



bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Bina İçi ve Dışı Akış Problemlerinin Deneysel İncelenişi

OSMAN F. GENÇELİ

İ.T.Ü.
Makina Fakültesi

BİNA İÇİ VE DIŞI AKIŞ PROBLEMLERİNİN DENEYSEL İNCELENİŞİ

Osman F. GENÇELİ

ÖZET

Bina içi ve dışındaki hava hareketlerinin incelenişinde kullanılan teorik analizlerdeki basitleştirici varsayımlar, gerçek akıştan farklı çözümler verebilmektedir. Bu nedenle uygulamada bir çok durumda deneysel yöntemlerden yararlanılır. Deneysel yöntemler de genelde birisi prop tipi diğeri optik olmak üzere iki grupta toplanabilir. Pratikte çoğunlukla, üstünlükleri nedeniyle optik yöntemler kullanılır. Optik yöntemlerden de akışı görünür hale getiren yöntemler, diğere ölçme yöntemlerine göre ilave bulgular verebilmektedir. Bu yazıda esas olarak ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme problemlerinde bina dışında ve içinde karşılaşılan karakteristik akış problemleri tanıtıldıktan sonra, bu problemlerin akışı görünür hale getiren yöntemler ile incelenişlerine ait örnekler verilmiştir.

1. GİRİŞ

İklimlendirme ve havalandırma projelerinin temel konularından birisi olan bina içindeki ve dışındaki hava hareketlerinin teorik incelenmesinde, akışkanlar mekaniği prensiplerinden ve çoğunlukla da potansiyel akış analizlerinden yararlanılır. Akış olaylarının karmaşıklığı yüzünden teorik modellerde yapılan varsayımlar, teorik çözümler ile gerçek olaylardaki akış arasında bir miktar farklılıklar ortaya çıkar. Akışın tam olarak analizi, ancak bire bir büyüklükteki gerçek boyuttaki modeller üzerinde yapılan deneyler ile tespit edilebilir. Gerçek boyuttaki modeller üzerinde çalışmak her zaman arzu edilmesine rağmen, maddi imkansızlıklar nedeniyle genelde küçük modeller üzerinde laboratuvar koşullarında deneysel çalışmalar yapılır.

Bina içindeki ve dışındaki akış problemlerinin deneysel incelenişinde kullanılan en etkin yöntemler, akışı görünür hale getirmektir. Temelde optik prensiplere dayanan akışı görünür hale getiren bu yöntemler, bir çok durumda diğere ölçme yöntemlerinden farklı bulgular verebilmektedir. Prop tipi ölçme aletlerinden farklı olarak, akışın görünür hale getirildiği deneysel yöntemlerde, olayı tedirgin etmeden, bir gecikmeye neden olmadan, sistemin bütün noktalarında aynı anda ölçme yapabilmektedir.

Akışı görünür hale getirmek için esas olarak iki prensip vardır. Birinci prensipte akış içine farklı yabancı bir madde ilave etmektir. Bu ilave edilen yabancı maddenin esas akışı takip edebilmesi için mümkün olduğu kadar küçük, izlenebilmesi için de mümkün olduğu kadar büyük olması gerekir. Bu prensibe dayanan birkaç yöntem, hava içine duman, sis veya küçük aerosol parçacıklar ilave etmektir.

Akışı görünür hale getiren ikinci prensip ise akış esnasında akışkanın optik özelliklerinin değişimine dayanır. Örnek olarak akışkanın yoğunluk ve sıcaklığındaki değişim, kırılma indisinin değişimine neden olur. Kırılma indisinin değişimine dayanan çeşitli interferometreler, schlieren ve gölge yöntemleri yardımı ile bütün akış görünür hale getirilebilir.

Bu bildiride akışı görünür hale getiren yöntemlerin kısaca prensipleri açıklandıktan sonra, bu yöntemlerin ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme problemlerindeki uygulama alanlarından örnekler verilecektir.

2. BİNA DIŞI AKIŞ PROBLEMLERİ

Bina dışındaki hava hareketleri, hem çevresel olaylar hem de ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme bakımından bina içine ve dışına olumlu veya olumsuz etkiler yapabilir. Bu hava hareketleri özellikle;

- Bina içinde bulunan şahısların sağlığına ve bu şahısların etkin çalışmasına,
 - Bina içinde yapılan her çeşit malzemenin üretim kalitesine,
 - Binada bulunan sıcaklık, nem kontrolü yapan çeşitli iklimlendirme cihazlarının verimli çalışmasına,
 - Bina yüzeyinde oluşturduğu yüzeysel basınç, havalandırma tesisatının temiz hava girişi ve egzoz çıkışındaki hava basınçlarına,
 - Bina içine ve etrafına hava kirleticilerinin ortama yayılmasına,
- birinci derecede etki eder. Bu etkilerin bulunabilmesi açısından, bina dışındaki hava hareketleri tam olarak tespit edilmelidir.

Meteorolojik olayların kararsızlığı, bina konstrüksiyonlarının karmaşıklığı, bina dışındaki hava hareketlerinin teorik olarak analizini oldukça zorlaştırmaktadır. İncelenen binanın en basit geometrik şekil olan dikdörtgenler prizması olarak alınması durumunda bile, bu geometri etrafında karmaşık akış modelleri oluşmaktadır. Projelendirilmesi yapılan karmaşık şekilli bir bina, birkaç dikdörtgen prizmasının birleştirilmesinden oluştuğu kabul edilerek, deneysel ve teorik analizi yapılabilir. Böyle bir geometriye sahip binanın proje aşamasında mimar, meteorolojik bilgilerin yanısıra, eğer gerekiyor ise binanın belirli ölçeklerde küçültülmüş bir modeli hava tüneli içine yerleştirilerek elde edilen deney bulgularını da kullanarak projesini oluşturmalıdır. Bu şekilde binaya gelen rüzgar yüklerinden başka, gökdelenlerdeki ısıtma, havalandırma, iklimlendirme problemleri, bu binadan yayılan kirlitici gazlar, rüzgar gürültüsü ve bina içindeki ısı dengeleri etrafıca araştırılabilir.

Şekil 2.1'de çatı hizasındaki akış hızı U_H olan, düzgün bir akışa dik olarak yerleştirilmiş bir dikdörtgenler prizması biçimindeki bir binanın etrafındaki akışta, prizmanın orta kesitinde oluşan bölgeler görülmektedir [2, 3]. Prizmanın ön yüzünde bir durma noktası ve vorteks hareketi, arka kısmında ise akışta geri dönüş hareketleri oluşmaktadır. Geometrinin üç boyutlu olması nedeniyle, şeklin plan görünüşünde belirtildiği gibi, akışın geri dönüş bölgesi at nalı biçimindedir. Diğer taraftan şekilde görüldüğü gibi, geri dönüş bölgesi içinde bir egzoz çıkışı, baca veya soğutma kulesi çıkışı varsa, bu kısım içinde kirli bir bölge oluşur.

Prizmanın önünde görülen vorteks hareketleri, zemin seviyesindeki toz, toprak, yaprak, yağmur damlacıkları ve kar gibi tanecikleri yer seviyesinden yükselterek ortama karışmasına neden olur. Özellikle bu bölgelerde havalandırma kanallarının emme ve basma ağızlarının bulunmamasına dikkat etmek gerekir.

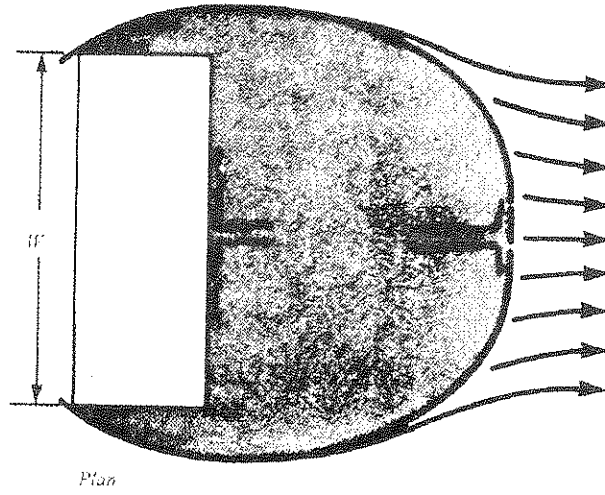
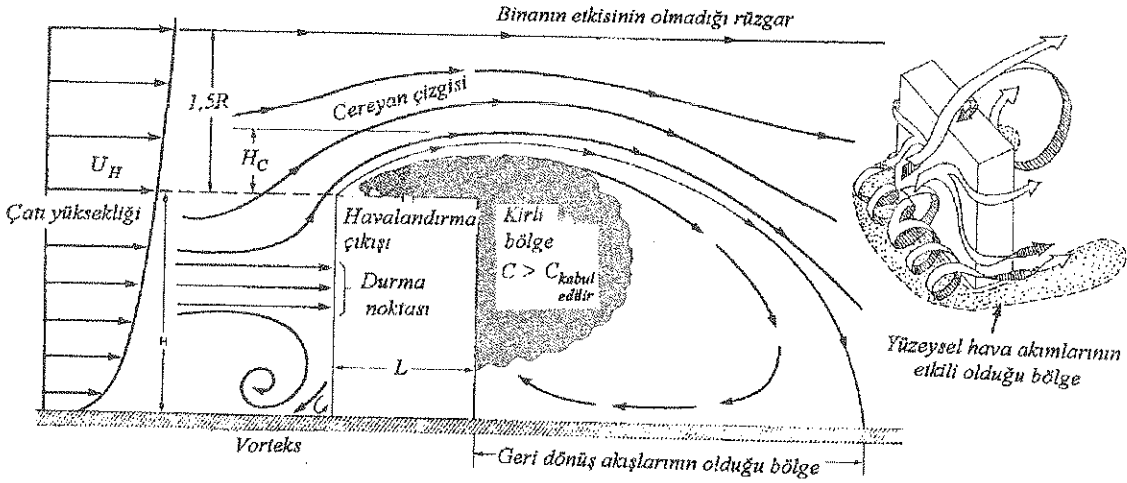
Binanın yükseklik ve boyuna bağlı olarak geri dönüş bölgesi ve kirli bölge boyutları değişebilmektedir. Şekil 2.2'de damında h_s yüksekliğinde bacası bulunan dikdörtgen prizması şeklindeki bir binadaki akış modellerinin değişimi verilmiştir. Binanın yüksekliği ve genişliğinden küçük olan B_s , büyük olan B_l olarak tanımlanmak üzere bu geometri için şekil ölçeği

$$R = B_s^{0,67} B_l^{0,33}$$

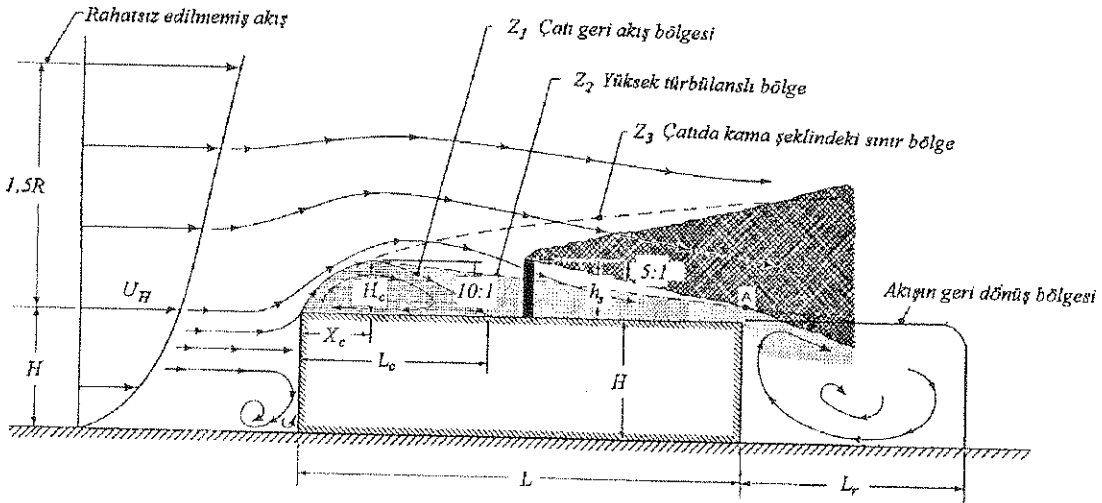
olarak tanımlanabilir [3,4]. Ayrıca $B_l / B_s > 8$ durumu için, $B_l = 8 B_s$ alınabilir. Wilson, Şekil 2.2'de verilen karakteristik uzunlukları

$$H_c = 0,22R, \quad X_c = 0,5R, \quad L_c = 0,9R, \quad L_r = 1,0R$$

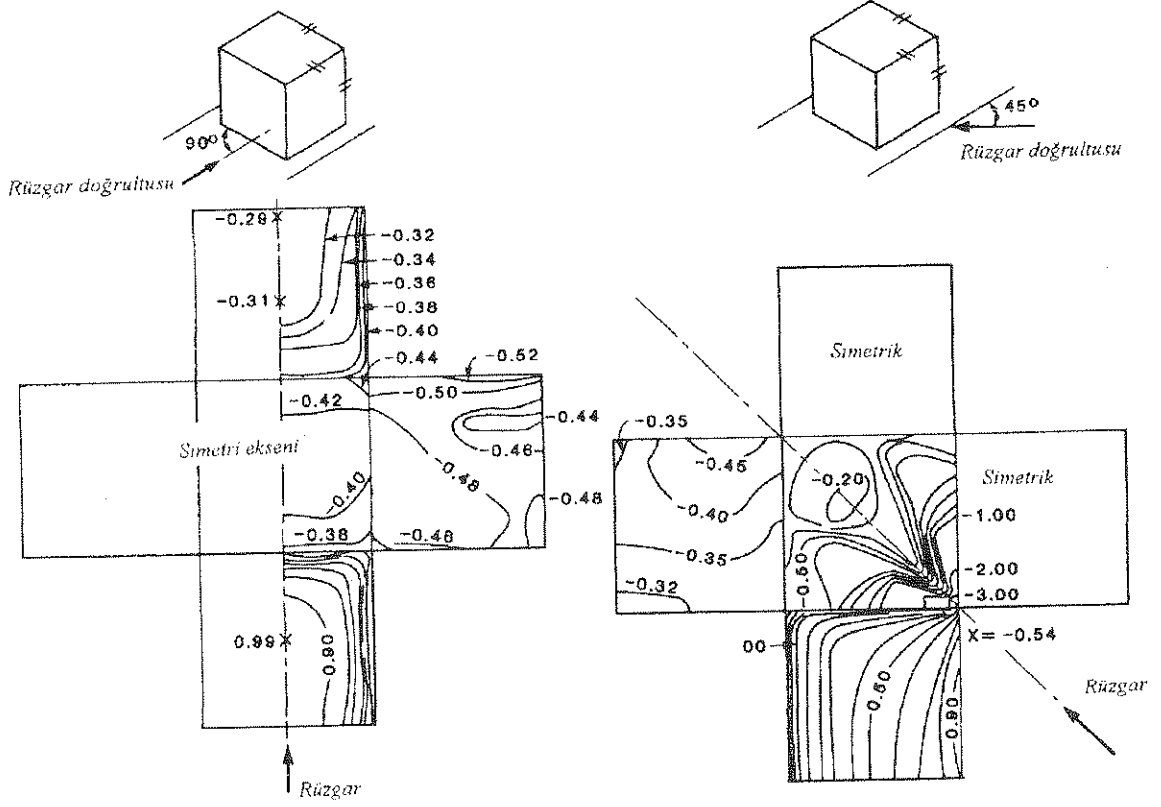
şeklinde vermektedir [4]. Bu şekil ve değerler gözönünde tutularak, binanın baca veya egzoz çıkışları, kirlitici ve geri dönüş bölgeleri içine girmeyecek, havalandırma kanallarının temiz hava girişleri ise, kirli bölge içinden emme yapmayacak şekilde dizayn edilmelidir.



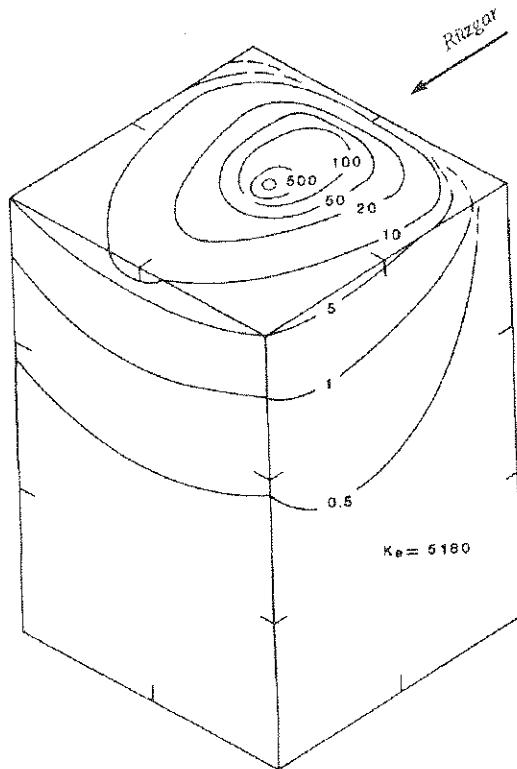
Şekil 2.1 Dikdörtgenler prizması şeklindeki bir binanın orta kesitindeki akış bölgeleri [2, 3].



Şekil 2.2 Dikdörtgenler prizması şeklindeki bir binada, geri dönüş bölgesi ve bacadan çıkan kirlü gazların dağılımını [4].



Şekil 2.3 Küp şeklindeki bir binada yüzeysel basınç katsayılarının değişimi [5].



Şekil 2.4 Bir binanın tavanında bulunan egzozundan çıkan kirli gazların derişikliğinin bina yüzeylerindeki K boyutsuz derişiklik değerlerinin değişimi [2, 3, 6]. Egzoz çıkışında $K=5180$ değerindedir.

Hava akımının bina yüzeyinde meydana getirdiği yüzeysel basınç

$$p_s = \frac{1}{2} C \rho U_H^2$$

bağıntısından bulunabilir. Bu bağıntıda

p_s = yüzeydeki basınç (Pa)

C = basınç katsayısı

ρ = havanın yoğunluğu ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

U_H = havanın H yüksekliğindeki hızı (m/s)

anlamlandırılır. C basınç katsayısı, bina yüzeylerinde her noktada değişik değerler alabilmektedir. Şekil 2.3'de küp şeklindeki bir binanın yüzeylerindeki C basınç katsayısının, hava hızının iki farklı doğrultusu halindeki, değişimleri görülmektedir. Şekilde C katsayısının pozitif değerleri atmosfer üstü basınç yerlerini gösterirken, negatif değerleri atmosfer altı basınç yerlerini göstermektedir.

Bir bina yüzeyinde herhangi bir noktada bulunan baca veya egzoz kanalından çıkan kirli gazların atmosferde yayılımının bilinmesi iklimlendirme, havalandırma ve çevresel açıdan çok önemlidir. Şekil 2.4'de, üst yüzeyinde bir egzoz çıkışı bulunan bir binadan yayılan gazların binanın diğer yüzlerinde oluşturduğu K boyutsuz derişiklik değerinin değişimleri görülmektedir [2, 3, 6]. K değeri

$$K = \frac{AU_H C}{Q}$$

şeklinde tanımlanmakta olup, bu tanımında

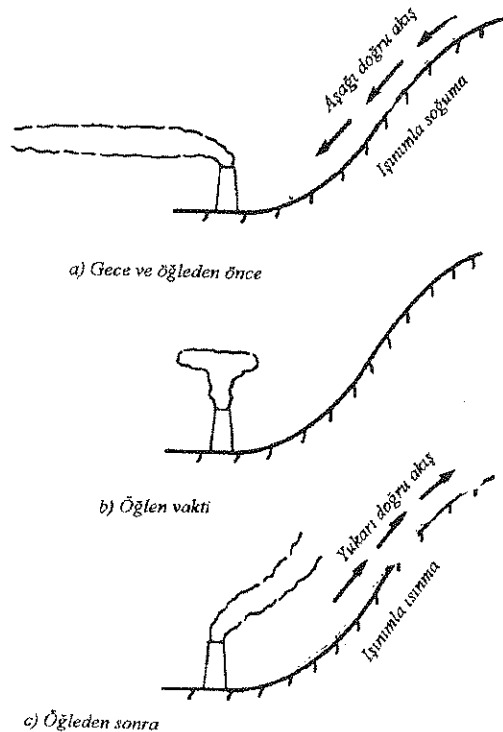
A = Binanın genellikle akışa dik kabul edilen referans alanı (m^2)

U_H = Binanın H yüksekliğindeki hava hızı (m/s)

C = Kirli gaz hacminin, toplam gaz hacmine oranı (%)

Q = Kirli gazın hacimsel debisi (m^3/s)

anlamlandırılır. Diğer taraftan bir bacadan çıkan duman gazlarının atmosferde dağılışı, iklim şartlarına göre çok değişebilmektedir. İyi bir gözlemci Şekil 2.5'de, bir vadi kenarındaki bacadan çıkan duman gazlarının dağılımını kolayca izleyebilir.



Şekil 2.5 Bir vadi kenarındaki bacadan çıkan duman gazlarının gün boyunca dağılımı.

3. BİNA İÇİ AKIŞ PROBLEMLERİ

Isıtma, havalandırma veya iklimlendirme yapılan bir hacimde ister doğal ister zorlanmış akış olsun, bu hacimde sürekli bir hava akımı ve belirli sıcaklık bölgeleri görülür. Konfor ve belirli bir üretimin kalitesi açısından, bu hava akımları ve bölgeler tespit edilip, gerekirse bazı tedbirler alınmalıdır.

Konfor hava şartlandırılmasında, salon içinde belirli bir hava hareketinin olması istenir, fakat sistemde yüksek hava hızlarına da izin verilmemelidir. $0,08 \text{ m/s}$ değerinden küçük hava hızları, insanlar üzerinde durgun hava hissini verir. Buna karşılık $0,3 \text{ m/s}$ değerinden büyük hızlar ise özellikle salona gönderilen hava sıcaklığının salondaki hava sıcaklığından büyük veya küçük olması durumlarında insanlar üzerinde rahatsız bir etki yapar. Örnek olarak şartlandırma yapılan bir salonda en büyük iki etken olan sıcaklık ile hava hızı arasındaki ilişki, herhangi bir noktada Kaynak [7]'den yararlanılarak

$$\Delta t = (t_x - 24) - 7,66(U_x - 0,15)$$

deneysel bağıntısı ile verilebilmektedir. Hava hareketlerinin serinletme etkisini gösteren bu bağıntıda,

Δt = gözönüne alınan noktadaki ve kontrol şartlarındaki efektif sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)

t_x = gözönüne alınan noktadaki havanın kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)

U_x = gözönüne alınan noktadaki havanın hızı (m/s)

anlamlandırılır. Bağıntıdan görüldüğü gibi bir noktadaki hızın $0,15 \text{ m/s}$ değerinden fazla olması, bu noktada bir serinletme etkisi yapmaktadır. Bir noktada hızın yaklaşık $0,15 \text{ m/s}$ kadar her artışı, bu noktada sanki yaklaşık 1°C sıcaklık düşüşü etkisi yapmaktadır.

3.1. Hava Çıkış Jetleri

İklimlendirme yapılan salonlara şartlandırılmış hava, genellikle belirli besleme ağızlarından ortamdaki hızdan daha yüksek bir değerde, *jet* şeklinde salon içine gönderilir. Besleme ağızları dairesel veya dikdörtgen kesitli olabildikleri gibi bazı uygulamalarda ızgara, delikli paneller şeklinde olabilir. Konfor açısından havanın salon içindeki yayılışı, etki alanı çok önemlidir. Diğer taraftan fabrika, hangar ve depo gibi büyük hacimlerde, ısıtma veya soğuma yapılması durumunda bütün hacmin şartlandırılması yerine, hava jetleri yardımıyla sadece insanların bulunduğu hacimlerde sınırlı bir şartlandırma yapılabilir. Hava jetlerinin pratikteki diğer bir uygulaması ise şartlandırma yapılan bölgeleri şartlandırma olmayan bölgelerden ayıran klasik kapılar yerine *hava perdeleri* olarak görülebilir.

Bütün hava jeti uygulamalarında gönderilen havanın sıcaklığı, duruma göre ortam sıcaklığından yüksek, fazla veya aynı değerde olabilir. Salon boyutları, jetin salondaki çıkış yeri, gönderilen havanın hızı, sıcaklığı, salon içindeki doğal ısı taşınımı ve ısı ışınımı, havanın salon içindeki hareketine birinci derecede etki eder. Bütün bu etkileri gözönüne alan teorik bir model geliştirmek imkansız olduğundan deneysel bulgular önem kazanır.

Hava jetinin tedirgin edilmediği bir ortamda akması durumunda, jetin çıkış ağzından uzaklaştıkça, bu jete ortamdaki giren akışkan nedeniyle hız profili genişler ve eksenindeki hızın büyüklüğü gittikçe azalır. Şekil 3.1a'da dairesel bir kesitten çıkan hızın, çeşitli yerlerdeki tipik değişimleri, Şekil 3.1b'de ise eş sıcaklıktaki bir ortamda hava jetinin ilerlemesi esnasında dört karakteristik bölge görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi bu tip jetlerde, ortamdaki hava ile jetin esas olarak III. bölgede karışması nedeniyle, jetin en önemli kısmı bu bölgedir. Schlichting deneysel bulguları kullanarak dairesel kesitli jet halinde, III. bölgedeki hız profili için

$$U(r, x) = \frac{7,41U_0\sqrt{A_0}}{x \left[1 + 57,5 \left(\frac{r}{x} \right)^2 \right]^2}$$

bağıntısını vermektedir [8]. Bu bağıntıda

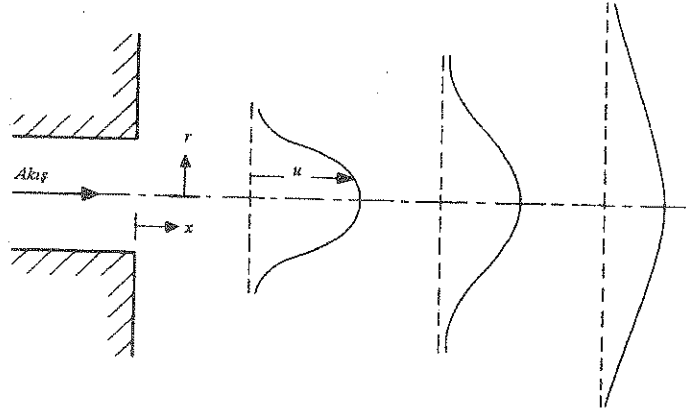
U_0 = çıkış ağzındaki hız (m/s)

A_0 = çıkış kesiti (m^2)

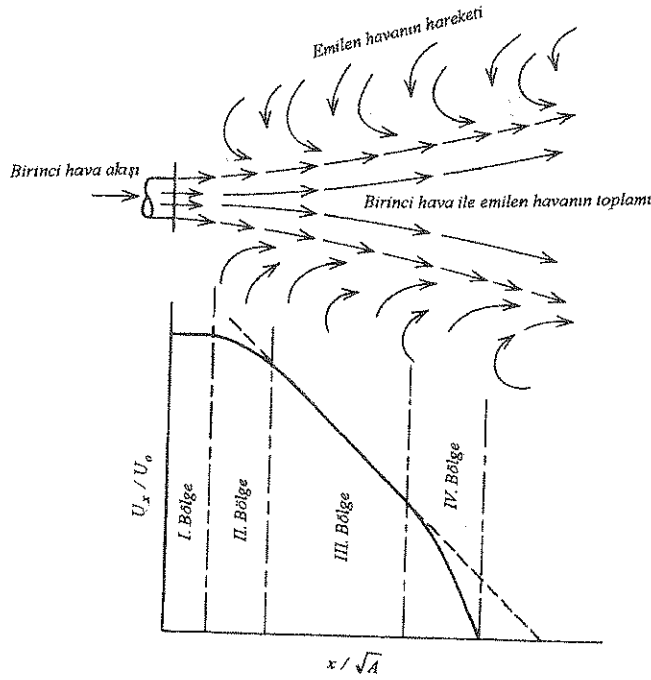
x = çıkış ağzından ekstenel uzaklık (m)

r = çapsal uzaklık (m)

anlamlandırılır. Bu bağıntıdan hareketle, $r=0$ noktalarında U_{ek} eksenindeki akış hızının yerel değişimi



(a) Dairesel serbest akış jetinde hız profilleri



(b) Eş sıcaklıklı bir ortamda dairesel kesitli jette karakteristik bölgeler

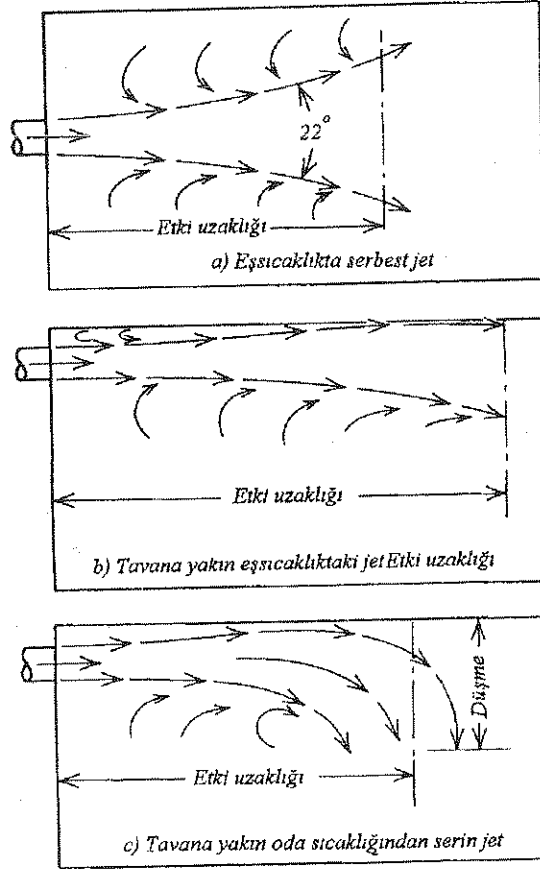
Şekil 3.1 Dairesel serbest akış jetinde hız profillerinin değişimi.

$$\frac{U_{ek}}{U_0} = \frac{7,41\sqrt{A_0}}{x} \quad \text{veya} \quad U_{ek} = \frac{7,41Q_0}{x\sqrt{A_0}}$$

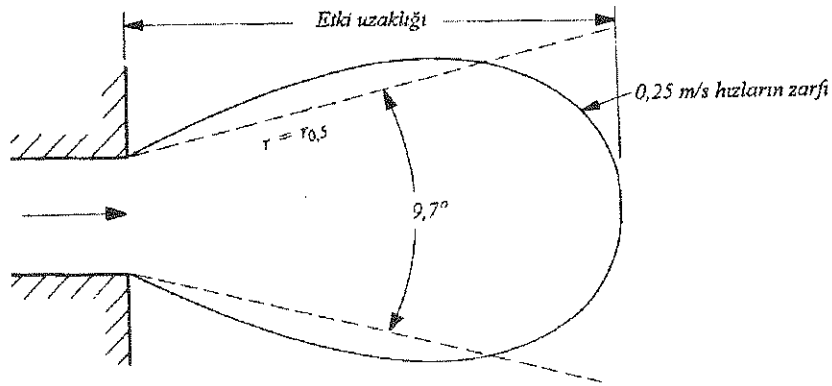
şekillerinde bulunabilir. Burada Q_0 (m^3/s) çıkış ağzındaki hacimsel debidir.

Dairesel bir jet halinde eş sıcaklıktaki bir ortamda duman ile yapılan deneyler, bu jetin kabaca bir koni şeklinde olduğunu göstermektedir. Bu koninin açısı yaklaşık olarak 22° değerindedir ve bu açı *jetin yayılma* açısı olarak adlandırılır. Jetin çıkış ağzının salon cidarlarına yakın olması veya jetin salon havasından daha soğuk olması durumlarında bu profiller bozulabilmektedir. Şekil 3.2'de, sıcaklığın ve yüzey etkilerinin jet profilindeki değişimlerini şematik olarak göstermektedir.

Pratik açıdan bir jetin etkili olduğu uzaklığın belirtilmesi birçok bakımdan önemlidir. Jetin eksenindeki U_{ek} hızının $0,25 m/s$ değerine ulaştığı nokta ile başlangıç noktası arasındaki uzaklığı belirleyen etki uzaklığı tanımı, bu konuda çalışan mühendisler tarafından çok kullanılır. Dairesel bir jete ait $0,25 m/s$ değerine sahip noktaların zarfı Şekil 3.3'de görülmektedir. Uygun bir hava dağıtım sisteminde, bu $0,25 m/s$ değerindeki zarf, salon içinde insanların bulunduğu bölgeye kadar gelmemelidir.



Şekil 3.2 Jet profiline yüzeysel ve sıcaklık etkileri.



Şekil 3.3 Dairesel bir jetde yayılma etki uzaklığı.

Pratikte sıkça karşılaşılabilen diğer bir jet şekli düzlemsel tiptir. İki boyutlu düzlemsel bir jet uzun bir yarıktan salona giren hava şeklinde düşünülebilir. Bu durumda hız dağılımına ait çözüm, Schlichting tarafından

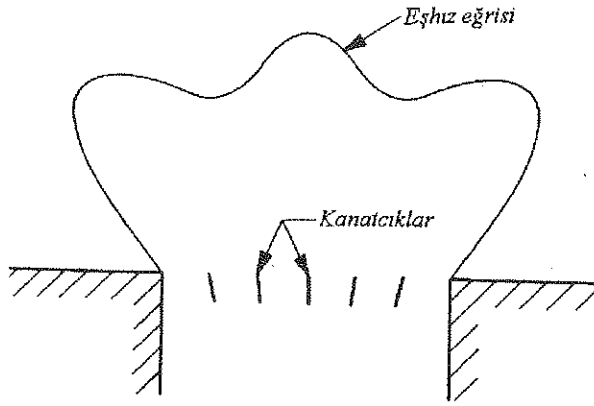
$$U = \frac{2,40Q_0}{\sqrt{x}A_0} \left[1 - \tanh^2 \left(7,67 \frac{y}{x} \right) \right]$$

olarak verilmektedir [8]. Bu bağtıda
 Q_0 = çıkış ağzındaki hacimsel debi (m^3/s)
 A_0 = çıkış ağzı kesiti (m^2)
 x, y = jet ekseninden olan koordinatlar (m)
 anlamlarıdır.

3.2 Havanın Salon İçinde Dağılımı

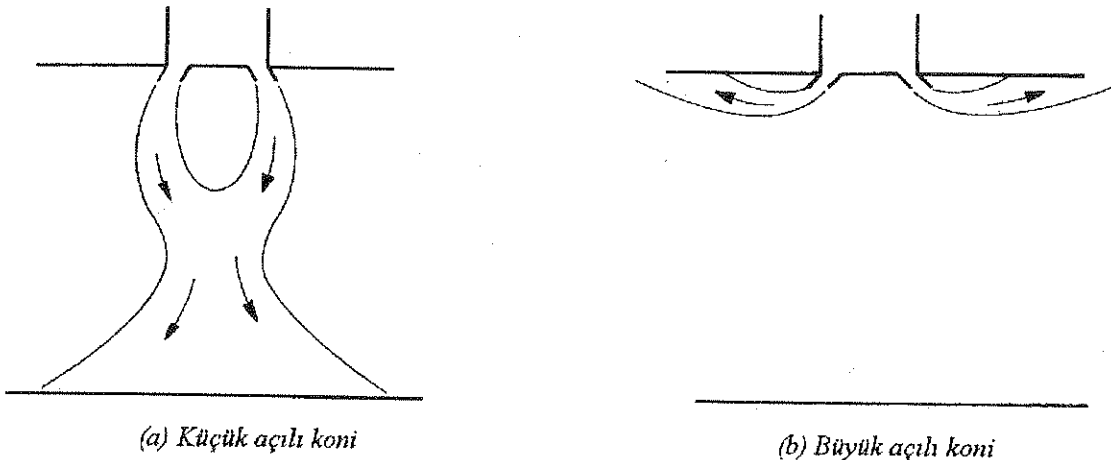
Hava şartlandırılması olan bir bölgede havanın kötü dağıtılması, salon içindeki insanları rahatsız edebilir. Salonun ısı kayıplarını veya kazançlarını karşılayacak şekilde, salona belirli bir miktar sıcak veya soğuk hava gönderilmelidir. Salona verilen hava miktarı kadar hava da salondan emilmelidir. Salonda insanların bulunduğu bölgelerde hız, $0,25 \text{ m/s}$ değerinden daha büyük olmamalıdır. Diğer taraftan, öngörülen hava hareketleri de döşeme ile tavan arasında oluşan sıcaklık gradyanını yenmelidir. Döşemesinde soğuk hava, tavanında ise sıcak hava bulunan bir salon içindeki yüksek sıcaklık gradyanı insana rahatsızlık verir. Bu arada emme menfezleri de havayı iyi emmelidir, bu emme esnasında tavan ve duvarlarda kir ve isin oluşturduğu yol yol lekelenmeler yapmamalıdır.

Jet salon içinde belirli bir uzaklığa kadar etkili olduğundan, salona hava basan menfezlerin yerlerinin tespitinde, salondan hava emen menfezlerden daha dikkatli olmak gerekir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi, birçok hava besleyen menfez üzerinde ayarlı kanatçıklar bulunur. Bunların uygun şekilde düzenlenmesi ile salon içinde oldukça geniş bir hız alanı elde edilirken, jetin de püskürtme açısı değiştirilebilir.



Şekil 3.4 Hava dağıtıcı eleman etrafındaki dağıtıcı kanatlar ve dağıtıcı civarındaki hız alanı.

Dairesel kesitli tavan tipi bir hava dağıtıcısının koni tepe açısının değerlerine göre değişik hız modelleri oluşabilir. Koni tepe açısı küçük ise, Şekil 3.5'a'da görüldüğü gibi, püskürtülen jette bir koni büzülmesi, buna karşılık koni tepe açısı büyük ise, Şekil 3.5'b'de görüldüğü gibi, dağıtıcıdan çıkan hava tavana doğru yayılır.



Şekil 3.5 Tavan tipi hava dağıtıcılarda hız modelleri.

Salon içindeki hava hızı kadar, hava sıcaklığının dağılımı da önemlidir. Hava jetinin eksenindeki sıcaklık değişimi Kaynak [11]'de

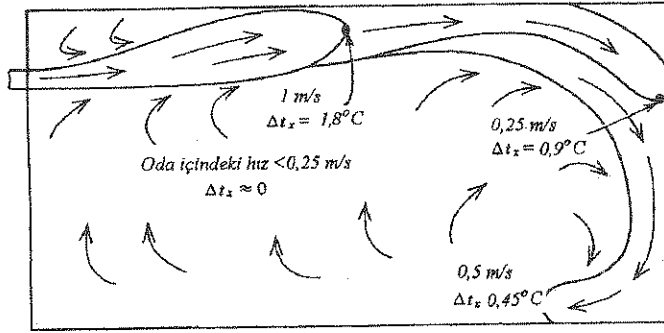
$$\Delta t_{ek} = 0,8 \Delta t_o \frac{U_{ek}}{U_o}$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağıntıda

- Δt_{ek} = eksen üzerindeki hava sıcaklığı ile salon sıcaklığı arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$)
- Δt_o = jetin püskürtüldüğü hava sıcaklığı ile salon sıcaklığı arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$)
- U_{ek} = hava jeti eksenindeki hava hızı (m/s)
- U_o = hava jetinin püskürtülme hızı (m/s)

anlamlandırılır.

Şekil 3.6'da bir salonun yan duvarından çıkan ve salon sıcaklığından soğuk bir hava jetinin, salon içinde yayılışı görülmektedir. Bu örnekte hava jetinin püskürtülme hızı $1 m/s$, jetten püskürtülen hava sıcaklığı salon sıcaklığından 11°C daha soğuktur. Karşı duvarda bu jetin eksenindeki hız $0,5 m/s$, sıcaklık ise salon sıcaklığından yaklaşık $0,9^{\circ}\text{C}$ daha soğuktur. Jetin karşı duvardan aşağı inerek döşemede ulaştığı noktada eksenindeki hız $0,25 m/s$, sıcaklık ise salon sıcaklığından yaklaşık $0,5^{\circ}\text{C}$ daha soğuktur.



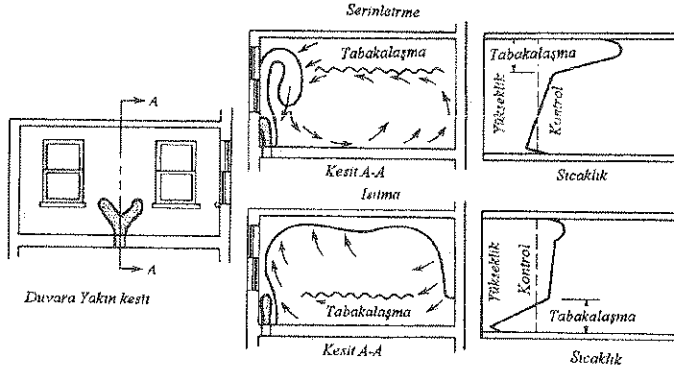
Şekil 3.6 Salon yan duvarından $1 m/s$ hızla ve salon sıcaklığından 11°C daha soğuk çıkan bir jetin salon içindeki dağılımı [11].

3.3 Salon İçindeki Karakteristik Akış Modelleri

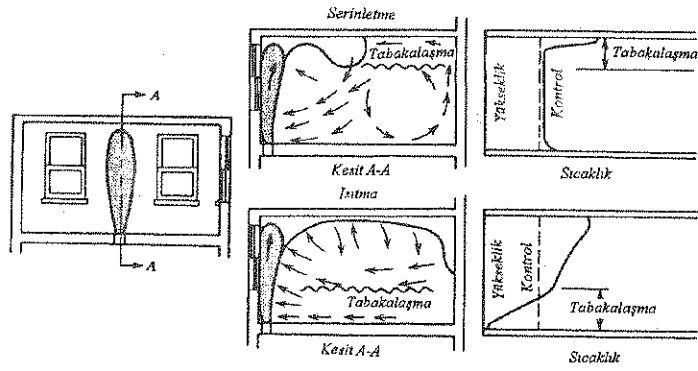
Oldukça karmaşık olan salon içindeki zorlanmış akış halindeki hava hareketleri, havanın salona giriş ve çıkış menfezlerinin durumlarına göre Kaynak [12] ve [13]'de birkaç gruba ayrılmış olup, bunlardan bazı karakteristik akış durumları Şekil 3.7'den Şekil 3.10'a kadar verilmiştir. Bu şekillerin incelenmesinden görüldüğü gibi, yaz veya kış şartlarına, havalandırma menfezlerinin biçimine, havanın üfleme veya emme hızına, üfleme havasının sıcaklığına göre, salonun içindeki hava hareketleri çok değişebilmektedir. Şekillere dikkat edilirse durgun havanın bulunduğu bölgelerde büyük bir sıcaklık gradyanı vardır. Kaynak [1] ve [10]'da bu etkilere ait geniş birer özet bulunmaktadır.

Şekil 3.7'de geniş açılı döşeme tipi bir menfez ile yapılan havalandırma, özellikle ısıtma için çok uygundur. Kaldırma kuvvetlerinin etkisi ile salon içinde oldukça iyi bir sıcaklık dağılımı elde edilebilir. Buna karşılık Şekil 3.8'de görüldüğü gibi dar açılı döşeme tipi bir menfez ile yapılan havalandırma ise yaz aylarındaki iklimlendirme için uygundur.

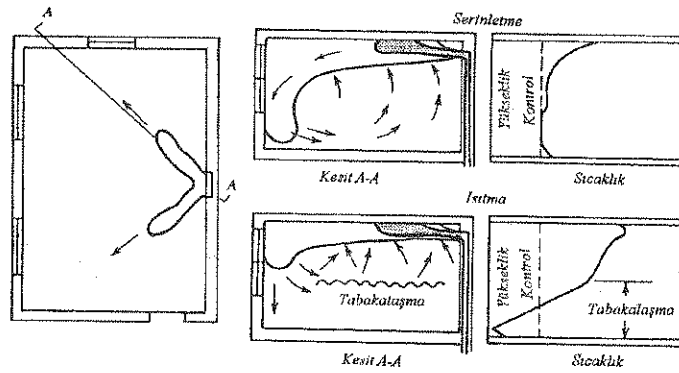
Şekil 3.9'da görülen yan duvarlardan olan geniş açılı menfez ile yapılan havalandırma, ılık iklimlerdeki ısıtma ve serinletmeler için uygun olup, ısıtılmamış döşemeli binalar ve soğuk iklimler için tavsiye edilmez. Şekil 3.10'da görülen tavan tipi menfez ile havalandırma genellikle ticari binalarda uygulama alanı bulur. Diğer dağıtıcılardan farklı olarak, bu tip dağıtıcılarda büyük debideki şartlandırılmış hava, yüksek hızda salon içine etkin bir şekilde gönderilebilir. Şekil 3.10'dan da görüldüğü gibi bu tip dağıtıcı yaz ayları için çok uygundur. Buna karşılık döşemeden ısıtma yapılan salonlarda kış aylarında da başarılı bir şekilde kullanılabilir.



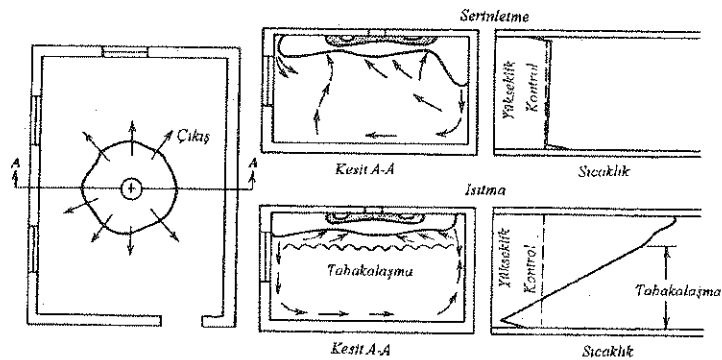
Şekil 3.7 Geniş açılı döşeme tipi bir menfezden çıkan havanın salona dağılışı [13].



Şekil 3.8 Dar açılı döşeme tipi bir menfezden çıkan havanın salona dağılışı [13].



Şekil 3.9 Geniş açılı yan duvar tipi bir menfezden çıkan havanın salona dağılışı [13].

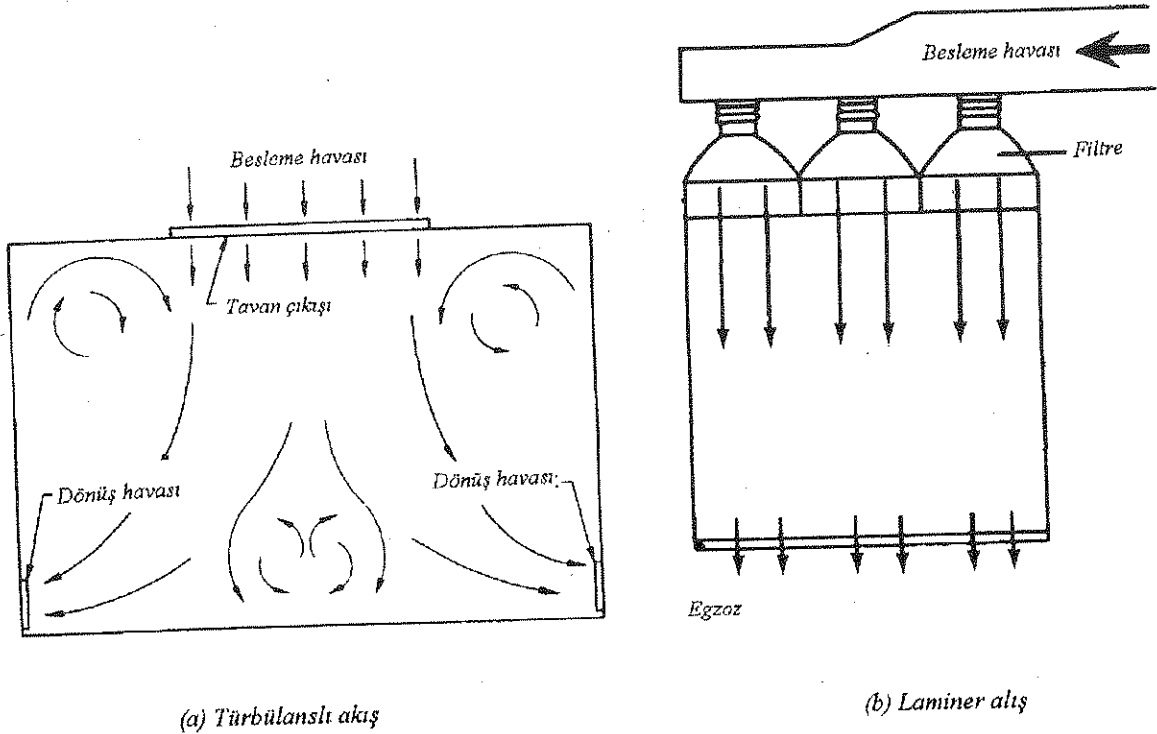


Şekil 3.10 Tavan tipi bir menfezden çıkan havanın salona dağılışı [13].

Genel olarak salon içindeki hava hareketlerine, emme menfezlerindeki hava girişinin etkisi azdır. Bununla beraber bu elemanların salon içindeki konumları soğutucu ve ısıtıcı elemanların verimine etki eder. Salon içindeki dönüş menfezlerinden alınan hava ısıtıcı cihaza gönderiliyor ise bu havanın mümkün olduğu kadar soğuk bölgeden, buna karşılık dönüş havası serinletici cihaza gönderiliyor ise bu havanın da mümkün olduğu kadar sıcak bölgeden alınması önerilir.

Diğer taraftan temiz oda (clean room) uygulamaları, günümüzde nükleer, biyoloji, metroloji, tıp, optik, ilaç, elektronik, bilgisayar gibi bütün ileri teknolojilerde görülmektedir. Özellikle elektronik sanayiindeki gelişim, temiz oda uygulamalarının yaygınlaşmasına öncü olmuştur. Bu odaların içindeki hava hareketleri, iklimlendirme yapılan diğer hacimlere göre daha kritiktir.

Temiz oda içinde insanlardan ve cihazlardan yayılan kirlilik iyi bir şekilde incelenmeli bu kirliliğin istenmeyen bölgelere taşınmamasına dikkat edilmelidir. Genellikle temiz odalarda hava akımının, akış iplikçiklerinin birbirine paralel olduğu *laminer akış* olması arzu edilir. Temizlik klasının fazla kritik olmadığı durumlarda oda içindeki hava akımı, *türbülanslı akış* olabilir [14, 15]. Şekil 3.11'de bir temiz oda içindeki havanın laminer ve türbülanslı akışı şematik olarak görülmektedir. Türbülanslı akışta, hava içinde taşınan kirli tanecikler, laminer akışa göre daha çok istenmeyen yüzeylere yapışabilir. Bu nedenle en azından, temiz oda içindeki ameliyatın veya üretimin yapıldığı bölgelerde laminer akış şartları gerçekleştirilmeli ve bu odalardaki akış ile ilgili çok iyi bir tasarım yapılmalıdır.



Şekil 3.11 Temiz oda içinde hava akım modelleri [14].

Konu ile ilgili firmalar hazırladıkları test odalarında çok daha geniş kapsamlı ölçmeler ve gözlemler yapmaktadırlar [29].

4. BİNA İÇİ VE DIŞI AKIŞ PROBLEMLERİNİN DENEYSSEL İNCELENİŞİ

Bundan önceki kısımlarda tanıtılmaya çalışılan bina içindeki ve dışındaki birçok problemin bazı basit geometriler dışında teorik çözümünü yapmak genelde imkansızdır. Bu nedenle incelenecek problemlerde, sistemin belirli bir ölçekte küçültülmüş modelleri üzerinde çeşitli deneyler yapılarak çözümlere ulaşırlar. Özellikle bina dışı problemlerin incelenişinde binanın modelinden başka atmosferik koşulları da sağlayacak bir ortamın gerçekleştirilmesi gerekir. Bu koşullar hava (veya rüzgar) tünellerinde özel önlemler ve ilaveler yapılarak sağlanabilir.

Modeller ile yapılan deneylerde, model ile gerçek ortam arasındaki geometrik benzerlik yanısıra, dinamik benzerlik de şarttır. Bunun için de, bina dışı akışlar ile bina içinde sadece zorlanmış akış varsa

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu}$$

Reynolds sayıları, bina içinde sadece doğal taşınım varsa

$$Ra = \frac{g\beta\Delta tL^3\rho^2c_p}{\mu k}$$

şeklinde tanımlanan Rayleigh sayıları, bina içinde hem zorlanmış hem de doğal taşınım birarada ise

$$Ar = \frac{g\beta\Delta tL}{U^2}$$

şeklinde tanımlanan Archimed sayıları, modelde ve gerçek akışta aynı olmalıdır. Bu eşitliklerde

ρ = akışkan yoğunluğu (kg/m^3)

U = akışkanın hızı (m/s)

L = karakteristik uzunluk (m)

μ = akışkanın dinamik viskozitesi (kg/ms)

g = yerçekimi ivmesi (m/s^2)

β = akışkanın ısı genleşme katsayısı ($1/K$)

Δt = sıcaklık farkı (K)

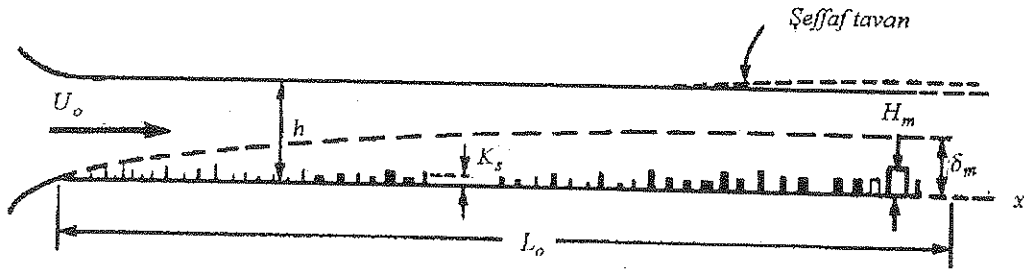
c_p = akışkanın sabit basınçtaki özgül ısı (J/kgK)

k = akışkanın ısı iletim katsayısı (W/mK)

anlamlandırılır.

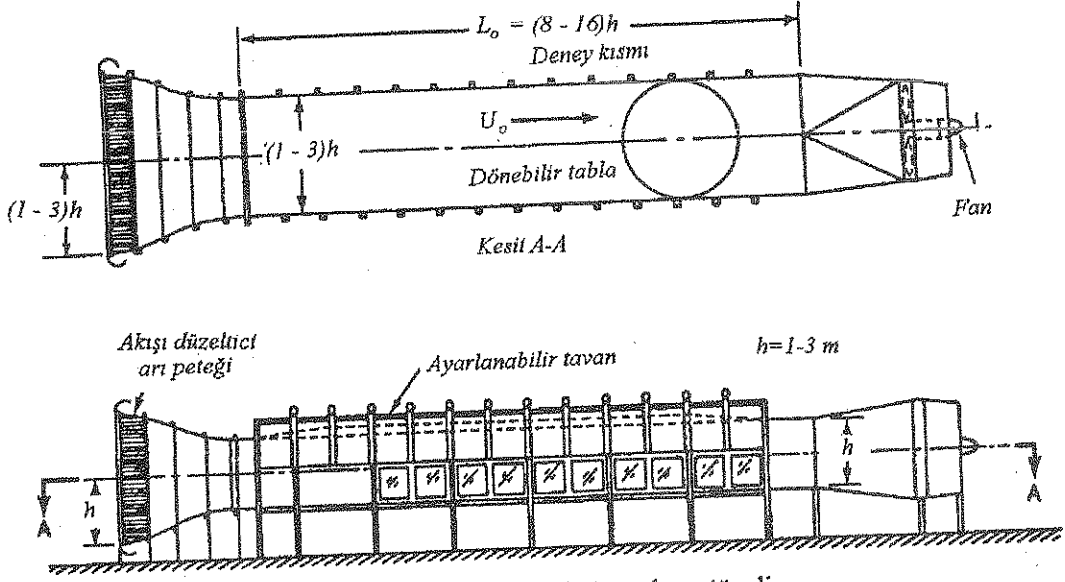
4.1 Bina Dışı Akış Problemleri İçin Geliştirilmiş Hava Tünelleri

Model üzerinde yapılan incelemelerde, bina dışındaki atmosferik sınır tabaka içindeki doğal hava akımları (rüzgarlar), gözönüne alınan rüzgar tüneli içinde tam olarak gerçekleştirilmeğe çalışılmalıdır. Yer yüzündeki doğal ve yapay engeller, rüzgar tünelinin tabanına yerleştirilen çeşitli yükseklik ve genişlikteki tel demetleri ile sağlanabilir [16,17].



Şekil 4.1 Doğal atmosfer sınır tabaka şartlarını sağlayacak şekilde hazırlanmış hava tüneli [18].

Şekil 4.1'de bu tip problemlerin incelenmesi için geliştirilmiş bir rüzgar tüneli şeması görülmektedir [18]. Normal olarak doğadaki atmosferin δ sınır tabaka kalınlığı (yaklaşık 400 m) ve hava tünelineki δ_m yardımı ile sistemin modelleme oranı δ_m/δ değerinden bulunabilir. Bu tünelde boy, yükseklik oranının $L_0/h > 12$ şartını gerçeklemesi uygundur.



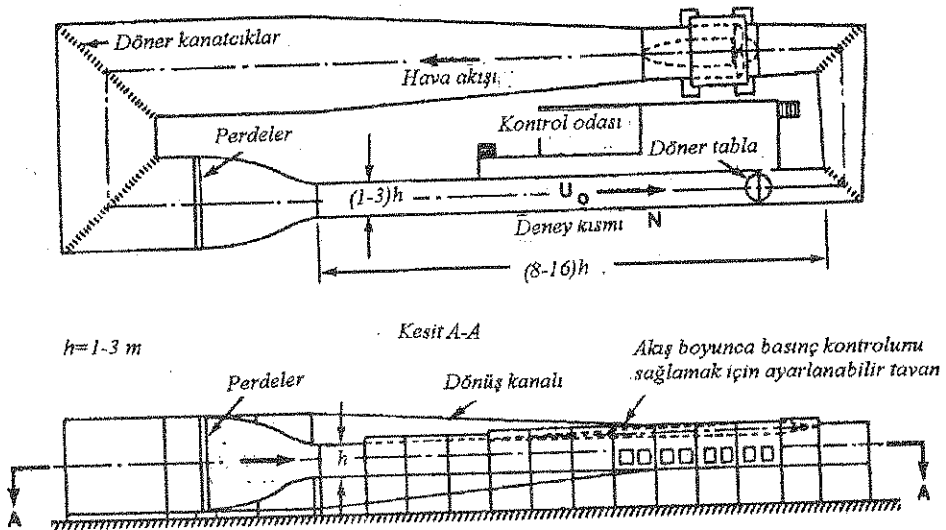
Şekil 4.2 Tipik bir açık devre hava tüneli.

Şekil 4.2 ve 4.3'de ise biri açık diğeri kapalı devre iki tipik rüzgar tüneli karakteristik ölçüleri görülmektedir [19, 20]. Kirli gazların incelenmesinde ve sisteme ısıtma ve soğutma serpantinleri ilave edilerek, çeşitli meteorolojik koşulların gerçekleştirilmesinde kapalı devre tünel daha uygundur. Her iki durumda da model, dönebilen bir tabla üzerine yerleştirilerek, hızın değişik açılarda incelenmesi yapılabilir.

4.2 Akışı İnceleme Yöntemleri

Akışı izleme yöntemleri genelde iki grupta toplanabilir. Prop tipi ölçme yöntemi adı verilebilecek birinci grupta, akış içinde istenilen noktalarda uygun proplar kullanılarak bu noktalarda tekil ölçmeler yapılır. İkinci grupta ise akışı görünür hale getirerek ölçmeler yapılır.

Akışı görünür hale getiren yöntemler, temelde optik prensiplere dayanır. Bu yöntemler, akışkanlar mekaniği, ısı ve kütle transferindeki araştırmalarda diğer ölçme cihazlarından farklı bulgular verebilmektedir. Prop tipi ölçme aletlerinden farklı olarak, akışın görünür hale getirildiği yöntemlerde, olayı tedirgin etmeden, bir gecikmeye neden olmadan, sistemin bütün noktalarında aynı anda, sıcak, asitli ve bazik ortamlarda ölçme yapabilmesi bu yöntemlerin en büyük üstünlükleri olarak belirtilebilir.



Şekil 4.3 Tipik bir kapalı devre hava tüneli.

Akışı görünür hale getirmek için esas olarak iki prensip vardır. Birinci prensipte akış içine farklı fazda bir madde ilave etmektir. Bu ilave edilen yabancı maddenin esas akışı takip edebilmesi için mümkün olduğu kadar küçük, izlenebilmesi için de mümkün olduğu kadar büyük olması gerekir. Bu prensipte çok kullanılan birkaç yöntem, hava ve gaz akışında duman veya sis ilave etmek, su ve sıvıların akışında ise gaz kabarcıkları, küçük alüminyum, polistren gibi parçacıklar veya boya ilave etmektir.

İkinci prensip ise akış esnasında, akışkanın optik özelliklerinin değişimine dayanır. Örnek olarak akışkanın yoğunluk, basınç veya sıcaklığındaki değişim kırılma indisinin değişimine neden olur. İnterferometre, schlieren veya gölge yöntemleri ile bu değişimler kolayca görünür hale getirilebilir. Özellikle bu yöntemlerin akışı tedirgin etmemesi, akış içine ilave bir maddenin verilmemesi en büyük üstünlükleridir.

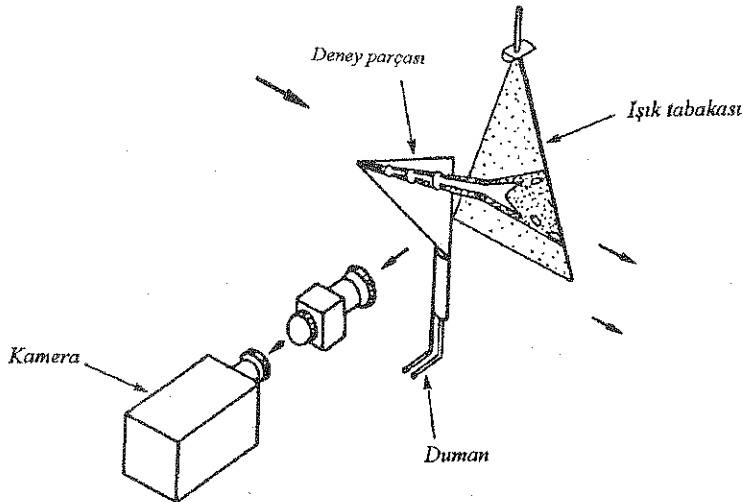
Ölçme tekniğinde yaklaşık yüz yıldır kullanılan bu yöntemler özellikle 1960 yılında laserin icadı ile önemli gelişmeler göstermiştir. Bu kısımda bu yöntemlerin kısaca prensipleri ile kullanılma yerlerine ait bazı örnekler verilecektir. Daha geniş bilgi için Kaynak [21- 25]'e başvurulabilir.

4.3 Akışı İzleyen Madde İlavesi

Akışı izleyebilecek boya, gaz kabarcıkları, duman veya küçük katı parçacıklar, deney parçasının bütün yüzeyinden, yüzeyindeki deliklerden veya küçük yarıklardan ya da serbest akış içine yerleştirilen küçük borulardan akışa verilir. İnceleme esnasında bu parçacıklar akışkana sürekli veya darbeleri olarak verilebilir. Uygun bir aydınlatma ile de sistemin izlenmesi sağlanır.

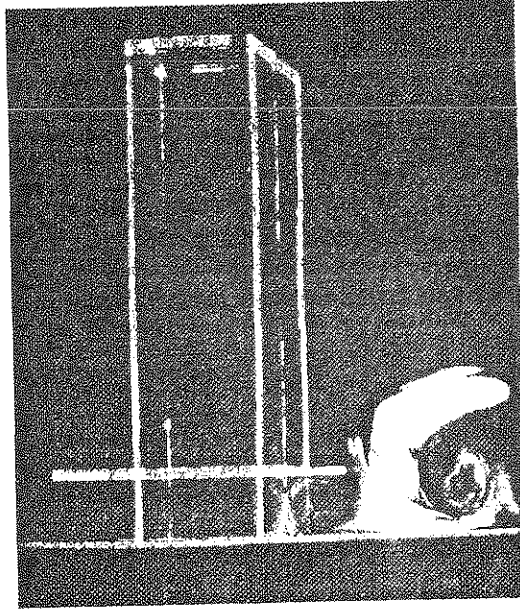
İki boyutlu akışta, akış düzlemine paralel konulan tek bir yarıktan darbeleri olarak verilen bu maddeler yardımıyla eş zaman çizgileri, akışa dik konulan yarıklarla yardımıyla ise akışa ait ceryan çizgileri elde edilebilir. Ayrıca istenirse, akış düzlemine paralel tek bir yarıklar ve akışa dik birkaç yarıklar veya delik yerleştirilerek, bunlar yardımıyla aynı anda akış içinde hem eş zaman çizgileri hem de akım çizgileri elde edilebilir. Bu prensiplere dayanan belli başlı yöntemler ve bunlara ait bazı ölçme örnekleri aşağıda sıralanmıştır.

Isıtma havalandırma ve iklimlendirme uygulamalarında deney akışkanı hava olduğundan, izleyici olarak duman kullanılması birçok model etrafındaki akışın incelenmesine olanak sağlar. Akışa dik ince düşey bir elektrik direnç telinin üzerine sürülen yağın ısıtılması (*oil-wire yöntemi*) ile açığa çıkan duman ile bu incelemeleri yapmak mümkündür. Bu tel üzerine sürülen veya damlatılan yağ yandıkça kesif beyaz bir duman oluşur ve damlaların miktarı değiştirildikçe dumanın kesafeti değiştirilebilir.

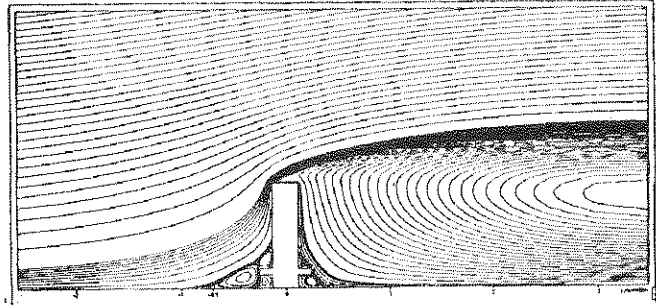


Şekil 4.4 Silindirik bir mercekle laser ışını ile düzlemsel aydınlatma.

Akış içine ilave edilen dumanın veya parçacıkların uygun bir şekilde aydınlatılması ile akış modelleri daha etkin bir şekilde görünür hale getirilebilir. Şekil 4.4'de böyle bir sistemde silindirik mercekler kullanılarak laser ışını ile düzlemsel bir aydınlatmanın nasıl yapılabileceği görülmektedir. Bu düzen ile yaklaşık 1 mm kalınlığında bir ışık tabakası elde etmek mümkündür.



Şekil 4.5a Çıkıntısı bulunan bir gökdelen modeli etrafındaki akışın, duman-düzlemsel laser ışını yöntemi ile incelenmesi [26]

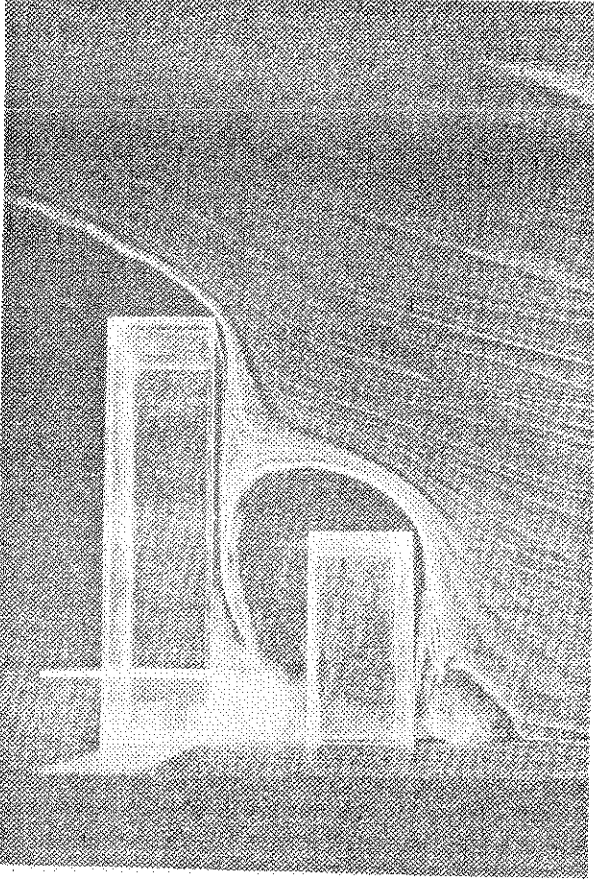


Şekil 4.5b Çıkıntısı bulunan bir gökdelen modeli etrafındaki akışın, teorik analizi [26].

Şekil 4.5a'da duman yöntemi kullanılarak yanında çıkması bulunan bir gökdelen modeli etrafındaki akışın, duman ve düzlemsel laser aydınlatma yöntemi ile incelenişi görülmektedir [26]. Binanın önündeki at nalı biçimindeki vorteks ve çıkmanın altındaki kuwvetli bir vorteks hareketi belirgin bir şekilde görülebilmektedir. Aynı problemin teorik çözümü Şekil 4.5b'de verilmiştir. İncelenen bu modelin yüksekliği 400 mm, genişliği 200 mm, derinliği 100 mm, çıkıntılı kısım yerden 100 mm yükseklikte olup, hava hızı 4 ila 12 m/s, Reynolds sayısı ise $Re \approx 105$ mertebesindedir.

Bu gökdelenin önüne kendisinden daha alçak bir bina bulunması durumunda oluşan akış modelinin duman yöntemi ve teorik olarak incelenişi ise Şekil 4.6'da görülmektedir. Model incelemesinde alçak binanın yüksekliği 200 mm değerindedir. Şekilden görüldüğü gibi, gökdelenin önündeki bina akışa çok fazla etki etmektedir.

Bir baca, bina, soğutma kulesi veya herhangi bir cihazdan yayılan kirlı, sıcak gazların incelenmesi duman yöntemi ile yapılabilir. Model üzerinden yayılan duman, doğrudan doğruya çıplak gözle veya bir film üzerine kaydedilerek incelenebilir. Bu tip incelemeler için son yıllarda, dumanın yayılımı bir video kamera ile tespit edilip, sayısal görüntü işleme (*digital image processing*) ile analiz yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.7'de dikdörtgen prizması şeklindeki bir modelin tavanından yayılan duman gazlarının bu yöntemle incelenişi görülmektedir [27]. Değişik zamanlarda alınan resimlerdeki renk kodları eş derişikliklerine karşı gelmekte olup, bu bölgelerdeki derişikler kolayca tespit edilebilmektedir.



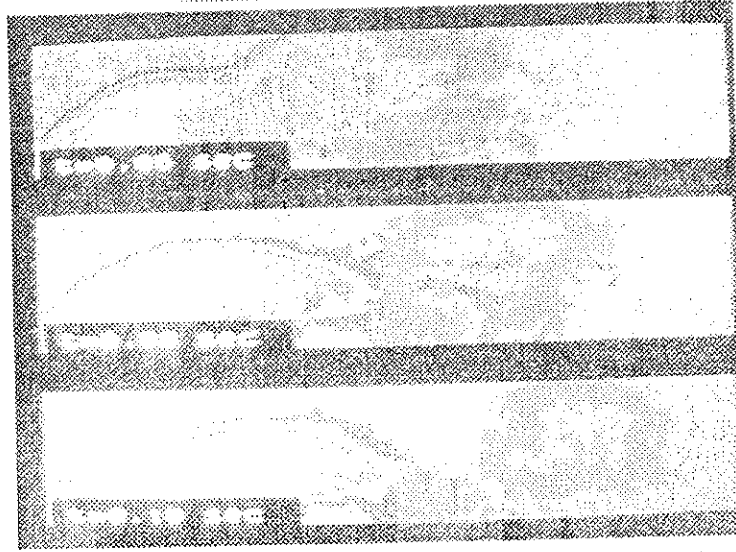
Şekil 4.6 Ardarda iki bina halinde akış incelemesi [26]

Duman yöntemi bir salon, ofis, laboratuvar veya bir ameliyathane içindeki hava akımlarının incelenmesinde de çok kullanılır. Şekil 4.8'de model olarak hazırlanmış bir bürodaki hava akımlarının duman yöntemi ile incelenişi görülmektedir [28]. Bu örnekte oturarak çalışan insan için $80 W$, şahıs bilgisayarı için $120 W$ güçlerinde iki ısı kaynağı, havanın giriş sıcaklığı $19,5^{\circ}C$, duvar sıcaklıkları $22,4^{\circ}C$, hava debisi $220m^3/h$ (odada saatte 4 defa değişim) kabul edilmiştir. Ayrıca büroya hava girişi döşmeden, çıkışı ise karşı duvarda tavana yakın bir yerden olacak şekilde düzenlenmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi büro içindeki havanın tavana yükselişi, doğal ısı taşınımının olduğu insan ve bilgisayarın bulunduğu bölgede olmaktadır.

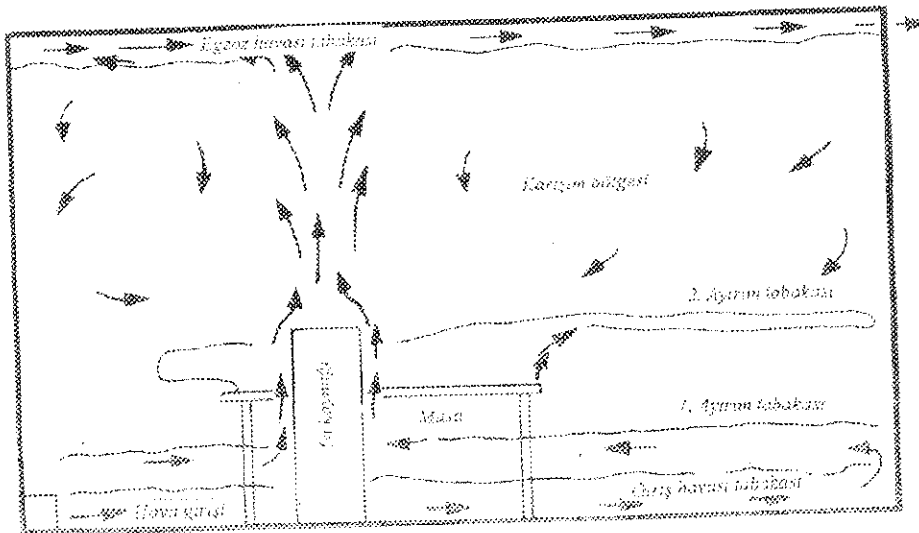
Şekil 4.9'da ise laminer akışın sağlandığı bir ameliyat yöntemi ile akışın incelenişi görülmektedir. Bu örnekte laminer duvarlardaki yüksek verimli *hepa* filtreler ile sağlanmıştır [29].

Zemin seviyesindeki akışları izleyebilmek için, özel olarak hazırlanmış bir petrol ve is karışımı incelenecek yüzeye sürülür [17, 26]. Deney parçası üzerinden hava akıtıldığında bu yüzeyde bir akış modeli oluşur. Şekil 4.10a'da dikdörtgen prizması şeklindeki bir modelin bulunduğu yüzeyde bu yöntem ile alınmış resim, Şekil 4.10b'de ise aynı problemin teorik çözümünden elde edilen akım çizgileri görülmektedir [26]. Şekillerde akımdaki ayrımlar gayet açık olarak belirlenebilmektedir.

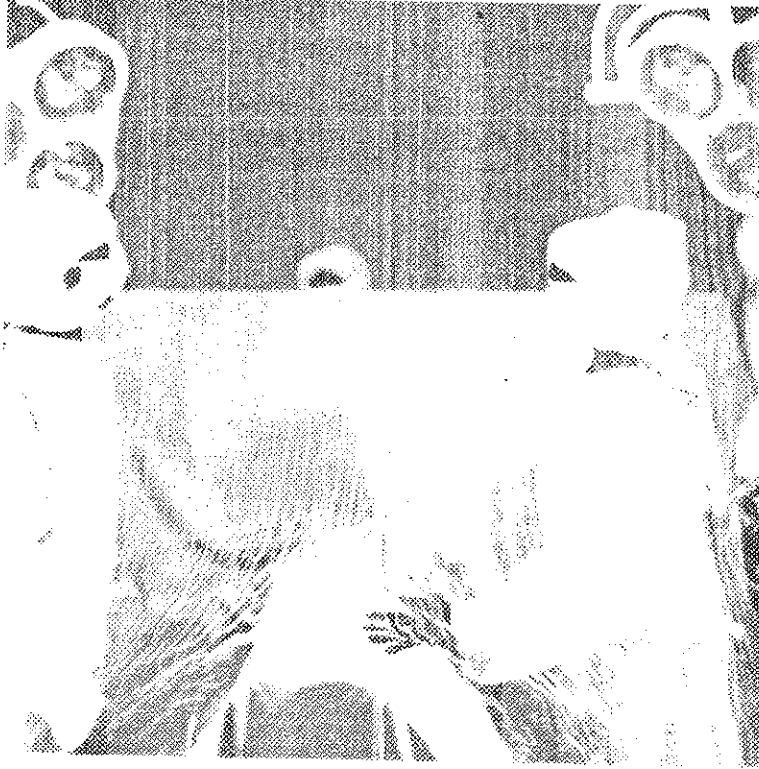
Akışın izlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem, küçük iplikçiklerden yararlanılarak elde edilir. Çok sayıdaki küçük iplikçik deney parçasının yüzeyine yapıştırılarak *yüzeysel iplikçik*, veya akışa dik bir tel ızgaranın düğüm noktalarına bağlanarak *ızgara iplikçik* yöntemleri elde edilebilir. Yüzeysel iplikçik yöntemi ile yüzeydeki akışın ayrılması, ikinci akışın doğrultusu ve çalkantıları belirlenirken, ızgara iplikçik yöntemi ile deney parçasının arkasında oluşan vorteks hareketleri belirlenebilir. Şekil 4.11'de bir rüzgar tüneli içine yerleştirilmiş dikdörtgenler prizması etrafındaki akışın yüzeysel ve ızgara iplikçik yöntemleri ile incelenişi görülmektedir.



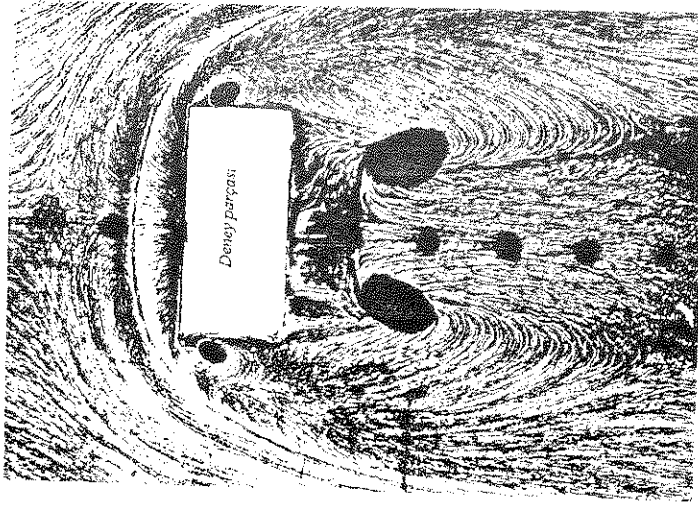
Şekil 4.7 Bir dikdörtgen prizmasının tavanından yayılan duman gazlarının sayısal görüntüleme işlemi ile tespiti [27]



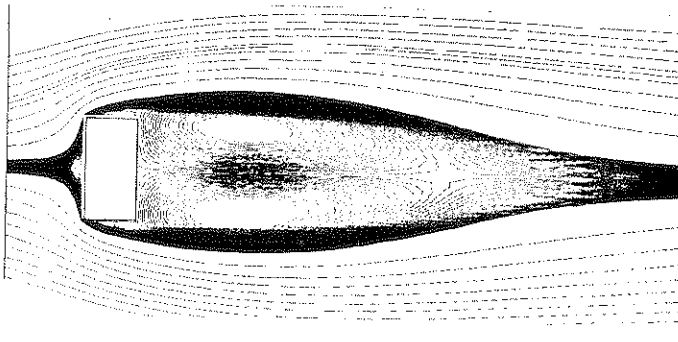
Şekil 4.8 Bir buredaki hava akımının duman yönelti ile incelemesi [28].



Şekil 4.9 Laminer akışı bir ameliyathane de duman yöntemi ile akışın incelenişi [29].

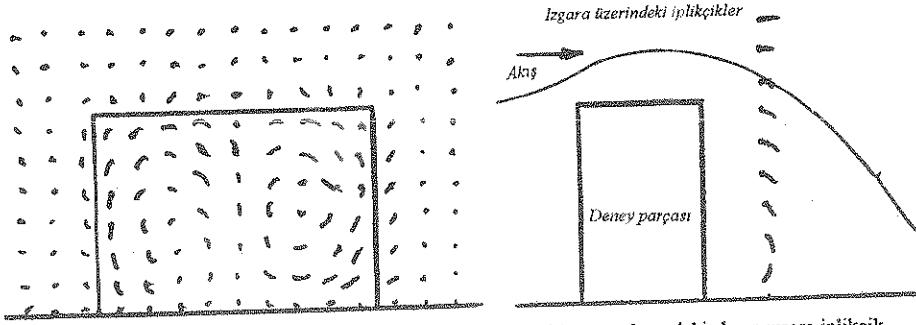


(a) Petrol is karışımı surulmuş yüzey üzerindeki akış modeline ait resim



(b) Teorik çözümden elde edilen cereyan çizgileri

Şekil 4.10 Bir dikdörtgen model arkasında oluşan akımın izlenişi [26].



Şekil 4.11 Bir rüzgar tüneli içine yerleştirilmiş dikdörtgenler prizması arkasındaki akışın ızgara iplikçik yöntemi ile incelenişi.

4.4 Işığın Sapmasına Dayanan Yöntemler

Kırılma indisi değişken bir ortamdan geçen ışın demetindeki sapmadan yararlanılarak bu ortamdaki akış problemleri incelenebilir. Bu maksatla geliştirilmiş gölge ve Schlieren yöntemlerinde ortamın kırılma indisindeki değişimlerin ölçülmesine dayanır. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, y doğrultusunda kırılma indisi değişen bir ortamın içinden z doğrultusunda bir ışın geçtiği varsayalım. Deney ortamından çıktıktan sonra bu ışındaki α açisal sapması

$$\alpha = \frac{1}{n_a} \int \frac{\partial n}{\partial y} dz$$

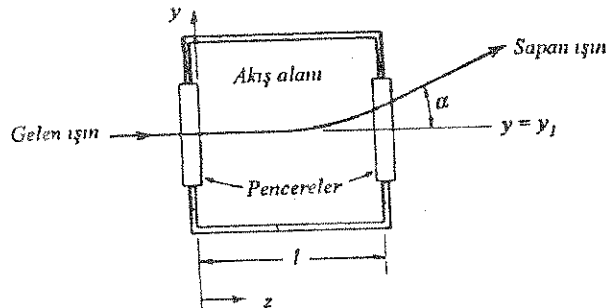
bağıntısı ile verilebilir [21, 22]. Bu bağıntıda n_a havanın, n ise inceleme bölgesindeki ortamın kırılma indisini göstermektedir. İki boyutlu bir inceleme esnasında, deney parçası içinde (l) kesitindeki $(\partial n / \partial y)_{y=y_1}$ gradyanın z koordinatından bağımsız olması durumunda bu noktadaki açisal sapma

$$\alpha_1 = \frac{L}{n_a} \left(\frac{\partial n}{\partial y} \right)_{y=y_1}$$

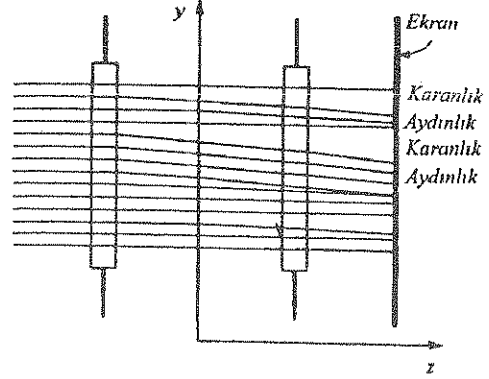
olarak yazılabilir. Burada L deney parçasının uzunluğudur. Deney ortamının gaz olması durumunda, Gladstone-Dale bağıntısına göre, ortamın kırılma indisi n ile ρ yoğunluğu arasında

$$\frac{n-1}{\rho} = C(\lambda) = \text{sabit}$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntıda $C(\lambda)$ sabiti kullanılan ışığın λ , dalga boyuna bağlı bir sabit olup, örnek olarak standart atmosferik basınçta 20°C sıcaklıkta hava halinde $\lambda=632,8 \text{ nm}$ (He-Ne laser ışını) için, $C=2,255 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$ değerindedir. Bu bağıntılara göre, ortam içindeki sıcaklık, basınç ve derişiklik gibi bir veya birkaç fiziksel özellik, ortamın yoğunluğunun değişimine, yoğunluğun değişimi ise kırılma değişimine neden olabilmektedir.



Şekil 4.12 Kırılma indisinin değiştiği bir ortamda ışığın sapması.



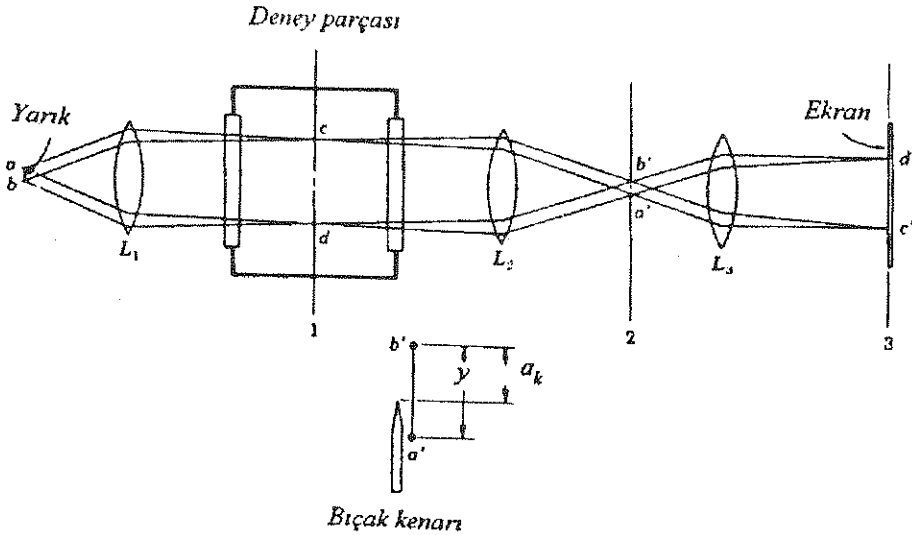
Şekil 4.13 Kırılma indisinin değişken olduğu bir ortamdan geçen paralel ışınların oluşturduğu karanlık ve aydınlık bölgeler.

Şekil 4.13'de gösterildiği gibi, akışkan içinde yoğunluk değişimine etki eden böyle bir fiziksel özelliğin değiştiği bir ortama, paralel bir ışın demeti gönderilsin. Bu ortamda yoğunluk gradyanının bulunmadığı bölgelerden ışın bir sapmaya uğramadan geçerken, gradyanın bulunduğu bölgelerde bu ışın belirli sapmalara uğrayacaktır. Bu sapmış ışınlar ekranda parlak ve karanlık bölgeler oluşturur.

Pratikte ışığın sapmasına dayanan *gölge ve Schlieren* adlarını alan, klasikleşmiş iki yöntem vardır. Gölge yöntemi deney ortamındaki kırılma indisinin ikinci türevini belirleyebilirken, Schlieren yöntemi kırılma indisinin birinci türevini belirler. Gölge yöntemi genellikle yoğunluğun çok değiştiği şok dalgalarının, süpersonik akışların, detanasyon ve kütle transferi olaylarının incelenmesi için uygun olurken, Schlieren yöntemi yoğunluğun fazla değişmediği, sıcaklık farklarının aşırı olmadığı özellikle bina içi ve dışı akış olaylarının incelenmesi için uygundur.

Schlieren Yöntemi

Bu teknikte, ışığın sapması ile oluşan parlak ve karanlık bölgeler Şekil 4.14'da verildiği gibi doğrudan doğruya ekranda incelenebilir. Işık ince bir *a-b* yarığından çıktıktan sonra L_1 merceği yardımıyla paralel hale getirilir. Bu paralel ışın demeti, deney parçasının içinden geçerken belirli bir sapmaya uğrayan ışın demeti, L_2 merceği ile odaklanır. Bu merceğin odak noktası düzlemine yerleştirilen bir bıçak kenarı (genellikle bir traş bıçağı) odaklanan ışığın yaklaşık yarısını kesecek şekilde ayarlanır. Bıçağın yerleştiriliş şekline göre sapmış ışınlar, ekranda ya daha fazla bir aydınlık ya da daha fazla karanlık bölgeler meydana getirir.



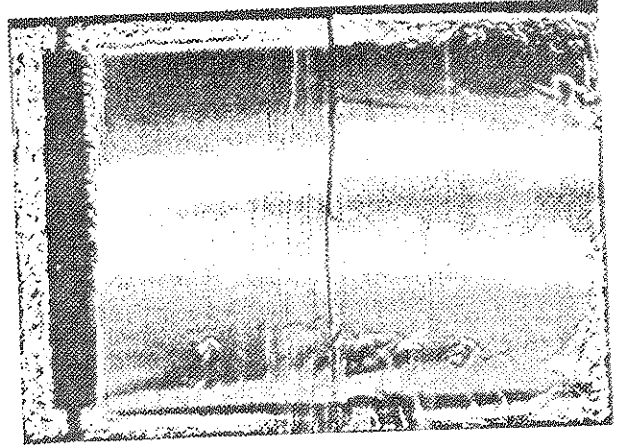
Şekil 4.14 Şematik olarak Schlieren yöntemi.

İki boyutlu değişim halinde $(\partial n/\partial y) = \text{sabit}$ için

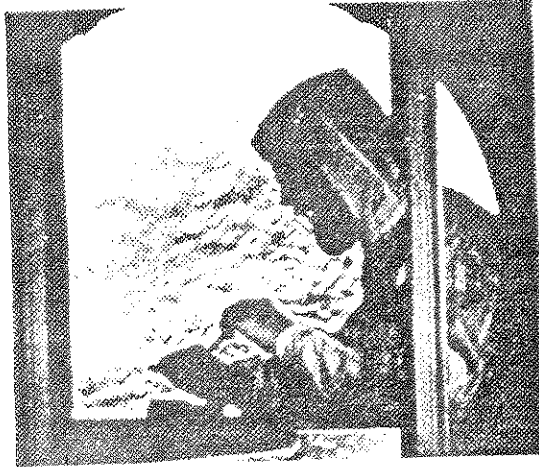
$$\text{Kontrast} = \frac{\Delta I}{I_T} = \pm \frac{f_2 C}{a_k n_a} \frac{\partial \rho}{\partial y} l$$

şeklinde tanımlanan kontrast yardımı ile ortamdaki akış hakkında bilgiler elde edilebilir [21, 22]. Bu tanımda ΔI ekrandaki ışık şiddetindeki değişmeyi, I_T ışığın sapmadan önceki ışık şiddetini, f_2 ikinci merceğin odak uzaklığını, C Gladstone-Dale sabitini, a_k odak noktasında bıçağın ışığı geçirdiği kısmın yüksekliğini, ρ ortamın yoğunluğunu, n_a havanın kırılma indisini, l ise deney parçasının uzunluğunu göstermektedir. Şekil 4.14'de gösterildiği gibi bıçak ışığı kesiyor ise bağıntıdaki işaret artı, aksi durumda eksidir.

Şekil 4.15'de güneş enerjisi ile ısıtılan Trombe duvarlı bir odadaki hava akımlarının, Şekil 4.16'da aşağıya doğru $0,5 \text{ m/s}$ hava akımı olması halinde temiz odada çalışan bir operatörün etrafındaki hava akımlarının, Şekil 4.17'de ise öksüren bir şahıstan çıkan havanın Schlieren yöntemi ile incelenişi görülmektedir [30, 31].



Şekil 4.15 Güneş enerjisi ile ısıtılan Trombe duvarlı bir odadaki hava akımlarının Schlieren yöntemi ile incelenişi [30].



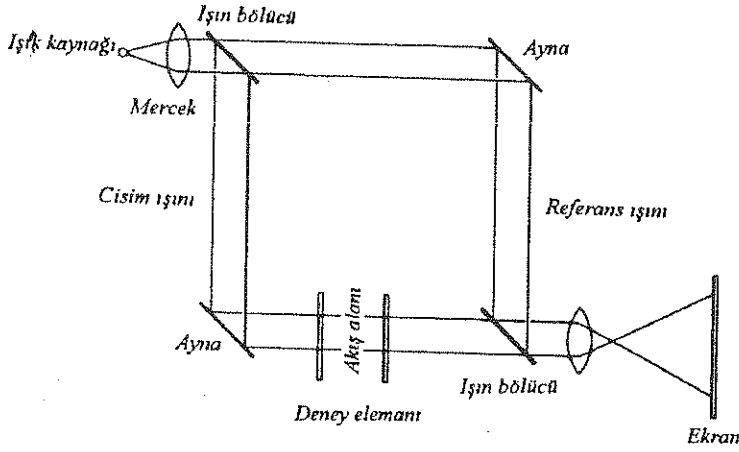
Şekil 4.16 Düşey doğrultuda $0,5 \text{ m/s}$ hava hızının okduğu temiz odada çalışan bir operatörün etrafındaki hava akımları [31].



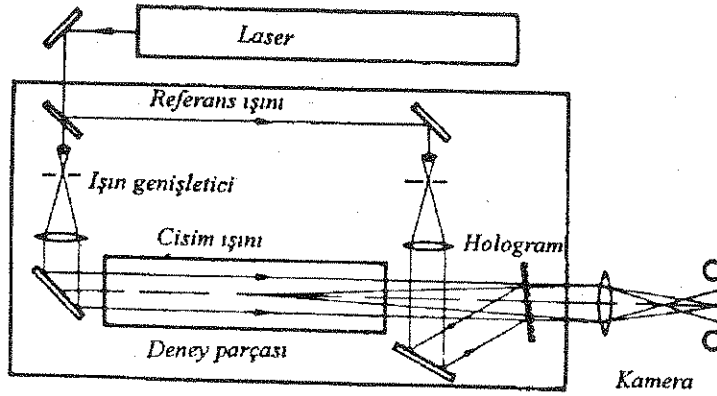
Şekil 4.17 Öksüren bir şahıs etrafındaki hava akımlarının Schlieren yöntemi ile incelenişi [31].

4.4 Işığın Girişimine Dayanan Yöntemler

Akışın görünür hale getirilmesi için kullanılan en hassas cihazlar, ışığın girişim esasına dayanan interferometrelerdir. Bunlardan da Şekil 4.18'de gösterilen *Mach-Zehnder* interferometresi ile Şekil 4.19'da gösterilen Holografik interferometre en çok kullanılan tipleridir [21,22].



Şekil 4.18 Mach-Zehnder interferometresi.



Şekil 4.19 Saydam cisimler için kullanılan holografik interferometre tesisatı.

Bu iki tipte de girişim çizgilerinin oluşumu aynı prensibe dayanır. Aynı kaynaktan çıkan uyumlu bir ışık (*lazer ışığı*), bir ışın bölücüde ikiye ayrılarak referans ve cisim ışınlarını oluşturur. Bunlardan biri referans bölgesinden diğeri cisim bölgesinden geçirilerek üst üste getirilmesi durumunda girişim çizgileri oluşabilir. Referans bölgesinden geçen ışın ile cisim bölgesinden geçen ışın arasındaki optik yol farkı

$$\text{Optik yol farkı} = \text{O.Y.F.} = \frac{1}{\lambda} (n - n_0) dz$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntıda λ , kullanılan ışığın dalga boyunu, n , n_0 cisim ve referans ortamının kırılma indislerini göstermektedir. Kırılma indisinin z geometrik yolundan bağımsız olduğu iki boyutlu değişimler halinde

$$\text{O.Y.F.} = \frac{l}{\lambda} (n - n_0) = \frac{l}{\lambda} \Delta n = m$$

yazılabilir. Bu eşitlikte l saydam olan deney parçasının boyunu, m ise 1, 2, 3, ... gibi tam sayı şeklinde girişim çizgilerinin sayısını göstermektedir. Gladstone-Dale bağıntısı kullanılarak, C Gladstone-Dale sabiti olmak üzere, referans noktası ile cisim içindeki herhangi bir noktadaki yoğunluk farkı için

$$\rho - \rho_0 = m \frac{\lambda}{Cl}$$

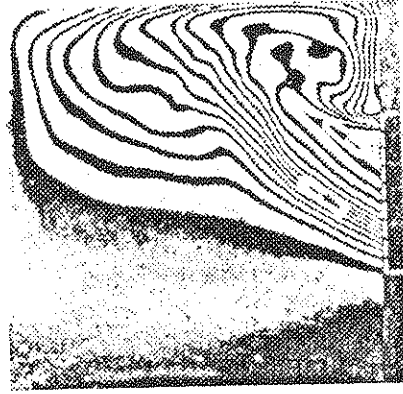
elde edilir. Olayda sadece bir sıcaklık farkı dolayısı ile yoğunluk değişimi varsa kırılma indisi farkı için

$$\Delta n = \frac{dn}{dT} \Delta T$$

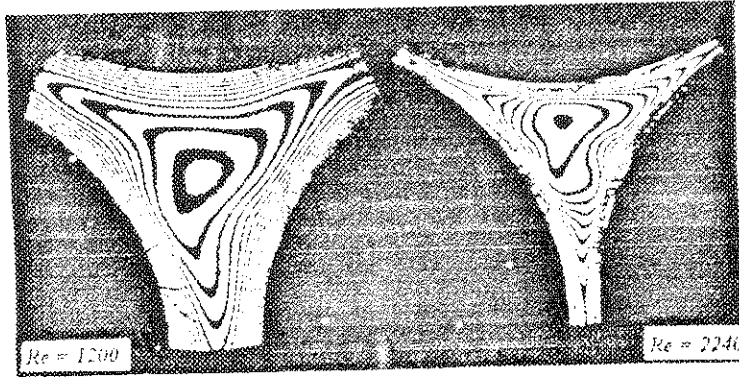
şeklinde alınabilir. Bu durumda da

$$\Delta T = \frac{\lambda}{l} \frac{1}{dn/dT} m$$

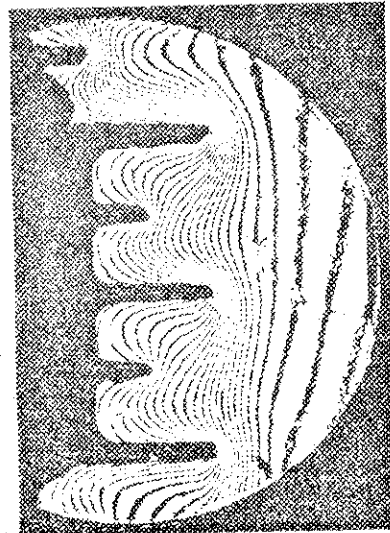
yazılabilir. Bu eşitlikten, deney ortamındaki dn/dT değeri belli ise girişim çizgilerinin hangi sıcaklıklara karşı geldiği kolayca bulunabilir.



Şekil 4.20 İklimlendirme yapılmış bir salon penceresinin yaz aylarında açılması durumunda içeri giren dış havanın hareketinin Mach-Zehnder interferometresi ile incelenişi [32].



Şekil 4.21 İki değişikliği borularda arasındaki akışın holografik interferometre ile incelenişi [33].



Şekil 4.22 Kanatlı alüminyum radyatör etrafındaki hava hareketlerinin ve ısı transferinin holografik interferometre ile incelenişi [34].

Bina içindeki, bina dışındaki ve çeşitli ısı cihazlardaki değişik akış olaylarının incelenmesi için çeşitli araştırmacıların Mach-Zehnder ve holografik interferometre tekniklerini kullanarak elde ettikleri tipik resimler Şekil 4.20 ile 4.22 arasında verilmiştir. Şekil 4.20'de iklimlendirme yapılmış dış ortamdan daha serin bir salonda, yazın pencerenin açılması durumunda içeri giren dış havanın akışının Mach-Zehnder interferometresi ile incelenişi görülmektedir [32]. Şekil 4.21'de bir ısı değiştiricinin boruları arasındaki akışın, Şekil 4.22'de ise kanatlı alüminyum bir radyatörün kanatları arasındaki akışın holografi tekniği

5. SONUÇ

Bir binadaki iklimlendirme, havalandırma, yangından korunma tesisatlarının etkin bir şekilde çalışabilmesi, bunların uygun otomatik kontrollerinin yapılabilmesi ve bina içinde ısı konfor ile ekonominin sağlanabilmesi için, bina içi ve dışı hava hareketlerinin hassas bir şekilde bilinmesi gerekir. Bu nedenle bu konu, hem tesisat ve kontrol mühendislerini hem de mimarları yakından ilgilendirir. Binanın daha proje safhasında, iyi bir teorik ve deneysel analiz ile bina dışındaki etkin rüzgar yönleri, binaya etki eden basınç kuvvetleri, salon içindeki hava akımları mümkün olduğu kadar iyi bir şekilde analiz edilmelidir.

Karmaşık geometrilerden oluşan bir binanın dışındaki veya içindeki hava akımları incelenirken, teorik analizlerin yetersiz kaldığı durumlarda ön plana deneysel yöntemler çıkar. Deneysel yöntemlerden de en çok kullanılanı ve etkin olanları akışı görünür hale getiren optik yöntemlerdir. Binanın projesi yapılırken modeller üzerinde gerekiyorsa bir rüzgar tüneli içinde duman, Schlieren veya interferometrik yöntemler kullanılarak, bina dışı veya salon içindeki hava akımları tespit edilmeli ölü bölgeler belirlenmeli, temiz oda teknolojisinde öngörülen laminar hava akım şartının gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1993.
- [2] Wilson, D.J. : Contamination of Building Air Intakes from Nearby Exhaust Vents, ASHRAE RP-136, January 1976.
- [3] Wilson, D.J. : Contamination of Air Intakes from Roof Exhaust Vents, ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part. I, 1976.
- [4] Holdredge, E. S., B.H. Reed : Pressure Distribution on Buildings, Texas Engineering Experiment Station, College Station, TX, 1956.
- [5] Cermak, J.E. : Application of Fluid Mechanics to Wind Engineering, Journal of Fluids Engineering, Transactions of ASME, vol. 97, 1975.
- [6] Wilson, D.J. : Dilution of Exhaust Gases from Building Surface Vents, ASHRAE Transactions, Vol. 83, Part 1, 1977.
- [7] Rydberg, J., P. Norback : ASHVE Research Report No. 1362, Air Distrution and Draft, ASHVE Trans., 65 1949.
- [8] Schlichting, H. : Boundary Layer Theory, McGraw Hill Book Company, New York, 1958.

- [9] Stoecker, W.F. : Principles for Air Conditioning Practice, Industrial Press Inc., New York,1968, Türkçesi : O.F. Genceli : İklimlendirme Esasları, İ.T.Ü. Kütüp., Sayı 1503,1992.
- [10] McQuiston, F.C., J.D. Parker : Heating, Ventilating and Air Conditioning Analysis and Design, John Wiley & Sons, New York,1977.
- [11] Koestel, A. : Computing Temperature and Velocities in Vertical Jets of Hot or Cold Air, ASHVE Trans., 60,1959.
- [12] Straub, H.E., S.F. Gilman, S. Konzo : Distribution of Air Within a Room for Year-Round Air Conditioning, Part I ve Part II, University of Illinois Engineering Experiment Station, Bulletin No 435 ve 442,1956-1957.
- [13] Straub, H.E. : Principles of Room Air Distribution, Heating, Piping and Air Conditioning,1969.
- [14] Özkaynak, F.T. : Temiz Oda Tasarımı ve Klima Sistemleri, Tetisan A.Ş. Yayınları,1994.
- [15] Okutan, C. : Temiz Oda Teknolojisi, Tesisat Dergisi, s. 38, 7,1994.
- [16] Counihan, J. : An Improved Method of Simulating an Atmosferic Boundary Layer in a Wind Tunnel, Atmos. Environ., 3,1969.
- [17] Onur. H.Ş., Baydar, E. : Atmosferik Sınır Tabaka İçinde Yapılar Etrafındaki Akış, Mühendis ve Makina, Cilt 33, Sayı 388,1992.
- [18] Cermak, J.E. : Laboratory Simulation of the Atmosferic Boundary Layer, AIAA Journal, Vol. 9, No 9,1971.
- [19] Cermak, J.E. : Wind-Tunnel Testing of Structures, Journal of the Engineering Mechanics Div., ASCE, vol.103, No. EM6,1977
- [20] Clarck, J.W. : Laboratory Investigation of Atmosferic Shear Flows Using an Open Channel, Proceedings of AGARD Conferance on Aerodynamics of Atmosferic Shear Flows, 48,1969.
- [21] Genceli, O.F. : Optik Ölçme Metodları, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 1380,1989.
- [22] Genceli, O.F. : Ölçme Tekniği, Birsen Kitabevi,1995.
- [23] Merzkirch, W. : Flow Visualition, Acedemic Press,1974.
- [24] Nakayama, Y. : Visualized Flow, Pergamon Press, Japan Soc. Mech. Engin., 1990.
- [25] Flow Visualization Symposium, ASME, New York,1960.
- [26] Frank, W. : Building Aerodynamics, Ch. 39, Handbook of Flow Visualization, Editör : W.J. Yang, Hemisphere Publishing Co.,1989.
- [27] Olivari, Babuska : Journal Wind Engin. & Ind. Aerod. Von Karman
- [28] Fitzner, K. : Source Flow, Forshungsvereinigung für Luft-und Trocknungstechnik, Wiesbaden, May 1987.
- [29] Beckert, J. : Report on the Tests Carried out on the Luwa CG Ceiling Air Distribution System for Operating Theatres, Luwa Ltd.,1983.
- [30] Carlson, A.B., Harrje, D.T., Settles, G.S. : An Optical Study of Thermal Convection in a Passive Solar Heated Room, ASME Paper 80-C2/Sol-1, August 1980.

- [31] Settles, G.S., Kuhns, J.W. : Visulation of Airflow and Convection Penomena about the Human Body, Bull. Am. Phys. Soc., vol. 29, no 9, p.1515.
- [32] Grigull, U. : Visulation of Heat Transfer, Proc.4th Int. Heat Transfer Conf., Verssailles, vol. 9, p.7-21,1970.
- [33] Mayinger, F., Panknin,W. : Holography in Heat and Mass Transfer, Heat Transfer 1974, 6, p.28-43,1974.
- [34] Yücel, A., Genceli, O.F. : Dikdörtgen Kesitli Boyuna Kanatlı Yatay Yüzeylerden Doğal Isı Taşınımı, İ.T.Ü. Mak. Fak. I.T.E.A.E., 20,1977.

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında İ.T.Ü. Makina Fakültesi'nden mezun oldu. Aynı Üniversite'de, 1973'de doktora, 1980'de doçent, 1988'de ise profesör ünvanlarını aldı. 1977-79 arasında A.B.D. Michigan Üniversitesi'nde Misafir Öğretim Üyesi olarak bulundu. Isı Tekniği ve Optik Ölçmeler konusunda yayınları bulunan Osman F. GENCELİ, halen İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı Öğretim Üyesidir.