üretilen taneciklerin gözenekli yapısını göstermektedir. Taratılan nesnelerdeki bazı kırık küresel tanecikler de bunu desteklemektedir.

Bu içi boş kürelerin hacimsel genişlemeleri düşük yoğunluklu ürünler yaratmaktadır. Hacim ve yoğunluk değişimleri uyum içindedir.

$Al(OH)_3$ ile yapılan işlemler, bazıları şekillerini korurken, yoğunlukla küreselleştirilmiş taneciklerle sonuçlanmıştır.

İçi boş mikro kürelerin oluşturulması için en önemli teorilerden birisi geniş iç boşlukların yüksek sıcaklıkta ergimiş küreler içindeki gazın hacim artışıyla yaratılmasıdır.

Belirli bir kalınlığa ulaştıktan sonra, erimiş aluminadaki yüksek yüzey gerilmelerine bağlı olarak eriyen bölgede merkeze doğru küçük baloncuklar oluşmaktadır. Eğer baloncukların etrafı tamamen kaplanırsa, ergimiş dış kaplama içerisindeki hareket kabiliyetleri viskoz alumina akışkan içerisinde azalacaktır. Baloncukların ergimiş yüzey donmadan önce yüzeylerinin kırılması ile oluşan krater şeklindeki tanecikler bu ilgi çekici konuda iyi bir örnektir.

Mikro kürelerin hacminde etkili olabilecek farklı hammaddelerin gözenekli yapılarında dikkate değer farklar vardır.

Üretim işlemi sırasında oluşan yüksek basınç gazların dışarı çıkmasını kolaylaştırmaktadır.

Deneyleerde hammaddeleri doğal havalandırma olmadığı için, sadece kimyasal olarak hazırlanmış su içeriği veya gözenekli sistemde absorbe edilmiş gaz tanecikleri hareketlendirebilmekteydi.

Mikro kürelerin üretiminde kullanılan yöntemlerden biriside sol-jel yöntemidir.

Geçkinli [31], geleneksel seramik endüstrisinde kullanılan hammaddeler karıştırma, kalsinasyon ve öğütme işlemlerini incelemiştir. Bu çalışmaya göre, modern seramiklerin üretiminde çok ince ve homojen tozlara ihtiyaç vardır. Bu nedenle, gerek laboratuvar, gerek endüstriyel uygulamalar için çeşitli toz üretme yöntemleri mevcuttur.

Seramik tozların özellikleri, seramik üretiminin en kritik faktörlerinden birisidir. Bu tozların, saf, homojen, boyutunun ise mikronun altında ve dar bir dağılım aralığına sahip olması gerekir. Üstün kalitedeki ürünler için araştırmacılar çeşitli prosesler üzerinde çalışmaktadır. Bu prosesler arasında, düşük sıcaklık yöntemleri ve yüksek sıcaklık yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler, Sol-Jel'den, katıların uçurularak parçalanmasına kadar değişir.

Sol-Jel araştırmaları oksit jellere odaklanmıştır. Bu proseste, bir veya bir kaç bileşenin Sol (veya Jel) yapıcı özelliğe sahip olması gerekmektedir. Koşulların dikkatlice kontrol edildiği belirli bileşimlerde Sol (veya jel) yapıcıların eldesi için başlıca iki yöntem mevcuttur:

- a- Hammaddelerin kolloidal partiküller halinde kullanılmasıdır. Örneğin; tabii kolloid olarak bilinen kil gibi. Benzer yöntem, inorganik bileşiklerin çözelti içerisinde hidroliz / çökelme ile oksit kolloid halinde sentezidir. Bu reaksiyon silisik asit için çok iyi bilinmektedir. Fakat, vanadik asit ve fosfatlar da aynı özelliği göstermektedir. Tüm bu malzemeler, kil minerallerine benzerdir ve sol-jel oluşumu asidik karakterdedir. Hidroliz ve çözünürlüğün fonksiyonu olarak elementler, bazik, atmosferik ve kondense olabilen iyonlar olarak üç gruba ayrılırlar. Aynı element için çözünürlük pH'ye bağlıdır. Bu malzemelerde,

sol'dan jele geçiş belirli konsantrasyon ve pH değerlerinde tersinir olabilmektedir.

- b- Metalik veya metalik olmayan alkoksitlerin veya çeşitli alkoksit veya metal – organik bileşiklerin, genellikle alkol veya hegzan çözeltisinde, hidroliz / polikondensasyon sonucu polimerize bir yapıya dnüşmesine dayanır.

Sol-Jel yönteminin üstünlükleri řu şekilde sıralanabilir.

- Kimyasal olarak kontrol edilebilir.
- Hammaddelere kıyasla daha iyi homojenlik sağlar.
- Toz boyutu mikron seviyesinde elde edilir.
- Üretim için düşük sıcaklıklar yeterlidir. Bu da:
 - o Enerji tasarrufu sağlar.
 - o Uçma kayıpları en aza iner.
- Yeni malzemeler ve özellikler elde etmek mümkündür.
- İnce filmler gibi özel malzemeler üretilebilir.
- Hava kirliliğine neden olmaz.

Sol-Jel yönteminin olumsuz yönleri ise aşağıdaki gibi sırlanabilir.

- Bu yöntemle üretilen tozların maliyeti yüksektir.
- Proses esnasında büzölme miktarı yüksektir.
- İnce gözenekler yapıda yer alabilir.
- Yapıda kalıntı hidroksil ve karbon yer alabilir.
- Organik özeltiiler sağlığa zararlıdır.
- İşlem süresi uzundur.

İleri teknoloji seramiklerinin önemli bir bölümünü oksit seramikler oluşturmaktadır. Seramik oksitler, yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya uygun metal veya metal oksit elementlerin oksijenle yaptığı bileşiklerdir. Seramik oksitler iyonik bağlı olup, saydamlık, elektrik ve ısı iletimine direnç, magnetik yalıtım ve kimyasal kararlılık

gibi iyonik bağlı malzemelerin genel karakteristiklerine sahiptir. Bu özelliklerin yanında oksit seramikler, yüksek elastik modül ve sertlik, gevreklik, refrakterlik, düşük ısı genleşme özelliklerine sahiptir. Ayrıca korozyona karşı direnç gösterirler.

Oksitler, başlıca tek ve karmaşık olarak iki grupta toplanabilir. Tek oksitler, sadece bir metal veya metaloid element içerirler. Buna karşılık karmaşık oksitler, iki veya daha fazla metal veya metaloid içermektedir.

Ergime noktası 1728 °C'nin üzerinde, basit oksit oluşturan 24 element mevcuttur. Bu 24 elemente ek olarak, ergime noktası 1728 °C'nin üzerinde olan pek çok karmaşık oksit mevcuttur.

Oksitlerin kullanımında iki ana sınırlama söz konusudur. Bunlardan biri malzemenin fiyatı, diğeri ise kararlılığıdır. Kararlılık, malzemenin çeşitli ortamlarda, yüksek sıcaklık, oksidasyon, hidrasyon, buharlaşma ve redüklenmeye karşı direnç göstermesidir. Toria ve Berilya gibi bazı oksitler üstün özellikleri ile fiyatı ne olursa olsun bir takım mühendislik uygulamaların vazgeçilmez malzemeleridir. Oksitlerin bir kısmı, çok az bulundukları için veya saf halde üretimleri zor olduğu için pahalıdır. Buna karşı silis, alümina, magnezya, kalsiya, zirkonya ve mullit gibi kompleks oksitler doğada bol miktarda bulunmaktadır.

Seramik malzemelerinin üretimine yoğun olarak alümina kullanılmaktadır.

Alüminanın bilimsel keşfi yirminci yüzyıla dayanır. Fakat, ticari olarak kullanımı 1907 yılında yüksek alümina seramik üretimine ait bir patentle başlamıştır. Geniş çapta ticari üretimi ve kullanımı ise 1920'lerin sonu ile 1930'ların başlarına dayanır.

Alüminanın ilk ticari kullanım alanı, bujiler ve laboratuvar malzemeleridir. Üretim imkanlarının gelişmesi ve bilimsel araştırmalardan oluşan bilgi birikimi sonucu günümüzde alüminanın kullanım alanı önemli miktarda artmıştır. Günümüzde özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, kesici takım, yatak malzemesi, tekstil endüstrisinde iplik kılavuzu olarak, zırh

yapımında, tıbbi malzeme olarak protez üretiminde ve elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır.

Ergime noktası 2000 ± 30 °C olan alüminyum oksit, düşük sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden birisidir. Kullanımındaki sınırlama düşük ergime noktasından kaynaklanmaktadır.

İleri teknoloji seramiklerinin modern teknolojideki uygulama alanları oldukça geniştir. Bunlar, kullanım amaçlarına göre sınıflandırıldığında aşağıdaki gruplar aşağıdaki şekilde sıralanır.

- a- Yapısal seramikler ve seramik kompozitler
- b- Kesici takımlar
- c- Elektronik seramikler
- d- Piezoelektrik seramikler
- e- Elektro-optik seramikler
- f- Manyetik seramikler
- g- Isıl yalıtım seramikleri
- h- Biyoseramikler
- i- Diğer özel seramikler

Uzay çağı seramiklerine örnek olarak, uzay mekiklerinde kullanılan seramik plakalar gösterilebilir. Bu malzemeler yüzeyleri kaplanmış silika fiberlerinden oluşmaktadır. Fiberlerin gevşek dokuda olması sayesinde seramik plaka içerisinde %95 hava ihtiva etmekte ve dolayısıyla son derece hafif olmaktadır. Aynı zamanda bu yapı ısı yalıtım sağlamaktadır. Düşük yoğunlukta ve ısı iletkenliği düşük bu seramik malzeme atmosfere girişte, sürtünmeden kaynaklanan 1500 °C'ye varan ısılara dayanabilmektedir.

Seramik ısı yalıtımında da kullanılmaktadır. Yalıtım amaçlı kullanılan seramik kaplamalar günümüzde kullanımı giderek artmaktadır.

Seramik ısı yalıtım kaplaması, günümüzde özellikle uçak ve uzay endüstrisi ile enerji santrallerinde kullanılmaktadır. Isı yalıtımı için kullanılan kaplamalar konusundaki çalışmalar 1950 yılından beri NASA laboratuvarlarında yapılmaktadır. Bu araştırmaların hedefi uçak motorları ile roket motor parçalarının yüzeylerinin korunmasına yöneliktir. Isı yalıtımı için kullanılan kaplamalarda aranan özellikler şunlardır:

- a- Düşük ısı iletkenliği
- b- Kaplanacak metal ile seramik kaplamanın ısıl genleşme karakteristiklerinin birbirine yakın olması
- c- Mekanik gerilmelere karşı dayanıklı olması
- d- Sıcaklıkla yapısının değişmemesi
- e- Kullanılan ortamda, kararlılık göstermesi
- f- Yansıtıcılığının yüksek olması
- g- Kolayca tamir edilmesi

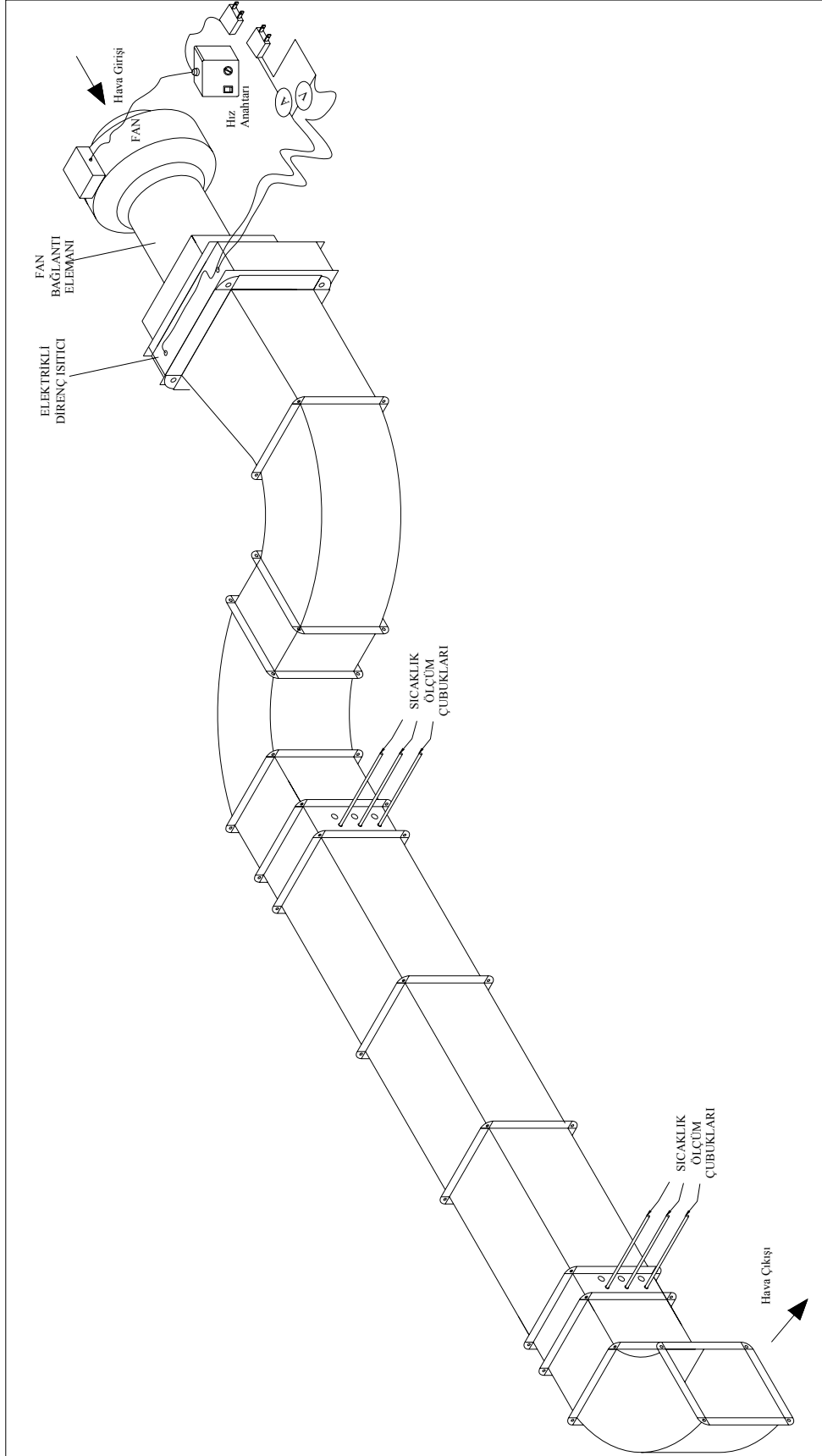
Zirkonya, ısı iletkenliğinin düşük, ısıl genleşme katsayısının yüksek ve kimyasal kararlılığının üstün olması nedeniyle ısı yalıtımı için kaplamalarda tercih edilen malzemedir.

5. SERAMİK KATKILI BOYANIN HAVA KANALLARINDA ISI YALITIMI ÖZELLİKLERİNİN KLASİK KANAL YALITIM İSTEMİYLE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Deney Düzeneği

Deneyisel çalışmada, cam yünü ve vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan iki kanal imal edilmiştir. Her bir kanalda, kesit boyutları 24 cm x 24 cm olan ve 0,5 mm kalınlığında galvanizli sacdan imal edilen 24 cm, 24 cm ve 1 m uzunluğunda düz kanal parçaları ile dirsek parçaları kullanılmıştır. Deney düzeneğinde, sırasıyla, hava kanalında havanın akışını sağlamak için 1 adet fan, ısıtıcıyla fanı birbirine bağlamak için 1 adet fan adaptörü, kanal içerisinde aktarılan havanın sıcaklığını arttırmak için 6 adet kanatlı tip elektrik direncinden oluşan 2,4 kW gücünde bir adet ısıtıcı, hava kanalları ile fan ve ısıtıcıyı birbirine bağlamak için 40 cm uzunluğunda 1 adet redüksiyon, 30 cm uzunluğunda 1 adet düz kanal, 1 adet dirsek, 30 cm uzunluğunda 1 adet düz kanal, 1 adet dirsek, 30 cm uzunluğunda 1 adet düz kanal, giriş koşullarındaki ölçümlerin alındığı 20 cm uzunluğunda 1 adet düz ölçüm kanalı, 1 m uzunluğunda 3 adet düz kanal, çıkış koşullarındaki ölçümlerin alındığı 20 cm uzunluğunda 1 adet düz ölçüm kanalı, 30 cm uzunluğunda 1 adet düz kanal ve 1 adet dirsek bulunmaktadır.

Kanal parçalarında flanşlar 2,5 cm yüksekliğindedir ve flanşlar birbirlerine cıvata ve somun kullanılarak birleştirilmiştir. Kanalların flanşlarla birleştirilmesinde M6 somunlar ve cıvatalar kullanılmıştır. Hız ölçümleri kanalın tek tarafından açılan deliklerden yapılmıştır. Hız ölçüm aletinin probu 17 mm çapında ve ölçüm alınan delikler 18 mm çapındadır. Isıl çiftin kanala girdiği delikler 7 mm çapındadır. Sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı deliklere 80 cm uzunluğunda 3,5 cm çapında ölçüm çubukları yerleştirilmiştir. Kanalın ısıl çift ve çubuğun birlikte girdiği tarafında daha büyük çapta, diğer tarafta sadece çubuğun yerleştirilebileceği boyutta bir delik açılmıştır.



Deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.1’de görülmektedir. Deneyler sırasında ısıtılan hava deneylerin yapıldığı çok geniş ortamdan alınıp yine aynı ortama atılmaktadır. Deneylerin yapıldığı ortamın büyük olması ve çevre ortamlara açık olması sebebiyle ortam sıcaklığı değişmemektedir. Deneylerin yapıldığı ortamın sıcaklığı 18 °C ve bağıl nemi %38’dir.

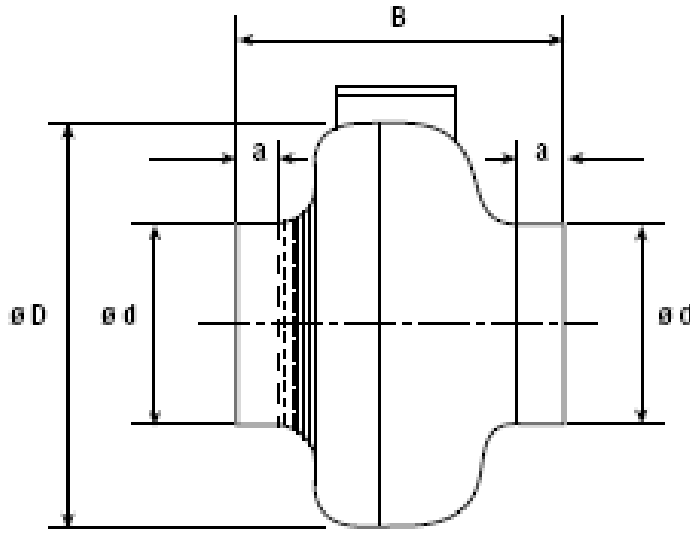
Bütün endüstriyel hava kanallarında olduğu gibi kanal sisteminde parçaların birleşim yerlerinden yani flanş bağlantı noktalarında hava kaçakları olmaktadır. Bu kaçakları önlemek için flanş bağlantı bölgelerinde genişliği 10 mm olan sızdırmazlık contaları her birleşim bölgesinde kullanılmıştır. Ancak, ısıtıcı bölgesinde ısıya dayanıklı silikon ile sızdırmazlık sağlanmıştır.

Hava kanalları yerden yükseklikleri 1,40 m olacak şekilde taşıma konsolları üzerine yerleştirilmiştir. Titreşim nedeniyle oluşabilecek ölçüm hatalarını minimum seviyeye indirmek için kanallar taşıma konsolunun üzerine konulmadan önce konsolların üzerine titreşim sönümleyici elemanlar yerleştirilmiştir. Ayrıca, kanalların birbirini etkilemesi engellemek için kanallar birbirine paralel olarak ve aralarında 1 m aralık bırakılarak konumlandırılmışlardır.

Hava kanalları içerisine havanın basınçlandırılarak akışı aynı model fanlar vasıtasıyla sağlanmıştır. Bunun için, monofaze (220V) elektrikle çalışan, maksimum hava debisi 980 m³/h ve maksimum basıncı 50 mmSS olan kanal tipi fanlar kullanılmıştır. Fanların hız kontrolü voltaj regülatörü yardımıyla yapılmıştır. Voltaj regülatörü fanın voltajını değiştirerek fan motorunun farklı hızlarda dönmesini sağlamaktadır. 270 derecelik bir hareket kabiliyetine sahip olan voltaj regülatörü üzerindeki hız ayar düğmesi 67,5 derecelik aralıklarla 5 kademeye bölünerek, deneyler 5 farklı hız için tekrarlanmıştır. İki kanalda da havanın aynı hızda akışını sağlamak için bir kayış kasnak mekanizmasından yararlanılmıştır. Böylece iki hız anahtarında da aynı hız değeri elde edilmiştir.

Deney düzeneğinde, Şekil 5.2’de görülen kullanımı basit olan Elicent marka ve Ax C 200 B model, yüksek basınçlı ve sessiz çalışma özelliğine sahip, yatay ve dikey

olarak monte edilebilen kanal tipi radyal fanlar kullanılmıştır. Korozyona karşı vantilatör kılıfı epoksi kaplamalı çelik sacdan imal edilen fanlar kanat yapısı geriye eğik radyal tipte ve dengelenmiştir. Sürekli çalışmaya uygun olarak tasarlanmış ve aşırı ısınmaya karşı korumalı bilyalı yataklı endüksiyon motoruna sahiptir. Maksimum kullanım sıcaklığı 60 °C'dir ve voltaj regülatörüyle birlikte kullanılabilir. Deney düzeneğinde kullanılan fanlarla ilgili teknik bilgiler Çizelge 5.1'de verilmiştir.



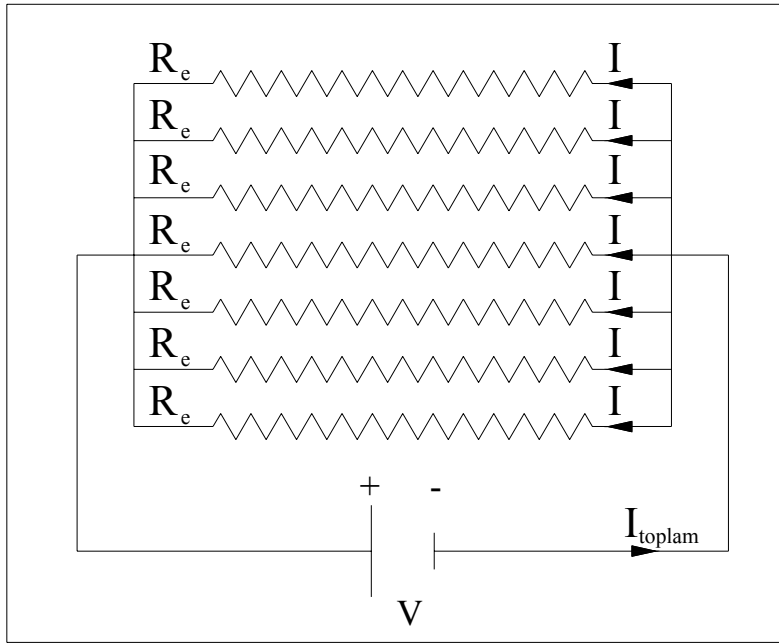
Şekil 5.2. Deney düzeneğinde kullanılan kanal tipi fanın şematik görünümü

Çizelge 5.1. Deney düzeneğinde kullanılan kanal tipi fanların teknik verileri

Model	D	d	a	B	Debi	Akım	Basınç	Güç	Ağırlık
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ³ /h]	A	[mmSS]	W	[Kg]
AxC 200 B	335	198	25	230	980	0,7	50	150	5

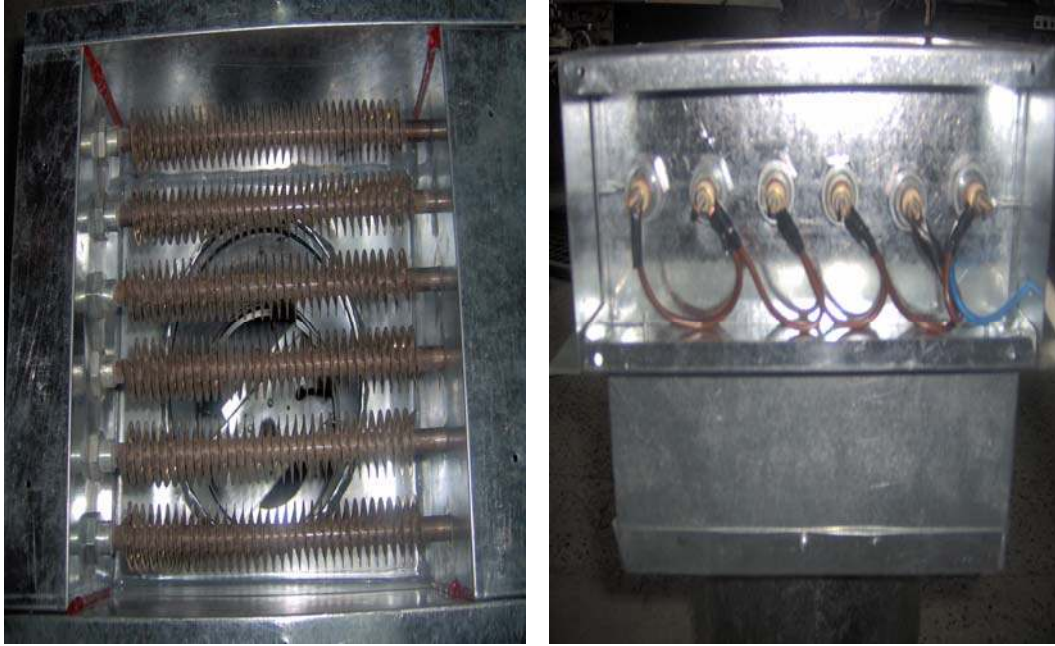
Deney düzeneğinde her fan için ayrı ayrı kullanılan voltaj regülatörleri RVN model, 1,5 A, 50 Hz, 230 V, tek fazlı, Elicent markadır. Fan çıkışının dairesel kesitli olması ve ısıtıcı girişinin dikdörtgen olması sebebiyle fan ve ısıtıcı eleman arasında direkt bağlantı yapılamamaktadır. Bu nedenle ve fanın ısıtıcıdan zarar görmemesi için, fan ve ısıtıcı elemanı 30 cm uzunluğunda, 200 mm çapında bağlantı adaptörü ile bağlanmıştır.

Deneylerde, havanın ısıtılması için her iki hava kanalına Klisom firması tarafından imal edilen birer adet 2,4 kW gücünde elektrikli ısıtıcı bağlanmıştır. Her bir elektrikli ısıtıcıda Şekil 5.3’de görüldüğü gibi paralel olarak bağlanmış, altı adet kanatlı tip elektrik rezistansı bulunmaktadır. Fanlar vasıtasıyla basınçlandırılan hava bu elektrik rezistansları ile ısıtılmakta ve kanal içine sıcak hava akmaktadır.



Şekil 5.3. Elektrikli direnç ısıtıcının bağlantı şeması

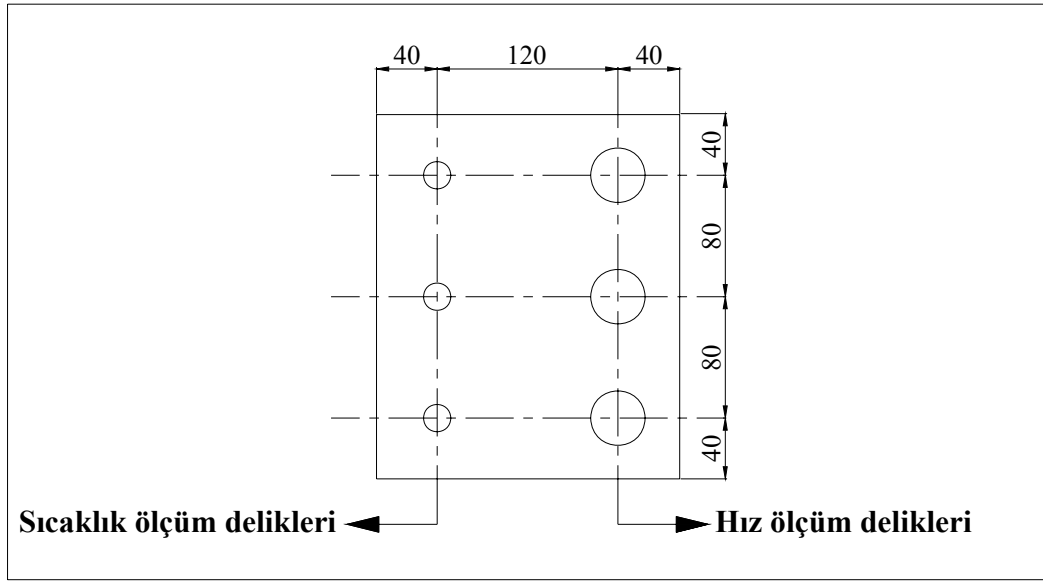
Deney düzeneğinde kullanılan elektrik rezistansı çubuklarının üzerindeki seramik yalıtım elektrik kaçaklarını engellemektedir. Şekil 5.4’de görülen çelik saçtan oluşan elektrikli ısıtıcıların elektrik rezistansı çubuklarında bulunan seramik yalıtımın üzerinde spiral alüminyum kanatlar vardır.



Şekil 5.4. Deney düzeneğinde kullanılan elektrikli ısıtıcılar

Hava kanallarında kullanılan klasik yalıtım malzemelerinden biri olan üzeri alüminyum folyo kaplı cam yünü ile vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların ısı yalıtım özelliklerinin karşılaştırıldığı bu deneysel çalışmada, hava kanallarının tasarımında düz kanalların yanı sıra ısı transferinin arttırmak dirsek gibi parçalar da kullanılmıştır. Ölçümler deney düzeneğinde düz kanalların bulunduğu 3 m'lik bölümde yapılmıştır. Isıtılan ve basınçlandırılan hava, hava kanallarına aktarılmaktadır. Hava kanalından ısıtılan hava geçerken kanallarla ortam arasındaki sıcaklık farklarından ısı transferi gerçekleşir. Kanallarda enerji kaybını önlemek için ısı yalıtımı yapılmıştır.

Havanın kanala giriş ve çıkış koşullarını belirlemek için giriş ve çıkışlara 20 cm uzunluğunda ölçüm kanalları monte edilmiştir. Giriş ve çıkış ölçüm kanalları da her iki deney düzeneğinde yalıtılmıştır. Şekil 5.5'te görülen ölçüm kanallarının her birinde altışar adet delik açılmış ve bunlardan üçü sıcaklık ölçümü, üçü de hız ölçümünde kullanılmıştır.



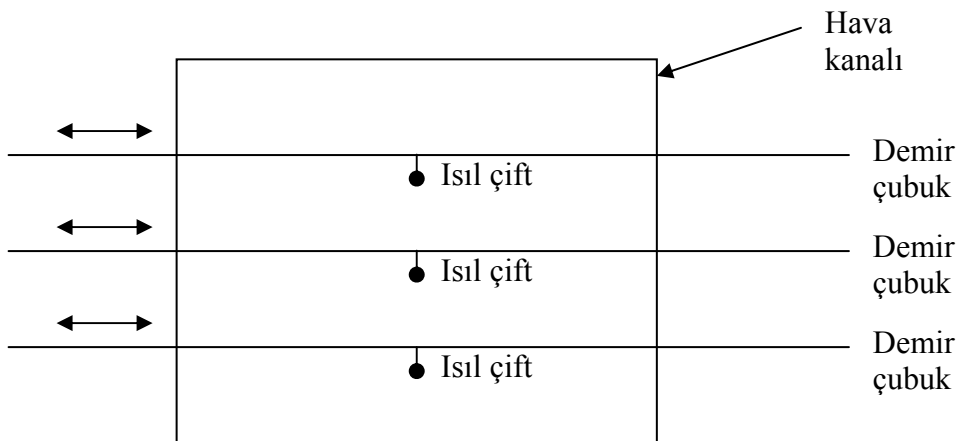
Şekil 5.5. Deney ölçüm kanallarında sıcaklık ve hız ölçüm deliklerinin şematik olarak görünümü

Deneyler için iki adet eşit boyda ve kesit alanında kanal sistemi yapılmıştır. Birinci kanalda test edilecek hava kanalı alüminyum folyo kaplı cam yünü levha ile kaplanmıştır ve ikinci kanal üzeri vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile kaplanmıştır. Birinci kanal sisteminde İzocam marka üst yüzeyi alüminyum folyo kaplı 2,5 cm kalınlığında cam yünü (klima levhası) kullanılmıştır. Cam yünü hava kanalı üzerine vidalı pimler ile sabitlenmiştir. Böylece cam yünü kanal üzerinde kayması ve deforme olması önlenmiştir.

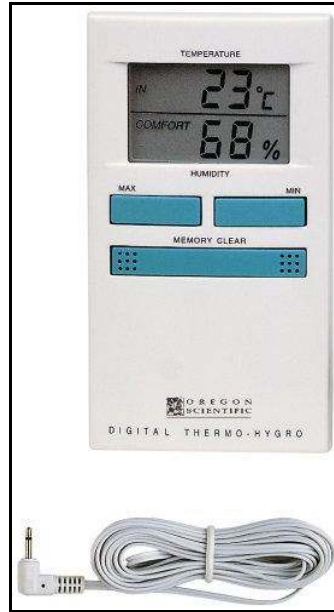
Hava kanalı üzerine yerleştirilen levhaların birleştirilmesi için alüminyum folyo bant kullanılmıştır. İkinci kanal sistemi vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılmıştır. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile kaplanacak olan hava kanalının yüzeyine, uygulanmadan önce yapışkanlığın sağlanması amacıyla dönüşüm astarı sürülmüştür. “Bor-Tek Firması” tarafından ağırlıkça %18 oranında vakumlu mikro seramik kürelerle üretilen seramik katkılı boya yüzeye; havasız püskürtme spreyi 3/8” I.D’li 30:1 Graco Bulldog yüksek basınç hattı ve 0,021 – 0,024 püskürtme uçlu bir Graco gümüş tabanca ile uygulanmıştır. Yüzeye uygulanan seramik katkılı boyanın film kalınlığı yüzey boyunca homojen olmadığı için, farklı

noktalardan kalınlık ölçümleri alınmıştır. Kalınlık ölçümlerinin ortalaması 2 mm olarak belirlenmiştir.

Her iki deney sisteminin giriş ve çıkış koşullarının belirlenmesi için deneylerde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Hava kanallarında sıcaklık ölçümleri için toplam 12 adet T tipi (bakır-konstantan) ısı çifti kullanılmıştır. Isıl çiftlerin kaynakları Elimko firmasınca yapılmıştır. LabVIEW kartı T tipi ısı çiftlere ayarlanmış ve ısı çiftler düşük sıcaklıklarda (15 - 45 °C) şartlarında kalibre edilmiştir. Her bir kanal sisteminin giriş ve çıkış ölçüm kanallarında üçer adet, toplam 6 adet, ısı çifti kullanılmıştır. Isıl çiftlerin ölçüm yapan uçları ölçüm kanalları içerisindeki demir çubuklar üzerine, diğer uçları analog verileri dijitale dönüştüren veri depolama cihazına bağlanmıştır. Demir çubuklara ısıya dayanıklı bantlar ile sabitlenerek yatay konumda hareketleri sağlanan ısı çiftleri ile giriş ve çıkış ölçüm kanallarının kesitlerinde 15 farklı noktadan sıcaklık ölçümü alınmıştır. Elde edilen veriler bilgisayarda LabVIEW programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sıcaklık ölçümü için ısı çiftlerinin demir çubuklar üzerinde yatayda hareketi Şekil 5.6'da görülmektedir. Deneysel çalışmada, 18 °C – 40 °C arasındaki sıcaklıklar ölçülmüştür. T tipi ısı çiftlerinin kullanılması ile bu aralıklarda hassas bir ölçüm yapılmıştır. Isıl çiftlerin kanallar içerisindeki konumları Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Hava kanallarında ısı çiftlerinin yerleşimi yataydaki hareketi



Şekil 5.7. ETHG-913R model elektronik higrometre

Deneysel çalışmada, ortam sıcaklığı ve bağıl nemi Orogen Scientific firmasının ürettiği Şekil 5.7’de görülen ETHG-913R model elektronik higrometre ile ölçülmüştür. Ölçümler cihaza bağlı bir prob ile yapılmıştır. Cihazın sıcaklık ölçüm aralığı $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve bağıl nem ölçüm aralığı ise 25% ile 95%’ tir.

Kanal giriş ve çıkışlarında hız ölçümleri Şekil 5.8’de görülen Testo marka 435 model türbin tipi dijital pervaneli anemometre ile hava kanalı kesitinde 15 farklı noktadan yapılmıştır. Hız ölçümlerini doğru yapabilmek için prob akışa dik, yere paralel tutulmuş ve hareket ettirilmeden ölçümler alınmıştır. Hız ölçüm cihazının prob çapı 17 cm’dir. Ölçüm kanallarının her birine 18 mm çapında üçer adet delik açılmıştır. Hız ölçümü alınmadığı sürelerde ölçüm kanallarında açılan delikler hava kaçaklarını önlemek için plastik tıpalar ile kapatılmıştır.



Şekil 5.8. Testo 435 model dijital anemometre

Hız ölçüm cihazının kullanım koşullarına göre çeşitli tipte problemleri vardır. Bu çalışmada, Şekil 5.9’da görülen rüzgar gül prob kullanılmıştır. Çizelge 5.2.’de dijital anemometre teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.9. Deneylerde kullanılan rüzgargülü prob

Çizelge 5.2 Dijital Anemometrenin teknik özellikleri

Depolama sıcaklığı	-20,0...70,0 °C
Çalışma sıcaklığı	0,0...50,0 °C
Pil tipi	Alkali mangan
Pil ömrü	20,0 h
Ağırlık	300,0 g
Boyutlar (ExBxY)	57,0 x 190,0 x 42,0 mm

Deneyisel çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi için veri toplama, saklama işlemleri yapabilen grafik tabanlı National Instruments firmasının geliştirilen LabVIEW programı kullanılmıştır. LabVIEW data değerlendirme cihazı

ile hava kanallarının kanal giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Her iki hava kanallarının giriş ve çıkışlarına toplam 12 adet ısı çifti yerleştirilmiştir.

5.2. Deneysel Yöntem

Deneyler cam yünü ve vakumlu mikro seramik küre katkılı boya yalıtımlı kanalda aynı anda başlatıldı. Fanlar sırasıyla, birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci kademelerde çalıştırıldı. Hava, birinci hız kademesinde ortalama 2,32 m/s, ikinci hız kademesinde ortalama 3,15 m/s, üçüncü hız kademesinde ortalama 4,03 m/s, dördüncü hız kademesinde ortalama 4,17 m/s ve beşinci hız kademesinde ortalama 4,32 m/s hıza ulaştı. Bu hız kademeleri, voltaj regülatöründe bulunan kayış-kasnak mekanizması ile kontrol edilerek sabit tutulmuştur.

Deneylerde, fanlardan sonra ısıtıcılar çalıştırıldı. Her iki düzenekte de sabit çıkış sıcaklıklarına ulaşılması için yaklaşık ½ saat kadar beklenildi. Öncelikle sıcaklıklar yukarıda açıklanan mekanizma kullanılarak ölçüldü. Daha sonra ısıtıcılar çalışırken kanallar içerisindeki hızın ölçülmesine geçildi. Yine yukarıda açıklanan yöntem kullanılarak kanal içerisindeki giriş ve çıkışta hava hızları ölçüldü. Kanal içerisindeki sıcaklık ölçümleri LabVIEW veri toplama cihazı ile ölçüldü. LabVIEW programı ile ölçülen analog veriler digital bilgisayar ortamına atılarak depolandı.

Deneylerde voltaj regülatörü kullanılarak kanal içerisine giren hava hızı, başka bir değişle hava kütle debisi değiştirildi. Beş farklı kütle debisinde deneyler tekrarlandı. Deneyler sırasında ortamın sıcaklığı ve göreceli nemide ölçüldü. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

Sıcaklık ölçümleri kanal çeperinden kanal içerisine doğru sırasıyla, 1 cm, 6,5 cm, 12 cm, 18,5 ve 23 cm mesafelerde yapılmıştır. Giriş ve çıkış ortalama (bulk) sıcaklığı her kesitteki sıcaklıkların ortalama değerlerinden hesaplanmıştır:

$$T_{ort} = \frac{T_{1o} + T_{2o} + T_{3o} + T_{4o} + T_{5o}}{5} \quad (5.1)$$

Eş 5.1’de T_{1o} her konumdaki 3 sıcaklığın ortalamasıdır.

Hız ölçümleri kanal çeperinden kanal içerisine doğru sırasıyla, 1,5 cm, 6,75 cm, 12 cm, 17,25 ve 22,5 cm mesafelerde yapılmıştır. Giriş ve çıkış ortalama hız her kesitteki hızların ortalama değerlerinden hesaplanmıştır:

$$V_{ort} = \frac{V_{1o} + V_{2o} + V_{3o} + V_{4o} + V_{5o}}{5} \quad (5.2)$$

Eş 5.2’de V_{1o} her konumdaki 3 hızın ortalamasıdır.

Hava kanallarında ölçüm yapılan kesitten geçen kütle debisi Eş 2.12’den hesaplanır. Hava kanalında ölçüm yapılan noktalar arasında kütle debi kaybı;

$$\dot{m}_{kayip} = \dot{m}_g - \dot{m}_\zeta \quad (5.3)$$

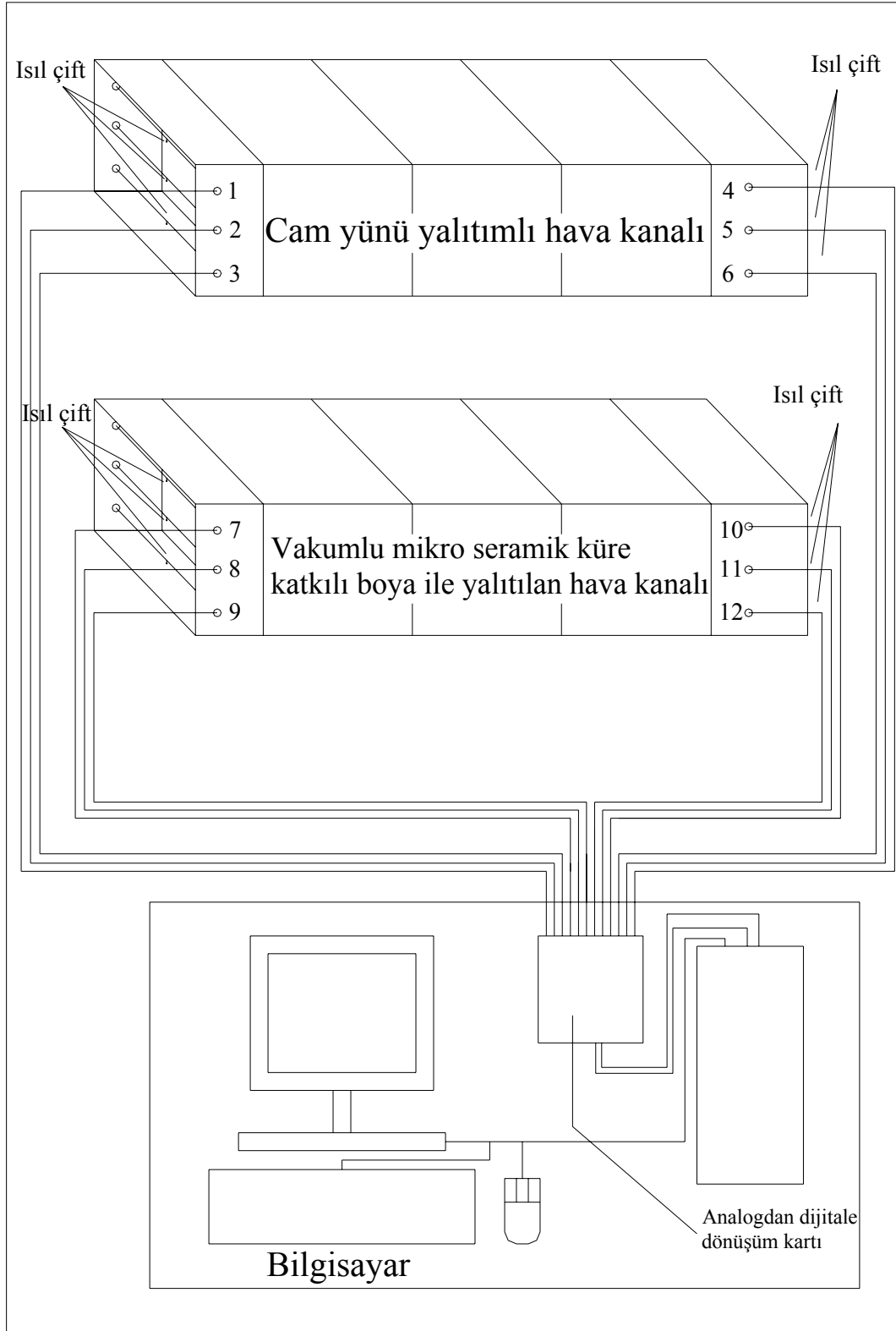
Eş 5.3 kullanılarak hesaplandı. Deneylerde kanallar içinden geçen havanın ortalama sıcaklığı 30 °C olduğu için havanın yoğunluğu sabit kabul edildi ve 1,166 kg/m³ olarak alındı.

Hava kanalı yüzeyinden olan ısı kaybını hesaplamak için;

$$Q_{kayip} = m_{ort} C_p (T_g - T_\zeta) \quad (5.4)$$

Eş 5.4 kullanılmıştır. Bu eşitlikte m_{ort} ortalama kütle debisidir ve giriş ve çıkış kütle debilerinin ortalaması alınarak bulunur. Deneyler ortalama 30 °C’de yapıldığı için C_p değeri 1006 J/kgK olarak kabul edilmiştir.

Hava kanallarında kesitlerde sıcaklık ölçümleri için toplam 12 adet ısıt çift kullanıldı. Kullanılan ısıt çiftlerin kanalar üzerinde yerleri ve bilgisayar bağlantısı şematik olarak Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Sıcaklık ölçümü için ısı çiftlerinin bağlantısı

5.3. Deneysel Sonuçlar

Deneylelerden elde edilen kanal giriş ve çıkışındaki ortalama sıcaklık, kanal giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık farkı, kanal giriş ve çıkışındaki ortalama hız, kanal giriş ve çıkışı arasındaki hız farkı, kanal giriş ve çıkışındaki kütle debisi, kanal giriş ve çıkışı arasındaki kütle debisi kaybı, kanal giriş ve çıkışı arasındaki kütle debisi kaybı yüzde oranı, kanal giriş ve çıkışı için ortalama kütle debisi ve kanal yüzeylerinden olan ısı kaybı 5 farklı hız kademesi için Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Tablolarda, deneylerde ölçülen sıcaklık ve hız değerleri ile hesaplanan kütleli debi, kütle kaybı ve ısı kaybı değerleri görülmektedir. Kanal giriş ve çıkışlarındaki ortalama sıcaklıkları kanal giriş ve çıkış kesitlerinde 15 noktada yapılan sıcaklık ölçümlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Hava kanallarında sıcaklık ve hız ölçümünün yapıldığı yerden önce 1 m düz kanal ve 2 adet dirsek vardır. Ölçüm alınan noktalardan önce ısı kayıpları olmaktadır. Tablolarda görüldüğü gibi vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılan kanallarda yapılan giriş sıcaklığı ölçümleri arasında ortalama 1,75 °C sıcaklık farkı vardır. Cam yünü ile yalıtılan kanalda uygulanan yalıtım kalınlığı daha fazla olduğu için bu kanalda giriş ölçümünden önce daha az ısı kaybı olmakta ve girişte sıcaklık daha yüksek olmaktadır. Vakumlu mikro seramik katkılı boya ile yalıtılan hava kanalı çıkışında ölçülen sıcaklık değerleri ile cam yünü ile yalıtılan kanalın çıkışında ölçülen sıcaklık değeri karşılaştırıldığında, cam yünü ile yalıtılan kanalın çıkışında ölçülen sıcaklık değerinin ortalama 2,27 °C daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. Cam yünü ile yalıtılan hava kanalları için deneysel veriler.

Cam Yünü ile Yalıtım					
Hız Kademeleri	1	2	3	4	5
Kanal Girişindeki Ortalama Sıcaklık; °C	37,65	34,70	31,18	30,54	29,21
Kanal Çıkışındaki Ortalama Sıcaklık; °C	36,41	33,79	30,57	29,96	28,63
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Sıcaklık Farkı; ΔT	1,24	0,91	0,61	0,58	0,58
Kanal Girişindeki Ortalama Hız; m/s	2,30	3,14	4,00	4,19	4,35
Kanal Çıkışındaki Ortalama Hız; m/s	2,25	3,07	3,93	4,09	4,24
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Hız Farkı; ΔV	0,05	0,07	0,07	0,10	0,11
Kanal Girişindeki Kütle Debisi; kg/s	0,1545	0,2109	0,2686	0,2814	0,2922
Kanal Çıkışındaki Kütle Debisi; kg/s	0,1511	0,2062	0,2639	0,2747	0,2848
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Kütle Debisi Kaybı; kg/s	0,0034	0,0047	0,0047	0,0067	0,0074
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Kütle Debisi Kaybı Yüzde Oranı; %	2,17%	2,23%	1,75%	2,39%	2,53%
Kanal Giriş, Çıkışı İçin Ortalama Kütle Debisi; kg/s	0,1528	0,2085	0,2663	0,2780	0,2885
Kanal Yüzeylerinden Olan Isı Kaybı; W	190,60	190,91	163,42	162,24	168,31

Bunun sebepleri cam yünü ile yalıtılan kanalın girişinde ölçülen ortalama sıcaklık değerinin daha yüksek olması ve ölçüm noktaları arasındaki kanal yüzeylerinden olan ısı kayıplarıdır. Tablolarda görüldüğü gibi vakumlu mikro seramik katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılan kanallarda girişte yapılan hız ölçümleri arasında ortalama 0,06 m/s hız farkı vardır. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalı çıkışında ölçülen hız değerleri ile cam yünü ile yalıtılan kanalın çıkışında ölçülen hız değeri karşılaştırıldığında, cam yünü ile yalıtılan kanalın çıkışında ölçülen hız değerinin ortalama 0,08 m/s daha yüksek olduğu görülmektedir. İlk uygulamada, cam yünü ile karşılaştırıldığında vakumlu mikro seramik küre katkılı boya daha akıcıdır ve flanşlar arasındaki boşlukları doldurur. Bu nedenle, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalından olan hava kaçakları daha küçüktür.

Çizelge 5.4. Vakumlu mikro seramik katkılı boya ile yalıtılan hava kanalları için deneysel veriler.

Seramik Katkılı Boya ile Yalıtım					
Hız Kademeleri	1	2	3	4	5
Kanal Girişindeki Ortalama Sıcaklık; °C	34,83	32,84	30,33	29,74	28,52
Kanal Çıkışındaki Ortalama Sıcaklık; °C	32,92	31,34	29,25	28,75	27,58
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Sıcaklık Farkı; ΔT	1,91	1,50	1,08	0,99	0,94
Kanal Girişindeki Ortalama Hız; m/s	2,38	3,22	4,13	4,23	4,39
Kanal Çıkışındaki Ortalama Hız; m/s	2,35	3,17	4,07	4,15	4,30
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Hız Farkı; ΔV	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09
Kanal Girişindeki Kütle Debisi; kg/s	0,1598	0,2163	0,2774	0,2841	0,2948
Kanal Çıkışındaki Kütle Debisi; kg/s	0,1578	0,2129	0,2733	0,2787	0,2888
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Kütle Debisi Kaybı; kg/s	0,0020	0,0034	0,0040	0,0054	0,0060
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Kütle Debisi Kaybı Yüzde Oranı; %	1,26%	1,55%	1,45%	1,89%	2,05%
Kanal Giriş, Çıkışı İçin Ortalama Kütle Debisi; kg/s	0,1588	0,2146	0,2754	0,2814	0,2918
Kanal Yüzeylerinden Olan Isı Kaybı; W	305,20	323,80	299,18	280,26	275,95

Bu nedenle, Tablo 5.4'te de görüldüğü gibi vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalı cam yünü yalıtımlı hava kanalıyla karşılaştırıldığında, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalında giriş ve çıkış esnasında hız farkı daha düşüktür. Cam yünü yalıtımlı kanalda giriş ve çıkış arasındaki ortalama hız farkı 0,08 m/s, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanalda 0,06 m/s'dir.

Kanal girişindeki kütle debileri karşılaştırılırsa, cam yünü yalıtımlı kanaldaki kütle debisi vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldakinden daha küçüktür. Kanal çıkışındaki kütle debileri karşılaştırılırsa, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldaki kütle debisi cam yünü yalıtımlı

kanaldakinden daha büyüktür. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalındaki ortalama kütle debisi 0,250 kg/s ve cam yünü yalıtımlı kanaldaki ortalama kütle debisi 0,240 kg/s'dir. İki kanalda giriş ve çıkışlar arasındaki kütle kayıpları karşılaştırılırsa, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldaki kayıplar cam yünü yalıtımlı kanaldakinden daha düşüktür. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanalda ortalama kütle kaybı $4,2 \times 10^{-3}$ kg/s'dir. Cam yünü yalıtımlı kanaldaki ortalama kütle kaybı ise $5,6 \times 10^{-3}$ kg/s'dir.

Kanallardaki % kütle kayıpları karşılaştırılırsa, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldaki % kütle kayıpları cam yünü yalıtımlı kanaldakinden daha düşüktür. Cam yünü yalıtımlı kanaldaki ortalama % kütle kaybı %2,214, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldaki ise %1,64'tür.

Kanallardan olan ortalama ısı kayıpları karşılaştırılırsa, cam yünü yalıtımlı kanaldaki ısı kayıplarının vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldakinden daha düşük olduğu görülmektedir. Cam yünü yalıtımlı kanalda ortalama ısı kaybı 180 Watt iken, vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan kanaldaki ısı kaybı 305 Watt'tır. Burada görülen ısı kaybı farkı cam yününün daha yalıtkan bir malzeme olduğunu göstermektedir. Ancak deney düzeneğinde kanallardan birisine uygulanan cam yünü yalıtım malzemesi kalınlığı vakumlu mikro seramik küre katkılı boya kalınlığına oranla çok fazladır.

Cam yünü ile yalıtılan hava kanalından elde edilen verilerin vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalından elde edilen verilerden farkı Çizelge 5.5'da verilmiştir. Çizelgede; kanal giriş ve çıkış koşulları için, sıcaklık, hız değerlerinin iki kanal sistemi arasındaki farklar verilmiştir. Ayrıca kanal kütle ve kanal yüzeyinden olan ısı kayıpları kıyaslanmıştır. Çizelgede görüldüğü gibi cam yünü yalıtımlı hava kanalında kütle kayıpları daha fazla olmaktadır. Kanal yüzeyinden olan ısı transferi ise vakumlu mikro küre katkılı boya ile yalıtılan kanalda daha fazla olmaktadır.

Çizelge 5.5. Cam yünü yalıtımlı kanal verilerinin vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalından farkı

	Hız Kademeleri				
	1	2	3	4	5
Kanal Girişindeki Ortalama Sıcaklık; °C	2.82	1.86	0.85	0.80	0.69
Kanal Çıkışındaki Ortalama Sıcaklık; °C	3.49	2.45	1.32	1.21	1.05
Kanal Girişindeki Ortalama Hız; m/s	-0.08	-0.08	-0.13	-0.04	-0.04
Kanal Çıkışındaki Ortalama Hız; m/s	-0.10	-0.10	-0.14	-0.06	-0.06
Kanal Giriş, Çıkışı Arasındaki Kütle Debisi Kaybı; kg/s	0.00134	0.00134	0.00067	0.00134	0.00134
Kanal Yüzeylerinden Olan Isı Kaybı; W	-114.60	-132.90	-135.76	-118.03	-107.64

Deneysel bulguların hata analizi için belirsizlik analizi adı verilen hassas bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, sistemde ölçülmesi gereken büyüklük R, ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ olsun. Bu durumda,

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (5.5)$$

yazılabilir. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranı $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ve R büyüklüğünün hata oranı w_R ise,

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.6)$$

şeklinde verilmektedir.

Hata analizleri; ($\dot{m}$) kütle debisi ve ($Q_{\text{kayıp}}$) ısı kaybı için yapılmıştır. Deneylerde sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm cihazlarının yapabilecekleri hata miktarları Çizelge 5.6'de verilmiştir.

Çizelge 5.6. Veri toplama cihazı LabVIEW ve hız ölçüm cihazları için belirsizlikler

Ölçüm cihazı	Ölçüm aralığı	Hata oranı
Testo 435 Model Hız Ölçer	0,40 – 10 m/s	0,01 m/s
LabVIEW Sıcaklık Veri Toplama Cihazı	-200 – 300 °C	0,01 °C

Kütle debisi hesaplanırken yoğunluk ve kanal kesit alanı sabit olduğu için tek değişken hava hızıdır. Bu yüzden kütle debisinde yapılan hata Eş 5.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$w_{\dot{m}} = \left[\left(\frac{\partial \dot{m}}{\partial V} w_V \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.7)$$

Kanal yüzeyinden olan ısı transferi hesaplanırken havanın yoğunluğu, havanın özgül ısı ve kanal kesit alanı sabit kabul edilmiş ve hava hızı ve sıcaklığı değişkenleri için hata analizi yapılmıştır. Bu yüzden ısı kaybı hesabında yapılan hata Eş 5.6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial Q}{\partial V_g} w_{V_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial V_\zeta} w_{V_\zeta} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_g} w_{T_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial T_\zeta} w_{T_\zeta} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.8)$$

Hava kanallarında kütle debisi için yapılan ortalama hata oranı %0,16 olarak hesaplanmıştır. Hava kanallarının yüzeylerinden olan ısı transferinin hesabında yapılan ortalama belirsizlik hata oranı ise %6,22 olarak hesaplanmıştır.

Hava kanallarının montaj kolaylığı kanal ağırlıkları tartılarak değerlendirilmiştir. Hava kanalları için kullanılan yalıtım malzemeleri kanallara belli oranlarda ağırlık katarlar buda kanalların montajı sırasında değerlendirilmesi gereken bir unsurdur. Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi cam yünü vakumlu mikro seramik küre katkılı boyadan daha ağırdır. Büyük kesitli hava kanallarında yalıtımın malzemesinin

ağırlığı daha önemlidir. Hava kanallarında kullanılan yalıtım malzemeleri hava kanallarıyla birlikte tartılmıştır.

Çizelge 5.7. Hava kanallarının 1m²'sinin ağırlığı

Isı yalıtım malzemesi	Kanal uzunluğu	Ölçülen ağırlık	Flanş ağırlığı	Yalıtım malzemesinin m ² yoğunluğu
Yalıtımsız hava kanalı	1 m	5,28 kg	1,68 kg	-
Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalı	1 m	6,05 kg	1,68 kg	0,77 kg/m ²
Alüminyum folyo kaplı cam yünü levha ile hava kanalı	1 m	7,25 kg	1,68 kg	1,97 kg/m ²

Vakumlu mikro seramik katkılı boyanın birim fiyatı, Bortek Termal Boya Ltd. Şti.'den alınmıştır. Üzeri alüminyum folyo kaplı cam yünü yalıtım levhası birim fiyatı, Klisom A.Ş. firmasından alınmıştır. Yalıtım malzemelerinin birim fiyatlarına %25 işçilik maliyeti eklenmiştir. Hava kanallarında kullanılan yalıtım malzemelerinin maliyet analizleri Çizelge 5.8'da görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi vakumlu mikro seramik küre katkılı boya cam yününe göre daha ucuzdur. Ancak fiyat farkı çok azdır.

Çizelge 5.8. Hava kanallarında kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin maliyet analizi

Isı yalıtım malzemesi	Kullanılan miktar	Birim Fiyatı	Toplam fiyatı
Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya	12,5 kg	2,50 YTL./kg	31,25 YTL.
Alüminyum folyo kaplı cam yünü levha	7,77 m ²	4,38 YTL./m ²	34,03 YTL.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Vakumlu mikro seramik katkılı boya deney sonuçlarında cam yünü ısı yalıtımına göre daha az ısı yalıtımı yapmaktadır. Birim zamanda, 2 mm kalınlığında vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanalından transfer olan ısı, 2,5 cm kalınlığındaki alüminyum folyo kaplı cam yünü yalıtımlı kanaldan transfer olan ısıya yakındır. Bu büyük bir avantajdır. Vakumlu mikro seramik katkılı boya, kalınlığı arttırılarak, kanal yüzeyinden olan ısı transferi azaltılabilir.

Vakumlu mikro küre katkılı boya kütle debi kayıplarını önlemekte cam yününe göre daha avantajlıdır. Hava kanalları eskidikçe kütle kayıpları da artmaya başlar. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan hava kanallarında kanal birleşim yerleri boyanarak eski kanlardaki kütle debi kayıpları önlenabilir ve buda enerji tasarrufu sağlar. Cam yünü yalıtımlı bir kanalda kanal yüzeylerinde olabilecek hasarlardan kaynaklanan hava kaçaklarında hasar gören yeri tespit etmek çok zordur. Cam yünü sökülüp kaçak olan yerin belirlenmesi gerekir. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ile yalıtılan bir kanalda hava kaçakları kolayca belirlenebilir.

Hava kanallarını ısı yalıtımı yapmak için kullanılan vakumlu mikro seramik küre katkılı boyanın fiyatı teknolojinin gelişimi ve kullanım alanlarının artmasıyla giderek ucuzlayacaktır.

Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların avantajlarından biri de renklerinin değiştirilebilir olmasıdır. Klasik yalıtım malzemeleri tek renkte uygulanmaktadır ve sonradan rengi değiştirilememektedir. Açıktan geçen hava kanallarında bu durum estetik açıdan sorun oluşturmaktadır. Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların içlerine katılan kimyasallarla renkleri değiştirilebilmektedir.

Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyanın kimyasal bir bileşime sahip olması ve eksikliklerin kimyasal formülde yapılacak değişimlerle giderilmesi vakumlu mikro seramik küre katkılı yalıtım malzemelerinin sürekli gelişmeye açık olmasını

sağlamaktadır. Klasik yalıtım malzemeleri içlerindeki hava boşlukları sayesinde yalıtım yaparlar. Klasik yalıtım malzemelerinde yalıtım miktarı havanın ısı yalıtım değerinden daha aşağıya düşemez. Oysa vakumlu mikro seramik küre katkısının ısı yalıtımını çok daha düşük değerlere düşürülebilir.

Vakumlu mikro seramik küre katkılı boyaların yüzeye uygulanması sırasında karşılaşılan uygulama sürelerinin uzunluğu ve yüzey boyunca homojen bir kalınlığın elde edilememesi gibi zorluklar, kanalların vakumlu mikro seramik küre katkılı boya yalıtımlı olarak üretiminde otomasyona geçilmesi ile giderilebilir. Böylece vakumlu mikro seramik küre katkılı boyanın yüzeye uygulanmasındaki zorluklar ortadan kaldırılarak boya kalınlığının kontrol edilebilmesi sağlanabilir. Yüzeydeki boya kalınlığı homojen bir kalınlıkta elde edilerek, maliyet azaltılabilir. Deneysel çalışmada boyalara ağırlıkça %18 oranında karıştırılan vakumlu mikro seramik kürelerin karışım oranı arttırılarak boyanın ısı yalıtım özelliği iyileştirilebilir. Ancak, boyaya karıştırılan vakumlu mikro seramik kürelerin karışım oranının arttırılması ile boyanın yoğunluğu ve kırılgenliği artacak, akışkanlığı azalacaktır. Bu nedenle, vakumlu mikro seramik kürelerin karışım oranı önemli bir etkidir.

Hava kanallarının yalıtımlı olarak üretimi uygulama açısından büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Dikdörtgen kesitli hava kanalları yapılacak uygulamaya göre üretilir. Ancak, dairesel kesitli hava kanalları belirli standartlara göre boyutlandırılarak üretilir. Bu nedenle dairesel kesitli kanalların vakumlu mikro seramik küre katkılı boya yalıtımlı olarak toplu üretiminin gerçekleştirilmesi daha uygun olacaktır.

Büyük boyutlardaki mikro küreler daha küçük boyutlardaki mikro kürelerle karıştırılarak kullanıldığında, büyük küreler arasına boya ile birlikte küçük küreler de dolarak yalıtım miktarı artırılabilir.

Deney düzeneği ısıtıcı ile havanın ısıtılması esasına göre tasarlanmıştır fakat aynı sistemde soğutma düzeneği ekleyerek soğumadaki ısı kayıpları da irdelenebilir.

Deneysel çalışmada iki farklı kanal ısı yalıtım malzemesi kıyaslama yöntemiyle incelenmiştir. Bu çalışma hava kanallarında daha sonra yapılacak yalıtım çalışmalarına temel teşkil edebilir. Bu konuda yapılacak çalışmalarda vakumlu mikro seramik küre katkılı boya diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslanabilir. Ayrıca vakumlu mikro seramik küre katkılı boyanın ses yalıtımı içinde incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çimen, F., , “Hava Kanalları”, *Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi Temel Bilgiler, Tasarım Uygulama Eki*, 1: 1-20, Mart-Nisan (2003).
2. Küçükçalı, R., “Klima Tesisatı, 305”, Isısan Isıtma ve Klima Sanayi A.Ş.”, İstanbul, 1: 50-85 (2001).
3. Prof.Dr.Karakoç, H., Binyıldız, E., Turan, O., “Tesisatta Isı Yalıtımı”, Yalıtım, 399, Makine Mühendisleri Odası, İstanbul, 1-86, (2005).
4. Schramek, E., R., “Isıtma ve Klima Tekniği El Kitabı”, Saraçoğlu, O., Razgat, A., Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, İstanbul, 415-510 (2003).
5. Çengel, A.Y., Boles, A.M., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik.”, Literatür yayıncılık, 125-142 (1996).
6. Turan, O., Uralcan, İ., Y., “Yalıtım”, Klima Tesisatı, Makina Mühendisleri Odası, İstanbul, 296: 227-286 (2001).
7. Arslan, K., “Yamuk Kesitli Kanal İçerisinde Türbülanslı Zorlanmış Konveksiyon Şartlarında Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 9-19 (2005).
8. Özcan, K., S., L., “Yüksek Performanslı Isı Yalıtım Malzemeleri”, Mühendis ve Makina, 501: 12-19 (2001).
9. Taşçı, S., “Esnek Kapalı Hücre Elastomerik Esaslı Yalıtım Malzemesinin Doğru Kullanımı ve Uygulanması”, Mühendis ve Makina, 532: 22-28 (2004).
10. Göksal, T., Özbalta, N., “Enerji Korunumunda Düşük Enerjili Bina Tasarımları”, Mühendis ve Makina, 506: 32-36 (2002).
11. Türker, A., “Soğuk Hat Yalıtımında Elastomerik Kauçuk Köpüğü”, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 101-114 (2003).
12. Küçükçalı, R., “Klima Sistemlerinde Enerji Ekonomisi ve Uygulama Önerileri”, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir, 46-66 (2003).
13. Yurttaş, H., S., “LabVIEW Bilgisayar Programı ile Veri Toplama ve Kontrol: Bir Buhar Sıkıştırılmalı Derin Dondurucunun Test Edilmesi”, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 25-48 (2004).

14. Internet: Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayii Hammaddeleri I (Seramik Killeri-Kaolen-Feldspat-Pirofillit-Wollastonit-Talk) Çalışma Grubu Raporu, Ankara: DPT, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik622.pdf> (2001).
15. Internet: BORTEK Termal Boya Ticaret Ltd. Şti., <http://www.bor-tek.com> (2005).
16. Internet: Hy-TechThermal Solutions, <http://www.hytechsales.com> (2005).
17. Internet: Elektronik, İmalat ve Kontrol Ticaret Ltd. Şti., <http://www.elimko.com.tr> (2005).
18. Internet: İzocam A.Ş., <http://www.cam.com> (2005).
19. Internet: TESTO Elektronik ve Test Ölçüm Cihazları Dış Ticaret Ltd. Şti., <http://www.testo.de/TR/tr/> (2005).
20. Internet: Elicent Ventilation Specialists, <http://www.elicent.it/inglese/home.html> (2005).
21. Barletta, A., Pulvirenti, B., “Forced convection with slug flow and viscous dissipation in a rectangular duct” , International Journal of Heat and Mass Transfer, 43: 724-740 (1999).
22. Shah, R.K., London, A.L., “Laminar flow forced convection in ducts”, Advances in Heat Transfer, 1: 125-135 (1978).
23. Shah, R.K., Bhatti, M.S., “Laminar convective heat transfer in ducts”, Handbook of Single-Phase Convective Heat Transfer, New York, 35: 278-292 (1987).
24. Hartnett, J.P., Kostic, M., “Heat transfer to Newtonian and non-Newtonian fluids in rectangular ducts” , Advances in Heat Transfer, 19: 247-356 (1989).
25. Wang, Q., Yoo, H., Jaluria, Y., “Convection in a horizontal rectangular duct under constant and variable property formulations” , International Journal of Heat and Mass Transfer, 46: 297-310 (2002).
26. Hirota, M., Fujita, H., Yokosawa, H., Nakai, H., Itoh, H., “Turbulent heat transfer in a square duct”, International Journal of Heat and Fluid Flow, 18: 170-180, (1997).
27. Ahmed, S., Brundrett, E., “Turbulent flow in non-circular ducts”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 14: 365-375 (1971).

28. Károly, Z., Szépvölgyi, J., “Hollow alumina microspheres prepared by RF thermal plasma”, Powder Technology, 132: 211-213 (2003).
29. Károly, Z., Szépvölgyi, J., “Plasma spheroidization of ceramic particles”, Chemical Engineering and Processing, 44: 221-224 (2005).
30. Cochran, J.K., “Ceramic hollow spheres and their applications”, Current Opinion in Solid State & Materials Science, 3: 474-479 (1998).
31. Geçkinli, A., E., “İleri Teknoloji Malzemeleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 135-202 (1992).

EKLER

EK-1 Deney düzeneği ile ilgili resimler



Resim 1.1. Deney Düzeneği



Resim 1.2. Deney Düzeneği

EK-1 (Devam) Deney düzeneği ile ilgili resimler



Resim 1.3. Deney Düzeneği

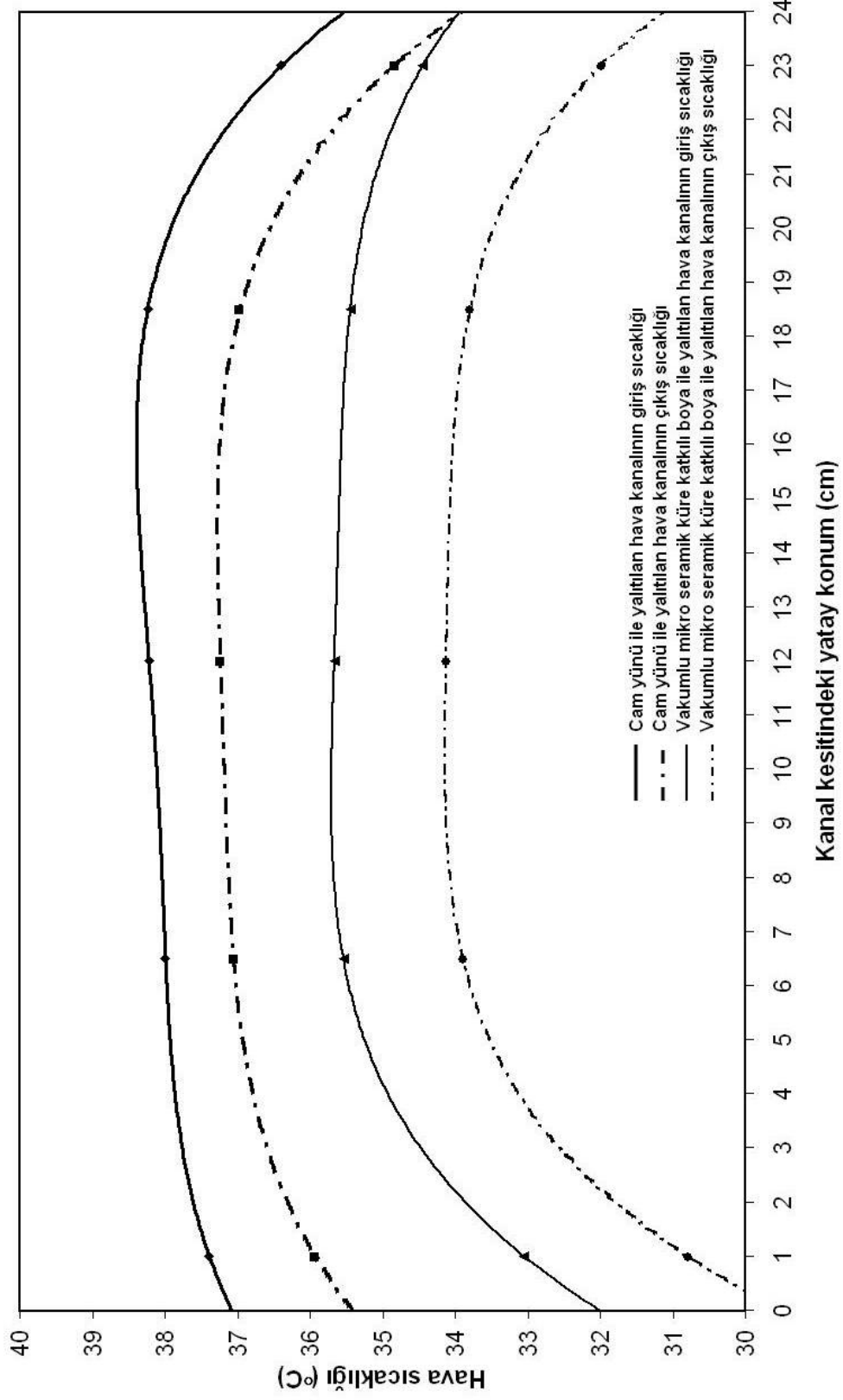


Resim 1.4. Deney Düzeneği

EK-1 (Devam) Deney düzeneği ile ilgili resimler

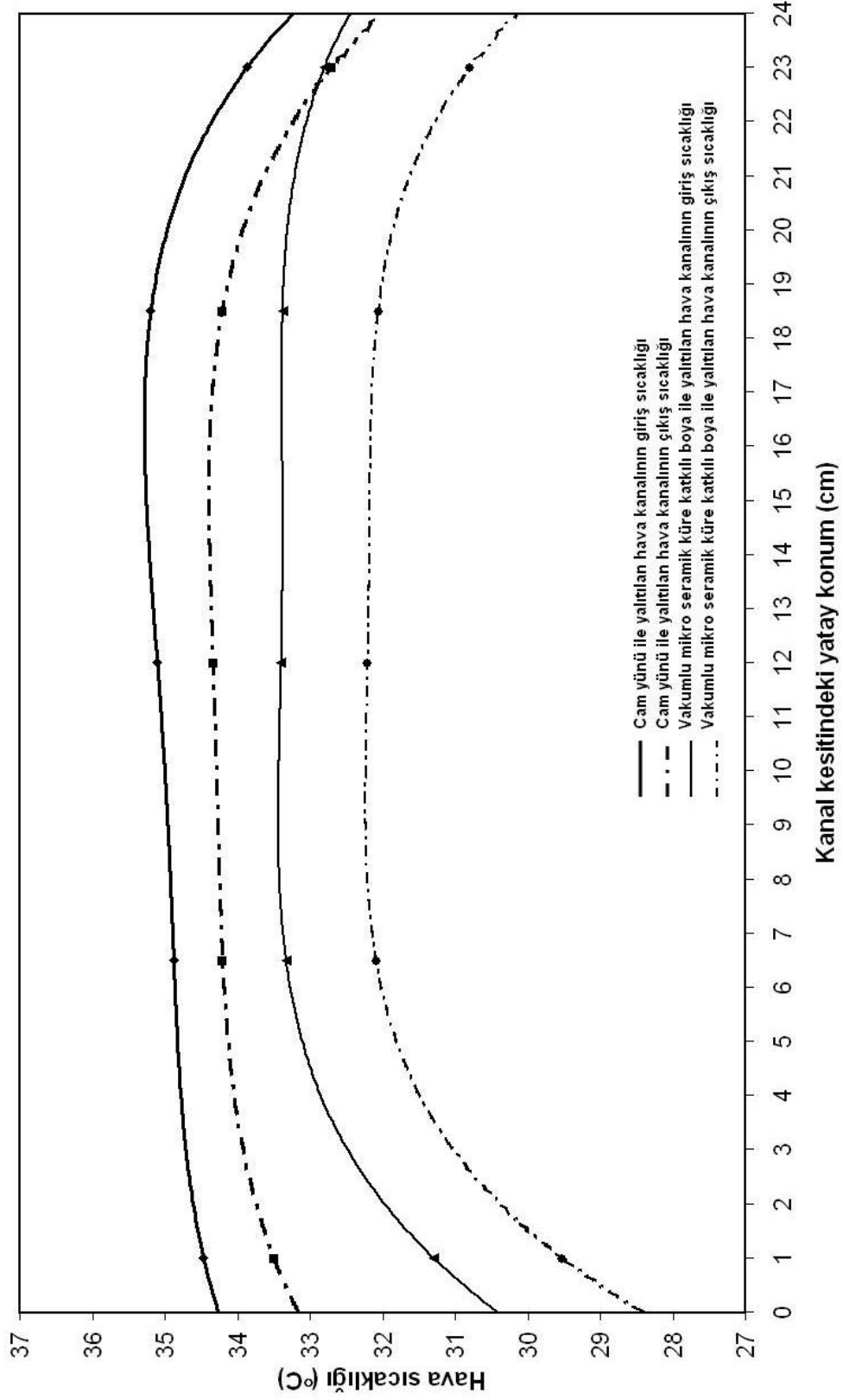


Resim 1.5. Deney Düzeneği



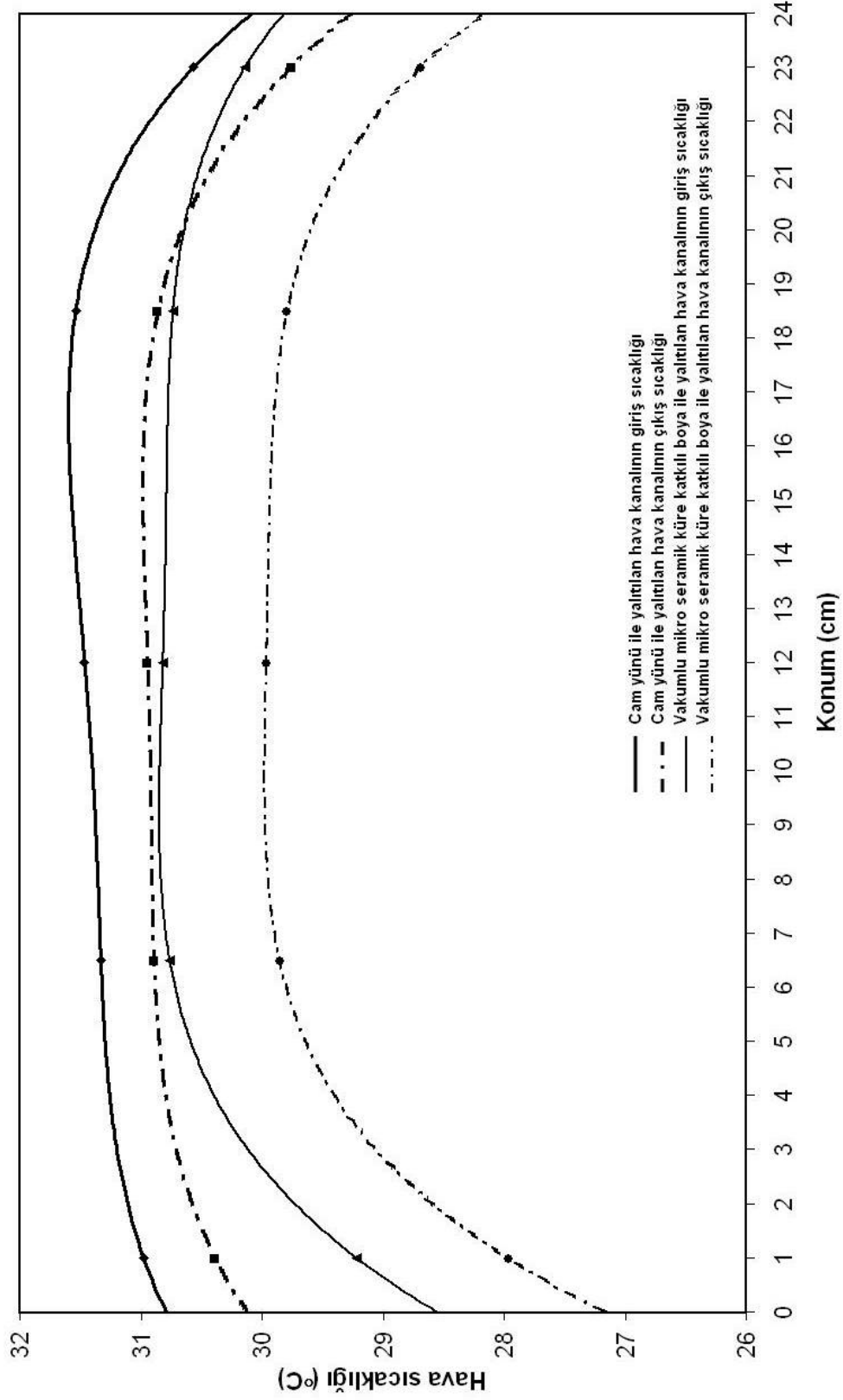
Şekil 2.1. Fanın birinci hız kademesinde; vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılmış kanallarda, kanal giriş ve çıkışlarında ortalama sıcaklık konum ile değişimi

EK-2 (Devam) Hava kanalı kesitinde sıcaklık dağılımı



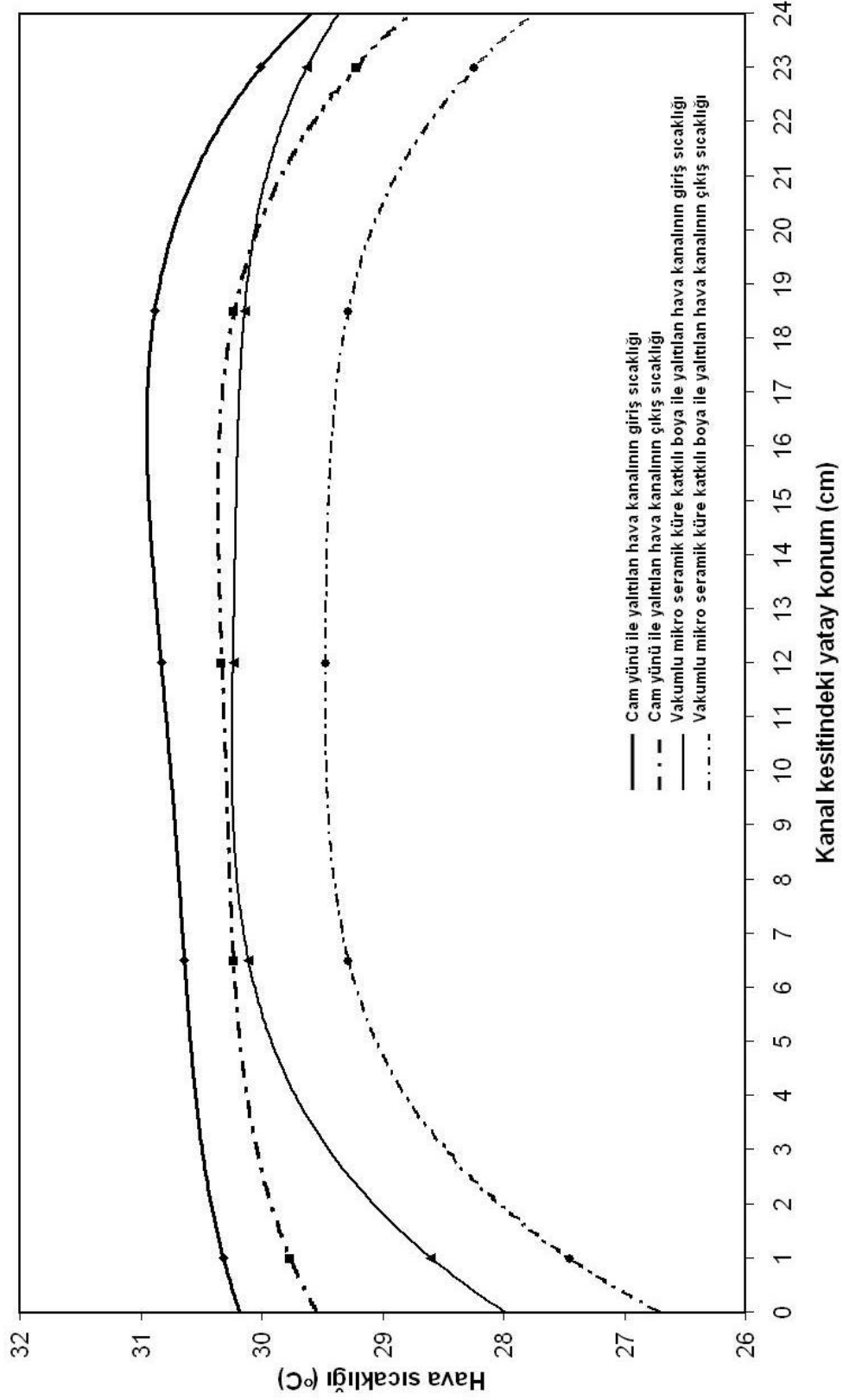
Şekil 2.2. Fanın ikinci hız kademesinde; vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılmış kanallarda, kanal giriş ve çıkışlarında ortalama sıcaklık konum ile değişimi

EK-2 (Devam) Hava kanalı kesitinde sıcaklık dağılımı



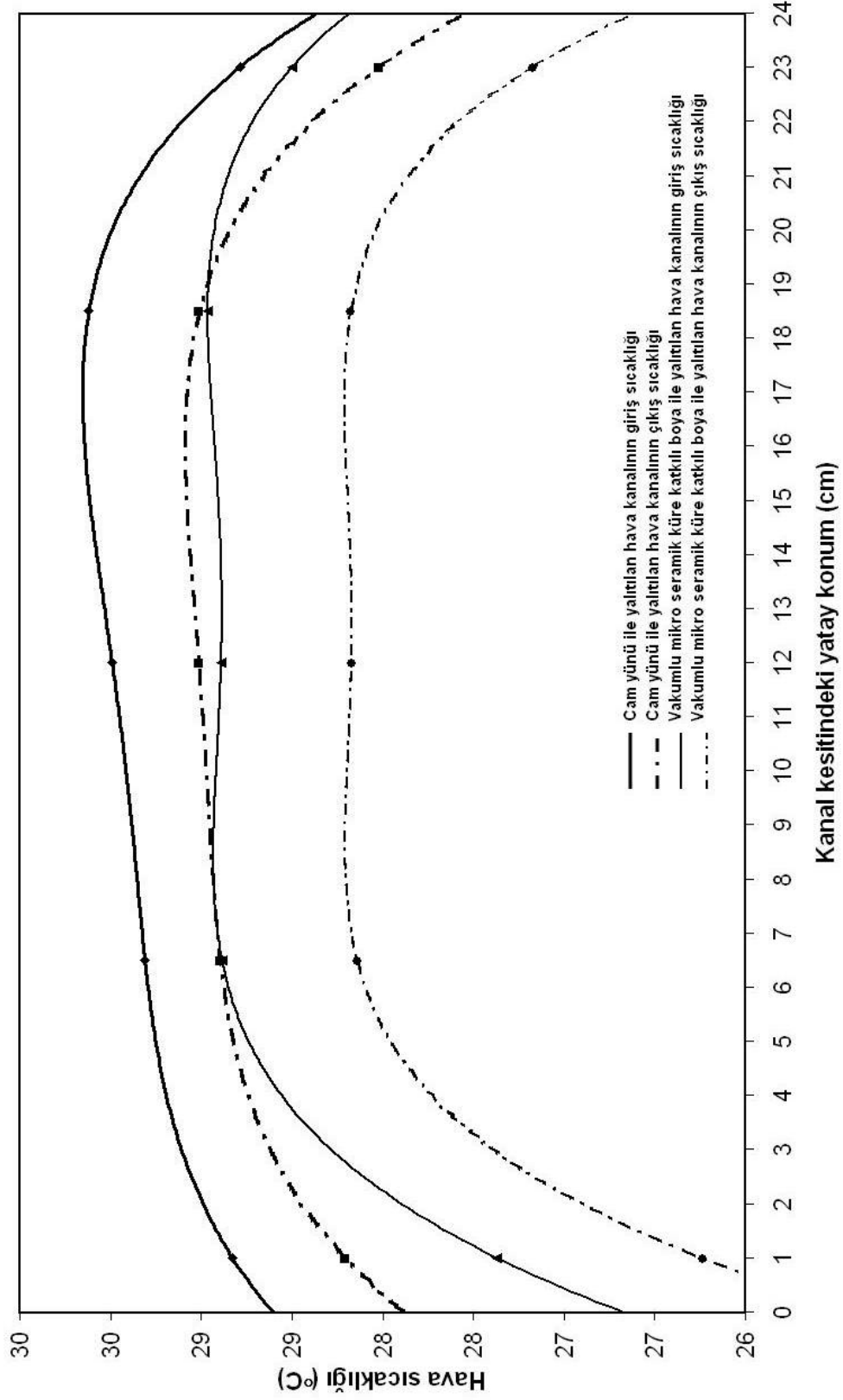
Şekil 2.3. Fanın üçüncü hız kademesinde; vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılmış kanallarda, kanal giriş ve çıkışlarında ortalama sıcaklık konum ile değişimi

EK-2 (Devam) Hava kanalı kesitinde sıcaklık dağılımı



Şekil 2.4. Fanın dördüncü hız kademesinde; vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılmış kanallarda, kanal giriş ve çıkışlarında ortalama sıcaklık konum ile değişimi

EK-2 (Devam) Hava kanalı kesitinde sıcaklık dağılımı



Şekil 2.5. Fanın beşinci hız kademesinde; vakumlu mikro seramik küre katkılı boya ve cam yünü ile yalıtılmış kanallarda, kanal giriş ve çıkışlarında ortalama sıcaklık konum ile değişimi

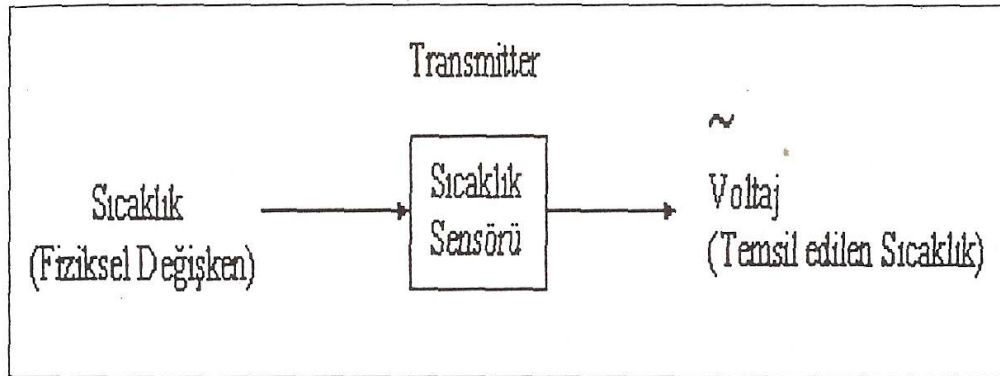
EK-3 (Devam) LABVIEW programı

3. Veri Yönlendirme: LabVIEW, analiz yöntemleri için zengin bir kaynak merkezidir. Giren veriler; sayısal metodlarla, ölçümlerle, sinyal akışıyla vb. yönlendirilebilir. Bunun dışında, veriler grafik üzerinde gösterilebileceği gibi dosyalarda da saklanabilir .

4. Cihaz Kontrolü: Bir cihazın bilgisayar tarafından kontrol edilebilmesi için GPIB (General Purpose Interface Bus) bağlantısı olması gerekir. GPIB aracılığıyla, LabVIEW bir cihazın çalışmasını kontrol edebilir. Örneğin, bir oscilloscope'un ilgili verileri, LabVIEW'a yönlendirmek, depolamak ve göstermek amacıyla transfer edilebilir.

Veri Toplama

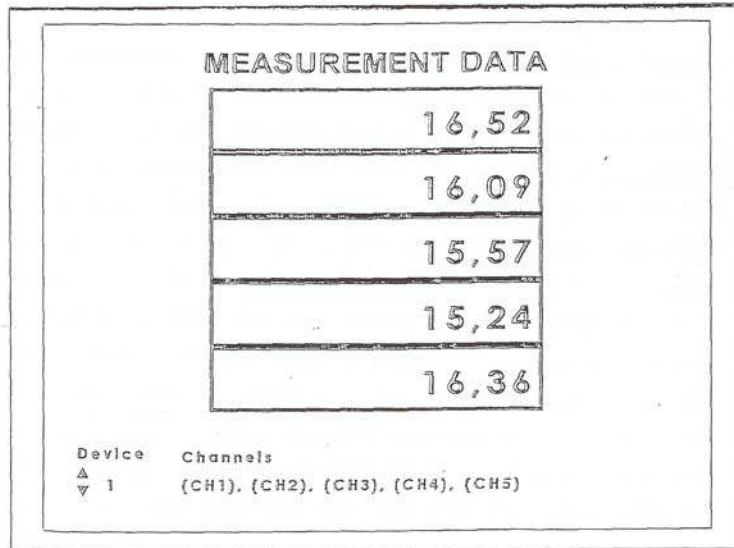
Veri Toplama dış ortamda fiziksel değişken olarak ifade edilen bilgileri, bilgisayar ortamına getirme işlemidir. Burada bahsedilen fiziksel değişken; sıcaklık, basınç, ızaflı nem, motor hızı, bir kimyasal reaksiyon değişkeni v.b. olabilir. Analog bileşenlerin sadece voltaj ve akım olarak bilinebildiği ve doğrudan sıcaklık ve basınç gibi fiziksel nicelikler şeklinde ifade edilemediği sürece, bu dönüşümü sağlamak üzere bir sensöre ihtiyaç duyulur. Bu sensör, bir ısı çift veya transmitter olabilir [5].



Şekil 3.2. Veri toplama işlemi

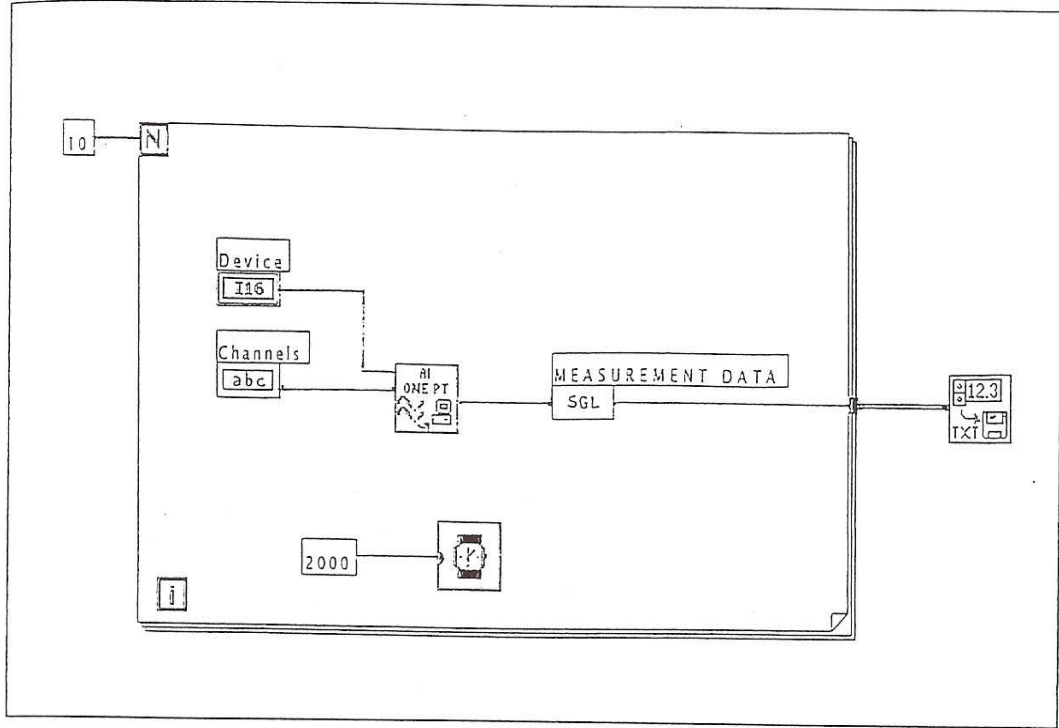
EK-3 (Devam) LABVIEW programı

Transmitter, fiziksel bir değişkeni voltaj veya akıma dönüştüren bir cihazdır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi sıcaklık sensörü; sıcaklığı, sıcaklığı ifade eden analog voltaj sinyaline dönüştürür. Bu analog sinyal, daha sonra veri toplama kartına uygulanır ve burada dijital bir sinyale dönüştürülür. LabVIEW, analog verileri bir transmitter, ısı çift veya benzeri bir cihazdan alabilir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de sırasıyla bir ortamın sıcaklığını ölçmek üzere LabVIEW kullanılarak hazırlanmış bir programın blok diyagramı ve ön paneli görülmektedir.



Şekil 3.3. Ön panelin görünümü

EK-3 (Devam) LABVIEW programı



Şekil 3.4. Blok diyagramı

Bu programda bir veya daha fazla noktanın sıcaklığı bir FOR döngüsü kullanılarak 2 saniye aralıklarla 10 kez ölçülmüş ve ölçülen her iki saniyedeki değerler programın ön panelinde gösterilmiş ve bir dosyaya kaydedilmiştir. Ölçüm sayısı (N) ve zaman aralığı istenildiğinde değiştirilebilir. Buradaki döngünün FOR döngüsü olması ölçüm sayısının verilmiş olmasından anlaşılabilir. Ölçüm sayısının sınırlandırılması istenmiyorsa WHILE döngüsü kullanılmalıdır. WHILE döngüsünde dışarıdan müdahale edilmediği sürece ölçüm işlemi devam eder. Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi cihaz numarasının (device number) fonksiyon olarak blok diyagramında belirtilmesi ve sayısal değerinin de ön panelde girilmesi gerekir. Sistemde bir adet veri toplama kartı olduğu için cihaz numarası 1 alınmıştır. Cihaz numarasının temsil edildiği 116 ikonu ise Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi girilen verinin kapladığı hafıza boyutu ile ilgili bilgi verir. 116, -32,768 ile +32,768 arasındaki tamsayıları ifade eder ve hafıza boyutu 2 byte'dır.

EK-3 (Devam) LABVIEW programı

Verileri temsil eden sayılar Çizelge 3.1’de verilmiştir. Kanal sayısı da (channels) fonksiyon olarak blok diyagramında ve sayısal değer olarak ön panelde görülmektedir. Bu örnekte her biri bir ısı çifti karşılık gelen 5 ayrı kanaldan ölçüm alınmıştır, bu kanallar LabVIEW’a rasgele yazılamaz, daha önce Channel Wizard programı aracılığıyla LabVIEW’a tanıtılır, bu tanıtma işlemi yapılmazsa Labview verilen kanalları tanımaz ve ölçüm alınamaz. Ölçüm alınmak üzere kullanılan AI ONE PT ikonu tek noktadan çok sayıda kanal için ölçüm alınabileceğini ifade eder ve döngülerden yararlanılarak bir çok kanal için istenilen sayıda ölçüm alınabilir. AI ONE PT’nin çıkışındaki Measurement Data ikonu toplanan verileri ifade eder ve buradaki SGL, verinin hafıza boyutunun simgesidir. 10^{-38} ile 10^{+38} arasındaki reel sayıları kapsar ve her bir verinin hafızada kapladığı yer 4 byte’dır. Bu örnekte, 5 ayrı kanal girişi olduğundan toplanan veriler ön panelde 5 ayrı değer olarak görülmektedir ve bu değerler ölçüm aralığı olan 2 saniyede bir değişir. Ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra döngü dışında bir text dosyasına kaydedilir. Kaydetme işleminden önce uzantısı txt olan bir dosya adı seçilir ve toplanan veriler bu dosyaya aktarılır. Kayıt işleminin döngü dışında yapılmasının sebebi ise her yeni döngüde kayıt yapılacak dosya adının sorulmamasını sağlamaktır, save ikonu döngü dışına alındığı için tek bir dosya adı verilerek bütün değerler aynı dosyaya kaydedilir. Blok diyagramında cihazlar arasındaki bağlantıyı sağlayan hatların renkleri de önemlidir. Mavi hatlar tamsayıları, turuncu hatlar ise reel sayıları ifade eder, hatlar tek boyutlu verilerden çok boyutlu verilere gidildikçe kalınlaşır, yukarıdaki örnekte döngü dışında çift çizgi olmasının sebebi, dizi şeklindeki çok boyutlu verilerin text dosyasına kaydedilmesidir. Döngü içerisinde ise her işlem bir sefer için yapıldığından hatlar tek boyutlu verileri taşır ve ince çizgiler ile temsil edilir.

EK-3 (Devam) LABVIEW programı

Çizelge 3.1. Verileri temsil eden sayılar

Veri Türü	Simge	Boyut (Byte)	Sayı Aralığı
Reel Sayılar	SGL	4	$(10^{-38} - 10^{+38})$
	DBL	8	$(10^{-308} - 10^{+308})$
	EXT	10	$(10^{-350} - 10^{+350})$
Tamsayılar	I 8	1	$(-128 - +128)$
	I 16	2	$(-32,768 - +32,767)$
	I 32	4	$(-16,768 - +16,767)$
Pozitif Sayılar	U 8	1	$(0 - +255)$
	U 16	2	$(0 - +65,535)$
	U 32	4	$(0 - +33,535)$

Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi reel sayılar ondalıklı olarak ifade edilir, burada reel sayılar için virgülden sonra kaç basamak alınacağı önemlidir, alınacak basamak sayısı ve sayının nasıl ifade edileceği (reel, bilimsel, mühendislik yaklaşımı, görelî zaman) tamamen kullanıcıya bağlıdır. Çizelge 3.2’de reel sayılar için seçilebilecek limitler görülmektedir.

Çizelge 3.2. Reel sayı limitleri

Sayı Türü	Virgülden sonraki basamak sayısı	Sayının Gösterimi
Reel	4	123,4567
Reel	2	123,46
Bilimsel	4	$1,2346E + 02$
Bilimsel	2	$1,23E + 02$
Mühendislik Yaklaşımı	4	$123,4567E + 0$
Mühendislik Yaklaşımı	2	$123,46E + 0$
Görelî Zaman (s.)	4	2 : 03,4567
Görelî Zaman (s.)	2	2 : 03,46

Veri toplama işlemini yerine getirebilmek için gerekli olan elemanlar aşağıda açıklanmıştır.

EK-3 (Devam) LABVIEW programı

Veri Toplama Elemanları

1. LabVIEW programı: Öncelikle kullanabileceğimiz bir bilgisayar programı gereklidir. Burada, verileri toplayıp değerlendirebileceğimiz bir program olan LabVIEW kullanılmıştır.

2. Veri toplama kartı (DAQ Board): Bilgisayarın genişleme girişine takılır. Verilerin girişine veya çıkışına izin vererek bilgisayar ile dış ortam arasındaki bağlantıyı sağlar. Toplanan bu veriler bilgisayar hafızasında saklanabilir, işlenebilir veya yönlendirilebilir.

Veri toplama kartı, veri toplamak için gerekli olan bir çok elemana sahiptir. Ölçümlerin alınmasında kullanılan kartın modeli AT-MIO-16XE-50'dir ve bu kart üzerinde çok katlı 16 adet analog veri girişi kanalı vardır. Analog / Dijital dönüştürücü, giren analog veriyi dijital veri olarak ifade eder. FIFO (First In First Out memory) ise veri toplama uygulamalarında, verinin geçici olarak saklanmasını sağlar. Aynı zamanda, dijital veriyi analog veriye dönüştüren ve bunu harici cihazlar tarafından kullanılmak üzere analog çıkışlara yönlendiren iki adet Dijital / Analog dönüştürücü bulunmaktadır.

Dijital Input/Output portları da dijital verinin bilgisayar ile harici cihazlar arasında bilgi alışverişine imkan sağlar.

Counter/timer çipleri, Programın sağlıklı çalışabilmesi için donanımda olması gereken veri toplama elemanlarından ve sistemin sayaç ve zaman özelliklerini tanınması için gereklidir.

EK-3 (Devam) LABVIEW programı

National Instruments firması, değişik hız ve kararlılıkta bir çok veri toplama kartı (DAQ Board) geliştirmiştir.

3. NI-DAQ Driver Software: Veri toplama kartına bağlanan yüksek seviyeli bir yazılımdır. NI-DAQ bütün düşük seviyeli donanımlar ve sistem programlama için önemlidir. Aynı zamanda sistemi, veri toplama işleminde fazla sayıda veri toplama kartı çalıştığında destekler.

4. Termination Board: Veri toplama kartına bağlanır ve bu kart üzerindeki çeşitli sinyallere ulaşma imkanı sağlar. Ayrıca yardımcı elemanları birbirine bağlayarak sinyal akışını sağlar.

5. Veri toplama kartının tanıtılması: Son olarak, veri toplama kartının ayarlanması gerekir. Bu, Labview'un bu kartı tanınması anlamına gelir. Bunun için LabVIEW grup penceresinde bulunan WDAQCONF penceresini açmak gerekir. WDAQCONF, veri toplama kartına bir sayı verir. Eğer sistemde bir tane kart varsa cihaz numarası 1 olur. Uygulamalar sırasında bu sayı kullanıcıya sorulur.

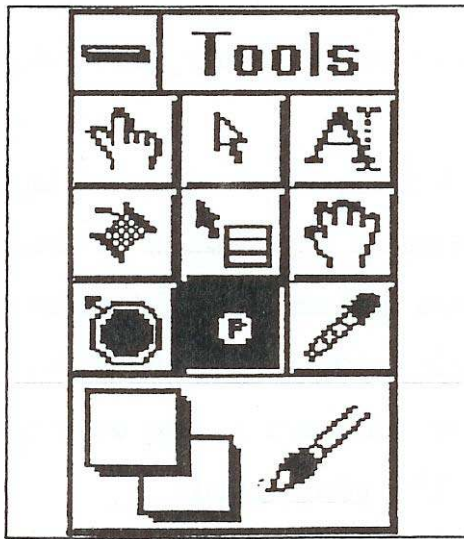
LabVIEW programının kullanılması

LabVIEW bilgisayar programında, blok diyagramı ve ön panel olmak üzere iki temel bileşen vardır. Blok diyagramı, veri toplamak üzere kullanılan ikonların fonksiyon bağlantılarını, ön panel ise alınan ölçümlerin sayısal değerlerini ve kontrol noktalarını içerir. Programların oluşturulmasında kullanılan ikonlar üç ayrı panelde toplanmıştır. Bu paneller;

1. Araçlar Paneli (Tools Panel)
2. Kontrol Paneli (Controls Panel)
3. Fonksiyon Paneli (Functions Panel)

EK-3 (Devam) LABVIEW programı

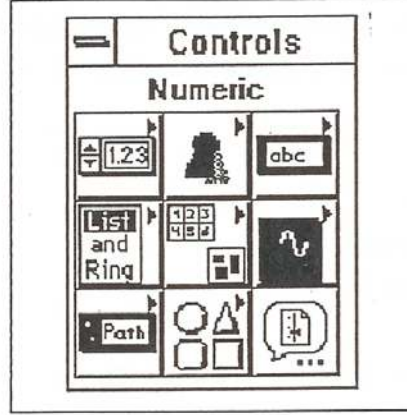
Araçlar Paneli: Programlarda kullanılan ikonların bağlantısı nesnelerin taşınması değerlendirilmesi, renklendirilmesi ve etiketlenmesi gibi işlemler Şekil 3.5’de görülen bu panel üzerinde bulunan fonksiyonlar kullanılarak yapılır. Araçlar paneli program açıldığında kendiliğinden açılır veya windows → show tools panel yolu izlenerek açılabilir.



Şekil 3.5. Araçlar Paneli

Kontrol Paneli: Çeşitli kontrol noktalarını ve göstergeleri içerir. Bu panele sadece ön panelden ulaşılabilir. Örneğin, ön panele ölçüm sonuçlarını gösteren bir grafik veya gösterge yerleştirilirken bu paneldeki ikonlar kullanılır. Kontrol paneli, Şekil 3.6’de görülmektedir. Kontrol paneli de windows → show controls panel yolu izlenerek açılır.

EK-3 (Devam) LABVIEW programı



Şekil 3.6. Kontrol Paneli

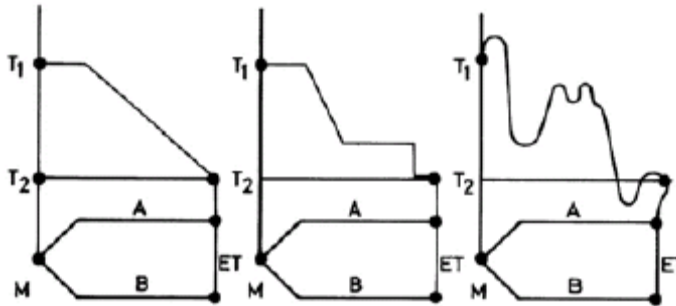
Fonksiyon Paneli: Programların fonksiyon bağlantıları için gerekli olan ikonları içerir. Bu panele sadece blok diyagramı üzerinden ulaşılabilir. Veri toplama uygulamalarında sıkça kullanılan döngüler ve ölçüm alınabilmesi için gerekli olan ikonlar bu panelde bulunur. windows → show functions panel yolu izlenerek açılır.

LabVIEW programının en yaygın kullanım alanı olan veri toplama uygulamaları fonksiyon panelinde yer alır. Veri toplama, dış ortamdan bir sensor vasıtasıyla alınan analog verilerin veri toplama kartına iletilmesi ve veri toplama kartının bu analog sinyalleri dijital sinyallere dönüştürmesidir. Programlarda veri toplama işlemini gerçekleştirmek için gerekli ikonlara functions → data acquisition yolu izlenerek ulaşılır.

EK-4 Sıcaklık ölçümü

Sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Sıcaklık tamamen fizik ile ilgili temel bir konudur. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde sık kullanılan ısı çiftleridir. Isıl çiftlerle $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ölçüm yapılabilir. Isıl çift iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşturulan basit bir sıcaklık ölçüm elemanıdır. Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak adlandırılır. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Isıl çiftin sıcak noktası ve soğuk noktası arasındaki sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun üretilen gerilim, sıcak ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkına orandır.

M=Sıcak Nokta, ET=Soğuk Nokta



Şekil 4.1. Isıl çiftte sıcak ve soğuk nokta sıcaklıkları

Dolayısı ile soğuk noktanın sıcaklığı önemlidir. Sıcak nokta aynı kalmak kaydı ile soğuk nokta sıcaklığı değiştiği takdirde farklı sıcaklıklar okunacaktır. Bu nedenle ısı çift mV tablolarındaki değerlerde standardizasyon sağlamak için ölçülen sıcaklık karşılığı mV değerleri soğuk noktanın $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tutulması ile elde edilmişlerdir. Örneğin $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye karşılık gelen mV değeri ısı çift sıcak noktası $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de, soğuk nokta $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de iken uç noktada ölçülen mV değeridir.

EK-4 (Devam) Sıcaklık ölçümü

Isıl çiftler endüstride sıcaklık ölçümlerinde çok geniş uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Isıl çift aslında iki farklı metal veya alaşım tel olmasına rağmen genelde prosese çıplak olarak daldırılmazlar. Çeşitli mekanik darbeler, fiziksel ve kimyasal aşındırıcı özellikler göz önüne alınarak belli özel koruyucu kılıflar içinde kullanılırlar. İki farklı eleman teli farklı kutuplarda oldukları için birbirlerinden izolatör yardımıyla izole edilirler. İzolatörlerin seçiminde yine ortam şartlarının, sıcaklık limitlerinin önemi büyüktür. Gerek eleman tellerinin gerekse koruyucu tüplerin cinsleri ısı çiftlerinin ömürlerine direkt etki etmektedir.

Isıl – çift eleman teli cinsleri

-200 °C’den 2320 °C’ye kadar çeşitli sıcaklık aralıklarında en çok kullanılan DIN 43710 ve IEC 584 standart ısı çift eleman teli çeşitleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Isıl çift çeşitleri ve kullanılan alaşımlar

Cu-Const (CuNi)	Bakır-Konstantan
Fe-Const (CuNi)	Demir-Konstantan
Cr-Al	Kromel-Alümel
NiCr-Ni	Nikelkrom-Nikel
Nikrosil-Nisil	Nikelkrom Silikon-Nikelsilikon
Pt%10Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%10)
Pt%13Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%13)
Pt%18Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%18)
Tn-Tn%26Re	Tungsten-Tungsten %26 Renyum

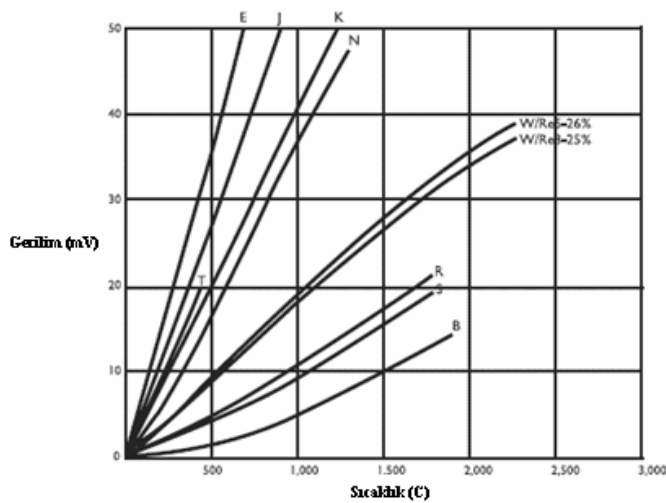
Bu ısı – çiftlerin sıcaklık limitlerini ve standart kodlarını Çizelge 4.2.’de verilmiştir.

EK-4 (Devam) Sıcaklık ölçümü

Çizelge 4.2. Çeşitli ısı çiftleri ve sıcaklık limitleri

Isıl Çift	DIN 43710	DIN 43710 IEC 584	Sıcaklık Aralığı
Cu-Const	U	T	-200 ÷ 300 °C
Fe-Const	L	J	-200 ÷ 800 °C
Cr-Al		K	-200 ÷ 1200 °C
NiCr-Ni		K	-200 ÷ 1200 °C
Cr-Const		E	-200 ÷ 1200 °C
Nikrosil-Nisil		N	0 ÷ 1200 °C
Pt%10Rh-Pt		S	0 ÷ 1500 °C
Pt%13Rh-Pt		R	0 ÷ 1600 °C
Pt%18Rh-Pt		B	0 ÷ 1800 °C
Tn-Tn%26Re		W	0 ÷ 2000 °C

Bu eleman tellerinin sıcaklık - mV eğrilerini incelenecek olursa doğrusal olmadıkları görülür. Isıl çift sıcaklık - mV eğrileri incelendiğinde her birinin sıcaklık ölçümü açısından diğerine nazaran daha uygun olduğu bölgeler vardır. Örneğin 0 - 800 °C sıcaklık ölçümü yapabilen Fe-Const ile 0 – 1200 °C'ye kadar ölçüm yapabilen NiCr - Ni eleman tellerinin mV eğrisi karşılaştırıldığında 300 – 600 °C arasında Fe - Const, NiCr - Ni'ye nazaran daha doğrusaldır. Bu nedenle bu aralıkta Fe - Const ile çalışma tercih edilir. Yine aynı yaklaşımla PtRh - Pt ısı çiftleri için 800 – 1600 °C arası uygun bir çalışma bölgesidir. 800 °C'nin altında doğrusallık çok bozuktur.



Şekil 4.2. Isıl çift sıcaklık – mV eğrileri

EK-4 (Devam) Sıcaklık ölçümü

Deneyisel çalışmada çok yüksek sıcaklıklar ölçülmedi. Deneyler sırasında ısı çiftleri 15 °C – 40 °C arasındaki sıcaklıklar ölçüldü. Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi düşük sıcaklık aralıklarında T tipi ısı çifti seçimi en doğru sıcaklık ölçümlerini verecektir. Bu nedenle, deneylerde T tipi ısı çifti kullanılmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ŞENYURT, Serkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 24.12.1977 Sivas
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 314 13 21
e-mail : serkansenyurt@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Osmangazi/ Makine Mühendisliği	2002
Lise	Kalaba Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2002-2004	Gültekin Teknik Ltd. Şti.	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Basketbol, Web tasarımı