

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ HAVA KALİTESİ

Y.LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Orhan DÖNMEZ

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Enerji

Tez Danışmanı: Prof. Dr. F. Taner ÖZKAYNAK

ARALIK 2002

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İÇ HAVA KALİTESİ

Y.LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Orhan DÖNMEZ

503011017

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Enerji

Tez Danışmanı: Prof. Dr. F. Taner ÖZKAYNAK

ARALIK 2002

ÖNSÖZ

İç ortam hava kalitesi, günümüzde dünya genelinde HVAC endüstrisinin üzerinde çalıştığı en önemli konulardan birisidir. İnsanlar zamanlarının %90 gibi bir kısmını iç hacimlerde geçirmektedirler. Konutlar, işyerleri, okullar v.s. gibi endüstriyel olmayan ortamlardaki iç hacimlerde de son yıllarda giderek artan ölçüde iç havanın temizliği ile ilgili endişeler gelişmektedir.

Bu çalışmada, iç hava kalitesini sağlama yöntemleri, iç hava kalitesi sağlanırken harcanan ek enerjinin minimize edilmesinin yolları saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, uygun bir tasarım ve doğru hesaplamalarla enerji tasarrufu yapmak ve aynı zamanda kabul edilebilir bir iç hava kalitesi sağlamak mümkündür.

Henüz ülkemizde önemi pek anlaşılmayan bu konunun ileriki yıllarda diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi önem kazanacağını ve bu konudaki çalışmaların artacağını düşünüyorum.

Bu çalışmayı birlikte yürüttüğümüz hocam sayın Prof. Dr. F. Taner ÖZKAYNAK'a, değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

İstanbul 2002

Orhan DÖNMEZ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. HAVADA BULUNAN KİRLETİCİ MADDELER	3
2.1. Dış Havada Bulunan Kirletici Maddeler	3
2.1.1. Tanecik Boyut Dağılımı	5
2.2. İç Ortamlarda Bulunan Hava Kirleticileri	7
2.2.1. Biyoaerosoller	10
2.2.2. Asbestler	13
2.2.3. Radon ve Diğer Toprak Gazları	14
2.2.1. Uçucu Organik Bileşikler	16
2.3 Diğer Hava Kirleticiler	19
3. İÇ HAVA KALİTESİNİN SAĞLANMASI	22
3.1. Kaynak Kontrolü	22
3.2. Kirleticilerin Temizlenmesi	24
3.2.1. Elek Etkisi	26
3.2.2. Atalet Etkisi	26
3.2.3. Yakalama Etkisi	27
3.2.4. Difüzyon Etkisi	27
3.3. Havalandırma ile Kirletici Konsantrasyonlarının Azaltılması	28
3.3.1. Birden Fazla Mahalin Havalandırılması	29
4. İÇ ORTAM KİRLETİCİ KONSANTRASYONLARININ KONTROLÜ	32
4.1. Modelin Oluşturulması	32
4.2. Dış Hava Miktarının Belirlenmesi	36
4.2.1. Programın Tanıtımı	37

5. İÇ HAVA KALİTESİ VE ENERJİ TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM DEĞERLERİN BELİRLENMESİ	39
6. KLİMA SANTRALİNE ALINAN DIŞ HAVANIN KONTROLÜ	45
6.1. Katı Partiküllere Etkiyen Sürüklemeye Kuvveti	46
6.2. Partikülü Harekete Geçirebilecek En Küçük Hızın Bulunması	48
6.3. Sürüklemeye Katsayısı	48
6.4. Optimum Hız Değerlerinin Belirlenmesi	49
6.5. Sonuçlar	49
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	52
KAYNAKLAR	54
EKLER	56
ÖZGEÇMİŞ	72

KISALTMALAR

HBS	: Hasta Bina Sendromu
BBH	: Bina Bağlantılı Hastalık
IAQ	: Indoor Air Quality
OSHA	: Occupational Safety&Health Administration
EPA	: Environmental Protection Agency
VOC	: Volatile Organic Compounds
VVOC	: Very Volatile Organic Compounds
SVOC	: Semi Volatile Organic Compounds
TVOC	: Total Volatile Organic Compounds

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. ABD’de temiz hava kalitesi ve kirleticilerin fizyolojik tesirleri...	7
Tablo 2.2. İç ortamlarda bulunan bazı kirleticiler	8
Tablo 2.3. İç ortam organik kirleticilerin sınıflandırılması	16
Tablo 3.1. Evde bulunan nem kaynakları.....	23
Tablo 3.2. Düşük sıcaklık adsorberleri ve kemisorberleri.....	25
Tablo 3.3. Havalandırma tesisatlarında esas alınan dış hava miktarları....	30
Tablo 5.1. Ev için ölçülen parametreler.....	42
Tablo 6.1. Yapılan deneylerde kullanılan değişkenler.....	46
Tablo 6.2. Partikülleri harekete geçirebilecek en küçük hava hızları.....	49
Tablo 6.3. 3m menfez yüksekliği ve 3m/s hava hızı için havanın y hızları.....	50
Tablo 6.4. 3m menfez yüksekliği ve 2m/s hava hızı için havanın y hızları.....	51
Tablo A.1. Hava hızı 2/s olduğunda menfezin farklı yüksekliklerine karşın belirlenen y doğrultusundaki hava hızları	56
Tablo A.2. Hava hızı 3/s olduğunda menfezin farklı yüksekliklerine karşın belirlenen y doğrultusundaki hava hızları	57
Tablo D.1. Partiküle etkidiği kabul edilen hızların belirlendiği yükseklikler, 2 m/s menfezdeki hava hızı için.....	70
Tablo D.2. Partiküle etkidiği kabul edilen hızların belirlendiği yükseklikler, 3 m/s menfezdeki hava hızı için.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	:Atmosfer havasında tanecik sayı, kütle ve yüzeyinin çapa göre değişimi..... 5
Şekil 2.2	:Çeşitli virüs, bakteri ve mantarların boyutlarının karşılaştırılması 6
Şekil 2.3	:İç ortam kirletici kaynakları..... 9
Şekil 2.4	:Enfekte olmuş bir kişi tarafından etrafa yayılan taneciklerin sayısal ve boyutsal dağılımı..... 19
Şekil 2.5	:Bir hapşırma sonrasında havada asılı kalan tanecik dağılımı.. 19
Şekil 2.6	:Güneş ışığı girmeyen iç ortamlarda havadaki mikroorganizmaların canlı kalabilme oranları..... 20
Şekil 2.7	:Tipik bir klima santralinde mikrobiyolojik kirlenme kaynakları ve yolları..... 20
Şekil 3.1	:Bir mahalin iç ortamdaki hava hareketleri..... 22
Şekil 3.2	:Gaz kirleticilerin abzorde edilme işlemi..... 24
Şekil 3.3	:Çeşitli filtrasyon mekanizmaları..... 26
Şekil 3.4	:Çeşitli filtrasyon mekanizmalarının tanecik çapına göre filtrasyon verimine etkisi..... 28
Şekil 3.5	:Bilinen bir kaynaktan beslenen birden fazla mahalde havalandırmanın azaltılması..... 31
Şekil 4.1	:%100 dış havayla çalışan havalandırma sisteminin şematik görünümü..... 32
Şekil 4.2	:Filtre veriminin partikül çapıyla değişimi 34
Şekil 4.3	:Geri dönüşüm havasıyla çalışan bir havalandırma sisteminin şematik görünümü..... 35
Şekil 5.1	:Şematik olarak bir mahalin görüntüsü..... 39
Şekil 5.2	:Evlerde yapılan ölçüm sonuçları..... 42
Şekil 5.3	:Ölçülen ve hesaplanan TVOC değerleri..... 43
Şekil 5.4	:Taze havanın geri dönüşüm havasına oranının farklı değerlerine karşılık TVOC konsantrasyonundaki ve soğutma yükündeki değişim..... 44
Şekil 5.5	:Enfiltrasyon oranının değişimine göre TVOC konsantrasyonu soğutma yükünün değişimi..... 44
Şekil 6.1	:Fluent programında hazırlanan model..... 45

Şekil 6.2	:Klima santrali emiş kanalı ve karışım ünitesi.....	46
Şekil 6.3	:Akışkanla hareket eden bir partiküle etkiyen sürüklenme kuvveti.....	47
Şekil 6.4	:Küresel olmayan bir yüzeyin eşdeğer çapı.....	47
Şekil 6.5	:Sürüklenme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....	48
Şekil 6.6	:Elde edilen hızların partikülleri harekete geçirebilecek hızlarla karşılaştırılması.....	50
Şekil 6.7	:Elde edilen hızların partikülleri harekete geçirebilecek hızlarla karşılaştırılması.....	51
Şekil B.1	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi.....	58
Şekil B.2	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi.....	59
Şekil B.3	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi.....	60
Şekil B.4	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi.....	61
Şekil B.5	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi.....	62
Şekil B.6	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi.....	63
Şekil C.1	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi.....	64
Şekil C.2	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi.....	65
Şekil C.3	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi.....	66
Şekil C.4	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi.....	67
Şekil C.5	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi.....	68
Şekil C.6	:Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi.....	69

SEMBOL LİSTESİ

C	: İç ortam kirletici konsantrasyonu
C_{out}	: Dış ortam kirletici konsantrasyonu
C_s	: Yüzeyden çıkan kirletici konsantrasyonu
Q_i	: Enfiltrasyonla mahale giren hava debisi
Q_M	: Taze hava debisi
Q_R	: Geri dönüşüm hava debisi
F_M	: Taze hava filtre verimi
F_R	: Geri dönüşüm havası filtre verimi
A_s	: Adzorpsiyon oluşan yüzey alanı
V	: Mahal hacmi
k_d	: Dezorpsiyon sabiti
k_a	: Adzorpsiyon sabiti
S	: Kaynak terimi
T_{out}	: Dış ortam hava sıcaklığı
T_{set}	: Set sıcaklığı
T_i	: İç ortam sıcaklığı
T_{ref}	: Referans sıcaklığı
q_c	: Soğutma yükü
Δq_c	: Soğutma yükünde meydana gelen artış
D	: Sürüklemeye kuvveti
C_D	: Sürüklemeye katsayısı
x_p	: Katı partikül çapı
V_o	: Akışkan hızı
U_p	: Partikül hızı
S	: Kaynak terimi
U_r	: Relativ hız
W_{sg}	: Partikülü harekete geçirebilecek en küçük hız
η	: Akışkanın viskozitesi
ν	: Akışkanın kinematik viskozitesi
ρ_p	: Tanecik yoğunluğu

ÖZET

İç ortam hava kalitesi, günümüzde dünya genelinde HVAC endüstrisinin üzerinde çalıştığı en önemli konulardan birisidir. İç ortam hava kalitesi, binanın başarısını etkilemesi nedeniyle, büyük önem taşımaktadır. Binanın tasarımı, inşaatı, işletimi ve bakımı gibi farklı evreleri, iç ortam hava kalitesini etkilemektedir.

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm’de, iç hava kalitesinin önemi vurgulanmıştır. 2. Bölüm’de, hava kirleticileri tanıtılmış, kaynakları, insan sağlığına olan etkileri ve etkilerin azaltılması için kullanılabilecek yöntemler açıklanmıştır. 3. Bölüm’de, iç hava kalitesini sağlama yöntemleri üzerinde durulmuştur. 4. Bölüm’de ise bir model kurulmuş ve farklı uygulamalar için gerekli olan taze hava miktarının hesaplanabileceği denklemler oluşturulmuştur. Buna uygun bir de bilgisayar programı hazırlanmıştır. 5. Bölüm’de, kabul edilebilir iç hava kalitesinin, minimum enerji harcayarak nasıl elde edilebileceği incelenmiş, yapılan ölçümler sonucu elde edilen değerler kullanılarak optimum durumlar saptanmıştır. 6. Bölüm’de, bir havalandırma sistemine alınan havanın dış ortamdaki hareketlerini incelemek açısından bir FLUENT programı hazırlanmıştır. Yerde bulunan partikülleri harekete geçirebilecek minimum hava hızları saptanarak, menfezin farklı konumları ve farklı hava hızı değerleri için hangi çaptaki partiküllerin menfeze ulaştığı belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, kabul edilebilir iç hava kalitesini sağlamak ve enerji tüketimini en aza indirmek için en uygun yöntemin kirletici kontrolü olduğu anlaşılmıştır.

Ayrıca dış ortamdan havalandırma sistemine giren partiküllerin sayısını azaltmak için çeşitli çözüm yolları elde edilen sonuçlara göre sunulmuştur.

SUMMARY

One of the most important issues facing the worldwide HVAC industry is indoor air quality (IAQ). This is an especially important issue because the quality of indoor air defines a building's success. From design and construction to operation and maintenance, every phase of a building affects the quality of indoor air.

This study consists of six chapters. In Chapter 1, the importance of IAQ has been emphasized. In Chapter 2, air pollutants have been defined, and their sources, effects on the health of occupants, and the methods of how to decrease their effects have been explained. In Chapter 3, the methods which are most widely used to obtain acceptable IAQ have been discussed. In Chapter 4, a model has been constructed, and some equations which determine the amount of makeup air that must be supplied into a space in a various conditions have been formulated. In Chapter 5, the relationship between IAQ and energy consumption has been investigated, and some equations have been developed accordingly. Later in the chapter using the results of measurements of some investigators, optimum conditions have been obtained. In Chapter 6, a computer program in FLUENT has been prepared to find out the movement of outside air which is drawn into a ventilation system. By determining the magnitude of velocity of outside air which set particles in motion, it has been found out which particles have a chance of reaching the diffuser of the ventilation system.

According to the results obtained from this study, it was found out that source control method is the most convenient method to obtain both acceptable indoor air quality and energy savings.

In addition, some acceptable solutions to prevent the particles which can reach the ventilation system were proposed in this study.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İç hava kalitesi yaşanan hacimlerde solunan havanın temizliğiyle ilgilidir. Temiz hava yetkili otoriteler tarafından belirlenen zararlı derişiklik seviyelerinin üstünde bilinen hiçbir kirletici madde içermeyen ve bu havayı soluyan insanların %80 veya daha üzerindeki oranının havanın kalitesiyle ilgili herhangi bir tatminsizlik hissetmediğı hava olarak tarif edilebilir. Konutlar, işyerleri, okullar v.s. gibi endüstriyel olmayan ortamlardaki iç hacimlerde de son yıllarda giderek artan ölçüde iç havanın temizliği ile ilgili endişeler gelişmektedir. İnsanların zamanlarının %90 gibi bir kısmını iç hacimlerde geçirdikleri ve iç hacimlerdeki insan yoğunluğunun daha fazla olacağı ve bundan kaynaklanan problemler olacağı rahatça tahmin edilebilir. Yine son yıllarda yapılan çalışmalarda hasta bina sendromu gibi kavramlar ortaya çıkmış ve iç hacimlerdeki kirliliklerden kaynaklanan hastalıklar teşhis edilmiştir. Konu ile ilgili çalışmalar buna paralel olarak artmış, bilimsel makaleler yayımlanmış, bilimsel toplantılar yapılmış ve yaptırım gücü olan yeni standartlar ortaya çıkmıştır. Bu standartlardan ASHRAE 62-99 numaralı olanı en geniş biçimde konuyu ele almaktadır. Bu standartların kuralları ve örneğin enerji tasarrufu ilkeleri ile çatışması en çok tartışılan konulardan biri olmuştur[14].

“Hasta Bina Sendromu” (HBS) görünür hiçbir hastalık nedeni olmayan bir binada, sakinlerin sadece binada geçirdikleri zamanla bağlantılı olarak sağlık ve konfor şikayetleri olmasına verilen isimdir. Şikayetçiler bina içinde belli bir oda veya zon içinde bulunabilecekleri gibi, bina içine de dağılmış olabilirler. Konu ile ilişkili bir başka kavram ise, “Bina Bağlantılı Hastalık” (BBH) kavramıdır. Bu durumda, bina içerisinde teşhis edilen hastalıkların nedenleri bellidir ve binanın havalandırma sisteminden kaynaklanmaktadır.

Hasta Bina Sendromu Göstergeleri

- Bina sakinleri birdenbire rahatsızlıklardan şikayet etmeye başlarlar. Bu şikayetler baş ağrısı, göz, burun veya boğaz rahatsızlıkları, öksürük, kuru veya

kaşıntılı bir cilt, baş dönmesi, mide bulantısı, konsantrasyon bozuklukları ve kokuya karşı aşırı duyarlılık şeklinde olabilir.

- Bu hastalık belirtilerinin kaynağı tanımlanamamıştır.
- Şikayetçilerin çoğu binayı terk edişlerinden hemen sonra rahatladıklarını belirtmişlerdir.

Bina Bağlantılı Hastalık Göstergeleri

- Bina sakinlerinin çoğunda öksürük, göğüs sıkışması, ateş, titreme ve baş ağrısı gibi şikayetleri görülmektedir.
- Bu bulguların nedenleri klinik olarak tamamen açıklanabilir.
- Şikayetçiler binayı terk etseler de iyileşmeleri belli bir süre alır.

İç ortamlardaki hava kalitesinin yetersiz oluşu, bir başka önemli hastalık olan lejyoner hastalığına neden olabilmektedir. Bu hastalık, lejyonella bakterisi tarafından oluşturulan ve ölüme yol açabilen ciddi bir zatürre hastalığı biçimidir. Lejyonella nemli ve sulu ortamlarda yaşar ve çoğalır. En yaygın bulaşma yolu binalardaki sıhhi tesisat ve klima tesisatıdır. Özellikle oteller, hastaneler, iş merkezleri ve fabrikalar gibi büyük sistemlerde karşılaşılır.

BÖLÜM 2. HAVADA BULUNAN KİRLLETİCİ MADDELER

Hava bileşiminde birçok gaz bulunmaktadır. Deniz seviyesindeki kuru ve temiz havanın gaz bileşenleri yaklaşık olarak %21 oksijen, %78 azot, %1 argon ve %0.03 karbondioksittir. Bunların dışında ayrıca çok az oranlarda hidrojen, neon, kripton, helium, ozon ve ksenon gazları ile değişken miktarlarda su buharı ve sürekli atmosferik kirletici maddeler adı verilen mikroskobik veya daha küçük katı maddeler bulunur.

Havanın bileşimi doğal veya yapay olarak değiştirilebilir. Bazı kapalı pis su kanallarında, pis su arıtma tesislerinde, tünellerde veya maden ocaklarında havadaki oksijen miktarı insan sağlığını tehdit edebilecek düzeylere inebilir. İnsanların yoğun olarak bulundukları tiyatro, sığınak, denizaltı gibi kapalı hacimlerde, solunum sonucunda açığa çıkan karbondioksit ortamdan alınarak yerine oksijen (taze hava) gönderilmesi gerekir. Atmosferin yüksek seviyelerinde uçan uçaklardaki pilotlar, çok düşük basınçlarda nefes almak durumunda olduklarından, buralarda oksijen derişikliğini arttırıcı sistemlere gerek duyulur. Bunun tersi durum olarak, deniz dibinde çok derinlerde çalışan dalgıçlar için solunan hava içindeki helium oranını arttıracak azot ve bazen de oksijen derişikliğini azaltmak gerekebilir. Çok kısa bir süre için bile olsa, atmosfer basıncında oksijen derişikliğin %12 değerinin altına düşmesi veya karbondioksit derişikliğin %5 değerinin üzerine çıkması, insan sağlığı için tehlikelidir.[1]

2.1 Dış Havada Bulunan Kirletici Maddeler

Normal olarak dışarıdaki atmosferik havada, değişik büyüklük ve miktarlarda bitki tozları, virüs ve bakteriler, çeşitli ölü veya canlı mikroorganizmalar, erozyon sonucu ortaya çıkan tozlar, sulardan buharlaşma sonucu çıkan maddeler bulunmaktadır[2].

Dış havada bulunan kirletici maddeler aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir;

- Tanecik veya gaz,
- Organik veya inorganik,
- Görülebilir veya görülemez,
- Mikroskobik altı, mikroskobik veya makroskobik,
- Zehirli veya zehirsiz,
- Kararlı veya kararsız.

Bu kirleticilerin bulundukları katı, sıvı veya gaz gibi faza ve oluşum yöntemlerine göre sınıflandırılması ise şu şekilde yapılabilir;

- Katı : Tozlar, metal buharı dumanları ve katı maddelerden oluşan dumanlar (duman içinde genellikle sıvı tanecikler bulunur),
- Sıvı : az yoğunluklu sisler, sis ve sıvı maddelerden oluşan dumanlar,
- Buhar : buharlar ve gazlar.

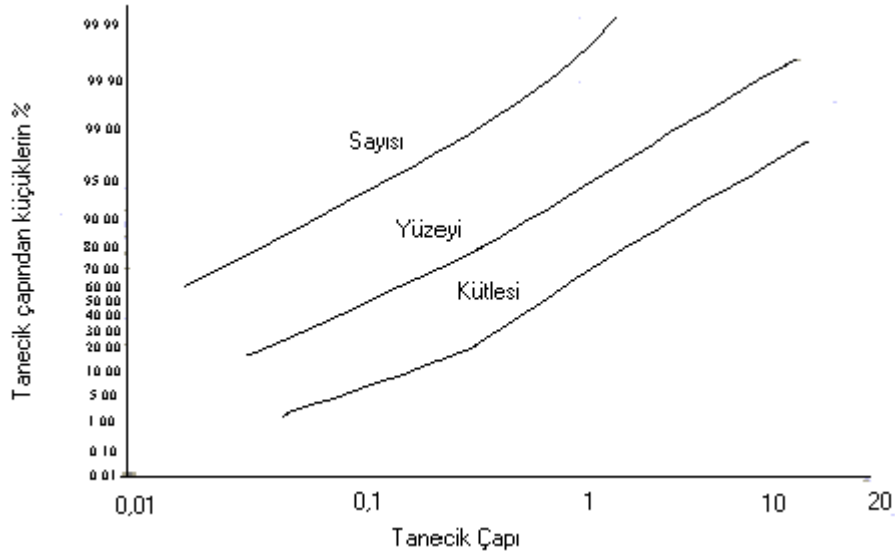
Endüstriyel hijyen ile uğraşan araştırmacılar, insan ciğerlerinde tutunabilme olasılığı fazla olan 2 μm çapından daha küçük tanecikler ile ilgilenirler. 8 ila 10 μm çapından daha büyük tanecikler üst solunum yolları tarafından ayrılır ve tutulurlar. Ara boyutlar akciğerin hava kanalları üzerine çökerek, buradan hızlıca temizlenip yutulur veya öksürükle dışarı atılır. Nefes alınan havadaki taneciklerin %50 veya daha azı solunum yollarında çöker. 10 μm çapından büyük tanecikler oldukça hızlı bir şekilde çökerler ve sadece çıktıkları kaynak yakınında ve rüzgar altında havada asılı kalabilirler. İstisna olarak, büyük çaplı olmalarına rağmen, bazı ayırık otu tohumlarının parçaları gibi hafif elyaf maddeleri ve uçuntular havada daha uzun süre kalabilirler. 10 μm çapından büyük taneciklerin çoğu uygun aydınlatma ve kontrast olması halinde çıplak göz ile görülebilirler. Daha küçük tanecikler ancak yüksek derişiklikte olmaları halinde çıplak gözle görülebilirler. Buna en çok karşılaşılan iki örnek olarak sigara dumanı (ortalama tanecik çapı 0.5 μm değerinden küçük) ve bulutlar verilebilir[3].

Bir egzozun veya yanma gazlarının çıktığı bir bacanın yakınında veya kuvvetli bir hava kirliliğinin olduğu yerlerde çok daha büyük tanecik çapları görülür. Sis, metal buharı dumanları, buğu gibi daha küçük tanecikler havada daha uzun süre asılı kalırlar. Bu boyut aralığında, meteorolojik şartlar ve bölgenin topografik yapısı,

taneciklerin fiziksel özelliklerinden daha önemlidir. Çökelme hızları küçük olduklarından, atmosferin bu tanecikleri dağıtabilmeleri, büyük oranda yerel hava durumuna bağlıdır[4].

2.1.1 Tanecik Boyut Dağılımı

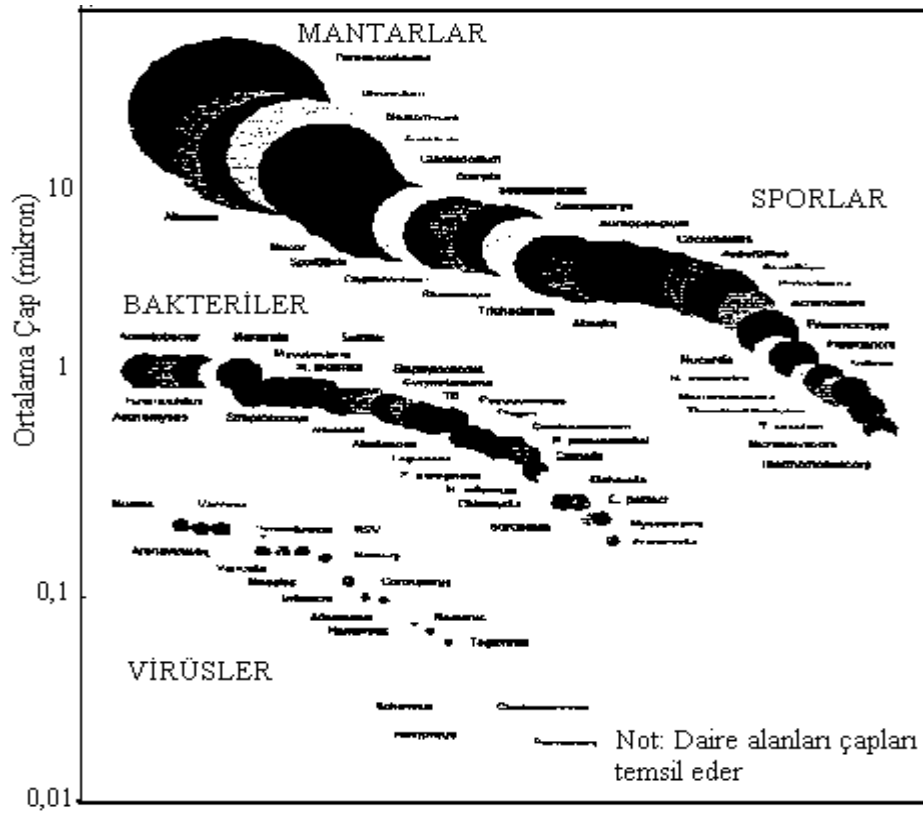
Herhangi bir hava numunesindeki tanecik boyutu dağılımı, verilen bir boyuttan daha küçük olan taneciklerin yüzdesi olarak tanımlanabilir. Şekil 2.1’de verilen en üstteki eğri (adet eğrisi), tipik bir atmosferik kirlilik için çizilmiştir. Ortadaki eğride (alan eğrisi) ise verilen bir boyuttan daha küçük olan taneciklerin toplam projeksiyon alanlarının yüzdesi görülmektedir. En alttaki eğride (kütle eğrisi) ise verilen bir boyuttan daha küçük olan taneciklerin toplam kütlelerinin yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Atmosfer havasında tanecik sayı, kütle ve yüzeyinin çapa göre yüzdesi

Bu üç eğri ile verilen değerler arasındaki farka dikkat etmek gerekir. Örnek olarak 0.1 µm veya daha küçük çaptaki tanecikler, atmosferde bulunan taneciklerin sayıca %80 kadarını kapsamakta, fakat kütleli olarak sadece %1 değerini almaktadır. Aynı zamanda 1 µm çapından daha büyük tanecikler sayıca ancak %0.1 iken, toplam kütleli %70 kadarını oluşturmaktadır. Bu ise küresel bir taneciğin kütleli, çapının kübü ile artmasının bir sonucudur. Kirliliğin %80 kadarı, çapları 5 µm değerinden daha küçük taneciklerden meydana gelmektedir. En çok leke bırakıcılar ise 1 µm çapından daha küçük taneciklerdir[5].

Kent içindeki havada bulunan taneciklerin çapı, genellikle 1 µm değerinden daha küçüktür ve yaklaşık olarak log-normal bir dağılım gösterir[1]. Havada bulunan virüs, bakteri, polen ve mantar gibi mikroorganizmalardan oluşan taneciklere biyoaerosol adı verilir. Bunlardan virüsler 0.003 ila 0.06 mikron çaplarında olmakla beraber genellikle koloniler halinde veya havada asılı başka taneciklere yapışmış olarak bulunurlar. Bakteriler ise çoğunlukla 0.4 ila 0.5 µm çapındadır ve genellikle büyük taneciklerle beraber bulunurlar. Mantar sporlarının çapları 10-30 µm, bitki tozlarının, polenlerin çapları 10-100 µm ve bunların en çok tanınan çeşitleri ise 20-40 µm mertebelerindedir (Şekil 2.2)[6].



Şekil 2.2 Çeşitli virüs, bakteri ve mantarların boyutlarının karşılaştırılması

Bulaşıcı olmayan enfeksiyonlar, hemen hemen çevrede bulunan mantar ve sporlar yoluyla veya tarımsal bakteriler vasıtasıyla geçerler. Sporlar bu grubun en önemli hastalıklarına neden olurlar. Bu, hava durumuna, iklim ve mevsimlere bağlı olarak değişir ve en dezavantajlı durum kuru, rüzgarlı ve mantar üreyen topraklarda meydana gelir. Ancak sürpriz olarak, yapılan araştırmalara göre sadece önemsiz bir kaç olay dışında dış havanın solunmasından dolayı solunum yolu enfeksiyonlarına yakalanma durumu tespit edilmemiştir. İç ortamlarda ve klima tesisatı elemanları üzerinde üreyen ve yayılan mikroorganizmalar asıl tehlike kaynağını teşkil ederler.

Klima sitemlerine dışarıdan alınacak taze hava da dış kirleticiler yönünden bir standarda bağlı olmalıdır. ASHRAE tarafından hazırlanmış ve Amerika için kabul edilen atmosferik çevre havasının kalite standardı Tablo 2.1’de verilmiştir[7].

Tablo 2.1 ABD’de temiz hava kalitesi ve kirleticilerin fizyolojik tesirleri

Kirletici Madde	Uzun Dönem		Kısa Dönem		Fizyolojik Tesirleri
	Konsantrasyon Ortalama	Zaman	Konsantrasyon Ortalama	Zaman	
Sülfürdioksit	80 (0,03)	1 yıl	365 (0,14)	24 saat	Kronik üst solunum hastalığı
Karbonmonoksit	10000 (9)	8 saat	40000 (35)	1 saat	Kalp hastalığı
Azotdioksit	100 (0,555)	1 yıl			Kronik üst solunum hastalığı
Ozon			235 (0,12)	1 saat	Kronik üst solunum hastalığı
Hidrokarbonlar			160 (0,24)	3 saat	
Toplam tanecik (arit.ortalama)	50	1 yıl	150	24 saat	Kronik üst solunum hastalığı
Kurşun	1,5	3 ay			Kurşun zehirlenmesi, çocuklarda merkezi sinir sistemi bozukluğu

Bu tabloda kısa dönem olarak 1-24 saatlik, uzun dönem için 3 ay ve 1 yıllık ortalama değerler ile maksimum konsantrasyon değerlerinin aşılması halinde oluşabilecek kronik solunum yolu ve kalp hastalıklarının olasılığı belirtilmiştir. Projecilerin dış hava alış yönlerinde standartları aşmayan hava kirleticilerinin bulunmadığını tespit etmelerinin gerekliliği bu şekilde ortaya çıkmaktadır. Yoğun sokak trafiğine maruz yerlere dış hava alış menfezlerinin yerleştirilmemesi çok doğru olacaktır.

2.2 İç Ortamlarda Bulunan Hava Kirleticileri

Ofis, konut ve endüstriyel olmayan diğer iç ortamlardaki hava kalitesi, daima bir endişe konusudur. İnsanlar zamanlarının %90 kadarını iç ortamlarda geçirdiklerinden ve iç bölgelerdeki hava kirletici derişiklikleri, dışarıdaki derişiklik seviyesinden çoğunlukla daha yüksek olduğundan, iç bölgelerdeki hava kirleticilere maruz kalmak, dış ortamlardaki kadar önemlidir[1]. Tablo2.2’de iç ortamlarda bulunabilecek bazı kirleticilerin maksimum konsantrasyon oranları verilmiştir[1].

İç ortam havasındaki gaz ve parçacıkları içeren maddeler, bir mahaldeki insanlarla bu insanların etkinliklerinden kaynaklanır. Havada bulunan yabancı maddeler;

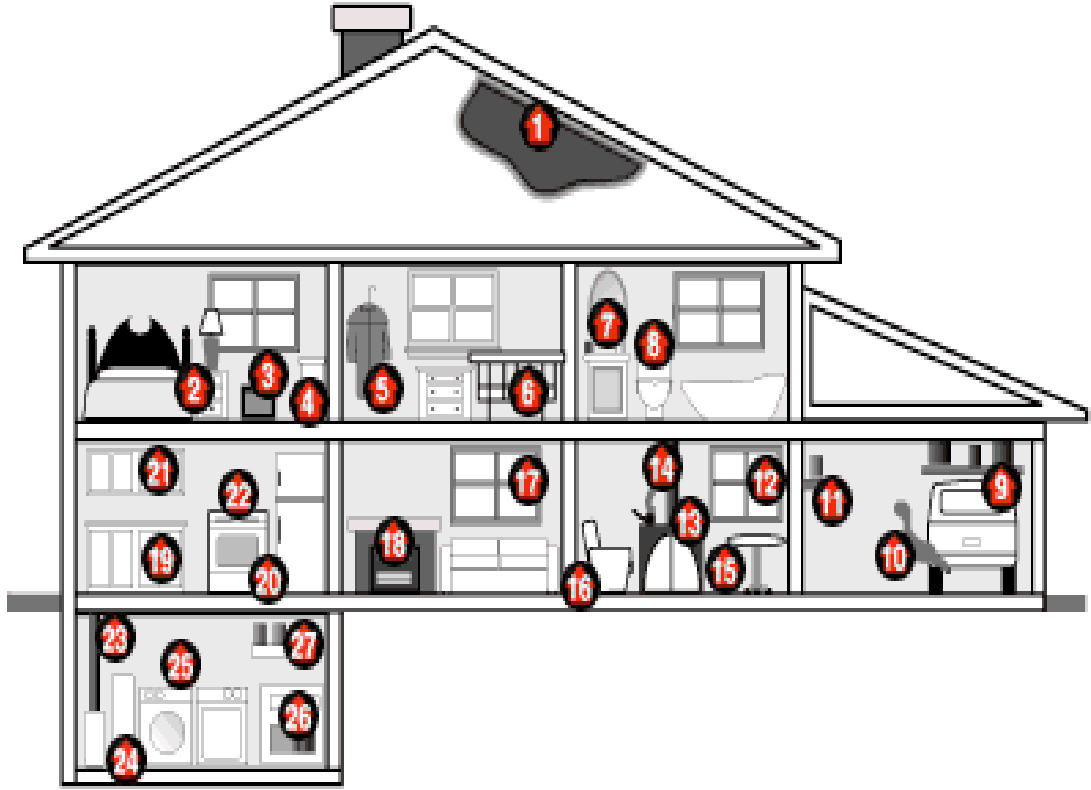
- (1) gaz çıkışından yada bina malzeme ve sistemlerinden gelen çıktılardan,
- (2) dış ortam havasından,

(3) binadaki işletme-bakım program ve işlemlerinden kaynaklanır.

Tablo2.2 İç ortamlarda bulunan bazı kirleticilerin, kaynakları, mümkün olan konsantrasyonları ve iç/dış konsantrasyon oranları

Kirletici	İç kirletici kaynakları	Mümkün olan iç konsantrasyon	İç/dış konsantrasyon oranı	Yeri
Karbon Monoksit	Yakma cihazları, motorlar,hatalı ısıtma sistemleri	100 mg/kg	>>1	Araba yarış pistleri, ofisler, evler, arabalar, dükkanlar
Tanecikler	Sobalar, şömineler, sigaralar, buharların yoğunlaşması, aerosol spreylere, pişirme	100 ila 500 µg/m ³	>>1	Evler, ofisler, arabalar, kamu görevleri, barlar, lokantalar
Organik buharlar	Yanma, solventler, reçine imalatı, tanecikler, aerosol spreylere	Bilgi yok	>1	Evler, lokantalar, kamu görevleri, ofisler, hastaneler
Azot dioksit	Yanma, gaz sobaları, su ısıtıcıları, kurutucular, sigaralar, motorlar	20 ila 1000 µg/m ³	>>1	Evler, araba yarış pistleri
Kükürt dioksit	Isıtma sistemleri	20 µg/m ³	<1	Sistem içinde
Dumansız toplam uçucu parçacıklar	Yanma, ısıtma sistemi	100 µg/m ³	1	Evler, ofisler, nakil vasıtaları, lokantalar
Sülfat	Kibritler, gaz sobaları	5 µg/m ³	<1	Sistem içinde
Formaldehit	Yalıtım, ürün bağlayıcıları, sunta	0,05 ila 1,0 µg/kg	>1	Evler, ofisler
Radon ve türevleri	İnşaat malzemeleri, yer suları, toprak	0,1 ila 200 nCi/m ³	>>1	Evler, binalar
Amyant	Yanma malzemeleri	<10 ⁶ lif/m ³	1	Evler, okullar, ofisler
Mineral ve sentetik lifler	Kumaş, halı, duvar malzemeleri	Bilgi yok	-	Evler, okullar, ofisler
Karbondioksit	Yanma, insanlar, evcil hayvanlar	3000 mg/kg	>>1	Evler, okullar, ofisler
Canlı organizmalar	İnsanlar, evcil hayvanlar, kemirgen hayvanlar, böcekler, mantarlar, nemlendiriciler, iklimlendirme cihazları	Bilgi yok	>1	Evler, hastaneler, okullar, ofisler, kamu binaları
Ozon	Elektrik arki	20 µg/kg	<1	Uçaklar

İç havanın kirleticilerinin kaynakları Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 İç ortam Kirletici Kaynakları[9]

Kirletici Kaynakları

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1. Nem | 15. Halı |
| 2. Tahta mobilya döşemeleri | 16. Parke |
| 3. Nemlendirici | 17. Perdelik |
| 4. Haşarı ilaçları | 18. Şömine |
| 5. Kuru temizleme eşyaları | 19. Temizlik ürünleri |
| 6. Toz bezleri | 20. Yer cilaları |
| 7. Bakım ürünleri | 21. Tahta dolaplar |
| 8. Havalandırıcılar | 22. Yemek dumanı |
| 9. Depo edilen yakıtlar | 23. Borular |
| 10. Araba egzozu | 24. Radon |
| 11. Boya ürünleri | 25. Elbise kurutucuları |
| 12. Aynalık | 26. Böcek ilaçları |
| 13. Odun sobası | 27. Hobi ürünleri |
| 14. Baca | |

Havadaki katı yabancı maddeleri; biyoaerosoller, asbest, yapay mineral fiberleri ve silica; gaz maddeleri ise radon ve toprak gazları ile uçucu organik bileşenler oluşturur[8].

2.2.1 Biyoaerosoller

Biyoaerosoller; havada bulunan ve virüs, bakteri, mantar, tek hücreliler, polen ile bunların hücresel yada hücre kütleindeki bileşenlerinden oluşan, mikrobiyolojik parçacıklardır. Biyoaerosoller her yerdeki iç ve dış mahal havasında bulunurlar.

Geçmişte çürümüş besinlerde bulunan saprophytic mantarlara; bu tür mikroorganizmaların örnekleme ve analitik yöntemlere uygunluğu nedeniyle yoğun bir ilgi gösterilmiştir. Virüsler, rickettsia, chlamidia, protozoa ve bir çok patojenik mantar ve bakteri, bu varlıklar için kültür ve hava-örnekleme son derece güç olduğundan çok az bilinir.

Kaynakları

Mikroorganizmalar, cansız organik maddelerde ve yeniden-dönüşebilen minerallerde bulunan karmaşık moleküller ile makro molekülleri; karbondioksit, su ve nitrat gibi basit maddelere ayrıştırır. Bu bileşenler ise daha sonra yeşil bitkiler tarafından özümленir. Bu nedenle, toprakta ve atmosferde saprophytic mantarın bulunması son derece doğal bir oluşumdur. Örnek olarak, genellikle cansız bitkilerde bulunan bir mantar türü olan colladosporium'un sporları; dış ortam havasında her zaman bulunmaktadır. Colladosporium'un sporları, iç ortamlara sızma (infiltrasyon) ile giren hava miktarına ya da ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemine karışan dış ortam hava miktarına bağlı olarak, iç ortam havasında bulunur. İnsan derisinde yaşayabilen bakteriler ve solunum borusunda parazit üreten virüsler, insanlardan yayılır ve bu nedenle de genel olarak iç ortam havasında bulunurlar.

Normalde mikroorganizmaların iç ortam çevresinde bulunmasına karşılık, çok fazla nem ve besleyicinin bulunduğu iç ortam oyukları; bazı mikrobik maddelerin, iç ortamı mikrobiyolojik açıdan anormal hale getirecek kadar fazla üremesini hızlandırırlar. Bu nedenle; belirli türden bazı nemlendiriciler, su püskürtme sistemleri

ile ıslak gözenekli yüzeyler; mantar, bakteri protozoa ve nematodes'ler için bir toplanma ve barınma mahali olabilmektedir. Havadaki aşırı nem ve su taşmaları mikroorganizmaların iç ortamda aşırı üremelerine neden olabilmektedir. Hava hazırlama cihazlarının çalıştırılmasıyla ortaya çıkan türbülans, barınılan iç ortamlardaki bakteri ve mantar derişikliğini arttırmaktadır.

Sağlık Üzerindeki Etkileri

İç çevrelerde mikroorganizmaların varlığı, binadan kaynaklanan bazı bulaşıcı ve/veya alerjik hastalıklara neden olabilmektedir. Belirli koşullar altında bazı mikroorganizmalar, pis kokulu ve tahriş edici uçucu kimyasal bileşikler üreterek, sağlıksız bina sendromu denilen olguyu geliştirirler.

Lejyoner hastalığı ve Pontiac ateşi gibi iki tür hastalık ile ilgilidir. Lejyoner hastalığı; %15 öldürücülük oranıyla solunum sistemi yanında bir çok sistemde görülen bir hastalıktır. Etkili bir tedavi, doğru bir antibiyotik tedaviyi gerektirir. Legionella Pneumophila, son zamanlarda bulunmuş bir bakteri olup, binalardaki enfeksiyonlu hastalıklarla sıkı sıkıya ilişkilidir. Su soğutma kuleleri; buharlaşmalı-yoğuşturucular ve konut su tesisatları, Legionella gibi mikroorganizmaların üremesi için gerekli suyu ve besini sağlayan yerlerdir. Mikrobik organizmaların aşırı miktarda üreyerek çoğalması, genellikle bu sistemlerde uygunsuz koruyucu bakım işlemleriyle ilişkilidir. Pantiac ateşi, daha hafif olup, solunum sistemi dışındadır, tedavisi genellikle antibiyotiklerle olur ve hastaneyi gerektirmez.

İç ortam havasında bulaşıcı hastalıkların ortaya çıkmasına virüsler gibi, başka tür organizmalar da neden olabilir. Örnek olarak, bir hava yolu kabininde, çok ağır bir hastayla temas eden yolcuların çoğunda grip ortaya çıkmış; bu durumda uçak, havalandırma sistemi kapatılıp birkaç saat piste çekilerek bekletilmiştir.

Mikroorganizmalar, bağışıklık sistemini etkileyerek de binalarla ilişkili hastalıklara neden olabilirler. Böylece, mikroorganizmaları ya da bunların sporlar, enzimler gibi elemanlarını soluyanlarda alerjik solunum hastalıkları baş gösterebilir. Kırıklık, ateş, titreme, nefes darlığı ve öksürük gibi akut belirtiler sergileyen çok sayıda alerjik solunum yolu hastalığı vakası raporlarda yer almaktadır. Binalarda bu hastalıklar, nemlendirici su püskürtme sistemleri gibi ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme

cihazlarından ya da uzun süre suya maruz kalmış diğer mekanik ekipmanlardan kaynaklanan mikrobiyolojik kirlenmeye bağlanmaktadır. Bu hastalıklardan etkilenen insanlar; genellikle bina sendromuna sahip sakinlerin kısa sürede iyileşmelerinin tersine, ancak binayı terk etmelerinden uzunca bir süre sonra iyileşme hissetmektedirler. OSHA'nın gerçekleştirdiği araştırmalarda, %5 oranındaki mikrobiyolojik kirliliğin önemli olduğu bildirilmektedir. Ne mikroorganizmaların; ne de mikrobik buharların, endotoksin, myotoksin, cansız mikrobik parçacık ve virüslerin önemi araştırılabildiğinden, bu değer olasılıkla gerçeği yansıtmaktan uzaktır. Son yıllarda gerçekleştirilen birkaç araştırma, mikroorganizmaların iç hava kalitesi ile ilgili konulardaki öneminin, geçmişte düşünülenenden çok daha büyük olduğunu göstermiştir[7].

Standartlar

Aşağıdaki nedenlerden dolayı, günümüzde iç ortam çevrelerindeki biyoaerosol miktarları hakkında sayısal standart değerler bulunmamaktadır.

- Özellikle coğrafi, mevsimsel ve bina türü parametreleri hakkında, mikroplarla kirlenmiş iç ortamlar hakkında verilerin yetersizliği,
- Binadan dolayı olan hastalıklara ilişkin biyoaerosol değerleri hakkında veri bulunmayışı,
- Canlı hücreler, ölü sporlar, toksinler, antijenler ve virüsler gibi, mikrobik parçacıkların çok değişik türde olması,
- İnsanların mikrobik parçacıklara karşı dayanımlarındaki büyük farklılığın, sağlık riski ile ilgili tahminleri güçleştirilmesi.

Elimizde sayısal standartlar bulunmasa bile, birkaç nokta dikkate alınarak, biyoaerosol örneklemeleri aşağıdaki şekilde yorumlanabilir.

- Şikayete konu olan ortamlarda ve kontrol ortamlarındaki, mikrobiyolojik türler hakkında (üreyen numuneler) mertebe sırasının değerlendirilmesi,
- Binadan dolayı olan bir hastalığa bir mikroorganizmaların neden olduğuna dair tıbbi laboratuvarlarda elde edilen kanıtlar,
- Bir çok saprophytic mikroorganizmalar için iç hava/dış hava derişiklik oranları.

Binadan dolayı olan bir hastalığın nedeni olan bir mikroorganizmanın, solunum bölgesine kuşkuşulanılan kişi tarafından yeterli bir miktarda taşınması gerekir. Böylece, rezervuar, taşıyıcı ve bulaştırıcı kavramlarının anlaşılması ve yorumlamalarda dikkate alınmasına gerek vardır.

2.2.2 Asbestler

Asbest, fiber demetlerinde ortaya çıkan, yüksek gerilme dayanımı ve yanma direncine sahip bir grup doğal silikatın genel adıdır. Doğada, yalnızca chrysotile içeren serpentine ile amosite, crocidolite, tremolite ve actinolite içeren amphibole olarak iki temel biçimde bulunurlar. İnsanlar bu maddelere, üretim (çıkarma ve tasfiye); işleme (yalıtım ve fren malzemesi vb.); inşaat ve yıkım işlerinde olmak üzere dört yerde maruz kalmaktadırlar.

Sağlık Üzerindeki Etkileri

Asbestin sağlık üzerindeki etkileri çok iyi bilinmektedir. Alınan doz miktarına bağıllık özeliği gösterir, örnek olarak yoğun miktarlara daha uzun süre maruz kalınması, hastalık olasılığını artırır.

Asbestosis. Asbestosis hastalığı, akciğerler dokusunda kronik bir rahatsızlığa neden olmakta, akciğer yaralarına ve son aşamada, akciğer zarından yeterli oksijen geçmemesi nedeniyle de solunum güçlüklerine yol açmaktadır. Bu hastalık yalnızca belirtilen açılardan güçsüzlük yaratmakla kalmayıp, aynı zamanda akciğer kanseri oranını da arttırıcı bir etken olmaktadır. Asbeste maruz kalınması son yıllarda önemli ölçüde azaltıldığından, gelişmiş ülkelerde buna bağıllı hastalıklara nadiren rastlanmaktadır.

Akciğer Kanseri. Akciğer kanseri kronik, ilerleme gösteren, genellikle tedavisi olmayan bir hastalık olup, hastalığa yakalananların %13'ünden daha azı 5 yıl yaşayabilmektedir. %85 oranında sigaraya bağıllan hastalıkta, bundan başka birçok risk faktörü belirlenmiştir. Asbestle ilgili işlerde ve işyerlerinde çalışanlarda görülen kanser olayları yüksek oranda asbeste bağıllanmaktadır. Genellikle kontrolsüz biçimde asbeste maruz kalınan endüstri ve ticaret işletmelerinde, akciğer kanseri oranı, genel halk ortalamasından %50 değerinde bir artış görülmektedir. Uygun koruma önlemleri alındığında, hastalıkta bir artış gözlenmemiştir.

Mesothelioma. Asbeste maruz kalmak; nadir görülen bir akciğer zarı tümörüne ve mesothelioma olarak bilinen peritoneum'a neden olmaktadır. Asbeste maruz kalanlarda nöbetle biçiminde seyreden bir hastalık olup, hastalık görüldüğünde, bu hastalığa yol açan miktar ve süre karakteristikleri hemen hemen kesinlikle bellidir ve aynı gruptaki diğer insanlar da aynı risk altındadırlar. Hastalık ilerleme gösteren türden olup, bir yıl içerisinde ölümle sonuçlanır.

Değişik asbest türlerinin hastalığa neden olma olasılıkları üzerinde çelişkili görüşler vardır. Bazı araştırmacılar amphiboles ile karışık olmayan chrysotile'in mesothelioma nedeni olmadığını belirlemişlerdir.

Diğer Hastalıklar. Gırtlak kanseri, mide ve bağırsak sistemi kanserleri (yemek borusu, mide, bağırsak ve makat) gibi diğer hastalıkların da asbest ile ilişkisi bulunmuştur. Diğer hastalıkların asbestle ilişkisi; her birisinin taşıdığı ve asbestle ilişkili olmayan diğer risk faktörleri açık seçik belirlenmediğinden, çok kesin biçimde ortaya konmuş değildir.

Standartlar

ABD'de asbest kullanımı, federal kurumlar tarafından yönetmeliklerle sıkı bir kontrol altındadır. OSHA'nın, iş yerlerini kontrol etme ile genel endüstri ve inşaat işlerinde toplam izin verilebilir miktarları belirleme yetkisi vardır. Çevresel Koruma Kurumu (EPA) okul ve konut çevrelerinde asbest kullanımını ve miktarını düzenlemektedir. Bu konularda güvenli işleme ve etkilerini azaltma/giderme konusunda bir doküman da dahil olmak üzere kullanım rehber kitapları bulunmaktadır.

2.2.3 Radon ve Diğer Toprak Gazları

Radon doğal yollardan oluşan, kimyasal açıdan inert, kokusuz, tatsız radyoaktif bir gazdır. Uranyumun birkaç kademeli bozunmasıyla oluşan Radyum'un radyoaktif bozunmasından ortaya çıkar. Uranyum ve Radyum'un kaya ve toprakta bulunan elementler olması nedeniyle Radon, doğal çevrede bulunmaktadır. Radyum-226'nın bozunma ürünü olan Radon-222 diğer maddelerle kimyasal bağ oluşturmadığından, kaya ve toprak gibi çok ince gözeneklere sahip ortamlardan geçerek iç mahallere

girer. Buna ilave ve ikinci olarak, iç ortamda Radon bulunmasının nedeni yer altı suları ile Radon içeren inşaat malzemeleridir.

Radon gazı iç ortamlara, pis-su tesisat borusu, lağım pompası gibi elemanların çevresindeki açıklıklardan, duvar-döşeme bağlantılarındaki çatlaklardan girer. İç ortamlara giren Radon gazı miktarı ve iç ortamdaki derişiklik dağılımı; çevre toprağında bulunan Radon miktarı, çevredeki kaya ve topraktaki Radon derişikliği, toprağın gözeneklilik ve geçirgenliği, toprak ve bina arasındaki basınç farkı veya binanın değışik mahalleri arasında baca etkisi, fan çalışması ya da ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sisteminin çalışması (ya da bulunmaması) nedeniyle oluşan basınç farkları gibi faktörlere bağılıdır.

Sağlık Üzerindeki Etkileri

Radon'un radyoaktif bozunmasıyla, Polonyum, Bizmut ve Kurşun gibi bir dizi radyoaktif izotoplar ortaya çıkar. Ana madde olan Radon'un aksine bu ürünler inert olmayıp, aktif maddeler olup, top parçacıklara ve diğler yüzeylere ve solunum sırasında akciğerin solunum yollarına yapışabilirler. Bu ürünlerden ikisi akciğere zarından geçerken kansere neden olabilen Alfa ışıınımı yaymaktadırlar. Böylece Radon'la ilgili sağlık etkileri, daha çok Radon'un bozunma ürünleri miktarına bağılı olup, risk düzeyinin de tamamen toplam miktara bağılı olduğı varsayılmaktadır. Uranyum ve diğler yer altı mineralleri hakkında sağlıkla ilgili temel bilgiler edinmek amacıyla yapılan araştırmalar, sağlık risklerinin Radon nedeniyle olduğunu göstermiştir. Bu araştırmalar, radon ürünleri ile sigara içme arasında sinerjik etkileri de ortaya koymuştur. Her ikisi de aynı miktarda Radon ürünlerine maruz kalan iki kişiden sigara içenin akciğere kanserine yakalanma riski, sigara içmeyene oranla çok daha yüksektir.

Kontroller

İç ortamlarda; (1) girişı engellenerek; (2) girdikten sonra atılarak veya derişikliği düşürülerek, Radon ve bunun bozunma ürünlerinden korunulabilir. İlk yaklaşım, özellikle geniş bir bakım ve enerji kullanımı gerektirmediğinden en uygun yöntemdir. Fakat, en etkili olanları, binaya Radon gazı girişini sınırlayan önlemlerdir. En çok kullanılan tekniklerden birisi; bina alt yapısındaki basıncı

düşürmek, böylece toprakla, bina alt yapısı arasındaki havanın bina içine değil, dışarı doğru akmasını sağlamaktır. Bodrum katın basınçlandırılması gibi bazı teknikler sınırlı bir başarıyla uygulanmışlardır.

Binadaki açıklıkların sızdırmaz biçimde kapatılması da çok denenmiş bir yöntem ise de, binanın bazı açıklıklarına ulaşamadığı ve zaman içerisinde yeni çatlak ve açılmalar olduğundan, bu yöntemin tam etkili bir önlem olduğu söylenemez. Hava fırınları ve ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri, yapıların basınç düşümüne katkıda bulunduğu gidiş ve dönüş kanallarının yeri ve sızdırmazlığı, özellikle yeni inşaatlarda önemlidir.

2.2.4 Uçucu Organik Bileşikler

Uçucu organik bileşikler (VOC), bütün endüstriyel olmayan çevrelerde bulunan ve hava kirliliği yaratan maddelerdir. Havalandırmadan sonra, uçucu organik bileşikleri bir iç hava kalitesi probleminin teşhisinde ilk düşünülmesi gereken hususlardır. Uçucu bileşikler, buhar basınçları 13-130 mPa değerinden büyük olan organik bileşikler olarak tanımlanır. Bunlar, 4-16 karbonlu alkenleri, klorlu hidrokarbonları, alkoller, aldehytleri, keton, ester, terpen, eter, aromatik hidrokarbonlar (benzen ve toluen gibi) ve heterosiklik bileşikler içermektedir. Bütün uçucu bileşikler Tablo 2.3’de verildiği biçimde sınıflandırılabilirler.

Tablo 2.3 İç ortam organik kirleticilerin sınıflandırılması

Açıklama	İngilizce kısaltma	Kaynama noktası ^a , °C
Çok uçucu (gaz) organik bileşikler ^b	VVOC(Very Volatile Organic Compounds)	<0 ila 50-100
Uçucu organik bileşikler	VOC (Volatile Organic Compounds)	5-100 ila 240-260
Yarı uçucu organikler (pestisidler, polinükleer aromatik bileşikler, plastik ana maddeleri)	SVOC(Semi Volatile Organics)	140-160 ila 380-400

^a Polar bileşikler ve yüksek molekül ağırlıklı VOC’lar her kaynama noktası aralığının yüksek sıcaklık tarafında görülür.

^b Alkoller, aldehytler, olefinler, terpenler, alifatik aromatik hidrokarbonlar, klorlu hidrokarbonlar

İç ortamlarda bulunan değişik VOC bileşikleri; çoğunlukla iç ortamda çok daha fazla olası kaynak bulunduğundan, hemen her zaman dış havadakinden daha fazla bulunmuştur.

Endüstriyel olmayan çevrelerde, iç ortamda bulunan VOC'ların dış havadakine göre daha yüksek oranlarda bulunmasına karşılık, belirli bazı VOC'ların mutlak derişikliği, endüstriyel iş yerlerinde yüksek kabul edilen değerlerden 100-1000 kez daha düşüktür. Buna karşılık, endüstriyel iş yerleri için benimsenen standartlar; ortalama bir endüstri işçisine oranla VOC'lara karşı daha duyarlı insanları, çocuk ve yaşlıları içeren genel nüfus için uygun kabul edilen değerlerden yüksektir.

Sağlık Üzerindeki Etkileri

Endüstriyel olmayan çevrelerdeki uçucu bileşiklerin olumsuz sağlık etkileri üç sınıfa ayrılabilir:

- (1) rahatsızlık veren kokular ve burun zarı tahrişi de dahil olmak üzere tahriş edici etkiler;
- (2) yorgunluk ve bilinç dağınıklığı gibi sistemsel etkiler;
- (3) kanserojenik kronik zehir etkileri.

Uçucu maddelerin neden olduğu kronik olumsuz etkiler; iç ortam havasında bulunan bazı VOC'lar insanlar için (benzen) ya da hayvanlar için (kloroform, trikloretilen, karbontetraklorit, p-di clorobenzen) kansorejendirler. Teorik risk değerlendirme çalışmaları konutsal iç ortam havasındaki VOC için kronik miktar riskinin; dış havadaki yada içme suyundaki riskten daha yüksek olduğunu göstermektedir.

İç ortamdaki düşük VVOC düzeylerine insanların gösterdiği tepkiler için kullanılan biyolojik model, üç mekanizmadan oluşmaktadır: çevrenin duygusal algılanışı, zayıf tepkisel reaksiyonlar, çevresel gerilim reaksiyonu. Bu gözlemler sınırlı araştırmalara dayanmasına rağmen, yine de; iç ortamda bulunan uçucu maddelerin (VOC) kokular nedeniyle rahatsızlığa, gözler, burun ve boğazda tahriş edici etkilere, sınır değerlerin çok altında bile baş ağrılarına neden olduğunu göstermiştir. Bu tablo, iş veriminin ve performansın düşmesi gibi henüz uçuculardan kaynaklandığı tam olarak belirlenmemiş, ilişkili etkilerle devam etmektedir.

Molhave (1991), iç ortam havasında normal olarak bulunan $0,2 \text{ mg/m}^3$ seviyesinin altında uçucuların herhangi bir tahriş etkisinin bulunmadığını belirlemiştir. Dış hava derişiklikleri yaklaşık 0.1 mg/m^3 veya daha düşüktür. 3 mg/m^3 seviyesinin üstünde, araştırma yapılan bütün binalardaki sakinlerin yukarıda belirtilen etkilerden şikayet ettikleri gözlenmiştir. Kontrollü miktar deneylerinde, 3 mg/m^3 düzeyinde kokular önemli düzeydedir. 5 mg/m^3 değerinde, bireysel şikayetlerin yanı sıra, genel rahatsızlıklar da ortaya çıkmaktadır. 50 dakika süreyle 8 mg/m^3 derişikliğinde 20 tür uçucunun sentetik karışımının bulunduğu bir iç ortamda göz, burun ve boğaz mukozalarında önemli ölçüde tahriş gözlenmiştir.

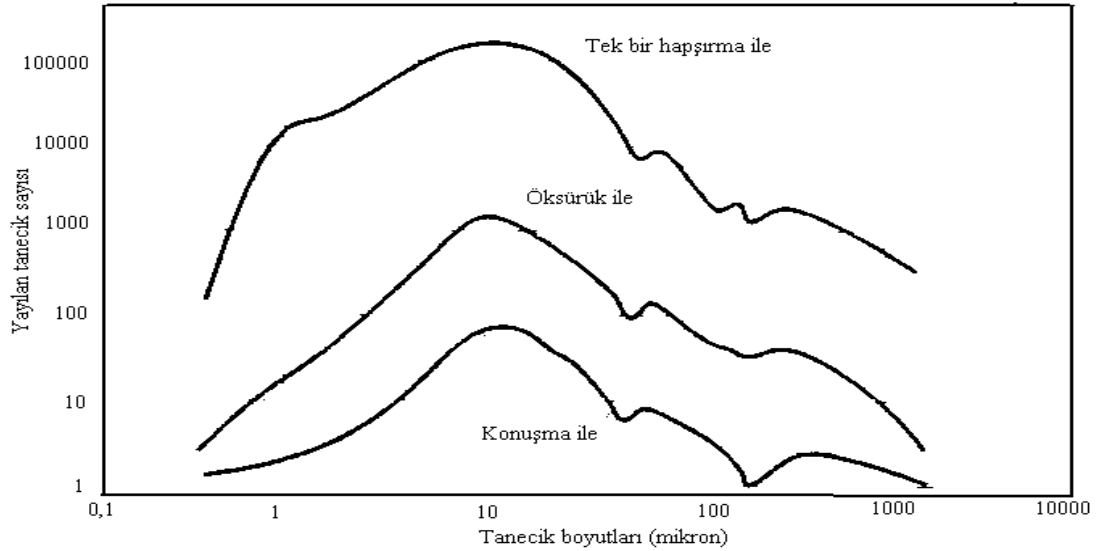
Uçucu Organik Bileşiklerin (VOC) Düzeylerinin Düşürülmesi

İç ortamlarda uçucu organik bileşiklerin düzeylerinin düşürülmesinde aşağıdaki hususlardan yararlanılabilir.

- İç ortamlarda düşük yayılım düzeyinde ürünlerin kullanılması,
- Olanak bulunduğunda, yayılımı düşürmek için ürünlerin değıştirilmesi,
- Ürünlerin, üretici önerilerine uygun biçimde kullanılması,
- Enerji açısından verimli bir kullanım örneğı oluşturmaya da ve bazı kaynaklar için tam etkili olmasa da örneğın havalandırma miktarının 6 kere artırılması ile uçucu derişikliğinde ancak %50 kadar bir azalmanın elde edilebilmesine rağmen, binalarda havalandırma miktarının artırılması, örneğın havalandırmayı iki katına çıkarmak VOC derişikliğini yarı yarıya indirebilmektedir.
- İnsan sayısının en düşük düzeyde olduğu durumlarda uçucu maddelerin kullanılması,
- Fotokopi makinelerinin, yazıcıların ve diğer noktasal kirletici kaynakların yakınlarına yerel egzoz havalandırma cihazlarının yerleştirilmesi,
- Organik maddelerin iyi havalandırılan yerlerde saklanması,
- Özellikle sık kullanılmayan organik maddelerin büyük miktarlarda depolanması[7].

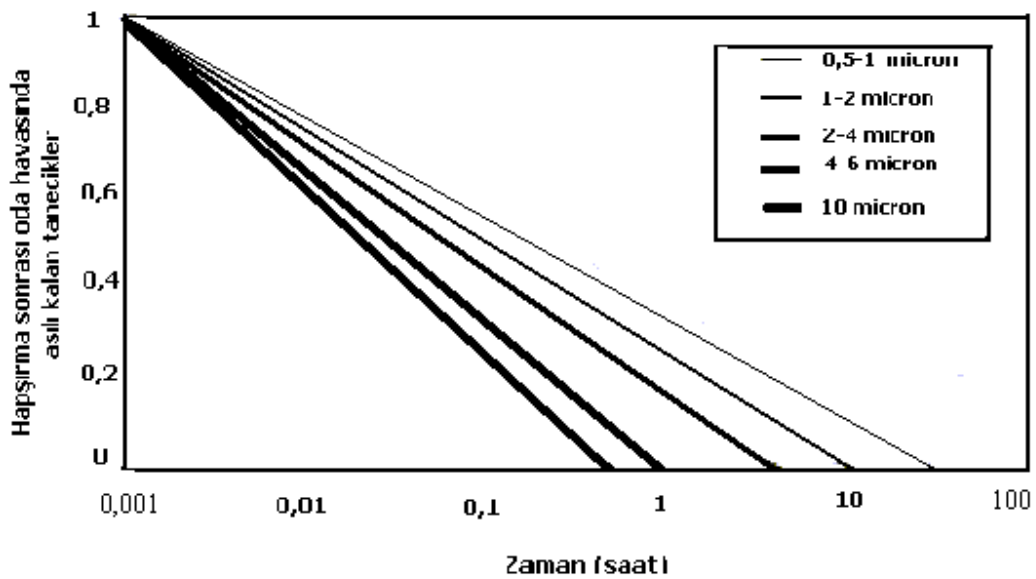
2.3 Diğer Hava Kirleticiler

Solunum yolu hastalıklarının çoğu, hastalığa yakalanan insanların öksürme ve hapşırmalarına neden olduklarından, bu yolla havaya çok geniş miktarda biyoaerosol yayılır. Şekil 2.4’de tek bir hapşıрма sırasında nasıl yüz binlerce taneciğin yayılabileceği görülmektedir[3].



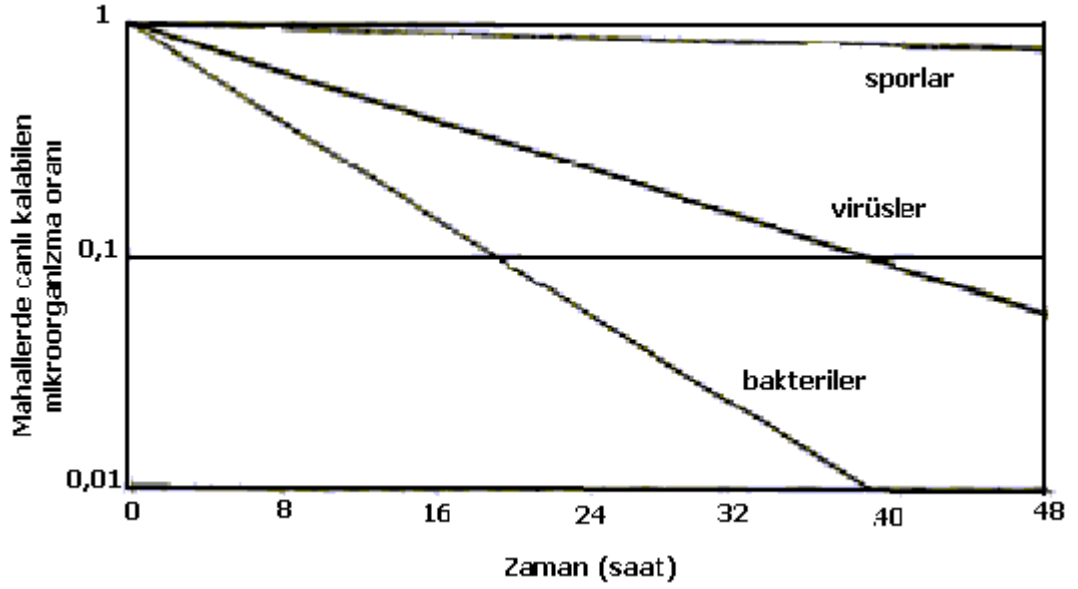
Şekil 2.4 Enfekte olmuş bir kişi tarafından etrafa yayılan taneciklerin sayısal ve boyutsal dağılımı

Şekil 2.5’de görüldüğü üzere bir hapşıрма sonrasında havada bulunan biyoaerosol çaplarına bağlı olarak 4-8 μm arasındakiler 1 saat içinde öldükleri gibi 0.01 μm büyüklüğünde olanlar günlerce havada asılı kalabilmektedir.



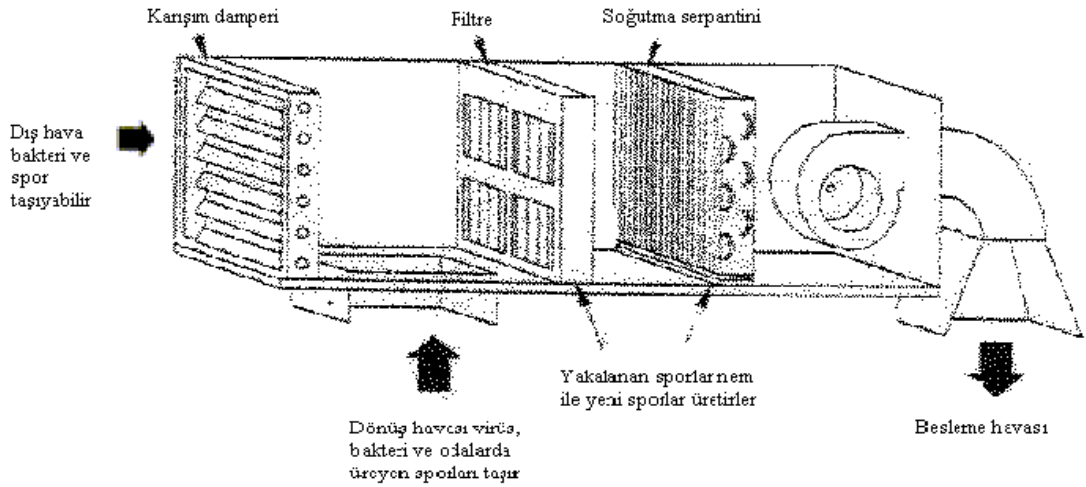
Şekil 2.5 Bir hapşırdan sonra havada asılı kalan tanecik dağılımı

Şekil 2.6’de güneş ışığı girmeyen iç ortamlarda havadaki mikroorganizmaların canlı kalabilme oranları verilmiştir. Enteresan olan husus bakterilerin havadan ayrılmasının virüslere nazaran daha çabuk gerçekleşmesidir, çünkü bunlar yaşamak için neme virüslerden daha çok ihtiyaç duymaktadırlar.



Şekil 2.6 Güneş ışığı girmeyen iç ortamlarda havadaki mikroorganizmaların canlı kalabilme oranları

Amerika ve Avrupa’da yapı işlerinde yapılan araştırmaların sonuçları incelendiğinde iç hava kalitesine tesir eden kirleticilerin hemen hemen yarısı mahal içindeki insanlar, yapı ve dekorasyon malzemeleri, halılar ve yalıtım malzemelerinden kaynaklanıyorsa diğer yarısı da klima santrali ve dağıtım sisteminden geldiği tespit edilmiştir[3].



Şekil 2.7 Tipik bir klima santralinde mikrobiyolojik kirlenme kaynakları ve yolları

Şekil 2.7’de tipik bir klima santralinde mikrobiyolojik kirlenme kaynakları ve yolları gösterilmiştir. Bulaşıcı virüs ve bakteriler hemen hemen tamamen insanlardan kaynaklanmakta ve sadece dönüş havası içinde bulunmaktadır. Dış hava ile dış çevreden gelen bakteriler ve sporlar içeriye girebilirler. Ancak iç ortamlarda mikroorganizma üremesi halinde dönüş havasında dış havadan çok daha yüksek seviyede mikroorganizma bulunabilir.

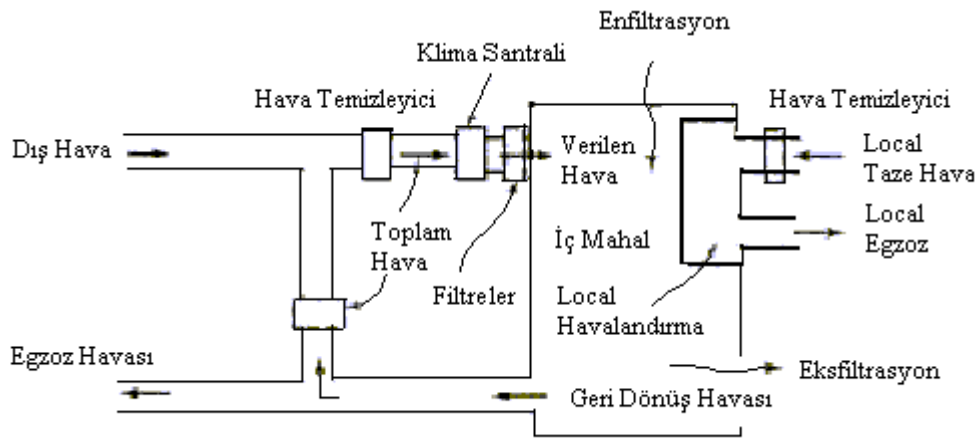
Dış çevreden gelen bakteriler sağlıklı insanlar için hemen hemen hiç hastalık tehlikesi oluşturmazlar, ancak hastalığa yol açan mantarlar için gelişme kaynağı teşkil edebilirler. Klima santralinde en kritik elemanlar soğutma serpantini ve onun yoğuşma tavaıdır, filtreler, fan, kayışlar ve gresle yağlanan rulmanlardır. Nemli ortamlarda üreyen sporlar daha sonra çoğalarak yayılırlar. Filtreler sporları tutarlar ancak filtre elemanlarının nemli olması halinde buralarda aşırı spor üremesinden dolayı sporlar tekrar havaya karışırlar.

BÖLÜM 3. İÇ HAVA KALİTESİNİN SAĞLANMASI

İç hava kalitesi, aşağıdaki metotlardan bir veya birkaçının birlikte kullanılmasıyla sağlanabilir.

- (1) Kirletici kaynağının kontrolü
- (2) Havada bulunan kirleticilerin temizlenmesi
- (3) İç ortam havasında bulunan kirletici konsantrasyonlarının daha düşük konsantrasyonlu dış hava kullanılarak azaltılması.

Şekil3.1 bir mahalin havalandırma sistemini göstermektedir.



Şekil 3.1 Bir mahalin iç ortamdaki hava hareketleri

Genelde kirletici kaynakları iç mahalde bulunmaktadır. Ancak bazı kaynaklar da klima santrali ve kanallarda yer alır. Hava temizleyiciler bazı kirleticileri tutup iç mahale girmesini engelleyebilmektedir. Hava temizleyiciler içim mümkün olan bazı yerleştirme yerleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir[10].

3.1 Kaynak Kontrolü

İç hava kirleticilerinin kontrolü için kaynak kontrolünün en etkili yöntem olduğuna inanılır. Kaynak kontrolü için çok çeşitli teknikler kullanmak mümkündür. En bilineni ise kirletici üreten yöntem, ürün veya malzemelerin kontrol altına alınmasıdır.

Örneğin, iç ortamda sigara içilmemesini sağlamak, havaya en az miktarda tehlikeli olabilecek kirletici veren döşeme, tahta yapımı ürünler tercih edilmelidir. Seçilen boya türü, temizlik ürünleri de iç havanın kirlenmesinde önemli rol oynar.

Başka bir önemli kontrol yöntemi ise lokal havalandırmadır. Eğer bir kaynağın üretmiş olduğu kirleticiler, iç ortam havasına karışmadan lokal havalandırma ile hemen dışarıya atılırsa mahalde bulunanlar korunmuş olur. Örneğin mutfaklarda kullanılan davlumbazlar, iç ortam ile dış ortam arasındaki basınç dengesini sağlamak için uygun havalandırma yapılmalıdır. Aksi halde, fırın, şömine gibi doğal havalandırılmalı yanma cihazlarında yanma ürünlerinin iç ortamdaki basınç dış ortama göre düşükse geri teperek iç mahale girmesine neden olur[11].

Mahallerde, yapılan hareketlerin türüne göre büyük değerlerde nem üretilir. Tablo 3.1 bazı değerleri göstermektedir. Eğer nem üreten bu kaynaklar kontrol edilmez ise iç hava kirletici konsantrasyonları artacaktır. Çeşitli kontrol şekilleri; mutfakta aspiratör kullanma, banyoda bir dışa atık hava basan fan ve elbiselerin açık ortamda kurutulmasıdır.

Tablo 3.1 Evlerde bulunan nem kaynakları

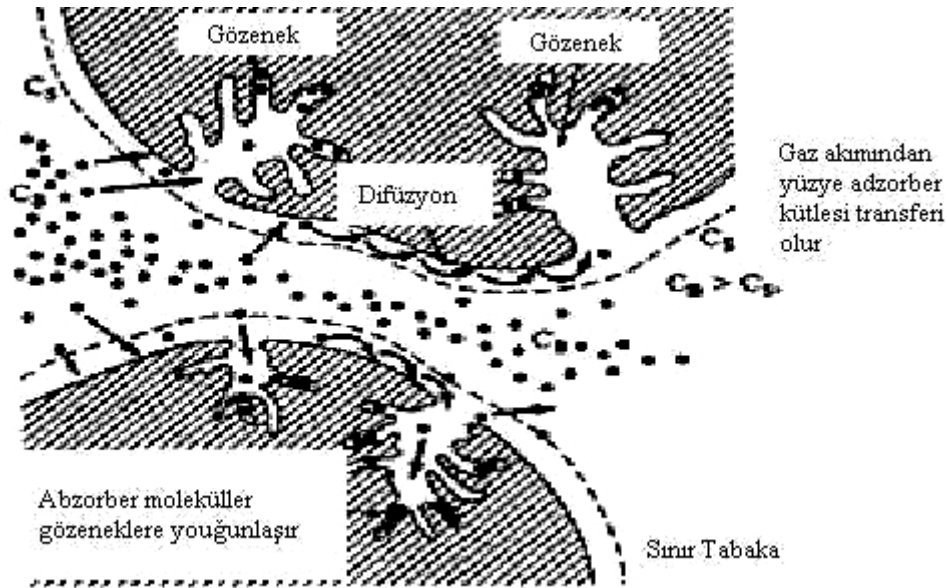
Nem Kaynakları	Belirlenen nem miktarı (kg _w)
Banyo	
Küvet (havlular hariç)	0,06 (standart boyutta banyo)
Duş (havlular hariç)	0,25 (5 dk duş)
Elbise yıkama (otomatik)	ihmal edilebilir
Elbise kurutma	
Havalandırılmalı	ihmal edilebilir
Havalandırmasız	2,21-2,92/yük
Yemek pişirme	
kahvaltı (ortalama 4 kişi)	0,17 (gazlı ise 0,44)
Öğle yemeği (ortalama 4 kişi)	0,25 (gazlı ise 0,57)
akşam yemeği (ortalama 4 kişi)	0,58 (gazlı ise 1,33)
Bulaşık yıkama (el ile yıkama)	
kahvaltı (ortalama 4 kişi)	0,1
Öğle yemeği (ortalama 4 kişi)	0,08
akşam yemeği (ortalama 4 kişi)	0,32
Döşeme temizleme	0,001/m ²
Ev bitkileri (5 ila 7 arası)	0,4-0,45/gün
Solunum ve terleme (ortalama 4 kişi)	0,21/saat

3.2 Kirleticilerin Temizlenmesi

Kirleticilerin uzaklaştırılması iki kategoride gerçekleşir; gazların uzaklaştırılması ve partiküllerin uzaklaştırılması.

Gazların tutulması bir yapıştırıcı yüzey veya kimyasal kuvvet kullanılarak sağlanır. Adsorpsiyon, hava akımındaki gaz veya buharın konsantrasyonunun, yüzeyde tutulan kirleticilerin konsantrasyonundan düşük olduğu durumda görülür. Desorpsiyon ise zıt durumda görülür. Bu nedenle gazlar, adsorbentin ve havadaki kirleticinin konsantrasyonuna göre ya da adsorpsiyon ya da desorpsiyon yöntemiyle tutulur.

Adsorpsiyon işleminden önce, moleküllerin yapışkan malzemeye temas etmeleri gerekir. Bu nedenle hava akımı adsorbent yüzeyden geçmelidir. Moleküller Şekil 3.2’de görüldüğü gibi adsorbent yüzeyleri arasındaki bölgeye girmeleri gerekir. Daha sonra kirleticiler difüzyonla malzemenin gözeneklerine girerler. En sonunda da moleküller yapışkan malzemenin yüzeyine yapışırlar. Şekil 3.2 bu prosedürü göstermektedir. Yeterli miktarda kirleticinin temizlenebilmesi için geniş yüzeylere ihtiyaç vardır[10].



Şekil 3.2 Gaz kirleticilerin adsorbe edilmesi işlemi

Kimyasal kuvvetle tutma adsorberlere benzer şekilde gerçekleşir. Ancak kimyasal kuvvetle tutmada kirletici molekülleri elektron değişimi sonucu malzemeye reaksiyona girer. Kirletici molekülleri malzemeye kimyasal olarak bağlanır, tutulmazlar. Sadece belirli kimyasallar her bir kimyasal toplayıcı malzemeye reaksiyona girer. Tablo 3.2, adsorber ve kimyasal toplayıcı olarak kullanılan bazı

malzemeleri ve bu malzemelerin hava akımından topladığı gaz ve buharları göstermektedir.

Partiküllerin tutulması, filtrelerle, elektrostatik hava temizleyicilerle ve doğal olarak bina içerisindeki yüzeylere yapışmasıyla sağlanır. Filtreler en etkin partikül toplayıcılarıdır. Geleneksel olarak bu hava temizleyiciler klima santrali ekipmanlarını kirli ve zarar verici partiküllerden korumak için kullanılmışlardır. Büyük partikülleri toplamalarda filtreler oldukça verimlidir ancak insan sağlığına etki edebilen küçük partiküllerin toplanmasında çok verimli değildirler[12].

Tablo 3.2 Düşük sıcaklık adsorberleri ve kemisorberleri

Malzeme	Koyultucu	Yakalanan Buhar veya Gazlar
Fiziksel Adsorberler		
aktif karbon	Yok	Organik buharlar, ozon, asidik gazlar
aktif alumina	Yok	Polar organik bileşenler ^a
aktif boksit	Yok	Polar organik bileşenler
silika jel	Yok	Su, polar organik bileşenler
moleküler elekler	Yok	Karbondioksit, iyot
gözenekli polimerler	Yok	Çeşitli organik buharlar
Kemisorberler		
aktif alumina	KmnO ₄	Hidrojen sülfür, sülfürdioksit
aktif karbon	I ₂ , Ag, S	Civa buharı
aktif karbon ^b	I ₂ , Kl ₃ , amineler	Radyoaktif iyon ve organik iyonlar
aktif karbon	NaHCO ₃	Azotdioksit
LiO ₃ , NaO ₃ , KO ₃	Yok	Karbondioksit
LiO ₃ , NaO ₃ , KO ₂ , Ca(O ₂) ₂	Yok	Karbondioksit
Li ₂ O ₂ , Na ₂ , O ₂	Yok	Karbondioksit
LiOH	Yok	Karbondioksit
NaOH+Ca(OH) ₂	Yok	Asidik gazlar
aktif karbon	Kl, I ₂	Civa buharı

Kaynak: ASHRAE Fundamentals 1995.sayfa.41.11.

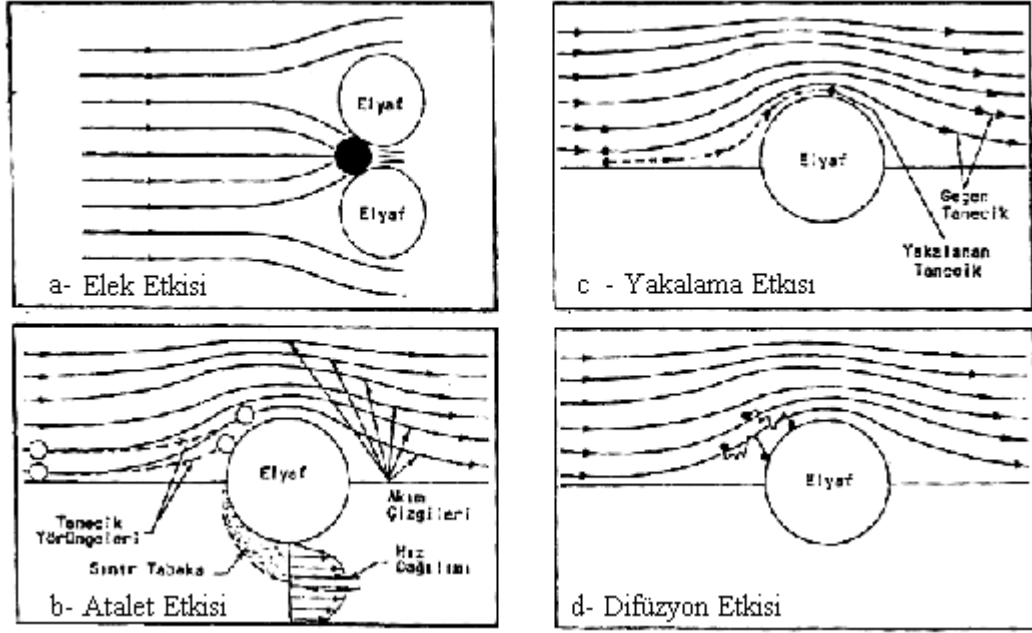
^aPolar organikler- alkoller, fenoller, amineler v.b.

^bMekanizma izotropik değişme veya dezorpsiyon olabilir

Partikül toplayan bir hava temizleyicisinin performansı, sebep olduğu basınç düşümü ve partikül toplama veriminin fonksiyonudur. Ünitede havanın dolaşımını sağlamak için havayı basınçlandıran fanın kapasitesini etkilediğinden basınç düşümü önemlidir.

Hava temizleyicisindeki basınç düşümü, havanın hızın karesiyle orantılı olarak artar. Toplama verimi, alt taraftan geçen akımdan toplanan partiküllerin, üst taraftan geçen akımdan toplanan partiküllere oranıdır[10]. Filtreler partikülleri dört değişik

mekanizma ile toplar; Elek Etkisi, Atalet Etkisi, Yakalanma Etkisi ve Difüzyon Etkisi bu dört mekanizma Şekil 3.3’de gösterilmiştir[13].



Şekil 3.3 Çeşitli filtrasyon mekanizmaları

3.2.1 Elek Etkisi

En basit mekanizma olarak tanımlanabilen elek tipi filtrasyon etkisinde Şekil 3.3’de görüldüğü gibi çapı filtre elemanı olarak kullanılan iki elyaf iplikçiğinin arasındaki açıklıktan daha büyük olan taneciklerin tutulması olayıdır.

3.2.2 Atalet Etkisi

Akım iplikçiklerinin önüne bir filtre elyafı çıktığı zaman onun etrafında paralelliklerini bozmadan dönerek yollarına devam ederler. Ancak akış içinde sürüklenen tanecikler ataletleri dolayısıyla filtre elyafı etrafında dönemeyerek, elyafa çarpıp onun yüzeyine yapışırlar. Bu etki hava hızının artması, tanecik çapının büyümesi ve elyaf çapının küçülmesi ile artar. Bu filtrasyon mekanizmasını, yani atalet etkisini en iyi temsil eden aşağıdaki şekilde tanımlanan Stokes sayısıdır.

$$St = \frac{\rho_d \cdot d_p^2 \cdot V_0}{\mu D} \quad (3.1)$$

Burada P ; tanecik yoğunluğunu, d_p ; tanecik çapını, V_0 ; hava hızını, μ ; dinamik viskoziteyi ve D ise elyaf çapını göstermektedir. Stokes sayısı arttıkça atalet etkisi artmaktadır.

3.2.3 Yakalama Etkisi

Tanecik çapı çok küçük ise tanecik hava ile beraber elyaf iplikçiği etrafında bir yörünge takip edebilir. Ancak bu yörünge taneciğin elyaf etrafındaki hareketinde, elyafa tanecik yarıçapından daha yakın bir yerden geçiyorsa, tanecik elyaf tarafından yakalanır ve elyafa yapışır. Tanecik çapı artıp, elyaf çapı ve elyaf iplikçikleri arasındaki mesafe azaldıkça bu etki artar. Bir filtre elyafı içinde, tutulmak istenen tanecik çapına yakın ne kadar küçük çaplı filtre elyafı varsa bu yakalama etkisi o derece kuvvetli olur[13].

Yakalama etkisi verimi Torgeson tarafından ;

$$\eta_{yak} = 0,00759 C_D \cdot Re_p \cdot \left(\frac{d_p}{D} \right)^{1,5} \quad (3.2)$$

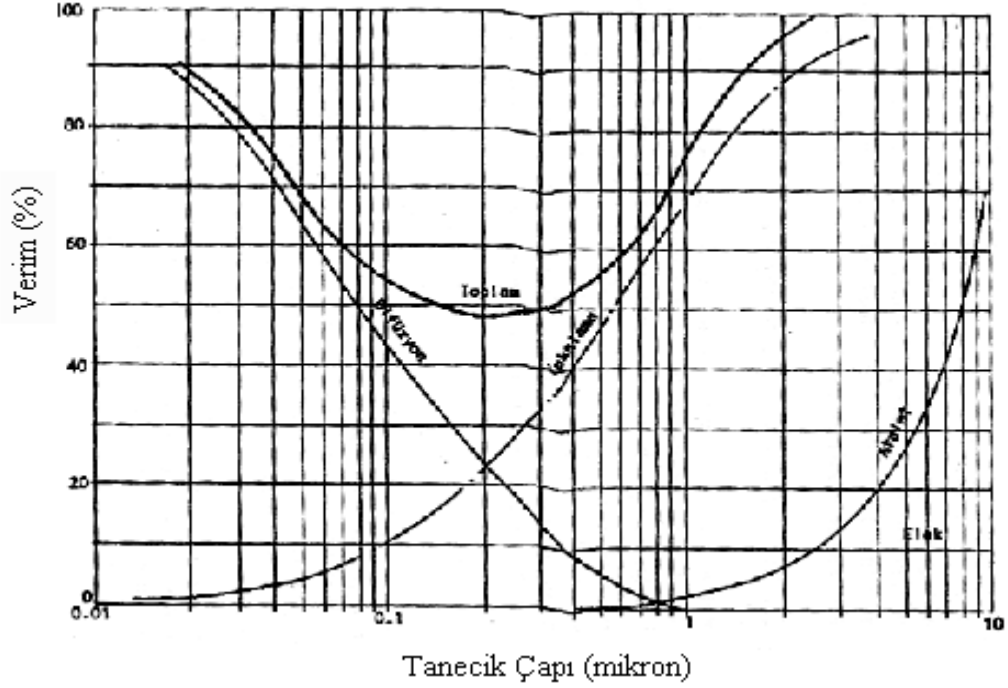
şeklinde ifade edilmiştir. Burada Re_p , tanecik çapına göre tasarlanmış Reynols sayısı, C_D ise elyafın direnç katsayısını göstermektedir.

3.2.4 Difüzyon Etkisi

Tanecik çapının $1 \mu m$ ' den daha küçük olması halinde, taneciklerle çarpışan gaz molekülleri onların düzensiz hareket etmelerine neden olabilmektedir. Gaz moleküllerinin Brownian hareketi denilen bu davranışları sonucu filtre elyafı ile çarpışan tanecikler onlara yapışabilmektedir. Bu etki hava hızı, tanecik çapı ve elyaf çapı küçüldükçe artmaktadır. Difüzyon etkisi verimi yine Torgeson tarafından verilen;

$$\eta_{dif} = 0,75 \left(\frac{C \cdot Re_p}{2} \right)^{0,04} \cdot (V_0 \cdot D)^{-0,6} \frac{3\pi\mu d_p}{\sigma \cdot C} \quad (3.3)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Burada C ; Cunningham kayma düzeltme faktörü, σ ; ise Stefan-Boltzmann sabitidir.



Şekil 3.4 Çeşitli filtrasyon mekanizmalarının tanecik çapına göre filtrasyon verimine etkisi

Bir filtrenin toplam veriminde bütün bu mekanizmaların etkisi görülür. Tanecik çapının artması atalet ve yakalama etkisini arttırırken, difüzyon etkisini azaltacağından seçilen bir filtre elyafı için tutulması en zor olan bir tanecik çapı bulunur. Şekil 3.4’de cam yünü elyafından yapılmış hassas bir filtrede bütün bu mekanizmaların verim üzerindeki etkisi ile toplam verimin tanecik çapına göre değişimi görülmektedir. Buradan 0.2-0.3 μm çapındaki taneciklerin tutulmasının en zor olduğu görülür. Şekildeki eğri sabit bir hava hızı için geçerlidir. Hava hızı azaldıkça difüzyon etkisi artıp, atalet azalacağından eğri sağa doğru kayacaktır[13].

3.3 Havalandırma ile Kirletici Konsantrasyonlarının Azaltılması

ASHRAE’ nin 1999 yılındaki çıkardığı “Kabul edilebilir iç hava kalitesi için havalandırma sistemi” adlı en son standartlarında, iç hava kalitesi tanımı şu şekilde yapılmaktadır. Mevcut yasalara göre içinde zararlı maddeler oranı azami değerleri aşmamış kirletici maddeleri ihtiva eden ve bu havayı soluyan insanların en az %80’inin memnuniyetsizlik hissetmedikleri hava kalitesidir[14].

İç havada bulunan kirleticilerin konsantrasyonları daha düşük konsantrasyona sahip bir havayla azaltılabilir, ve genellikle bunun için dış hava kullanılır. Bu durumda yapılan kabul; dış havada bulunan kirleticilerin konsantrasyonunun iç havadakinden düşük olduğudur. Bu her zaman geçerli bir kabul değildir. Eğer dış hava yeteri kadar temiz değilse mahale verilmeden önce temizlenmesi gerekir.

İç hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını kontrol etmek için bir yaklaşım; mahalde bulunan her bir kişi için gerekli minimum temiz hava miktarının belirlenmesidir. Eğer mahaldeki kişi sayısı bilinmiyorsa, birim alan başına, gönderilmesi gereken temiz hava miktarı hesaplanabilir. ASHRAE Standart 62 bu metodu kullanmaktadır. Tablo 3.3 ASHRAE 62-1999 Standart'ın önerdiği temiz hava miktarı değerlerini göstermektedir[10]. Bu değerler, binadaki kirletici kaynaklarının yaydığı kirleticilerin ve insanların solunum sonucu açığa çıkardığı karbondioksitin konsantrasyonlarını kontrol edebilecek değerler olarak belirlenmiştir.

Örnek 3.1

Tablo 3.3'de verilen değerleri kullanarak 120 m²'lik bir yemek salonu için gerekli havalandırma miktarını hesaplayınız. Eğer havalandırma için dış hava kullanılıyor ve yemek odasına toplam 5000 m³/h hava gönderiliyorsa, yollanması gereken dış hava miktarıyla dış havanın oranını hesaplayınız.

Mahaldeki kişi sayısı bilinmiyor. Tablo 3.3'den yemek salonları için 100 m² için 70 kişi olarak önerilen değer kullanılmalıdır. Ayrıca bir başka önerilen değer de kişi başına 10 l/s temiz havadır. Toplam temiz hava miktarı;

$$(70 \text{ kişi} / 100 \text{ m}^2) (120 \text{ m}^2) (10 \text{ l/s.kişi}) = 840 \text{ l/s}$$

$$(840 \text{ l/s}) (3600 \text{ s/h}) = 3024 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Dış Hava Oranı} : (3024 \text{ m}^3/\text{h}) / (5000 \text{ m}^3/\text{h}) = 0.6 = \% 60$$

3.3.1 Birden Fazla Mahalin Havalandırılması

Tek bir havalandırma sistemi tarafından kontrol edilen birden fazla mahalde, mahallerin ısıl konfor ve havalandırma ihtiyaçları farklılıklar gösterebilir. Böyle bir durumda sağlanması gereken temiz hava miktarı denklem(3.4) yardımıyla belirlenebilir[15].

Tablo 3.3 ASHRAE 62-1999 Standartlarına göre havalandırma tesisatlarında esas alınması gereken dış hava miktarları

Uygulama	100 m ² için tahmin edilen max. İnsan sayısı	Dış Hava İhtiyacı	
		L/s insan	L/s m ²
Kuru temizleme, Çamaşırhane			
Ticari Çamaşırhane	10	13	
Ticari Kuru Temizleme	30	15	
Yiyecek ve içecek servisi			
Yemek odaları	70	10	
Kafeterya,fast food	100	10	
Bar, kokteyl salonları	100	15	
Mutfaklar (pişirmeli)	20	8	
Garajlar, Servis İstasyonlar			
Kapalı garajlar			7,5
Araba tamir garajları			7,5
Oteller, Moteller, Yatakhaneler			
			L/s oda
Yatak odaları			15
Oturma odaları			15
Banyolar			18
Lobiler	30	8	
Konferans odaları	50	10	
Toplantı odaları	120	8	
Yatakhaneler	20	8	
Kumarhaneler	120	15	
Ofisler			
Ofis odaları	7	10	
Kabul mahalleri	60	8	
Telekomunikasyon merkezleri	60	10	
Konferans odaları	50	10	
Halka açık mahaller			
			L/s m ²
Koridorlar ve çevre odalar			0,25
WC'ler veya pisuarlar		25	
Soyunma odaları			2,5
Sigara içilen mahaller	70	30	
Asansörler			5,0

$$Y = X / [1+X-Z] \quad (3.4)$$

$Y = V_{ot}/V_{st}$: Olması gereken dış hava oranı

$X = V_{on}/V_{st}$: Doğrulanmayan dış hava oranı

$Z = V_{oc}/V_{sc}$: Kritik olan (temiz hava ihtiyacı en fazla olan) mahaldeki temiz hava oranı

V_{ot} : Temiz hava miktarı

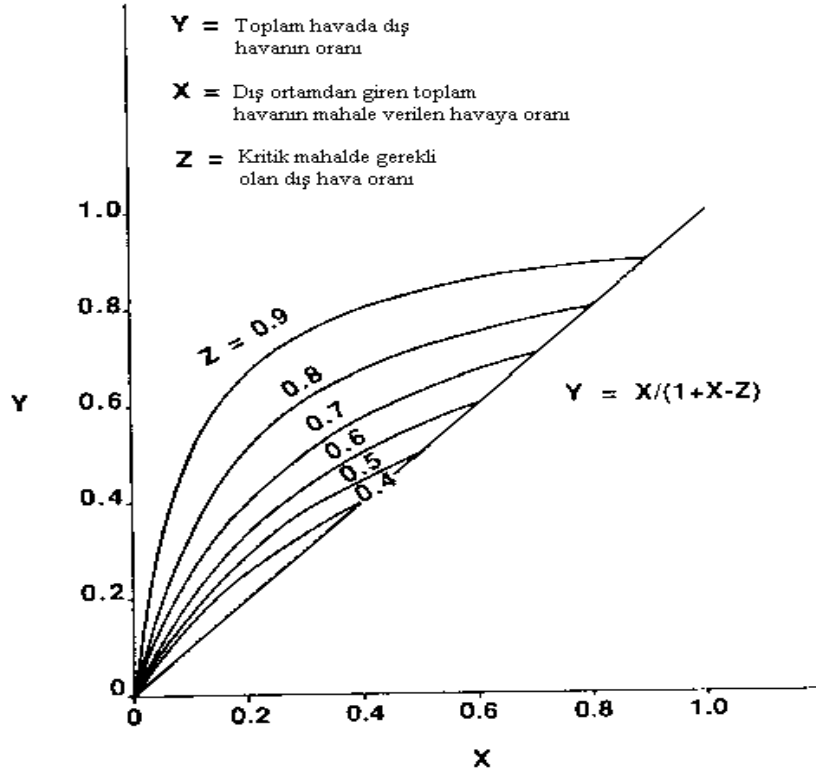
V_{st} : Mahallere gönderilen toplam hava miktarı

V_{on} : Sistemdeki bütün şubeler için gerekli toplam temiz hava miktarı

V_{oc} : Kritik mahal için temiz hava miktarı

V_{sc} : Kritik mahalın toplam hava miktarı

Denklem 3.4 Şekil 3.5’de çizilmiştir. Prosedür şu şekilde gerçekleşir.



Şekil 3.5 Bilinen bir kaynaktan beslenen birden fazla mahalde havalandırmanın azaltılması

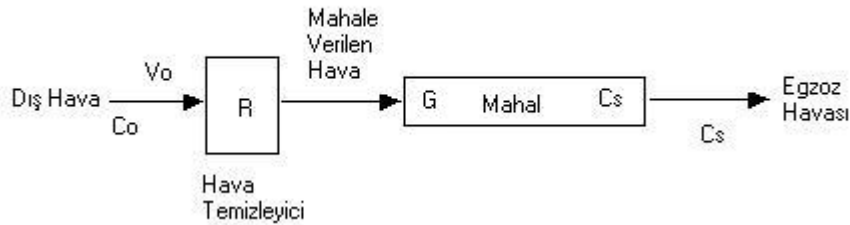
1. Bütün şubelerdeki dış hava gereksiniminin, bütün şubelerdeki toplam havaya bölünmesiyle doğrulanmayan dış hava oranı (X) hesaplanır.
2. kritik mahaldeki dış hava ihtiyacını, kritik mahale yollanan toplam havaya bölerek kritik mahal için dış hava oranı (Z) hesaplanır.
3. Denklem 3.4 veya Şekil 3.5 kullanılarak sistemde doğrulanan dış hav miktarı oranı bulunur[15].

BÖLÜM 4. İÇ ORTAM KİRLETİCİ KONSANTRASYONLARININ KONTROLÜ

İç ortam hava kirleticilerinin konsantrasyonunu belirleyebilmek için bir model verilecektir. Böyle bir model gerekli olan dış ortam havasının oranını hesaplamada kullanılabilir. Bu modelde,

- Bütün hava debisinin kirletici kaynaklarının zamanla değişmediği,
- Kirletici konsantrasyonlarının ortamda uniform olduğu,
- Ayrıca havanın şartlandırılmasıyla hava debisinde bir değişiklik olmadığı kabul edilecektir. Bu model her kirleticiye bağımsız olarak uygulanabilir.

İlk olarak % 100 dış hava gönderilen bir ortam ele alınacaktır. Böyle bir sistem Şekil 4.1’de gösterilmiştir[10].



Şekil 4.1 %100 Dış havayla çalışan havalandırma sisteminin şematik görünümü

Dış hava, sisteme V_0 hacimsel debisi ve C_0 kirletici konsantrasyonunda girer. Hava, içinden R oranında kirleticiyi temizleyen bir hava temizleyiciden girer ve ortama verilir. Ortamda G oranında bir kirletici üretimi olur ve ortamdan atılan havasında konsantrasyonu C_s ’dir. Sistemdeki kirletici moleküllerinin sayıları veya partikülleri için bir eşitlik yazılırsa;

$$\dot{P}_0 - \dot{R} + \dot{G} = \dot{P}_e \text{ elde edilir.} \quad (4.1)$$

$\dot{P}_0$: Dış ortamdan birim zamanda sisteme giren partiküllerin veya kirletici moleküllerin sayısı

$\dot{P}_e$: Atılan partikül veya kirletici moleküllerinin sayısı

Bu terimleri dış ortam havasının hacimsel debisine bölersek;

$$\frac{\dot{P}_e}{\dot{V}_0} = \frac{\dot{P}_0}{\dot{V}_0} + \frac{\dot{G} - \dot{R}}{\dot{V}_0} \quad (4.2)$$

elde edilir.

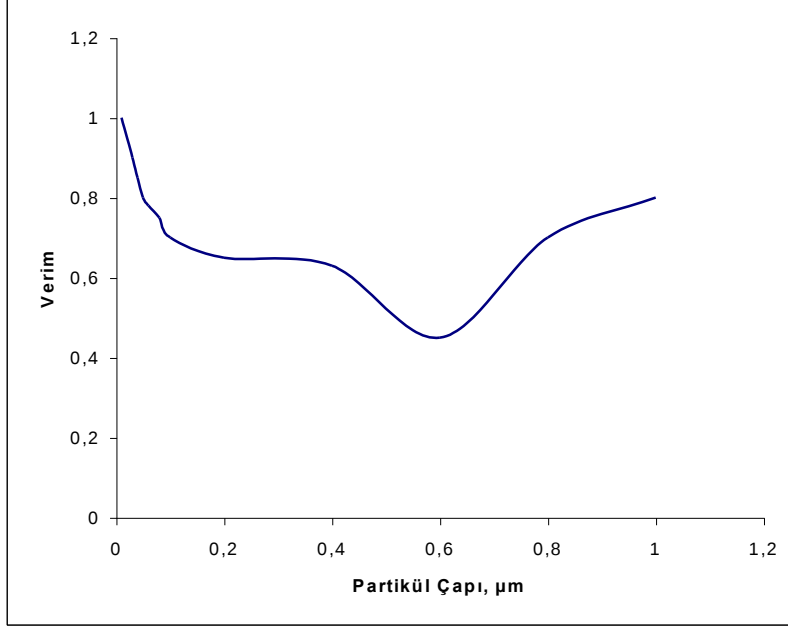
Denklem(4.2)'deki her terim birim hacimdeki kirletici sayılarını vermektedir. Denklemin solundaki terim iç ortamdaki kirleticilerin konsantrasyonunu, sağ tarafındaki ilk terim ise dış ortam havasındaki kirletici konsantrasyonunu göstermektedir. Bu denklem şu şekilde de yazılabilir.

$$C_s = C_0 + \frac{\dot{G} - \dot{R}}{\dot{V}_0} \quad (4.3)$$

- (a) İç ortamda kirletici kaynağı yoksa ($\dot{G} = 0$) ve hava temizleyicideki oran pozitif ise ($\dot{R} > 0$) denklemin sağındaki ikinci terim negatif ve $C_0 > C_s$ olacaktır. Yani iç ortam kirletici konsantrasyonu dış ortamındakinden az olacaktır.
- (b) Yüksek verimli bir hava temizleyici olduğunda temizleme oranı ($\dot{R}$) iç ortam kirletici üretiminden fazla olacaktır ($\dot{R} > \dot{G}$). Sağ taraftaki ikinci terim yine negatif olacak, böylece iç ortam kirletici konsantrasyonu, dış ortamından az olacaktır.
- (c) Dış ortam havası arttırılırken, iç ortam ve dış ortam konsantrasyonları eşit olunca uygun havalandırma elde edilmiş olur[16].

Örnek4.1

% 100 dış havayla çalışan bir mahal düşünelim. Ortamda kullanılan filtrenin veriminin partikül çapına bağlı değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Filtre veriminin partikül çapıyla değişimi

İç ortamdaki 0.1 mikron çapındaki partiküllerin konsantrasyonlarını, dış hava konsantrasyonu $10^6/\text{m}^3$ ve hacimsel debisi $10.000 \text{ m}^3/\text{dk}$ olduğunda hesaplayınız.

- (a) 0.1 mikron partiküllerin iç ortamda üretim oranları 10^8 adet/dk olduğunda,
- (b) 0.1 mikron partiküllerin iç ortamda üretim oranları 5×10^7 adet/dk olduğunda,
- (c) Üretim oranı (a)’daki gibi ancak dış hava debisi iki katı ve filtre verimi sabit iken hesaplayınız.

0.1 mikron çapındaki kirleticilerin iç ortamdaki konsantrasyonlarını belirlemek için denklem(4.3) kullanılacaktır. Filtre tarafından temizlenen partikül oranı,

$\dot{R} = \epsilon_{ac} \dot{V} C_0$ diye yazılabilir. 0.1 mikron için filtre verimi Şekil 4.2’den 0.75 okunur.

$$\dot{R} = (0.75)(10.000 \text{ m}^3/\text{dk})(10^6/\text{m}^3) = 7.5 \times 10^9/\text{dk}$$

$$(a) \quad C_s = 10^6/\text{m}^3 + (10^8/\text{dk} - 7.5 \times 10^9/\text{dk})/(10.000 \text{ m}^3/\text{dk}) = 2.6 \times 10^5/\text{m}^3$$

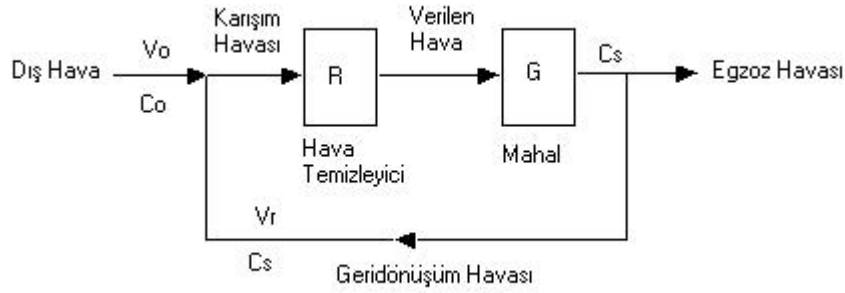
$$(b) \quad C_s = 10^6/\text{m}^3 + (5 \times 10^7/\text{dk} - 7.5 \times 10^9/\text{dk})/(10.000 \text{ m}^3/\text{dk}) = 2.55 \times 10^5/\text{m}^3$$

(c) Dış ortam havası hacmi iki katı olduğunda, hava temizleyicide temizlenen oran da iki katı olacaktır. ($\dot{R} = 1.5 \times 10^{10}/\text{dk}$)

$$V_0 = 20.000 \text{ m}^3/\text{dk}$$

$$C_s = 10^6/\text{m}^3 + (10^8/\text{dk} - 1.5 \times 10^{10}/\text{dk})/(20.000 \text{ m}^3/\text{dk}) = 2.55 \times 10^5/\text{m}^3$$

Şimdi daha çok kullanılan bir sistem olan belirli bir miktar dış havayla birlikte iç havanın karıştırılıp mahale yollandığı durumları inceleyelim. Böyle bir geri dönüşümlü havalandırma sistemi Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Geri dönüşüm havasıyla çalışan bir havalandırma sisteminin şematik görünümü

Kirletici konsantrasyonu denklemi;

$$C_0 \dot{V} + C_s \dot{V}_r - \dot{R} + \dot{G} = \left(\dot{V}_0 + \dot{V}_r \right) C_s \quad (4.4)$$

ayrıca hava temizleyici verimi;

$$\varepsilon_{ac} = \frac{\dot{R}}{\left(\dot{V}_0 + \dot{V}_r \right) C_m} \text{ dir.} \quad (4.5)$$

C_m : Hava temizleyiciye giren havanın konsantrasyonu

$$C_m = \frac{C_0 \dot{V}_0 + C_s \dot{V}_r}{\dot{V}_0 + \dot{V}_r} \quad (4.6)$$

Denklem(4.4) ve (4.6) birleştirilirse,

$$C_s = \frac{C_0 \dot{V}_0 (1 - \varepsilon_{ac}) + G}{\dot{V}_0 + \dot{V}_r \varepsilon_{ac}} \quad (4.7)$$

elde edilir.

C_s : mahaldeki kirletici konsantrasyonu

Örnek4.2

Örnek 4.1'deki değerleri kullanarak geri dönüşüm havalandırmalı bir sistem için (geri dönüşüm havasının hacimsel debisi dış havanın hacimsel debisine eşit kabul edilecek) denklem(4.7)'i kullanarak hesaplayınız.

(a) Denklem(4.7)'den

$$C_s = [(10^6/\text{m}^3)(10.000 \text{ m}^3/\text{dk})(1-0.75) + 10^8/\text{dk}] / [(10.000 \text{ m}^3/\text{dk}) + (10.000 \text{ m}^3/\text{dk})(0.75)]$$

$$C_s = 1.49 \times 10^5 / \text{m}^3$$

(b)

$$C_s = [(10^6/\text{m}^3)(10.000 \text{ m}^3/\text{dk})(10.75) + 5 \times 10^7/\text{dk}] / [(10.000 \text{ m}^3/\text{dk}) + (10.000 \text{ m}^3/\text{dk})(0.75)]$$

$$C_s = 1.46 \times 10^5 / \text{m}^3$$

(c)

$$C_s = [(10^6/\text{m}^3)(20.000 \text{ m}^3/\text{dk})(1-0.75) + 10^8/\text{dk}] / [(20.000 \text{ m}^3/\text{dk}) + (10.000 \text{ m}^3/\text{dk})(0.75)]$$

$$C_s = 1.46 \times 10^5 / \text{m}^3$$

4.2 Dış Hava Miktarının Belirlenmesi

Bir mahalin taze hava ihtiyacı mahalin türüne ve eldeki bilgilere göre farklı yöntemlerle hesaplanır. Aşağıda gerekli hava debisini hesaplamada beş yöntem verilmiştir. Bu beş yöntemde kirleticilerin konsantrasyonunu azaltma veya havalandırılan ortamların ısısını alma prensibine dayanır [17]. Bu yöntemler;

1. Mahalin hava değişimi miktarı
2. Birim yüzey alanı için hava miktarı
3. Birim yüzeydeki insan sayısı
4. Mahaldeki minimum hava hızı
5. Mahalden çekilmesi gereken ısı miktarı

Bu yöntemler detaylı olarak bu çalışmada ele alınmamıştır. Ancak bu yöntemleri kullanarak mahaller için taze hava miktarını hesaplayan bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu programda ayrıca bu bölümde ele alınan kirletici konsantrasyonunu kontrol etmek amacıyla geliştirilen modele uygun olarak, istenilen şartları sağlayabilmek için gerekli olan hava debisini hesaplayan bir bölümde programa dahil edilmiştir.

4.2.1 Programın Tanıtılması

Program Fortran90 programlama dilinde hazırlanmıştır ve bu çalışmayla birlikte bir diskette sunulmuştur.

Program çalıştırıldığında kullanıcının karşısına 6 seçenek gelecektir. Kullanıcı, mahale ve eldeki verilere uygun bir yöntemi seçtikten sonra verileri girmelidir. Örnek olması açısından birinci seçenek kullanılarak yapılan bir çözüm aşağıda verilmiştir.

Asagidaki metotlardan birini seçiniz

- 1) Hava Degisim Yöntemi
- 2) Birim Yüzey Alanı İçin Hava Miktarı Yöntemi
- 3) Mahaldeki Kisi Sayısı Yöntemi
- 4) Mahaldeki Minimum Hava Hizi Yöntemi
- 5) Mahalden Cekilmesi Gereken Isi Miktarı Yöntemi
- 6) Partikül Konsantrasyonu Kontrolü Yöntemi

1

Mahal Türü Seçiniz!

- 1) Toplantı Salonları
- 2) Ekmek Fırınları
- 3) Bankalar
- 4) Kazan Dairesi
- 5) Sınıflar
- 6) Klüb Odaları
- 7) Kilise
- 8) Dans Salonları
- 9) Motor Odası
- 10) Dökümhane
- 11) Garaj
- 12) Hastane Odası
- 13) Mutfak
- 14) Çamasırhane
- 15) Makina Magazaları
- 16) Ofisler

- 17) Boya Magazalari
- 18) Karanlik Foto Odalari
- 19) Domuz Evleri
- 20) K meshayvanlari Evi
- 21) Ikamet (ev,bina)
- 22) Restorantlar
- 23) Gemi Deposu
- 24) Yüzme Havuzu
- 25) Tiyatrolar
- 26) Tuvaletler
- 27) Trafo Odasi
- 28) Ambar

25

Mahal hacmini Giriniz! (m³ olarak)

1000

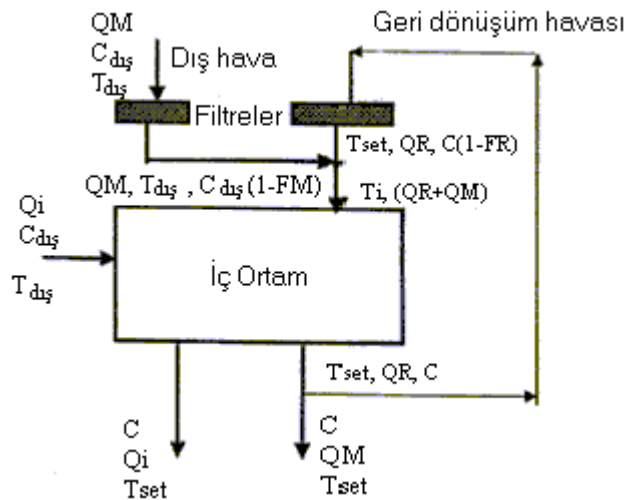
Gerekli temiz hava miktarı 8570. - 15000. m³/h

Sigara kullanildiginda gerekli temiz hava miktarı 20000. - 30000. m³/h

BÖLÜM 5. İÇ HAVA KALİTESİ VE ENERJİ TÜKETİMİ İÇİN OPTİMUM DEĞERLERİN BELİRLENMESİ

Sağlıklı ve konforlu bir çevre sağlamak için ısıtma ve havalandırma sistemleri, hem ısı konforu hemde yeterli hava kalitesini sağlayabilmelidir. Uygun hava kalitesini sağlamanın en pratik yolu maksimum düzeyde dış havayla çalışmaktır. İç ortamda bulunan uç-ucu maddelerin konsantrasyonu iki şekilde azaltılabilir. İlk olarak daha düşük konsantrasyonlu dış hava kullanılarak, ikinci olarak da enfiltrasyonla iç ortama daha fazla dış hava alarak. Ancak kullanılan dış hava miktarı arttıkça aynı oranda harcanan enerji miktarı da artar. Bu nedenle optimum durumun belirlenmesi gerekir.

Şekil 5.1’de iç hava konsantrasyonunu etkileyen çeşitli faktörlerin gösterildiği basit yapılı bir mahal model olarak verilmiştir.



Şekil 5.1 Şematik olarak bir mahalın görüntüsü[18]

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi kirletici maddeler havalandırma sistemi ve enfiltrasyon yoluyla mahale girmektedir. Mahaldeki kirleticilerin birbirleriyle reaksiyona girmediklerini kabul ederek kütle korunumu denklemi uygulanırsa;

$$V \frac{dC}{dt} = Q_i (C_{dis} - C) + Q_M ((1 - F_M) C_{dis} - C) - Q_R F_R C + k_d A_s C_s - k_a A_s C + S \quad (5.1)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = k_a C - k_s C_s \quad (5.2)$$

C : İç ortam kirletici konsantrasyonu (mg/m^3)

C_{dis} : dış ortam kirletici konsantrasyonu (mg/m^3)

C_s : yüzeyden çıkan kirletici konsantrasyonu (mg/m^3)

Q_i : Enfiltrasyonla mahale giren hava debisi (m^3/h)

Q_M : Taze hava debisi (m^3/h)

Q_R : Geri dönüşüm hava debisi (m^3/h)

F_M : Taze hava filtre verimi (-)

F_R : Dönüş havası filtre (-)

A_s : Adzorpsiyon oluşan yüzey alanı (m^2)

V : Mahal hacmi (m^3)

k_d : Dezorpsiyon sabiti (h^{-1})

k_a : Adzorpsiyon sabiti (m/h)

S : kaynak terimi (mg/h)

Sürekli akış hali kabulü yapılırsa;

$$C \left[\frac{Q_i}{V} + \frac{Q_M}{V} + \frac{Q_R F_R}{V} - \frac{k_d A_s}{V} \frac{k_a}{k_d} + \frac{k_a A_s}{V} \right] = \left[\frac{Q_i}{V} + \frac{Q_M}{V} (1 - F_M) \right] C_{dis} + \frac{S}{V} \quad (5.3)$$

İç ortam havası mükemmel bir şekilde karışmadığından bir karışım faktörü (k) Denklem 5.3'e eklenmelidir. Bu durumda;

$$C \left[k \frac{Q_i}{V} + k \frac{Q_M}{V} + k \frac{Q_R F_R}{V} \right] = \left[k \frac{Q_i}{V} + k \frac{Q_M}{V} (1 - F_M) \right] C_{dis} + \frac{S}{V} \quad (5.4)$$

Taze havayla geri dönüşüm havasının karıştığı noktada enerji dengesi denklemi uygulanırsa;

$$Q_R c_{pR} (T_{set} - T_{ref}) + Q_M c_{pM} (T_{dis} - T_{ref}) = (Q_M + Q_R) c_p (T_i - T_{ref}) \quad (5.5)$$

T_{dis} : Dış ortam hava sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_{set} : Set sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_i : İç ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)

T_{ref} : Referans sıcaklığı ($^{\circ}C$)

Havanın ısı kapasite

sinin sabit olduğunu ve referans sıcaklığını $0^{\circ}C$ kabul edersek;

$$T_{set} + \frac{Q_M}{Q_R} T_{dis} = \left(\frac{Q_M}{Q_R} + 1 \right) T_i \quad (5.6)$$

Q_M/Q_R arttırılırsa, T_i sıcaklığı da artacak ve soğutma yükü (q_c) aynı oranda artacaktır.

$$q_c = UA (T_i - T_{set}) \quad (5.7)$$

Genellikle birçok ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi için $Q_M/Q_R = 0.5$ ve iç ortam set sıcaklığı $25^{\circ}C$ kabul edilir. Bu durumda hesaplanan soğutma yükünde meydana gelen artış;

$$\Delta q_c = \left(\frac{T_i - 25}{T_{gercek} - 25} \right) - 1 \quad (5.8)$$

$$T_{gercek} = \frac{25}{1.5} + \frac{T_{dis}}{3} \quad (5.9)$$

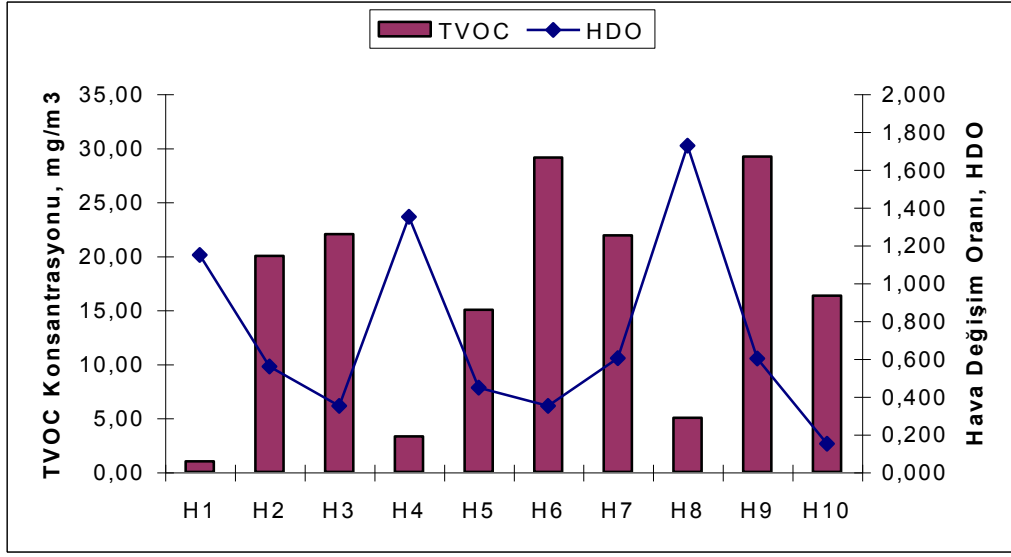
Enfiltrasyonla mahale hava alınması halinde oluşan ek soğutma yükü ise;

$$q_c = Q_{iair} c_{pair} (T_{dis} - T_{set}) \quad (5.10)$$

elde edilir.

10 evde yapılan ölçümler sonucunda 15 tür uçucu organik maddenin hakim olduğu saptanmıştır. İncelemenin kolaylığı açısından, hesaplamalarda uçucu organik maddelerin toplamı (TVOC) göz önüne alınmıştır. Ölçülen TVOC konsantrasyon değerleri ve hava değişim oranları Şekil 5.2 ve Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Şekil5.2’de yüksek hava değişim oranları olan evlerde TVOC konsantrasyonlarının az olduğu görülmektedir[19].



Şekil 5.2 Evlerde yapılan ölçüm sonuçları

Tablo 5.1 10 Ev için ölçülen parametreler

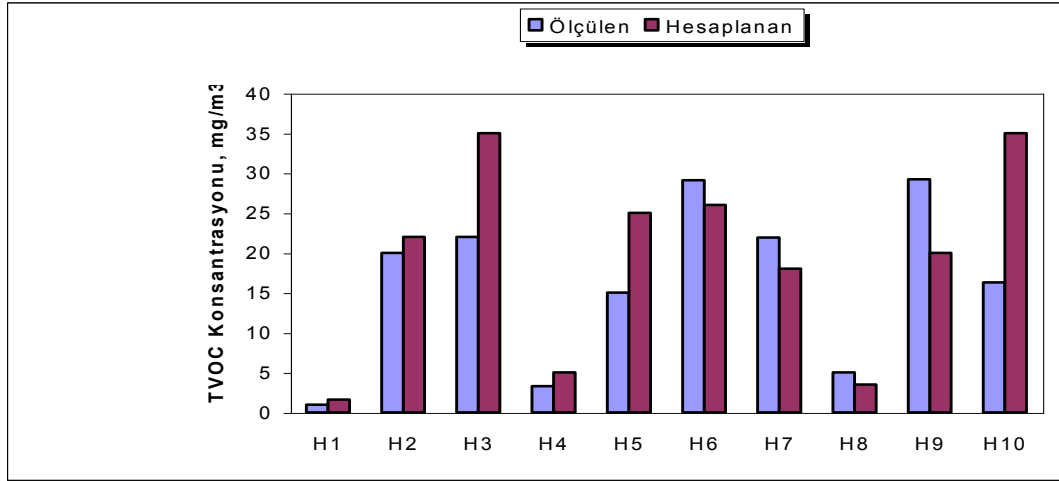
Ev Kodu	Hava Değişim Oranı (h ⁻¹)	İç Ortam TVOC Konsantrasyonu (mg/m ³)	Dış Ortam TVOC Konsantrasyonu (mg/m ³)	İç Ortam Hacmi (m ³)
H1	1,147	0,97	0,3	1500
H2	0,558	20,00	9,9	1500
H3	0,350	22,00	4,8	626
H4	1,350	3,30	1,5	1400
H5	0,445	15,00	6,7	1400
H6	0,350	29,10	12,5	1100
H7	0,601	21,90	12,5	1100
H8	1,725	5,00	0,5	900
H9	0,600	29,20	15,2	1600
H10	0,150	16,30	9,1	600

Ölçüm yapılan tüm evler için ;

Karışım faktörü (k) = 0.7,

Filtre verimleri (F_M,F_R) = %50,

Ürertim terimi (S) = 5 g/h kabulleri yapıp, Tablo5.1’deki ölçülen değerler kullanılarak denklem(5.4) yardımıyla TVOC değerleri hesaplanabilir. 10 ayrı ev için hesaplanan TVOC değerleriyle ölçülen değerler Şekil5.3’de verilmiştir. Gerçek halde, her evin üretim oranı, karışım faktörü ve filtre verimi ayrıdır ve bu nedenle ölçülen değerler ile kabullere dayalı yapılan hesaplar arasında bir miktar farklar vardır.



Şekil 5.3 Ölçülen ve hesaplanan TVOC değerleri

Örnek olması açısından aşağıda bir evin (H1 kodlu) TVOC konsantrasyonunun nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

$$S = 5000 \text{ mg/h}$$

$$F_M, F_R = 0.5$$

$$k = 0.7$$

$$V = 1500 \text{ m}^3 \text{ (Tablo1'den)}$$

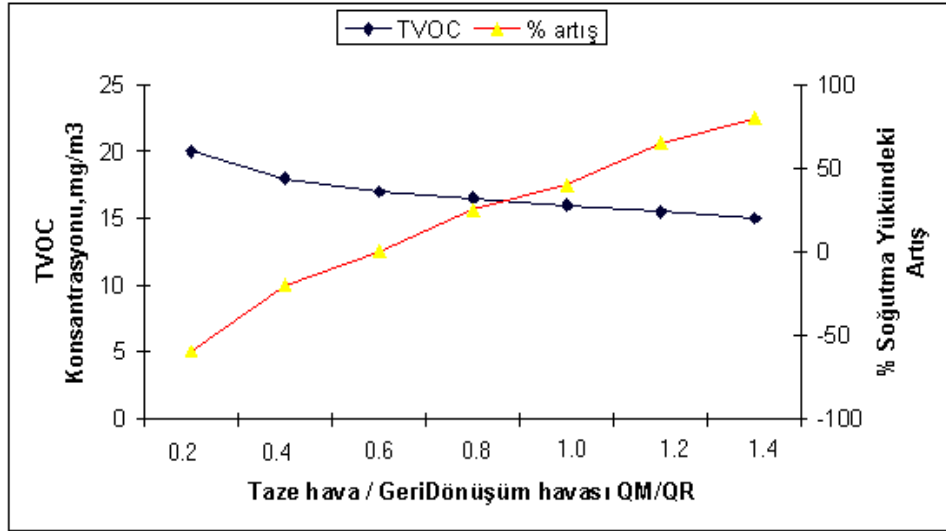
$$C_{out} = 0.33 \text{ mg/m}^3 \text{ (Tablo1'den)}$$

Mahlin soğutma yükü 20 kW ve verilen havayla alınan hava arasındaki sıcaklık farkı 8 °C kabul edilirse, $Q_R = 6000 \text{ m}^3/\text{h}$ olur.

Değerler denklem(5.4)'te yerine konulursa,

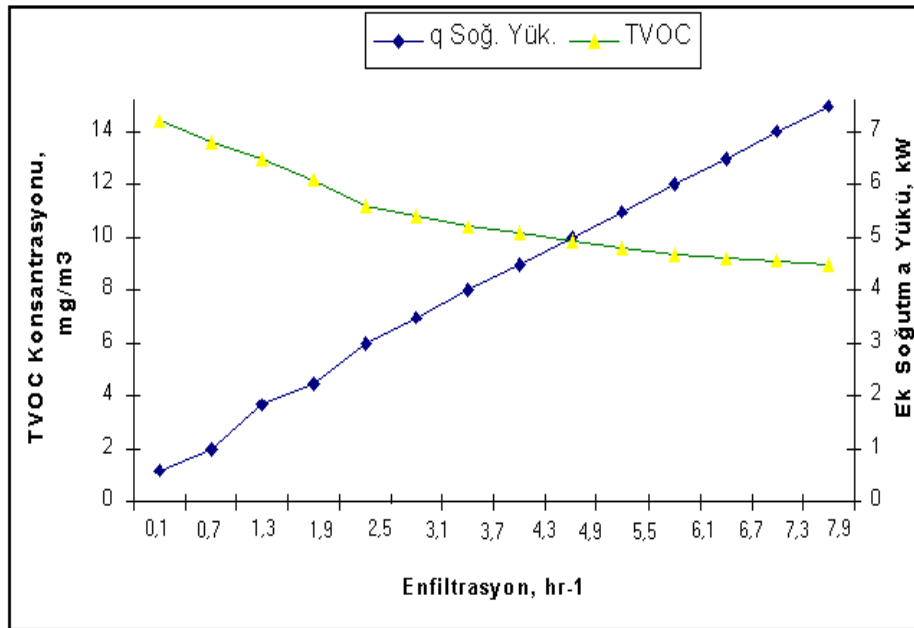
$$C = 1.60 \text{ mg/m}^3 \text{ elde edilir.}$$

Dış ortamdan alınan taze hava miktarının farklı değerleri için bu hesaplamalar yapıp denklem(5.8) kullanılarak TVOC konsantrasyonu ve soğutma yükündeki değişimler elde edilir. Bu değerler yardımıyla oluşturulan TVOC konsantrasyon eğrisiyle soğutma yükü değişimi eğrisinin kesiştiği nokta optimum durumu belirler. Örneğin Şekil 5.4 herhangi bir evde optimum durumun $Q_M/Q_R = 0.9$ olduğu elde edilir.



Şekil 5.4 Taze havanın geri dönüşüm havasına oranının farklı değerlerine karşılık TVOC konsantrasyonundaki ve soğutma yükündeki değişim

İkinci yöntem ise enfiltrasyon ile iç ortama giren dış hava debisinin artırılmasıdır. Farklı Q_i/V değerlerine karşın TVOC değerleri denklem(5.4) ve soğutma Yükündeki artış denklem(5.10) yardımıyla hesaplandıktan sonra, TVOC eğrisiyle soğutma yükü eğrisinin kesiştiği noktadaki Q_i/V değeri optimum değerdir[20].



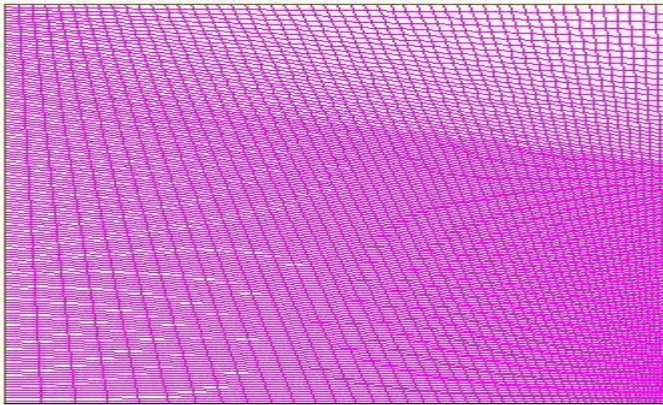
Şekil 5.5 Enfiltrasyon oranının değişimine göre TVOC konsantrasyonu ile soğutma yükünün değişimi

BÖLÜM 6. KLİMA SANTRALİNE ALINAN DIŞ HAVANIN KONTRULÜ

İç hava kalitesini sağlamada en fazla kullanılan yöntemin, daha temiz olan dış hava kullanımı olduğu belirtilmişti. Daha düşük kirletici konsantrasyonuna sahip dış hava iç ortama verilerek kirletici konsantrasyonu azaltılabilir ve istenilen seviyede tutulabilir. Ancak dış havanın da sahip olduğu kirletici konsantrasyonu önemlidir. İç ortam kirletici konsantrasyonu ile dış ortam kirletici konsantrasyonu arasındaki fark ne kadar az ise, istenilen kirletici konsantrasyonunu sağlamak için çok daha fazla dış havaya ihtiyaç olacaktır. Aradaki fark ne kadar büyük olursa, istenilen konsantrasyonu sağlamak için gerekli dış havada aynı oranda az olur. Kullanmamız gereken dış havanın mümkün olduğu kadar az olmasını isteriz, çünkü kullanılan dış havanın artması demek, klima santralinde harcanan enerjinin artması demektir. Bu nedenle santrale alınan dış havanın iç ortama verilmeden önce temizlenmesi veya uygun bir tasarımla en az seviyede kirleticinin santrale girmesinin sağlanması enerji tüketimini azaltacaktır[21].

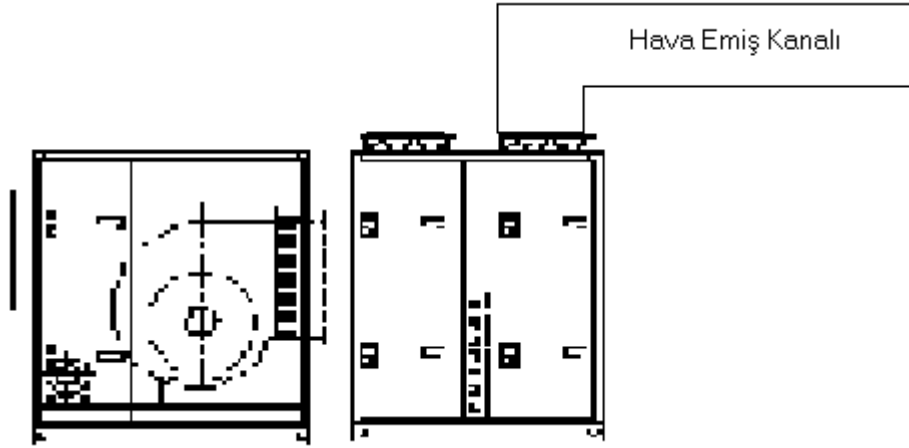
Bu çalışmada havadan ağır olan ve yerde bulunan partiküllerin santrale girmesini önleyecek şekilde santralin yerden hangi yükseklikte yerleştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. Belirli bir hız ve debide santrale alınan dış havayla birlikte klima santraline girebilecek olan partiküllerin hareketleri incelenmiş ve bu hareketlere göre santralin hava emiş ağzı için en uygun yükseklik belirlenmiştir.

Bu çalışmaya FLUENT programında bir model yapılarak başlanmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Fluent programında hazırlanan model

Menfezden geçen hava hızına uygun olarak 10 m,10 m boyutlarında bir alan içindeki hava hareketleri incelenmiştir. Her defasında menfez yüksekliklerini değiştirebilmek için şeklin sağ tarafındaki bölümde 0.5 metre boyutlarında modüller oluşturulmuştur. Santralin emiş ağızı (Şekil6.2) yerden minimum 1 metre maksimum 5 metre yüksekte olacak, emiş ağızı boyu 1 metre ve hava giriş hızları 2 m/s ile 3 m/s olacaktır.



Şekil 6.2 Klima santrali emiş kanalı ve karışım ünitesi

Tablo 6.1. Yapılan deneylerde kullanılan değişkenler

Hava Hızı m/s	Deney No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Yükseklik m	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
3	Yükseklik m	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

6.1 Katı Taneciklere Etkiyen Sürüklenme Kuvveti

Hareket eden bir akışkanın hızı V_0 olsun. Bu hareketinden dolayı temas ettiği bir taneciğe kuvvet uygular. Bu kuvvet sürüklenme kuvvetidir. U_p hızıyla, V_0 hızına sahip akışkanla hareket eden katı tanecik parçacığına etki eden sürüklenme kuvveti D (N) şu şekilde ifade edilir[21].

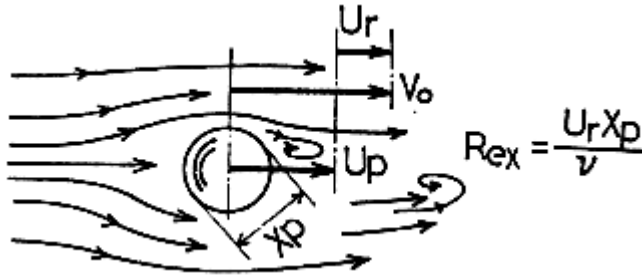
$$D = C_D \frac{\pi x_p^2}{4} \frac{\rho (V_0 - U_p)^2}{2} = C_D \frac{\pi x_p^2}{4} \frac{\rho U_r^2}{2} \quad (6.1)$$

C_D : Sürüklenme katsayısı (-)

x_p : Katı taneciğin çapı (m)

ρ : Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

U_r : Akışkan hızıyla katı partikül parçacığının hızı arasındaki relatif hız (m/s)



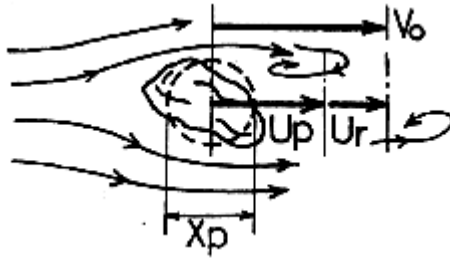
Şekil6.3 Akışkanla hareket eden bir taneciğe etkiyen sürüklenme kuvveti

Katı partikülün sürüklenme katsayısı C_D , Reynolds sayısına bağlı bir parametredir.

$$Re = \frac{x_p (V_0 - U_p)}{\nu} \quad (6.2)$$

ν : Akışkanın kinematik viskozitesi (m^2/s)

Katı partikül küresel bir geometriye sahip değilse, bu durumda eşdeğer çap kullanılmalıdır (Şekil6.4).



Şekil 6.4 Küresel olmayan bir yüzeyin eşdeğer çapı

Katı partikül etrafındaki Reynolds sayısı 4'ten küçük ise sürüklenme katsayısı;

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (6.3)$$

olarak elde edilir.

Bu durumda sürüklenme kuvveti D;

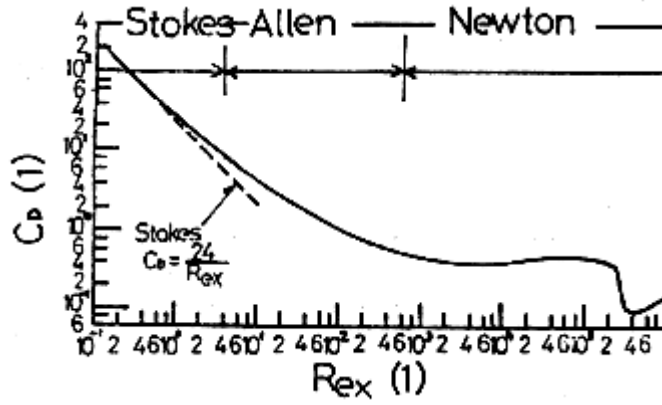
$$D = 3\pi\eta x_p U_r \text{ olur.} \quad (6.4)$$

η : akışkanın viskozitesi (Pa.s)

$Re < 4$ Stokes Akışı

$4 < Re < 600$ Allen Akışı

600 < Re Newton Akışı



Şekil6.5 Sürüklenme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

6.2 Taneciği Harekete Geçirebilecek En Küçük Hızın Bulunması

Yüzeyde bulunan katı taneciği, yüzeye dik doğrultuda yerçekimi kuvveti etki eder. Partikülü yüzeyden dik doğrultuda harekete geçirebilecek sürüklenme kuvveti yerçekimi kuvvetinden büyük olmalıdır[22].

$$G = \frac{\pi x_p^3}{6} \rho_p g = C_D \frac{\pi x_p^2}{4} \rho \frac{W_{sg}^2}{2} = D \quad (6.5)$$

ρ_p : Katı partikülün yoğunluğu (kg/m^3)

W_{sg} : Akışkanı yüzeye dik doğrultuda harekete geçirebilecek en küçük akışkan hızı (m/s)

$$W_{sg} = \sqrt{\frac{4 \rho_p g x_p}{3 \rho C_D}} \quad (6.6)$$

Eğer $Re < 4$ ise

$$W_{sg} = \frac{\rho_p g x_p^2}{18 \eta} \quad (6.7)$$

6.3 Sürüklenme Katsayısı

Sürüklenme katsayısını belirleyebilmek için farklı akış halleri için deneyler yapılarak uygun denklemler bulunmuştur. “Ingebo” tarafından yapılan deneyde, 20-120 μm

çapı arasındaki katı küresel partikülleri, farklı basınç (42.6-166 Pa), sıcaklık (277K-644K) ve hızlardaki (30.5 m/s- 54.9 m/s) hava akımına yollanarak partiküllerin hızlarını ölçüp, sürüklenme katsayısının Reynols sayısı ile değişimini her bir partikül çapı için belirlenmiştir[21].

Deney sonuçları kullanılarak sürüklenme katsayısı için bir denklem çıkarılmıştır.

$$C_D = \frac{27}{Re^{0.84}} \quad (6.8)$$

6.4 Optimum Hız Değerlerinin Belirlenmesi

Denklem(6.2) ve denklem(6.8), denklem(6.6)'da yerlerine konulursa minimum hareket hızı için;

$$W_{sg} = 0.007465 \left(\frac{\rho_p g}{\rho} \right)^{0.862} (x_p)^{1.586} \left(\frac{1}{v} \right)^{0.724} \quad (6.9)$$

elde edilir[23].

Tablo 6.2 Yüzeyde bulunan partikülleri harekete geçirebilecek minimum hava hızları

Partikül Çapı μm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	40	60	80	100	120
Partikül Yoğunluğu kg/m^3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Optimum Akışkan Hızı $m/s \times 10^{-6}$	0,74	2,2	4,2	6,7	9,5	10,3	16,2	20	24,1	28,5	32	85,6	257	489	772	1100	1470

6.5 Sonuçlar

Fluent programı kullanılarak her durum için hava hızları elde edilmiştir. Örnek olması açısından bir durumu inceleyelim.

Menfezin yerden yüksekliği = 3 metre

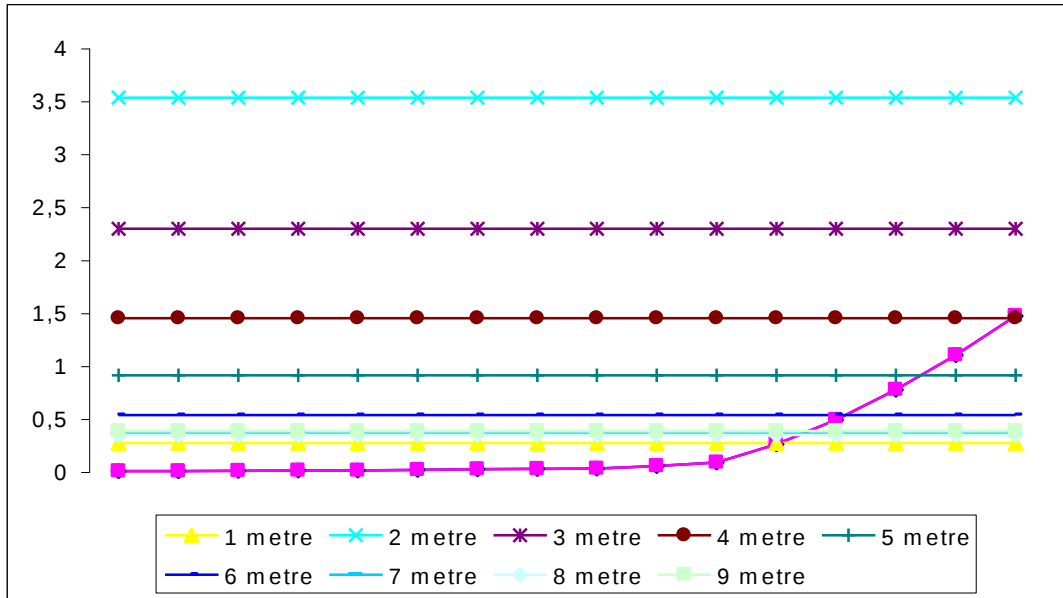
Menfezdeki hava hızı = 3 m/s

Bu hal için Fluent programında elde edilen değerler Tablo 6.3'de verilmiştir. Bu değerler, partikülleri kaldırabilecek minimum hızlarla kıyaslandığında hangi çaptaki partiküllerin hangi bölgelerden harekete geçtiklerini Şekil 6.6'da görebiliriz.

Tablo 6.3 3 metre menfez yüksekliği ve 3 m/s menfezdeki hava hızı için havanın y doğrultusundaki hızları

Menfezden olan yatay uzaklık (metre)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Havanın y doğrultusundaki hızı (m/s)x10 ⁻³	0,2689	3,5321	2,2934	1,4477	0,9083	0,533	0,3568	0,344	0,3812

Şekil 6.6’da görüleceği üzere, 3 metre menfez yüksekliği ve 3m/s menfezdeki hava hızı için 15 µm çapa kadar bütün partiküller yerden harekete geçmekte ve havayla birlikte menfeze ulaşmaktadır. Ayrıca menfezden 2 ila 3 metre mesafede olan bölümde bulunan partiküllerin (120 µm’e kadar) hepsi harekete geçmektedir.



Şekil 6.6 Elde edilen hızların partikülleri harekete geçirebilecek hızlarla karşılaştırılması

Menfezin yerini değiştirmeden menfezdeki hava hızını değiştirerek sonuçları yeniden inceleyelim.

Menfezin yerden yüksekliği = 3 metre

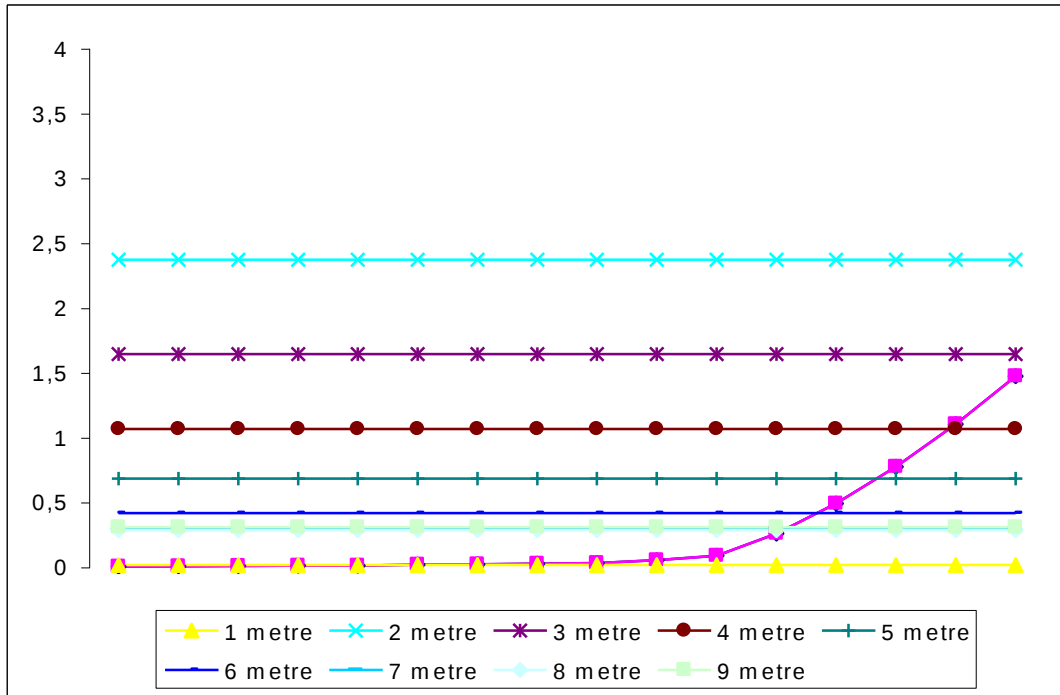
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s

Bu hal için Fluent programında elde edilen değerler Tablo6.4’de verilmiştir. Bu değerler, partikülleri kaldırabilecek minimum hızlarla kıyaslandığında hangi çaptaki partiküllerin hangi bölgelerden harekete geçtiklerini Şekil 6.7’da görebiliriz.

Tablo 6.4 3 metre menfez yüksekliği ve 2 m/s menfezdeki hava hızı için havanın y doğrultusundaki hızları

Menfezden olan yatay uzaklık (metre)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Havanın y doğrultusundaki hızı (m/s) $\times 10^{-3}$	0,015	2,37	1,64	1,063	0,68	0,415	0,288	0,284	0,306

Şekil 6.7’de görüleceği üzere, 3 metre menfez yüksekliği ve 2m/s menfezdeki hava hızı için 1 metreye kadar 4 μm çapa kadar bütün partiküller yerden harekete geçmekte ve havayla birlikte menfeze ulaşmaktadır. Ancak 4 μm ’den büyük partiküller bu bölgede harekete başlayamıyor. Ayrıca menfezden 2 ila 3 metre mesafede olan bölümde bulunan partiküllerin (120 μm ’e kadar) hepsi harekete geçmektedir.



Şekil 6.7 Elde edilen hızların partikülleri harekete geçirebilecek hızlarla karşılaştırılması

Fluent programı kullanılarak elde edilen hava hızının değerleriyle, y doğrultusundaki hız değerleri EkA’da verilmiştir.

Hava hızlarının konuma bağlı değişimlerini gösteren şekiller de EkB ve EkC’de verilmiştir.

Partiküle etki ettiği varsayılan hava hızlarının yerden hangi yükseklikteki değerlerinin alındığı EkD’de verilmiştir.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Enerji tüketiminin iç ortama alınan hava miktarının artması ile oldukça arttığını Bölüm 5’de incelenen konuyu irdelediğimizde görmekteyiz. Bu nedenle gerekli taze hava miktarını hesaplarken tüm parametreler dikkatlice göz önüne alınmalı ve doğru bir hesaplama yapılmalıdır. Ayrıca iç ortam kirletici konsantrasyonu ile harcanan enerji miktarı arasındaki değişimi gösteren grafik incelendiğinde iç ortamdaki kirletici kaynaklarını azalttığımızda tasarruf edebileceğimiz enerji miktarının oldukça yüksek olduğunu görürüz. İç ortamdaki kirletici kaynaklarının nasıl azaltılabileceği Bölüm 3’de geniş olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak; iç ortamda kabul edilebilir bir iç hava kalitesinin sağlanabilmesi için en uygun yol, iç mahaldeki kirleticileri kontrol altına almak ve en az kirletici yayan ürünler kullanarak iç ortam kirletici üretimini en düşük seviyede tutmak olacaktır. Böylece harcanan enerji miktarını da aynı oranda azaltmak mümkün olacaktır.

Dış ortamdan iç ortama alınan taze hava miktarıyla, havanın şartlandırılması için harcanan enerji miktarındaki artış arasındaki ilişkiyi bulmak amacıyla bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bölüm 4’de tanıtılan program kullanılarak bir mahal için gerekli taze hava miktarı hesaplanabilir. Daha sonra diğer bilgisayar programı da kullanılarak hesaplanan miktarda taze havanın iç ortama verilmesi halinde ve farklı değerlerinde harcanan enerji miktarları bulunup bir değerlendirme yapılması gereklidir. Bu değerlendirme yapılırken cevap aranması gereken soru: “ İç ortamda bulunan kirleticileri kontrol ederek kirletici konsantrasyonunu azaltmak mı yoksa dış ortamdan alınan taze hava miktarını arttırmak mı daha uygundur?” bu sorunun cevabı;

(1) İç ortamdaki kirletici kaynağının türlerine,

(2) Mahalin ne amaçla kullanıldığına,

bağlı olarak farklı olabilir.

Bölüm 6’da yapılan çalışmanın sonuçları irdelendiğinde; dış ortamdan alınan havayla birlikte havalandırma sistemine giren partiküllerin çeşitli çözüm yöntemleri ile nasıl kontrol edilebileceğini belirlemek amacıyla gerekli olan partikülü harekete geçirebilecek hava hızları gibi verilerin nasıl elde edildiği görülebilir.

Bu çalışmayla elde edilen sonuçlar kullanılarak, havalandırma sistemine en az partikülün ulaşması için çeşitli çözümler oluşturulabilir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçları kullanarak çeşitli çözümler türetmeye çalışalım.

Örnek olarak, altıncı bölümde incelenen 3 m menfez yüksekliği ve 3 m/s menfezdeki hava hızı için FLUENT programında elde edilen sonuçları kullanarak değerlendirmeler yapalım.

Tablo 6.3’deki veriler kullanılarak oluşturulan Şekil 6.6 incelendiğinde, menfezden 2, 3 ve 4 metre yatay uzaklıkta partiküle etki eden hava hızlarının maksimum olduğunu ve bu bölgede bulunan bütün partiküllerin harekete geçtiğini görüyoruz. Ancak diğer mesafelerde bazı partikülleri harekete geçirebilecek yeterli hava hızı olmadığından bunlar direkt olarak düşey doğrultuda bulundukları yerlerden harekete geçememekte ancak yatay doğrultuda hareket edip hızın en etkin olduğu bölgeye ulaşarak düşey doğrultuda harekete geçmektedirler. Bu partiküllerin hızın en yüksek etkidiği bölgelere gelmeleri engellenerek havalandırma sistemine ulaşmalarını engellemek mümkündür. Diğer bir çözüm yöntemi ise menfezin yüksekliğini ve kesit alanını istenilen şartlara uygun olarak belirlemektir. Partikülleri harekete geçiremeyecek hızları, menfezin hangi yüksekliğinde ve menfezdeki hangi hava hızında elde edebileceğimiz bu program kullanılarak belirlenip uygulanabilir. Ayrıca havalandırma sisteminde kullanılan filtrelerde bu hesaplamaları yaparken göz önünde bulundurulmalıdır. Filtrelerin hangi boyuttaki partikülleri tutabildiği ve verimi, hesaplamalarda göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **ASHRAE, 1997**, ASHRAE HANDBOOK- Fundamentals, “Havada Bulunan Kirlenici Maddeler”, Bölüm11, Çeviren: Özkaynak,T.F.,1997
- [2] **Olcay, T., İpekoğlu, N.**, “Hava Kirliliği’nin Tanımı ve Temel Kavramları, Hava Kirliliği Kontrol ve Denetimi”, TMMOB Kimya Müh. Odası İstanbul Şubesi, İstanbul, 1991
- [3] **Robert C. Rosaler, PE.**, “HVAC Maintenance and Operations Handbook”, McGraw-Hill, 1998
- [4] **Köksal,Y.**, “ Kapalı Mahallerde Hava Kalitesinin İyileştirilmesi”, İstanbul, 1999
- [5] **EPA.**, “Indoor Air Pollutants”, www.epa.gov/iaq/pvbs/hpguide.html web sayfası, 2001
- [6] **Bahnfelth, N.**, “ Heating Piping Air Conditioning”, McGraw-Hill, 1998
- [7] **ASHRAE, 1997**, ASHRAE HANDBOOK- Fundamentals, “Çevre Sağlığı”, Bölüm37, Çeviren: Demircioğlu, N., Toksoy, M., 1997
- [8] **Gelin, R., Manrilla, J.**, “Indoor Air Quality and the Specification of Wallcovering”, McGraw-Hill, 1998
- [9] **Perkins, H.C.**, “Air Pollution”, McGraw-Hill, New York 1974
- [10] **Kuehn, T.H., Ramsey, J.W., Threlkeld, J.L.**, “Thermal Environmental Engineering”, Prentice Hall, Third Edition, 1998
- [11] **DIN 1946, part2**, “Gesundheitstechnische Anforderungen”, Raumluftechnik, 1994
- [12] **EPA.**, “The Inside Story, A Guide To Indoor Air Quality”, www.epa.gov/iaq web sayfası, 2001

- [13] **Özkaynak, T.F.**, “Temiz Oda Tasarımı ve Klima Sistemleri”, Tetisan Ltd. Şti. Teknik Yayınları, Üçüncü Baskı, 2001
- [14] **ISISAN.**, “Klima Tesisatı”, Isısan Yayınları, 2001
- [15] **ASHRAE STANDARD 62-1999**, “Ventilation for Accaptable Indoor Air Quality”, ASHRAE,1999
- [16] **Gladstone, J., Bevirt, W.D.**, “HVAC Testing, Adjusting, and Balancing Manual”, McGraw-Hill, Third Edition, 1996
- [17] **Bleier, P.F.**, “Fan Handbook, Selection, Application, and Design”, McGraw-Hill, 1998
- [18] **Amal, E.,Bouhamra,W.**, “Estimation of energy consumption for acceptable indoor air quality”, Environmental International, Volume 27, December 2001, Pages 443-447
- [19] **Jaffal, A.A., Banat, I.M.**, “Residential Indoor Airbone Microbial Populations in the United Arab Emirates”, Environment International, 1997
- [20] **Wolf, J.E.**, “ASHRAE’S Quest for Acceptable Indoor Air Quality”, 2000
- [21] **Ogawa, A., Beddow, J.K.**, “Seperation of Particles From Air and Gases”, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1984
- [22] **Zhao, L., Yuanhui, Z., Christianson, L.L., Riskowski, L.G.**, “Measurement of Aerosol Concentration and Transportation in Ventilated Airspaces Using Practicle Image Techniques”, 1998
- [23] **Keady, B.P.**, “Getting Data You Need With Particle Measurement”, Indoor Environment Connections, November 2000, Volume 2, Issue 1

TABLO A.1. Menfezdeki hava hızı 2 m/s olduğu durumda, menfezin farklı yüksekliklerine karşın belirlenen y doğrultusundaki hava hızları

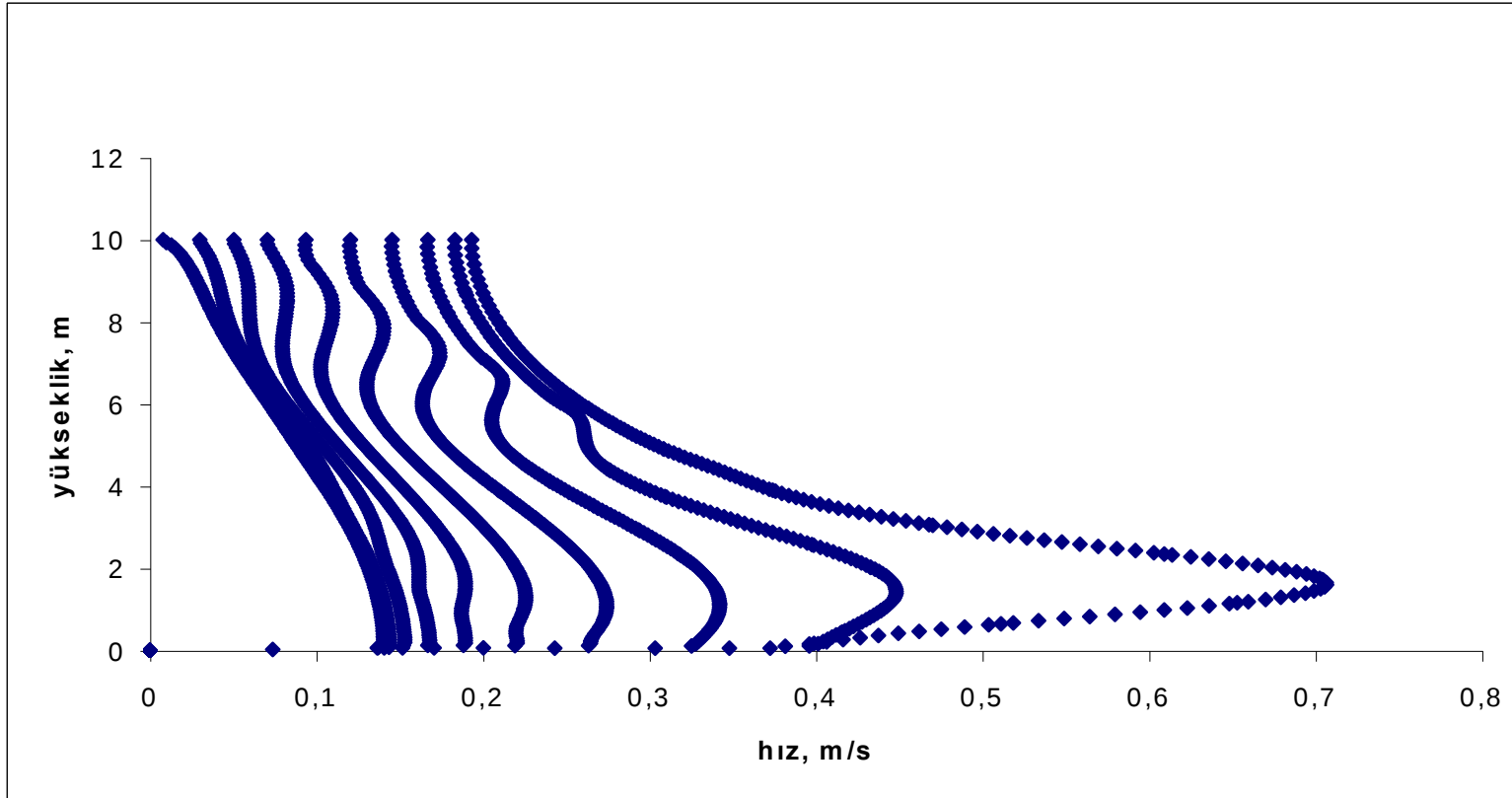
Menfezden olan yatay uzaklık, metre	Menfez yüksekliği, metre								
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1	0,0086	0,00979	0,010595	0,003075	1,50E-05	0,00108	0,001336	0,00133	0,00116
2	-0,00014	0,002642	0,004378	0,003176	0,002372	0,00318	0,001492	0,000549	0,00063
3	-0,00037	0,000747	0,001803	0,00172	0,001643	0,00138	0,00113	0,000705	0,00073
4	-0,00025	0,000285	0,000796	0,001002	0,001064	0,00099	0,00088	0,000828	0,0007
5	-0,00017	0,000115	0,000366	0,000537	0,00068	0,00068	0,000653	0,000608	0,00061
6	0,00006	2,99E-05	0,000157	0,0003	0,000415	0,00045	0,000467	0,000467	0,00045
7	-0,00008	4,86E-05	0,000119	0,000223	0,000288	0,00033	0,000361	0,000379	0,00038
8	-0,00005	0,000153	0,000209	0,000244	0,000284	0,00032	0,000343	0,000358	0,00036
9	0,000174	0,000244	0,000315	0,000287	0,000306	0,00032	0,000331	0,000335	0,00033

TABLO A.2. Menfezdeki hava hızı 3 m/s olduğu durumda, menfezin farklı yüksekliklerine karşın belirlenen y doğrultusundaki hava hızları

Menfezden olan yatay uzaklık, metre	Menfez yüksekliği, metre								
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1	0,0096	0,013677	0,008963	0,008677	0,000269	0,00133	0,0018176	0,001768	0,00154
2	0,003532	0,00351	0,004016	0,000194	0,001079	0,00034	0,0032896	0,003349	0,00444
3	-0,00042	0,000683	0,001485	0,002261	0,002293	0,00201	0,0015639	0,001074	0,00086
4	-0,00021	0,000203	0,000692	0,001284	0,001448	0,0014	0,0012735	0,001094	0,00091
5	-0,0001	7,09E-05	0,000336	0,000672	0,000908	0,00094	0,0009245	0,000871	0,0008
6	-0,00005	-6,90E-06	0,000167	0,000357	0,000533	0,00061	0,0006449	0,000653	0,00064
7	0,00004	3,98E-06	0,000138	0,00025	0,000357	0,00043	0,0004812	0,000513	0,00053
8	0,00017	0,000144	0,000199	0,00028	0,000344	0,0004	0,0004433	0,000471	0,00048
9	0,00026	0,000283	0,000266	0,00035	0,000381	0,00041	0,0004259	0,000436	0,00044

B.1 Menfez yüksekliği = 1 metre

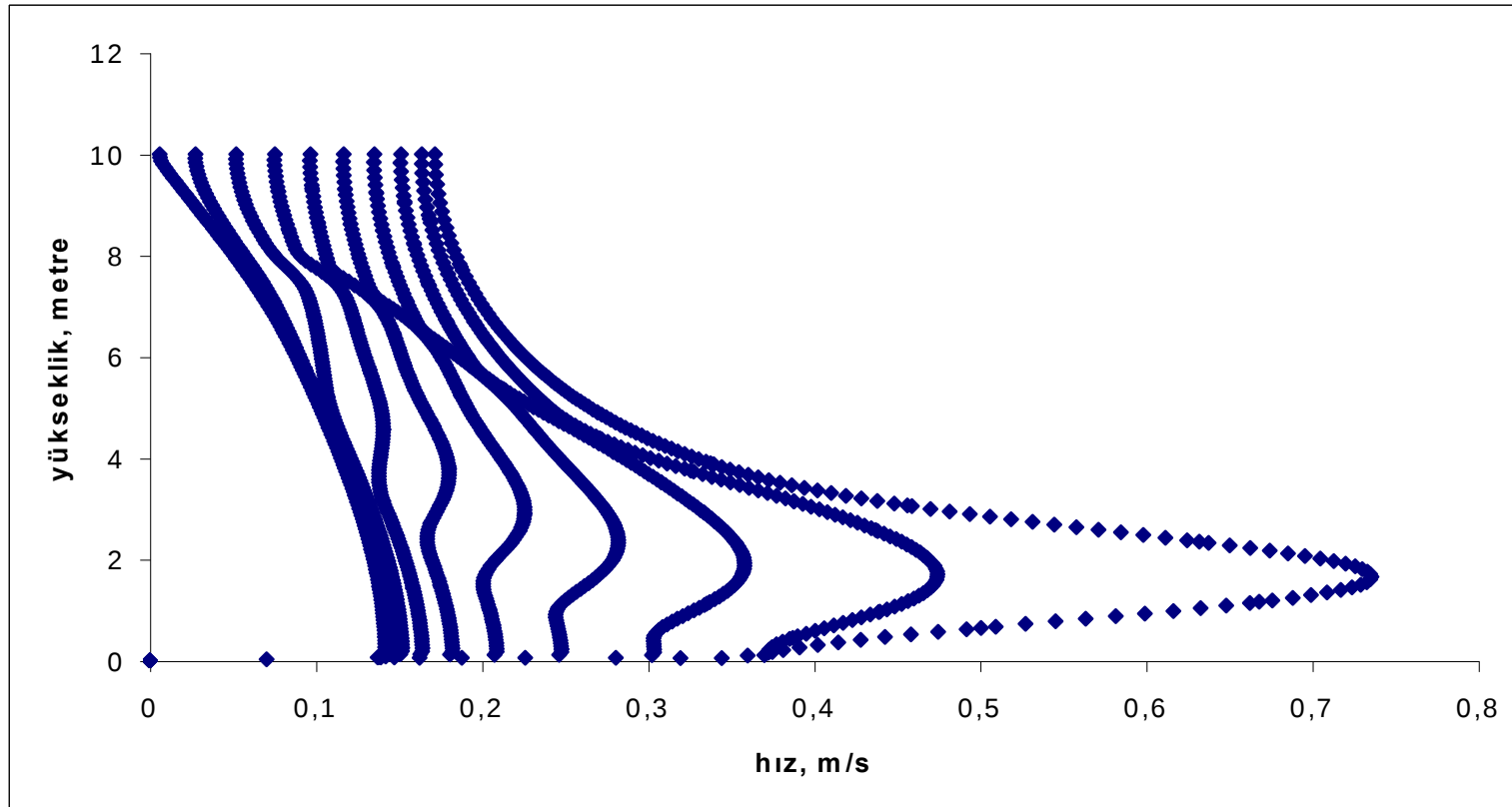
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s



Şekil B.1 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi

B.2 Menfez yüksekliği = 1 metre

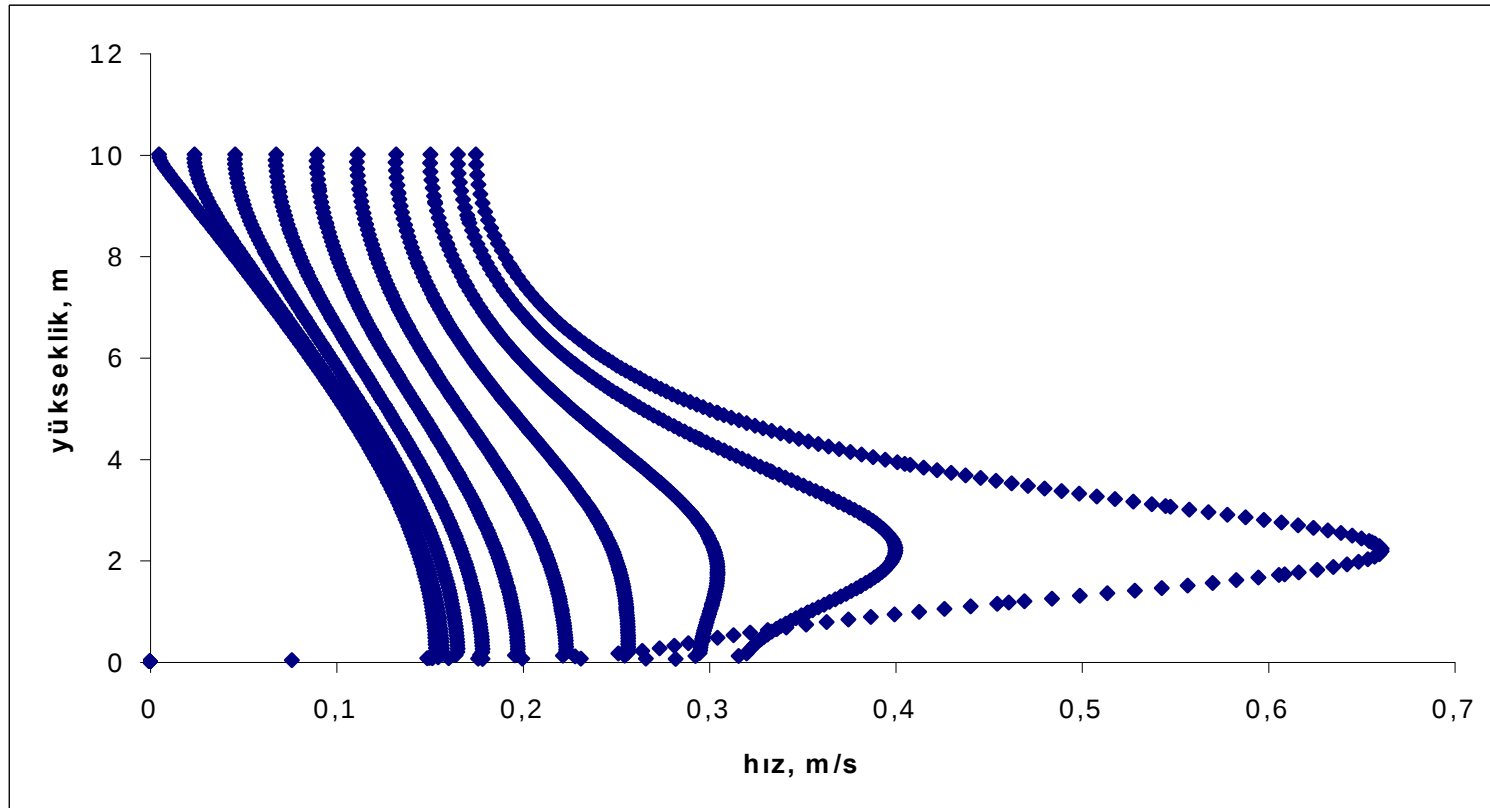
Menfezdeki hava hızı = 3 m/s



Şekil B.2 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi

B.3 Menfez yüksekliği = 1,5 metre

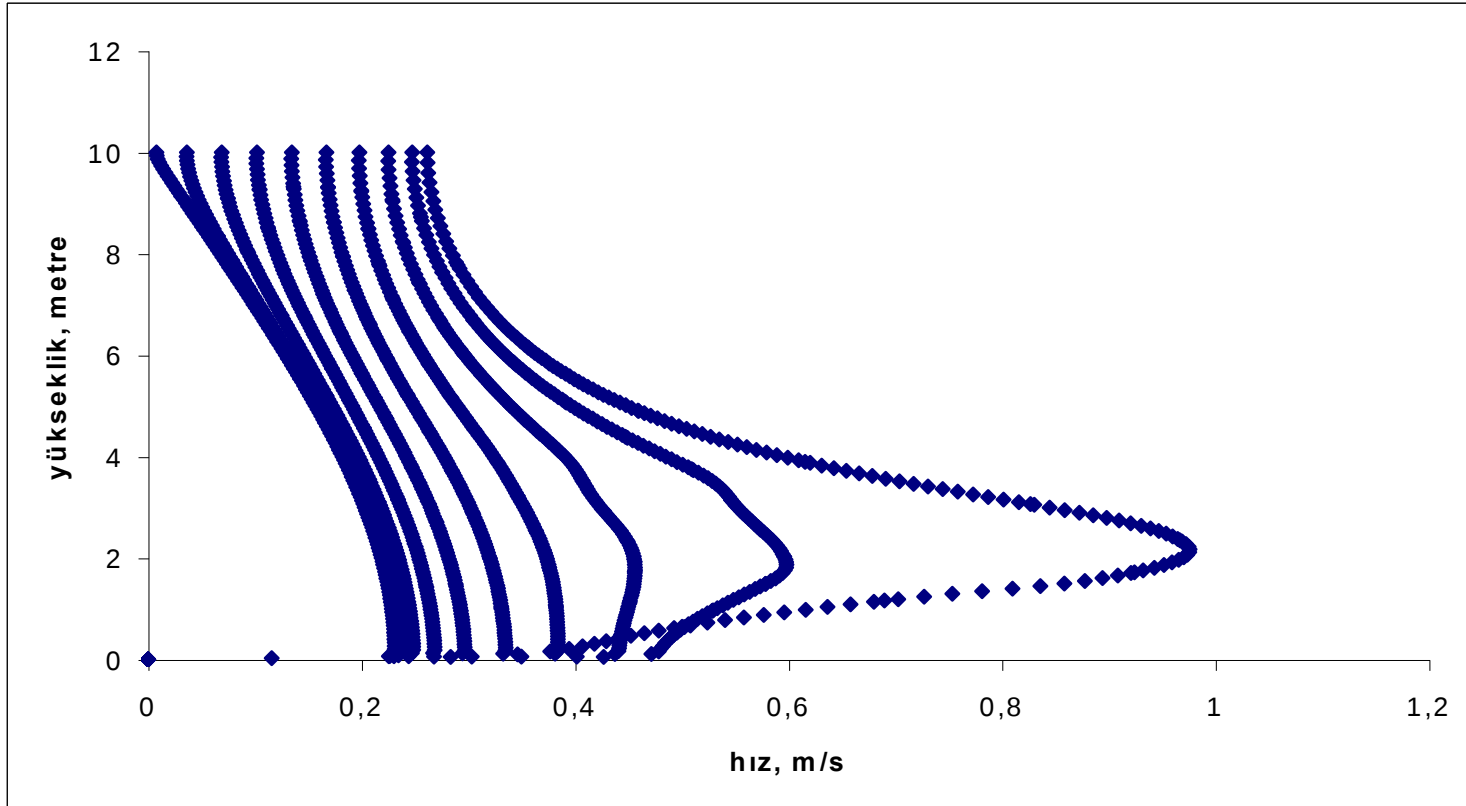
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s



Şekil B.3 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi

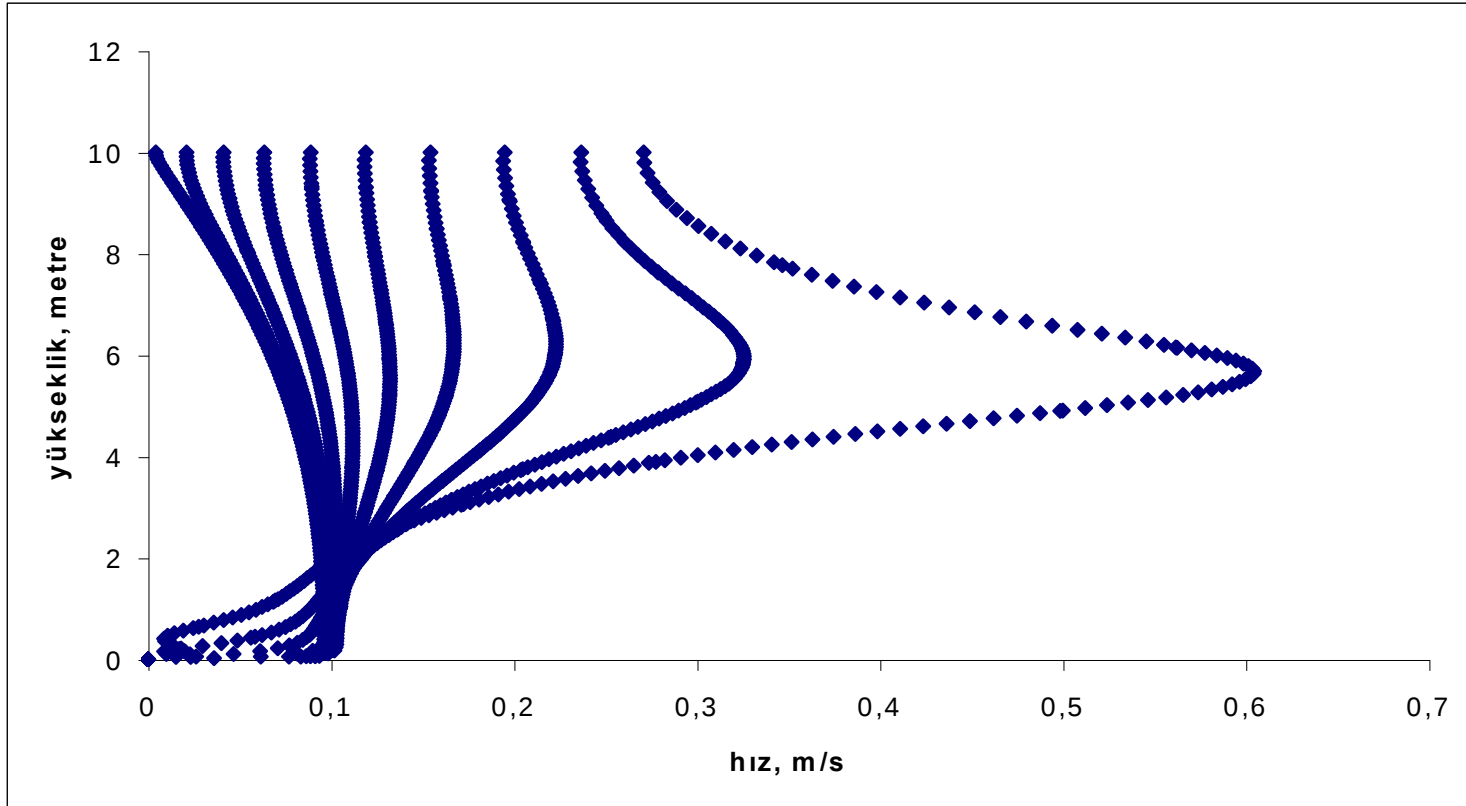
B.4 Menfez yüksekliği = 1,5 metre

Menfezdeki hava hızı = 3 m/s



Şekil B.4 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi

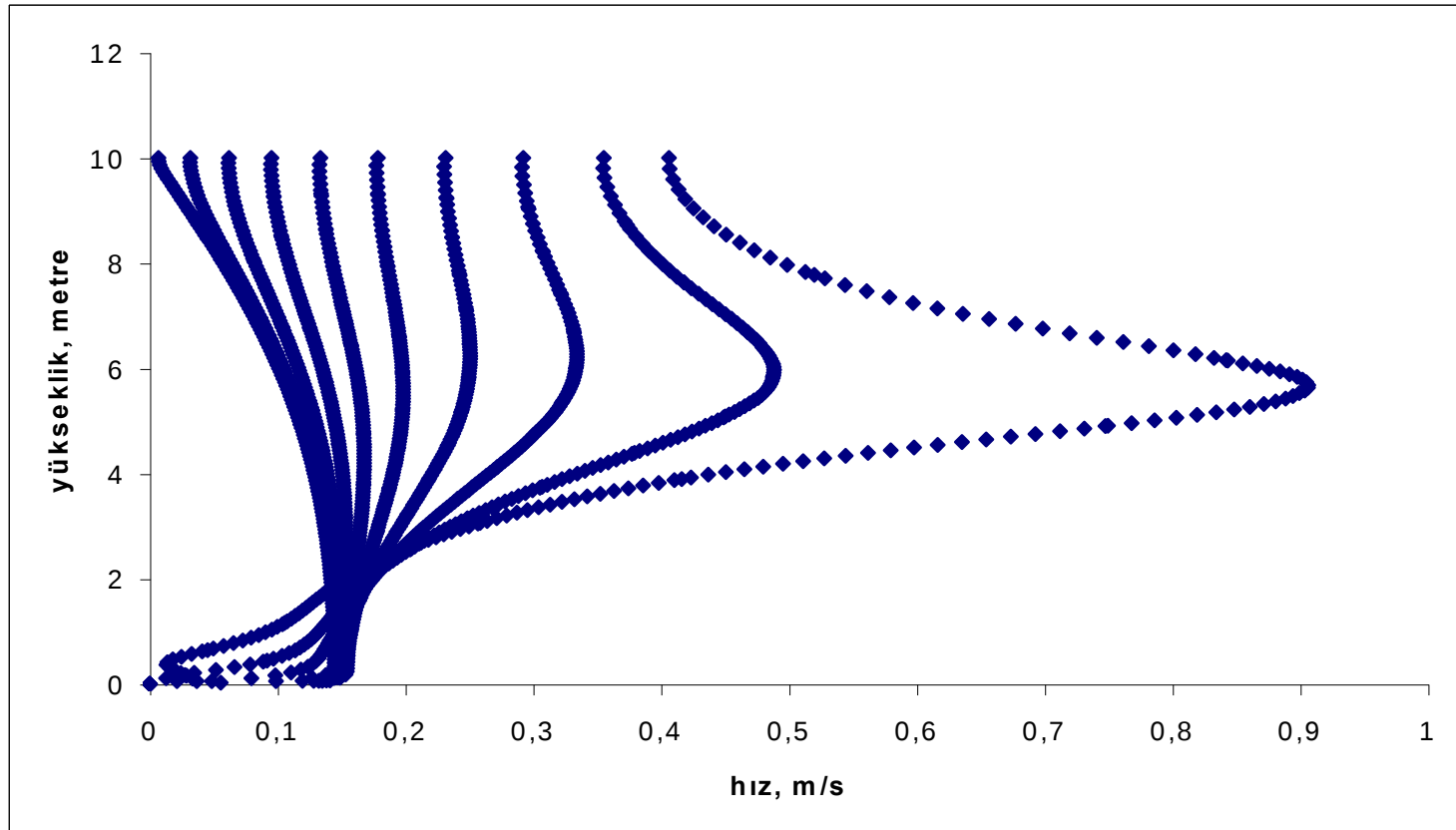
B.5 Menfez yüksekliği = 5 metre
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s



Şekil B.5 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi

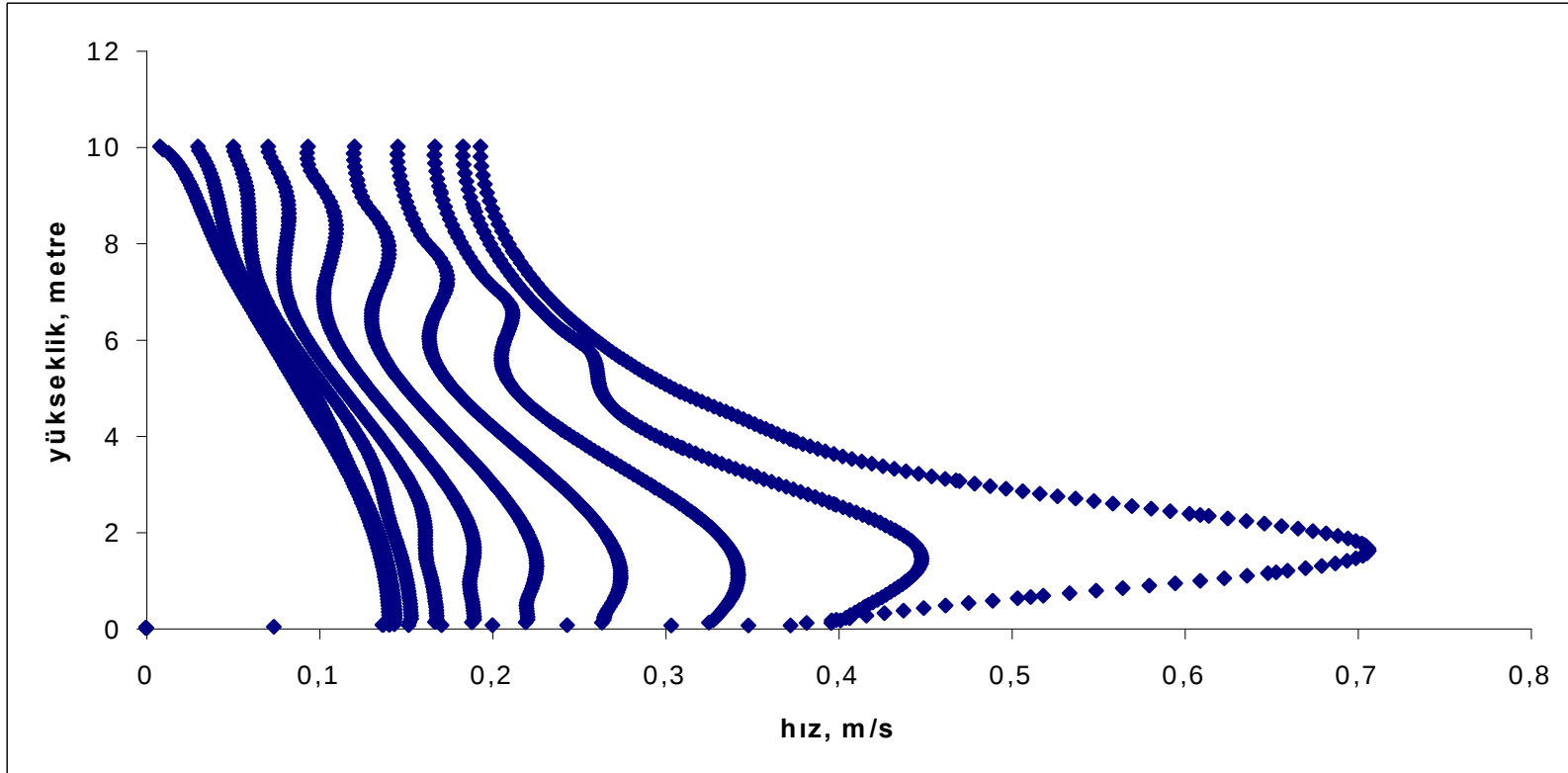
B.6 Menfez yüksekliği = 5 metre
Menfezdeki hava hızı = 3 m/s

69



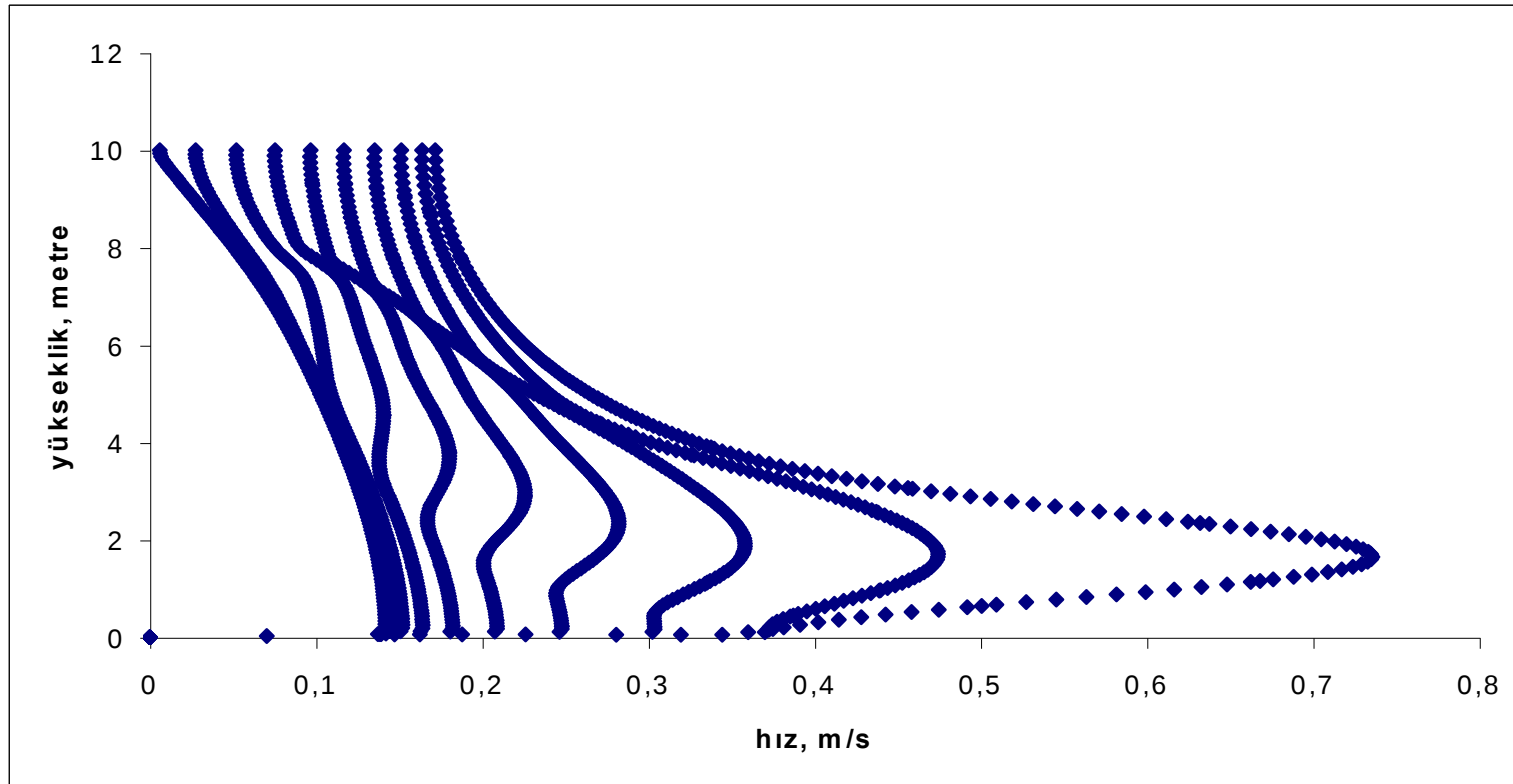
Şekil B.6 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın y doğrultusundaki değişimi

C.1 Menfez yüksekliği = 1 metre
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s



Şekil C.1 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi

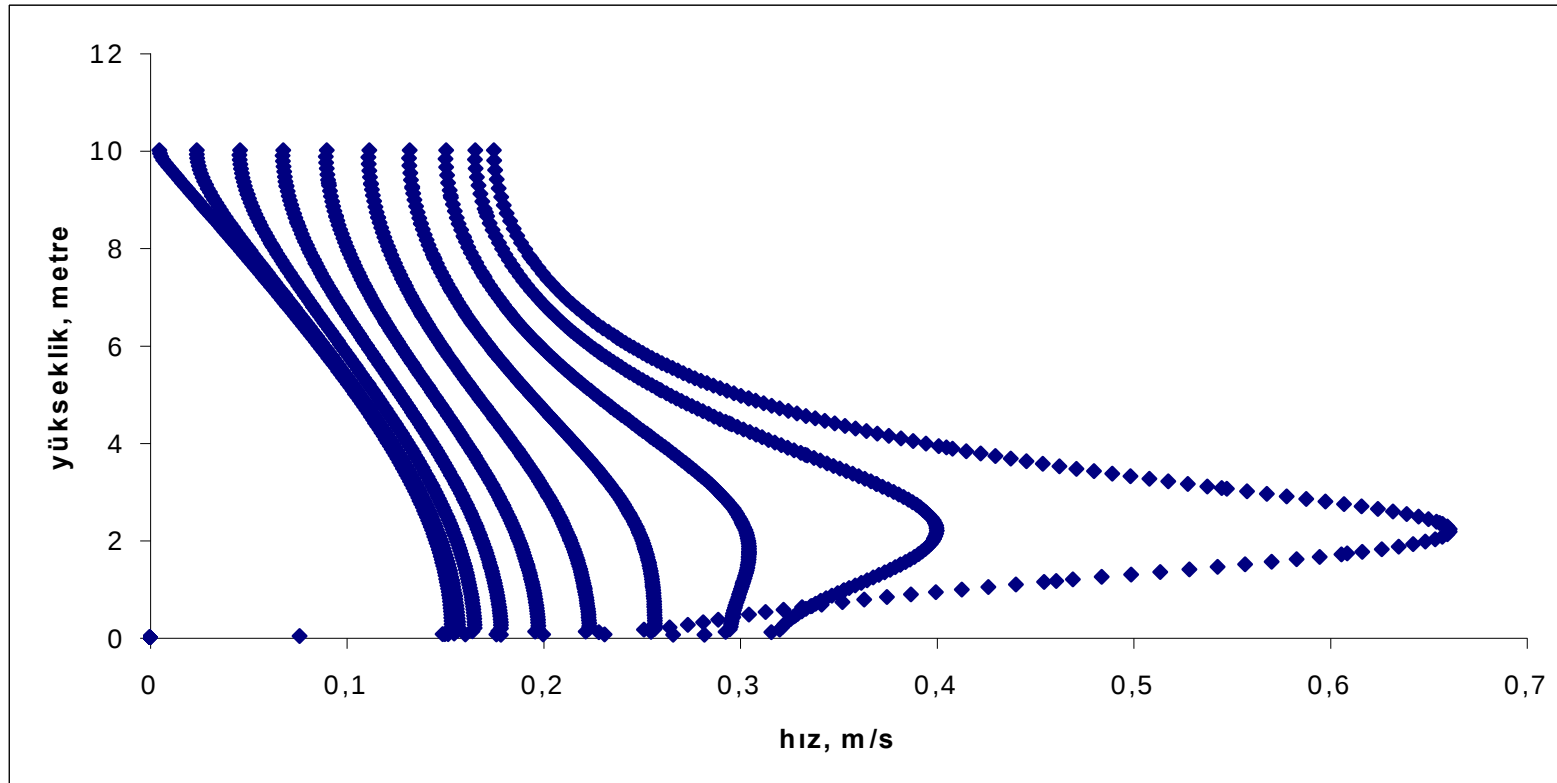
C.2 Menfez yüksekliği = 1 metre
Menfezdeki hava hızı = 3 m/s



Şekil C.2 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi

C.3 Menfez yüksekliği = 1,5 metre

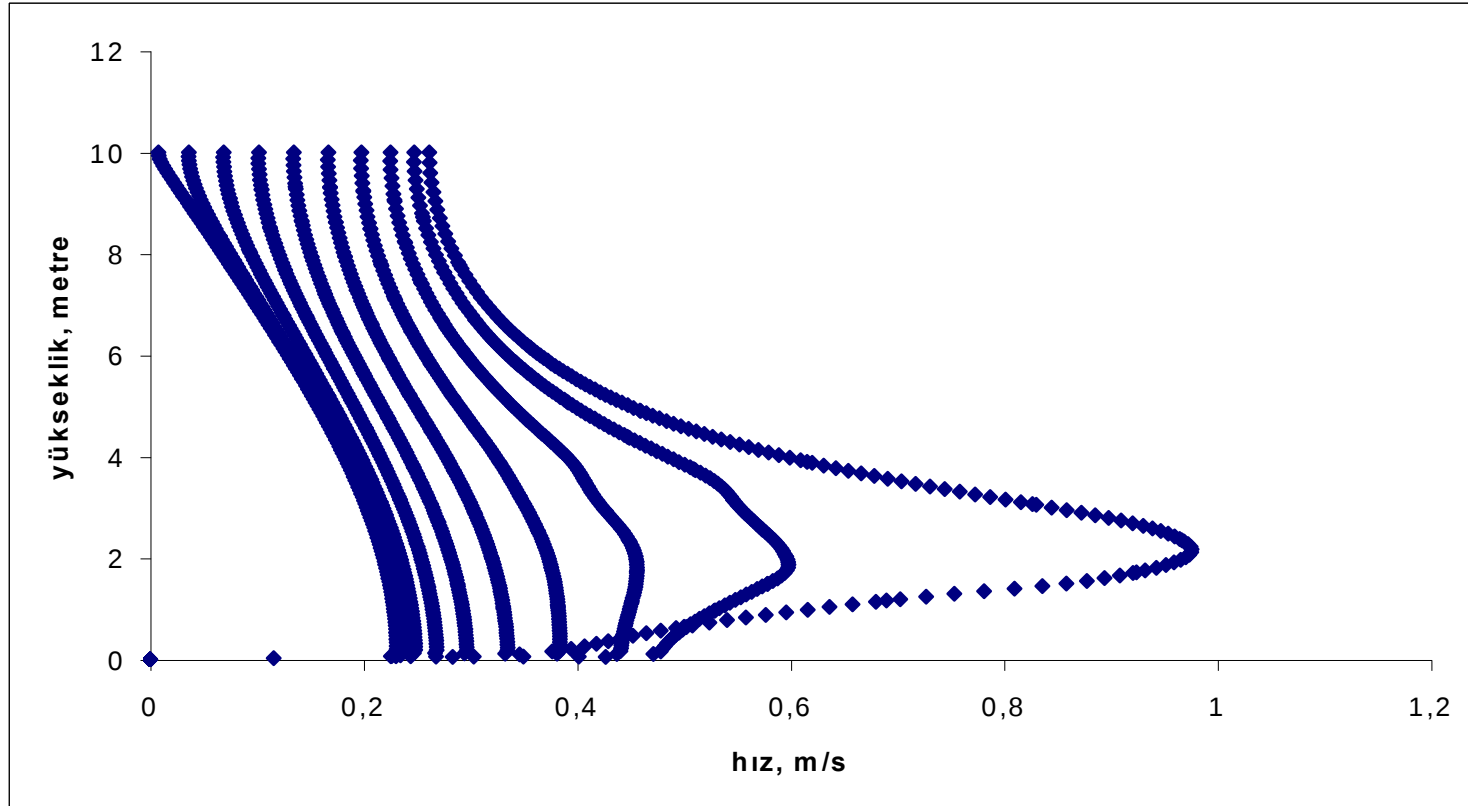
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s



Şekil C.3 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi

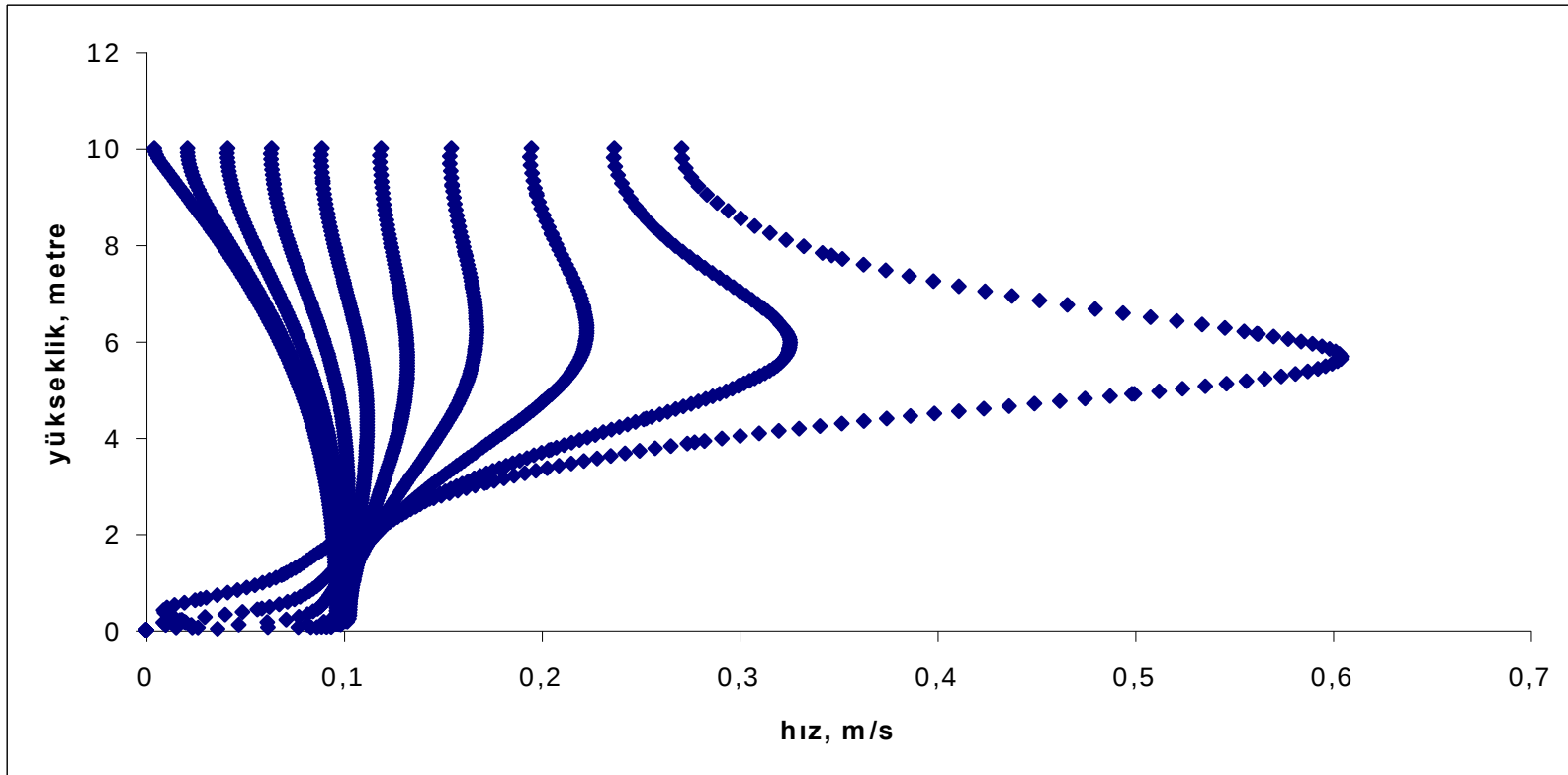
C.4 Menfez yüksekliği = 1,5 metre

Menfezdeki hava hızı = 3 m/s



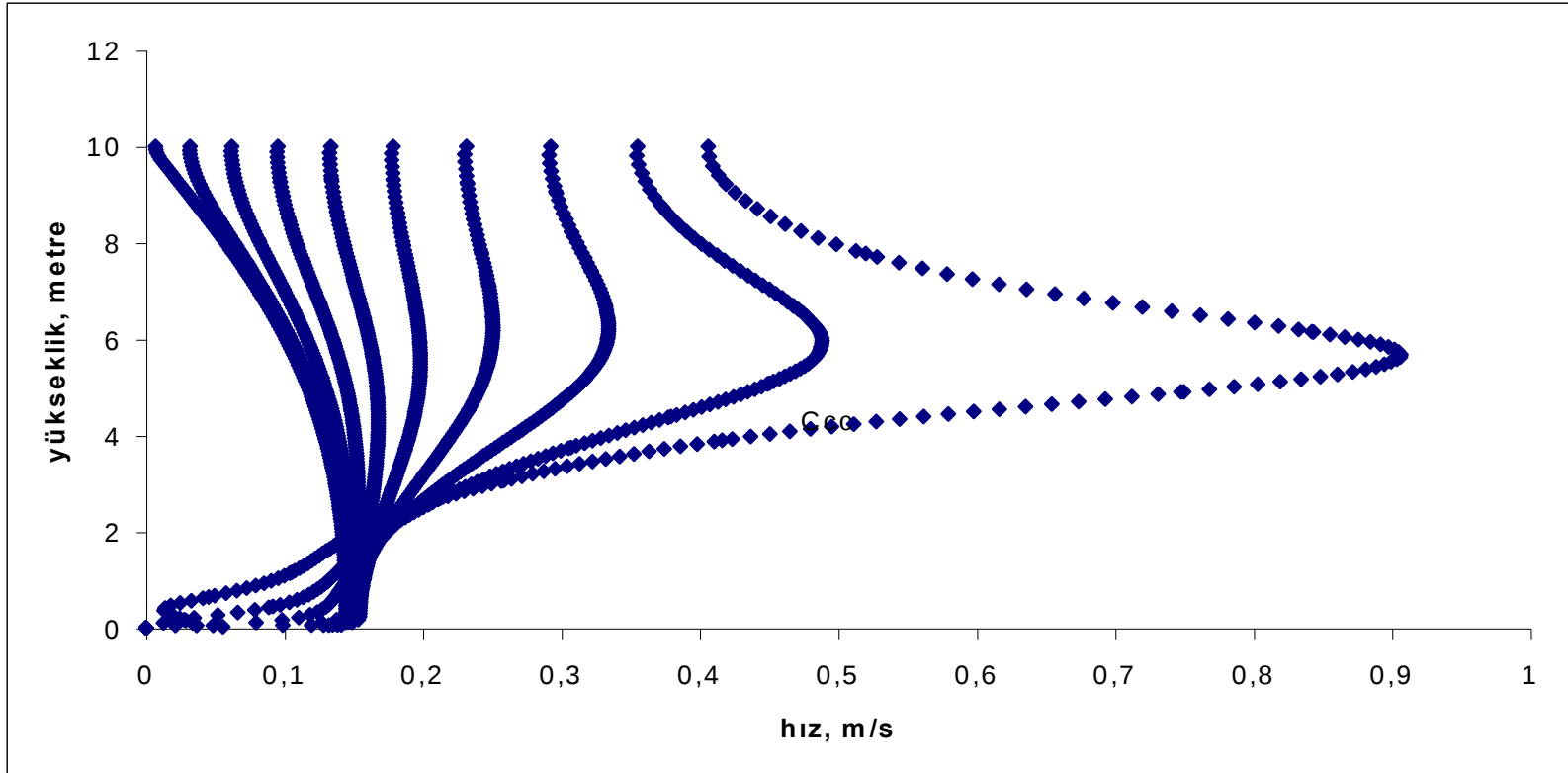
Şekil C.4 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değışimi

C.5 Menfez yüksekliği = 5 metre
Menfezdeki hava hızı = 2 m/s



Şekil C.5 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi

C.6 Menfez yüksekliği = 5 metre
Menfezdeki hava hızı = 3 m/s



Şekil C.6 Menfezden her bir metre uzaklık için toplam hızın değişimi

TabloD1. Partiküle etkidığı kabul edilen hızların belirlendiği yükseklikler, 2 m/s menfezdeki hava hızı için

Menfezden yatay mesafe, metre	Menfez Yüksekliği, metre									
	1		2		3		4		5	
	Yükseklik	hız	yükseklik	hız	yükseklik	hız	yükseklik	hız	yükseklik	hız
1	0,051	0,0086	0,051667	0,008963	0,051667	1,50E-05	0,051667	0,001336	0,051667	0,001156
2	0,053	-0,00014	0,051667	0,003349	0,053333	0,002372	0,053333	0,001492	0,053333	0,000628
3	0,055	-0,00037	0,055	0,001485	0,055	0,001643	0,055	0,00113	0,055	0,000729
4	0,056	-0,00025	0,056667	0,000692	0,056667	0,001064	0,056667	0,00088	0,056667	0,000696
5	0,058	-0,00017	0,058333	0,000336	0,058333	0,00068	0,058333	0,000653	0,058333	0,000611
6	0,026	0,00006	0,06	0,000167	0,06	0,000415	0,06	0,000467	0,06	0,000454
7	0,06	-0,00008	0,061667	0,000138	0,061667	0,000288	0,061667	0,000361	0,061667	0,000384
8	0,063	-0,00005	0,063333	0,000199	0,063333	0,000284	0,063333	0,000343	0,063333	0,000364
9	0,065	0,000174	0,065	0,000266	0,065	0,000306	0,065	0,000331	0,065	0,000333

TabloD2. Partiküle etkidığı kabul edilen hızların belirlendiği yükseklikler, 3 m/s menfezdeki hava hızı için

Menfezden yatay mesafe, metre	Menfez Yüksekliği, metre									
	1		2		3		4		5	
	yükseklik	hız	yükseklik	hız	yükseklik	hız	yükseklik	hız	yükseklik	hız
1	0,051	0,0096	0,051667	0,010595	0,051667	0,000269	0,051667	0,001818	0,051667	0,00154
2	0,053	0,00034	0,053333	0,004378	0,053333	0,003532	0,053333	0,004016	0,053333	0,001079
3	0,055	-0,00042	0,055	0,001803	0,055	0,002293	0,055	0,001564	0,055	0,000862
4	0,057	-0,00021	0,056667	0,000796	0,056667	0,001448	0,056667	0,001274	0,056667	0,000907
5	0,059	-0,0001	0,058333	0,000366	0,058333	0,000908	0,058333	0,000924	0,058333	0,000796
6	0,06	-0,00005	0,06	0,000157	0,06	0,000533	0,06	0,000645	0,06	0,000639
7	0,062	0,00004	0,061667	0,000119	0,061667	0,000357	0,061667	0,000481	0,061667	0,000526
8	0,063	0,00017	0,063333	0,000209	0,063333	0,000344	0,063333	0,000443	0,063333	0,000485
9	0,065	0,00026	0,065	0,000315	0,065	0,000381	0,065	0,000426	0,065	0,000437

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Hatay’da tamamlayan Orhan DÖNMEZ, 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü tamamladı. Aynı yıl aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Enerji programında Yüksek Lisans Eğitimi’ne başlayan Orhan DÖNMEZ halen eğitime devam etmektedir. Mercedes-Benz ve Tetisan’da çeşitli projelerde görev alan Orhan DÖNMEZ iyi derece İngilizce ve Almanca bilmektedir.