

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEGATİF BASINÇLI TEMİZ ODALAR BULUNAN BİR TESİSİN
HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doğaç TANRIÖVER

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı

Mayıs 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NEGATİF BASINÇLI TEMİZ ODALAR BULUNAN BİR TESİSİN
HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Doğaç TANRIÖVER
(503991069)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ. Cem PARMAKSIZOĞLU

Mayıs 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503991069 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Doğaç TANRIÖVER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**NEGATİF BASINÇLI TEMİZ ODALAR BULUNAN BİR TESİSİN HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İ. Cem PARMAKSIZOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. A. Feridun ÖZGÜÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

Değerli eşim ve sevgili oğluma,

ÖNSÖZ

Son yıllarda ülkemizde inşa edilen hastane sayısındaki hızlı artış, ilaç ve uzay sanayii gibi alanlardaki gelişmeler temiz oda teknolojilerinin öneminin de hızla artmasına neden olmaktadır. Meslektaşlarımızca yapılan çalışmalar bu alandaki standartların ve yönetmeliklerin daha da detaylandırılmasını sağlamaktadır.

Bütün bu olumlu gelişmelere rağmen özellikle üretim alanını ilgilendiren negatif basınçlı temiz odalar ile ilgili mevcut çalışma yok denecek kadar azdır. Negatif basınçlı temiz oda bulunduran yapıların havalandırma tesisatları pozitif basınçlı temiz oda bulunduran yapıların tesisatlarda olduğu gibi basınçlandırmaya dayalıdır. Üretilen maddelerin insan hayatı açısından tehlikeli olması tasarım ve inşaa sürecini çok önemli bir hale getirir. Bu çalışmanın ileride negatif basınçlı temiz odalar konusunda çalışmak isteyen kimseler için yol gösterici olmasını diliyorum.

Bu tezi hazırlarken bana rehber ve destek olan temiz odalar konusunda birçok çalışmaları bulunan merhum Prof. Dr. F. Taner ÖZKAYNAK'a, tez danışmanım Prof. Dr. İ. Cem PARMAKSIZOĞLU'na, maddi manevi bana yardımcı olan başta Mak. Yük. Müh. S. Cevat TANRIÖVER olmak üzere tüm Tanrıöver Mühendislik çalışanlarına, Mak. Müh. Taşkın DENİZ'e, süreç boyunca beni destekleyen eşim Dr. Şeyda TİLEV TANRIÖVER'e, oğluma ve son olarak bir süre önce kaybettiğim anneme teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Doğaç Tanrıöver
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.1.1 Temiz oda hava kalitesi ve ihtiyaçları.....	2
1.1.2 Temiz oda tasarım kriterleri	2
1.1.3 Hava akım şeması	2
1.2 Tezin Amacı	3
2. TEMİZ ODA TASARIMI	5
2.1 Temiz Oda İnşası.....	6
2.1.1 Temiz oda havalandırma sisteminin tasarımının adımları	6
2.2 Oda Basıncı	7
2.3 Sınıflar.....	11
2.4 Hava Hızı Ve Dağılımı.....	12
2.5 Hava Değişim Sayısı	12
2.6 Otoklav (Autoclave).....	12
2.7 Dezenfeksiyon	14
2.8 Hava Kilidi	15
2.9 Gaz Sızdırmaz Kapı	15
3. HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARLAMAK İÇİN GEREKLİ	
CİHAZLAR VE MALZEMELER	17
3.1 Hijyenik Klima Santralleri	17
3.2 Hava Filtreleri	18
3.2.1 Hava filtre kademeleri.....	18
3.3 Sabit Hava Debisi Üniteleri.....	20
3.4 Değişken Hava Debisi Üniteleri.....	21
3.5 Bekçi Filtre (Safe House) Üniteleri.....	22
3.6 Fanlar.....	22
3.7 Isı Geri Kazanım Üniteleri	23
3.8 Serpantinler	24
3.8.1 Soğutma serpantinleri	24
3.8.2 Isıtma serpantinleri.....	24
4. NEGATİF BASINÇLI TEMİZ ODALAR BULUNAN BİR TESİSTE	
HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI ÖRNEĞİ	25
4.1 Amaç	25
4.2 Mimarinin Tanıtımı	25

4.3 Havalandırma Tesisatı Tasarımı İçin Gerekli Hesaplar	31
4.3.1 Santraller	31
4.3.2 Sınıf Belirlenmesi.....	31
4.3.3 Hava Akış Yönü Belirlenmesi.....	34
4.3.4 Basınç Değerlerinin Hesaplanması	38
4.3.5 Kapılardan Geçen Hava Debileri	42
4.3.6 Havalandırma Sistemi Akım Şeması	47
5. CİHAZ ŞEMASI	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers
CAD	: Computer-aided design
CAV	: Constant Air Volume flow rate
DIN	: Deutsches Institut für Normung (German Institute for Standardization)
EF	: Egzoz Fanı
EN	: European Norms
EU	: European Union
FDA	: Food and Drug Administration
GMP	: Good Manufacturing Practices
HEPA	: High-Efficiency Particulate Arrestance
HF	: Taze Hava Fanı
ISO	: International Organization for Standardization
KS	: Klima Santrali
RH	: Tekrar ısıtıcı
TS	: Türk Standardı
ULPA	: Ultra Low Penetration Air Filter
UK	: United Kingdom
VAV	: Variable Air Volume flow rate

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Hastane odalarında hava akış yönleri.....	8
Çizelge 2.2 : ISO sınıflandırma çizelgesi.	11
Çizelge 2.3 : EU GMP Guide (2008) Steril ürünlerin üretimi için sınıf tanımı.	11
Çizelge 2.4 : Basınç-sıcaklık ilişkisi.....	13
Çizelge 3.1 : Filtre sınıflarına göre partikül yakalama verimlilikleri	19
Çizelge 5.1 : KS-01'e ait hesap çizelgesi.	56
Çizelge 5.2 : KS-02'ye ait hesap çizelgesi.	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : ASHRAE Standart 55-2010	5
Şekil 2.2 : Çift kapaklı duvara monte bir otoklav.....	14
Şekil 2.3 : Hava kilidine iki örnek.	15
Şekil 2.4 : Gaz sızdırmaz kapı	16
Şekil 3.1 : Dairesel CAV Ünitesine bir örnek	20
Şekil 3.2 : Dikdörtgen CAV Ünitesine bir örnek.	20
Şekil 3.3 : Dairesel VAV Ünitesine bir örnek.	21
Şekil 3.4 : Dikdörtgen VAV Ünitesine bir örnek.	21
Şekil 3.5 : Bekçi Filtresi	22
Şekil 3.6 : Hücreli Radyal Fan.....	23
Şekil 3.7 : Isı geri kazanım ünitesi.....	23
Şekil 4.1 : Mimari.....	28
Şekil 4.2 : Tesisin içerisindeki bölümler (Taralı olarak)	30
Şekil 4.3 : Santrallerin hitap ettiği mahaller (Taralı olarak).....	32
Şekil 4.4 : Mahallerin sınıflarının gösterimi.....	33
Şekil 4.5 : Hava akışının tasarımı	37
Şekil 4.6 : Hava akışı	39
Şekil 4.7 : Mahallerin hava basıncı	41
Şekil 4.8 : Tesisteki kapılar (Kodları ile birlikte)	43
Şekil 4.9 : Mahaller arası hesaplanan kaçak hava debileri	46
Şekil 4.10 : Havalandırma sistemi tasarım şeması-1	49
Şekil 4.11 : Havalandırma sistemi tasarım şeması-2	50
Şekil 4.12 : Havalandırma sistemi tasarım şeması-3	51
Şekil 4.13 : Havalandırma sistemi tasarım şeması-4	52
Şekil 4.14 : Havalandırma sistemi tasarım şeması-5	53
Şekil 5.1 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili)-1	62
Şekil 5.2 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili)-2	63
Şekil 5.3 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili)-3	64
Şekil 5.4 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili)-4	65
Şekil 5.5 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili)-5	66
Şekil 5.6 : KS-01'in kanal güzergahı	67
Şekil 5.7 : EF-01'in kanal güzergahı	68

NEGATİF BASINÇLI TEMİZ ODALAR BULUNAN BİR TESİSİN HAVALANDIRMA SİSTEMİNİN TASARIMI

ÖZET

Temiz odalar, havadaki partiküllerin konsantrasyon ve boyutlarının kontrol altında tutulduğu, oda içerisine partikül giriş ve çıkışının denetlendiği, inşası sırasında uygun malzemeler kullanılarak partikül oluşum ve tutulmasının engellendiği, sıcaklık, nem ve basınç gibi parametrelerin de gerekliliği durumunda kontrol altında tutulduğu çalışma ortamlarıdır. Günümüzde ameliyathanelerden mikroçip üretimine kadar geniş bir yelpazede kullanılma zorunluluğu konunun önemini açığa çıkarmaktadır.

Negatif basınçlı temiz odalar bulunan bir tesisin havalandırma sistemini tasarlamak için bir literatür araştırması yapıldığında negatif basınçlı temiz odalar hakkında pozitif basınçlı temiz odalara oranla çok daha az bilgi bulunduğu görülür. Bunun sebebi mimarinin negatif basınçlı temiz odalar bulunan tesislerde üretimine bağlı olarak değişiklikler göstermesidir. Bu durum, her bir tesis için özel çözümler üretilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada negatif basınçlı odalar bulunan bir tesisin havalandırma sistemi özel bir örnek üzerinden tasarlanmıştır.

Temiz oda tasarımında bilinmesi gereken birçok konu bulunmaktadır. Temiz odalar bulunan bir tesisin havalandırma sistemini tasarlamak için tesiste kullanılan ve mekanik tesisatı etkileyen otoklavlar, dezenfasyon üniteleri, hava kilitleri, gaz sızdırmaz kapılar gibi cihazlar ve üniteler bilinmelidir. Bunun yanında havalandırma sistemi tasarlarken kullanılan cihazların ve ünitelerin neler olduğu ve çalışma prensipleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Bu çalışmada hijyenik klima santralleri, hava filtreleri, sabit hava debisi üniteleri, değişken hava debisi üniteleri, bekçi filtre üniteleri, fanlar, ısı geri kazanım üniteleri ve serpantinler bilinmelidir.

Bu çalışmada örnek olarak bir aşı üretim tesisi ele alınmış, havalandırma tesisatı BricsCAD ve Excel programları kullanılarak tasarlanmıştır. Aşı üretim tesisleri negatif basınçlı temiz oda prensibi ile çalışması gereken tesislerdir. İlk olarak tesiste bulunan bütün mahallerin kullanım amacı belirlendi. Mahallerin kullanım amacına göre tesiste iki bölge bulunmaktadır. Bu bölgeler temiz bölge ve kirli bölge olarak isimlendirildi. Temiz bölge, personelin ve kullanılacak veya çıkarılacak ürün ve malzemelerin giriş çıkış yaptığı bölümdür. Kirli bölge ise giriş çıkış dışında kalan, tesiste aşının üretildiği bölümdür. Her iki bölgenin santralleri birbirlerinden bağımsız olacaklardır. Temiz bölge santrali hem üfleme, hem de emme yapacak şekilde tasarlandı. Kirli bölge santrali ise sadece üfleme yapacak şekilde tasarlandı, kirli bölgeden emilen hava filtrelerden geçirildikten sonra egzoz fanları vasıtası ile dışarı atıldı.

Tesiste bulunan mahallerin amaçları doğrultusunda her bir mahalin sınıfı belirlendi. Bu işlem mahallerde bulunan malzemelerin ve kullanılan veya üretilen ürünlerin özelliklerini bilen bir GMP uzmanı tarafından yapıldı. Sınıfların tanımı için GMP Kılavuzu'nda bulunan tablo kullanıldı.

Bu işlemlerden sonra tesiste bulunan bütün mahallerin arasında hava akış yönü belirlendi. Hava akış yönü temiz odalardan daha az temiz odalara doğru olmalıdır. Bunun için ana prensibimiz koridorlar vasıtası ile mahaller arasında hava akışını engellemektir. Bunun sağlanabilmesi için koridorların basıncı komşu mahallerden ya fazla olmalı ya da düşük olmalıdır. Hava akış yönleri belirlendikten sonra tesisin girişinden başlayarak bütün odaların basınç değerleri hesaplandı.

Bu hesaplardan sonra mahaller arası geçen hava debileri hesaplandı. Mahaller arası geçen hava debilerinin hesaplanması için Blaser'a (1994) ait ampirik bir formül kullanıldı.

Bu bilgiler doğrultusunda havalandırma sistemi tasarım şeması hazırlandı. Şema hazırlanırken mahallere yapılacak dağıtıma göre belli bir kanal güzergahı belirlendi. Bu şemaya mahallere üflenene ve/veya emilen hava debileri de işlendi. Üretimin kesintiye uğramaması için kirli bölge santralinin yedeklenmesi gereklidir. Bunun için iki adet kirli bölge santrali ve iki adet egzoz fanı seçildi.

Havalandırma sisteminin tasarım şeması hazırlandıktan sonra cihaz seçimi yapıldı. Cihaz seçimi için öncelikle tesisteki bütün mahallerin ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapılmalıdır. Bu çalışmada ısı kaybı ve ısı kazancı değerleri hesaplanmış kabul edildi. Isı kazancı değerlerinden üfleme ve emme hava debileri elde edilir. Hesaplanan bütün verilerle bir çizelge hazırlanır. Bu çizelgede mahallerin numarası, ismi, sınıfı, basıncı, insan sayısı, aydınlatma gücü, elektrik gücü, ısı kazancı değeri, boyutları, soğutma yükü, ısıtma yükü, soğutma Δt , yüke göre hava debisi, yüke göre hava değişim sayısı, hava değişim sayısı, üfleme havası, gerçek soğutma Δt , basınçlandırmadan kaynaklanan hava kaçışları ve dönüş havası bulunur. Hava değişim sayısı tecrübe ile belirlenmiştir. Hava değişim sayısı ile yüke göre hava değişim sayısı karşılaştırılıp, büyük olan değer alındı.

Cihaz seçimi bu tablodaki değerlere göre yapılır. Kirli bölge santrallerinden birinin arızalanması durumunda sistemin %20'si kapatılarak sistem devam ettirilebileceğinden kirli bölge klima santrali için gerekli üfleme debisi %80 ile çarpılır ve her biri bu debiyi sağlayacak iki adet santral seçilir. Aynı oran egzoz hava debisi için de kullanılır ve iki adet egzoz fanı seçilir. Temiz bölge santrali çizelgede çıkan değerlere göre seçilir. Temiz bölge, üretim alanı olmadığı için yedeklemeye gerek yoktur. Santrallerin konfigürasyonu belirlenir ve bunlar sırasıyla işlenir.

Tesiste kirli bölgeden emilen hava ve içeri üflenecek taze hava, bir ısı geri kazanım ünitesinde geçirildi. Bu şekilde içeriden atılan havanın enerjisinin bir kısmı dışarıdan alınan taze havaya aktarıldı. Bu sayede kirli bölgenin klima santralinin serpantinlerinin yükü bir miktar düşürülmüş oldu.

Cihaz seçiminden sonra bulunan hava debi değerleri havalandırma sistemi tasarım şeması üzerine işlendi. Havalandırma sistemi tasarım şemasına hava debileri işlendikten sonra kanallar belirlenen güzergah üzerinde çizildi ve ölçülendirildi. Çizilen kanallara bağlı olarak basınç kaybı yapılmalıdır. Bu çalışmada kirli bölgenin santrali ve egzoz fanının kanal güzergahı tek hat şeklinde olarak çizilmiştir. Basınç kaybı cihaz seçimlerinde kabul yoluyla işlenmiştir.

Tasarlanan bu sistemde bekçi filtreleri, kirli bölgeye ait santraller ve egzoz fanları gibi yedeklenmiştir. Bu sayede rutin bakım zamanlarında, üretim devam ederken filtreler değiştirilebilir.

Yapılan bu çalışma ile özel bir örnek üzerinden negatif basınçlı temiz odalar bulunan bir tesisin havalandırma sisteminin nasıl çözümlenebileceği açıklandı. Hastaneler

gibi pozitif basınçlı temiz odalar bulunan tesislere oranla hakkında daha az bilgi sahibi bulunan negatif basınçlı temiz odalar bulunan tesislerin tasarlanabilmesi için mahallerin sınıflarının belirlenmesi, mahallerin basınçlarının belirlenmesi ve hava geçiş yönleri konuları iyi anlaşılmalı, özel çözüm gerektiren negatif basınçlı temiz odalar bulunan tesislere uygulanarak havalandırma sistemi çözülmelidir.

AIR CONDITION SYSTEM DESIGN OF A FACILITY CONTAINING NEGATIVE AIR PRESSURE ROOMS

SUMMARY

Clean rooms are working places in which concentration and sizes of air particles are controlled. They are constructed and designed to prevent diffusion or penetration of particles and parameters such as pressure, temperature and humidity are also controlled in case of necessity. Currently, they are in use for an extend area from medicine to microchip production. Clean room technology getting more and more important due to the developments basically in the fields of pharmacy, medicine, electronics, biotechnology, optics, micromechanics and space technologies.

A literature search on designing of an air condition system of a facility containing negative air pressure rooms shows that there is significantly less information about negative air pressure rooms comparing positive air pressure rooms. The reason is architecture of facilities contain negative air pressure rooms have differences due to production. As a result, all different facilities require different and specific designs. Because of this, in this study, air conditioning system design of a facility containing negative air pressure rooms explained with the usage of a sample facility.

Numerous factors should be taken in to account while designing a clean room. For air condition system design of a facility, all devices and units that affect mechanical installation should be well known, for instance; autoclaves, disinfection units, airlocks, gas tight doors. Moreover, for designing an air condition system, all necessary units and devices and their working principles should be known. For this project, this units, and devices are hygienic air handling unit, air filters, constant air volume units, variable air volume units, safe houses, fans, heat recovery units, and heating and cooling coils.

The designing steps of an air condition system are giving space numbers to every space in facility, getting information for all building materials, determining the units (air handling units, hygienic air handling units, exhaust fans, fresh air fans, heat recovery units etc.) to use in design, getting information about classes of spaces from the GMP Expert, determining air leakage directions, calculating the pressure values of all spaces, calculating air volume rates between spaces, preparing a schema of air condition system, calculating heat loss and heat gain of all spaces, calculating fresh air and extract air volume rates, determining air volume rates of units, adding all units on plans, drawing the ducts and other necessary devices (CAV, VAV etc.), calculating the pressure loss and choosing units.

In this thesis, air conditioning system of a sample vaccine production facility was desinged by using Excel and BricsCAD programs. Vaccine facilities are working places which must be operated based on negative air pressure clean room principles. There are two areas in the facility. These areas are contaminated area and entrance area. Entrancearea is used for going in and out of staffs and products. Contaminated area includes vaccine production spaces. Air handling units of these two areas are

independent. Entrance area air handling unit has a ventilator and an aspirator. Contaminated area air handling units have only ventilators. Extracted air from contaminated area exhausts by fans.

Classes of all spaces of the facility determined due to their purposes. This determination is done by a GMP Expert who knows about materials and productions in use or produced. For class determination, the class table in GMP Guide is used.

After these procedures, airflow direction is determined between spaces in facility. Airflow directions must be from clean rooms to less clean rooms. For this purpose, corridors are used to prevent airflow between spaces. There are two possibilities. Corridors should have higher or lower pressures from their adjacent rooms. After determined airflow directions between spaces, all spaces' pressure values are calculated beginning from the entrance.

After this calculation, air volume rate between spaces is calculated. An empirical formula, which is found by Blaser (1994), is used to calculate the airflow rate between spaces.

Considering these informations, schema of the air conditioning system is prepared. Before preparation of schema, a duct outline is determined. Supply and extract air volume rates to spaces wrote on schema. To supply maintenance of production contaminated area air handling unit should be back up. For back up two number of contaminated air handling units and two number of exhaust fan chosed.

After prepared schema of air condition system's design, units are choiced. Before this, heat loss and heat gain calculations must be done for all spaces in the facility. In this thesis, heat loss and heat gain values are accepted as calculated. Next, supply and extract air volume rates are found. A table is prepared by using all these informations. This table includes space numbers, names, classes, pressure values, number of staffs, overhead lighting powers, electrical equipment powers, space heat gain values, sizes, total heat gain values, heat loss values, cooling Δt s, air volume rates due to cooling values, numbers of air change due to cooling value, air change rates, supply air volume rates, real cooling Δt s, air leakages originated from pressure, extract air flow rates for each space. Number of air change is chosen by experience because there is a scientific gap at determining number of air change according to the class of the space. After comparison of number of air change obtained using cooling value and number of air change that was determined by experience, the greater one used for calculations. The operator of the system should perform some tests in all sapces in the facility. By these tests the operator should provide the number of particules in each space due to it's class.

Units choice is done by using this table. If one of the air handling units of contaminated area goes out of order, production could maintain by shutting down 20% of system. For this purpose, supply air volume rate required for contaminated area is multiplied by 80% and two seperate air handling units are chosen which can supply this air volume rate. The same ratio is used for extract air volume rate to choose exhaust fans. Backup is not necessary for entrance area because this area is not used for production process. Afterwards, air handling units' configurations of both entrance and contaminated areas are determined.

A heat recovery unit is used in the air condition system. By this way, the energy transfer between extract air and fresh air could occur according to the efficiency of

the heat recovery unit. As a result, heating and cooling coils' capacities are decreased.

After units choice, air volume rates are written on air condition system schema. Ducts must be drawn on determined lines and dimensioned. Next, pressure losses must be calculated for each duct line. In this thesis, duct lines of contaminated area air handling units and exhaust fans are drawn as single track and pressure loss values are assumed as calculated.

In this design safe houses are backed up.as contaminated air handling units and exhaust fans. By this means, during routine maintenance, safe house filters can be changed one by one without stopping production process.

1. GİRİŞ

Temiz odalar, temizlik şartlarının arttığı tıbbi araştırmalar, gıda sanayi gibi alanların yanı sıra nano teknoloji, uzay teknolojileri gibi bambaşka alanlarda da ihtiyaçlara cevap vererek giderek artan bir önem kazanmışlardır. Kullanım sahası tıp ve ilaç sanayi olan temiz odada amaç, insan sağlığını tehlikeye sokabilecek unsurları en aza indirmektir. Elektronik ve nano teknoloji alanlarında yapılan yenilikler ise ortamda parçacıkların kontrolü zorunluluğunu ortaya çıkardı. Tüm bu ihtiyaçlar sonucunda temiz oda kavramı doğdu. Temiz oda TS (Türk Standardı) tarafından şu şekilde açıklanmıştır [1].

“Partiküllerin oda içerisine girişi, burada oluşumu, alıkonması en az sınıra indirgenecek şekilde yapılan, kullanılan, hava ile taşınan partiküllerin konsantrasyonunun ve ilgili diğer parametrelerin örneğin; sıcaklık, nem ve basıncın gerektiği gibi kontrol edildiği oda.”

İstenen basınç, odanın sınıfına uygun filtrelerden geçirilmiş şartlandırılmış havanın odaya üflenmesi ve emilmesi ile elde edilir. Bu sayede odadaki partikül sayısı, sınıfına uygun olacak şekilde azaltılır ve kendinden daha az basınçlı odalardan hava akışını engeller. Bu şekilde, yukarıda tanımlanan temiz oda elde edilir.

1.1 Literatür Araştırması

Temiz odaların havalandırma tasarımı ile ilgili standartlar ve işletme sahiplerinin istekleri daha detaylı çalışmaların ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Yapılan literatür araştırmasında ulaşılan konuya ilişkin başlıca çalışmalar, aşağıda kısaca özetlenmişlerdir.

1.1.1 Temiz oda hava kalitesi ve ihtiyaçlar [2]

Heperkan, H., Bilge, M.’nin yaptığı bu çalışmada temiz odada ortamın nasıl olması istendiği ve kullanıcı ihtiyaçlarının belirlenmesinin önemi ele alınır. Çalışmada temiz odanın olması gereken sıcaklık ve nem aralığı, HEPA filtrenin hızı, mahal içinde

pozitif basıncın nasıl sağlanacağı ve sızdırmazlıktan bahsedilir. Kullanıcı ihtiyaçlarının belirli olmamasının tasarımcı, yüklenici ve yatırımcı arasındaki tartışmaların temel nedeni olduğuna değinilmektedir. Bunlara örnek olarak temiz odalardan daha az temiz odalara doğru hava akışının tanımlanması verilebilir.

1.1.2 Temiz oda tasarım kriterleri [3]

Bilge, M. ve Bilge D.'nin 2001 yılında yaptığı bu çalışmada ilaç fabrikası temiz oda tasarımından özel bir bölüm içinde bahsedilmiştir. Çalışmada bahsedilen temiz oda tasarım kriterleri kısaca şu şekildedir:

- İlk olarak temiz odalarda üretilecek ürünün tipi ve kapasitesi belirlenmelidir.
- Mimari grup GMP gibi uluslararası standartların yanında temiz oda ile ilgili yönetmelikler hakkında bilgilendirilmelidir.
- Ekipmanlar gerçek boyutları ile projeye işlenmelidir.
- İç tasarım koşulları üretim sorumluları ile belirlenmelidirler.
- Mahaldeki pozitif basınç değerini yakalayabilecek dış hava miktarı belirlenmelidir.
- Sızdırmaz tavanlarda HEPA filtre yerleşimi yapılmalı,
- Kanal tasarımı gerçekleştirilmeli,
- Hesaplanan kapasitelere uygun klima santrali seçimi yapılmalıdır.

Bunlara ek olarak hava kilidinden bahsedilir. Hava kilidi, temiz oda girişlerinin kurallara uygun yapılabilmesi için temiz oda girişlerinde bulunan iki kapılı küçük odacıklardır.

1.1.3 Hava akım şeması [4]

Kenter, M., 2004 yılında yaptığı bu çalışmada yapılan hesap işlemlerinden sonra iklimlendirme sisteminin nasıl çalışacağının tespit edilmesi gerektiğine dikkat çeker. Hangi sistemin nasıl kullanılacağının tespitinde ameliyathanelerin sayısının önemine vurgu yapar. Klima cihazının iklimlendirme sisteminin merkezi olduğunu yazar. Bununla birlikte santral konfigürasyonunun nasıl olması gerektiği hakkında bilgi verir.

1.2 Tezin Amacı

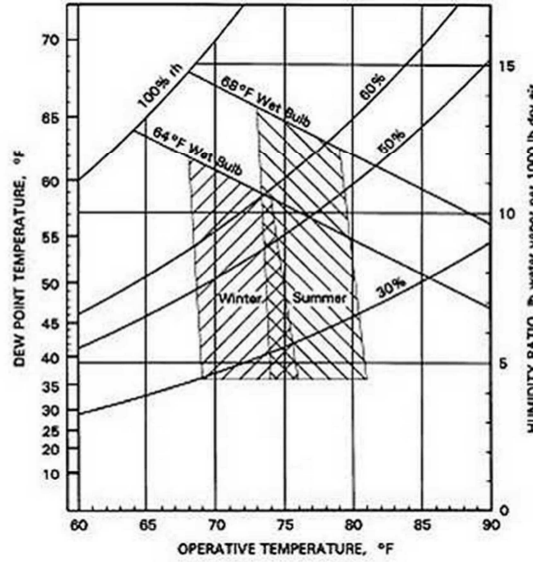
Bu çalışmada temiz oda kriterleri doğrultusunda negatif basınçlı temiz odalar bulunan bir tesisin havalandırma sistemini tasarlamaktır. Tezin amacı, özel bir örnek alınarak yapılan bu tasarım yoluyla, hakkında pozitif basınçlı temiz odalara oranla çok daha az bilgi bulunan negatif basınçlı temiz odaların havalandırma tasarımı hakkında geniş bilgi vermektir.

2. TEMİZ ODA TASARIMI

Temiz oda tasarlamak için bilinmesi için gereken birçok konu bulunmaktadır. Temiz oda tasarımında dikkate alınması gereken parametrelerin başında ortamda bulunabilecek maksimum tanecik konsantrasyonu ve çapı gelir. Bunun dışında kontrol edilmesi gereken diğer parametreler arasında sıcaklık, nem, ses şiddeti, titreşim, statik elektrik ve basınç sayılabilir.

Sıcaklığın kontrol altında tutulmasının iki amacı bulunmaktadır. Bunlardan biri içeride bulunan insanların sıcaklık açısından konforlu bir ortamda çalışmaları, diğeri ise temiz odada bir çok işlemin veya cihazın ısıya karşı duyarlı olmasıdır.

Benzer bir şekilde bağıl nemin kontrol altında tutulmasının amacı konfor ve prosesler gereğidir [5]. Yaz ve kış aylarında insanların rahat hissettikleri konfor şartları şekil 2.1’de gösterilmiştir [6].



Şekil 2.1 : ASHRAE Standart 55-2010.

Bu bölümde temiz odaların havalandırma sistemini tasarlamak için dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi verilecektir.

2.1 Temiz Oda İnşası

Temiz oda tasarımında birçok önemli unsur bulunmaktadır [5]. Temiz oda inşasında kullanılacak olan malzemeler toz ve özellikle kimyasal buhar çıkaran cinsten olmaması gereklidir. Ayrıca, bu malzemeler gözenekli yapıda olmamalı, minimum ek ve birleşim yerleri olanları tercih edilmelidir. Zemin mekanik ve kimyasal aşınmalara dayanabilmeli, kolay deforme olmayan cinsten olmalı, tozlardan rahat temizlenen bir yapıda olmalıdır.

Temiz odada kullanılacak olan malzemelerin odada bulunacak malzemelerle kimyasal tepki vermeyen malzemelerden seçilmiş olması gerekmektedir.

Temiz odanın işletilmesinde personelin çalışma esnasında makyajlı olmasına, herhangi bir cilt ilacı kullanmış olmasına, sigara içmesine ve herhangi bir şey yiyip içmesine müsaade edilmez.

Personelin giysi değiştirme bölümleri, temiz odaların dışında bir mahalledir. Ayrıca günlük giysilerini giymek isteyen personel ile temiz oda giysilerini giymek isteyen personel birbirleriyle aynı odada bulunamazlar, aksi takdirde günlük elbiselerden yayılan tanecikler özel temiz oda elbiselerini kirletecektir.

Temiz oda kapılarının üzerinde, kapı dilinin girdiği yerde bakteri ve mantar üremesine imkan verecek girintilerin olmaması gerekmektedir [7].

2.1.1 Temiz oda havalandırma sisteminin tasarımının adımları

Temiz oda tasarlanırken yapılması gereken adımlar aşağıda açıklanmıştır.

- Mimaride bulunan bütün mahallerin işlevleri belirlenir. Mahallere numaraları verilirken mimarın verdiği numaralar baz alınır. Mahallere numara verilmemiş ise mahaller numaralandırılır.
- Mimaride kullanılan yapı elemanlarının özellikleri hakkında mimari gruptan bilgi edinilir.
- Mahallere hitap edecek olan cihazlar (santraller, egzoz fanları, taze hava fanları) belirlenir.
- Mahallerin sınıfları bir GMP uzmanı tarafından belirlenir.
- Mahallerin hava akış yönleri belirlenir.

- Mahallerin basınç değerleri hava akış yönü bilgisi doğrultusunda hesaplanır.
- Mahallerin kapılarından geçen hava debileri hesaplanır.
- Havalandırma sistemi akım şeması hazırlanır.
- Mahallerin ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapılır.
- Mahallerin gerekli taze hava ve egzoz debileri hesaplanır.
- Belirlenen değerlere göre cihazların debileri belirlenir.
- Seçilen cihazlar yerleştirilir.
- Cihazlardan mahallere kanallar çizilir.
- Çizilen kanalların basınç kaybı hesabı hesaplanır.
- Debileri belirlenen ve basınç kaybı hesaplanan cihazlar seçilir.

2.2 Oda Basıncı

Temiz odaların istendiği gibi temiz kalabilmesi için, hava akışı temiz odalardan daha az temiz olan komşu mahallere doğru olmalıdır. Hastanelerde hangi mahallerden hangi mahallere doğru hava akışının olması gerektiği çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Hastane mimarisi hazırlanırken bu çizelgeye muhalif bir hava akışına sebep olacak bir mimari hazırlanmamalıdır. Aksi takdirde mimarinin ilgili kısımlarının çizelgeye bağlı kalarak revize edilmesi gerekir.

Temiz odalarda basınçlandırma mertebeleri hakkında, bu konu ile ilgili ilk standartlardan olan Amerikan Federal Standardı 209B bölüm 30.5’te, temiz oda ile hava akışının olduğu mahal arasında 12 Pa basınç farkı olması gerektiği yazar. Amerikan gıda ve ilaç sanayi ile ilgili kuruluş olan FDA (Food and Drug Administration) da 12 Pa basınç fark değerinin yeterli olduğunu belirtir. Bir İngiliz kılavuzu olan UK GMP ise bu farkın 15 Pa olması gerektiğini vurgular.

Bu verilerden yola çıkılarak odalar arası basınç farkı olarak 15 Pa’nın yeterli olacağı güvenle söylenebilir.

Basınç farkının, bizim bu çalışmada inceleyeceğimiz üzere, daha fazla olması gereken haller olacaktır. Basınç farkının artması durumu, söz konusu iki mahal arasındaki kapının açılmasını zorlaştıracak bilinmelidir.

Çizelge 2.1 : Hastane odalarında hava akış yönleri. (Oklar bitişik odalarda gerekli hava akışı yönünü, “O” işareti ise yönün önemli olmadığını göstermektedir [5].

		1	2	3	4	5	6	7	8
		Aseptik ameliyathane	Septik ameliyathane	Lavabo	Ameliyat öncesi bekleme odası	Ameliyat sonrası bekleme odası	Steril alet muhafaza	Steril malz. temini, koridor ve deposu	St. malz. ve teç. temini, koridor ve deposu
1	Aseptik ameliyathane								
2	Septik ameliyathane								
3	Lavabo	→	↑						
4	Ameliyat öncesi bekleme odası	→	↑	○					
5	Ameliyat sonrası bekleme odası	→	↑	○	○				
6	Steril alet muhafaza	→	↑	↑	↑	↑			
7	Steril malz. temini, koridor ve deposu	↑	↑						
8	St. malz. ve teç. temini, koridor ve deposu	→	↑						
9	Ameliyathane koridoru			→	→	→	→	→	→
10	Steril teçhizat hazırlama						○	→	→
11	Steril olmayan teçhizat hazırlama								
12	Sterilizasyon sonrası malz. hazırlama	↑	↑					○	↑
13	Sterilize edilmeden malz. hazırlama								
14	Ameliyat sonrası kendine gelme mahali								
15	Personel dinlenme odası								
16	Temizlikçi dinlenme odası								
17	Personel giyinme (steril oda)								
18	Personel giyinme (steril olmayan oda)								
19	Pers.giy. WC'li steril olmayan oda								
20	Hastalar için hava kilidi								
21	Malzeme girişi hava kilidi								
22	Atıklar için hava kilidi								
23	Hastanenin diğer bölümleri								
24	Dış hava	→	→					→	→

		9	10	11	12	13	14	15	16
		Ameliyathane koridoru	Steril teçhizat hazırlama	Steril olmayan teçhizat hazırlama	Sterilizasyon sonrası malz. hazırlama	Sterilize edilmeden malz. hazırlama	Ameliyat sonrası kendine gelme mahali	Personel dinlenme odası	Temizlikçi dinlenme odası
1	Aseptik ameliyathane								
2	Septik ameliyathane								
3	Lavabo								
4	Ameliyat öncesi bekleme odası								
5	Ameliyat sonrası bekleme odası								
6	Steril alet muhafaza								
7	Steril malz. temini, koridor ve deposu								
8	St. malz. ve teç. temini, koridor ve deposu								
9	Ameliyathane koridoru								
10	Steril teçhizat hazırlama	↑							
11	Steril olmayan teçhizat hazırlama	←	←						
12	Sterilizasyon sonrası malz. hazırlama	↑	↑						
13	Sterilize edilmeden malz. hazırlama	←		○	←				
14	Ameliyat sonrası kendine gelme mahali	←							
15	Personel dinlenme odası	←							
16	Temizlikçi dinlenme odası	←	←	○	←	○			
17	Personel giyinme (steril oda)	↑							
18	Personel giyinme (steril olmayan oda)								
19	Pers.giy. WC'li steril olmayan oda								
20	Hastalar için hava kilidi	↑					○		
21	Malzeme girişi hava kilidi	↑							
22	Atıklar için hava kilidi	←							
23	Hastanenin diğer bölümleri				←	←	←	←	
24	Dış hava		←	←	←		←	←	

		17	18	19	20	21	22	23	24
		Personel giyinme (steril oda)	Personel giyinme (steril olmayan oda)	Pers.giy. WC'li steril olmayan oda	Hastalar için hava kilidi	Malzeme girişi hava kilidi	Atıklar için hava kilidi	Hastanenin diğer bölümleri	Dış hava
1	Aseptik ameliyathane								
2	Septik ameliyathane								
3	Lavabo								
4	Ameliyat öncesi bekleme odası								
5	Ameliyat sonrası bekleme odası								
6	Steril alet muhafaza								
7	Steril malz. temini, koridor ve deposu								
8	St. malz. ve teç. temini, koridor ve deposu								
9	Ameliyathane koridoru								
10	Steril teçhizat hazırlama								
11	Steril olmayan teçhizat hazırlama								
12	Sterilizasyon sonrası malz. hazırlama								
13	Sterilize edilmeden malz. hazırlama								
14	Ameliyat sonrası kendine gelme mahali								
15	Personel dinlenme odası								
16	Temizlikçi dinlenme odası								
17	Personel giyinme (steril oda)								
18	Personel giyinme (steril olmayan oda)	→							
19	Pers.giy. WC'li steril olmayan oda	→	→						
20	Hastalar için hava kilidi								
21	Malzeme girişi hava kilidi								
22	Atıklar için hava kilidi								
23	Hastanenin diğer bölümleri	→	→	→	→	→	→		
24	Dış hava								

2.3 Sınıflar

Temiz odaların tasarımını yapabilmek için ilk olarak tasarlanacak odaların sınıfları belirlenmelidir. Temiz oda teknolojisinde ilk ISO standardı 1999 yılında 14644-1 olarak oluşturulmuştur [8]. Her mahalin kullanım amacına uygun bir sınıf belirlenmelidir. EN normunda kullanılan ISO'nun sınıflandırması çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 : ISO Sınıflandırma Çizelgesi [1].

ISO Sınıflandırma Sayısı (N)	Aşağıda gösterilmiş (konsantrasyon düzeyleri Madde 3.2'deki eşitlik (1)'e göre hesaplanmıştır) değerlendirmeye alınan boyutlardan daha büyük ve eşit partiküller için en yüksek konsantrasyon düzeyleri (partikül/m ³ hava)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
ISO Sınıf 1	10	2				
ISO Sınıf 2	100	24	10	4		
ISO Sınıf 3	1000	237	102	35	8	
ISO Sınıf 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO Sınıf 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO Sınıf 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO Sınıf 7				352000	83200	2930
ISO Sınıf 8				3520000	832000	29300
ISO Sınıf 9				35200000	8320000	293000
Not Ölçme işlemi ile ilgili belirsizlikler, sınıflandırma düzeyinin tayini için üçden fazla sayıda olmayan önemli şekiller kullanılarak gösterilen konsantrasyon verisini gerektirir.						

İlaç üretiminde kullanılan tesislerde kullanılan standartlara ek olarak “İyi Üretim Teknikleri” (GMP)'nin istediği şartların da sağlanması gereklidir. GMP'nin ilgili çizelgesi aşağıdadır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : EU GMP Guide (2008) Steril ürünlerin üretimi için sınıf tanımı [9].

Sınıf	İzin Verilen Azami Partikül Miktarı (adet/m ³)			
	Durgun (b)		Çalışır	
	0,5µm	5,0 µm	0,5µm	5,0 µm
A	3.520	20	3.520	20
B (a)	3.520	29	352.000	2.900
C (a)	352.000	2.900	3.520.000	29.000
D (a)	3.520.000	29.000	tanımlanmamış	tanımlanmamış

(a) B, C, D, sınıflarında erişilmesi gerekli hava değişim sayısı, odanın hacmine, kullanılacak malzeme ve personel sayısına bağlıdır. A, B, C sınıflarına uygun HEPA filtreler kullanılmalıdır.

(b) Durgun durum, temizlikten 15-20 dakika geçtikten sonraki personelsiz durumdur.

(c) Partikül ve mikrobiyolojik gözlem için uyarı ve tedbir limitleri saptanmalı ve düzeltici tedbirler, işletme talimatlarında bulunmalıdır.

Sınıf A: Sterilitenin en yüksek derecede olmasını gerektiren alanlar, örneğin açık olarak dolum yapılan aseptik bölgeler.

Sınıf B: Sınıf A bölgesini çevreleyen alanlar.

Sınıf C ve D: Çok kritik olmayan bölgeler [9].

Sınıf A bölgeleri için kritik proses zamanının hepsini kapsayacak şekilde partikül izleme gerçekleştirilmelidir [10].

2.4 Hava Hızı Ve Dağılımı

Hava hızı, hava dağılımının laminar veya türbülanslı olduğunu belirler. Türbülanslı hava dağılımı tavana yerleştirilen HEPA filtre kutuları ile verilir.

Ancak ameliyatın yapıldığı alanın üzerinde laminar akış tavsiye edilmektedir. Bunun için ameliyat odasının tavanına laminar akış ünitesi yerleştirilmelidir. Laminar akış hızının 0,25 m/s olması gerekmektedir [11]. Laminar akış üniteleri, DIN 4799 Standartı'nın öngördüğü kirlenme derecesi değerlerini ve DIN 1946-4 Standartı'nın öngördüğü sterilite değerlerini sağlamalıdır [12].

2.5 Hava Değişim Sayısı

Mahallerin hava değişim sayısı tecrübe ile elde edilen sonuçlara göre belirlenir. Bunun sebebi temiz odalar için sınıfa uygun gerekli hava değişim sayısının belirlenmesi hususunda bilimsel bir boşluk olmasıdır [13].

Hava değişim sayısı belirlendikten sonra mahallerin ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapılır, mahallerin gerekli taze hava ve egzoz miktarları hesaplanır. Böylece mahallere üflenecek hava debisi belirlenir, bulunan bu hava debisi odanın hacmine bölünür. Çıkan hava değişim sayısı ile başta tecrübe ile belirlenen hava değişim sayısı karşılaştırılır ve büyük olan alınır.

2.6 Otoklav (Autoclave)

Kritik araçların kullanılabilimleri temiz olmalarına bağlıdır. Bu tip araçların sterilizasyonunda ilk tercih edilecek yöntem ısıdır. Bunun sebebi, ısı ile

sterilizasyonun en kolay, en ucuz, en güvenilir ve insan kaynaklı uygulama hatalarına en seyrek rastlanılan yöntemlerden olmasıdır. Isı ile sterilizasyon işleminde en sık kullanılan, basınç altında nemli ısı ile yapılanıdır.

Basınçlı buhar ile sterilizasyon yöntemi için kullanılan araçlara otoklav denir. Aşağıdaki çizelgede çeşitli sıcaklık dereceleri için otoklav basınçları verilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : Basınç-sıcaklık ilişkisi [14].

Sıcaklık		Basınç	
°C	°F	kg/cm ²	psi
100	212	0.00	0.0
105	221	0.19	2.8
110	230	0.41	6.0
115	239	0.67	9.8
121	250	1.02	15.0
125	257	1.29	19.0
130	266	1.67	24.5
134	273	2.00	29.4

Otoklavlar, belirli ısı ve basınç derecelerine ayarlanabilen basınca dayanıklı kazanlardır. Otoklavların küçük ve basit olanları olduğu gibi, büyük ve karmaşık olanları da vardır. Tek çeperli veya çift çeperli, tek kapılı veya çift kapılı, buhar jeneratörlü ve ön vakumlu olanları mevcuttur.

Otoklavların gövdesini oluşturan kazan, küçük olanlarında tek çeperli, büyük olanlarında ise iç içe oturtulmuş çift çeperlidir. Tek çeperli otoklavlarda ayrı su bölmesi olmayıp su, kazanın dibine konur. Kazana giren malzemelerin ıslanmaması için arada bir ızgara bulunur. Çift çeperli otoklavlarda su kazanın dibindedir ve dayanıklı olan dış kazandır. İç kazan steril edilecek malzemenin yerleştirilmesi için kullanılmaktadır. Şekil 2.2’de duvara monte edilmiş çift kapaklı bir otoklav örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.2 : Çift kapaklı duvara monte bir otoklav.

Otoklavda yeterli miktarda su olmalıdır ve bu su, saf su veya deiyonize su olmalıdır. Sterilize edilecek malzemeler kazana yerleştirildikten sonra kazan kapatılır ve otoklav ısıtıcısı çalıştırılır. Sterilizasyon süresi sona erdiğinde ısıtıcı kapatılır. Basıncın sıfıra düşmesi beklendikten sonra içerideki havanın tahliye olması için önce hava boşaltma musluğu sonra kapak açılır. İçeridekiler soğuduklarında boşaltılırlar [14].

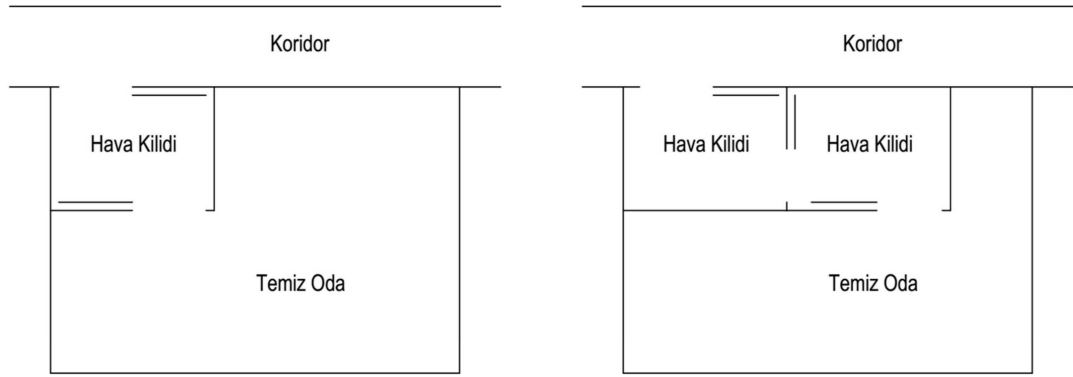
2.7 Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon, cansız nesnelerin üzerindeki bakteri endosporları haricindeki bütün mikroorganizmaların yok edilmesidir. Dezenfeksiyon üniteleri yüksek ısıya dayanıklı olmayan ve bu sebepten otoklav ünitesinde sterilizasyon işlemine tabi tutulamayan nesneler için kullanılan ünitelerdir. Bu ünitelerin içinde yüksek, orta ve düşük

seviyeli olarak dezenfeksiyon amaçlı kimyasal işlemler yapılır. Bu işlemler ürünler tesise girerken, yapılacak olan işlemlerin sıhhati için yapılır. Aynı işlemler ürünlerin üzerinde olma ihtimali olan zararlı olabilecek mikroorganizmaların dışarı zarar verebilecek oranda çıkmamasını da sağlar [15].

2.8 Hava Kilidi

Temiz oda girişlerinde kullanılan bu bölümler, iki kapılı küçük odacıklardır. Kurallara uygun giriş yapılabilmesi için temiz oda girişlerinde hava kilitleri olması gereklidir. Hava kilitleri adı verilen bu odacıklar HEPA filtre yardımı ile temiz hava üflenen odacıklardır. Diğer mahallerin basınçlarında bir değişiklik olmaması için çalışanlar, bu odacıklara girip girdikleri kapıyı kapattıktan sonra diğer kapıyı açarak dışarı çıkarlar veya içeri girerler [16]. Aşağıda hava kilidi için iki tane örnek vardır (Şekil 2.3).



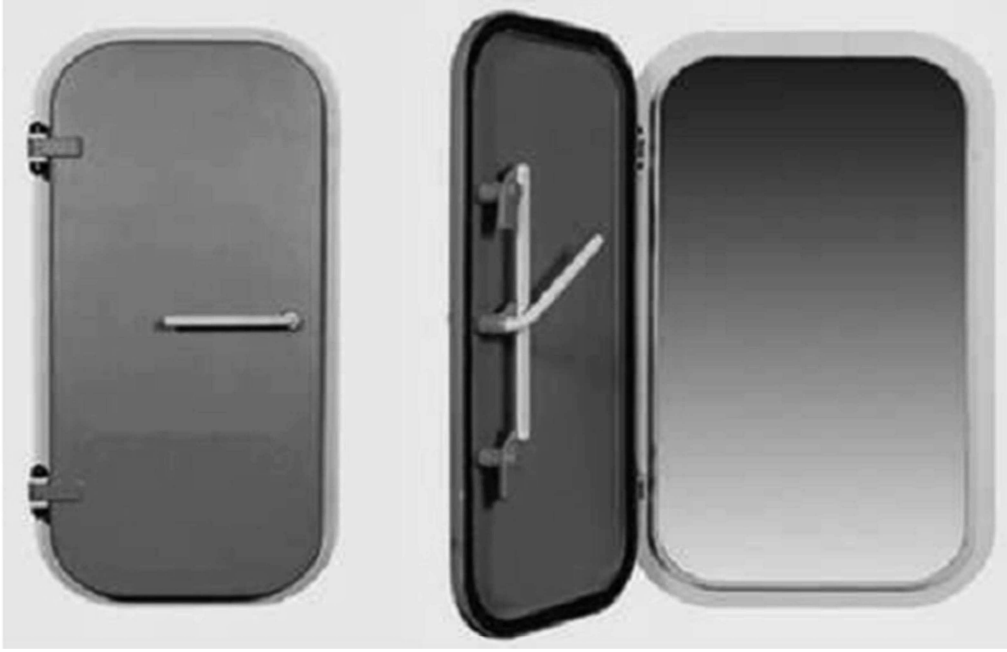
Şekil 2.3 : Hava Kilidine iki örnek.

2.9 Gaz Sızdırmaz Kapı

Bu çalışmada ele alınan örnekteki gibi yüksek biyogüvenlik seviye gerektiren tesislerde havanın sızmamamasının istendiği noktalarda kullanılan ve tesisteki diğer kapılara oranla yüksek maliyetli kapılardır. Bu kapılar paslanmaz çelikten imal edilirler.

Çalışma şekli olarak kapı kapatıldıktan sonra conta basınçlı hava ile şişirilerek contanın dış kasaya basması sağlanır. Bu şekilde sızdırmazlık temiz edilir. Açmak için contaya vakum uygulanır. Conta büzüldükten sonra elektrikli kilit kapıyı açmaya

izin verir [17]. Aşağıdaki şekilde gaz sızdırmaz bir kapı örnek olarak verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Gaz sızdırmaz kapı.

3. HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARLAMAK İÇİN GEREKLİ CİHAZLAR VE MALZEMELER

Temiz odalar için bir havalandırma sistemi tasarlarken kullanılacak ürünler ve cihazlar bu bölümde tanıtılmaktadırlar.

3.1 Hijyenik Klima Santralleri

İçerisinde temiz odaların bulunduğu bir sistemde herhangi bir klima santralinin sağlayamayacağı koşulları hijyenik bir klima santrali sağlayabilir. Hijyenik klima santrallerinin üretimi ve bunların işletilmesi özel bir uzmanlık kolu meydana getirmiştir. Günümüzde hijyenik klima santrallerin kullanım yelpazesi oldukça genişlemiştir. Hijyenik klima santralleri hastanelerin dışında ilaç üretimi, gıda sanayi, elektronik cihaz üretimi gibi alanlarda da kullanılmaktadırlar.

Klima santralleri birçok ana elemandan oluşmaktadırlar. Bunlar nemlendirici, fan, filtre, damper, ısıtma serpantini, soğutma serpantini, elektrikli ısıtıcı vb. elemanlardır. Havanın kalitesi üzerinde etkili olacak bu elemanların özellikleri hijyenik klima santraline uygun olmalıdır. Hijyenik klima santrallerinde, partikül transferi önlenmeli, partikül birikmemeli, mikroorganizma oluşmamalıdır. Ayrıca kolaylıkla dezenfekte edilebilmelidirler.

Hijyenik klima santrallerinin yapımında kullanılan malzemeler için temiz oda imal edilirken kullanılan malzemeler gibi özen gösterilmelidir. Hijyenik bir klima santralinin sahip olması gereken özelliklerden bazıları şunlardır [18].

1. Santralin içinde hava kaçağı olmamalıdır.
2. Fanın malzemesi galvaniz sactan imal edilmelidir.
3. Kasa iç yüzeyi galvaniz ve paslanmaz çelik olmalıdır.
4. Santral profilleri çift cidarlı ve kapalı profillerden meydana gelmelidir.
5. Partikül birikmesini önlemek için civata, somun vs. bulundurulmamalıdır.
6. Damperler sızdırmaz olmalıdır.

7. Serpantinler seyrek hatveli imal edilmelidir.
8. Fan, filtre, serpantinlerin temizliği sağlanmalıdır.

3.2 Hava Filtreleri

Filtre, havalandırma tesisatında havadaki partikülleri yakalamak için kullanılan bir elemandır.

3.2.1 Hava filtre kademeleri

İklimlendirme sistemlerinde, filtreleme üç kademeden meydana gelmektedir [19].

Ön filtre: İklimlendirme için sisteme santral üzerinden getirilen dış havanın geçirildiği ilk filtredir.

Hassas filtre: Üfleme havasının iletildiği kanalın başlangıç noktasına yerleştirilen filtredir.

Son filtre: Temiz odalara hava girişinin sağlandığı noktalara yerleştirilen filtrelerdir. Bu filtre aynı özellikteki oda gruplarının üfleme hava kanalına bir noktada yerleştirilebildiği gibi, tek bir mahalin girişine de yerleştirilebilir.

Kirli hava atış filtresi: Bu filtre enfeksiyonlu (kirli) odalardan havayı dışarı atarken kullanılan filtredir. Bu filtrenin amacı içeride bulunan sağlığa zararlı maddelerin atmosfere yayılmasını engellemektir. Bu filtre verimlilik olarak TS EN 1822-1'e uygun ve standartlara göre minimum H13 olmalıdır.

Filtreler 4 ana sınıfta toplanırlar. Bunlar şu şekildedir.

Grup G: Kaba toz filtreleri (G1, G2, G3, G4). Bu sınıftaki filtreler test sonucuna göre ortalama sentetik toz tutma verimine göre sıralandırılırlar.

Grup F: İnce toz filtresi (F5, F6, F7, F8, F9),

Grup H: Yüksek verimli filtreler (HEPA Filtreler) (H10, H11, H12, H13, H14),

Grup U : Ultra düşük geçirimli hava filtreleri (ULPA Filtreler) (U15 U16, U17).

Filtrelerin partikül yakalama verimliliği ile ilgili çizelge aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1: Filtre sınıflarına göre ortalama partikül yakalama verimlilikleri [19].

Filtre Sınıfı	Ortalama Partikül Yakalama Verimi (%)
G1	< %65
G2	%72,0 - 77,1
G3	%81,0 - 88,1
G4	%91,7 - 94,4
F5	%96,4 - 99,0
F6	%98,2 - 99,0
F7	> %99,0
F8	> %99,0
F9	> %99,0
H10	> %85,0
H11	> %95,0
H12	> %99,5
H13	> %99,95
H14	> %99,995
U15	> %99,9995
U16	> %99,99995
U17	> %99,999995

HEPA filtreler EN 1822'ye göre 0,3 µm çapındaki partiküller için verimliliği %99,97 ile %99,995 arasında değişen filtrelerdir. Temizken maksimum 250 Pa karşı basınçta hava geçiren ve kirlendiklerinde atılan filtrelerdir.

Gerekli mahallerde HEPA Filtreler menfezlerin arkalarında mevcuttur. HEPA filtreler maksimum 500 Pa basınç kaybında değiştirilmelidirler [19].

3.3 Sabit Hava Debisi Ünitesi

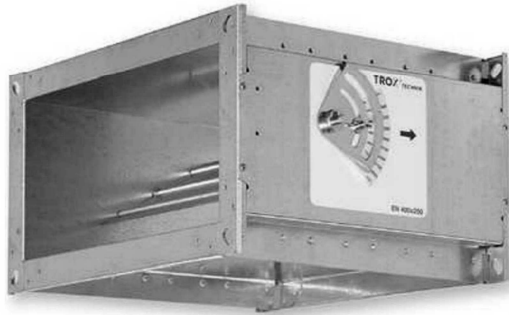
Sabit debili sistemlerde (CAV-Constant Air Volume) hava terminali, mahale basınçtan bağımsız bir şekilde sabit debide hava üflenmesini sağlar. Bu hava terminaline CAV Ünitesi adı verilir. Bu ünite mahale üflenlen havayı odanın yükünden bağımsız olarak düzenler.

Mahalin ısı yükündeki düşüme göre mahale üflenlen havanın odayı gereğinden daha fazla soğutmaması için havanın belli oranda ısıtılması gerekir. Bunun için üflenecek olan hava CAV ünitesinden sonra termostatla kontrol edilen elektrikli veya sıcak sulu yeniden ısıtma bataryasından geçirilerek ısıtılır.

CAV üniteleri dairesel ve dikdörtgen tipte olurlar. Düşük debilerde dairesel CAV üniteleri kullanılır. Yüksek debilerde ise dikdörtgen CAV üniteleri kullanılır. Hem dairesel hem de dikdörtgen CAV ünitelerinin karşılayabildiği debilerde ise tip seçimine mimariye veya işveren isteğine göre karar verilir [21]. Aşağıda dairesel ve dikdörtgen CAV ünitelerine örnek verilmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1 : Dairesel CAV Ünitesine bir örnek.



Şekil 3.2 : Dikdörtgen CAV Ünitesine bir örnek.

3.4 Değişken Hava Debi Ünitesi

Değişken debili sistemlerde (VAV-Variable Air Volume) hava terminali, mahalin ısı yüküne bağlı olarak hava debisini kontrol eder. Bu hava terminaline VAV Ünitesi adı verilir.

Mahalin ısı yükündeki değişikliğe göre VAV ünitesi oda ısını sabit tutmak için belirlenmiş en düşük ve en yüksek hacim değerleri arasında kalarak, havanın debisini değiştirir.

VAV üniteleri dairesel ve dikdörtgen tipte olurlar. Düşük debilerde dairesel VAV üniteleri kullanılır. Yüksek debilerde ise dikdörtgen VAV üniteleri kullanılır. Hem dairesel hem de dikdörtgen VAV ünitelerinin karşılayabildiği debilerde ise tip seçimine mimariye veya işveren isteğine göre karar verilir [22]. Aşağıda dairesel ve dikdörtgen VAV ünitelerine örnek verilmiştir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).



Şekil 3.3 : Dairesel VAV Ünitesine bir örnek.



Şekil 3.4 : Dikdörtgen VAV Ünitesine bir örnek.

3.5 Bekçi Filtre (Safe House) Ünitesi

Tesiste mahallerden emilen hava dışarı atılmadan önce içerisinde bulunan zararlı partiküllerden arındırıldıktan sonra egzoz edilmelidir. Emilen havanın egzoz edilmeden önce içinden geçirildiği ünitelere bekçi filtre (safe house) adı verilir. Bu ünitelerin içinde ihtiyaca uygun olarak yerleştirilen filtreler bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde bir bekçi filtre gösterilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Bekçi Filtre Ünitesi.

Bu projede ele alınan tesiste, kirli alandan emilen hava, önce içerisinde F7 ve H14 filtre bulunan sonrasında sadece H14 filtre bulunan bekçi filtrelerden geçirildikten sonra dışarı egzoz edilecektir [23].

3.6 Fanlar

Fanlar havanın basınçlandırılarak belli bir akış yolunda ilerlemesini sağlayan cihazlardır. Fanlar ihtiyaca göre havanın egzoz edilmesi için veya havanın içeri

üflenmesi için kullanılabilir. Aşağıdaki şekilde hücreli radyal bir fan gösterilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Hücreli radyal fan [24].

3.7 Isı Geri Kazanım Üniteleri

Isı geri kazanım üniteleri enerji tasarrufu sağlamak amacıyla kullanılan cihazlardır. Bu cihazların içinde, içeriden emilen hava, cihazın verimi oranında enerjisinin bir kısmını dışarıdan alınan taze havaya aktararak emiş yapılan mahallerin iklimlendirilmesi için kullanılan cihazların yükünün belli oranda azaltılmasını sağlar. Aşağıdaki şekilde küçük hacimli ($5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e kadar) plaka tipi, çapraz akımlı bir ısı geri kazanım cihazı gösterilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Isı geri kazanım ünitesi [25].

Daha büyük hacim gerektiren sistemlerde ısı geri kazanımlı santraller kullanılmaktadır.

3.8 Serpantinler

Klima santrallerinde havayı ısıtmak, soğutmak ve/veya nemini almak için kullanılan kanatlı boru türündeki ısı değıştircilere serpantin adı verilir [24].

3.8.1 Soğutma serpantinleri

Su soğutma serpantinleri, havanın duyulur soğutulmasını ve neminin alınmasını birlikte sağlar. Soğutma serpantinleri, sulu veya doğrudan genleşmeli serpantinler olarak ikiye ayrılır [24].

3.8.2 Isıtma serpantinleri

Ortamı iklimlendirecek olan havanın ısıtılması için kullanılan serpantinlere ısıtma serpantinleri adı verilir. Isıtma serpantinleri buharlı, sıcak sulu veya elektrikli olabilirler. Isıtma serpantinleri klima santrallerinin haricinde ek olarak tekrar ısıtma serpantinleri olarak da kullanılabilirler. Tekrar ısıtma serpantinleri ihtiyaç duyulması halinde havalandırma sistemi içinde bulunan CAV ve VAV ünitelerinden sonra konması gereken serpantinlere verilen addır. Tekrar ısıtma serpantinleri sıcak sulu bataryalı veya elektrikli olabilirler. Bir elektrikli serpantin içinde elektrik gerilimi uygulanan bir direnç telinden meydana gelir [24].

4. NEGATİF BASINÇLI TEMİZ ODALAR BULUNAN BİR TESİSTE HAVALANDIRMA SİSTEMİ TASARIMI ÖRNEĞİ

4.1 Amaç

Ankara’da aşı üretimi amacıyla kullanılacak tesisin, negatif basınçlı temiz oda prensipleri ile iklimlendirmek amacıyla, havalandırma sistemini tasarlayacağız. Ele alınan tesisin mimarisi şekil 4.1’de gösterilmiştir.

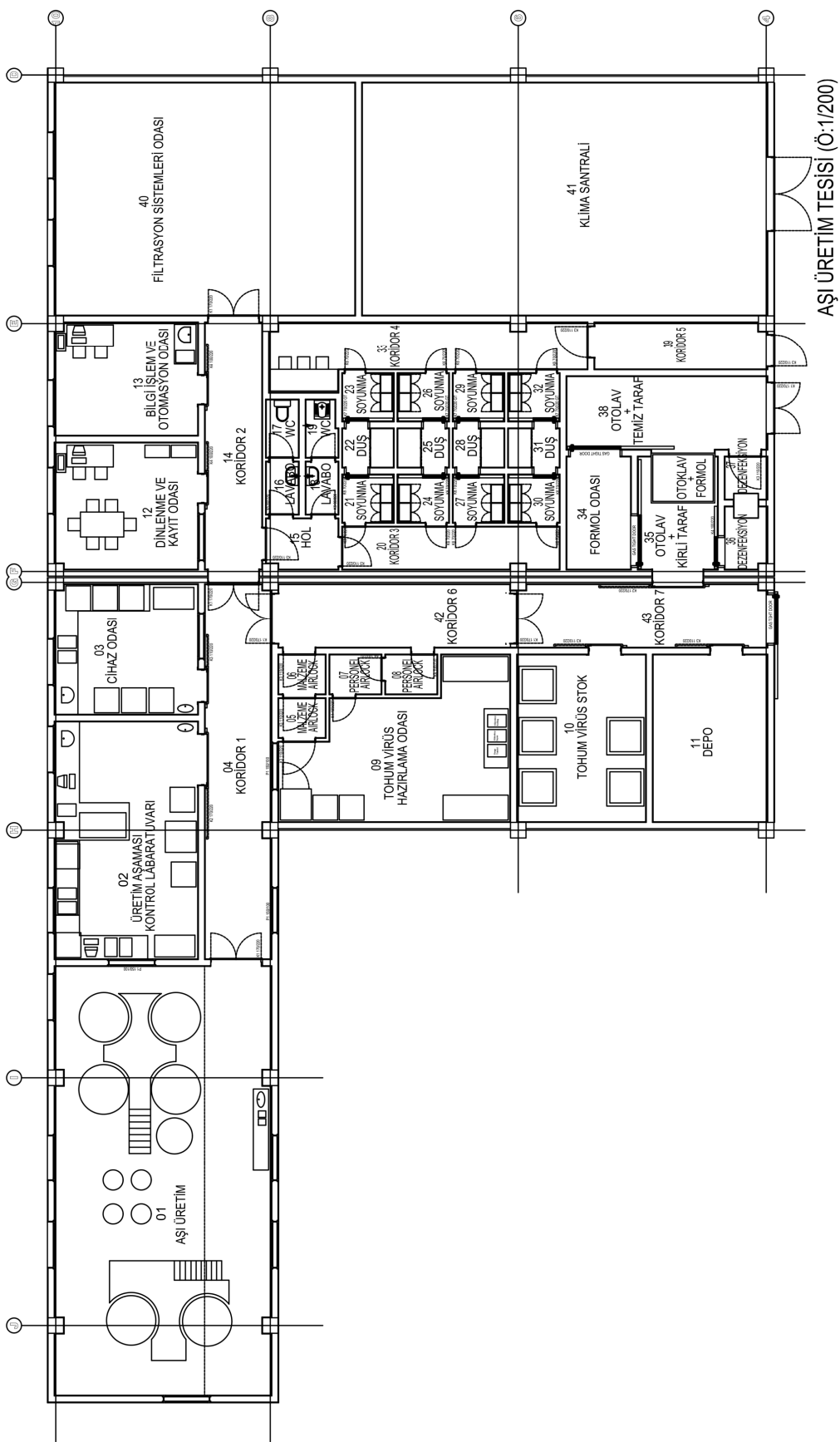
4.2 Mimarinin Tanıtımı

Ele alınan tesis, bir aşı üretim tesisidir. Mimarideki mahallerin kullanım amacı mahal numaraları ile birlikte aşağıda açıklanmıştır.

- 1) Aşı üretim: Tesiste aşının üretildiği mahal.
- 2) Üretim aşaması kontrol laboratuvarı: Üretilen aşidan numune alınarak kontrol edildiği mahal.
- 3) Cihaz odası: Üretimde kullanılan cihazların bulunduğu mahal.
- 4) Koridor 1: Koridor.
- 5) Malzeme hava kilidi: Tohum virüsü hazırlama odasına sokulacak veya çıkarılacak olan malzemenin geçeceği hava kilidi mahallerinden biri.
- 6) Malzeme hava kilidi: Tohum virüsü hazırlama odasına sokulacak veya çıkarılacak olan malzemenin geçeceği hava kilidi mahallerinden biri.
- 7) Personel hava kilidi: Tohum virüsü hazırlama odasına girecek veya çıkacak olan çalışanın geçeceği hava kilidi mahallerinden biri.
- 8) Personel hava kilidi: Tohum virüsü hazırlama odasına girecek veya çıkacak olan çalışanın geçeceği hava kilidi mahallerinden biri.
- 9) Tohum virüs hazırlama odası: Aşı üretimi için gerekli virüsün hazırlandığı mahal.

- 10) Tohum virüs stok: Aşı hazırlamak için gerekli virüs tohumlarının depolandığı mahal.
- 11) Depo: Üretilen aşılardan depolandığı mahal.
- 12) Dinlenme ve kayıt odası: Çalışanların dinlendiği ve günlük işlerin, envanterin kaydedildiği mahal.
- 13) Bilgi işlem ve otomasyon odası: Tesisin bilgi işlem merkezi, otomasyonun kontrol edildiği mahal.
- 14) Koridor 2: Koridor.
- 15) Hol: Tuvaletlerin holü.
- 16) Lavabo: Tuvaletin lavabo bölümü.
- 17) WC: Tuvalet.
- 18) Lavabo: Tuvaletin lavabo bölümü.
- 19) WC: Tuvalet.
- 20) Koridor 3: Koridor.
- 21) Soyunma: Çalışanların çalışma kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (kirli taraf).
- 22) Duş: Çalışanların hem girerken hem çıkarken kullanmalarının zorunlu olduğu duş bölümü.
- 23) Soyunma: Çalışanların günlük kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (temiz taraf).
- 24) Soyunma: Çalışanların çalışma kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (kirli taraf).
- 25) Duş: Çalışanların hem girerken hem çıkarken kullanmalarının zorunlu olduğu duş bölümü.
- 26) Soyunma: Çalışanların günlük kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (temiz taraf).
- 27) Soyunma: Çalışanların çalışma kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (kirli taraf).

- 28) Duş: Çalışanların hem girerken hem çıkarken kullanmalarının zorunlu olduğu duş bölümü.
- 29) Soyunma: Çalışanların günlük kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (temiz taraf).
- 30) Soyunma: Çalışanların çalışma kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (kirli taraf).
- 31) Duş: Çalışanların hem girerken hem çıkarken kullanmalarının zorunlu olduğu duş bölümü.
- 32) Soyunma: Çalışanların günlük kıyafetlerini giydikleri veya çıkardıkları kirli alan soyunma mahali (temiz taraf).
- 33) Koridor 4: Koridor.
- 34) Formol odası: Tehlikeli kimyasallar için özel dezenfeksiyon odası.
- 35) Otoklav+Kirli taraf: Tesise sokulacak veya çıkarılacak olan ve otoklavdan geçmesi gereken malzemelerin otoklava yerleştirildiği ve kirli alan tarafında kaldığı mahal.
- 36) Dezenfeksiyon: Tesise sokulacak veya çıkarılacak olan ve dezenfeksiyondan geçmesi gereken malzemelerin dezenfeksiyon ünitesine yerleştirildiği ve kirli alan tarafında kaldığı mahal (kirli taraf).
- 37) Dezenfeksiyon: Tesise sokulacak veya çıkarılacak olan ve dezenfeksiyondan geçmesi gereken malzemelerin dezenfeksiyon ünitesine yerleştirildiği temiz alan tarafında kaldığı mahal (temiz taraf).
- 38) Otoklav+temiz taraf: Tesise sokulacak veya çıkarılacak olan ve otoklavdan geçmesi gereken malzemelerin otoklava yerleştirildiği ve temiz alan tarafında kaldığı mahal.
- 39) Koridor 5: Koridor.
- 40) Filtrasyon sistemleri odası: Tesisten emilen havanın atmosfere atılmadan önce filtrelerden geçirildiği teknik mahal.
- 41) Klima Santrali: Tesisi besleyen klima santralinin bulunduğu mahal.



Şekil 4.1 : Mimari

Mimari incelendiğinde tesisin kendi içinde ayrıldığı alanlar görülmektedir. Bunlar teknik bölüm, çalışanların girişinin sağlandığı bölüm, kimyasalların girdiği ve virüsün üretilip saklandığı bölüm, aşının üretildiği bölümlerdir. Çalışanlar ise 39 numaralı mahalden tesise giriş yapmaktadırlar. Bölümlerin sahip olduğu odalar aşağıda sıralanmışlardır:

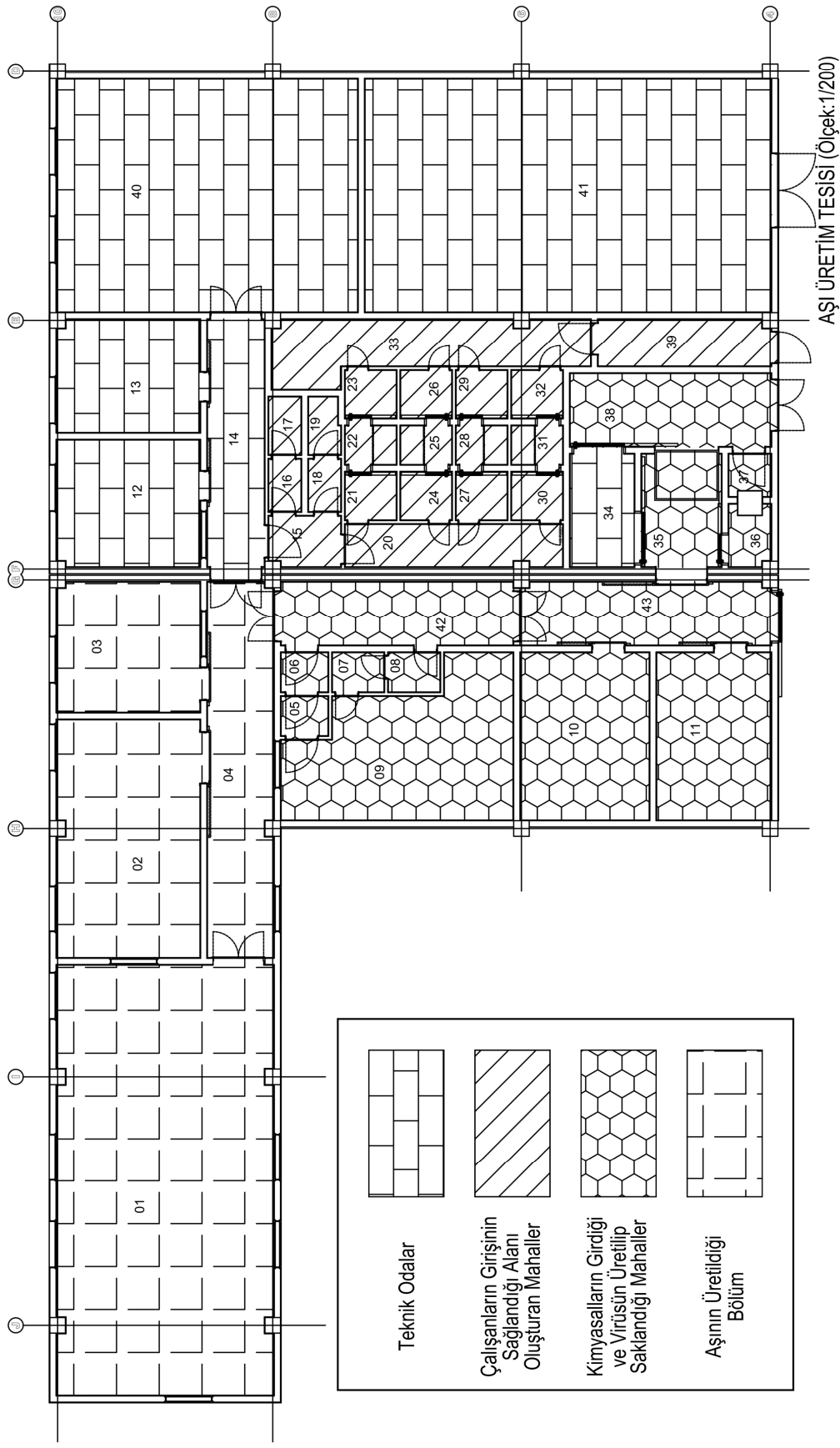
Teknik mahaller: 12, 13, 14, 34, 40, 41 numaralı mahaller.

Çalışanların girişinin sağlandığı alanı oluşturan mahaller: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39 numaralı mahaller.

Kimyasalların girdiği ve virüsün üretilip saklandığı mahaller: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 35, 36, 37, 38, 42, 43 numaralı mahaller.

Aşının üretildiği bölüm: 1, 2, 3, 4 numaralı mahaller.

Yapının içindeki bölümler taralı olarak şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Tesisin içerisindeki bölümler (Taratlı olarak)

4.3 Havalandırma Tesisatı Tasarımı İçin Gerekli Hesaplar

Ele alınan bu tesiste havalandırma sisteminin tasarımı için gerekli olan santrallerin hitap edecekleri mahalleri ayarlama, hava kaçış stratejisi hazırlama, hava sızdıran kapılardan sızan miktarı hesaplama, ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları doğrultusunda üflenmesi ve emilmesi gereken hava debilerini hesaplama, çıkan değerler ışığında santral akım şeması hazırlama işlemleri sırasıyla aşağıda sıralanmıştır.

4.3.1 Santraller

Bu yapıda kullanılan santraller iki adettir. Bunlar kirli bölgenin santrali (KS-01) ve temiz bölgenin santrali (KS-02) olarak ikiye ayrılır. Santrallerin hitap ettiği mahaller aşağıda sıralanmıştır.

KS-01 kodlu santralin hitap ettiği mahaller: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 35, 36, 40, 42, 43

KS-02 kodlu santralin hitap ettiği mahaller: 23, 26, 29, 32, 33, 37, 38, 39

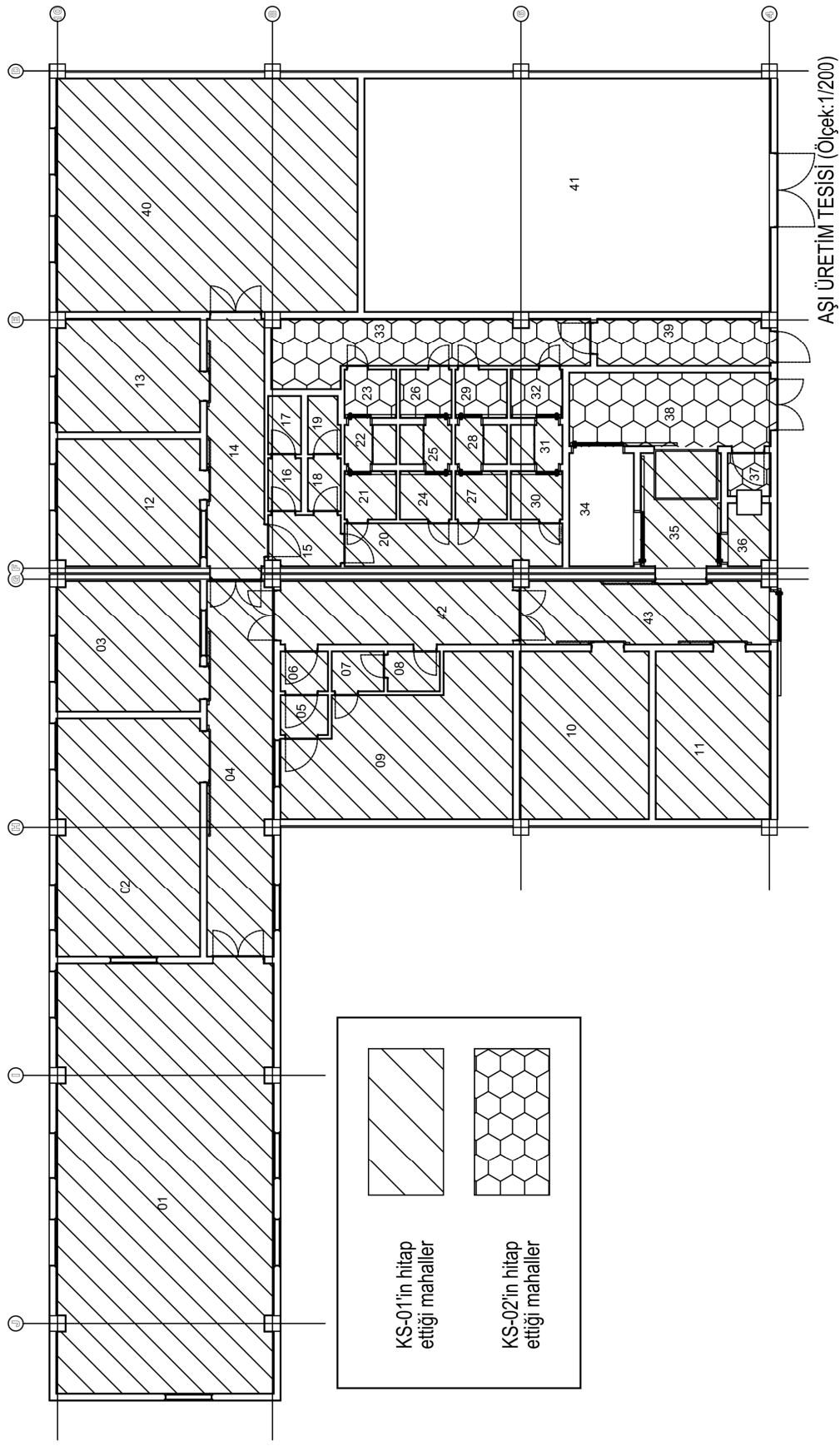
Santrallerin hitap edeceği mahaller paylaştırılırken aşının üretildiği mahaller ile çalışanların giriş yaptığı mahaller birbirlerinden ayrılmıştır.

Santrallere dahil edilmeyen iki mahal vardır. Bunlar 34 ve 41 numaralı mahallerdir. 41 numaralı mahal santrallerin bulunduğu mahaldir. Bu mahalde üfleme ve/veya emme yapılmamaktadır. 34 numaralı mahal formol odasıdır. Bu mahalde içinde bulunduracağı ürünler sebebiyle santral sistemlerinden emme yapılacaktır.

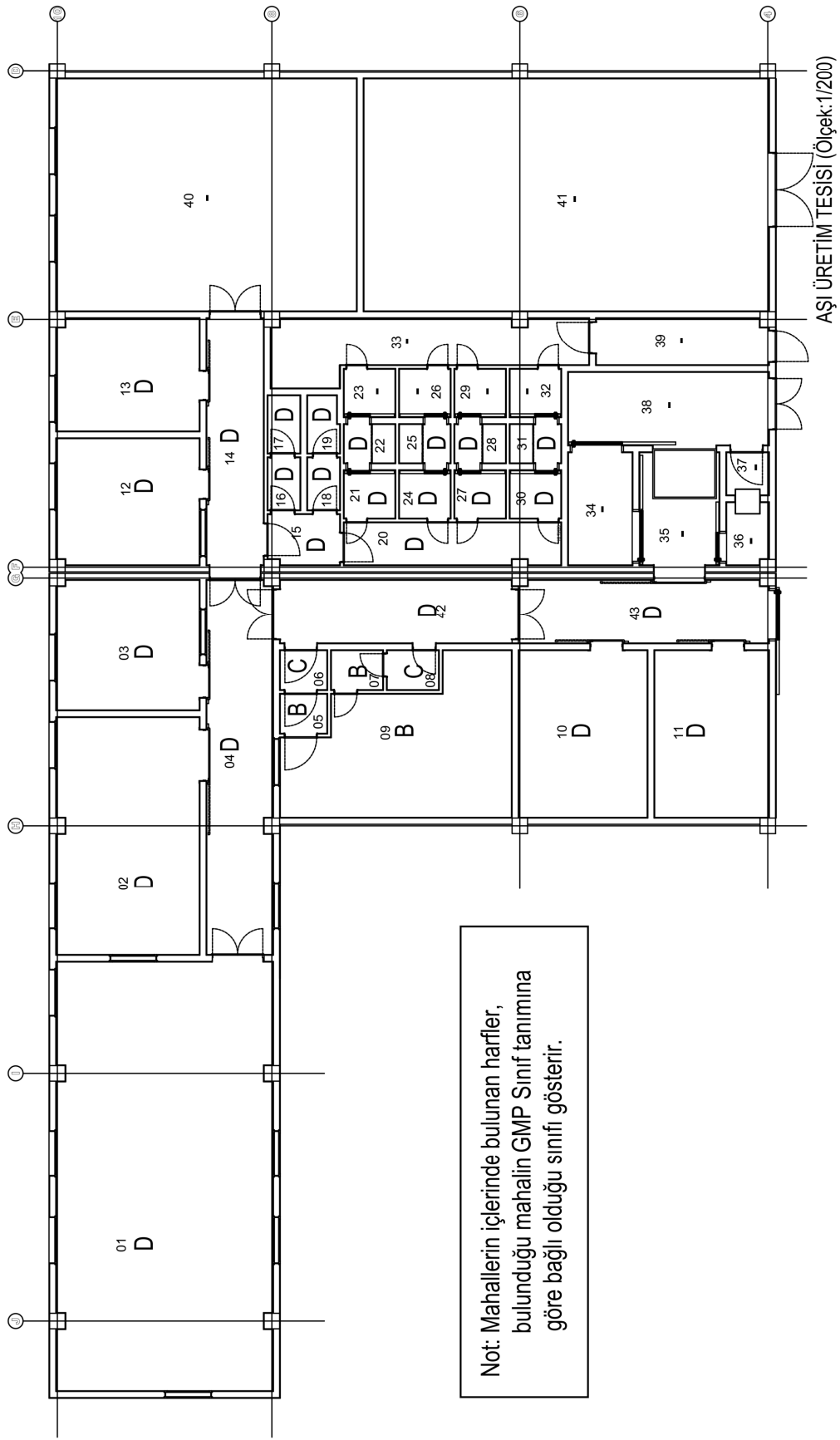
Bu mahallerin plan üzerinde gösterimi şekil 4.3'tedir.

4.3.2 Sınıf belirlenmesi

Tesiste mahallerin hangi sınıfa ait olduğu içerisinde yapılacak işlemlere göre bir GMP uzmanı tarafında belirlenir. Bu tesiste bulunan mahaller için belirlenen sınıflar şekil 4.4'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Santrallerin hitap ettiği mahaller (Tarahı olarak)



Şekil 4.4 : Mahallerin sınıflarının gösterimi

4.3.3 Hava akış yönü belirlenmesi

Yapıdaki mahaller arası hava geçiş yönünü hazırlamadan önce 2 adet mahali eliyoruz. Bunlar 34 ve 41 no'lu mahallerdir. 34 numaralı mahalin kapıları, içinde kimyasal açıdan zararlı ürünler olması sebebiyle, gaz sızdırmaz kapılardır. Bu sebepten hava akış yönü belirlenmesi işlemine dahil değildir. 41 numaralı mahal santrallerin bulunduğu mahaldir. Bu mahalin girişi tesisin dışındadır. Bu sebepten hava akış yönü belirlenmesi işlemine dahil değildir.

KS-02 kodlu santralin hitap ettiği mahaller ile bu mahallere komşu olan ve KS-01 kodlu santralin hitap ettiği mahaller arasında gaz sızdırmaz kapılar mevcuttur. Bu sebepten bunların arasında hava akışı yoktur. Arasında gaz sızdırmaz kapı mevcut olan mahaller sırasıyla 22 ile 23, 25 ile 26, 28 ile 29, 31 ile 32'dir.

Tesisteki hava akışını ele alırken ana prensibimiz koridorlar vasıtası ile mahallerin birbirleri arasında hava akışını engellemektir. Bunun için koridorlar ya basınç itibariyle komşu mahallerden fazla olmalı ya da basınç itibariyle komşu mahallerden düşük olmalıdır. Bu sayede komşu mahaller arasında hava akışı olmayacaktır. Bunun istisnası olan iki mahal vardır. Bunlar 15 numaralı tuvalet holü ve 38 numaralı otoklav+temiz taraf mahalleridir. Bu ikisi hakkındaki açıklama aşağıda anlatılacaktır. Tesisi, koridorları itibari ile yedi bölüme ayırarak inceleyeceğiz.

İlk ele alacağımız bölüm tesisin girişinin de içinde bulunduğu KS-02 kodlu santraldir. Ele alınacak olan mahaller 23, 26, 29, 32, 33, 37, 38 ve 39 numaralı mahaller arasında hava akışını gerektirecek bir durum yoktur. 23, 26, 29, 32 numaralı mahallere, bu mahallerden daha yüksek basınçlı 33 numaralı mahalden hava akışı olmalıdır. 39 numaralı mahal ile atmosfer arasında, standartlar açısından bir mecburiyet olmaması ile birlikte bazı GMP uzmanları, tesisin emniyeti açısından 5 Pa'lık bir fark istemektedirler. Bu fark ileride bu kapıdan kaçan hava debisini hesaplarken kullanılan ampirik formülde bir değişiklik yapılmasını gerektirir. Bu duruma örnek teşkil etmesi amacıyla bu 5 Pa'lık fark bu çalışmada sağlanmıştır. İstisnai bir hol olan 38 numaralı mahal, tesise giriş çıkışı gerekli kimyasal ürünlerin veya malzemelerin geçişi için kullanılan alandır. Bu mahal kendisine komşu olan 37 numaralı dezenfeksiyon mahalinden yüksek basınçlı olmalıdır. Bu sayede 37 numaralı mahalde bulunması olası partiküller 38 numaralı mahale geçmez. Bununla

beraber 38 numaralı mahalin basıncı atmosferden daha az olmalı, dolayısıyla hava akışı dışarıdan 38 numaralı mahale doğru gerçekleşmelidir.

İkinci ele alacağımız bölüm, çalışanların temiz alandan girip çalışma giysilerini giyip, tesise girdikleri alandır. Bu alandaki mahaller 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 30, 31'dir. Temiz taraf soyunma odası ile duşlar arasında gaz sızdırmaz kapılar mevcuttur. Bu sebeple 22 ile 23, 25 ile 26, 28 ile 29, 31 ile 32 numaralı mahaller arasında hava akışı olmayacaktır. 22, 25, 28, 31 numaralı mahaller çalışanların kirli alandan çıktıkları ve duş aldıkları mahaldir. Bu sebeple tesisten çıkarken çalışma giysilerini çıkarttıkları mahal olan 21, 24, 27, 30 numaralı alanlardan daha temiz olmalıdır. Bunun için duşlardan kirli bölge soyunma odalarına doğru bir hava akışı olmalıdır. 20 numaralı koridordan, ana prensibimiz doğrultusunda, kendisine açılan 15, 21, 24, 27, 30 numaralı mahallere doğru hava akışı olmalıdır.

Üçüncü ele alacağımız bölüm, çalışanların kirli alandaki çalışma mahalleri ile aralarında bulunan tuvaletlerin olduğu alandır. Bu alandaki mahaller 15, 16, 17, 18, 19'dur. Lavabo ve tuvalet kabini olmaları sebebiyle 16 ile 17, 18 ile 19 numaralı mahaller arasında hava akışı olmasını gerektirecek bir durum söz konusu değildir. Hava akışı ana prensibini açıklarken bir istisnai durum olarak anlatılan 15 numaralı mahal, tuvalet holü bu bölümdedir. Diğer koridorlar basınç itibari ile komşu mahallerine göre ya daha yüksek ya da daha düşük basınçlı iken 15 numaralı mahale 20 ve 14 numaralı mahallerden hava akışı olmaktadır. Bu 20 ve 14 numaralı koridorların komşu olduğu mahallerden daha yüksek basınca sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Eğer 15 numaralı mahal olmasaydı 14 ve 20 numaralı mahallerin her ikisinin birbirlerine basınç itibari ile üstün olması gereken bir ikilem doğacaktı. 15 numaralı mahalin komşu olduğu diğer mahaller olan 16 ile 18 numaralı mahaller, tuvaletlere açılan mekanlardır ve eğer basınç itibari ile 15 numaralı mahalden üstün olmaları durumunda 15 numaralı mahale tuvaletler koku ve istenmeyen partiküller girecektir. Bu sebepten hava akışı 15 numaralı mahalden 16 ve 18 numaralı mahallere olmalıdır.

Dördüncü olarak ele alacağımız bölüm tesisin teknik mahallerinin bulunduğu bölümdür. Bu alandaki mahaller 12, 13, 14, 40'dir. Hava akışı 14 numaralı mahalden komşu olduğu 12, 13, 15, 40 numaralı mahallere doğrudur. 4 ve 14 numaralı mahaller aşı üretilen mahallerin açıldığı koridorlar olması sebebiyle aynı

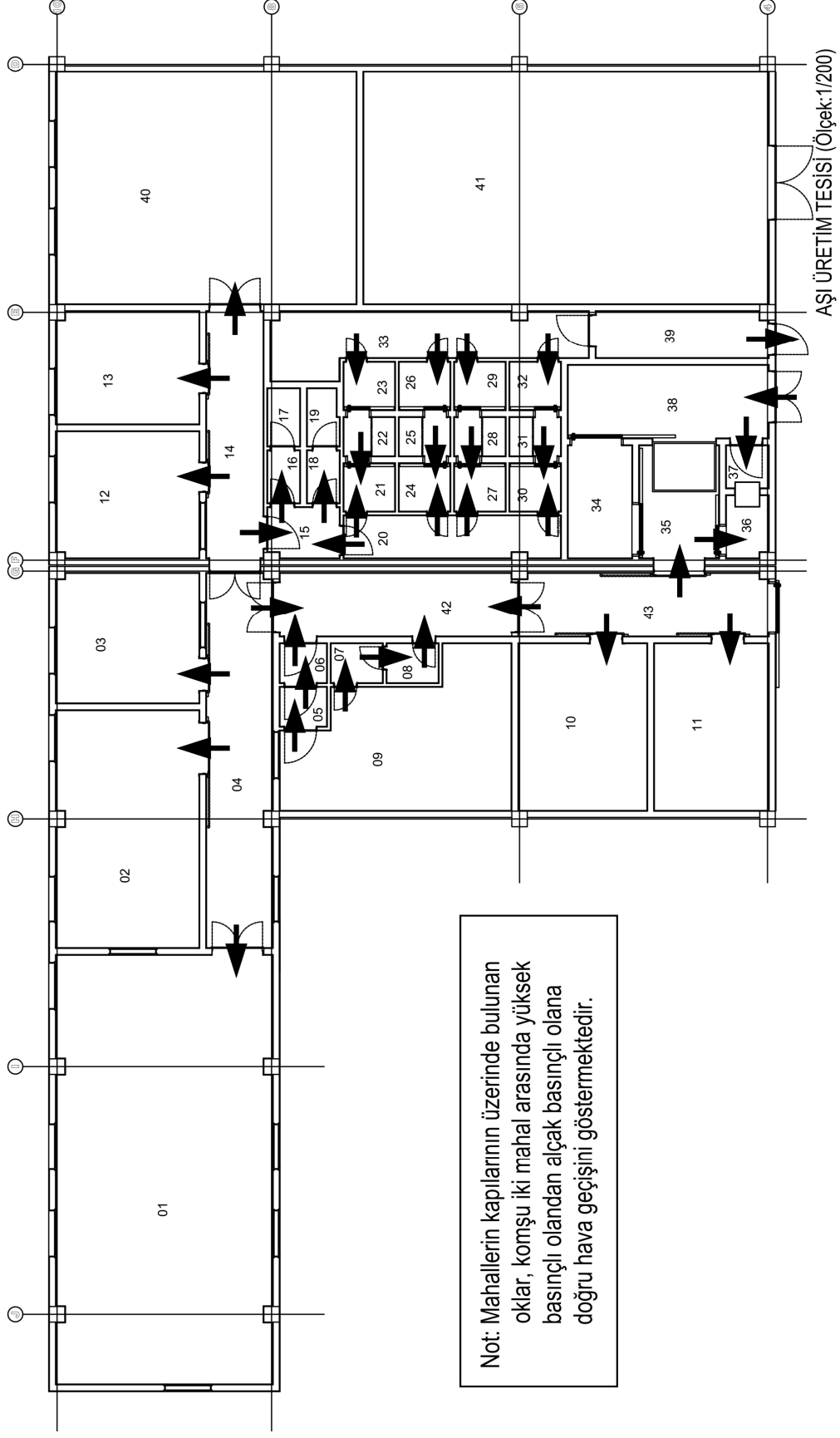
karakteristiğe sahiptirler. Bu sebepten bu iki mahal arasında hava akışı olması gerekmemektedir.

Beşinci olarak ele alacağımız bölüm aşının üretildiği alandır. Bu alandaki mahaller 1, 2, 3, 4'tür. Hava akışı 4 numaralı mahalden komşu olduğu 1, 2, 3, 42 numaralı mahallere doğrudur.

Altıncı olarak ele alacağımız bölüm virüsün hazırlandığı alandır. Bu alandaki mahaller 5, 6, 7, 8, 9 ve 42'dir. 9 numaralı mahal virüsün hazırlandığı mahaldir. Bulundukları sınıf itibariyle hava akışı 9 numaralı mahalden 42 numaralı mahale doğru olmalıdır.

Yedinci ve son olarak ele alacağımız alan tesise getirilen kimyasalların ve malzemelerin giriş veya çıkış yapıp depolandığı ve hazırlanan virüsün stokladığı alandır. Bu alandaki mahaller 10, 11, 35, 36, 43'tür. Hava akışı 43 numaralı mahalden komşu olduğu 10, 11, 35 numaralı mahallere doğrudur. 35 ve 36 numaralı mahaller arasında hava akışı 35'ten 36'ya doğrudur. Bunun sebebi ihtiyaç halinde açılması gereken formol odasının kapısından içeri olası bir hava akışını engellemektir.

Hava akışlarının plan üzerindeki gösterimi şekil 4.5'tedir.



Not: Mahallerin kapılarının üzerinde bulunan oklar, komşu iki mahal arasında yüksek basınçlı olandan alçak basınçlı olana doğru hava geçişini göstermektedir.

Şekil 4.5 : Hava akışının tasarımı

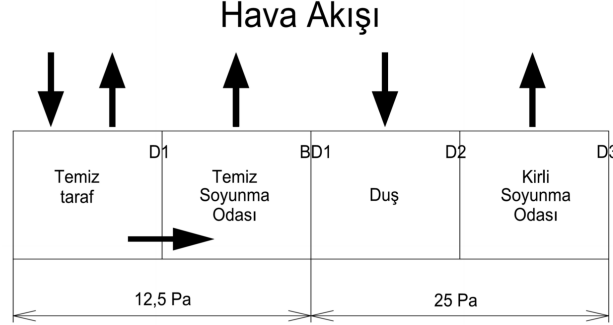
4.3.4 Basınç değerlerinin hesaplanması

Basınç değerlerinin hesaplanmasına giriş mahallinden başlayacağız. 39 numaralı mahal tesise giriş mahalidir. Bölüm 4.3.3, 6. paragrafta bahsettiğimiz üzere bazı GMP uzmanları herhangi bir zorunluluk olmamasına rağmen tedbir amaçlı olarak dışarı ile 5 Pa'lık fark istemektedirler. Bu istek ileride açıklanacağı üzere giriş kapısının kapı kaçak debisinin hesaplamasında bir fark meydana getirir. Bu sebepten bu projenin bu tip istisnai durumlara örnek teşkil edebilmesi için, istenmesi muhtemel bu fark sağlandı. Dolayısıyla 39 numaralı mahalin basıncı +5 Pa'dır. 33 ve 39 numaralı mahaller arasında basınç farkı gerekmemektedir. Bu sebepten 33 numaralı mahalin basınç kaybı +5 Pa'dır. 33 numaralı mahalden hava geçişi olan 23, 26, 29, 32 numaralı mahallerin basınç kaybı, emniyet olarak kabul edilen +5 Pa basınç değerinden değil, emniyet hesaplanmadan olması gereken atmosfer basıncı olan 0 Pa'nın 15 Pa eksiği kabul edilir. Bu durumda bu mahallerin basınç kaybı -15 Pa olarak bulunur.

Soyunma odalarının tesise açılan kapıları gaz sızdırmaz kapı olmalarına rağmen günde 3 adet vardiyadan 1'er adet giriş çıkış ile en az 6 kere açılmaktadırlar. Bu sebeple aralarında temiz olan soyunma tarafından duşlara 15 Pa fark olmalıdır. Bu durumda 22, 25, 28 ve 31 numaralı mahallerin basıncı -30 Pa olmalıdır.

Kirli alan içinde basınçlandırma hesabının başladığı mahal çalışanların girerken veya çıkarken kullandıkları duşlardır. Bu duşlar 22, 25, 28 ve 31 numaralı mahallerdir. Veterinary Containment Facilities [11] isimli kitabın 2. parçasının 8. bölümünün 2. kısmında aşağıda gösterilen şekil aracılığı ile bu mahallerde hava geçiş yönü anlatılmaktadır (Şekil 4.6). Şekildeki hava basınç düşüm değerleri minimum düşüm değerlerini gösterir. Basınçlandırma konusunda iki mahal arasında en az 15 Pa'lık fark alınmasının gerekliliği açıklanmıştı. Duş ile kirli soyunma odası arasında kabul edilmesi gereken minimum fark 25 Pa olması gerektiği şekilde görülmektedir. Bu çalışmada bu fark yüksek emniyet amacıyla 35 Pa olarak alınacaktır. Bunun gerekliliği 9 numaralı mahal olan Tohum Virüsü Hazırlama Odasının basıncı hesaplanırken açıklanacaktır.

Şekil 4.6’da temiz soyunma odası ile duşun arasındaki kapı açıldığında temiz soyunma odasının egzoz, duşun üfleme hatları kapatılır böylece bu zaman diliminde hava akışı dışarıdan içeriye doğru gerçekleşir.



Şekil 4.6 : Hava akışı.

Yukarıda anlatılan durum gereği temiz olan soyunma tarafından kirli tarafta bulunan mahallere doğru 15 Pa fark olmalıdır. Bu durumda 22, 25, 28, 31 numaralı mahallerin basıncı -30 Pa olmalıdır.

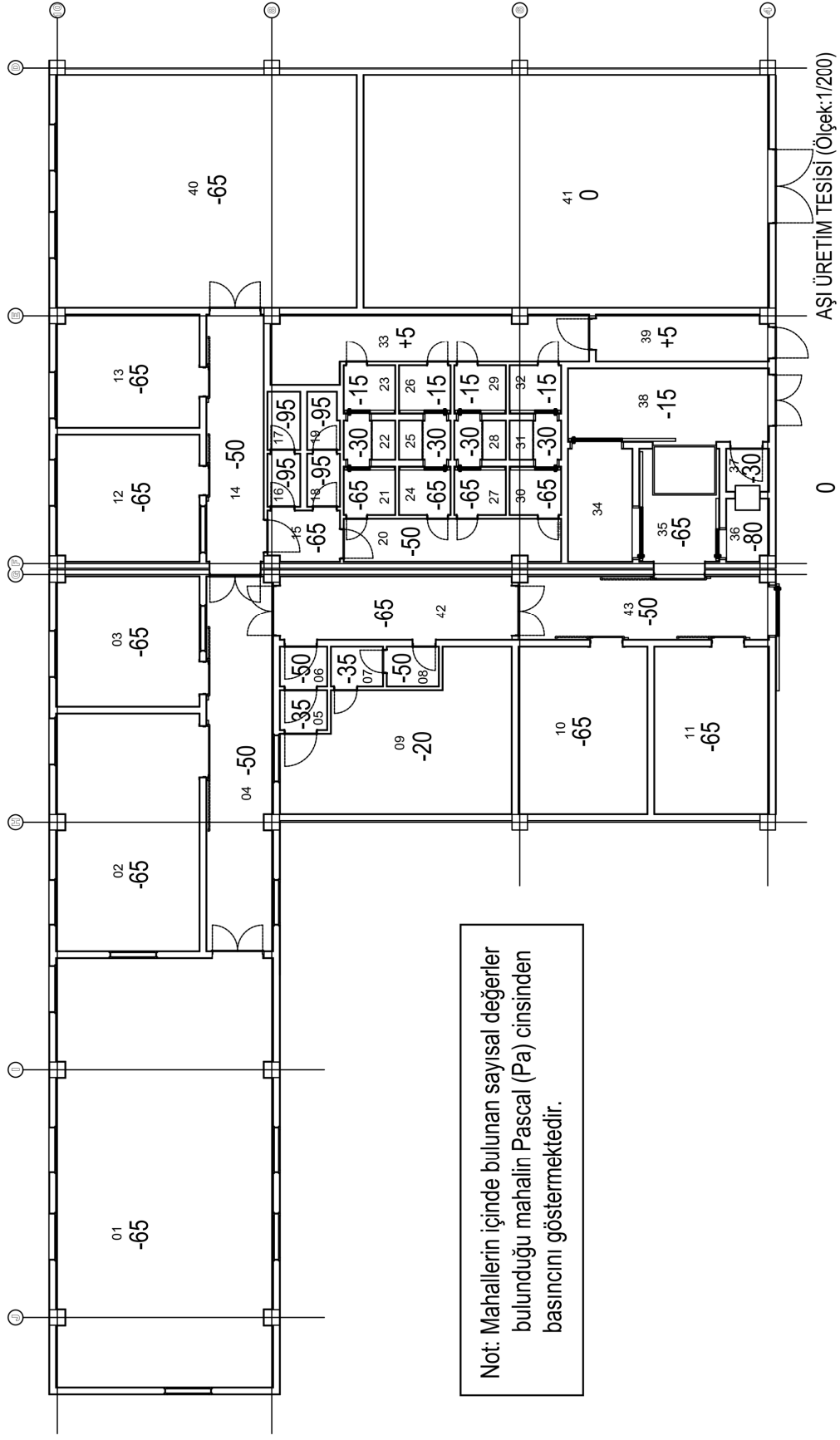
Sağlanması tercih edilen 35 Pa’lık fark sebebiyle kirli alan tarafındaki soyunma (21, 24, 27, 30) mahallerinin basıncı -65 Pa olur.

Bu mahallerin koridorunun (20 numaralı mahal) basıncı 15 Pa’lık basınç sonucu -50 Pa çıkar.

15 numaralı mahal olan tuvalet holüne 20 numaralı mahalden hava kaçıışı olmaktadır. Bu durumda 15 numaralı mahalin basıncı -65 Pa olur.

Tuvaletlere doğru hava akışı için alınan basınç düşümü, tuvaletlerde istenen hava değişim sayısını aşırı güvenlik gerektiren bir tesiste arttırmak için 30 Pa kabul edilmiştir. Bu durumda lavabo ve tuvaletlerin (16, 17, 18, 19) mahal basıncı -95 Pa’a ulaşır. Tuvalet holünün komşu mahali olan koridor 2 yani 14 numaralı mahalin basıncı 15 Pa’lık fark sonucu -50 Pa olur. Bu mahalden ulaşılan 12, 13, 41 numaralı mahallerin basıncı -65 Pa çıkar. Koridor 1 (4) ile koridor 2 (14) arasında hava geçişi yoktur. Bu durumda koridor 1’in basıncı -50 Pa’dır. Koridor 1’den ulaşılan mahallerin (1, 2, 3) basıncı 15 Pa fark sebebi ile -65 Pa çıkar. Koridor 1’den koridor 6’ya hava geçişi vardır. 15 Pa’lık farktan dolayı koridor 6’nın basıncı (43) -65 Pa’dır. 15 Pa’lık farklarla ilerlendiğinde ilk hava kilidi mahalleri olan 6 ve 8 numaralı mahallerin basıncı -50 Pa çıkar. İkinci hava kilidi mahalleri olan 5 ve 7 numaralı mahallerin basıncı -35 Pa çıkar. En son olarak 9 numaralı mahal olan Tohum Virüs

Hazırlama Odası -20 Pa olur. Duş ile kirli taraf soyunma odası arasındaki farkı 35 Pa almamız neticesinde 9 numaralı mahalin basıncı -20 Pa çıkmaktadır. Eğer bu değeri şekil 4.6'da gözüktüğü üzere 25 Pa olarak kabul etmiş olsaydık bu durumda bu 10 Pa'lık fark sonucu 9 numaralı mahal'in basıncı -10 Pa çıkacaktı. Bu durumda tesisin en temiz olması gereken B sınıfı bu mahalle atmosfer arasındaki fark 10 Pa olacaktır. İnşai boşluklar sebebi ile dışarı virüs kaçma ihtimalini düşürmek için iki kapı arasında kabul edilen 15 Pa'lık farktan daha fazlası olması gerekir. Bu sebepten en başta seçtiğimiz 35 Pa'lık fark, 9 numaralı mahalin atmosfer ile arasındaki basınç farkını 20 Pa yapar. 42 numaralı mahalden 43 numaralı mahale hava geçişi vardır. 15 Pa'lık fark sonucu 43 numaralı mahalin basıncı -50 Pa çıkar. 43 numaralı mahalden ulaşılan 10, 11, 35 numaralı mahallerin basıncı 15 Pa'lık fark sonucu -65 Pa olur. 35 numaralı mahalin komşusu olan 36 numaralı mahalin basıncı 15 Pa'lık fark sonucu -80 Pa çıkar. Son durumun plan üzerinde mahallerin içerisine işlenmiş hali şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Mahallerin hava basıncı

4.3.5 Kapılardan geçen hava debileri

Mahallerin kapı kodlarının mimariye işlenmiş hali şekil 4.8'dedir. Bu mimariye göre 7 adet farklı kapı tipi vardır. Bu tiplerden biri gaz sızdırmaz kapıdır, mimari üzerinde GSK kodu ile gösterilmiştir. Bu tip kapıdan kaçak hava debisi hava geçiş hesabı yapılmayacaktır. Diğer kapı tipleri ölçüleri (en(cm) x boy(cm)) ile beraber aşağıda listelenmiştir.

K1 : 170 x 220 (Çift Kanatlı)

K2 : 170 x 220 (Sürgülü)

K3 : 110 x 220 (Sürgülü)

K4 : 100 x 220 (Sürgülü)

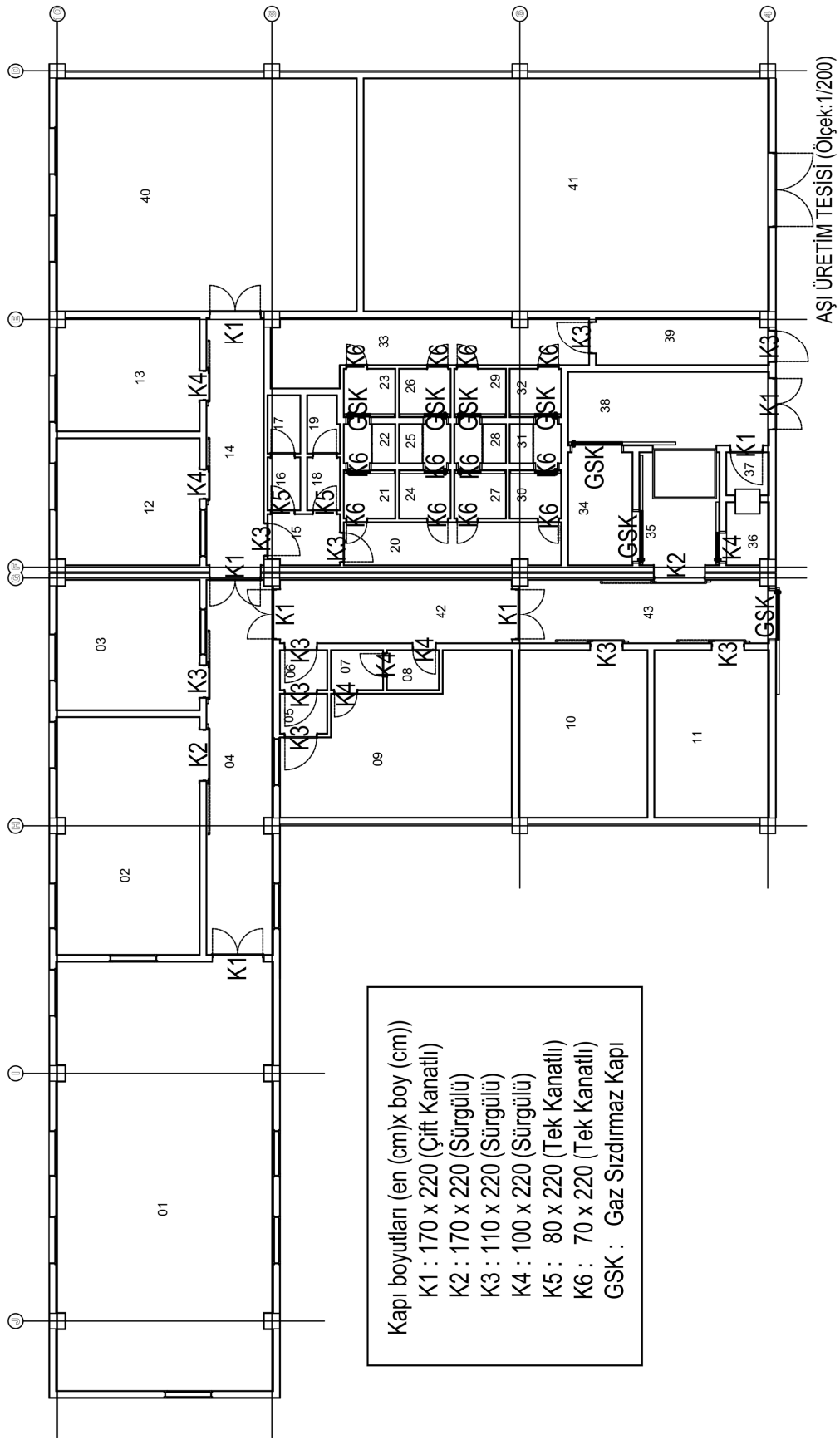
K5 : 80 x 220 (Tek Kanatlı)

K6 : 70 x 220 (Tek Kanatlı)

Kapılardan kaçan hava debisi Blaser (1994)'ın ortaya koyduğu bağlantı ile hesaplanır [26].

$$Q = A\mu\sqrt{2\Delta P/\rho} \quad (4.1)$$

Bu formülde kullanılan değişkenler şöyledir: Çıkan debinin (Q) birimi m³/s'dir. Debiyi m³/h cinsinden bulmak için sonucu, 3600 ile çarpmak durumundayız. A, kapı kaçak alanını m² olarak temsil etmektedir. Kapı kaçak alanı, kapının açılabilir kenarlarının uzunluğunun kabul edilen bir açıklık değeriyle çarpılmasıyla elde edilen alandır. Kabul edilen bu açıklık binaya ana giriş kapısı hariç bütün kapılarda 0,003 m'dir. Basınç değerlerinin hesaplanmasında bahsedilen 5 Pa'lık farkın neden olduğu istisnai durum, bina giriş kapısında bu değer diğer kapılara oranla daha az kabul edilmesine sebebiyet verir. Kabul edilen bu açıklık değeri 0,002 m'dir. μ ampirik olarak elde edilen bir sızıntı katsayısıdır ve 0,72 olarak kabul edilir. ΔP , iki mahal arası Pa cinsinden basınç farkıdır. ρ ise, havanın özgül ağırlıdır.



Şekil 4.8 : Tesisdeki kapılar (kodları ile birlikte)

Yukarıda bahsi geçen gaz sızdırmaz kapıların dışında kalan kapılardan geçen hava debileri, geçtikleri mahaller (basıncı yüksek mahal-basıncı düşük mahal) ve basınç farkı ile beraber aşağıda hesaplanmıştır. Eğer iki mahal arasındaki 15 Pa'dan farklı bir değer ise debi hesabında kapı kodunun yanında parantez içinde belirtilmiştir.

K1 170x220 (04-01, 04-43, 44-43, Atmosfer-39) 15 Pa

$$Q_{K1} = 3600 \times (2 \times 1,7 + 3 \times 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 15 / 1,2}$$
$$Q_{K1} \approx 390 \text{ m}^3/\text{h}$$

K2 170x220 (04-02, 44-36) 15 Pa

$$Q_{K2} = 3600 \times 2 \times (1,7 + 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 15 / 1,2}$$
$$Q_{K2} \approx 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

K3 110x220 (04-03, 09-05, 05-06, 06-43, 44-10, 44-11, 14-15, 15-21, 39-38) 15 Pa

$$Q_{K3} = 3600 \times 2 \times (1,1 + 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 15 / 1,2}$$
$$Q_{K3} \approx 260 \text{ m}^3/\text{h}$$

K3 110x220 (40-Atmosfer) 5 Pa

$$Q_{K3(5)} = 3600 \times 2 \times (1,1 + 2,2) \times 0,002 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 5 / 1,2}$$
$$Q_{K3(5)} \approx 100 \text{ m}^3/\text{h}$$

K4 100x220 (14-12, 14-13, 09-07, 07-08, 08-43, 36-37) 15 Pa

$$Q_{K4} = 3600 \times 2 \times (1,0 + 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 15 / 1,2}$$
$$Q_{K4} \approx 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

K5 80x220 (15-16, 15-18) 30 Pa

$$Q_{K5} = 3600 \times 2 \times (0,8 + 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 30 / 1,2}$$
$$Q_{K5} \approx 325 \text{ m}^3/\text{h}$$

K6 70x220 (21-22, 21-25, 21-28, 21-31) 15 Pa

$$Q_{K6} = 3600 \times 2 \times (0,7 + 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 15 / 1,2}$$
$$Q_{K6} \approx 220 \text{ m}^3/\text{h}$$

K6 70x220 (23-22, 26-25, 29-28, 32-31) 35 Pa

$$Q_{K6(35)} = 3600 \times 2 \times (0,7 + 2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 35 / 1,2}$$
$$Q_{K6(35)} \approx 340 \text{ m}^3/\text{h}$$

K6 70x220 (34-24, 34-27, 34-30, 34-33) 20 Pa

$$Q_{K6(20)} = 3600 \times 2 \times (0,7+2,2) \times 0,003 \times 0,72 \times \sqrt{2 \times 20 / 1,2}$$

$$Q_{K6(20)} \approx 260 \text{ m}^3/\text{h}$$

Hesaplanan bu veriler plan üzerine işlenmiş hali şekil 4.9'dedir.

4.3.6 Havalandırma sistemi akım şeması

Bu tesis için kullanılacak olan santraller mahallerin ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılayan diğer bir deyişle iklimlendiren klima santralleridir. Bu sebeple iklimlendirme ihtiyacı olan mahallere kaçak hava debileri göz önüne alınarak hava üflenmeli ve emilmelidir.

Ancak bir mahal iklimlendirilmeyecekse ve o mahalden egzoz yapılması gerekiyor ise hava üflenmeden sadece egzoz yapılabilir. Bu tesiste 40 numaralı mahal bu özelliklere sahip bir mahaldir.

Eğer bir mahal komşu mahallere göre daha düşük basınçtaysa, iklimlendirmek için gerekli hava debisi bu hava kaçakları ile sağlanabiliyorsa, egzoz edilecek hava debisi vasıtası ile hesaplanan hava değişim sayısı, gerekli hava değişim sayısından fazlaysa, bu mahallerden sadece egzoz yapılabilir. Bu tesiste bu duruma uygun olma ihtimali olan mahaller tuvalet olan 17, 19 numaralı mahaller, kirli taraf soyunma odaları olan 21, 24, 27, 30 ve temiz taraf soyunma odaları olan 23, 26, 29, 32 numaralı mahallerdir. Açıklanan duruma örnek olması için komşu mahallerden daha düşük basınca sahip olan bu mahallerin ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapıldığında çıkan sonuç itibarıyla egzoz edilecek havanın bu mahallerin iklimlendirmesine yeteceği ve hesaplanan hava değişim sayısının yeterli olduğu varsayıldı.

Eğer bir mahal kendisine komşu mahallerden yüksek basınçtaysa, iklimlendirmek için gerekli hava debisi, kaçak hava debisi miktarı ile eşdeğerse, üflenecek hava debisi istenen hava değişim sayısını sağlıyorsa, bu mahallere sadece üfleme yapılabilir. Bu tesiste bu duruma uygun olma ihtimali olan mahaller duş olan 22, 25, 28, 31 numaralı mahaller ve koridor olan 4, 14, 33, 43 numaralı mahallerdir. Açıklanan duruma örnek olması için komşu mahallerden daha yüksek basınca sahip bu mahallerin ısı kaybı ve ısı kazancı hesabı yapıldığında çıkan sonuç itibarıyla üflenecek olan havanın bu mahallerin iklimlendirmesine yeteceği ve hava değişim sayısının yeterli olduğu varsayıldı.

Mahal üfleme havası girişinde H14 filtre kullanılan mahaller olan 5, 7, 9 numaralı mahallere santralden çıktıktan sonra bir üfleme hava kanalı kolu ayrılıp, ayrı bir fanla basınçlandırılarak üflenir. Bunun sebebi H14 filtrelerinin sistemde fazladan basınç kaybına neden olmalarıdır. Eğer bu mahallere doğrudan santralden hava basılacak

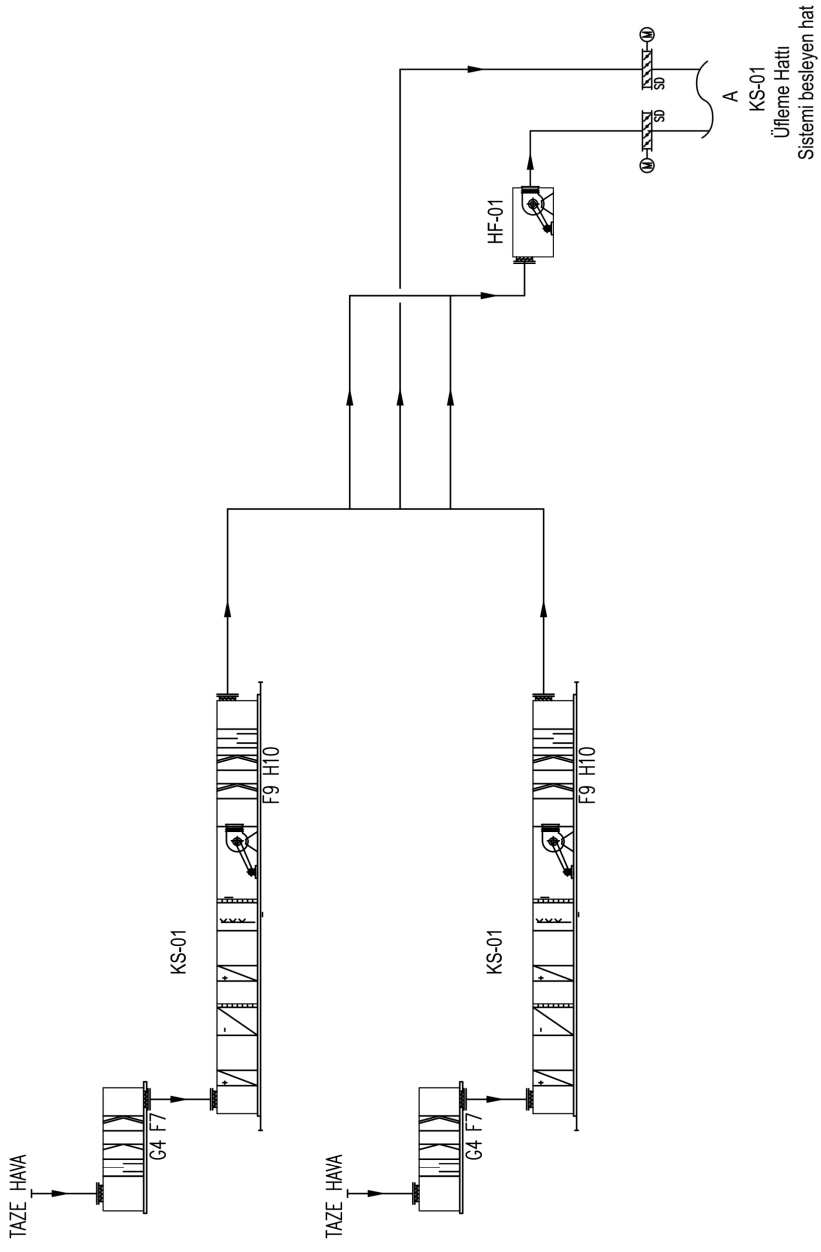
olursa santralin, dolayısıyla bütün sistemin basıncının yüksek seçilmesi gerekir. Bu durum maliyeti arttırır ve sistemi yüksek basınca maruz bırakır.

Kirli alanın santrali (KS-01) seçilirken sistemin üfleme hava debisinin %80 oranında bir santral seçilir ve bu santrallerden iki adet konur. Bunun sebebi sistemi yedeklemek içindir. Santrallerden birinde bir arıza olması durumunda eş zaman kullanım etkisiyle, (her mahalin aynı anda çalışma durumu) bazı mahallerin debisi kısılarak sistemin ihtiyacı %20 oranında azaltılıp bir santral ile üretime devam edilebilir.

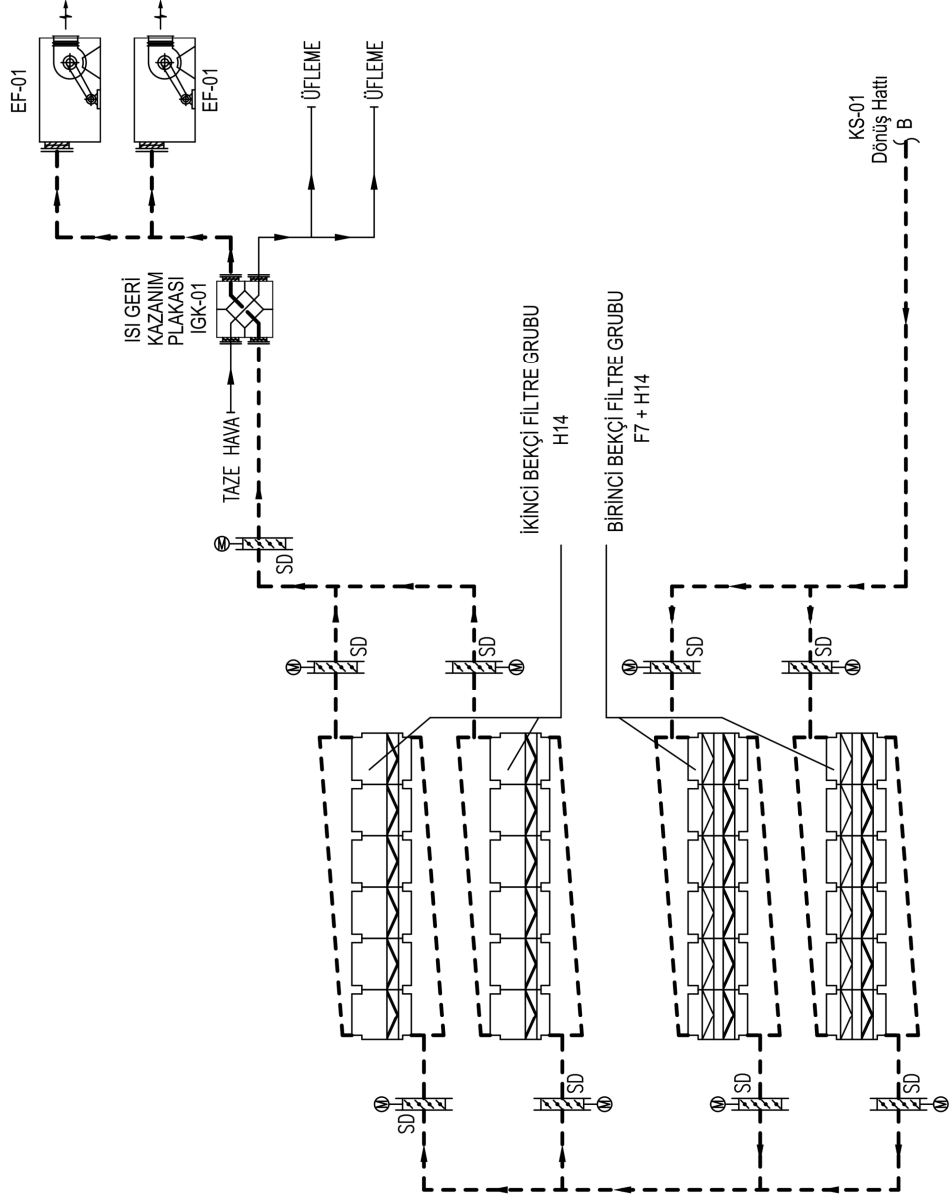
Kirli alanın havası egzoz edilmek üzere toplandıktan sonra bekçi filtrelerden geçirilir. Bekçi filtreler de santraller gibi yedeklenmiştir. Hava birbirine seri bağlı iki bekçi filtre grubundan geçer. Her bekçi filtre grubu birbirine paralel iki kısımdır. Seçim prensibi santral seçim prensibi ile aynıdır. Egzoz edilecek havanın içinden geçirildiği birinci grup bekçi filtresinde F7 ve H14 filtreleri mevcuttur. İkinci gruptaki bekçi filtrelerde ise sadece H14 filtre bulunmaktadır. İkinci bekçi filtre grubundan çıkan egzoz havası bir ısı geri kazanım plakasından geçirilir. Bu plakanın içinden aynı zamanda dışarıdan emilen taze hava da geçirilerek birbirlerine duyulur ısı enerjilerini aktarırlar.

Isı geri kazanım plakasından geçen hava en son olarak bir egzoz fanına girer ve buradan basınçlandırılarak dışarı atılır. Isı geri kazanım hücresinden geçirilerek sisteme alınan taze hava, ısı geri kazanım plakasından çıktıktan sonra ikiye ayrılır ve santrallere girer.

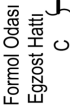
Formol odasının (34) egzoz havası aynı prensiplerle egzoz edilir. Formol odasında iki adet sızdırmaz damperli difüzör bulunur. Bunlardan biri kanalla bekçi filtreler ve egzoz fanına bağlanır. Egzoz fanından çıkan hava kanal vasıtasıyla dışarı egzoz edilir. Diğer difüzör, kanalla dış hava alabileceği bir panjura ulaştırılır. Egzoz fanı çalıştırıldığında difüzörlerin sızdırmaz damperleri açılır egzoz fanı vasıtasıyla dışarıdan hava alınır ve egzoz edilir. Nem kontrolünün gerekli olduğu mahallerin üfleme kanalına mahale girişten önce elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda ortaya çıkan havalandırma sistemi akım şemaları şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'te gösterilmektedirler.



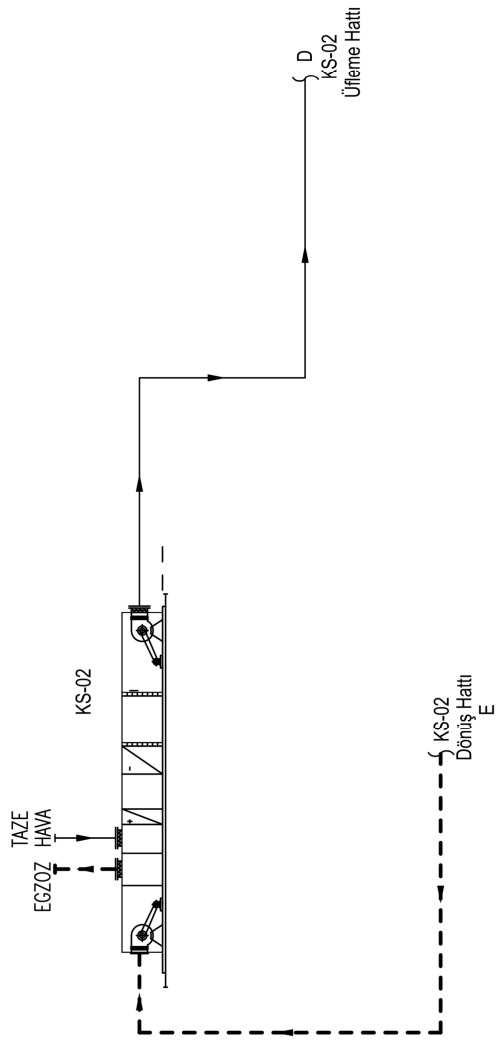
Şekil 4.11: Havalandırma sistemi tasarım şeması-2



Şekil 4.12: Havalandırma sistemi tasarım şeması-3



52



Şekil 4.14: Havalandırma sistemi tasarım şeması-5

5. CİHAZ SEÇİMİ

Tesis için gerekli havalandırma sistemi şemaları hazırlandıktan sonra ısı kaybı ve ısı kazancı hesapları yapılmalıdır. Bu hesapların yapılabilmesi için mahallerde bulunan insan sayıları hakkında işverenden bilgi alınmalıdır. Mahallerin aydınlatma gücü için elektrik mühendisinin verdiği bilgi kullanılır. Bu çalışmada bu değer mahallerde m² başına 20W olarak alınmıştır. Mahallerde bulunan cihazların yaydığı ısı enerjisi öğrenilmelidir. Mahallerin ısı kazancı hesabı yapılır. Aşağıdaki tabloda yazılan ısı kazancı değerleri, klima santralini seçimi için kabul edilen değerlerdir. Bu hesaplar yapıldıktan sonra bu mahallere üflenmesi gereken hava debisi hesaplanır. Bunun için aşağıdaki formül kullanılır [27] (5.1).

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (5.1)$$

Buradan aşağıdaki formül çıkarılır.

$$V_{th} (m^3/h) = 3,6 \times Q_d (W) / (\Delta t (K) \times \rho (kg/m^3) \times c_p (kJ/kg K))$$

Bu formülde alınan değerler şöyledir:

$$\Delta t = 8 K \text{ (sıcaklık farkı)}$$

$$\rho = 1,0789 kg/m^3 \text{ (Ankara için düzeltilmiş hava yoğunluğu)}$$

$$c_p = 1,0048 kJ/kg K \text{ (havanın özgül ısısı)}$$

Bu formül sonucu elde edilen taze hava debisi değerleri mahallerin hacimlerine bölünür. Bulunan hava değişim sayıları, her mahal için kabul edilen hava değişim sayısı ile karşılaştırılır. Büyük olan değere göre üfleme hava debisi belirlenir.

Bu prensipler doğrultusunda oluşturulan tablolar çizelge 5.1 ve 5.2'dedir.

Çizelge 5.1 : KS-01'e ait hesap çizelgesi.

MAHAL NO	MAHAL İSMİ	SINIF	ODA BAŞICI	İNSAN SAYISI	AYDINLATMA GÜCÜ	ELEKTRİK GÜCÜ	ISI KAZANCI HESABI	ODA BOYUTLARI			SÖĞÜTMA YÜKÜ				SÖĞÜTMA AT	YÜKE GÖRE HAVA DEBİSİ	YÜKE GÖRE HAVA DEĞİŞİM SAYISI	HAVA DEĞİŞİMİ	ÜST ELE HAVASI	GERÇEK SÖĞÜTMA AT	BASINCLANDIRMADAN KATMAKLANAN HAVA KAÇIÇLARI	DÖNÜŞ HAVASI EĞEZE
				W	W	W	W	ALAN	YÜKSEKLİK	HACİM	DUYULUR	GİZLİ	TOPLAM	ISTIMA YÜKÜ	°C	m³/h	1/h	1/h	m³/h	°C	m³/h	m³/h
KS-01	KİRLİ BÖLGE SANTRALİ																					
01	AŞI ÜRETİM	D	-65	4	1.940	8.800	4.370	97,00	3,9	378,3	15,110	560	15,670	5,340	8	6,272	16,6	20,0	7,570	6,6	-390	7,960
02	ÜRETİM AŞAMASI KONTROL LAB.	D	-65	3	720	2.450	1.430	35,81	2,8	100,3	4,600	420	5,020	1,970	8	1,909	19,0	20,0	2,010	7,6	-300	2,310
03	ÇİHAZ ODASI	D	-65	-	390	4.100	760	19,07	2,8	53,4	5,250	0	5,250	1,050	8	2,179	40,8	41,0	2,190	8,0	-260	2,450
04	KORIDOR 1	D	-50	-	530	-	780	26,15	2,8	73,2	1,310	0	1,310	1,440	8	544	7,4	18,3	1,340	3,2	1,340	0
05	MALZEME HAVA KİLİDİ	B	-35	-	40	-	60	2,00	2,8	5,6	100	0	100	110	8	42	7,5	40,0	220	1,5	0	220
06	MALZEME HAVA KİLİDİ	C	-50	-	40	-	60	2,00	2,8	5,6	100	0	100	110	8	42	7,5	30,0	170	2,0	0	170
07	PERSONEL HAVA KİLİDİ	B	-35	-	50	-	70	2,20	2,8	6,2	120	0	120	120	8	50	8,1	40,0	250	1,6	0	250
08	PERSONEL HAVA KİLİDİ	C	-50	-	50	-	70	2,20	2,8	6,2	120	0	120	120	8	50	8,1	30,0	190	2,1	0	190
09	TOHUM VİRUS HAZIRLAMA	B	-20	3	620	2.500	1.080	30,84	2,8	86,4	4,200	420	4,620	1,700	8	1,743	20,2	40,0	3,460	4,0	510	2,950
10	TOHUM VİRUS STOK	D	-65	-	460	2.500	790	22,57	2,8	63,2	3,750	0	3,750	1,240	8	1,557	24,6	25,0	1,580	7,9	-260	1,840
11	DEPO	D	-65	-	400	-	700	20,00	2,8	56,0	1,100	0	1,100	1,100	8	457	8,2	15,0	840	4,3	-260	1,100
12	DİNLENME ODASI	D	-65	6	380	400	950	19,00	2,8	53,2	1,730	840	2,570	1,330	8	718	13,5	15,0	800	7,2	-250	1,050
13	BİLGİ İŞLEM VE OTOMASYON OD.	D	-65	2	350	400	860	17,10	2,8	47,9	1,610	280	1,890	1,200	8	668	13,9	15,0	720	7,4	-250	970
14	KORIDOR 2	D	-50	-	320	-	470	15,60	2,8	43,7	790	0	790	860	8	328	7,5	26,0	1,150	2,3	1,150	0
15	HOL	D	-65	-	80	-	120	3,86	2,8	10,8	200	0	200	210	8	83	7,7	15,0	150	4,4	150	0
16	LAVABO	D	-95	-	40	-	60	1,86	2,8	5,2	100	0	100	100	-	-	0,0	-	0	-	0	0
17	WC	D	-95	-	50	-	60	2,04	2,8	5,7	110	0	110	110	-	-	0,0	-	0	-	-335	335
18	LAVABO	D	-95	-	40	-	60	1,86	2,8	5,2	100	0	100	100	-	-	0,0	-	0	-	0	0
19	WC	D	-95	-	50	-	60	2,04	2,8	5,7	110	0	110	110	-	-	0,0	-	0	-	-335	335
20	KORIDOR 3	D	-50	-	200	-	290	9,75	2,8	27,3	490	0	490	540	8	203	7,4	42,0	1,140	1,4	1,140	0
21	SOYUNMA	D	-65	-	60	-	80	2,65	2,8	7,4	140	0	140	150	8	58	7,8	75,0	0	-	-560	560
22	DUŞ	D	-30	-	50	-	70	2,48	2,8	6,9	120	0	120	140	8	50	7,2	49,0	340	1,2	340	0
23	SOYUNMA	D	-65	-	60	-	80	2,65	2,8	7,4	140	0	140	150	8	58	7,8	75,0	0	-	-560	560
24	DUŞ	D	-30	-	50	-	70	2,48	2,8	6,9	120	0	120	140	8	50	7,2	49,0	340	1,2	340	0
25	SOYUNMA	D	-65	-	60	-	80	2,65	2,8	7,4	140	0	140	150	8	58	7,8	75,0	0	-	-560	560
26	DUŞ	D	-30	-	50	-	70	2,48	2,8	6,9	120	0	120	140	8	50	7,2	49,0	340	1,2	340	0
27	SOYUNMA	D	-65	-	60	-	80	2,65	2,8	7,4	140	0	140	150	8	58	7,8	75,0	0	-	-560	560
28	DUŞ	D	-30	-	50	-	70	2,48	2,8	6,9	120	0	120	140	8	50	7,2	49,0	340	1,2	340	0
29	SOYUNMA	D	-65	-	60	-	80	2,65	2,8	7,4	140	0	140	150	8	58	7,8	75,0	0	-	-560	560
30	DUŞ	D	-30	-	50	-	70	2,48	2,8	6,9	120	0	120	140	8	50	7,2	49,0	340	1,2	340	0
31	DUŞ	D	-30	-	50	-	70	2,48	2,8	6,9	120	0	120	140	8	50	7,2	49,0	340	1,2	340	0
35	OTOKLAV-KİRLİ TARAF	-	-65	-	130	500	190	6,42	2,8	18,0	820	0	820	350	8	340	18,9	19,0	340	8,0	-50	360
36	DEZENFEKSİYON	-	-80	-	50	-	100	2,50	2,8	7,0	150	0	150	140	8	62	8,9	15,0	110	4,5	-250	360
40	FİLTREASYON SİSTEMLERİ ODASI	-	-65	-	1.460	-	2.190	72,90	2,8	204,1	3,650	0	3,650	4,010	8	1.515	7,4	15,0	0	-	-380	360
42	KORIDOR 6	D	-65	-	320	-	470	15,75	2,8	44,1	790	0	790	870	8	328	7,4	15,0	660	4,0	-1,290	1,950
43	KORIDOR 7	D	-50	-	340	-	510	16,89	2,8	47,3	850	0	850	930	8	353	7,5	25,5	1,210	2,3	1,210	0
					9.490	21.650	17.160	468		1.417	48.300	2.520	50.820	26.320					27.460		0	27.460

Çizelgelerdeki toplam sonuçlara göre temiz ve kirli bölgelerin ihtiyaçları ortaya çıkmıştır. Daha önce belirtildiği üzere kirli bölgenin santrali, yedeklemek amaçlı, 2 adet seçilecek ve her biri sistemin %80'ini karşılayacak kapasitede olacaktır. Bu durumda kirli bölgenin santral debisi hesabı aşağıdadır. KS-01 santralinde sadece vantilatör mevcuttur. İçeriden emilen hava egzoz fanı (EF-01) vasıtasıyla emilmektedir. HEPA filtreli mahallerin fazladan bir fanı (HF-01) bulunmaktadır.

KS-01 : Kirli Bölge Santrali (2 adet)

$$V_{th} = 27.460 \times 0,80$$

$$V_{th} \approx 22.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

KS-01 santralinin konfigürasyonu aşağıda gösterilmektedir:

- Ön filtre 1. kademe – G4
- Ön filtre 2. kademe – F7 (Torba)
- Ön ısıtıcı
- Soğutma serpantini
- Son ısıtıcı
- Vantilatör
- Susturucu,
- Buharlı nemlendirici
- Son filtre – F9 (Torba)
- HEPA filtre – H10

Ankara'nın kabul edilen dış hava sıcaklığı -12°C'dir. Kışın soğutma serpantininin içinde bulunan ve durgun olan suyun donmasını engellemek için ısıtıcı ikiye ayrılır ve bu ısıtıcılardan biri soğutma serpantininin önüne konur. Böylece kışın sıcaklığın düştüğü günlerde dışarıdan alınan hava önce ön ısıtıcıdan geçirilerek +12°C'ye ısıtılır. +12°C'ye ısıtılan hava ikinci ısıtıcıdan geçtikten sonra mahallere üflenir.

Yazın ön ısıtıcı çalışmaz. Soğutma serpantinden çıkan iklimlendirme havası psikrometrik cetvel üstünde duyulur ısı oranına ulaşmak için son ısıtıcıda gerektiği oranda ısıtılır.

Bu bilgiler ışığında seçilen KS-01'in özellikleri aşağıdadır. Verilen değerler örnek olarak kabul edilen değerlerdir.

KS-01: Kirli Bölge Santrali (2 adet)

V_{th} : 22.000 m³/h

$H_{stdış}$: 900 Pa

Ön ısıtıcı: 175.000 W

Havanın ön ısıtıcıya giriş/çıkış sıcaklığı: -12 / +12 °C

Soğutucu duyulur kapasitesi: 150.000 W

Soğutucu toplam kapasitesi: 250.000 W

Havanın soğutucuya giriş/çıkış sıcaklığı: 34,0 / 12,0 °C (Kuru termometre)

Havanın soğutucuya giriş/çıkış sıcaklığı: 22,8 / 11,5 °C (Kuru termometre)

Son ısıtıcı kapasitesi: 130.000 W

Havanın son ısıtıcıya giriş/çıkış sıcaklığı: 12,0 / 30,0 °C

Buharlı nemlendirici kapasitesi: 250,0 kg/h

EF-01: Kirli Bölge Egzoz Fanı (2 adet)

V_{eg} : 22.000 m³/h

$H_{stdış}$: 1.700 Pa

HF-01: HEPA Fanı (1 adet)

V_{th} : 3.930 m³/h

$H_{stdış}$: 500 Pa

Temiz bölgenin santrali hijyenik olma zorunluluğu olmayan ve yedeklenmesi gerekmeyen bir santraldir. Bünyesinde hem vantilatör hem aspiratör bulunmaktadır. Çizelgeden alınan değerlere göre KS-02 santralinin üfleme ve emme debileri aşağıdadır.

KS-02: Temiz Bölge Santrali (1 adet)

$$V_{th} = 2.140 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{em} = 2.430 \text{ m}^3/\text{h}$$

KS-02 santralinin konfigürasyonu şöyledir:

- Aspiratör
- Egzoz hücresi
- Karışım hücresi
- Filtre 1. kademe – G4
- Filtre 2. kademe – F7 (Torba)
- Isıtıcı
- Soğutma serpantini
- Vantilatör

Bu bilgiler ışığında seçilen KS-02'in özellikleri aşağıdadır (Verilen değerler örnek olarak kabul edilen değerlerdir).

KS-02: Temiz Bölge Santrali (1 adet)

$$V_{th}: 2.430 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{stdış}: 400 \text{ Pa}$$

$$V_{em}: 2.140 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{stdış}: 400 \text{ Pa}$$

$$\text{Isıtıcı: } 30.000 \text{ W}$$

$$\text{Havanın ısıtıcıya giriş/çıkış sıcaklığı: } -12 / +30 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Soğutucu duyulur kapasitesi: } 15.000 \text{ W}$$

$$\text{Soğutucu toplam kapasitesi: } 25.000 \text{ W}$$

$$\text{Havanın soğutucuya giriş/çıkış sıcaklığı: } 34,0 / 12,0 \text{ }^{\circ}\text{C (Kuru termometre)}$$

$$\text{Havanın soğutucuya giriş/çıkış sıcaklığı: } 22,8 / 11,5 \text{ }^{\circ}\text{C (Kuru termometre)}$$

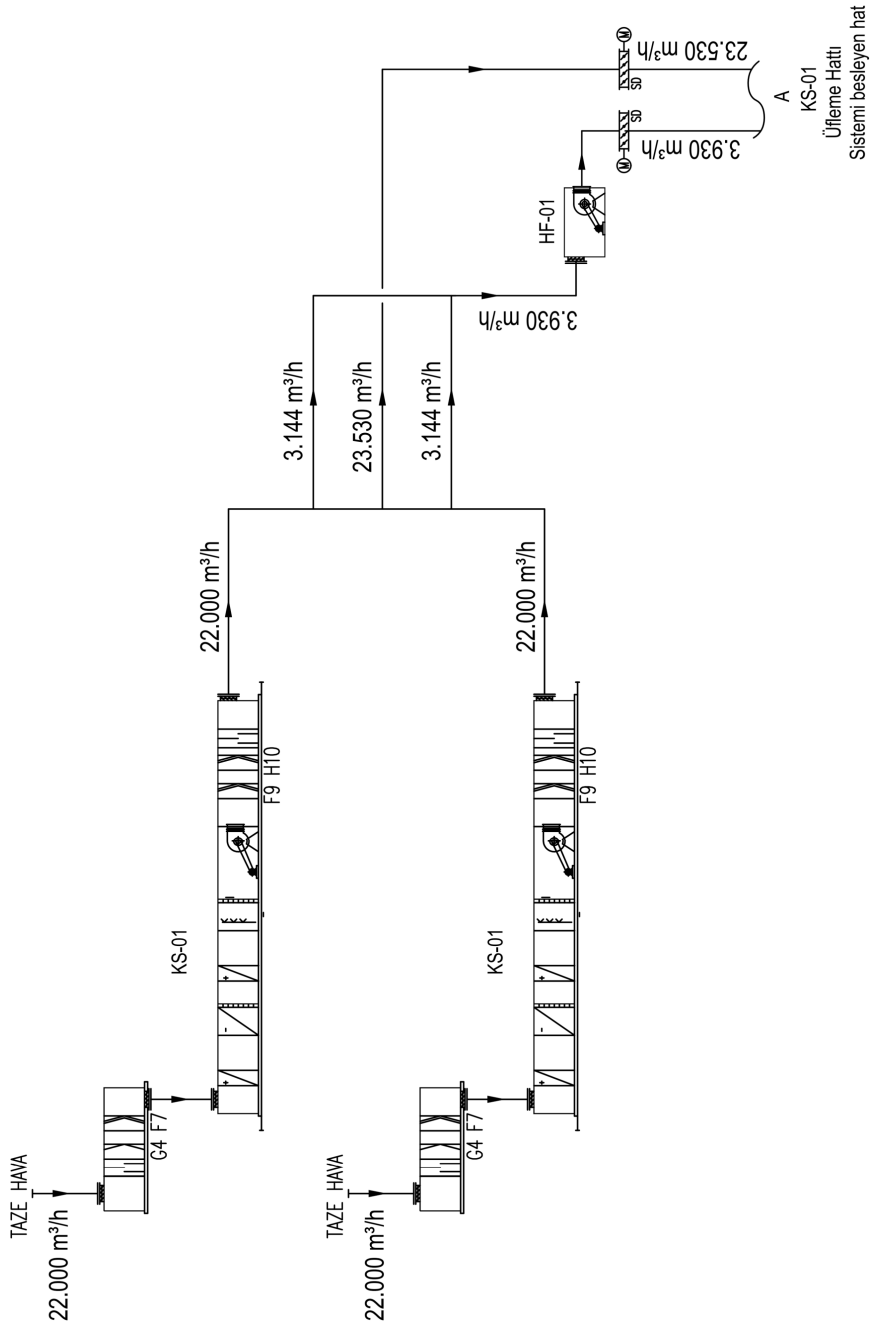
Formol odasının egzost fanının (EF-02) özellikleri aşağıdadır.

EF-02: Formol Odası Egzoz Fanı (1 adet)

V_{th} : 900 m³/h

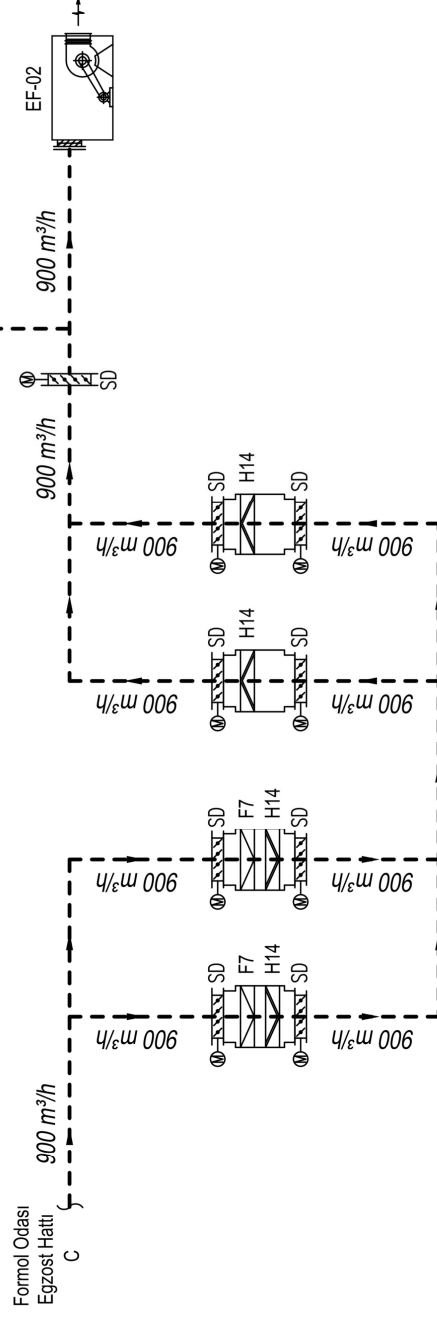
$H_{stdış}$: 1.600 Pa

Bu cihaz seçimleri neticesinde elde edilen üfleme, emme, egzoz debilerinin işlendiği planlar (Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5) ile KS-01 ve EF-01'in kanal güzergahlarını gösteren planlar (Şekil 5.6, 5.7) ilgili şekillerde gösterilmektedirler.

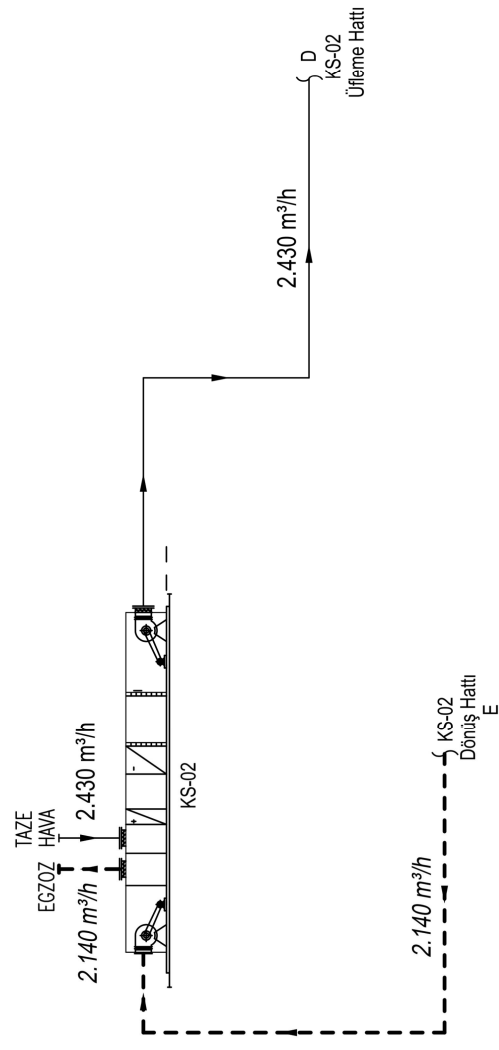


Şekil 5.2: Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili) - 2





Şekil 5.4 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili) - 4



Şekil 5.5 : Havalandırma sistemi tasarım şeması (Debili) - 5

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada özel bir örnek üzerinden negatif basınçlı temiz odalara sahip bir tesisin havalandırma sisteminin nasıl çözümlenebileceği açıklandı. Negatif basınçlı temiz odalar bulunan bir tesisin durumu, mimarileri ağırlıklı olarak pozitif basınçlı temiz odalar bulunan hastaneler gibi belli olmaması sebebiyle özel çözümler gerektiren bir konudur. Ağırlıklı olarak pozitif basınçlı temiz odaların bulunduğu hastanelerde ve kliniklerde içeride olması gereken bütün mahaller standart kitaplarında mevcuttur. ASHRAE'nin konuyla ilgili kitabında bütün hastane odaları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca kitabın ilerleyen bölümlerinde hastane odaları daha da detaylı olarak ele alınmıştır. Bu ve benzeri birçok eser Türkçemize kazandırılmış ve bu kaynaklar sayesinde Türkiye'de hastane projesi yapan makina mühendislerinin devamlı surette kullandığı kitaplar olmuşlardır. Son yirmi yıl içerisinde sayısı artan hastanelerimiz bu konudaki ilerlemelerin açık birer göstergesidir.

Bununla beraber negatif basınçlı temiz odalar bulunan tesisler ürettikleri ürünler itibari ile birbirlerinden farklı mahallere, dolayısıyla birbirlerinden farklı mimarilere sahiptirler. Bu nedenle negatif basınçlı temiz odalar bulunan tesislere ait kaynaklar hastane projelerinin kılavuzları gibi açıklayıcı olamaz. Bu tip tesislerde üretilen ürüne özel olarak düşünülmesi gereken birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları, ürünün canlı sağlığı için ne kadar tehlikeli olduğu, ürünün bulunduğu coğrafyadaki miktarı (yapılan örnekte aşıda kullanılan virüsün tesisin bulunduğu bölgedeki yoğunluğu) ve olası bir kaçak durumunda alınması gereken önlemlerdir.

Konu ile ilgilenen GMP uzmanlarının sayılarının az oluşu bu konuda Türkiye'de yapılması gereken birçok çalışmanın olduğunu gösterir. Yapılan bu çalışmada böyle bir tesisin havalandırma sisteminin tasarımının nasıl oluşturulacağı bir örnek üzerinden anlatılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **TS 11605 EN ISO 14644-1**, (2001). Temiz Odalar ve Bu Odalarla birlikte Kontrol Edilen Ortamlar Bölüm-1 Hava Temizliğinin Sınıflandırılması Kısım 2.1.1
- [2] **Heperkan, H., Bilge, M.**, (2010). Sağlık Sektöründe Klima Sistemlerinin Fonksiyon, Test, Kontrol (FTK) ve Validasyon Çalışmaları.
- [3] **Bilge M., Bilge D.**, (2001). Temiz Oda Tasarım Kriterleri ve Testleri, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Sayı 13
- [4] **Kenter, H. M.**, (2004). Hastanelerde Steril Alan Planlama Kriterleri, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi
- [5] **Özkaynak, F. T.**, (1994). Temiz oda tasarımı ve klima sistemleri. Tetisan A. Ş. Teknik Yayınları, İstanbul.
- [6] **ASHRAE Pocket Guide for Air Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration (SI Edition), 8th Edition** (2015). Sayfa 293.
- [7] **Kenter, M. H.**, (2004). Steril ve Temiz Üretim Alanların Tasarımında, Tesisat Mühendisi Açısından Dikkat Edilmesi Gereken Konular.
- [8] **Türkmen, B.**, (2001). Temiz Oda Standartları ve Laminer Hava Akışlı Tavan Sistemleri
- [9] **EU Guidelines to Good Manufacturing Practice Medicinal Products for Human and Veterinary Use**, (2008). Ek1, Brüksel.
- [10] **İyi İmalat Uygulamaları Kılavuzu** (2011). Beşeri Tıbbi Ürünler için Temel Gereklikler Hakkında Ekler Ek-1 Steril Tıbbi Ürünler Üretimi Madde 9.
- [11] **Veterinary Containment Facilities Design & Construction Handbook** (2006). Bölüm 8 HVAC Kontrol Prensipleri.
- [12] **Jaisinghani, R.**, (2001). Air handling considerations for cleanrooms, InterPhex Conference, Philadelphia, March 20-22, p. 1-22.
- [13] **Altınoğlu, C.** (2001). Hijyenik Havalandırma Sistemlerinde kullanılan Kanal Ekipmanları.
- [14] **Karadağ, A.**, (2005). Otoklav ile Sterilizasyon.
- [15] **Güven, R.**, (2007). Sterilizasyon-Dezenfeksiyon Konusunda Deneyimler: Klinikler ve Poliklinikler
- [16] **ASHRAE Handbook – HVAC Applications (SI)** (2007). Bölüm 16 Clean Spaces.
- [17] **ASTM F1068-90**, (2012). Standard Specification Doors, Double, Gastight,/Airtight, Individually Dogged, for Marine Use.

- [18] **Özcan, A., Akkaya, Y., Uslu, E., Uluk, B.,** (2003). Gıda, ilaç ve sağlık sektöründe Avrupa Birliği ve Amerikan normlarına göre klima sistemi tasarımı, Lisans Tezi, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
- [19] **TMMOB Hastane İklimlendirme Tesisatı ve Denetim Esasları** (2008). Yayın no MMO/2008/481.
- [20] **ISISAN Çalışmaları No:351 Enerji Ekonomisi TMMOB Hastane İklimlendirme Tesisatı ve Denetim Esasları** (2005).
- [21] **Alarko Carrier Teknik Bülten**, Sayı 38 CAV – Sabit Hava Debili Sistemler.
- [22] **Alarko Carrier Teknik Bülten**, Sayı 47 VAV – Değişken Hava Hacimli Sistemler.
- [23] **Trox Teknik**, www.trox.com.tr.
- [24] **TMMOB Havalandırma Tesisatı** (2009). Yayın no MMO/297-5.
- [25] **Şahan, M.,** (1999). HVAC Uygulamalarında Isı Geri Kazanım, IV: Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi.
- [26] **Blaser, J.,** (1994). The problem of room pressure, Sauter Bulletins, 79, 1-9.
- [27] **Boles, M.,Çengel, Y.,** (1994). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Doğaç TANRIOVER

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul, 20.06.1977

E-Posta : dogac@tanriover.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 1999, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü (Isı Proses)

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

2001-2002 : Teskar Ltd. Şti. Proje Kontrolörü

2002-2005: Tanrıöver Mühendislik Proje Mühendisi

2005-Halen: Tanrıöver Mühendislik Proje Koordinatörü