

151351

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEMİZ ODALARDA MAHALLER ARASI BASINÇ
KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Gökhan ÖZŞEKER
(503011027)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004**

Tez Danışmanı :

Prof Dr. F.Taner ÖZKAYNAK

Diğer Jüri Üyeleri

Yrd.Doç.Dr. Erhan BÖKE

Prof.Dr. Salim ÖZÇELEBİ (İ.Ü.)

151351

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

İnsan sağlığına verilen önemin artması ve gelişen teknolojilerin temiz ortamlarda üretim ihtiyaçları sonucunda temiz oda teknolojileri ve uygulamaları son yıllarda önem kazanmıştır. Gelişmiş ülkelerde temiz oda tasarımı ve gerekliliği üzerine pek çok standart ve yönetmelik olmasına karşın, ne yazık ki ülkemizde bu konuya gereken önem verilmemektedir. İnsan hayatıyla direkt ilişkisi olan ameliyathane, ilaç sanayi gibi pek çok alanda kullanımı gerekli olan ve elektronik gibi ileri teknoloji sanayilerde kullanımı kaçınılmaz olan temiz odalarla ilgili zorlayıcı ve rehber olabilecek nitelikte standart ve yönetmeliklerimizde eksiklikler vardır. Bu konu üzerinde, ilgili kuruluşlar ile ilgili alanlarda çalışan profesyonellerin girişimleri ile zamanın gereklerine uygun bir standart oluşturulması gerekliliği göz ardı edilemeyecek bir unsurdur.

Ülkemizde nispeten yeni sayılabilecek bir teknoloji olan temiz odalar üzerinde yapılmış pek az çalışma vardır. Temiz oda tasarımında temel taşlardan birisi olan mahaller arası basınç kontrolü konusu üzerine yapılan bu çalışmada basınç kontrolü konusu incelenmiş ve çeşitli simülasyon teknikleri üzerinde durulmuştur. Bu tip bir çalışmanın konu ile ilgilenenlere faydalı olmasını diliyorum.

Bu tez çalışmasıyla birlikte temiz odalar ve basınç kontrolü konularının oldukça geniş ve araştırmaya açık konular olduğunu öğrendim. Bu konularda daha fazla araştırma yapılmasının ve bir temiz oda tasarım sistematığının geliştirilmesinin faydalı ve gerekli olduğu inancındayım. Beni bu konuda çalışmaya sevk eden, bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof.Dr. F. Taner ÖZKAYNAK'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım ile ilgili olarak maddi-manevi destekleri ile yanımda olan, Sayın S. Cevat TANRIÖVER şahsında tüm Tanrıöver Mühendislik çalışanlarına, fikir alış-verişinde bulunduğum tüm arkadaşlarıma ve aileme teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2004

Gökhan ÖZŞEKER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1 Kritik Ortamlar İçin Oda Basınçlandırması [Wiseman, B., 2003]	4
2.2 Laboratuvar Basınçlandırmasının Dinamikleri [Ahmet, O., Mitchell, J.,1993]	5
2.3 Laboratuvar Mahal Basıncı Kontrol Sistemleri [Hitchings, D.T.,1994]	5
2.4 Mahal Basınçlandırması Problemi [Blaser, J.,1994]	7
3. BASINÇLANDIRMANIN TEMELLERİ	8
3.1 Temiz Odalarda Basınçlandırma ve Hava Akışının Kontrolü	8
3.1.1 Kapalı Kapı Yöntemi	12
3.1.2 Açık Kapı Yöntemi	13
3.2 Kaçak Hava Debisi ve Sızıntı Alanlarının Saptanması	15
3.3 Basınç Kontrolü	19
3.3.1 Direkt Basınçlandırma	20
3.3.2 Debi Kontrolü	21
3.3.3 Karma Kontrol	22
3.4 Uygulama Örnekleri	23
3.4.1 Bern Viral Hastalıklar ve Bağışıklık Sistemi Enstitüsü, İsviçre	23
3.4.2 Pozitif Basıncı Bir Karantina Odası Basınç Testleri	27
3.4.3 Şap Enstitüsü Aşı Taksim Bölümü – Ankara	29

4. TEMİZ ODALARDA BASINÇ KONTROLÜNÜN MODELLENMESİ	31
4.1 Model Geliştirilmesi:	31
4.2 Model Parametreleri	34
4.3 Simülasyon	36
4.3.1 Yöntem	36
4.3.2 Simülasyon Sonuçları	38
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	43
5.1 Kabullerin ve Çözüm Yollarının Sonuçlara Etkisi	44
5.2 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
5.3 Sonuçlar ve Öneriler	46
KAYNAKLAR	48
EK-A	50
ÖZGEÇMİŞ	51



KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers
BS	: British Standart
CAV	: Constant Air Volume flow rate
EES	: Engineering Equation Solver
FDA	: Food and Drug Administration
GMP	: Good Manufacture Practice
HEPA	: High Efficiency Particle Arrestment
ISO	: International Standartization Organization
IVI	: The Institute for Viral Diseases and Immune Prophylaxis
VAV	: Variable Air Volume flow rate



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 : ASHRAE Bölüm 23’e göre etkin kaçak alanları.....	19
Tablo 3.2 : BS 5588 Bölüm-4’e göre kapılar için kaçak alanları.....	19
Tablo 3.3 : İçinde banyosu bulunan pozitif basınçlı bir karantina odasında basınç farkının debi farkı ile değişimi.	29



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1 : Türbülanslı hava dağılımlı bir temiz oda	9
Şekil 3.2 : CAV ve VAV kullanılan bir temiz oda akım şeması.....	12
Şekil 3.3 : Kapalı kapı yaklaşımıyla tasarlanmış bir temiz oda suiti akım şeması	13
Şekil 3.4 : Bir kapı boşluğunu izole etmek için gerekli hava debileri.....	14
Şekil 3.5 : Hava sızıntı (infiltrasyon) eğrisi (üstel kuvvet denklemi).....	17
Şekil 3.6 : Direkt basınçlandırmalı bir temiz oda kontrol şeması	21
Şekil 3.7 : Pnömatik oda basınç kontrolörü.....	21
Şekil 3.8 : VAV (Değişken Hava Debisi) Cihazı.....	23
Şekil 3.9 :Uygulanan değişken debi ve basınç kontrolü.....	25
Şekil 3.10 : Basınç ölçümleri	26
Şekil 3.11 : Laboratuvar bölümü prensip şeması	27
Şekil 4.1 : Şematik olarak, modellenecek temiz oda.....	32
Şekil 4.2 : Modelin blok diyagramı.....	37
Şekil 4.3 : Kaçak hava debisindeki ani bir değişimde dönüş havası debisinin cevap profilleri	38
Şekil 4.4 : Kaçak hava debisindeki ani bir değişimde oda ile çevresi arasındaki basınç farkının değişimi.....	39
Şekil 4.5 : Simulink Programı ile alınan çözüm.....	40
Şekil 4.6 : Kapının açılıp kapanması sonucu oluşan basınç profili.....	40
Şekil 4.7 : Kapının açılıp kapanması durumunda dönüş havası debisinin zamanla değişimi.	41

SEMBOL LİSTESİ

A	: Taban alanı
C_b	: Açıklık için direnç katsayısı
C	: Akış katsayısı
d	: Türev operatörü
m	: Kütle
n	: Akış üssü
P	: Basınç
P_b	: Besleme havası basıncı
P_{ref}	: Referans basınç
Q_b	: Besleme havası debisi
Q_d	: Dönüş havası debisi
Q_k	: Kaçak hava debisi
R	: İdeal gaz sabiti
T	: Sıcaklık
T_b	: Besleme havası sıcaklığı
t	: Zaman
V	: Oda hacmi
ΔP	: Basınç farkı
ΔQ_{ayar}	: Ayar debisindeki değişim
ΔT	: Sıcaklık farkı
α	: Boşalma katsayısı, yoğunluk sabit hal
μ	: Boşalma katsayısı
ρ	: Yoğunluk
τ	: Zaman sabiti

İNDİSLER

b	: Besleme havası
ç	: Çıkan
d	: Dönüş havası
g	: Giren
ref	: Referans
k	: Kaçak



TEMİZ ODALARDA MAHALLER ARASI BASINÇ KONTROLÜ

ÖZET

Temiz odalar, ortam havasında bulunan kirlilik kaynağı tanecik konsantrasyon ve boyutunun kontrol altında tutulduğu, oda içerisine tanecik girişini, odada tanecik oluşumunu ve tutulmasını engelleyecek tarzda inşa edilmiş ve kullanılan, ve gerekli ise sıcaklık, nem ve basınç gibi ilgili parametrelerin de kontrol altında tutulduğu odalardır. Günümüzde temiz oda teknolojileri, tıp, ilaç sanayi, bio-teknoloji, elektronik, yarı-iletken, mikro-mekanik, optik, uzay teknolojileri gibi alanlarda meydana gelen gelişmeler sonucunda önem kazanmışlar ve yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Temiz odalarda kontrol altında tutulmak istenilen önemli parametrelerden birisi de komşu mahalle arasında olan basınç farkıdır. Bir temiz oda, daha kirli olan komşu mahallerden kirli havanın içeri sızmasını taahhüt edecek şekilde tasarlanmış olmalıdır. Bunu sağlamanın yolu ise temiz odayı komşu mahale göre pozitif basınçta tutmaktır. Temiz odanın basınçlandırılması için besleme havası ile dönüş/egzost havası arasındaki oran kontrol edilmelidir. Bu işlem, odada bulunan bir fark-basınç ölçer ile üfleme ve/veya dönüş/egzost kanalı üzerindeki damper, fan girişindeki kanatçıklar, fan kanatları veya fan motorunun devrine kumanda edilerek yapılabilir.

Basınçlandırmanın bağlı olduğu etkenlerden birisi de odadan dışarı hava sızmasına olanak veren sızıntı alanlarıdır. Bu sızıntı alanları oda kapısının çevresi, pencere çevreleri ve çeşitli çatlak ve delikler olabilir. Gerekli bir basınç farkını sağlamak üzere odadan dışarı, bu sızıntı alanları üzerinden belli bir debinin sızması gerekir. Bu basınçlandırma havasının tayini açısından önemlidir. Basınçlandırmanın tasarımında temel olarak iki yöntem vardır: Kapalı kapı ve açık kapı yöntemleri. Kapalı kapı yönteminde İki komşu mahal arasında kapılar kapalı iken aralarında basınç farkı yaratacak şekilde boşluklardan olan sızıntı hava akışına bağlı bir debi farkı (besleme ile dönüş arasında) oluşturmak yoluyla basınçlandırma yapılır. Açık kapı yönteminde ise kapı açıkken içeri kirli havanın girmesini engelleyecek miktarda havanın kapı boşluğundan dışarı doğru akması sağlanır. Açık kapı yöntemi karmaşık ve enerji harcaması bakımından ekonomik olmayan bir yöntemdir.

Temiz odalarda basınç kontrolü denince, , odaya üflenilen hava ile dönüş veya egzost havası oranına, oda basıncını algılayıp kumanda edilerek gerekli basınç farkının sağlanması akla gelir.

Basınç kontrolünün tasarımı için kullanılan hesap yöntemleri ampirik yöntemlerdir ve uygulamada ise deneme-yanılma yöntemiyle oda basınçlarının ayarlanması ve dengelenmesi söz konusudur. Bu yöntem sistemde olan geçici etkileri, sonradan oluşabilecek değişiklikleri ve sistemin geçici rejim halini içermemektedir. Bu aşamada, sistemin geçici rejimini de içeren, yani sistem dinamiklerini içeren bir

matematiksel model geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Böyle bir modelle odanın sızıntı-kaçak karakteristiği, hava değişim sayısı, otomatik kontrol sisteminin hızı (dolayısıyla tipi) gibi değişkenlerin basınç dinamikleri üzerindeki etkileri simule edilebilir.

Ele alınan bir temiz oda için kütlenin korunumu, kaçak hava debisinin matematiksel olarak ifadesi ve basınç kontrolünde değişen bir parametre olan dönüş hava debisinin sistem cevabının birinci dereceden bir blok sistem olarak kabul edilmesi ile bir matematiksel model elde edilmesi mümkün olur. Bu matematik modelin çözümü ile de sistemin simülasyonunu yapılabilir.

Pozitif basınçlı bir temiz odada kaçak havasındaki ani bir değişimin ve oda kapısının açılıp kapanması sonucunda sistem davranışının incelenmesi için bir simülasyon yapılmıştır.

Simülasyon sonucunda ilk değerlendirme olarak kontrol sistemi hızlandıkça basınç kontrolünün de daha hassas ve etkili olduğu söylenebilir. Ancak sistemin çok hızlı tepki vermesi durumunda da sistemin salınma girmesi söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla oda için basınç kontrolörü seçilirken hızı uygun olmalıdır. Hassas kontrol gerektiren ve sızdırmazlığı iyi olan odalarda daha hızlı kontrol sistemleri seçilmesi uygunken, çok hassas kontrol gerektirmeyen ve sızıntı alanları nispeten büyük odalarda daha yavaş kontrol sistemleri seçilebilir.

Kapının açılıp kapandığı durum için yapılan simülasyon incelendiğinde, sistemin ilk 1,5 saniye içerisinde bir salınımda olduğu görülmüştür. Buradan çıkarılacak sonuç, kapı açılıp kapanması durumlarında sistemin kararlılığı açısından basınç kontrol sisteminin bir gecikmeyle devreye girmesi uygun olur. Bu gecikme zamanı (delay time) 1 saniye ile 3 saniye arasında olabilir.

Sonuç olarak, yapılan simülasyonda, uygun hızda bir kontrol sistemi kullanıldığında, kaçak hava debisindeki ani bir artış veya oda kapısının açılıp kapanması durumunda, sistemin istenilen basınç farkı değerlerini en fazla 10 s gibi bir süre içerisinde tekrar sağladığı görülmüştür. Bu sonuç, kapalı kapı yöntemi ile tasarlanmış bir temiz odanın, oda içerisine tanecik girişini engelleme konusunda oldukça başarılı olabileceğinin bir göstergesidir. Bununla birlikte, basınç kontrolü tasarlanırken oda basınç dinamiklerinin de mutlaka göz önünde bulundurulması ve sistemdeki ani bir değişmeye kontrol sisteminin nasıl bir tepki vereceğinin simülasyonu gereklidir.

CONTROL OF AIR PRESSURE DIFFERENCES IN CLEAN ROOMS

SUMMARY

Clean room is a room in which the concentration of airborne particles is controlled, and which is constructed and used in a manner to minimise the introduction, generation, and retention of particles inside the room and in which other relevant parameters, e.g. temperature, humidity, and pressure, are controlled as necessary. Today, clean room technologies are become important and widely used due to the development in the fields of medicine, pharmacy, biotechnology, electronics, semiconductor, micromechanics, optics and space technologies.

One of the important parameters to be controlled in clean rooms is the pressure difference between the clean room and the adjacent spaces. A clean room must be designed to ensure that contaminated air does not come into the room from dirtier adjacent areas. The way to ensure this is to maintain the room at positive pressure over the adjacent space relatively. To pressurize the clean room, the ratio between the supply and return/exhaust air flow will be controlled. This can be accomplished by controlling the damper on supply or return/exhaust duct, fins at the fan entry, fan fins or fan motor speed with a pressure transmitter located in the room.

One of the parameters effecting the pressurization is the leakage areas where the air leaks out the room. The typical leakage areas are door cracks, window fittings and small gaps and cracks in the room envelope. Some of air quantity must be leak through these leakage areas to keep the desired pressure difference. This is important in accordance to determine the pressurization air quantity. Two methods, by which clean rooms within a suite may be pressurized with respect to each other, are available and known as the closed and open door solutions. In the closed door solution, the room is pressurized by a flow rate differential (between supply and return) with respect to the air leakage quantity when the doors are closed at the pressure differential. In the open door solution, an air flow is occupied to prevent the entrance of the contaminated air into the room when the doors are open. This is a complex and not energy efficient solution.

The pressure control in the clean room is to control the ratio between the supply and return or exhaust air flow rates by sensing the room pressure, to keep the desired pressure differential.

The current design practice of the pressure control is empirical and generally systems are adjusted and balanced by trial and error during installation. This method does not include the possible variations and the transient behavior of the system. Recently, the development of a mathematical model which includes system dynamics, is needed. By the help of a such model, the effects of the parameters like the clean room's

leakage characteristics, air change ratio, the response characteristic (so the type of) control system on the pressure dynamics can be simulated.

A mathematical model for a clean room can be obtained by using the conservation of mass equation, the infiltration equation, and assuming the response of the return airflow rate as a first order lumped system. And by solving this mathematical model, the simulation of the system can be carried out.

A simulation is carried out to evaluate the effects of a sudden change in the leakage airflow and operation of the room access door on the pressure dynamics in a positive pressure clean room.

As a first evaluation of the simulation results, it can be said that by the increasing speed of the control system, more accurate and effective pressure control is achieved. On contrast, if the control speed is too high, the system is oscillated and the resonance of the system can be occurred. In accordance to this, the speed of the control system must be appropriate. A rapidly acting control system is needed for a tight envelope. On the other hand, a leaky room is more tolerant of slowly reacting control systems.

When the simulation for the operating of the access door is evaluated, it is seen that system is oscillating in the first 1,5 s. As a result of this, a time delay of 1 to 3 seconds is recommended for the situation of door operation at the pressure control system for the stability of the system.

As a result, it is seen that if a control system at an appropriate speed is used for the pressure control, the pressure difference will be get to the set-point in maximum 10 s, by the simulation. This is a sign that a clean room which is designed according to the closed door approach can be successful to prevent the infiltration of the contaminated air into the room. In addition to this, the pressure dynamics of the kontrol system must be considered in the design of pressurization and a simulation of the response of the control system to a change in the system is necessary.

1. GİRİŞ

Tıp, ilaç sanayii, biyoteknoloji, gıda sanayii gibi hijyen şartlarının önem kazandığı alanlar ve bunların yanında elektronik, yarı-iletken, micromekanik, optik, uzay teknolojileri gibi sanayilerde meydana gelen gelişmeler sonucunda temiz odaların ve temiz oda teknolojilerinin kullanımı önem kazanmıştır. İlk olarak sayılan tıp ve ilaç sanayii gibi alanlarda ortamın temiz ve hijyenik olması, hastalık sebebi olabilecek ve insan sağlığını tehdit edebilecek unsurların ortam havasından uzaklaştırılması için temiz odalar kullanılmaktadır. Micro-mekanik, elektronik, uzay programları gibi daha bir çok alanda teknolojinin gelişmesiyle birlikte kirlilik kontrolü sorunları ortaya çıkmış, buna karşı başlatılan sistematik çalışmalar neticesinde, sistemin hayati bir parçası olarak Temiz Oda Kavramı doğmuştur. Peki, nedir temiz oda ? Temiz oda kavramı, Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu (ISO) tarafından ISO-14644-1 standardında açıklanmıştır:

“Temiz oda, ortam havasında bulunan tanecik konsantrasyon ve boyutunun kontrol altında tutulduğu, oda içerisine tanecik girişini, odada tanecik oluşumunu ve tutulmasını engelleyecek tarzda inşa edilmiş ve kullanılan, ve gerekli ise sıcaklık, nem ve basınç gibi ilgili parametrelerin de kontrol altında tutulduğu odadır.”

Tanımında da verildiği gibi temiz odada, odaya havanın kirliliğinin ölçüsü olan hava içindeki tanecik-zerreciklerin girişi, oda içerisinde oluşumu ve tutulması engellenir. Bu ise, odaya normal uygulamalara göre büyük miktarda bir debide ve yüksek verimli filtrelerden geçirilmiş şartlandırma havası üflenerek elde edilir. Bu üflenene hava, birinci olarak, odadaki personel ve cihazlardan yayılan parçacık ve bakterileri seyreltmek ve odadan uzaklaştırmak için; ikinci olarak da temiz odaya kirli havanın sızmasını engellemek üzere odayı basınçlandırmak için kullanılır [1].

Oda basıncı, temiz odalarda kontrol altında tutulmak istenilen önemli parametrelerden biridir. Öyle ki, bir temiz oda, daha kirli olan komşu mahallerden kirli havanın içeri sızmasını taahhüt edecek şekilde tasarlanmış olmalıdır[1]. Hava

akışı temiz odadan komşu kirlenmemiş yada az kirlenmiş odalara doğru olmalıdır. Bunu sağlamanın yolu ise odayı pozitif basınç altında tutmaktır. Bu işlem, odada bulunan bir fark-basınç ölçer ile üfleme ve/veya dönüş/egzost kanalı üzerindeki damper, fan girişindeki kanatçıklar, fan kanatları veya fan motorunun devrine kumanda ederek besleme havası ile dönüş/egzost havası arasındaki oranı kontrol etmektir[2]. Bir başka deyişle, temiz oda ile çevresi arasında bir basınç farkı oluşturmanın yolu genel olarak besleme hava debisi ile dönüş veya egzost hava debisi arasında belli bir fark oluşturmaktır. Bununla beraber, basınç farkının bağlı olduğu ve çoğu zaman kesin olarak saptanması güç olan bir parametrede odanın çevresindeki havanın sızabileceği kaçak alanlarıdır. Bunlardan en belirgin olanı kapı ve pencerelerin çerçevelerinden olan hava kaçaklarıdır. Bunun yanında, odanın inşaat kalitesine, odaya giren hava kanallarının yada elektrik borularının çevrelerinin izolasyon kalitesine bağlı olarak sızıntı alanları artabilmektedir.

Temiz oda ile çevresi arasında olması gerekli basınç farkı değeri basılmış pek çok standartta verilmiştir. Genel olarak bu değer 10-15 Pa arasındadır. Amerikan standardı olan Federal Standard 209' da oda basıncı ile ilgili olarak:

“Temiz oda ile daha düşük temizlik sınıfındaki komşu oda arasındaki basınç farkı, tüm giriş yolları (kapı,malzame giriş tüneli gibi) kapalı iken en az 0,05 inç su sütunu (12 Pa) olmalıdır. Giriş yolları açıkken ise üfleme havası, bu açıklıklardan tanecik girişini minimize edecek şekilde odadan dışarı doğru hava akışını sağlayacak kapasitede olmalıdır.”

denilmektedir. Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration-FDA) de minimum 12 Pa basınç farkını yeterli görmektedir. İngiliz iyi ürün üretim klavuzu UK GMP (Good Manufacture Practice) ise en az 1,5 mmSS (15 Pa) basınç farkını ön görmektedir.

Pozitif basınçlı temiz odalar olduğu gibi negatif basınçlı temiz odalar da olabilir. Bunların tipik örneği tüberküloz hastalarının kaldığı karantina odalarıdır. Bu tip odalarda odadan dışarıya tanecik ve patojen geçişi engellenmelidir. Dolayısıyla, çevreden odaya doğru hava akışı olmalıdır. Burada da dönüş veya egzost havası besleme havasından fazla tutularak negatif basınçlandırma sağlanır.

Temiz odalarda basınç kontrolü denince, gerekli basınç farkının, odaya üflenene hava ile dönüş veya egzost havası oranına oda basıncını algılayıp kumanda edilerek sağlanması akla gelir. Oda basınç kontrolünün genel olarak üç yolu vardır. Bunlar (1) direkt basınçlandırma, (2) debi kontrolü, (3) karma kontroldür. Direkt basınçlandırma yönteminde amaç oda ile çevresi arasında istenilen basınç farkının sağlanmasıdır. Debi kontrolü yönteminde üfleme havası ile dönüş veya egzost havası arasında gerekli basınç farkına göre belli bir debi farkı muhafaza edilir. Karma kontrol metodu ise debi kontrolü metodundaki debi farkını belirlemek üzere ölçülen basınç-farkı değerlerini kullanan bir otomatik kontrol çevrimidir.

Mevcut temiz oda tasarım aşamalarında genellikle oda basıncını kontrol etmek için gerekli debi veya basınç farkı değerlerinin belirlenmesinde bilimsel bir yöntem uygulanmamaktadır. Bu değerler genellikle sahada işletmeye alma aşamasında deneme-yanılma yoluyla bulunmaktadır [3]. Diğer bir deyişle, mahal basınçlandırma dinamikleri genelde uygulamalarda kullanılmamaktadır. Temiz oda klima sistemleri sabit-debili sistemler olarak projelendirilip işletilmektedir. Bunun sonucu olarak oda basıncının geçici rejimdeki değişimleri, tasarım şartlarından farklı şartlarda oda basıncının değişimi dikkate alınmamaktadır. Düzgün ve güvenli bir oda basınçlandırmasının sağlanabilmesi için ise bu tip şartlarda sistemin nasıl davranacağını bilmesi önem taşır.

Bu çalışmada mahal basınç dinamiklerinin öngörülmesine olanak sağlamak üzere bir matematik model geliştirilmiş ve belirlenmiş şartlar altında bir temiz odanın basınç simülasyonları bu model kullanılarak yapılmıştır. Simülasyonda kaçak hava debisindeki ani bir artışla mahal basıncının değişimi ve dönüş havası debisinin değişimi incelenmiştir. Bunun yanında oda kapısının açılıp kapanması sonucu oda dönüş havasındaki ve mahalın komşu mahallerle arasındaki basınç farkı değerlerinin değişim profilleri irdelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İlk önceleri, ısıtma-havalandırma ve iklimlendirme sistemleri daha çok konfor ve enerji odaklı olarak tasarlanmakta idi. Ancak, iklimlendirilen mahale sızan hava miktarları ısıtma yada soğutma için kullanılan enerji miktarlarında ciddi yükler getirmekte idi[4]. Mahale hava sızmasını engellemenin yolu, mahalde bir pozitif basınç oluşturmaktı. Bunu yapmanın yolu da mahale üflenen havadan daha azını mahalden emmektir. Burada bir oda basınçlandırması söz konusu iken basıncın kontrolü söz konusu değildi. Buna paralel olarak temiz oda klima sistemlerinin de gelişmesiyle basınçlandırma, kirlilik kontrolü açısından da önem kazandı. İlk temiz odalar tasarlanırken birincil amaç istenilen konfor ve endüstriyel şartların sağlanması idi. Temiz odalarda bir basınçlandırma söz konusu olsa da basınç kontrolü, üzerinde çalışılmış bir konu değildi. Ancak, gitgide sıkı bir hal alan yönetmelik ve şartnamelerle temiz odalarda basınç görüntülenmesi, kayıtlarının tutulması ve basınç kontrolü önemli bir hale gelmiştir. Basınçlandırma ve basınç kontrolünün öneminin artmasıyla birlikte bu konuda yapılan çalışmalar da artmıştır. Yapılan literatür araştırmasında bu konuyla ilgili olarak ulaşılan önemli bazı çalışmalar kısaca aşağıda sunulmuştur:

2.1 Kritik Ortamlar İçin Oda Basınçlandırması [Wiseman, B., 2003]

Bu çalışmada oda basınçlandırması ile ilgili mevcut tasarım esasları ve uygulamalarla ilgili deneysel ve tecrübeye dayalı sonuçlar araştırılmıştır. Çalışmada öncelikle oda basınçlandırmasının temelleri anlatılmıştır. Basınçlandırmanın ve hava akış yönlerinin sağlanması için bir metodoloji verilmiş ve tavsiye edilen fark-basınç değerleri ve debi değerleri gibi tasarım esasları listelenmiştir. Bunun yanında bir tüberküloz BSL-3 araştırma laboratuvarı ve bir doku nakli ünitesinde yapılan uygulamalar, testler ve bunların sonuçları üzerinde durulmuştur. Çalışma, “doğru”

bir oda basınçlandırması için gerekli tavsiye edilen tasarım esasları belirtilerek sonuçlandırılmıştır.

2.2 Laboratuvar Basınçlandırmasının Dinamikleri [Ahmet, O., Mitchell, J.,1993]

Laboratuvarlar, içeride yapılan proseslerden ötürü oluşabilecek gaz çıkışı, hava içinde kirlilik oluşturan taneciklerin yayılması gibi sebeplerden laboratuvar dışına hava akışını engellemek üzere negatif basınç altında tutulurlar. Bu makalede bir laboratuvardaki mahal basıncının geçici rejim cevabını incelemek üzere basit bir model geliştirilmiştir. Yazar, geliştirilen modeli kullanarak laboratuvardaki çeşitli fiziksel değişikliklerin mahal basıncı üzerindeki etkilerini incelemiştir. İncelenen fiziksel değişkenler laboratuvardaki saatlik hava değişim sayısı, laboratuvar kabuğunun (laboratuvarı çevreleyen duvar, kapı pencere vb.) hava sızıntı karakteristiği, kontrol sisteminin zaman sabiti gibi değişkenlerdir. Ayrıca laboratuvarın negatif basınçlandırılmasını sağlayacak debi farklarının ve basınç değerlerinin belirlenmesinde mahal için yazılacak kütle ve enerji korunumu denklemlerinin önemi üzerinde durulmuştur.

2.3 Laboratuvar Mahal Basıncı Kontrol Sistemleri [Hitchings, D.T.,1994]

Makalede, laboratuvar mahal basıncı kontrol sistemlerinin seçimi ve tasarımı aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanmakta ve tavsiyeler verilmektedir. Dikkat edilmesi gereken hususlar kısaca şöyle sıralanmıştır:

- Laboratuvar tehlike sınıfının belirlenmesi
- Sistemin sabit hava debili mi değişken hava debili mi olacağının belirlenmesi
- Basınç farkına göre kontrol mü yoksa debi farkını göre kontrol mü olacağı
- Negatif yada pozitif basınç gereksinimleri
- Kontrol stabilitesi ve sistem cevabının hızı

- Hata modu analizi
- Bina yapısının mahal basınç kontrolü üzerine etkileri
- Hava dağıtım kanallarındaki kaçakların mahal basınç kontrolü üzerine etkileri

Çalışmada ayrıca kontrol stratejileri sunulmuştur. Mahal basıncı kontrol stratejileri iki ana kategoriye bölünmüştür: pasif ve aktif. Pasif yöntem daha çok sabit hava debili laboratuvarlarda sistemin bir kere istenilen basınçlandırmaya uygun olarak balanslanması esasına dayanır. Bu tip bir tasarımda sistemde sonradan olabilecek değişikliklere (ek olarak bir çeker ocak eklenmesi gibi) uyum çok zor sağlanır. Aktif yöntemde ise mahal basıncına göre üfleme ve egzost kanalları üzerine konulan debi kontrol aygıtları ile istenilen basınçlandırmayı sağlamak üzere çalışan dinamik bir sistem söz konusudur.

Sonuç olarak, makalede, laboratuvar mahal basıncı kontrol sistemleri tanıtılmış ve çeşitli tasarım esasları sunulmuştur. Kontrol sistemleri için pek çok method ve ekipman olduğu, seçimin ise firma verileri, deneyim, nesnel deneyler veya bir laboratuvar danışmanından alınacak tavsiyelerle yapılabileceği vurgulanmıştır. Method ve ekipman dışında laboratuvar kabuğu ve yerleşiminin de sistemin başarısı ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

2.4 Mahal Basınçlandırması Problemi [Blaser, J.,1994]

Bu çalışma, Basle kentinde kurulu bir ilaç fabrikası örneği üzerinden pnömatik kontrollü temiz odalarda basınç kontrolü probleminin irdelenmesi üzerinedir. Çalışmada öncelikli olarak iyi yalıtılmış bir odada üfleme ile emiş arasında olacak debi farkının oda basıncı üzerindeki etkileri açıklanmış, daha sonra debi farkına bağlı olarak basınç farkının nasıl hesaplanacağı anlatılmıştır. Temiz odalarda basınç kontrolü için ölçme ihtiyaçları ve kontrol sistemi ihtiyaçları belirtilmiş ve mahal basınç kontrolü için geliştirilen çözümler verilmiştir. Bunun yanında, uygulamadan alınan pratik örnekler çeşitli ölçüm sonuçları ve grafiklerle verilmiştir.

Çalışma sonuçları beş ana başlıkta toplanmıştır:

- Eğer oda basıncı kontrol edilebilen bir değişkense, o odanın kontrol edildiği söylenebilir.
- Kapıların açılıp kapatılması, oda basınç limitleri dahilinde kalmak koşuluyla teknik olarak bir problem oluşturmamaktadır. Pnömatik kontrollü ekipmanlar kullanılıyorsa, kapılar kapandıktan sonra saniyeler içinde oda basıncı tekrar sağlanabilmektedir.
- Kontrol edilebilirlikten dolayı kapalı odalarda basınç dengeleyici açıklıklara-damperlere ihtiyaç yoktur. Bu tip uygulamalar enerji kaybına sebep olmaktadır.
- Hızlı bir kontrol çevrimi için basınç farkı ölçüm hatları mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.
- Bina içinde çeşitli mahaller arası basınç farklarının kontrolü için tek bir merkezi referans noktası alınmalıdır.

3. BASINÇLANDIRMANIN TEMELLERİ

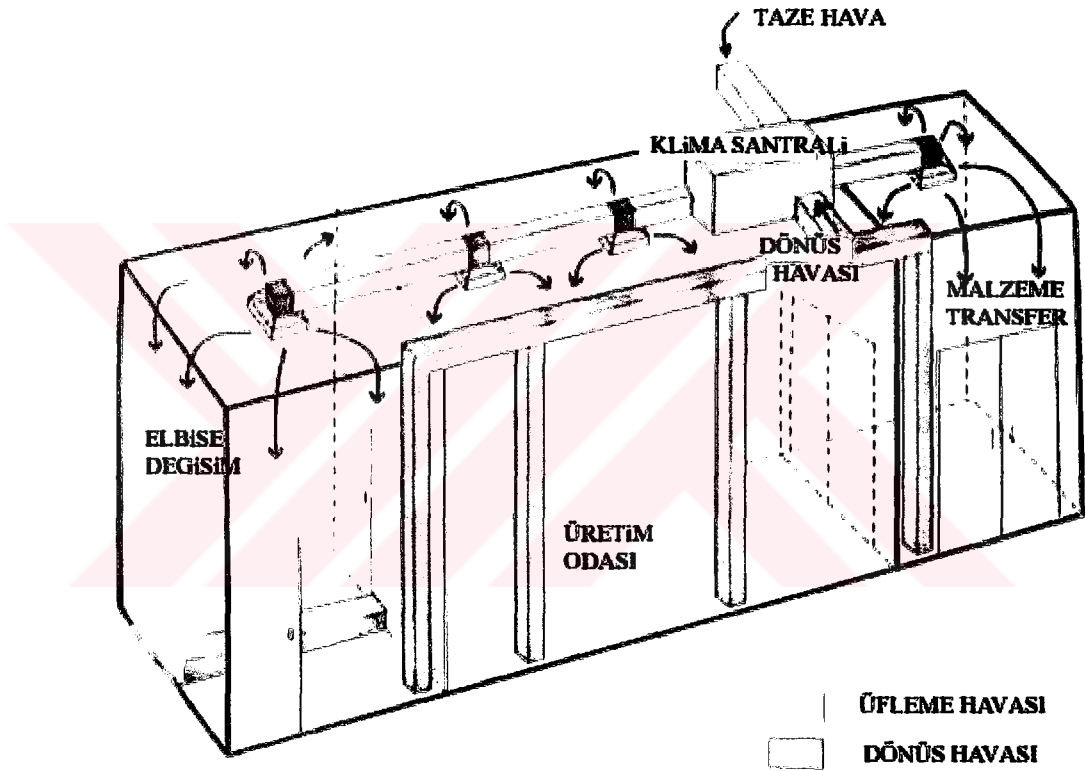
Temiz odalarda kontrol altında tutulmak istenilen önemli parametrelerden birisi de oda basıncıdır. Oda basıncının kontrol altında tutulması, temiz odanın tanımı gereği vazgeçilmez bir tasarım kriteridir. Giriş bölümünde verilen temiz oda tanımında, temiz odanın “oda içerisine tanecik girişini” engelleyecek tarzda inşa edilmiş ve kullanılan bir oda olduğundan bahsedilmektedir. Oda içerisine tanecik girişini engellemenin yolu ise oda basıncını kontrol etmektir. Bu bölümde, temiz odalarda basınçlandırma ve basınç kontrolünün temelleri, basınçlandırmayı etkileyen parametreler, basınç kontrolü yöntemleri, kaçak hava debisi ve sızıntı alanlarının tespiti konularına yer verilecek ve bunun yanında çeşitli uygulamalardan basınç kontrolü ile ilgili örnekler sunulacaktır.

3.1 Temiz Odalarda Basınçlandırma ve Hava Akışının Kontrolü

Dış havadaki kirli taneciklerin, içinde bulundukları kirli hava ile birlikte temiz oda içerisine sızması sıkça karşılaşılan bir sorun olmakla birlikte iyi bir tasarımla bu sorunun üstesinden gelinebilir. Kirli havanın temiz oda içerisine sızması ancak bina yapısındaki çatlak ve boşluklardan olabilir. Bu durumda bir temiz odanın yapısında, havanın sızabileceği boşluk ve çatlaklar minimize edilmelidir [5]. Her ne kadar bina yapısı sızdırmaz olsa da, özellikle odaya girişi sağlayacak kapı etrafındaki boşluklar gibi sızıntı kaynakları olacaktır. Bunların dışında, işçilik kalitesi gibi faktörlere de bağlı olarak odaya havalandırma kanallarının giriş kısımları, elektrik ve tesisatla ilgili boruların giriş yerlerinde de sızıntı alanları oluşabilir. Bu tip sızıntıların engellenebilmesi için de oda basınçlandırılmalıdır.

Bir temiz oda, çevresindeki mahallere göre daha yüksek basınçlı olursa hava akışı yada diğer bir deyişle hava sızması temiz odadan komşu mahallere doğru olacaktır. Bu ise odanın sterilizasyonunun garanti altında olması demektir. Temiz odaların basınçlandırılması bu açıdan önem kazanmaktadır.

Özellikle ilaç sanayi gibi temiz oda uygulamalarında temiz oda sütleri birden çok temiz odadan oluşur. Her bir temiz odada   retimin çeşitli safhaları vardır. Bir odada hammadde işlenirken diğer bir odada dolum, bir diğerinde ise paketleme ve etiketleme gibi işlemler s  urmektedir. Bu tip durumlarda kademeli bir basınçlandırma söz konusu olur. Oda basınçları, havanın temiz bir alandan daha az temiz olan bir alana doğru akışını sağlayacak şekilde olmalıdır. Örneğin   ekil 3.1’de görülen temiz odada hava akışı temizlik sınıfı daha yüksek olan üretim odasından elbise değiştirme ve malzeme transfer odalarına ve bunlar üzerinden dı   koridora doğru olmalıdır.



Şekil 3.1 : Türbülanslı hava dağılımı bir temiz oda

Temiz oda, içeri kirli hava girişini engellemek üzere pozitif basınç altında tutulmalıdır. Peki bu basınçlandırma hangi mertebede olmalıdır? Bu sorunun cevabı şimdiye kadar çıkarılmış çeşitli temiz oda standartlarında verilmiştir:

Temiz odalarla ilgili ilk standartlardan olan Amerikan Federal Standardı 209B bölüm 30.5’de oda basıncı ile ilgili olarak bir temiz oda ile daha az temiz olan (temizlik

sınıfı düşük olan) bir başka oda arasında kapılar kapalı iken minimum 0,05 inch su sütunu (12 Pa) basınç farkı olmalıdır denilmektedir.

Gıda ve ilaç sanayi ile ilgili bir diğer Amerikan kuruluşu FDA (Food and Drug Administration)'in yönetmeliğinde ise aseptik işlemlerin yapıldığı alanların komşu alanlara göre pozitif basınçta tutulması gerektiğini belirterek 12 Pa'ın kabul edilebilir bir basınç farkı olduğunu belirtmektedir.

İngiliz iyi ürün üretim klavuzu UK GMP (Good Manufacture Practice)'nin Ek 1 kısmında ise en büyük basıncın ürün için en riskli alanda olması gerektiğini ve üst risk seviyesindeki bir alanla daha düşük risk seviyesindeki alan arasında en az 1,5 mmSS (15 Pa) basınç farkını öngörmektedir.

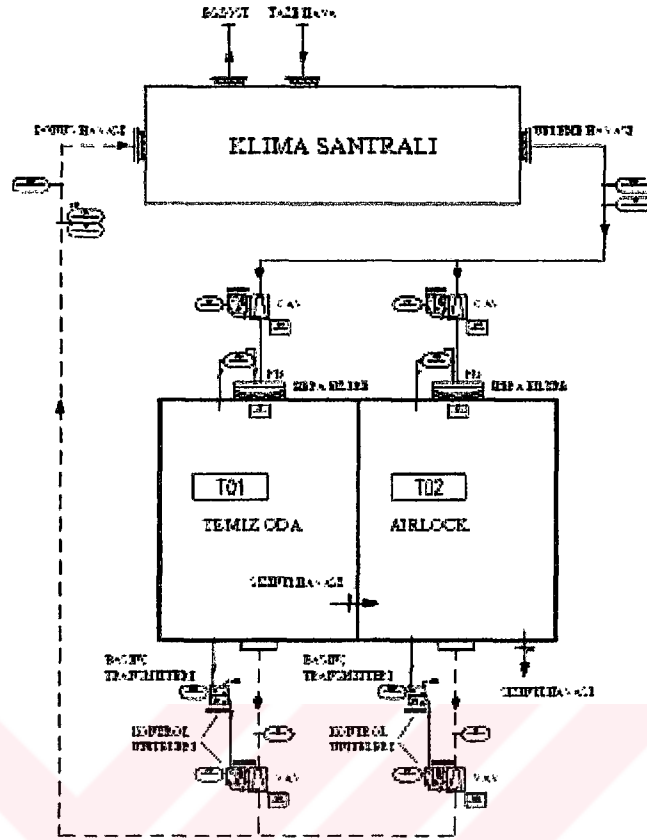
Bunlardaki ortak görüş temiz odalar arasındaki basınç farkının 15 Pa olmasının yeterli olacağı yönündedir [5]. Bu seviye hali hazırda elde edilebilir, ölçümü kolay ve kirli hava girişini engelleyecek bir seviyedir. Basınç farkının daha fazla olmasını gerektirecek uygulamalar da olabilir. Ancak, fazla basınçlandırma yapmanın da bazı sakıncaları vardır. Şöyle ki, aşırı basınçlandırmada kapı aralıklarından sızan hava ısıklık sesi çıkartır ve kapıların elle açılması da zorlaşır.

Bir temiz odanın komşu mahale göre pozitif basınçta olması nasıl sağlanabilir sorusu burada karşımıza çıkmaktadır. Temiz oda içerisinde bir basınçlandırma yapabilmek için oda içerisinde basıncı sağlayacak bir miktarda havanın ortamda bırakılması gerekir. Bunu sağlamanın yolu ise mahale üflenenden havadan daha azının mahalden çıkmasını sağlamaktır. Diğer bir deyişle, basınçlandırma temel olarak, besleme havası ile dönüş/egzost havası arasındaki oranın kontrolü ile yapılır. Bu oranın kontrolü de oda içerisine yerleştirilecek bir fark-basınç duyar elemanından gelecek sinyallere göre aşağıdakilerden bir veya birkaçına kumanda ederek yapılır [2]:

- üfleme ve/veya dönüş/egzost kanalı üzerindeki damper,
- fan girişindeki kanatçıklar,
- fan kanatları veya
- fan motoru devrine.

Burada fana yapılan müdahalelerle basınçlandırmanın yapılması ve kontrolü genellikle, klima santrali tek bir mahale hitap ediyorsa kullanılır. Birden çok mahale hitap eden klima santrallerinde, her bir mahal kendi içerisinde bir basınç kontrolü gerektireceğinden daha çok her mahalın dönüş veya üfleme kanalı üzerine konulacak motorlu oransal damperlerle veya çoğunlukla kullanılan VAV – değişken hava debisi cihazları ile basınçlandırma sağlanır.

Pozitif basınçlı temiz odalarda son zamanlarda kullanılan en yaygın basınçlandırma uygulaması değişken hava debi cihazlarının (VAV-Variable Air Volume flow) kullanılmasıdır. Bu uygulamada üfleme kanalı üzerine, çalışma prensibi olarak bir VAV cihazından farklı olmayan CAV (Constant Air Volume flow) – sabit hava debisi cihazı yerleştirilir. CAV cihazının fonksiyonu üfleme havasını sabit tutmaktır. Temiz odalarda hava difüzörlerinden önce HEPA filtreler yerleştirilir. Bu filtrelerin kirliliği arttıkça basınç kayıpları da artar ve sonuç olarak geçecek hava debisi miktarı azalır. CAV cihazı buna karşılık debiyi sabit tutar. Emiş kanalı üzerine de VAV cihazı yerleştirilir. VAV cihazının fonksiyonu ise oda içindeki basınç transmitterinden aldığı sinyallere göre dönüş havasını kısarak veya açarak ayarlanan basınç farkı değerini sağlamaktır. Şekil 3.2’de bu sistem şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.2 : CAV ve VAV kullanılan bir temiz oda akım şeması

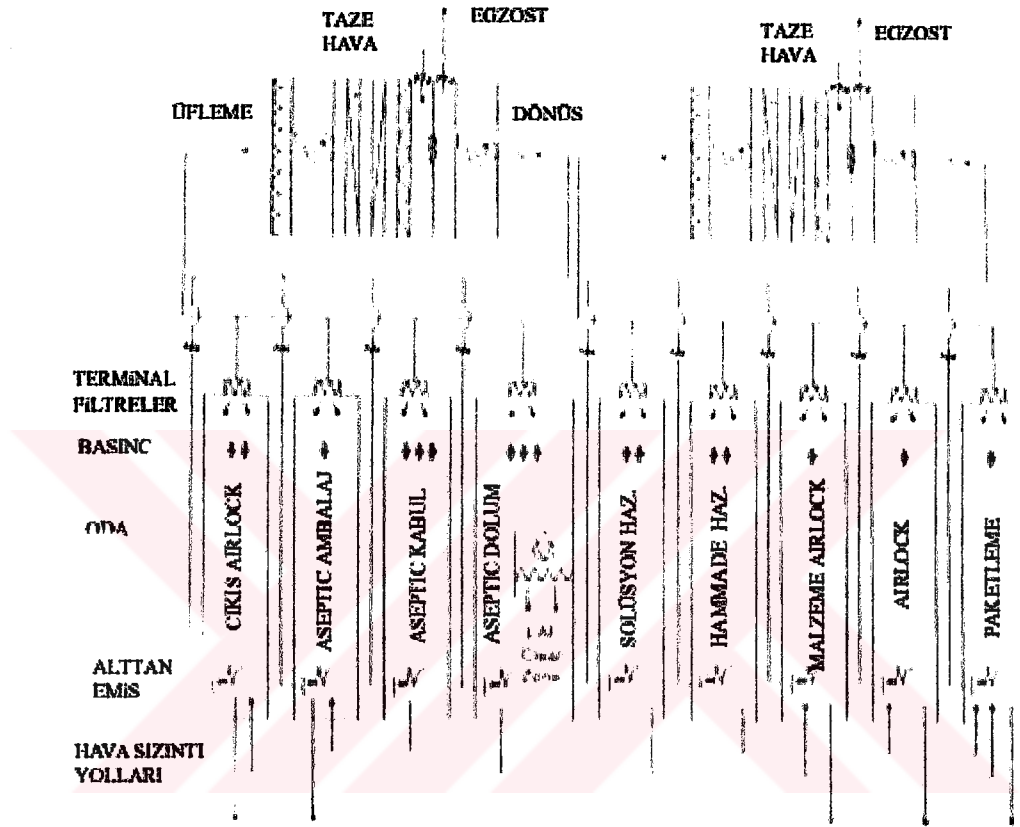
Basınçlandırma metotları olarak olaya bakmak gerekirse iki ana yöntem ön plana çıkmaktadır:

3.1.1 Kapalı Kapı Yöntemi

İki komşu mahal arasında kapılar kapalı iken aralarında basınç farkı yaratacak şekilde boşluklardan olan sızıntı hava akışına bağlı bir debi farkı (besleme ile dönüş arasında) oluşturmak yoluyla basınçlandırmaktır. Bu yöntemde, mahaller arasındaki kapı açıldığında oluşan türbülans ve sıcaklık gradyeni dolayısıyla bir miktar hava alış-verişi olabilmektedir. Bunu önlemek için de air-lock (hava kilitleri) kullanılır.

Kapalı kapı yöntemine bir örnek Şekil 3.3'de görülmektedir. Burada her bir odaya üflenen hava miktarları temizlik sınıfına ve soğutma yükü ihtiyaçlarına göre belirlenir. Odalardan yapılan egzostlar ise doğru basınç farklarını elde etmek için ayarlanır. Odalardan emilen hava miktarları manuel olarak veya oda basıncından

kumanda alan otomatik damperlerle ayarlanabilir. Bu tip bir kapalı kapı çözümünün avantajı sistemin basitliği ve buna paralel olarak çok az bir problemle işlemesidir. Her bir odadaki üfleme ve emiş havaları balanslandıktan sonra odalar arasındaki hava alışverişi minimize olacaktır [5].



Şekil 3.3 : Kapalı kapı yaklaşımıyla tasarlanmış bir temiz oda suiti akım şeması

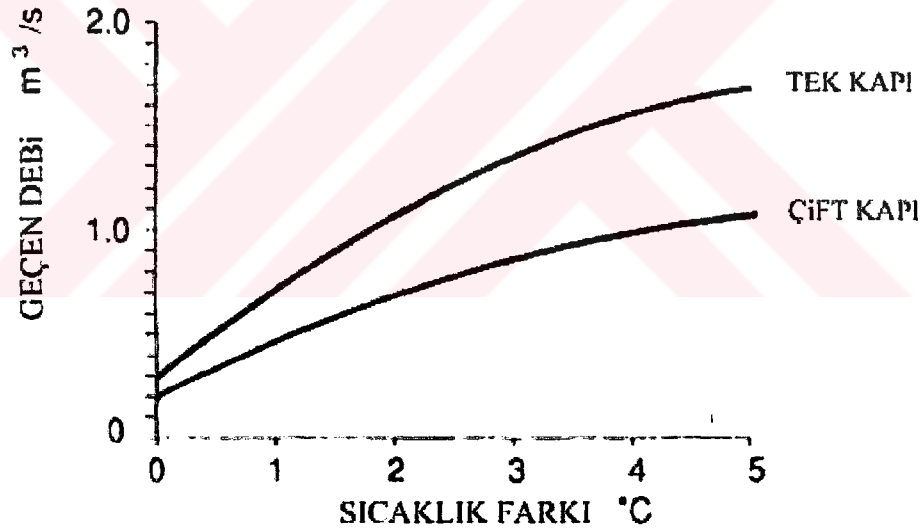
Kapalı kapı yöntemindeki en önemli hususlardan birisi odadan dışarıya olan sızıntı havası miktarının öngörülmesidir. Bu miktarın nasıl bulunabileceğine ilerleyen bölümlerde değinilecektir.

3.1.2 Açık Kapı Yöntemi

Açık kapı yöntemi, temiz odanın kapısı açıkken içeri kirli havanın girmesini engelleyecek miktarda havanın kapı boşluğundan dışarı doğru akması esasına dayanır. Daha çok air-lock koymanın uygun olmayacağı ameliyathane gibi

uygulamalarda tercih edilir [5]. Bu yöntemin dezavantajı, birden çok oda ve kapının bulunduğu durumlarda ters hava akışlarının olmayacağını garanti edebilen bir sistemin tasarlanmasının zor olmasıdır. Buna rağmen, havalandırma sistemi basit tutulursa geçerli bir çözümdür.

Açık bir kapıda, hava difüzörlerinin oluşturduğu türbülans nedeniyle kapının ayırdığı iki alan arasında bir hava hareketi olması kaçınılmazdır. Bu hava hareketi iki mahal arasında bir sıcaklık farkı olması durumunda ise daha da fazla olacaktır. Örneğin, bir çift kapı sıcaklık farkı yokken her iki yönde 0,19 m³/s' lik bir hava alışverişine izin verirken, bu değer 2 °C' lik bir sıcaklık farkı olduğu zaman 0,24 m³/s' ye çıkmaktadır. Bu hava alışverişini engellemek için açık kapı yönteminde hava akışının daha az temiz olan alana doğru olması gerekir. Bunu sağlamak için gerekli hava debileri Şekil 3.4'de bir grafik olarak verilmiştir [5].



Şekil 3.4 : Bir kapı boşluğunu izole etmek için gerekli hava debileri

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi sadece kapıdan olacak hava akışını karşılamak üzere sıcaklık farkına bağlı olarak 720 m³/h' den 6.000 m³/h' lere kadar hava debilerine ihtiyaç olmaktadır. Bu büyüklükte bir hava debisi kapılar kapalı iken odada aşırı basınçlanmaya sebep olur. Bu yüzden bu tip uygulamalarda basınç dengeleyici damperler kullanılır. Bu damperlerden geçmesine izin verilen hava debilerinden dolayı bir enerji kaybı söz konusu olur. Açık kapı sistemi yerine iyi dizayn edilmiş

bir kapalı kapı yöntemi ve etkin bir otomatik kontrol sisteminin entegrasyonu ile hem hava geçişlerini engelleyen hem de enerji ekonomisi sağlayan sistemler tesis edilebilir [6].

3.2 Kaçak Hava Debisi ve Sızıntı Alanlarının Saptanması

Basınç farkının bağlı olduğu ve çoğu zaman kesin olarak saptanması güç olan bir parametre de odanın çevresindeki havanın sızabileceği kaçak alanlarıdır. Bunlardan en belirgin olanı kapı ve pencerelerin çerçevelerinden olan hava kaçaklarıdır. Bunun yanında, odanın inşaat kalitesine, odaya giren hava kanallarının yada elektrik borularının çevrelerinin izolasyon kalitesine bağlı olarak sızıntı alanları artabilmektedir.

Odanın çevresi ile olan basınç farkına bağlı olarak, belli bir debide hava, sızıntı alanlarından oda dışına sızacaktır. Teorik olarak bakıldığında bu hava, aynı zamanda basınçlandırma için gerekli olan üfleme ve dönüş havaları arasındaki debi farkıdır. Bir başka deyişle, bu miktardaki hava odada bırakıldığında, açıklıklardan oda dışına sızarak odanın pozitif basınç altında kalmasını sağlayacaktır. Kaçak hava debisinin hesaplanması ile ilgili olarak, çeşitli kaynaklarda formülasyonlar verilmiştir. Bu formülasyonların hepsi aynı yapıda olup temel olarak; sürekli halde tam gelişmiş laminar akış gibi birçok birleştirici kabul yapılarak, bir ideal durum olan sonsuz büyüklükte paralel levhalar arasındaki akış için Navier-Stokes denklemlerinin çözümüne dayanır [4].

ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 23'e göre bir açıklıktan akan havanın debisi için en çok kullanılan ifade aşağıda verilmiştir:

$$Q = C_D A \sqrt{2\Delta P / \rho} \quad (3.1)$$

Burada;

Q = hava debisi m^3/s

C_D = açıklık için direnç katsayısı, *boyutsuz*

A = açıklığın kesit alanı, m^2

ρ = havanın yoğunluğu, kg/m^3

ΔP = açıklığın iki tarafı arasındaki basınç farkı, Pa dır.

Direnç katsayısı C_D , açıklığın geometrisine ve akıştaki Reynolds sayısına bağlı olan boyutsuz bir sayıdır. Laminer akışta C_D , basınç farkının karekökü ile ilişkilidir; dolayısıyla Q , ΔP ile doğru orantılıdır. Türbülanslı akışta ise sabit bir Reynolds sayısında direnç katsayısı sabittir ve dolayısıyla Q debisi, $\sqrt{\Delta P}$ ile doğru orantılıdır.

Laminer ve türbülanslı akışlar için yapılan bu açıklamalar, sabit kesitli kanallardaki tam gelişmiş akış ve bu kanallardaki diyaframlar için geçerlidir. Yapılardaki açıklıklar ise genellikle bu kadar düzgün değildir. ASHRAE bu durum için aşağıda verilen üstel kuvvet denklemi olarak adlandırılan eşitliği tanımlamıştır:

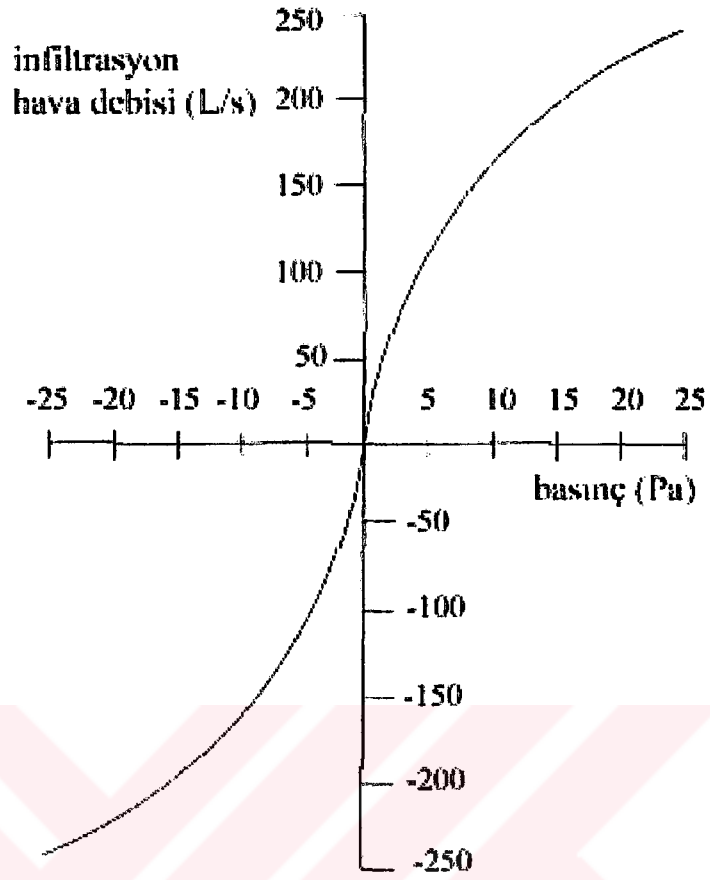
$$Q=C(\Delta P)^n \quad (3.2)$$

Burada;

C = akış katsayısı, $m^3/(sPa^n)$

n = akış üssü, boyutsuz (genelde 0,65) olarak tanımlanır.

Buradaki C katsayısı orifis geometrisine göre değişen bir katsayıdır. C , kanal sızdırmazlık testlerine benzer bir test olan fan basınçlandırma testi ile ampirik olarak belirlenir. n sayısı ise, ASHRAE tarafından genellikle 0,65 civarında değeri olan basınç üssüdür. Şekil 3.5' de üstel kuvvet denklemini ifade eden infiltrasyon eğrisinin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.5 : Hava sızıntı (infiltrasyon) eğrisi (üstel kuvvet denklemi)

Bir temiz odanın kapalı kapısı etrafındaki ve diğer boşluklar bir orifis olarak modellenecek olursa ve elde edilmek istenilen basınç farkı, boşlukların geometrik katsayısı ve ampirik katsayı n biliniyorsa, ASHRAE'nin verdiği (3.2) formülü gereği basınçlandırma için gerekli debi farkı hesaplanabilir [7].

Whyte (1999)' ın verdiği bağıntıya göre ise kaçak hava debisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q = A\alpha\sqrt{\Delta P} \quad (3.3)$$

burada;

Q = hava debisi m^3/s

A = sızıntı alanı, m^2

ΔP = basınç farkı, Pa

α = boşalma katsayısı (0,85)dır.

Bu bağıntıyla, eğer kapı etrafındaki toleranslar biliniyorsa kaçak hava debisinin hesaplanması mümkündür. Ancak kapı toleransları genellikle montaj işçiliği ve yapısal detaylara bağlıdır ve odanın kabul testleri yapıłana kadar bunun belirlenmesi kolay değıldir. Burada tavsiye edilen, klima santrallerinin beklenenden daha fazla bir sızıntıyı karşılayacak kapasitede olmasıdır [5].

Blaser (1994)' ın ortaya koyduğı bağıntı ise yine benzer bir yapıda olup aşağıdaki gibidir:

$$Q = A\mu\sqrt{2\Delta P/\rho} \quad (3.4)$$

Burada farklı olarak boşalma katsayısı μ ile verilmekte, değeri geometriye bağılı olarak genellikle 0,72 civarında olmaktadır.

Bu formölasyonların hepsi ortak bir yapıdadır ve bir orifisdeki akıştan hareketle bulunmaktadırlar. Bunlardan ASHRAE'nin verdiğı (3.2) no.lu denklem en genel hal için geçerlidir.

Kaçak alanlarının saptanması daha çok deneysel yöntemlere dayanmaktadır. ASHRAE Temel El Kitabı Bölüm 23'de pek çok yapı bileşeni için etkin kaçak alanları tablolar halinde verilmiştir. ASHRAE' nin yanı sıra, özellikle kapı ve pencereler için sızıntı alanı değeriİngiliz yangından korunma standardı olan BS5588 bölüm-4'de verilmiştir. Bu standart yangından kaçış yollarında basınçlandırma yoluyla duman kontrolü hakkındadır.

Temiz odalarda, duvarlar veya tesisat geçişlerindeki boşluklardan çok kapı ve pencerelerin etrafından olan sızıntılar ön plana çıkmaktadır. Diğer sızıntılar yok yada ihmal edilebilecek kadar azdır. Bunun nedeni temiz odaların yapıım tekniklerinin oldukça gelişmiş olmasıdır. Yukarıda bahsedilen standartlardan kapılar için kaçak (sızıntı) alanları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir. Pencereler için verilen değeriİngiliz verilmemiştir, zira temiz odalarda pencere ya olmamakta ya da oldukça özel, açılmayan, sızdırmaz contalı pencereler kullanılmaktadır.

Tablo 3.1 : ASHRAE Bölüm 23'e göre etkin kaçak alanları.

	Birimler	En İyi Tahmin	En Küçük	En Büyük
Kapılar				
Genel, ortalama	lmc*	0,31	0,23	0,45
Tek kanatlı,contasız	cm ² /adet	21	12	53
Tek kanatlı,contalı	cm ² /adet	12	4	27
Çift kanatlı,contasız	cm ² /m ²	11	7	22
Çift kanatlı,contalı	cm ² / m ²	8	3	23

*lmc=yarığın doğrusal uzunluğu, metre

Tablo 3.2 : BS 5588 Bölüm-4'e göre kapılar için kaçak alanları.

Kapı Tipi	Boyutu (m)	Yarık uzunluğu (m)	Kaçak Alanı (m ²)
Tek kanatlı, basınçlandırılan alana açılan	0,8x2,0(h)	5,6	0,01
Tek kanatlı, basınçlandırılan alandan dışa açılan	0,8x2,0(h)	5,6	0,02
Çift kanatlı	1,6x2,0(h)	9,2	0,03

3.3 Basınç Kontrolü

Temiz odalarda, havalandırma sistemi basınçlandırmaya uygun boyutlandırıldıktan sonra, işletme sırasında oda basıncının kontrol edilmesi gerekir. Basınç kontrolü, temel olarak iki türlü yapılabilir; aktif ve pasif [8].

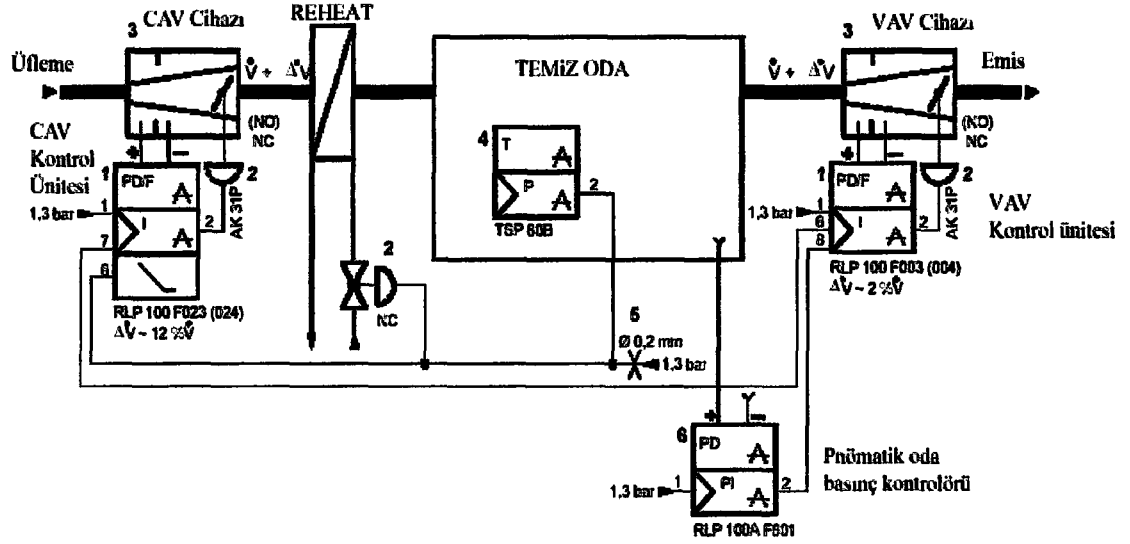
Pasif metot, sistemin istenilen basınç farkına göre balanslanması ile yapılır. İstenilen basınç farkı değerine göre üfleme ve emiş hava debileri bir kez ayarlanır ve sistem bu şekilde çalıştırılır. Anlaşılacağı üzere bu yöntem durağan bir yöntemdir. Bu yöntemin pek çok sınırlaması vardır. Oda yapısında olabilecek değişimler, ilave

eker ocak gibi bir egzost kaynağı eklenmesi gibi değişikliklerde esneklik sağlamaz. Ayrıca ayar değerleri filtre kirlenmesi gibi üfleme ve emiş performanslarını değiştiren etkileri abzorbe edecek şekilde toleranslı olmak mecburiyetindedir. Sistem için periyodik bir bakım ihtiyacı söz konusudur ve tüm bunlar sağlanamazsa, basınç değerlerinin sağlanması garanti edilemez. Bu yöntem daha çok sabit hava debili laboratuvar uygulamalarında kullanılabilir.

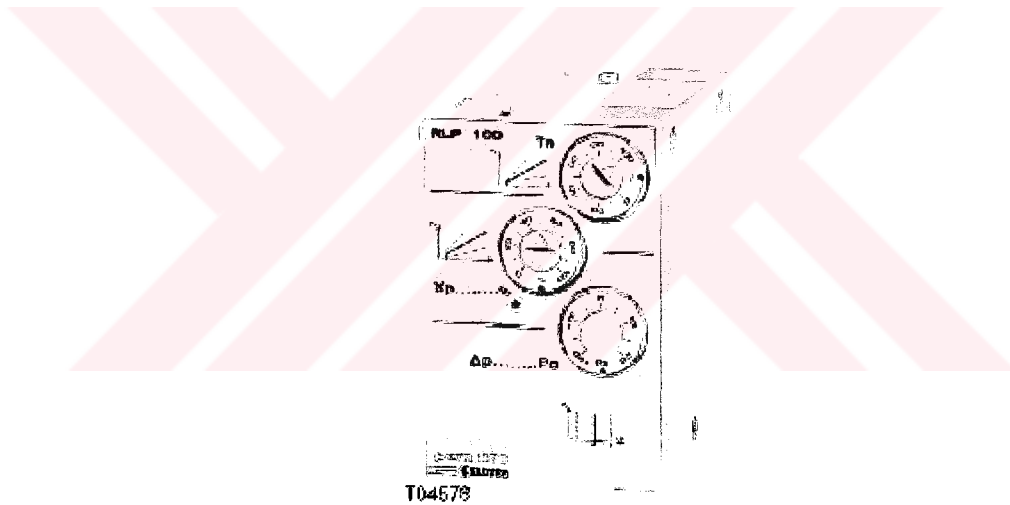
Aktif yöntemde ise mahal basıncına göre üfleme ve egzost kanalları üzerine konulan debi kontrol aygıtları ile istenilen basınçlandırmayı sağlamak üzere çalışan dinamik bir sistem söz konusudur. Aktif sistem dinamik bir sistemdir ve değişen şartlara uyum sağlayan, basınç değerlerinin daha hassas kontrol altında tutulduğu, pasif sisteme göre otomatize bir sistemdir. Statik basınç dalgalanmalarının en aza indirildiği sistemdir. Aktif sistemde üç ana kontrol yolu vardır.

3.3.1 Direkt Basınçlandırma

Direkt basınlandırmada amaç oda ile çevresi arasında istenilen basınç farkının sağlanmasıdır [3]. Bu yöntemin diğer bir adı da basınç farkı yöntemidir. Bu yöntemde basınç farkı bir fark basınç sensörü ve kontrol organı ile kontrol edilir. Burada üflenen hava ile emilen hava debisi arasındaki oran, basınç farkının ve kontrol organının özelliklerinin bir fonksiyonudur. şekil 3.6'da bu yöntemle basıncı kontrol edilen bir odanın kontrol şeması verilmektedir. Burada bir örneği şekil 3.7'de görülen pnömatik bir oda basınç kontrolörü kullanılmıştır. Bu kontrolör dönüş havası üzerine konulmuş VAV kutusunun kontrolörüne kumanda etmektedir. Odadaki basınç değişimlerine göre dönüş havası kısılmakta yada açılmaktadır.



Şekil 3.6 : Direkt basınçlandırılmalı bir temiz oda kontrol şeması



Şekil 3.7 : Pnömatik oda basınç kontrolörü

3.3.2 Debi Kontrolü

Debi kontrolü yönteminde, üfleme havası ile dönüş veya egzost havası arasında gerekli basınç farkına göre belli bir debi farkı muhafaza edilir. Debi farkı yöntemi de denilen bu yöntemde analog veya dijital elektronik kontrollere değişkenler anlık olarak ölçülür ve dinamik hava dengesi denklemi çözülerek kontrol uygulanır [8]. Debi farkı genellikle basınç farkına bir orifis akış denklemi ile bağlıdır [3]. Diğer bir deyişle, debi farkı beklenen hava kaçak debisidir.

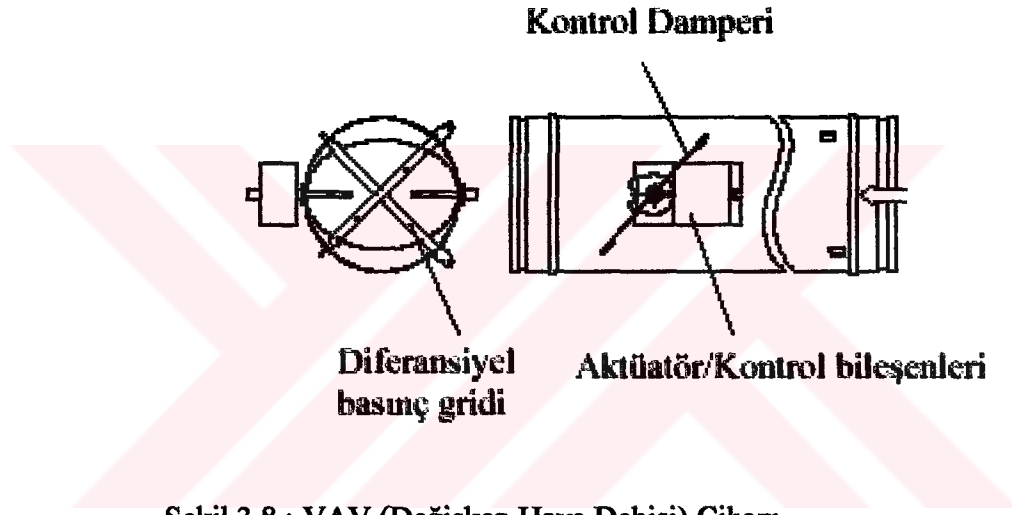
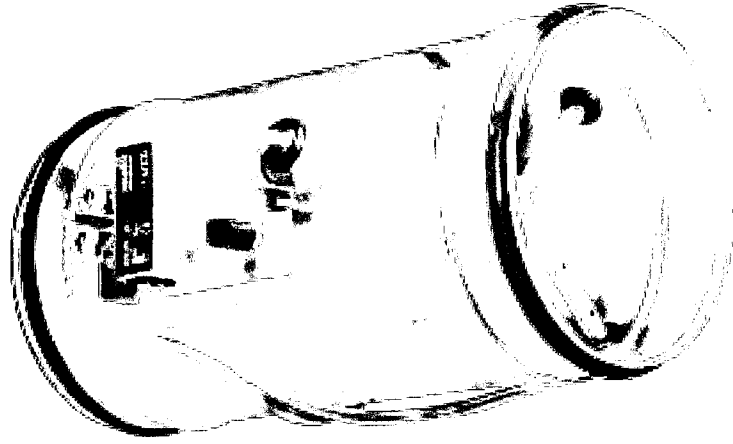
Bu yöntemin bir dezavantajı, debi farkı değerlerinin en fazla altı ayda bir kalibre edilmesi gerekir [8].

3.3.3 Karma Kontrol

Daha hassas bir basınç kontrolü sağlamak üzere anlatılan iki sistemin karışımından oluşan bir sistem geliştirilmiştir. Bu yöntem, debi kontrolü metodundaki debi farkını belirlemek üzere ölçülen basınç-farkı değerlerini kullanan bir otomatik kontrol çevrimidir.

Basınç farkı kontrolü, uygun debi farkı değerlerini dinamik olarak hesaplayıp sunabilir [8]. Eğer oda karakterinde bir değişiklik olursa sistem yeni debi farkı değerini (offset) tayin edip buna uyum sağlayacaktır. Yani kendi kendisini kalibre eden bir sistem ortaya konulmuş olacaktır.

Bu sistemde de hava debilerini ayarlamak üzere VAV kutuları kullanılabilir. Ticari olarak kullanılan bir VAV kutusunun resmi ve çalışma yapısı Şekil 3.8’de görülmektedir. Aktüatör aldığı sinyallere göre cihaz içindeki kontrol damperini hareket ettirmekte ve bu sayede debinin kontrolünü sağlamaktadır. Cihaz bir basınç kontrolöründen sinyal alarak VAV (değişken hava debisi cihazı) olarak kullanılabileceği gibi, kanal üzerindeki bir debi sensöründen sinyal alarak CAV (sabit hava debisi cihazı) olarak da kullanılabilir.



Şekil 3.8 : VAV (Değişken Hava Debisi) Cihazı.

3.4 Uygulama Örnekleri

3.4.1 Bern Viral Hastalıklar ve Bağışıklık Sistemi Enstitüsü, İsviçre

İsviçre'nin Bern kentinde kurulu olan Viral Hastalıklar ve Bağışıklık Sistemi Enstitüsü (IVI – The Institute for Viral Diseases and Immune Prophylaxis) ulusal hayvan hastalık salgınlarını engelleme çalışmaları çerçevesinde, yüksek bulaşıcılığa sahip viral hastalıklar üzerine araştırmaların yapıldığı bir enstitüdür. Bu hastalıkların en tehlikeli yanı sosyoekonomik ve sıhhi açıdan felaketlere sebep olabilecek kadar hızlı yayılabilmeleridir. Bu yüzden bu hastalıkların hızlı teşhisi önem kazanmakta, dolayısıyla sürekliliği olan uygulamalı araştırmaların zorunluluğu öne çıkmaktadır. Viral hastalıklarla ilgili yapılan bilimsel çalışmalar enfekte hayvanlar, hücre

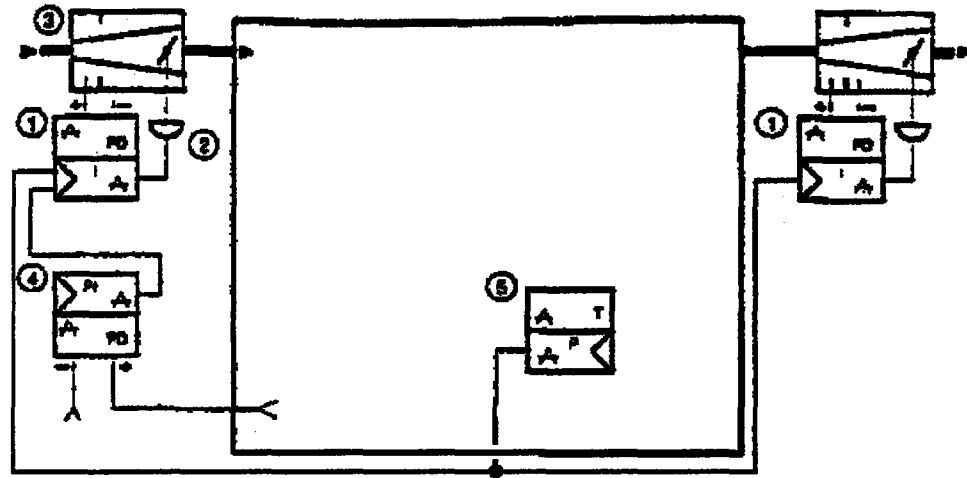
kültürleri, tehlikeli virüsler ve mikro organizmalarla çalışmayı gerektirmektedir. Bu sebeplerden, bu tarz bir enstitünün gerektirdiği güvenlik önlemleri oldukça fazladır. Uygulanan kurallar ve bina yapısı dışında tabii ki havalandırma sistemi de güvenliği sağlamalıdır. Bina dışına herhangi bir sızmayı engellemek üzere basınç kontrolünün önemi ortaya çıkmaktadır.

Basınç kontrolü sisteminden önce bina ve havalandırma sistemi hakkında bilgi vermek gerekirse, bina modern bir çiftlik görünümünde olup mimari olarak iyi tasarlanmış, gelişmiş bir bina kompleksidir. Güvenlik odaklı yapım metodu kutu-içinde-kutu prensibi ile açıklanabilir; şöyle ki binanın dış kısımlarında yüksek riskli odalar konumlandırılmamıştır. Bina çeşitli güvenlik ihtiyaçlarından dolayı “temiz” ve “yüksek güvenli” alanlar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bina oldukça sızdırmaz bir yapıda olup göreceli olarak negatif basınç altındadır. Laboratuvarların bulunduğu yüksek güvenli bölümler, daha az negatif basınçta olan tampon bölgelerle ayrılmıştır.

Binanın havalandırma sistemi iki-kanallı (dual-duct) sistemdir. Bir kanalla sıcak, diğer bir kanalla da soğuk hava üflenmekte ve mahal ısı yüklerine göre sıcak ve soğuk havalar karıştırılarak odalara verilmektedir. Tesisat mahali çatının altındadır. Sistem herhangi bir arıza durumunda dahi %50 kapasite ile çalışabilecek özellikte yedeklidir.

Bu binanın basınç kontrolünde konvansiyonel yöntemlerden farklı bir yaklaşım kullanılmıştır. Konvansiyonel yöntemlerde oda basınç kontrolörü direkt olarak egzost havası damperine kumanda etmekte idi. Bu durumda oda kapısı açıldığında düşen basınçla beraber egzost hava damperi son limitine ulaşıyor ve odada kapı tekrar kapanana kadar aşırı basınçlanma oluyordu. Bu sistemin biraz geliştirilmişinde ise egzost kanalında egzost damperine bir by-pass çekilerek odadan belli bir alt limitte havanın egzost edilmesi sağlanarak aşırı basınçlanma engellenmekte idi. Bu yöntem her ne kadar kapı kullanımının etkilerini bertaraf etse de, zaman ve maliyet açısından epey bir yük getirmekte idi. Burada kullanılan çözümde, yukarıda anlatılan sistemin avantajları, sisteme yapılan teknik bir ekleme ile elde edilmiştir. Sistem şematik olarak Şekil 3.9’da görülmektedir. Bu yöntemde bir by-pass yerine, oda basınç kontrolörü VAV kontrolörünün ayar değerini doğrulamaktadır. Oda basınç kontrolörünün minimal etkisi ile oda kapısı açıldığında hava damperi ayar

pozisyonundan çokça sapmamakta ve kapı kapandıktan sonra saniyeler içerisinde eski pozisyonuna dönmektedir. Böylelikle oda basıncında yüksek dalgalanmalar yaşanmamaktadır.

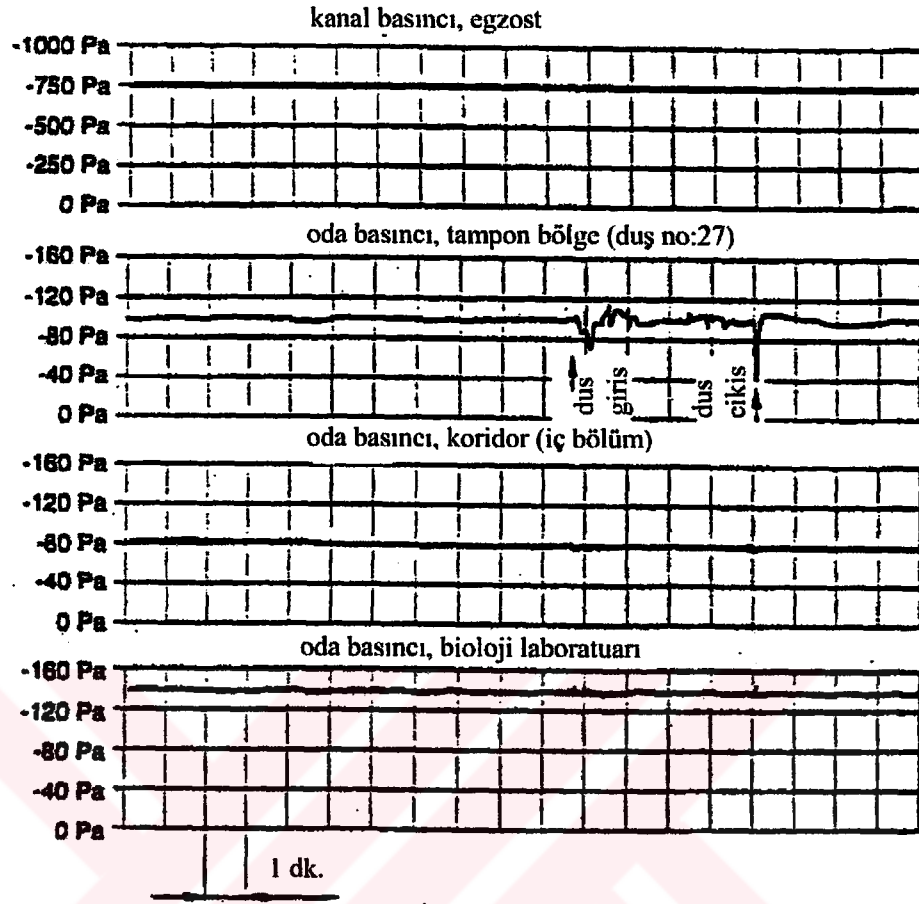


1. Debi kontrolörü
2. Damper motoru
3. VAV kutusu

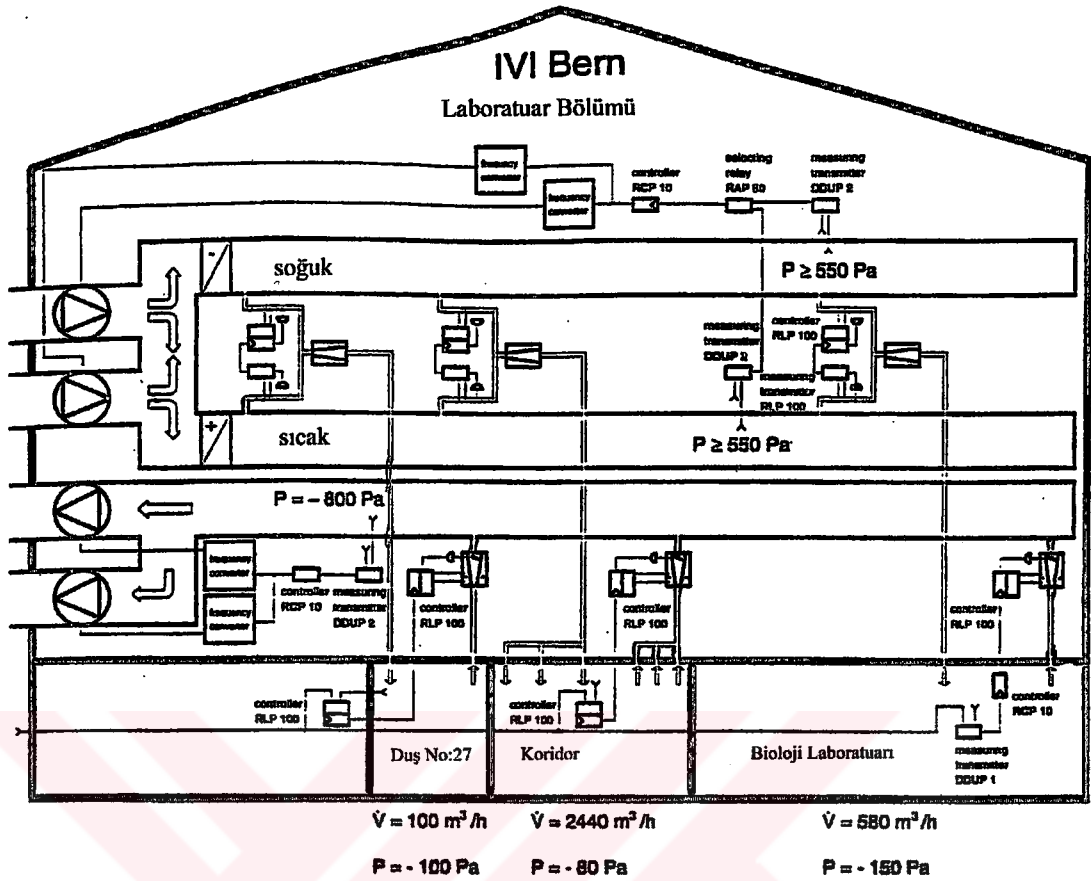
4. Basınç kontrolörü
5. Oda sıcaklık kontrolörü

Şekil 3.9 Uygulanan değişken debi ve basınç kontrolü

Bu tesiste basınç kontrol sisteminin tesisinden sonra bir takım testler yapılmış ve sistemin etkili çalıştığı ortaya konulmuştur. Enstitünün laboratuvar kısmından alınan bazı ölçüm sonuçları Şekil 3.10’ da grafik olarak verilmiştir. Sistem şematik olarak Şekil 3.11’de görülmektedir. Şekil 3.10’da sonuçları görülen ölçümler %100 hava debisinde alınmıştır. Burada tampon bölgedeki hava duşlarının dört dakika boyunca kullanımda olduğu kontrol karakteristikleri görülmektedir. Tampon bölgeden çıkış anında görülen pik basınç kapının kapatılması esnasında oluşan hava akımından kaynaklanmaktadır. Dikkat çeken bir diğer husus da egzost kanalındaki hava basıncının sabit kalmasıdır. Komşu mahal basınçları da duş kısmındaki değişimlerden çok etkilenmemektedir. Burada iyi bir basınç kontrolü söz konusudur. Bu sonuç pnömatik kontrol ünitelerinin hızına, saf analog karakteristiğine ve kararlı yapıdaki damper pozisyonlamasına bağlanabilir.



Şekil 3.10 : Basınç ölçümleri



Şekil 3.11 : Laboratuvar bölümü prensip şeması

3.4.2 Pozitif Basıncı Bir Karantina Odası Basınç Testleri

Basınç testleri, bir tıp merkezindeki organ nakli yapılan hastalarının tutulduğu pozitif basınçlı 18 m^2 'lik bir karantina odasında yapılmıştır. Karantina odası ile asansör holü arasında, asansör şaftlarındaki piston etkisi ile oluşacak basınç dalgalanmalarını engellemek üzere bir hava kilidi (air-lock) vardır. Oda giriş kapısı $1,2 \text{ m}$ genişliğinde üstü ve iki yanları sızdırmaz contalı, altı 19 mm boşluklu bir kapıdır.

Ayrıca odaya bitişik, kapısının üst ve yanları contalı, altı contasız bir de banyo bulunmaktadır. Odada aydınlatma gömme akrilik camlı flüoresan lambalı armatürlerle sağlanmaktadır. Oda penceresi açılmayan sızdırmaz yapıda bir penceredir. Asma tavan ise contalı modüler tiptedir. Oda duvar ve yerleri yapım standartlarına göre yeteri miktarda sızdırmazlığı sağlamaktadır. Tuvaletten diğer tuvaletlerle ortak bir fanla egzost yapılmaktadır. Oda içinde ayrıca bulunan lavabonun da pissu gideri çevresi izole edilmiştir.

Odaya hava üflenmesi basınçtan bağımsız HEPA filtreli bir mini klima santralinden yapılmaktadır. Odadan ayrı bir hücreli fanla egzost yapılmaktadır. Yapılan ölçümlerde, üfleme ve egzost hava debileri debi ölçüm lüleleri ile yapılmıştır. Basınç farkı ölçümleri ise oda ortasına yerleştirilen probun hortumu kapı altından geçirilerek oda dışındaki dijital manometreye bağlanarak yapılmıştır. Ayrıca, odanın ne zaman pozitif basınç altında olduğunun anlaşılabilmesi için de giriş kapısı üzerine bir hava akış yönü göstergesi yerleştirilmiştir. Göstergenin saydam tüpü hafif bir eğimle oda duvarını delerek odaya açılmaktadır. Tüp içerisindeki küre, akış yönüne göre yer değiştirmektedir. Oda pozitif basınç altında iken küre oda dışına doğru hareket edecektir. Böylelikle odanın ne zaman pozitif basınç altında olduğu anlaşılabilir.

Odada çeşitli hava debisi – basınç farkı ilişkisini veren testler yapılmıştır. Tablo 3.3 bu testlerin özetini sunmaktadır. Testler iki hal için yapılmıştır. Bunlardan ilkinde giriş kapısı altı da dahil olmak üzere izole edilmiş, ikincisinde ise kapı altındaki boşluk izolesiz (contasız) olarak ölçümler alınmıştır. Banyo/tuvalet egzostu ve odadan yapılan egzost miktarları fiziksel olarak değiştirilmemiş fakat oda üfleme havasının değiştirilmesinden dolayı oluşan basınç değişimlerinden dolayı hafif değişimler göstermişlerdir.

Bu ölçümler oda üzerinde yapıldıktan sonra aynı tıp merkezindeki diğer bazı karantina odalarında da minimum 2,5 Pa' lık basınç farkını sağlayacak debi farkını saptamak üzere ölçümler alınmıştır. Gerekli debi farkları 255 m³/h ile 680 m³/h arasında değişmektedir.

Tablo 3.3 : İçinde banyosu bulunan pozitif basınçlı bir karantina odasında basınç farkının debi farkı ile değişimi.

Tuvalet Egzost (m ³ /h)	Oda egzost (m ³ /h)	Toplam egzost (m ³ /h)	Üflenlen hava (m ³ /h)	Debi farkı (m ³ /h)	Oda baccıncı (Pa)
13mm x 900 mm alt boşluklu banyo kapısı kapalı, giriş kapısı izoleli					
190	145	335	665	330	0,25
195	140	335	725	390	1,62
190	145	335	845	510	2,5
Banyo kapısı kapalı, giriş kapısı altında 19mm x 1200 mm alt boşluk					
190	135	325	715	390	0,50
190	135	325	850	525	1,12
150	150	300	1100	800	3,74

Elde edilen bu deneysel veriler ışığında, yukarıda anlatılan yapıda bir odada, 2,5 Pa basınç farkı değerini elde etmek için kapının tamamı izole edilmiş halde 500 m³/h, kapı altının açık olması durumunda ise 680 m³/h' lik bir debi farkı gerektiği sonucuna varılmıştır [7].

3.4.3 Şap Enstitüsü Aşı Taksim Bölümü – Ankara

Şap Enstitüsü, Ankara'da kurulu olup, hayvanlarda görülen şap hastalığı konusunda çeşitli araştırmaların yapıldığı, şap aşısı üretiminin de yapıldığı bir araştırma enstitüsüdür. Bu enstitünün aşı dolum kısmı temiz oda standartlarına göre restore edilmiştir. Bu bölümde aşı steril bir ortamda şişelere doldurulmakta ve daha sonra ambalajlama kısmında ambalajlanmaktadır. Bölüme ait bir de malzeme deposu vardır. Steril odaya hava kilidi olarak kullanılan bir soyunma odasından girilmektedir. Aşı dolum bölümüne ait klima-havalandırma tesisat projesi Ek-A'da verilmiştir.

Restorasyon bünyesinde bu bölüm için bir adet hijyenik klima santrali konulmuş ve havalandırma sistemi temiz oda klaslarına uygun olarak projelendirilmiştir. Ek-A1'

de steril klima tesisat planları görülmektedir. Steril oda ve hava kilidi (air-lock) olarak kullanılan soyunma odasına HEPA filtreli hava difüzörleriyle hava üflenmektedir. Diğer bölümlere ise kanal üzerine ortak bir HEPA filtre konulmuş ve anemostatlarla hava üflenmiştir. Hava emişleri ise alt seviyeden menfezlerle yapılmaktadır. Gidiş hava debilerini ayarlamak ve sabit tutmak üzere VAV cihazları kullanılmıştır. Basınç farkı değerlerinin ayarlanabilmesi için de dönüş havası kanalları üzerine motorlu damperler konulmuştur

Ek-A2'de mahaller arası hava akış yönleri ve oda basınçları görülmektedir. Atmosfer basıncında olan koridor referans noktası olarak 0 Pa alınmıştır. Basınç değerleri en temiz mahal olan steril odaya doğru kademeli olarak artmakta ve bu odanın basıncı +55 Pa değerine ulaşmaktadır. Steril oda ile ambalajlama arasında doldurulan şişelerin ambalajlanmak üzere yan mahale geçişini sağlayan bir tünel vardır. Bu tünel basınç farkı değeri açısından ciddi bir kaçak alanı yaratmaktadır. Bu nedenle bu mahale üflenlen havanın tamamı basınçlandırmayı sağlamak üzere diğer mahallere sızacağından, bu mahalden hava emilmemektedir. Basınçlandırma için gerekli olan hava miktarları da Ek-A2'de görülen proje üzerinde belirtilmiştir.

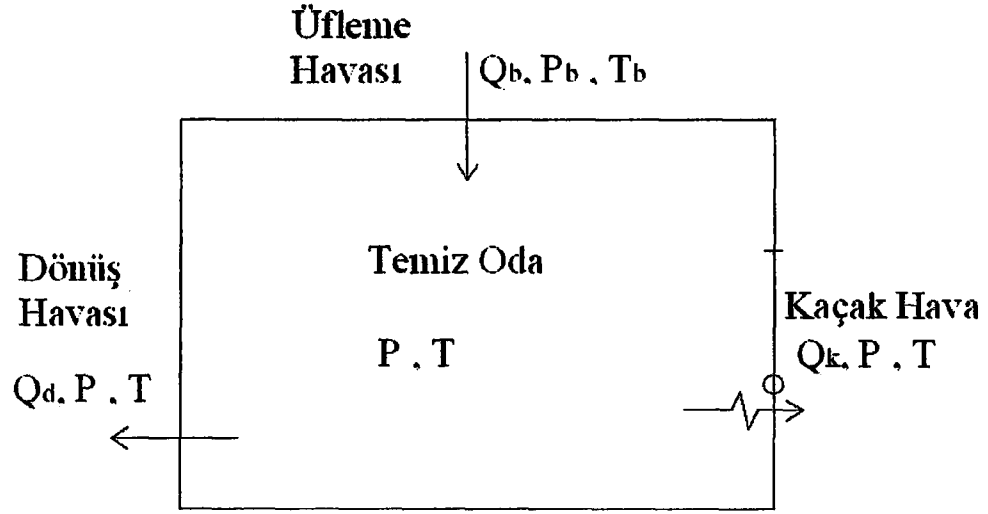
Ek-A3'de ise sistemin otomatik kontrol şeması görülmektedir. Sistemin tüm otomatik kontrolü bir kumanda panelinde toplanmakta ve bu panele de bir bilgisayar yardımıyla kumanda edilebilmektedir. Kumanda etmenin yanında değerler görüntülenip kayıt altına da alınabilmektedir. Sistemin otomatik kontrol senaryosu gereği basınç kontrolü ile ilgili olarak mahal basınçlarını ayarlamak üzere, fark basınç transmitterlerinden alınacak ikazlara göre, ambalaj mahalli dönüş kanalı ve depo dönüş kanalı üzerindeki damper servo-motorlarına kumanda edilecektir. Bu durumda mahal basıncında bir düşme olduğunda otomatik kontrol sistemi dönüş damperlerini kısacak ve basınç farkı değerleri kontrol edilecektir. Tüm bunların yanında burada ayrıca mahaller arasında kirli hava alış-verişini ve basınç dalgalanmalarını engellemek üzere hava kilitleri (soyunma odaları) kullanılmıştır.

4. TEMİZ ODALARDA BASINÇ KONTROLÜNÜN MODELLENMESİ

Basınç kontrolünün tasarımı için kullanılan hesap yöntemleri ampirik yöntemlerdir ve uygulamada ise deneme-yanılma yöntemiyle oda basınçlarının ayarlanması ve dengelenmesi söz konusudur. Bu yöntem sistemde olan geçici etkileri, sonradan oluşabilecek değişiklikleri ve sistemin geçici rejim halini içermemektedir. Bu aşamada, sistemin geçici rejimini de içeren, yani sistem dinamiklerini içeren bir matematiksel model geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Böyle bir modelle odanın sızıntı-kaçak karakteristiği, hava değişim sayısı, otomatik kontrol sisteminin hızı (dolayısıyla tipi) gibi değişkenlerin basınç dinamikleri üzerindeki etkileri simule edilebilir(gerçeklenebilir).

4.1 Model Geliştirilmesi:

Modellenecek temiz oda şematik olarak Şekil 4.1’de görülmektedir. Temel olarak odaya temizlik klasına uygun olarak belli bir Q_b debisinde ve belli bir T_b üfleme sıcaklığında hava üflenmektedir. Üflenmiş bu havanın Q_d kadar debide bir miktarı odadan, santral üzerinden döndürülmek yada egzost edilmek üzere emilmektedir. Odanın pencereleri olmadığı gibi, sadece koridorlara bağlantısını sağlayan tek kanatlı bir kapısı vardır. Bu kapının boşluklarından Q_k debisinde hava, odanın pozitif basınçta olmasından dolayı koridora sızmaktadır.



Şekil 4.1 : Şematik olarak, modellenen temiz oda.

Burada P oda basıncını, T oda sıcaklığını, P_b ise üfleme kanalı basıncını göstermektedir. Oda basıncı için bir model geliştirilirken aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Hava ideal gazdır,
- Oda basıncı üniform olarak dağılmıştır,
- Oda sıcaklığı sabittir,
- Komşu mahal basınç ve sıcaklığı sabittir,
- Üfleme kanalı basıncı sabittir.

Burada oda sıcaklığı sabit alınmıştır. Yapılan çalışmalarda basınç değişimlerinde sıcaklığın sabit kaldığı görülmüştür [3]. Ayrıca oda sıcaklığı daha çok odaya üflenmiş hava sıcaklığı ile ilişkilidir. Dönüş havasında olacak debi değişimleri oda sıcaklığından çok kullanılan klima santrali üzerinde etkili olabilir. Basınç kontrolü de dönüş havası üzerinden yapıldığından oda sıcaklığının sabit alınması doğru bir yaklaşım olur.

Temiz odayı bir kontrol hacmi alarak, oda için kütle korunumu denklemini yazacak olursak:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_g - \dot{m}_\epsilon \quad (4.1)$$

ayrıca $\dot{m}_1 = \rho \dot{Q}$ ve ideal gaz kabulü ile $P = \rho RT$ denklemleri (R ideal gaz sabiti olmak üzere), (4.1) eşitliğinde dikkate alınırsa:

$$\frac{d(PV/RT)}{dt} = \frac{P_b Q_b}{RT_b} - \frac{P Q_d}{RT} - \frac{P Q_k}{RT} \quad (4.2)$$

denklemini elde edilir. Kabuller ışığında, sabitler türev dışına alınır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa:

$$\frac{V}{T} \frac{dP}{dt} = \frac{P_b Q_b}{T_b} - \frac{P Q_d}{T} - \frac{P Q_k}{T} \quad (4.3)$$

eşitliği elde edilir. Burada V odanın hacmi olup sabit bir sayıdır.

(4.3) denklemindeki Q_k kaçak (sızıntı) hava debisidir. Bu debinin hesaplanma yöntemleri Bölüm 3.2’de anlatılmıştır. Burada, Bölüm 3.2’de verilen denklemlerden aşağıdaki eşitlik alınmıştır.

$$Q = A \alpha \sqrt{\Delta P} \quad (4.4)$$

bu eşitliğin modelde kullanılmasının en önemli gerekçesi A sızıntı alanı ile odadan asıl sızıntı kaynağı olan kapının çeşidinin ve açılmasının modellenenebilmesidir. Şöyle ki, Bölüm 3.2’de de anlatıldığı gibi çeşitli standartlarda kapı çeşitlerine göre sızıntı alanı değerlerine ulaşmak mümkündür. Bunun yanı sıra, A değeri değiştirilerek kapının açıldığı veya aralık olduğu halleri de modellemek mümkün olabilir.

Modelde ele alınması gereken bir diğer konu ise egzost havası debisi Q_d ’nin değişimlere vereceği cevaptır. Ayar değerindeki herhangi bir değişim için egzost havasının cevabı birinci dereceden bir blok sistem (lumped system) olarak düşünülürse, τ sistemin zaman sabiti olmak üzere:

$$\tau \frac{dQ_d}{dt} + Q_d = \Delta Q_{ayar} \quad (4.5)$$

eşitliği egzost havasının cevabı olarak alınabilir. Bu zaman sabiti elemanı şeklinde bir dinamik cevap olup, pek çok ısıtma-havalandırma-klima alt sistemi girişteki ani bir değişime bu şekilde bir cevap verir [9].

Kaçak havasının değişimi belli bir zaman aralığında belli ise diğer koşulların da bilinmesiyle yukarıda verilen (4.3), (4.4) ve (4.5) denklemlerinin simültane çözümünüyle mahal basıncının değişimi modellenenebilir.

Sistemin modellenmesinin yanı sıra, oda kapısının açılıp kapanması sırasındaki basınç değişimleri de irdelenmek istenilmektedir. Bunun için kapının açılıp kapanması sırasındaki sızıntı alanının (A) zamanla değişimini veren bir matematiksel ifade gerekmektedir. Bunun için kapının değişik açıklık oranlarındaki sızıntı alanı değerleri geometrik olarak hesaplanıp, kapı açılırken bu alanların oluştuğu zamanlar saptanıp, bu değerlere 4. dereceden polinom bir eğri uydurularak kapının açılıp kapanmasının matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$A(t) = 0,0529t^4 - 0,5097t^3 + 1,2312t^2 - 0,0302t + 0,026 \quad (t < 6 \text{ s için}) \quad (4.6)$$

$$A(t) = A(0) \quad (t > 6 \text{ s için}) \quad (4.7)$$

4.2 Model Parametreleri

Simülasyonun yapılabilmesi için ele alınan temiz odayla ilgili fiziksel büyüklüklerin bilinmesi ve bazı değerlerin kabulü gerekir. Bu parametreler aşağıda sunulmuştur.

Öncelikli olarak odanın boyutları 7,5 m x 8 m olarak alınmıştır. Odanın asma tavan yüksekliği ise 3 m alınmıştır. Bunlar modern bir temiz oda için tipik ölçülerdir [3]. Özetle odanın alanı 60 m² , hacmi ise 180 m³’tür.

Türbülanslı havalandırılan temiz odalarda saatlik hava değişim sayıları 10 ile 100 değişim arasında değişmektedir [1]. Simülasyona konu olan oda için saatlik 30 hava

değişimi alınmıştır. Bunun anlamı 5.400 m³/h' lik bir üfleme debisi gerektiğidir. Seçilen diğer parametreler ise aşağıdaki gibidir.

$$P_b = 101,635 \text{ kPa}$$

$$P_{ref} = 101,560 \text{ kPa}$$

$$T = T_{ref} = 24^\circ\text{C}$$

$$T_b = 14^\circ\text{C}$$

Komşu koridorun basıncı olan P_{ref} referans basıncı atmosfer basıncından yüksek seçilmiştir. Uygulamada dışarıdan infiltrasyonu engellemek üzere temiz oda sütleri artı basınçta tutulmaktadır. Üfleme kanalı basıncı P_b de difüzör basınç kaybını yenmek ve odaya havayı belli bir hızda üflemek için istenilen oda basıncından yüksek olmalıdır.

Temiz oda ile çevresindeki mahaller arasında olması gereken basınç farkı değerleri Bölüm 3.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çeşitli standartlarda minimum değeri 12 ila 15 Pa arasında belirtilen bu değer için burada yapılan simülasyonda 20 Pa değeri seçilmiştir. Pratikte de, özellikle ilaç endüstrisinde basınç farkı değerleri bu seviyelerde olmaktadır.

Kapı için hava sızıntı alanı A temel olarak Tablo 3.2 esas alınarak 0,02 m² alınmıştır. Simülasyon içinde A 'nın değişimlerinin etkileri incelenmiştir.

Sürekli hal için kaçak havası hesaplanırsa 275 m³/h olarak bulunur. Bu kaçak değeri için kütle korunumu denklemi çözülürse, dönüş havası debisi de yaklaşık olarak 5.315 m³/h olarak bulunur. Burada hacimsel debinin korunumu değil kütlenin korunumu esastır. Sürekli halde sistem bu debilere göre çalışarak basınç farkı değerlerini sağlayacaktır. Ancak dışardan uygulanan değişimlere göre geçici rejimdeki sistem davranışı, yani sistem dinamiği, yapılacak simülasyonla irdelenecektir.

4.3 Simülasyon

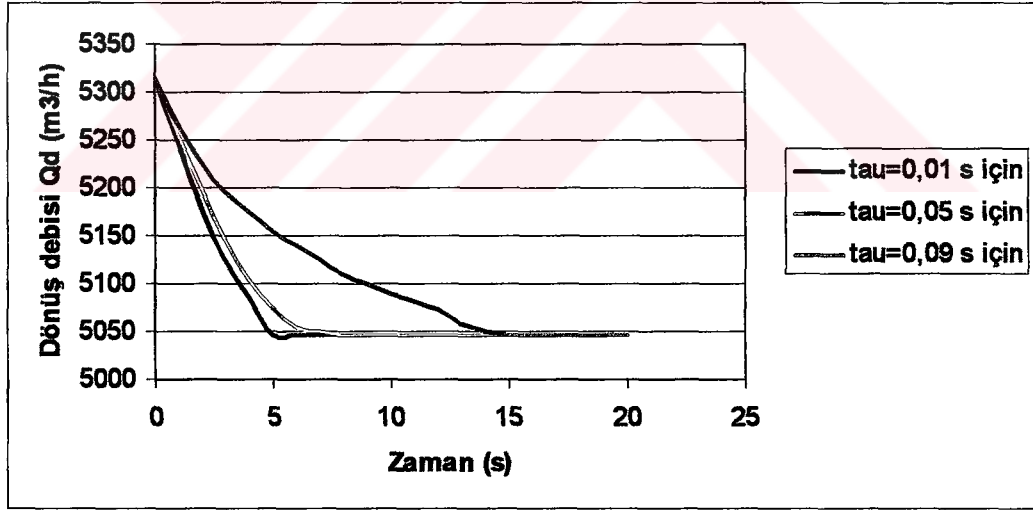
4.3.1 Yöntem

Elde edilen matematik modelin simülasyonu, denklem çözücü bir program yardımı ile yapılmıştır. Kullanılan program Klein ve Alvarodo (1991)'nin EES (Engineering Equation Solver) adlı programının eğitim amaçlı sürümüdür. Simülasyonda, öncelikle kaçak hava debisindeki bir artışta sistemin davranışı incelenmiştir. Kaçak havasında ani bir artış olması durumunda (ki bu kapının açılması, odadan çeker ocak vb. bir cihazla egzost yapılması yada malzeme transfer kapağı-tüneli gibi bir kaçak kaynağı sebebiyle olabilir) Qd dönüş havasının davranışı incelenmiştir. Ayrıca Qd'nin verdiği cevaba göre de odadaki basınç farkı ΔP 'nin değişimi simüle edilmiştir.

Odadan olan hava kaçağındaki ani artışın simülasyonu için EES programı yanında aynı zamanda blok diyagramları yardımıyla sistemlerin modellenmesinin ve simülasyonunun yapılabildiği bir program olan MATLAB adlı programın bir alt programı olan Simulink programı da kullanılmıştır. Bu program diferansiyel denklemleri Laplace dönüşümü yardımıyla çözmekte ve sistemin dinamik olarak modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bu programda kaçak havadaki değişim bir basamak fonksiyonu olarak girilerek sistem davranışı incelenmiştir. Sistemin blok diyagramına indirgenmiş hali Şekil 4.2' de görülmektedir. Burada kaçak hava debisi bir basamak fonksiyonu ile artırılırken, dönüş debisi de diğer bir basamak fonksiyonu ile azaltılmaktadır. Sistem cevabı ise bir grafikte görüntülenmektedir.

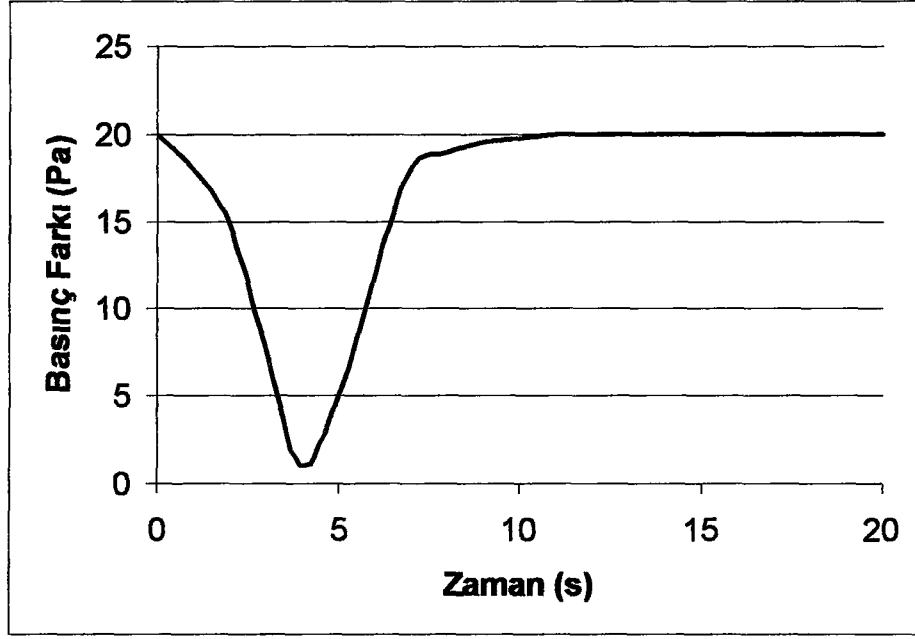
4.3.2 Simülasyon Sonuçları

Dönüş havası debisinin, kaçak hava miktarındaki anlık bir artışa verdiği cevap Şekil 4.3’de görülmektedir. Dönüş hava debisinin geçici rejim cevabı simule edilirken hızlı ve yavaş sistemlerin karşılaştırılması için, farklı τ (tau) değerleri için denklemler çözülmüştür. Burada görüldüğü gibi, dönüş hava debisinin cevap karakteristiği kontrol sisteminin performansına bağlıdır. τ değeri küçük olan yani hızlı aktive olan bir kontrol sistemi, basıncı dengelemek için gerekli değere daha çabuk ulaşmaktadır. Ancak çok küçük τ değerlerinde, burada da $\tau = 0,01$ değerinde de başlangıcının kısmen görüldüğü az sönümlenme (underdamped) olayı görülmektedir. Bu durumda ulaşılan değer istenilen değer altına düşmekte daha sonra yükselmektedir. Çok küçük τ değerlerinde, yani çok hızlı aktive olan kontrol sistemlerinde, sistem istenilen değere ulaşırken bir titreşime girip, değer etrafında uzunca bir süre salınım yapabilir. Bu nedenle kontrol sistemi seçilirken bunun analizi gerekir. Kısaca kontrol sistemi yavaş olursa, istenilen değere daha uzun zamanda ulaşılmakta, çok hızlı olursa da sistemin salınıma girme tehlikesi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.3 : Kaçak hava debisindeki ani bir değişimde dönüş havası debisinin cevap profilleri

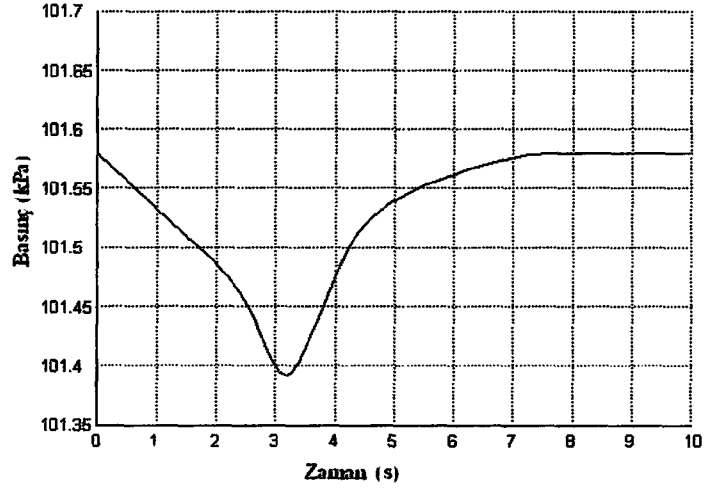
Simülasyon sonucunda, kaçak hava debisindeki anlık bir artış sonucunda basınç farkının değişimi ise Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4 : Kaçak hava debisindeki ani bir değişimde oda ile çevresi arasındaki basınç farkının değişimi.

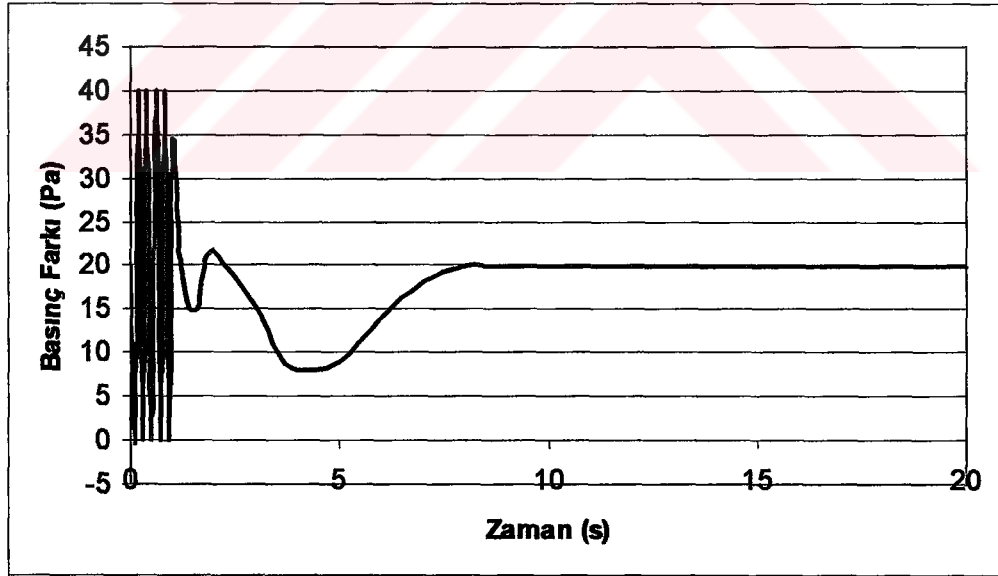
Basınç farkı değişimi simüle edilirken sabit bir τ değeri (0,05) esas alınmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi, kaçak hava debisindeki ani bir artışla önce oda basıncı düşmeye başlamakta, daha sonra dönüş havası debisinin değişime verdiği cevap gereği azalmaya başlamasıyla beraber, oda basıncı tekrar yükselmeye başlamakta ve yaklaşık 10 s içerisinde ilk değeri olan 20 Pa seviyelerine ulaşmaktadır. Uygulanacak hızlı bir kontrol ile kaçak hava debisindeki artışla oluşacak basınç düşüşleri en fazla 10 s gibi bir zamanda eski değerine getirilebilmektedir.

Aynı simülasyon, yani kaçak hava debisindeki ani bir değişimde sistemin davranışı aynı zamanda Simulink programında da yapılmıştır. Programdan alınan sonuç Şekil 4.5’de görülmektedir. Denklemlerin çözümü için kullanılan yöntemlerin farklı olması, kullanılan iteratif yöntemlerdeki adım aralıklarının farkından dolayı küçük farklar olsa da grafik karakteri olarak çıkan sonuçlar uyumludur. Basıncın değişimi beklendiği gibi olmuştur. Sistemin görselliği ve eklenecek farklı otomatik kontrol sistemlerine olanak vermesi açısından bu programda da simülasyonun yürütülmesi seçeneği üzerinde durulmuştur. Ancak asıl simülasyon EES programı ile yapılmıştır.



Şekil 4.5 : Simulink Programı ile alınan çözüm.

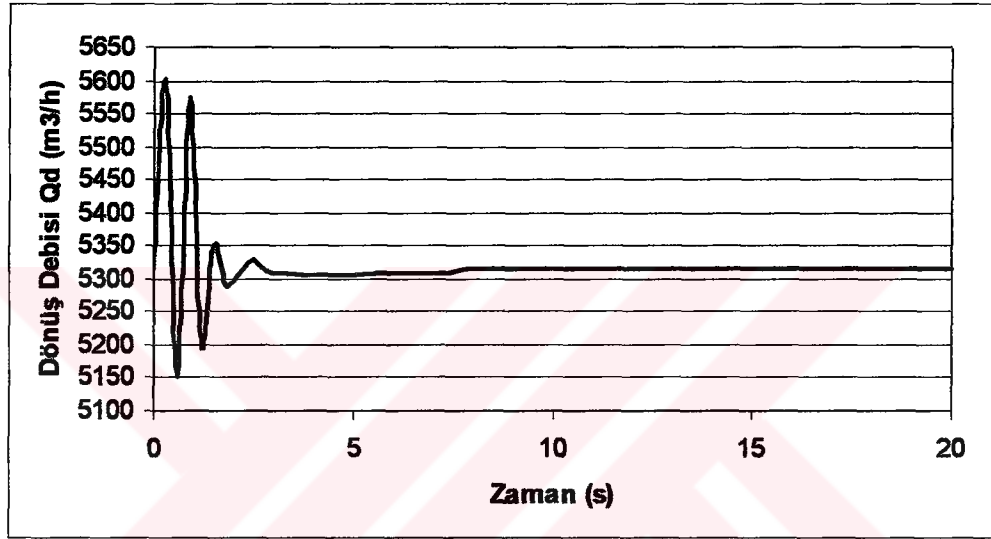
Kapının açılıp kapanması sonucunda oluşan basınç farkı profili de Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6 : Kapının açılıp kapanması sonucu oluşan basınç farkı profili.

Bu grafik incelendiğinde, basınç farkının ilk 1,5 saniye içerisinde belli bir dalgalanma yaptıktan sonra belli düşüş ve yükselişlerle istenilen değere geri geldiği görülmektedir. Burada dikkati çeken nokta, ilk 1,5 s içerisindeki dalgalanmadır. Kapı açılırken kaçak alanındaki ani artışa dönüş debisinin cevabı olarak ortaya bu sonuç

çıkılmaktadır. Bu aşırı dalgalanmanın önüne geçmenin bir yolu kontrol sistemine bir gecikme zamanı verilmesidir. Böylelikle, sistem ilk başta bir tepki göstermeyip daha sonra bir değişime girerek çok fazla dalgalanma yapmadan, salınım girmeden basınç seviyelerini dengeleyebilir. Aynı şekilde bu durum için dönüş havası debisi Q_d 'nin zamanla değişimini veren grafik (Şekil 4.7) incelenecek olursa, burada da ilk 1,5 s içerisinde Q_d değerinin dalgalandığı, daha sonra ise ayar değerine oturduğu görülmektedir. Bu iki değişken birbirleri ile etkileşim içinde olduklarından grafik karakterlerindeki dalgalanmalar da benzerdir.



Şekil 4.7 : Kapının açılıp kapanması durumunda dönüş havası debisinin zamanla değişimi.

Dikkat çeken bir diğer husus da basıncın eski değerine kapının kapandığı zaman olan 6. saniyeye göre bir gecikme ile 8. saniye civarlarında eski değerine dönmesidir. Yani sistem kapının hareketine belli bir gecikme, faz farkı ile tepki vermektedir. Bu da kontrol sisteminin hızı ile ilişkilidir.

Genel olarak simülasyon sonuçları odanın fiziksel yapısına ve geliştirilen matematiksel modele uygun çıkmıştır. Bunun yanında simülasyon sonuçlarını genel karakter bakımından etkilemese de sayısal değerler bakımından etkileyen bir parametre de denklemlerin çözüm yöntemleridir. Burada kullanılan programlar denklemlerin çözümü için iteratif yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde iterasyon sayısının, dolayısıyla adım aralığının seçimi sonuçların hassasiyetini etkilemektedir. Adım sayısı daha küçük seçildiğinde daha hassas sonuçlar elde

edilebilmektedir. Ancak çok küçük adım sayılarında çözüm süresi uzamakta ve sonuçların ıraksaması bile söz konusu olabilmektedir. Bu simülasyonda ağırlıklı olarak kullanılan adım sayısı 0,1 saniyedir.

Sonuç olarak yukarıda sıralanan simülasyon sonuçları, olayın fizikine uygun olarak, sistemin analizi konusunda faydalı olacak şekilde çıkmıştır.



5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Temiz oda teknolojilerinin kullanımı her geçen gün artmaktadır. İnsan hayatının ve sağlığının önem kazandığı ameliyathaneler, yoğun bakım üniteleri, ilaç üretim tesisleri, hijyenik gıda üretim tesisleri, tıbbi araştırma laboratuvarları gibi uygulamalar temiz oda teknolojisi olmadan düşünülemeyeceği gibi, gelecekte çok daha önem kazanacağı aşikar olan elektronik, bilgisayar teknolojileri, mikro-mekanik gibi ileri teknolojilerin üretildiği alanlar da temiz oda teknolojisinden ayrı düşünülemez.

Temiz oda teknolojisi, diğer alanlara göre düşünüldüğünde ülkemiz için yeni bir teknoloji olarak görülebilir. Ülkemizde temiz oda teknolojisi konusunda yapılmış sınırlı sayıda bilimsel çalışma vardır. Temiz odaların tasarlanması ve yapılması konusu da henüz ülkemizde yeni yeni ilerlemektedir. Temiz odanın tanımında da atıfta bulunulan ve temiz oda tasarımında önemli bir yere sahip olan oda basınç kontrolü yada basınçlandırılması konusunda da oldukça az çalışma vardır. Şu anki uygulamalar genellikle firmaların verdiği katalog bilgilerine ve tecrübeye dayalı, ampirik bilgilere dayanılarak yapılmaktadır. Yapılan uygulamalarda genellikle sistemler pasif olarak tasarlanmakta, ancak sistem dinamikleri göz ardı edilmektedir. Bu açıdan yapılan bu çalışma, temiz odalarda mahaller arası basınç kontrolü konusunda bilgilendirici olmanın yanı sıra, yapılan simülasyonlarla da sistemin dinamikleri hakkında fikir verecektir.

Teknolojik sistemlerin dinamik karakteristiklerinin incelenmesini mümkün kılmak için bu sistemlere ait fiziksel olayın idealleştirilmesi yoluyla modellerinin kurulması gerekir [10]. Bu çalışmada da temiz odalarda basınçlandırma ve basınç kontrolünün basit bir modeli kurulmuş ve modelin çözümü yoluyla sistemin bir simülasyonu alınmıştır. Yapılan modelleme ve simülasyon çalışmaları sonucunda, temiz odalarda basınçlandırmanın karakterine uygun sonuçlar elde edilmiştir.

5.1 Kabullerin ve Çözüm Yollarının Sonuçlara Etkisi

Bu çalışmanın amacı, temiz odalarda mahaller arası basınç kontrolünün modellenmesi ve değişimlere karşı sistemin nasıl bir davranış sergilediğinin tespitidir. Bununla ilgili olarak da sistemde bir takım basitleştirici kabuller yapılmıştır. Burada belirlenmek istenilen odanın komşu mahalle arasındaki basınç farkının profilidir. Bu aşamada, oda içerisindeki ısı üretimi, odanın soğutma yükü, odanın nemi gibi unsurlar göz önüne alınmamıştır. Bununla orantılı olarak da oda sıcaklığı değişken değil, sabit alınmıştır. Oda hacmi düşünülür ve basınç değişimlerinin yaşandığı zaman aralıklarının saniyelerle belirlendiği göz önüne alınırsa bu kabulün geçerli olduğu sonucuna varılır. Buna ek olarak odanın şartlandırılmasında etkin olan üfleme havası debisi sabit olduğundan sıcaklığın zamanla değişimi ihmal edilebilir seviyede olacaktır. Dönüş havasının değişken olması ise ancak karışım havası sıcaklığını etkileyeceğinden klima santralinin ısıtıcı veya soğutucu serpantini kapasitelerini etkileyecektir. Klima santrali bu tip değişimleri kompanse edebileceği gibi seçilen kontrol hacmi dışındadır da.

Bir başka kabul oda basıncının oda içerisinde üniform olduğudur. Odaya havanın üflendiği kısımda basıncın kısmen yüksek olması beklenir. Ancak, havanın bir akışkan olduğunu düşünerek basıncın her noktaya eşit yayıldığını düşünmek yanlış olmaz. Ayrıca basınç kontrolü için bir basınç ölçümü alınmaktadır. Bu basınç ölçümü genelde odaya açılan bir açıklıktan (hortum ucu gibi) statik olarak yapılır. Üfleme menfezi civarındaki basınç fazlalığının sebebi ise üfleme hızından dolayıdır, statik basınç fazlalığından değildir. Bu sebeplerden basıncın üniform olması da geçerli bir kabuldür.

Bu modeldeki en önemli kabullerden birisi, dönüş havası cevabının zaman sabiti elemanı şeklinde alınmasıdır. Isıtma-havalandırma-klima sistemlerinin girişteki ani bir değişime bu şekilde bir cevap vermesinin yanında, endüstrideki mevcut uygulamalarda PI kontrol gibi farklı kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu tip kontrol yapılan uygulamalarda sistem cevapları daha farklı olabilir. Ancak yapılan simülasyonda bu kabulle tek bir otomatik kontrol yönteminin incelenmesi yerine daha genel bir bakış açısı sağlamak mümkün olmuştur.

Son olarak, çözüm yönteminin sonuçlara etkisi üzerinde durursak, burada, diferansiyel denklemlerin çözümünde iteratif yöntemler kullanılmaktadır. İteratif yöntemlerde iterasyon sayısı artırılarak ve adım aralığı azaltılarak daha hassas sonuçlara ulaşmak mümkün olabilir. Simülasyonun bir kısmı bu farkları görmek üzere farklı bir paket program kullanılarak yapılmıştır. İki çözüm arasında çözüm yöntemlerinden ötürü bazı küçük değer farklılıkları görülse de çözümün karakteri benzerdir ve sistem dinamiklerinin analizini mümkün kılmaktadır.

5.2 Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Simülasyon sonuçları incelendiğinde ilk değerlendirme kontrol sisteminin hızıyla basınç kontrolü performansı arasındaki ilişkidir. Genel olarak kontrol sistemi hızlandıkça basınç kontrolü de daha hassas ve etkili olmaktadır. Ancak sistemin çok hızlı tepki vermesi durumunda da sistemin salınımına girmesi söz konusu olmaktadır. Bu gerçek sistemlerde bir kapı açılması gibi bir durumda döñüş damperinin ani olarak kısıması, kapı kapanınca tekrar açması ve bu şekilde bir rezonansa girip denge pozisyonuna gelememesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistem basıncı sağlamak üzere devamlı bir salınımına girmekte ve bu suretle basınçta da dalgalanmalar olmaktadır. Oda için basınç kontrolörü seçilirken hızı uygun olmalıdır. Hassas kontrol gerektiren ve sızdırmazlığı iyi olan odalarda daha hızlı kontrol sistemleri seçilmesi uygunken, çok hassas kontrol gerektirmeyen ve sızıntı alanları nispeten büyük odalarda daha yavaş kontrol sistemleri seçilebilir. Kontrol sistemleri içinde en hızlı olanları pnömatis kontrolle olanlarıdır. Bu sebeple kritik uygulamalarda pnömatis kontrol sistemlerinin kullanılması daha uygundur.

Kapının açılıp kapandığı durum için yapılan simülasyon incelenecek olursa, sistemin ilk 1,5 saniye içerisinde bir salınımında olduğu görülür. Buradan çıkarılacak sonuç, kapı açılıp kapanması durumlarında sistemin kararlılığı açısından basınç kontrol sisteminin bir gecikmeyle devreye girmesi uygun olur. Bu gecikme zamanı (delay time) 1 saniye ile 3 saniye arasında olabilir.

Sonuç olarak uygun hızda bir kontrol ile, kaçak havasındaki ani bir artış, yada oda kapısının açılıp kapanması gibi sıkça görülebilecek değışiklerde, oda basıncının istenilen seviyelere en fazla 10 s içerisinde ulaşabildiğı görülmektedir. Bu da

göstermektedir ki, Bölüm 3.1.1’de anlatılan kapalı kapı yönteminin uygun otomatik kontrol sistemleriyle kullanıldığında, temiz odada iyi bir basınç kontrolü sağlanabilmektedir. Kapı açıldığında düşen basınç saniyeler içerisinde ayarlanmakta ve oda içerisine kirli hava girişi minimize edilmektedir. Açık kapı sisteminde olduğu gibi kapı açıldığında yüksek debiler kullanılarak kapıda bir akış sağlanması yerine, daha makul ve ekonomik debi miktarları ile kapı açıldığında basınç ayarlanarak odanın basınç kontrolü sağlanabilmektedir.

5.3 Sonuçlar ve Öneriler

Temiz odalarda mahaller arası basınç kontrolünün incelendiği bu çalışmada, örnek olarak ele alınan bir temiz oda üzerinde yapılan modelleme ve simülasyon çalışmaları neticesinde önceki bölümlerde anlatılan, sistemin otomatik kontrolü, basınç kontrolünün nasıl yapılması gerektiği, değişimler karşısında oda basıncının nasıl değiştiği, basınç farklarının ne seviyelerde sağlanabildiği ve bunların yanında temiz oda tasarımında basınç kontrolü açısından dikkate alınması gereken parametreler konusunda sonuçlara ulaşılmıştır. Temiz odanın güvenilirliği açısından bu tarz dinamik basınç analizlerinin yapılması gereklidir. Bu tip analizlerin ve simülasyonların yanında uygulanan bir sistem üzerinde basınç ölçüm deneyleri yapılarak simülasyonlarla uygunluğunun ölçülmesi de muhakkak ki faydalı olacaktır.

Bu çalışmada, temiz odalarda basınç kontrolünün dinamiklerini saptamak üzere bir matematik model geliştirilmiş ve bu model üzerinden simülasyonlar yapılarak dış etkilere göre basınç profilleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sistemin yapısı ile uyumlu ve beklenen sonuçlardır.

Bu çalışmanın bir ileri aşaması, sistem modeline, damper karakteristikleri, sensör ve kontrolör karakteristiklerinin eklenmesi ile temiz oda tasarımı aşamasında dahi kullanılabilecek verilerin elde edilebileceği bir simülasyon yapılması olabilir. Ancak sayısal ve bilgisayarlar yardımıyla yapılan çözümlerin güvenilirliğinin olması için deneysel sonuçlarla desteklenmesi gerekir. Bu açıdan bu konuda yapılacak deneysel çalışmalara da ihtiyaç vardır.

Etkin ve güvenilir bir temiz oda basınçlandırılmasının sağlanabilmesi için mutlaka sistem dinamikleri de dikkate alınmalı ve pasif sistemler yerine, şartlara göre

istenilen dizayn parametrelerini sağlayan aktif, otomatik kontrollü sistemler tercih edilmelidir.



KAYNAKLAR

- [1] Whyte, W., 2001. Cleanroom Technology, Wiley, Chichester.
- [2] Özkaynak, F.T., 1994. Temiz Oda Tasarımı ve Klima Sistemleri. Tetisan A.Ş. Teknik Yayınları, İstanbul.
- [3] Ahmed, O. and Mitchell, J.W., 1993. Dynamics of laboratory pressurization, *ASHRAE Transactions*, 99(2), 223-229.
- [4] ASHRAE, 1989. ASHRAE handbook-Fundamentals, *chapter 23*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- [5] Whyte, W., 1999. Cleanroom Design, Wiley, Chichester.
- [6] Blaser, J., 1994. The problem of room pressure, *Sauter Bulletins*, 79, 1-9.
- [7] Wiseman, B., 2003. Room pressure for critical environments, *ASHRAE Journal*, Feb.2003, 34-39.
- [8] Hitchings, D.T., 1994. Laboratory space pressurization control systems, *ASHRAE Journal*, 36(2), 36-40.
- [9] Hittle, D.C., 1999. Dynamic response and tuning, *ASHRAE Journal*, 199 .
- [10] Özdaş, M.N., Dinibütün, A.T. ve KUZUCU, A., 1988. Otomatik Kontrol. İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [11] British Standards Institution <http://www.bsi-global.com>
- [12] Klein, S.A. and Alvarado, F.L., 1991. Engineering Equation Solver. F-Chart Software, Middleton.

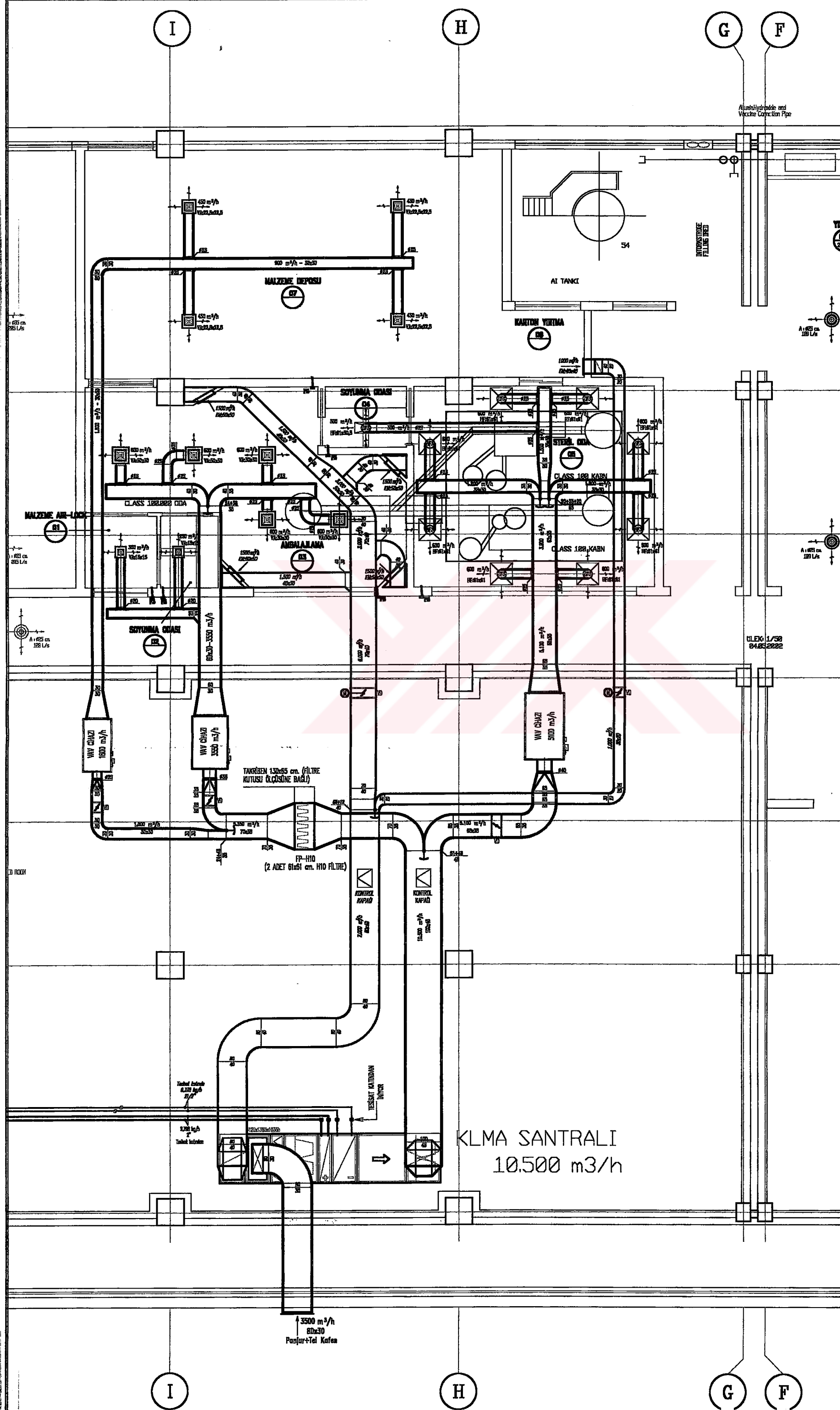
- [13] **Ziemer, W. and Korneli, T., 2000. Die druckhaltung in pharmazeutischen produktionsraumen. Clean Rooms-Druckhaltung, 1-32**
- [14] **Chen, S., Demster, S.J., 1995. VAV Systems for Environmental Quality. McGraw-Hill, New York.**
- [15] **Trox Technik <http://www.troxtechnik.com>**



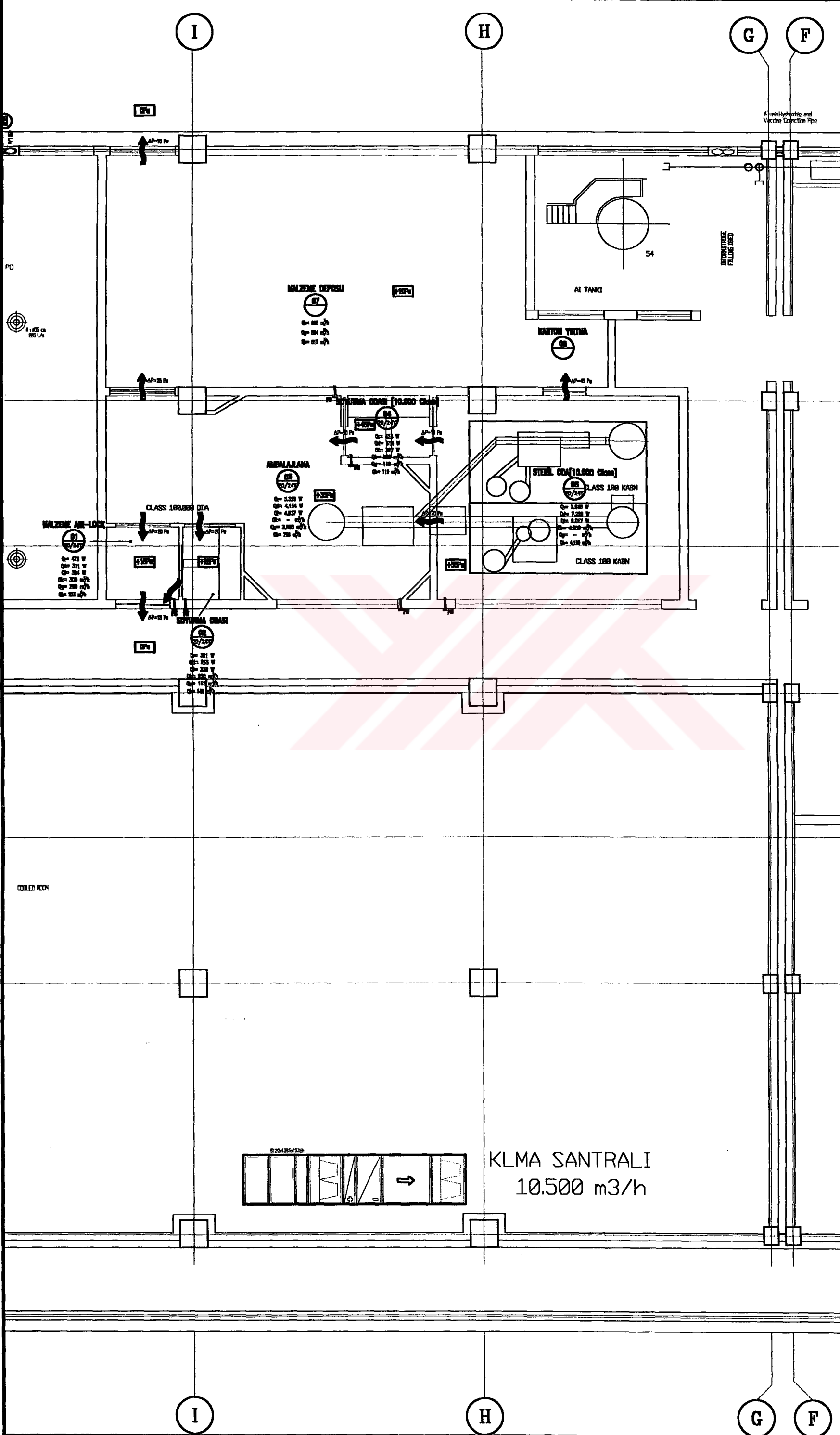
EK-A

Ankara’da kurulu olan Şap Enstitüsü Aşı Taksim Bölümü’ne ait hijyenik klima tesisat projeleri üç ana pafta olarak sunulmuştur. Ek-A1 no.lu çizimde görülen steril klima tesisat planı, Ek-A2 no.lu çizimde görülen hava akış yönleri ve Ek-A3 no.lu çizimde görülen ise akış diyagramı ve otomatik kontrol şemasıdır.





ŞAP ENSTİTÜSÜ LABORATUARLARI			İ.T.Ü.		
AŞI TAKSİM BÖLÜMÜ			FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ		
STERİL KLİMA TESİSAT PLANI			MAKİNA MÜH. A.B.D.		
ENERJİ PROGRAMI					
YAPAN	S. CEVAT TANIRÖVER	TARİH	İŞ NO	RESİM NO	ÖLÇEK
ÇİZEN	GÖKHAN ÖZŞEKER	23.05.2002			
KONTROL	S. CEVAT TANIRÖVER				
ÇİZİM SEMBOLLERİ VERİCİ KANAL EMİCİ KANAL OTOMATİK KONTROL HATTI SP1 EMİCİ KANAL KOLONU VERİCİ KANAL KOLONU MOTORLU DAMPER SABİT HAVA DEBİSİ CİHAZI BASINÇ KONTROL PANELİ BASINÇ FARKI ÖLÇÜM PANELİ DAMPER HEPA FİLTRE MENFEZ ANEMOSTAT					



ŞAP ENSTİTÜSÜ LABORATUARLARI		I.T.Ü.		FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ	
AŞI TAKSİM BÖLÜMÜ		MAKİNA MÜH. A.B.D.		ENERJİ PROGRAMI	
HAVA AKIŞ YÖNLERİ		İŞ NO		RESİM NO	
YAPAN		TARİH		ÖLÇEK	
ÇİZEN		23.05.2002		EK-A2	
KONTROL		S. CEVAT TANIRÖVER		1/100	
S. CEVAT TANIRÖVER		GÖKHAN ÖZBEK		S. CEVAT TANIRÖVER	
ATMOSFER BASINCI		ATMOSFER BASINCINA GÖRE MAHAL BASINCI		ATMOSFER BASINCINA GÖRE MAHAL BASINCI	
+20Pa		(EFEKTİF BASINÇ)		(EFEKTİF BASINÇ)	
P3		BASINÇ KONTROL PANELİ		BASINÇ FARKI ÖLÇÜM PANELİ	
P4		BASINÇ FARKI ÖLÇÜM PANELİ		BASINÇ FARKI ÖLÇÜM PANELİ	
AIRLOCK		ÇİZİM SEMBOLLERİ		ÇİZİM SEMBOLLERİ	
B		Mahal ismi		Mahal ismi	
90/22°C		Mahal numarası		Mahal numarası	
Q1= 39 W		Mahal sıcaklığı (kış-yaz)		Mahal sıcaklığı (kış-yaz)	
Qd= 93 W		Mahal ısı kaybı		Mahal ısı kaybı	
Vk= 50 m³/h		Mahal duyulur ısı kazancı		Mahal duyulur ısı kazancı	
Vg= 503 m³/h		Mahal toplam ısı kazancı		Mahal toplam ısı kazancı	
Vb= 233 m³/h		Mahalde kalan hava miktarı		Mahalde kalan hava miktarı	
		Komşu mahalden geçen hava miktarı		Komşu mahalden geçen hava miktarı	
		Basınçlandırma için gerekli hava miktarı		Basınçlandırma için gerekli hava miktarı	

KLMA SANTRALI
10.500 m3/h

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan ÖZŞEKER, 1978 yılında Afyon'da doğdu. 1989 yılında Dumlupınar İlkokulu'nu, 1996 yılında Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi'ni bitirdi. 1997 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde 1 yıl okuduktan sonra 1998 yılında İTÜ, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü'ne geçiş yaptıktan sonra , 2001 yılında İTÜ Makina Fakültesi'nden mezun oldu. Aynı yıl İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

2001 yılında ısıtma, havalandırma, klima endüstriyel tesisat proje ve danışmanlık hizmetleri veren Tanrıöver Mühendislik' de proje mühendisi olarak iş hayatına başlayan Gökhan ÖZŞEKER, halen aynı yerde çalışmalarını sürdürmektedir.