



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRONİK KART ÜRETİM ALANLARI İÇİN TEMİZ ODA TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

SERHAT BALABAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği

Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. AYHAN ONAT

İSTANBUL, 2020



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRONİK KART ÜRETİM ALANLARI İÇİN TEMİZ ODA TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

SERHAT BALABAN

(523216058)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği

Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. AYHAN ONAT

İSTANBUL, 2020

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans/Doktora Öğrencisi Serhat BALABAN'ın “**Elektronik Kart Üretim Alanları İçin Temiz Oda Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi**” başlıklı tez çalışması, tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ayhan ONAT (Danışman)

Marmara Üniversitesi (İMZA).....

Prof. Dr. M. Osman ISIKAN (Üye)

Marmara Üniversitesi (İMZA).....

Dr. Öğr. Üyesi Deniz YILMAZ (Üye)

İst. Arel Üniversitesi (İMZA).....

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ../../2020 tarih ve sayılı kararı ile Serhat BALABAN'ın Fen Bilimleri Enstitüsü Anabilim Dalı Makine Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

ÖNSÖZ (TEŞEKKÜR)

Yüksek lisans tez çalışmam ve öğrenimim boyunca bana her konuda destek olan, yönlendiren ve kendisiyle çalışma fırsatını bana sunan değerli danışman hocam Doç.Dr. Ayhan ONAT'a en derin sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim ve öğrenimim boyunca her konuda yanımda olan Fatma Nur ÇİMEN'e en derin sevgi ve saygılarımı sunarım.

Tüm eğitim ve öğrenim hayatım boyunca her türlü zorlukta maddi ve manevi bana destek olup yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bu tez çalışmasını hayatım boyunca çok şey öğrendiğim, bugün olduğum yere gelebilmem için var gücüyle çabalayan babam Mehmet BALABAN'ın anısına ithaf ediyorum.

Kasım, 2020

Serhat BALABAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ (TEŞEKKÜR)	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amaçları	1
1.2. Literatür Araştırması.....	2
1.3. Temiz Odalar	3
1.4. Havada Bulunan Kirletici Maddeler.....	4
1.4.1. Havada bulunan kirletici maddelerin özellikleri	4
1.4.2. Temiz odalardaki kirleticiler	5
1.5.1. DIN 1946/4 Standardı.....	8
1.5.2. U.S. 209 D Standardı.....	9
1.5.3. U.S. 209 E Standardı	9
1.5.4. İlaç sektöründeki temiz odalar için sınıflandırma	10
1.6. Temiz Oda Tasarımı	11
1.6.1. Temiz oda tasarım parametreleri	13
1.6.1.1. Oda basıncı	13
1.6.1.2. Odadaki hava hızı ve dağılımı	13
1.6.1.3. Laminer ve türbülanslı akış	15

1.6.1.4. Sıcaklık ve nem	16
1.6.1.5. Statik elektrik.....	18
1.6.1.6. Filtreleme.....	19
1.7. Temiz Odalarda Klima Üniteleri ve Çeşitleri.....	21
1.8. İklimlendirme Sisteminin Görevi	22
1.8.1.Üretim alanlarında iklimlendirme sistemi	23
1.8.2. Mikroelektronik endüstrisi temiz ve steril üretim alanları planlama kriterleri	25
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	29
2.1. Temiz Oda Klima Santrali Tasarım.....	29
2.2. Temiz Oda Klima Santrali Seçimi ve Kabuller	32
2.3. Filtre Seçimi	35
2.4. Fan ve Motor Seçimi	36
2.5. Soğutma Sistemi	37
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
3.1. Bulgular	39
3.2. Tartışma	40
3.2.1. Dış hava sıcaklığı ve nem oranı etkisi	40
3.2.2. Üfleme sıcaklığı ve nem oranı etkisi	40
3.2.3. Soğutma grubu çıkış suyu sıcaklığı etkisi	40
4. SONUÇLAR.....	41
KAYNAKLAR.....	42
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÖZET

ELEKTRONİK KART ÜRETİM ALANLARI İÇİN TEMİZ ODA TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Temiz oda tasarımının genellikle hastanelerdeki ameliyathane veya yoğun bakım üniteleri için yapıldığı düşünülür fakat elektronik kart üretim alanlarında, elektronik proses alanlarında, ilaç üretim alanları veya kimyasal üretim alanları gibi daha birçok alanda temiz oda tasarımı ve uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde temiz odalara ilişkin standartlar ve sınıflar mevcut olup tasarım kriterleri buna bağlı kontrol edilmektedir. Teorik çalışmalar haricinde bir ortamda kirletici maddelerin oluşumu engellenemez fakat mahale belirli miktarda taze hava verilmesi, mahalden kirli havanın egzoz edilmesi ya da yeniden filtrelenmesi ile istenilen hava şartları sağlanabilir. Temiz odalarda özellikle sıcaklık ve nemin kontrolü amaçlanmaktadır. Elektronik kart üretim alanlarında öncelikle statik elektrik oluşumunu engellemek için belirli bir nem oranı sağlanmalıdır. Üretilen ürünlerin özel şartları dışında bu mahalde çalışan insanların terleme ve benzeri yollarla kirletici oluşturmamaları önemlidir. Genel olarak temiz odalarda canlı ve cansız kirleticiler, sıcaklık, nem değeri, hava akış yönleri ve basınç değerleri kontrol altında tutulmalıdır. Bu çalışmada, öncelikle temiz oda terminolojisi ve tasarım kriterleri hakkında genel bilgi verilmiş, ardından elektronik proseslerin gerçekleştirileceği laboratuvar ortamı servis bölgesi iklimlendirme sistem tasarımında izlenecek yöntem tanıtıldıktan sonra, temiz oda klima santrali tasarımı yapılmıştır.

Elektronik proseslerin gerçekleştirildiği ortamlar için temiz oda havalandırma sistemi oldukça iyi tasarlanmalıdır. Bu nedenle, tez çalışması sırasında havalandırma sistemi tasarım şeması hazırlanmış, şema hazırlanırken mahale yapılacak dağıtıma göre teorik bir kanal güzergahı, hava debisi, ısı kayıp kazanç tablosu belirlenmiştir. Tasarım şemasının tamamlanmasının ardından kanal basıncı, üfleme sıcaklığına bağlı ısıtma soğutma yükü, üfleme ve emiş hava debisi gibi parametreler göz önünde bulundurularak klima santralinde bulunan tüm donanımların seçimleri yapılmıştır. Uygulamada klima santraline bağlı mahalden ortamdaki partikül sayısı, sıcaklık ve nem değerleri alınarak çalışma tamamlanmıştır.

ABSTRACT

EXAMINATION OF CLEAN ROOM DESIGN PARAMETERS FOR ELECTRONIC CARD PRODUCTION AREAS

Clean room design is generally thought to be made for operating theaters or intensive care units in hospitals but there is a need for clean room design and applications in electronic card production areas, electronic process areas, pharmaceutical production areas or chemical production areas. Today there are standards and classes for clean rooms and design criteria are controlled accordingly. Apart from theoretical studies, the formation of pollutants in an environment cannot be prevented, but the desired air conditions can be achieved by supplying a certain amount of fresh air to the room, exhausting or re-filtering the polluted air from the room. In clean rooms, especially temperature and humidity control is aimed. In the electronic board production areas, a certain humidity should be provided to prevent the formation of static electricity firstly. Apart from the special conditions of the products produced, it is important that people who are working in this area do not form pollutants through perspiration and the like. In general, animate/inanimate pollutants, temperature, humidity, air flow direction and pressure should be kept under control in clean rooms. In this study, firstly, general information about clean room terminology and design criteria are given. Then, after introducing the method to be followed in the design of the laboratory environment air conditioning system where electronic processes service zone will be performed, clean room air handling unit design made.

Clean room ventilation system should be designed very well for electronic processes. Therefore, a ventilation system design scheme prepared during the thesis study, a theoretical channel route, airflow rate and heat loss gain table determined according to the distribution of the air to be made in the room. Following the completion of the design scheme, all equipment in the air handling unit has selected by taking into account the parameters such as duct pressure, heating and cooling load depending on the blowing temperature, blowing flow, and suction airflow. In practice, the thesis study completed by taking the number of particles, temperature, and humidity values from the environment connected to the air handling unit.

SEMBOLLER

h	: Entalpi (kJ/kg)
m_a	: Kütlesel debi (kg / h)
t	: Zaman (s)
T	: Sıcaklık (°C)
V	: Hacimsel debi (m ³ / h)
W	: Özgül nem (g/kg)
ρ	: Yoğunluk (kg / m ³)



KISALTMALAR

AIA	: The American Institute of Architects
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BN	: Bağlı Nem
CBZ	: Board for Healthcare Institutions
CDC	: Centers for Disease Control and Prevention
CEN	: European Committee for Standardization
DIN	: Deutsches Institut für Normung
ESD	: Elektrostatik Deşarj
EPA	: Verimli Hava Filtresi
HEPA	: High Efficiency Particulate Air
HICPAC	: Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning
ISO	: International Organization for Standardization
MPPS	: Most Penetrating Particle Size
NBR	: Brazilian National Standards Organization
NF S90	: The french standard
UNE	: Spanish Association Standardization
ULPA	: Ultra Low Penetration Air
SWKI	: Schweizerischen Verein von Wärme- und Klima-Ingenieuren
VDI	: Verein Deutscher Ingenieure
WHO	: World Health Organization

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1 Hijyenik Alanlarda Hava Basma.....	24
Şekil 1. 2 Tozsuz Alanlarda Hava Basma	24
Şekil 2. 1 Temiz Oda Klima Santrali İklimlendirme Prosesi Psikrometrik Diyagram Gösterimi	30
Şekil 2. 2 Temiz Oda Klima Santrali İklimlendirme Proses Şeması.....	31
Şekil 2. 3 Temiz Oda Klima Santrali Teorik Devre Şeması	32
Şekil 2. 4 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 1 (Ön Soğutma) Batarya Seçim Çıktısı	33
Şekil 2. 5 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 1 (Ön Soğutma) Psikrometrik Diyagram Gösterimi	33
Şekil 2. 6 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 2 (Ana Soğutma) Batarya Seçim Çıktısı	34
Şekil 2. 7 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 2 (Ana Soğutma) Psikrometrik Diyagram Gösterimi	34
Şekil 2. 8 Temiz Oda Klima Santrali Son Isıtma Batarya Seçim Çıktısı	35
Şekil 2. 9 Temiz Oda Klima Santrali G4+F7 Kombine Filtre Seçimi (1. Kademe)	35
Şekil 2. 10 Temiz Oda Klima Santrali F9 Kompakt Filtre Seçimi (2. Kademe).....	36
Şekil 2. 11 Temiz Oda Klima Santrali Fan ve Motor Seçimi.....	36
Şekil 2. 12 Temiz Oda Klima Santrali Fan Eğrisi	37

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. 1 ISO 14644-1:2015' e göre hava temizleme sınıfları	7
Tablo 1. 2 ISO 14644-1:2015'e göre ara ondalık hava temizleme sınıfları.....	8
Tablo 1. 3 U.S. 209 E'ye göre oda klasları	10
Tablo 1. 4 EU GMP Gide (1997): Steril ürünler imali için klas tanımı.....	11
Tablo 1. 5a Standart ve kılavuzlarda verilen tasarım değerlerinin karşılaştırılması	12
Tablo 1. 5b Standart ve kılavuzlarda verilen tasarım değerlerinin karşılaştırılması	12
Tablo 1. 6 EN1822 Sınıflandırması	21
Tablo 1. 7 Mikroelektronik Temiz Odalar için Örnekler.....	27
Tablo 3. 1 Değişken Dış Hava Koşullarına ve Soğutma Grubu Çıkış Suyu Sıcaklığına Göre Mahalden Alınan Değerler	39

1. GİRİŞ

Temiz oda iklimlendirme sistemi tasarımı klasik iklimlendirme sistemi tasarımından çok daha karmaşık ve risk faktörü çok daha fazladır. Konfor iklimlendirilmesinde kontrol parametreleri sıcaklık ve nem iken, temiz oda tasarımında ise sıcaklık, nem, canlı ve cansız kirleticiler, hava akış yönleri ve basınç gibi parametrelerin kontrolünün yanı sıra üretim cihazlarının ihtiyacı olan buhar, kondens, temiz su, egzoz havası, basınçlı hava gibi gereksinimlerin de karşılanması gerekmektedir. Temiz odaların performansı oda içerisindeki partikül konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Tasarım değerlerinde tanımlanan kirlilik sınıfını elde edebilmek için temiz oda tasarımının uygulamada kullanılacak malzemelerin ve uygulama ekiplerinin niteliğinin çok yüksek olmasının yanı sıra uygulama aşamasında ve uygulama sonrası yapılacak test, ölçüm ve ayar çalışmaları kalitesi de ön plana çıkmaktadır.

Temiz oda ile ilgili iklimlendirme tesisatının gerek tasarım gerek uygulama ve test çalışmalarının standardı ne kadar yüksek olursa olsun temiz odadaki inşai işler temiz oda standartlarına uygun olarak yapılmadığı takdirde, temiz oda temizlik sınıfını elde etmek çok güçtür. Temiz oda tasarımına yalnızca ameliyathane ve yoğun bakım ünitelerinde değil, elektronik prosesler endüstrisinde, eczacılıkta, ilaç üretim tesisleri ve benzeri daha birçok alanda sıkça gereksinim duyulmaktadır. Son yıllarda, çeşitli yöntemlerin geliştirilmesi ve araştırmalar sonucunda günümüzde standartlara uygun temiz odalar oluşmuştur. Literatür araştırması yapıldığında, ameliyathaneler için temiz oda tasarımı üzerine yapılmış birçok çalışma olduğu gözlemlenmiştir [1 – 2].

1.1. Tezin Amaçları

Yapılan bu tez çalışmasıyla, elektronik proseslerin gerçekleştiği bir laboratuvar ortamı servis bölgesi için tüm tasarım parametreleri incelenerek temiz oda klima santrali tasarlanmış, ön soğutma ve aşırı soğutma için kullanılan ekipmanlardaki kapasite değişimine ve nem alma prosesine etkisi incelenmiş, literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Heperkan, H., Bilge, M.'nin yaptığı bir 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 [2].

Bilge, M. ve Bilge, D.'nin 2001 yılında yaptığı çalışmada ilaç fabrikası temiz oda tasarımından özel bir bölüm içinde bahsedilmiştir. Çalışmada bahsedilen temiz oda tasarım kriterleri şu şekilde belirtilmiştir. İlk olarak temiz odalarda üretilecek ürün tipinin ve kapasitesinin belirlenmesi gerekir. Mimarı grubun uluslararası standartların yanı sıra temiz oda ile ilgili yönetmelikler hakkında bilgilendirilmesi gerektiği ve ekipmanların gerçek boyutlarıyla projeye işlenmesinden bahsedilmiştir. Mahaldeki pozitif basınç değerini yakalayabilecek dış hava miktarının belirlenmesi gerektiğinden, kanal tasarımının yapılması ve hesaplanan kapasitelere uygun klima santrali seçiminin yapılması gerektiğinden bahsedilmiştir [3].

Heperkan, H., tarafından hazırlanan ve Türk Tesisat Mühendisleri Derneği organizasyonunda 2005 yılında yapılan bir çalıştayın sonuç bildirgesi olan çalışmada toplam hastane temiz odaları, tasarımı, standartları, sistem bakımı ve işletme gibi konular konunun uzmanları tarafından ele alınmış konu çok yönlü olarak sunulmuştur [4].

Özer, M., tarafından yapılan çalışmada ameliyathane klima santrali için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Değişik dış hava şartlarının soğutma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Hava taradı soğutma kapasiteleri ile akışkan tarafı soğutma kapasiteleri karşılaştırılmış ve teorik hesaplamalara çok yakın değerler bulunmuştur [5].

Sadece ameliyat değil tüm temiz odaların tasarım kriterlerine genel olarak değinen Yazıcıoğlu, O., ve Aykut, Ş., çalışmalarında özel olarak dikkat çeken konu temiz odalarda personel tarafından periyodik olarak yapılması gereken işlemler olmuştur [6].

Kenter, M., tarafından teorik olarak yapılan çalışmada temiz odalarda iklimlendirme sistemlerinin önemine değinilmiştir. Temiz odalarda iklimlendirme sistem tasarımlarının

farklılığının nereden kaynaklandığı, iklimlendirme sisteminin özellikleri ve hava akış şekilleri anlatılmıştır [7].

Kırbaş, C., yaptığı teorik bir çalışmada ameliyathanelerde kontrol altında tutulması gereken parametrelerden biri olan basınç ve hava akışı konusunda değinmiştir. Yaptığı hesaplamalar sonucunda bir ameliyathane ile komşu bölümler arasında basınç farkı oluşturmak için bu farkı meydana getirecek hava debisi ile basınç değerinin tespit etmenin yeterli olmadığı sonucunu gözlemlemiştir. Burada kapı boşluklarının ve diğer hava kaçaklarının buna neden olduğu ve bu nedenlerin dikkate alınarak yapılan hesaplamaların daha gerçekçi olduğu vurgulanmıştır [8].

Temiz oda klima tesisatı tasarımında uyulması gerekli süreçler anlatılmış ayrıca hava şekilleri ve etkinleştirme konusu Bilge, M., tarafından teorik olarak incelenmiştir. Özellikle ameliyathanelerin validasyon çalışmalarının etkin olarak yapılması ve yaygınlaştırılmasının gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [9].

Özkaynak, T., tarafından yapılan teorik çalışmada, temiz odalarda kullanılan HEPA filtreler ve bu filtrelerin test standartları üzerinde durulmaktadır. Filtre sınıfları ve filtrelerle ilgili standartlar hakkında da bilgiler verilmektedir [10].

1.3. Temiz Odalar

Temiz oda, içinde partikül konsantrasyonunun kontrol edildiği, partiküllerin girişini, üretilmesini ve tutulmasını minimize edecek şekilde yapılandırılan, sıcaklık, nem ve basınç gibi bazı değerlerin kontrol edildiği bir odadır. Temiz odalarda partikül konsantrasyonunun fazla olması istenmez. Bunu sağlamak içinde odaya yüksek verimli hava filtrelerinden geçirilmiş yüksek debilerde hava verilir. Bu hava, insanlar ve makinelerden yayılan partikülleri ve bakterileri seyreltmek ve uzaklaştırmak için kullanılır. Temiz oda partikül üretmeyecek ve kolay temizlenecek malzemeler ile yapılandırılır [11].

Temiz sözcüğünü tanımlamak ve temizlik derecesini belirlemek zordur. Temizliğin belirlenmesinin iki basit yöntemi olarak herhangi bir yüzey silindiğinde kalan artıklar ve nem tabakasının sürekli kalması düşünülebilir.

İş atölyelerinin ve temiz odaların gereksinimlerine göre ilk standart 'Temiz Odalar' adıyla 1963 yılında 209 sayılı olarak A.B.D.'nde oluşturulmuştur. 209 sayılı federal standartta 1 ft³ havadaki 0.5 mm' den büyük olan parçacıkların sayısı esas alınmaktadır.

Standartın son şekli geçtiğimiz yıllarda beş kez gözden geçirilmiş ve 1992 tarihinde 209E sayılı en son halini almıştır. Günümüzde uluslararası standartlaştırma çalışmaları da devam etmektedir. 209E federal standardında temiz odalardaki parçacık miktarıyla beraber standart hava temizleyicilerin sınıfları da belirtilmektedir. Sıkı kurallar ve yöntemler, kirletici parçacıkların ürüne bulaşmasını azaltmayı amaçlamaktadır.

Temiz odalar; tıbbi cihazlar, ilaç endüstrisi, hastane, sağlık, bakım, biyoloji ve biyoteknoloji, yarı iletken, tarım ve gıda, elektronik baskı devreleri, sensörler, anahtarlar, fotoğraf, baskı, holografi, DVD, CD ve diğer manyetik medya, süreç ve temizleme donanımı, kimya, cam, sıvı ve su, uzay, savunma, otomotiv, bilgisayar ve çevre donanımı, lazer, optik, güneş enerjili cihazlar, plastik, kauçuk, danışmanlık, mimarlık, tasarım, inşaat, hükümet, metal sanayi, hassas parçalar, üniversiteler gibi birçok alanda kullanılmaktadır [5].

1.4. Havada Bulunan Kirletici Maddeler

Hava; takribi %20,95 oranında oksijen, %78,08 oranında azot, %0.93 oranında argon, %0.037 oranında karbon dioksit ve içlerinde değişken miktarlardaki su buharının (nem) da yer aldığı diğer az miktardaki gazlardan oluşur.

Bu gazların yanı sıra ozon, kripton, neon, helyum, ksenon, hidrojen ile beraber miktarı değişken olan su buharı ve kirletici maddeler bulunmaktadır. Havada bulunan kirletici maddeler yüksek oranda insan faaliyetleri nedeniyle oluşmaktadır. Bu kirletici maddeler inşaat ve zirai faaliyetlerden, termik santrallerden, maden ocaklarından, endüstriyel tesisler ve ulaşım gibi faaliyetlerden kaynaklanmaktadır [4].

1.4.1. Havada bulunan kirletici maddelerin özellikleri

0,1 µm çapından daha küçük tanecikler aynı bir gaz molekülü gibi yer değiştirirler ve bunların ölçülebilir bir çökme hızları yoktur. 0,1 µm ile 1 µm arasındaki çaplardaki taneciklerin hesaplanabilir bir çökme hızları vardır. Ancak bu hız çok küçük

olduğundan genellikle ihmal edilir ve zaten normal hava akımları da bu çaptaki taneciklerin çökelmelerine engel olur.

Tipik bir atmosfer havasında bulunan taneciklerin adet olarak %99 kadarı çapları 1 µm değerinden daha küçüktür. 1 µm ila 10 µm arasındaki çaplarda olan tanecikler, durgun havada sabit ve belirli bir hızla çöklerler. Ancak, normal hava akımları bu çaptaki tanecikleri ihmal edilemeyecek bir süre havada asılı tutarlar.

Endüstriyel hijyen ile uğraşan araştırmacılar, insan ciğerlerinde tutulabilme olasılığı fazla olan 2 µm çapından daha küçük taneciklerle ilgilenirler. 8 ila 10 µm çapından daha büyük tanecikler üst solunum yolları tarafından ayrılır ve tutulurlar. Ara boyutlar akciğerin hava kanalları üzerine çökerek, buradan hızlıca temizlenerek yutulur veya öksürükle dışarı atılır. Nefes alınan havadaki taneciklerin %50 veya daha azı solunum yollarında çökler [12].

1.4.2. Temiz odalardaki kirleticiler

Zamanımızın %60-90'ı kapalı mekanlarda geçmektedir. Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA) yapmış olduğu ölçümlerde, dış ortamdan yalıtılmış modern binalardaki kötü iç hava kalitesinin bizim kirli diye sözünü ettiğimiz dış ortam havasına göre 70 kat daha tehlikeli olduğunu göstermektedir. Amerikan Alerji Uzmanları Birliği'ne göre hastalıkların oluşması ve yayılmasının kaynağı %50 oranında bozuk iç ortam hava kalitesi olarak açıklanmaktadır. Buna bağlı olarak alerji şikayetlerinin 1/6'sı da bu nedenden dolayı profesyonel yardıma ihtiyaç duymaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yayınlarınca kapalı alanların yaklaşık dörtte birinde iç hava kalitesinde rahatsız edici kirlilik bulunmaktadır. Bu kirlilik hasta bina sendromu olarak adlandırılmaktadır. Bir gün içerisinde takribi 22000 defa nefes aldığımızı ve her birinde 40000 - 70000 arası partikülün solunum yoluyla vücudumuza girdiğini düşünürsek, filtrelerin gerekliliği ve iç ortam hava kalitesinin önemi daha da anlaşılmaktadır.

Temiz odalarda kapalı ortamlardaki kirleticiler göz önüne alınmaktadır. İnsan ciğerlerinde çapı 2 µm' den daha küçük tanecikler tutunabilmektedirler. Bu yüzden temiz odalar tasarlanırken bu kirleticilere dikkat edilmektedir. Üst solunum yollarında çapı 8-10 µm' den daha büyük tanecikleri ayrılır ve tutulurlar. Ara boyutlarda olan diğer kirleticiler akciğerlerin hava kanallarında çöker ve hızlıca temizlenen tanecikler ya

yutulur ya da öksürmeyle beraber dışarı atılır. Nefes yoluyla solunan, havada bulunan taneciklerin %50'si veya daha azı solunum yollarında çökmektedir.

Kapalı ortamların en önemli kirlilik kaynakları ortamda bulunan eşyalar ve insanlardır ve insan hareketleri ile ortama yayılan tanecikler büyük boyuttadırlar. Örneğin, kapalı ortamda bir insanın normal hareket etmesi, kapalı ortama dakikada 0,3 µm çapında 1000000'un üzerinde tanecik yaymasına sebep olmaktadır [4].

1.5. Temiz Odalar İçin Standartlar ve Temiz Oda Sınıfları

Temiz odalarla ilgili çeşitli ülkeler tarafından çıkarılan standartlar bulunmaktadır. Avrupa ülkelerinin kabul ettiği standart ISO standartlarıdır. ISO standartları TC209 altındaki çalışma grupları tarafından yazılır. TC209 endüstriyel temiz odaların tamamını içerisinde barındıran standartların yazımından sorumlu komitedir. TC 209 Teknik komitesinde 11 katılımcı üye ülke dahil 23 oy kullanma hakkı bulunduran üye ülke ve Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı 20 gözlemci üye ülke yer alır. Aralık 2015'te ISO 14644-1:2015 Yürürlüğe girmiştir. Bu standardın ismi ' Hava Temizliğinin Partikül Konsantrasyonu Açısından Sınıflandırılması 'dır. Tablo 1.1 ISO 14644-1:2015'e göre temiz oda sınıflandırmasını, Tablo 1.2 ISO 14644-1:2015 standartları ara sınıflarını gösterir. Birçok ülkede kullanılmakta olan standart ve kılavuzlar şunlardır;

1. Temiz odalar için düzenlenmiş Amerikan Standardı FED 209E ve Avrupa standardı ISO 14644.
2. Hastane havalandırması için düzenlenmiş Alman Standardı DIN 1946/4.
3. Hastane klima ve havalandırma sistemleri için düzenlenmiş İsviçre Standardı SWKI 99-3.
4. Hastane klima ve havalandırma sistemleri için DIN 1946/4; SWKI 99-3 standardından yola çıkarak hazırlanmış ve İsveç'te kılavuz, VDI 2167: Son değişiklikler ile filtrelemede iyileştirilme yapılmıştır. Resirküle hava kullanımı şiddetle önerilmekte ve laminar tavan boyutu en az 9 m² olması yönünde arttırılmıştır.
5. Fransız hava standardı NF S90:351.
6. Hastane mahalleri iç hava kalitesine ilişkin Brezilya standardı NBR 7256.
7. İspanyol havalandırma standardı. UNE 100713: 2003.
8. Hollanda'da kullanılan hastane tasarımı ile ilgili kılavuz CBZ.

9. Hastane tasarımına mimari, mekanik ve elektrik açılarından yaklaşımlarda bulunan AIA Guidelines for Design and Construtions of Healt Care Facilities - Sağlık Binaları Tasarım ve İnşa Kılavuzu.
10. ASHRAE tarafından yıllık olarak yayınlanan el kitaplarından ilgili bölümlerdeki yönergeler ve ASHRAE HVAC Design for Hospital and Clinics-Hastane ve Klinikler İçin İklimlendirme ve Havalandırma Sistemleri Tasarımı El Kitabı.
11. CDC (Centers for Disease Control and Prevention) Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri yönergeleri.
12. HICPAC (Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee) Hastane Enfeksiyon Kontrol Uygulamaları Danışmanlık Komitesi Kılavuzları [12].

Tablo 1. 1 ISO 14644-1:2015' e göre hava temizleme sınıfları

ISO Sınıf Numarası (N)	Değerlendirmeye alınan boyutlardan daha büyük ve eşit partiküller için en yüksek konsantrasyon düzeyleri (partikül /m ³ hava) (a)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1	10	d	d	d	d	e
2	100	[24]b	[10]b	d	d	e
3	1000	237	102	[35]b	d	e
4	10000	2370	1020	352	[83]b	e
5	100000	23700	10200	3520	832	d, e, f
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7	c	c	c	352000	83200	2930
8	c	c	c	3520000	832000	29300
9	c	c	c	35200000	8320000	29300

Notlar:

a) Tablodaki tüm değerler kümülatiftir. (İlgili partikül boyutu ve bundan büyük partiküllerin toplam değerini ifade eder.)

b) Bu konsantrasyon değerleri yüksek numune hacimleri gerektirebilir. Ek D' de tanımlanan ardışık numune alma prosedürü uygulanabilir.

c) Bu partikül seviyesinde belirtilen temizlik sınıfları için (yüksek konsantrasyon nedeniyle) sınıflandırma tanımlanmamıştır.

d) Bu seviyede partikül sayısı olması durumunda sınıflandırma geçersizdir.

e) 1 µm' den büyük partiküllerin numune hattında tutulması riski sebebiyle tanımlama yapılmamıştır.

f) 5.0 µm eşit ve büyük partikül tanımı için gerekli ise M tanımlayıcısı kullanılmalıdır.

Tablo 1. 2 ISO 14644-1:2015'e göre ara ondalık hava temizleme sınıfları

ISO Sınıf Numarası (N)	Değerlendirmeye alınan boyutlardan daha büyük ve eşit partiküller için en yüksek konsantrasyon düzeyleri (partikül /m ³ hava) (a)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1,5	[32]b	d	d	d	d	e
2,5	316	[75]b	[32]b	d	d	e
3,5	3160	748	322	111	d	e
4,5	31600	7480	3220	1110	263	e
5,5	316000	74800	32200	11100	2630	e
6,5	3160000	748000	322000	111000	26300	925
7,5	c	c	c	1110000	263000	9250
8,5	c	c	c	11100000	2630000	92500
Notlar:						
a) Tablodaki tüm değerler kümülatiftir. (İlgili partikül boyutu ve bundan büyük partiküllerin toplam değerini ifade eder.)						
b) Bu konsantrasyon değerleri yüksek numune hacimleri gerektirebilir. Ek D' de tanımlanan ardışık numune alma prosedürü uygulanabilir.						
c) Bu partikül seviyesinde belirtilen temizlik sınıfları için (yüksek konsantrasyon nedeniyle) sınıflandırma tanımlanmamıştır.						
d) Bu seviyede partikül sayısı olması durumunda sınıflandırma geçersizdir.						
e) 1 µm' den büyük partiküllerin numune hattında tutulması riski sebebiyle tanımlama yapılmamıştır.						
f) 5.0 µm eşit ve büyük partikül tanımı için gerekli ise M tanımlayıcısı kullanılmalıdır.						

1.5.1. DIN 1946/4 Standardı

Genel standartların haricinde hastanelere özel standartlar kullanılmaktadır. Özel standartların yaygın olanı DIN 1946/4' tür. Bu standart insanlar üzerinde tıbbi muayene, müdahale ve tedavi amacıyla kullanılan sağlık merkezleri, odaları ve ilgili alanları kapsamaktadır. 2008 yılında bazı değişiklikler yapılarak yeniden güncellenerek bu alman standardı direk sağlık alanlarına yönelik bir içeriğe sahiptir. Ülkemizde de standartlar arasında en çok kullanılan standart DIN 1946-4'tür.

Bu standartta;

- Odaların sınıflandırılması, havalandırma ve iklimlendirme gereksinimleri,
- Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin elemanları,
- HVAC sistemlerinde kabul ve nitelendirme testleri açıklanmıştır [12].

1.5.2. U.S. 209 D Standardı

U.S. 209D standardı 1988 yılında geliştirilmiştir. 1992 yılında SI birim sisteminde revize edilmiş ve 209E olarak yayınlanmıştır. Fakat bu standart 2001 yılında yürürlükten kaldırılmıştır. 1988 yılında yayınlanan 209D standardında temiz oda sınıf adları; sınıf 10,100, 1000, 10000 ve 100000 olarak geçmektedir. Bu sayılar 1 feetküp (0.028 m³) hava içerisinde 0.5 mikron ve daha büyük boyuttaki taneciklerin adet bazında geçmemesi gereken sayıyı ifade eder [12].

1.5.3. U.S. 209 E Standardı

209D standardından sonra 209E standardı yayınlanmış, bu standartta metrik sistem kullanılmıştır. Buna göre feetküpte verilen partikül sayısı metreküpe çevrilip, bu sayının 10 üzeri logaritması alınmıştır. Örnek olarak Sınıf 100'deki partikül sayısı metreküp için oranlanırsa yaklaşık değeri 3530 olmaktadır. 3530'un 10 üzeri logaritması alındığında ise bu sayı 3.5 olmaktadır. Bu hesaplama göre temiz oda sınıfları M 2.5; M 3.5, M 4.5, M 5.5, M 6.5 olarak isimlendirilmiştir ama mahalde bulunabilecek en yüksek partikül sayısı aynı kalmıştır.

Tablo 1.3.' te U.S. 209E standardına göre temiz oda sınıfları ve bu temiz oda sınıflarında maksimum bulunması gereken tanecik adetleri verilmiştir. Tablolarda göremediğimiz M 2.2; M 4.3 ve M 6.4 gibi ara sınıflar için de tanımlamalar mümkündür. Bu tanımlama 0.5 µm çaptaki tanecik adedine göre yapılmıştır. Bu hesaplama Eşitlik 1.1 ile uygulanabilir.

$$N = 10^M \left(0.5/d\right)^{2.2} \quad (1.1)$$

Burada;

M: SI birim sistemindeki sınıf notasyonu,

d: Mikron cinsinden tanecik çapıdır, [µm].

N: Birim hacimdeki tanecik sayısı [sayı/m³]

Temiz oda sınıfını belirlemek için ölçümler farklı partikül boyutlarında yapılabilmektedir. Bu durum dolayısıyla yapılan ölçümlerde kullanılan partikül boyutu mutlaka belirtilmelidir [12].

Tablo 1. 3 U.S. 209 E'ye göre oda klasları

KLAS		Referans çapa eşit ve maksimum tanecik adedi/m ³ veya tanecik adedi/ft ³									
SI	İNGİLİZ	0.1 µm		0.2 µm		0.3 µm		0.4 µm		0.5 µm	
		(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)	(m ³)	(ft ³)
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10	0.283	-	-
M1.5	1	1240	35	265	7.5	106	3	35.3	1	-	-
M2		3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M2.5	10	12400	350	2650	75	1060	30	353	10	-	-
M3		35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	-	-
M3.5	100	-	-	26500	750	10600	300	3530	100	-	-
M4		-	-	75700	2140	30900	875	10 ⁴	283	-	-
M4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35300	1000	247	7
M5		-	-	-	-	-	-	10 ⁵	2830	618	17.5
M5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353000	10 ⁴	2470	70
M6		-	-	-	-	-	-	10 ⁶	28300	6180	175
M6.5	100000	-	-	-	-	-	-	353*10 ⁴	10 ⁵	24700	700
M7		-	-	-	-	-	-	10 ⁷	283000	61800	1750

1.5.4. İlaç sektöründeki temiz odalar için sınıflandırma

'İyi Üretim Teknikleri (GMP)' olarak adlandırılan kurallar, ilaç endüstrilerinde yukarıda belirtilmiş olan kurallara ilave olarak uyulması istenen kurallardır. EU GMP kurallarına göre Tablo 1.4' te oda klasları gösterilmektedir.

Klas A: En yüksek seviyede sterilite olması gereken bölgeler.

Klas B: Steril alanlar özellikle Klas A çevresi.

Klas C ve D: Klas A ve B kadar yüksek sterilite ihtiyacı olmayan mahaller, örnek olarak kimyasal bileşik hazırlama, ekipman yıkama mahalleri ve benzeri mahaller.

Yukarıda da belirtildiği üzere sınıflandırma dört temel alan üzerinden yapılmaktadır.

Bunlara ek olarak ilaç üreticilerinin bazılarının belirlemiş oldukları sınıflar da mevcuttur.

Temizlik kalitesini belirleyen ana etkenler partikül ve mikroorganizma sayısı olmaktadır

[16].

Tablo 1. 4 EU GMP Gide (1997): Steril ürünler imali için klas tanımı

Klas	Müsaade Edilebilir Maksimum Tanecik Miktarı adet/m ³			
	Durgun (b)		Çalışır	
	0,5 µm	5 µm	0,5 µm	5 µm
A	3500	0	35000	0
B (a)	3500	0	350000	2000
C (a)	350000	2000	3500000	20000
D (a)	3500000	20000	Tanımlanmamış (c)	Tanımlanmamış (c)

(a) B.C.D klaslarına erişmek için gerekli hava değişim sayısı odanın büyüklüğü teçhizat personel sayısına bağlıdır. A,B, C klaslar için hava sisteminde uygun HEPA filtreler bulunmalıdır.

(b) Durgun demek, temizlikten 15-20 dakika geçtikten sonraki insansız durumdur.

(c) Tanecik ve mikrobiyolojik gözlem için uyan ve tedbir limitleri saptanmalı ve düzeltici tedbirler işletme talimatlarında bulunmalıdır.

1.6. Temiz Oda Tasarımı

Klima ve havalandırma santralleri ve ekipmanlarının konfor uygulamalarında önem gösterilen sıcaklık, nem oranı ve hava değişim sayılarını içeren üç parametre vardır. Hijyenik mahaller özelinde kullanılan klima ve havalandırma sistemlerinde ise üç parametreye ilaveten; havada bulunan tanecik ve mikroorganizma sayısı, havanın hızı, hava dağılımı ve mahaller arasında bulunan pozitif ve negatif basınçlandırma değerleri kontrol edilmelidir. Hijyen şartı aranan ekipmanların seçiminde ve uygulamasında birçok standart ve kılavuzda tanımlanan parametreler konfor uygulamasına göre daha fazladır.

Standart ve kılavuzların içerdiği değer aralıkları içinde santraller, tüm değerler ve koşullar kontrol edilerek tasarlanmalıdır. Tablo 1.5' in genişletilmesi ve tamamlanması için çalışmalar sürmektedir. Bu tablo standart ve kılavuzlarda verilmiş olan tasarım değerlerinin karşılaştırılmasını göstermektedir [13].

Tablo 1.5 kısaltmaları aşağıdaki gibidir;

- *: Karışım havalı sistemler için önerilen taze ve toplam hava değişim sayıları.
- *: %100 taze havalı sistemler için önerilen toplam hava değişim sayısı.
- m³/m: DIN normu mahaller arası uygun hava akış yönünü korumak için mahale duvarlardaki metre açıklık (kapı ve pencere açılır uzunlukları) başına 20 m³/h fazladan hava sağlanmasını önermektedir.

Tablo 1. 5a Standart ve kılavuzlarda verilen tasarım değerlerinin karşılaştırılması

Standart	Ameliyat Odası Tipi	Sıcaklık	Nem	Filtreleme	Hava Hızı
ASHRAE	A Sınıfı	18-26 C°	30-60%	-	0,25-0,45 m/s
	B Sınıfı			-	
	C Sınıfı			-	
AIA	A Sınıfı	20-23 C°	30-60%	-	-
	B Sınıfı			-	
	C Sınıfı			-	
DIN	Sınıf 1a	19-26 C°	30-60%	G4-F7-F9-H13	-
	Sınıf 1b			G4-F7-F9	-
CBZ	-	18-24 C°	-	F5-F7-F9-H13	-
VDI	Sınıf 1a	18-24 C°	30-50%	F5-F7-F9-H13	0,2-0,3 m/s
	Sınıf 1b				
NBR	Genel	19-24 C°	45-60%	G2-F2-A3	-
	Sezaryen	22-26 C°		-	
CDC	-	-	30-60%	-	-
HICPAC	-	-	30-60%	-	-
NF S90	Risk-3	19-26 C°	40-60%	G4-F7-F9-H14	0,25-0,35m/s
	Risk-4	15-30 C°			
UNE 100713	-	-	-	F6-F9-H13/H14	-

Tablo 1. 6b Standart ve kılavuzlarda verilen tasarım değerlerinin karşılaştırılması

Standart	Hava Dağılımı	Basınç	Basınç Farkı	Dış Hava Değişim Sayısı	Toplam Hava Değişim Sayısı
ASHRAE	Laminer/Dikey	P (+)	2.5-7.5 Pa / 35-47 L/s	5*/15**/15 (lt/sn)/insan	25*/15**
AIA	Laminer/Dikey	P (+)	2.5 Pa	3	15
DIN	Laminer/Dikey/Karışım Havalı	P (+)	20 m ³ /h/m	800-1200 m ³ /h	-
CBZ	Laminer/Dikey	P (+)	-	-	-
VDI	Laminer/Dikey/Karışım Havalı	P (+)	20 m ³ /h/m	800-1200 m ³ /h	-
NBR	-	P (+)	-	-	-
	-				
CDC	-	P (+)	-	3	15
HICPAC	-	P (+)	-	3	15
NF S90	Laminer/Dikey	P (+)	-	6	-
UNE 100713	Laminer/Dikey	P (+)	-	-	-

1.6.1. Temiz oda tasarım parametreleri

1.6.1.1. Oda basıncı

İç ortam hava kalitesini yükseltmek için temiz bölge kirli bölgeden ayrılmalıdır. Bunun için yangın durumlarında duman kontrolü için de gerekli olan basınçlandırma kullanılmaktadır.

Temiz ortamdaki daha az temiz ortama doğru pozitif basınçtan dolayı hava akımı oluşmaktadır. Dönüş havası veya egzoz havası oranı kontrol edilerek temiz oda pozitif basınçta tutulur. Pozitif basınçta tutma işlemi için mahalde yer alan fark basınç ölçüm aleti ile damperlere açılması ya da kapanması yönünde oransal bir sinyal iletilir ya da basma veya emiş fan motoru farklı frekans değerlerinde sürülerek hava debisi ve oranı değiştirilir. Başka bir yöntem ise çift kapı sistemi ile var olan basıncın devamlılığını sağlamaktır.

Temiz mahale girmek için ilk önce bekleme mahaline giriş yapılır giriş yapılan kısım kapatıldıktan sonra temiz alana ulaşılan başka kapı ile ortama geçilir. Dış ortamdaki temiz mahale filtre edilmemiş hava akımının önüne geçilmesi için bekleme mahali temiz odayla aynı temizlik sınıfında olmalıdır [4].

1.6.1.2. Odadaki hava hızı ve dağılımı

Temiz oda sınıfı belirlendikten sonra odadaki partikül kontrolünü sağlayan hava akımı türüne bakılmalıdır. Hava dağılımını, hava veriş ve dönüş menfezlerinin cinsleri ve bulundukları yerler etkilemektedir.

Hava dağıtım sistemi seçimini binanın inşaat durumu, istenilen temizlik sınıfı, içerideki cihazların yerleşimi ile bunların klima santrallerinin yerleştirilmesine uygunluğu etkilemektedir. Bunların dışında en önemli etken bu iş için ayrılan maddi kaynak miktarı olmaktadır.

Temiz odanın kullanım amacına göre farklı hava akış şekilleri bulunmaktadır. Kullanım senaryoları farklı üç seçenek oluşturulmuştur.

- Temiz oda içinde çalışılan mahaldeki partikülleri gidermek için hızlı emilim yapılabilir. Böylece yüksek partikül yoğunluğu engellenmektedir. Çapraz kirlenmelere müsaade edilmeyen temiz odalarda kullanılmaktadır.
- Türbülanslı akış klas 100.000 sınıfının altındaki mahallerde kullanılmaktadır. Bu seçenek partikülü az olan hava kullanılıp tanecik yoğunluğunun seyreltilmesi prensibine dayanmaktadır. Bir diğer deyişle 'havayı seyreltme' de denilebilir. Temiz odalarda partikül yoğunluğunun düşürülmesi için gereken hava miktarının belirlenmesi gerekmektedir . Bu hesaplama için azami ve sabit bir partikülün emisyon oranından yola çıkılarak düşünülen metotlar kullanılır. Fakat deneyimlere göre, fiziki çalışma şartlarında, sınıflandırma koşullarını takiben hava değişim sayısının az olmasının dahi yeterli gelebileceği gözlemlenmiştir
- Başka bir yöntem, partikülleri doğrudan temiz odada tanımlanmış bir yatay veya dikey akış yolunda süpürmektir. Bu yöntemle hava akışına laminar akış denmektedir. Klasifikasyonu 100 ve üzeri olan temiz odalarda kullanılan bu akışla zararlı partiküller dışarıya süpürülmektedir. Laminar hava akışında en önemli koşul akış hızıdır ve bu akış hızı 0,2 m/s ile 0,5 m/s aralığında değişmektedir. Bu da gereken havayı mümkünatı kadarıyla minimum seviyeye indirip enerji tasarrufu beklenen diğer parametrelerin düşünülüp yorumlanmasını gerektirmektedir.

Bunların yanı sıra egzoz edilecek havanın atılması için de farklı çözümler bulunmaktadır. Bu çözümlerden biri extrafiltrasyondur. Bununla atık havanın sınıfı yüksek mahalden daha düşük olana extrafiltrasyonu sağlanmaktadır. Bir diğer yöntem ise dışarıdan belli bir yüzdede alınan taze havanın belirli bir temiz oda sınıfına sahip mahalın egzoz havasının belirli yüzdesinin karıştırılmasıdır. İşletme ve yatırım giderleri bu sayede azaltılabilir.

Temiz odalarda kullanılan yöntemlerin mahal sınıfına etkisini bazı etkenler değiştirebilir. Bu etkenlerden en önemlisi bu işe ayrılan mali kaynak miktarı olmakla beraber yapısal ve yerleşimsel konular ve buna bağlı santral uygulama kısıtları etkenlerden bazılarıdır.

Temiz odalar çalıştırılırken enerji tasarrufu için çevrim havası kullanılmalıdır. Temiz odanın aktif kullanılmadığı zamanlarda yalnızca pozitif basıncın sağlanması gerek ve yeter koşuldur.

Çevrim havasında geçerli olan kurallar taze hava da geçerlidir Ortamda çalışan kişiler için taze hava kuşkusuz önemli bir unsurdur. Odada kirli havaya neden olan durumlar oluşmaz ise santral pozitif basınç sağlamakta kullanılır. Böylece enerji kullanımından da tasarruf edilir. Personel için sağlanacak taze hava miktarı, yapılan işe de bağlı olarak, kişisel taze hava gereksinimine uygun şekilde tayin edilmelidir.

Isı yükleri makinelerden, vantilatör motorlarından ve aydınlatmalardan gelebilir. Bu ısı yüklerinin ortadan kaldırılması için karışım havası kullanılmalıdır. Taze hava oranı temiz odalarda çok düşüktür. Bu nedenle ayrı bir şekilde taze hava hazırlanır. Çevrim havasına bu taze hava en uygun şekilde karıştırılıp odaya verilir. Bu sistem sayesinde nem ayarının sürekli yapılmasına gerek kalmaz. Buna bağlı olarak da nem alma ve nemlendirme cihazı masraflarına ihtiyaç kalmamış olur [16].

Temiz odalarda olması gereken odadaki hava değişim sayısı, hava hızına bağlıdır ve dolayısıyla temiz odada bulunması gereken maksimum tanecik sayısını etkiler. Yine hava hızına bağlı olarak laminar ve türbülanslı akış dağılımlarına rastlanır [4].

Bu konu ‘Temiz ve steril üretim alanları planlama kriterleri’ başlığı altında detaylı incelenecektir.

1.6.1.3. Laminer ve türbülanslı akış

Hava hızı, odadaki akışın laminar veya türbülanslı olmasını ve sirkülasyonunu belirtir. Laminer akışlı odalar, yatay ve düşey akış olarak iki bölümde incelenir ve havanın akım çizgileri birbirlerine paraleldir. Hava hızının 0,45 m/s olması, taneciklerin çökmesini önlemek ve ısı kaynaklarından oluşabilecek sekonder akımları bastırmak için gereklidir. Temiz odadaki akışın laminar olması için içinde hepa filtreleri olan, tavanı veya yan yüzeyi tamamen kaplayan hava akış üniteleri kullanılmalıdır.

Oda hava türbülansı, yoğunlukla hava dağıtıcısının olduğu bölgede, mahale gönderilen havanın, çevredeki duvarlar, tavan gibi katı yüzeylerle etkileşime girmesiyle oluşmaktadır.

Türbülanslı akışta laminar akışa göre tanecikler ortama yayılma eğilimindedirler. Taneciklerin uygun hava hızıyla toplanarak büyük tanecikler oluşturdukları görülmüştür. Havanın mahale dik giriş yönünde 0,5 ile 0,2 m/s hız aralığında olması gerekmektedir.

Taneciklerin düşük hava hızlarında tabana çöküp birikebilme, yüksek hava hızlarında da toplanarak birleşme ihtimalleri mevcuttur.

Tanecik çapları mikron seviyelerinde olduğundan havayla aralarında sürtünme kuvveti oluşur bu da tanecikleri havada asılı tutar. Odadaki konveksiyon hızının yanında, taneciklerin çökme hızları çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Üfleme menfezinden uzaklaştıkça ve türbülans derecesinin yükselmesiyle, parçacık dağılımının standart sapması artış gösterecektir. Parçacıkların düşey bir akım içerisinde yatay olarak yayılması da türbülans derecesiyle ilgilidir [4].

1.6.1.4. Sıcaklık ve nem

Temiz odada sıcaklık ve nem ayarı diğer parametreler gibi işletmenin amacına uygun düzenlenmelidir. Örneğin elektronik sanayisinde metallerin genleşmesini önleyecek ortam sıcaklığıyla, ameliyathanede kanın pıhtılaşmasını önleyecek sıcaklıkların farklı olması gerekmektedir. Bağlı nemin kontrol altında olmasının da amacı konfor ve proses şartlarıdır. Çalışılan ortamlardaki düşük bağlı nem, insanlarda ağız ve boğaz kuruluğu yapmaktadır. Bu yüzden de iş konsantrasyonları azalabilmektedir. Yüksek nemli ortamlarda ise terleme azalır metabolik denge değişeceğinden çalışma koşulları etkilenebilmektedir. Mikroorganizmaların yaşamaları ve çoğalmalarını önlemek için sıcaklık ve nem belirlenen değerlerde olmalıdır. Oda sıcaklığı üfleme havası tarafından alınan bir sensör bilgisi yardımı ile tayin edilmelidir. Hava sürüklenmesini önlemek için serin ve ılık bölgeler arası sıcaklık farkı minimumda tutulmalıdır. Odada sıcaklık bakımından homojen dağılım için iyi bir hava dağıtıcısı ile dağılım sağlanmalıdır [4].

Hava nemlendiriciler sağlığı koruyup, kaliteyi sağlamaktadırlar. Nem konusunun değişik uygulamalara yönelik birçok özelliği vardır. Aşağıda verilen örneklerde nemin değişik uygulamalarda önemi anlatılmaktadır.

Ahşap Kaplama: Fabrikada ahşap işlenirken ve saklanırken bağlı nem oranı %50-60 BN arasında olması gerekmektedir. Bu bağlı nem oranı sağlanmazsa, ahşap kaplamanın biçimi bozulur, yüzeyde yarıma, kaplamalarda kırılma veya dökülmeler oluşur.

Anaokulları: Ortamların ısıtılması sonucu ortamdaki hava, özellikle kış aylarında kurur. Radyatörlerin üzerine su dolu bir kap koymak veya ıslak bez bırakmak havayı nemlendirir

fakat sorunun çözülmesi için yeterli değildir. Diğer taraftan hava koşullandırma ünitelerinin ısıtılan havayı sadece ortamda dolaştırması ama nemlendirmemesi de bu soruna sebep olmaktadır. Böylece kuru hava ortamdan nemi çekmekte bu da özellikle çocuklarda burun mukozası ve boğazlarını kurutup, mikrop ve virüslerin kolaylıkla vücuttan içeri alınmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda soğuk algınlığı ve hastalıklar artmaktadır.

Bilgisayar Odaları: Düşük nem seviyesinin diğer bir etkisi de statik elektrik yükü oluşturmaktır. Bu statik elektrik yükü elektronik aletlerin arızalanmasına neden olabilmektedir. Ayrıca tozun cihazların üzerinde birikmesi de cihazların işlevlerini bozabilmektedir. Sonuç olarak bilgisayar odalarına statik yüklenme oluşmaması için havadaki nem oranı %50-55 BN seviyelerinde tutulmalıdır.

Bira: Bira yapımı sırasında en iyi sonuçların alınması için fermantasyon odasında bağıl nemin %50-70 BN seviyesinde ve sıcaklığın 4-8 santigrat derece arasında olması gerekmektedir.

Bürolar, Ofisler; Tüm ısıtılan ortamlarda olduğu gibi, oluşan kuru hava, birçok insanın bir arada bulunduğu ofis, büro gibi iş yerlerinde insan sağlığı için özellikle önemlidir. Bilim insanları büro veya ofis gibi iş yerlerinde, çevre ve ortam sağlığı açısından hava nem seviyesinin %40-%45 BN civarlarında olmasını önermektedirler.

Hastaneler: Hastanelerde temiz ve sağlıklı bir ortam sağlanması, hava yoluyla bulaşabilecek hastalıkların önlenmesi gerekmektedir. Uzmanlar tarafından hastanelerde temiz ve sağlıklı ortam oluşması için gerekli nem seviyelerinin, hasta ve koğuş odalarında %40-50 BN, kulak-burun-boğaz hastalıkları %70-90 BN, ameliyathanelerde %50-60 BN olması gerektiği söylenmektedir.

Laboratuvarlar: Laboratuvarlarda güvenilir sonuçlar için, deneylerde önceden belirlenmiş olan hava nemi seviyelerine hızlı uyum sağlayan, hatasız tanımlanan ortamlara ihtiyaç duyulmaktadır. Buna göre en uygun ünite ise modern mikro-işlemciler ile donatılmış elektrotlu buharlı hava nemlendiricileri olmaktadır. Elektrikli üniteler ve ölçüm cihazları elektrostatik yüklenmeden etkilenecek bozulabilmektedirler. Bu etkilerden korunabilmek için nem seviyesi en az %50 BN olması gerekmektedir.

Olgunlaştırma Odaları: Doğru belirlenmiş iklim koşullarında saklanan birçok gıda maddesinin aromaları ve tatları gelişmektedir. Buna bağlı olarak gıda maddeleri için

olgunlaştırma işlemleri geliştirilmiştir. Bu işlemler oldukça hassas süreçlerdir. Örneğin, peynir olgunlaştırma 2-15 C' de ve %75-85 BN seviyesinde yapılmaktadır.

Soğuk Odalar: Et, meyve ve sebzeler suyunu kaybetmemesi, ağırlıklarının azalmaması ve çabuk bozulmamaları için kuru ortamlarda saklanmaktadır. Gıdaya bağlı olarak %60-85 BN aralığında, uygun sabit nemli ortamlarda ve kontrol edilen gıdalar besin değerlerini ve kalitelerini korumaktadırlar [14].

1.6.1.5. Statik elektrik

Mahaldeki yüzdesel nem miktarı ve statik elektrik direkt bağlantılıdır. Elektronik sistem tasarımlarının yapıldığı veya elektronik cihazlar kullanılan ortamlarda büyük önem taşımaktadır.

Nemlilik, matbaacılık, iplik üretim, işleme gibi ortamlarda ve potansiyel olarak yanıcı veya patlayıcı maddelerin bulunduğu ortamlarda statik elektriği azaltmaktadır. Statik elektrik yüklerinin en aza indirilmesi için bağıl nem seviyesinin %35' in üzerinde olması gerekmektedir [4].

Elektronik ve ileri teknoloji üretim ortamlarındaki hava nemini kontrol etmek ve düzenlemek, kuru alanlarda (muhtemel nem oranının %45'inden az olması) muhtemel elektrostatik deşarjları (ESD) etkili bir şekilde azaltır. Hassas malzemelerde herhangi bir hasarı önlemek ve üretim işlemlerini aksatmamak için üretim tesislerinde genel olarak %55' lik bağıl nem oranı tavsiye edilir.

Artan iç mekan nemi, doğal bir koruyucu işlevi görür, elektrik yüklerini emer ve hızlı ve kalıcı deşarj sağlar. Nemlendirme ayrıca hassas bileşenler ve yüzeylerdeki toz birikimini azaltmaya katkıda bulunur ve yolcuların çalışma koşullarını iyileştirerek kuru bir çalışma ortamıyla ilgili sağlıkla ilgili yaygın hastalıkları önler.

Elektronik ve ileri teknoloji endüstrisinde hava nemlendirmenin bazı avantajları:

- Tehlikeli elektrostatik boşalmaya karşı koruma
- Elektrikli bileşenlerin iyileştirilmiş kalitesi
- Arıza oranını düşürerek daha iyi malzeme ve proses verimliliği
- Operasyon personeli için sağlıklı ve keyifli bir çalışma ortamı oluşturulması [15].

1.6.1.6. Filtreleme

Temiz odalar için tasarlanan havalandırma sistemlerinde odanın sınıfına göre havanın yeterli oranda filtre edilmesi gerekmektedir ve bu son derece önemlidir. Bu durum farklı filtrasyon ekipmanlarının bütünleşik sistemde kullanılması ile mümkündür.

Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan CEN'(European Committee for Standardization) in yayınladığı EN779 ve EN1822 standartlarına göre hava filtreleri, Kaba (G1, G2, G3, G4) Hassas (F5, F6, F7, F8, F9), Yüksek verimli-HEPA (H10, H11, H12, H13, H14) ve Ultra yüksek verimli-ULPA (U15, U16, U17) şeklinde gruplandırılmıştır. Bilindiği gibi G ve F tipi filtreler normal konfor uygulamalarında ve yüksek verimli filtreleri koruma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de bütün dünyada olduğu gibi temiz oda ve temiz ortam uygulamaları artış göstermektedir. İlaç sektöründeki globalleşmeyle beraber ürünlerin pazarlanabilmesi için üretimlerin mevcut standartlara uygun imal edilmesi, temiz oda uygulamalarını yaygınlaştırmaktadır. Son yıllarda bazı ilaç firmaları, GMP kurallarına göre sadece A, B, C Klas ortamlarda kullanılan HEPA filtreleri D Klas odalarda da standart olarak kullanmaya başlamışlardır [11].

Filtre seçimi ve yerleşimi temiz odalar için en önemli kriterdir. Filtrelerin seçimi için önem gösterilmesi gereken hususlar aşağıda verilmektedir:

- 1- Filtrelerin temiz kabul edilen basınç kayıplarının minimum seviyede tutulması önemlidir. Böylece hem işletme masrafları düşük olur hem de filtrelerin özellikle de HEPA filtrelerin değiştirilirken steril alanın kirlenmesiyle üretimin durması akabinde kayıpların olması engellenir.
- 2- Torba filtrelerin tüm yüzeyleri kullanılabilen (yanakları birbirine değmeyen) şekilde üretilmiş olanlarının kullanım ömrü daha uzun olmaktadır.
- 3- Torba filtrelerin deforme olma ihtimali azaltılmış, santral çalıştırıldığında ve kullanım esnasında durağan şekil alan malzemeden üretilmiş olması yarar sağlamaktadır.
- 4- Sistemin emniyeti için torba filtrelerin birleşim yerleri kaynaklı olması gerekmektedir.
- 5- Torba filtreler cam elyafından üretilmiş ise kolayca yırtılabilir ve sağlığa da zararlı olduklarından kullanılması önerilmemektedir.

- 6- HEPA filtrelerin 3-5 senede değiştirildiğini göz önüne alırsak, bu süre zarfında özellikle çerçevelerinin, üzerinde mikroorganizma, küf ve mantar üremesine izin vermeyen malzemelerden seçilmesi gerekir.
- 7- Hazırlanacak dokümanlar içinde HEPA filtrelerin hepsinin ayrı ayrı üretim sonrası test edildiği belgeler bulunmalıdır.
- 8- Montaj yapılırken HEPA filtrelerin zarar görmemesi için kafes ya da koruma düşünülmesi gerekmektedir [6].

HEPA filtreler

Günümüz temiz odalarının ihtiyaç duyduğu temizlik seviyesinin elde edilebilmesi ancak yüksek verimli partikül hava (HEPA) filtrelerinin kullanımı ile mümkün olur. HEPA filtrelerin dokusu değişik boyutlardaki cam liflerinden oluşur. Cam lifleri esas olarak bir bağlayıcı yardımıyla kendi lifler arası bağları ile bağlanır. Bu dokunun yoğunluğu, daha yüksek basınç düşümüne neden olan ve daha büyük filtre alanı gerektiren az verimli filtrelerinkinden çok daha büyüktür. HEPA filtrelerin verimliliği 0,3 mikron çapındaki partiküller için 99,97'den 99,999'a kadar değişmektedir. Hepa filtreler test ve kullanım sırasında kolayca zarar görebileceğinden filtre dokusuna kesinlikle dokunulmamalıdır. Filtre dokusu filtre çerçevesi düştüğünde ya da sert bir cisme çarptığında da zarar görebilir [11].

Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinin olduğu temiz oda uygulamalarında örneğin ilaç endüstrisinde kullanılan verimli hava filtreleri (EPA), yüksek verimli hava filtreleri (HEPA) ve çok düşük penetrasyona sahip hava filtreleri (ULPA) EN 1822 standartlarına göre sınıflandırılır ve test edilir. EN 1822' ye göre EPA/HEPA/ULPA sınıfı filtre ve filtre medyası için birbirinden bağımsız testler bulunmaktadır.

- 1- Filtre elyafının verim testi: Genellikle filtre malzemesi üreten firmaların yaptığı, elyafın kullanılacağı alın hızında ve MPPS' de yapılan bir verim testidir.
- 2- Filtre kaçak testi: MPPS' de tanecik sayıcılar kullanılarak yapılmaktadır. Bu teste alternatif olarak, H13 ve H14 sınıfı filtreler için yağ dumanı kaçak testi de uygulanmaktadır.

3. MPPS’de filtre verim testi: Filtre yüzeyinin test koşullarında taranarak yapıldığı ölçüm şeklidir. Bu testte kullanılan tanecik sayıcılar ile verim ölçülür. MPPS: Most Penetrating Particle Size (En çok nüfuz eden partikül boyutu) [16].

Tablo 1. 7 EN1822 Sınıflandırması

Filtre Grubu	Sınıf	MPPS İntegral Değerler		MPPS Yerel Değerler	
		Verimlilik (%)	Nüfuz Etme (%)	Verimlilik (%)	Nüfuz Etme (%)
EPA	E10	85	15	-	-
	E11	95	5	-	-
	E12	99,5	0,5	-	-
HEPA	H13	99,95	0,05	99,75	0,25
	H14	99,995	0,005	99,975	0,025
ULPA	U15	99,9995	0,0005	99,9975	0,0025
	U16	99,99995	0,00005	99,99975	0,00025
	U17	99,999995	0,000005	99,9999	0,0001

ULPA filtreler

ULPA (Ultra Low Penetration Air) filtre sınıfı, 0,3 mikron ya da daha küçük parçacıkların yakalanmasında standart HEPA filtrelerden daha yüksek verimlilikteki filtreleri tanımlamak için kullanılır. Bir ULPA filtrenin verimliliği 99,99’den büyüktür.

ULPA filtreler, küçük liflerin filtre dokusundaki daha yüksek oranı ve daha verimli olmaları ile farklıdır. Filtre dokusunun daha yoğun paketlenmesi nedeniyle basınç düşümü daha yüksektir ve aynı miktardaki filtre dokusu için ULPA filtrenin direnci, HEPA filtrenin direncinden büyüktür [11].

1.7. Temiz Odalarda Klima Üniteleri ve Çeşitleri

Hijyen, hayatımızda çok önemli bir yer tutar. Hijyenin önemi, hijyen gereken yerlerde klima havalandırma ve buna bağlı sistemlere bazı özelleştirmeler getirmektedir. Hijyenik koşullar, konfor sistemleri ile sağlanamayabilir. Hijyenik özelliklere sahip klima-havalandırma santrallerinin bu koşulları sağladığı görülmektedir.

Hijyenik klima-havalandırma santralleri, yalnızca hastanelerin ilgili bölümlerinde değil elektronik kart üretim tesisleri, ilaç üretim tesisleri, gıda üretim ve depolama tesisleri gibi

farklı sektör ve işletmelerde de kullanılmaktadır. Bu nedenle klima santrali seçimi, imalatı ve uygulaması ayrı uzmanlık gerektiren bir konu olmuştur.

Klima santralleri içinde birçok ana eleman kullanılmaktadır. Bu elemanların, santralden geçen hava kalitesi ve hijyeni üzerinde etkisi olmaktadır. Bu nedenle hijyenik klima tasarlanırken, bütün elemanların santralin hijyenikliği üzerinde etkisi göz önüne alınması gerekmektedir.

Hijyenik santral kavramı oldukça karışıktır. Nemlendirici, filtre, fan, iklimlendirme bataryaları, damper, ısıtıcılar vb. ve bu elemanlarla bağlantılı sac veya plastik vb. gibi komponentlerin santral hijyenikliği üzerinde etkileri incelenmeli ve her komponent için hijyenik koşulların kontrolü gerekmektedir [9].

Hijyenik koşulları sağlayan klima ve havalandırma sistemleri çok yönlü düşünülmesi gereken bir kavramdır. Bir klima santralinde, yalnızca sacların paslanmaz seçilmesi santrali hijyenik kategorisinde değerlendirmek için yeterli olmamaktadır. Hijyenik santral tasarımında birçok etkeni göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bunlar; santral kasa yüzeyi, hava kaçak sınıfı, yüzey yoğuşma olasılığı ve sınıfı, temizleme, servis ve bakım vb. etkenlerden oluşmaktadır.

Projeci ve müteahhitlerin, karmaşık bir konu olan ve yüzeysel bir çalışmayla çözümlenmeyen hijyenik santral uygulamaları hakkında bilgilendirilmeleri gerekmektedir.

Hijyenik klima santrallerinin genel teknik ve yapısal özellik amaçlarını; mikroorganizma ve partikül oluşumunun, birikmesinin ve transferinin önlenmesi ve santralin kolay temizlenebilir, dezenfekte edilebilir olması olarak belirtebiliriz [17].

1.8. İklimlendirme Sisteminin Görevi

Konfor amaçlı sistemler, temiz oda kriterlerinin çoğunu sağlayamamaktadırlar. Konfor amaçlı havalandırma santralleri bazı saatlerde ve günlerde kapatılabilirken, temiz odalar için kullanılan santraller her gün her saat durmaksızın aktif olmalıdır. Örneğin elektronik kart üretim alanlarında sistemin üretim esnasında durması ürünün kullanılamayacak seviyeye gelmesine neden olabilir. Ameliyathanelerde iklimlendirme sistemlerinin durması, ameliyathane içerisindeki artı basıncın değişip, ameliyathanelerin kirlenmesine

neden olmaktadır. Temiz odalarda iklimlendirme sistemlerinin görevleri genel olarak aşağıda verilmektedir:

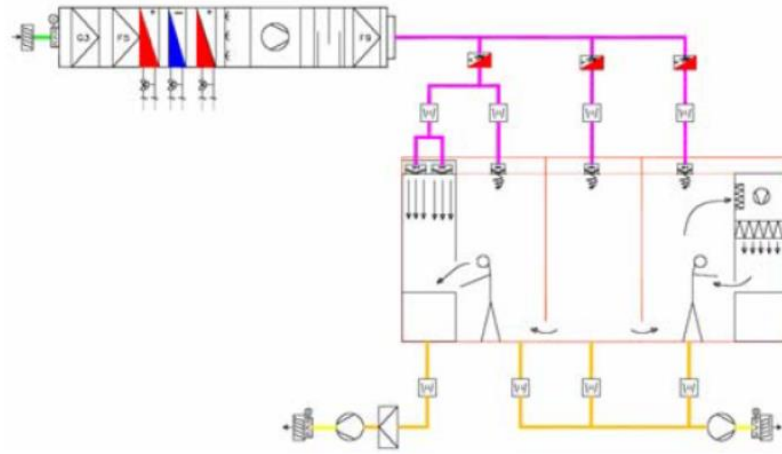
- Temiz Odalara toz taneciklerinin girmesini engellemek,
- Ortamda istenen hava kalitesini tanecik boyutunda tüm mahalde sağlamak,
- Yapılan iş özelinde mahali belirlenen sıcaklık ve nem değerinde tutmak,
- Egzoz edilen havayı çevreye duyarlı hale getirip mahalden uzaklaştırmak,
- Farklı mahaller arasındaki pozitif/negatif basınç değerlerini korumak,
- Ortama mahaldeki oluşum dışında tanecik girişini engellemek,
- Çalışan personelin, üretim esnasında oluşan zararlı maddeler tarafından etkilenmemesini ve çalışma konforunu sağlamak
- Çapraz kirlenmenin önüne geçmek,
- Özellikle ameliyathanelerde çalışan insanların konsantrasyonunun bozulmaması için ses seviyesini minimumda tutmak,
- Enerji sarfiyatını en düşük seviyede tutmak.

Yukarıda belirtilen işlerin aksamaması ve/veya enerji masraflarının çok yükselmemesi için yatırım masrafları düşük tutulmamalı, ucuz ve kalitesiz malzemeler kullanılmamalıdır. Aksi takdirde yatırımcının kısa ya da en geç orta vadede zarar görmesi kaçınılmaz olmaktadır [6].

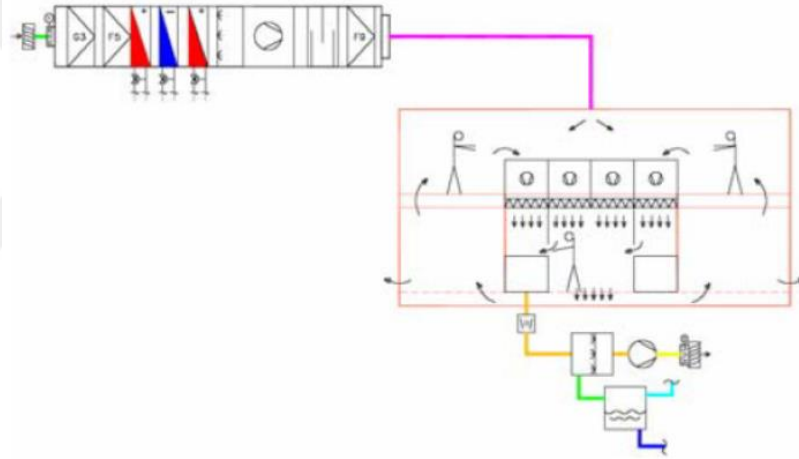
1.8.1.Üretim alanlarında iklimlendirme sistemi

Temiz odalar, tozsuz ortamlar ve hijyenik ortamlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İklimlendirme sisteminin kuruluşu açısından tozsuz ortamlar ve hijyenik ortamlar birbirinden bazı farklılıklar göstermektedir.

Hijyenik klima sistemlerinde ortama laminar olarak basılan havanın yükseltilmiş döşeme üzerinden emilmesiyle döşeme altının temizlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle mikroorganizmaların üreyebileceği bir ortam oluşacağından kesinlikle uygulanmamaktadır. Şekil 1.1 de hijyenik alanlarda hava basma sistemi gösterilmektedir. Şekil 1.2 ‘de ise tozsuz alanlarda hava basma sistemi verilmektedir.



Şekil 1. 1 Hijyenik Alanlarda Hava Basma



Şekil 1. 2 Tozsuz Alanlarda Hava Basma

Hijyeni ve Tozsuz alanlarda hava basma ile ilgili karşılaştırmalar;

- Hijyenik temiz odaların bazılarında, örneğin ilaç sanayi ve biyoteknolojik ürünlerin imal edildiği alanlarda, koridorlara göre üretim alanlarının eksi basınçta olması istenmektedir. Ancak tozsuz temiz odaların, üretim alanının koridorlara göre eksi basınçta olması kesinlikle kabul edilmemektedir.
- Hijyenik Temiz Odalarda ürünün veya mikroorganizmaların diğer odalara karışmaması için %100 taze hava ile çalıştırılması gerekebilmektedir. Bu tip tehlikelerin olmadığı üretim alanlarında ise geri dönüşümlü hava kullanılabilir. Tozsuz temiz odalarda ise şartlar elverdiğince yani prosesin aşırı atık havası yoksa, geri dönüşümlü hava ile çalışılmaktadır.

- Hijyenik Temiz Odalarda, antibiyotik üretimi veya çevreye zararlı mikroorganizmalar ile çalışılıyorsa, havanın atmosfere HEPA fitresinden geçirilerek atılması gerekmektedir. Tozsuz Temiz Odalarda da bazı durumlarda prosesin atık havasının nötralize edilmesi gerekmektedir.
- Hijyenik Temiz Odalarda, kanal sisteminde zamanla oluşabilecek mikroorganizmaların ürünle temas etmemesi için HEPA filtresinin kanalın menfez ağzına yerleştirilmesi gerekmektedir. Tozsuz Temiz Odalarda HEPA filtresi iklimlendirme cihazının çıkış ağzına konabilmektedir [6].

1.8.2. Mikro elektronik endüstrisi temiz ve steril üretim alanları planlama kriterleri

Mikro elektronik endüstrisinde, minimum cihaz özellik boyutu veya film kalınlığı, hedef kontaminasyon kontrolü seviyesini ve ilgili temizlik sınıfını belirler.

En düşük partikül konsantrasyonuna sahip temizlik sınıfı genellikle kritik partikül boyutuna referansla seçilir. Kritik partikül boyutu genellikle minimum özellik boyutunun 1 / 10' u olarak kabul edilir ve temiz oda için gerekli temizlik sınıflandırmasının seçilmesine yardımcı olmak için kullanılır.

Farklı proses çekirdekleri için temiz oda veya temiz bölge temizliğinin belirlenmesi, kontaminasyon olasılığına ve cihaz arızası potansiyeline dayanır. Örneğin, fotolitografi, plakaların yüksek kontaminasyon olasılığı olan ve kontaminasyon meydana geldiğinde cihaz arızası potansiyeli yüksek olan bir işlemdir.

Buna göre, bu tür riskler için mikro elektronikte koruma genellikle parçacık konsantrasyonlarını düşürmek veya diğer işlem parametrelerini (örneğin sıcaklık, nem, basınç) değiştirmek için işlem çekirdeklerini koruyan fiziksel bariyerlerin kullanılmasını içerir.

Çalışma bölgeleri, plaka veya kalıbın insanlar ve / veya otomatik taşıma ekipmanı tarafından ele alındığı bölgelerdir. Ürün doğrudan çevreye maruz kalırsa kontaminasyon potansiyeli yükselir. Ürünün çalışma bölgeleri içinde korunmasına yönelik en yaygın yanıtlar, tek yönlü akışı, doluluk miktarını ve temiz oda metre küp başına üretim yükünü en aza indirmeyi, personeli bariyer teknikleri de dahil olmak üzere maruz kalan

ürünlerden ayırmayı içerir. Çalışma bölgeleri genellikle bitişik, daha az kritik bölgelerden fiziksel engeller ve hava akışı ile ayrılır.

Kullanım bölgeleri, plaka işleme ekipmanının operatör olmayan ara yüz bölümlerinin tipik olarak yerleştirildiği bölgelerdir. Kullanım bölgelerinde, devam etmekte olan çalışmanın çevreye maruz kalmaması tipiktir. Bir işlem çekirdeğinin kullanım bölgesi genellikle karşılık gelen çalışma bölgesine bitişiktir.

Tablo 1.7’de belirtildiği gibi servis bölgeleri ne ürünün ne de proses ekipmanının bulunduğu bölgelerdir, ancak servis bölgeleri, temiz bölgelerin daha az temiz bölgeden ayrılmasına yardımcı olmak için çalışma veya hizmet bölgelerinin yanına yerleştirilir.

Elektrostatik şarj ve deşarj kontrolü, Elektrostatik yük birikimine müteakip elektrostatik boşalma, patlama (toz veya gaz varlığında), cihaz hasarı (örn. Elektronik veya optik bileşenlerde hasar), parçacıkların fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kirlenmeye neden olan yüzeylere aşırı çekilmesi gibi durumlar için önemlidir.

Yukarıdaki risklerin endişe yarattığı durumlarda, tesislerin yapımında kullanılan malzemeler ne önemli bir statik yük oluşturmaları ne de bir yük taşımalıdır. Bu önemli değer her bir uygulamaya özgü olacaktır ve alıcı tarafından açıkça belirtilmelidir. Bazı süreçler, elektrostatik yük oluşumunu en aza indirmek için çevresel nem açısından özel koşullar gerektirebilir. Elektrostatik yük birikiminden kaçınmak için en uygun nem koşullarının, işlemin veya proje hedeflerinin diğer gereklilikleriyle çelişebileceğine dikkat edilmelidir. Kabul edilebilir bir uzlaşma sağlayan çözüm üzerinde anlaşılmalıdır. Bazı uygulamalar, indüklenen statik yükün etkisini en aza indirmek için iletken veya statik enerji tüketen malzemelerin kullanılmasını gerektirebilir [18].

Tablo 1. 8 Mikro Elektronik Temiz Odalar için Örnekler

ISO operasyon hava temizlik sınıfı [a]	Hava akış tipi [b]	Ortalama hava akış hızı [c] m/s	Saatteki hava değişimi [d]	Örnek uygulamalar
2	U	0,3 - 0,5	na	Fotolitografi, yarı iletken işleme bölgesi [e]
3	U	0,3 - 0,5	na	Çalışma bölgeleri, yarı iletken işleme bölgesi
4	U	0,3 - 0,5	na	Çalışma bölgeleri, çok katmanlı maske işleme, kompakt disklerin üretimi, yarı iletken servis bölgesi, hizmet bölgeleri
5	U	0,2 - 0,5	na	Çalışma bölgeleri, çok katmanlı maske işleme, kompakt disklerin üretimi, yarı iletken servis bölgesi, hizmet bölgeleri
6	N veya M [f]	na	70- 160	Yardımcı bölgeler, çok katmanlı işleme, yarı iletken hizmet bölgeleri
7	N veya M	na	30 - 70	Servis bölgeleri, yüzey işleme
8	N veya M	na	10 - 20	Servis bölgeleri

Tablo 1.7 için kullanılan kısaltmaların açıklamaları aşağıdaki gibidir;

- a) ISO Sınıfı ile ilişkili doluluk durumları, optimum tasarım koşulları oluşturmak için önceden tanımlanmalı ve üzerinde anlaşılmalıdır.
- b) Hava akışı tipi listelendiğinde, o sınıfın temiz odaları için hava akışı özelliklerini temsil eder: U = tek yönlü; N = tek yönlü değil; M = karışık (U ve N kombinasyonu).
- c) Ortalama hava akış hızı, temiz odalarda tek yönlü hava akışının genellikle belirtilme şeklidir. Tek yönlü hava akış hızı gereksinimi, geometri ve termaller gibi yerel parametrelere bağlı olacaktır. Mutlaka filtre yüzey hızı olmak zorunda değildir.
- d) Saat başına hava değişimi, tek yönlü olmayan ve karışık hava akışının belirtilme şeklidir. Önerilen hava değişiklikleri 3,0 metre oda yüksekliği ile ilgilidir.
- e) Geçirimsiz engelleme teknikleri dikkate alınmalıdır.
- f) Kirlenme kaynağı ve bölgeler arasında etkin ayrılması ile korunacaktır. Fiziksel veya hava akımı engeli olabilir.

na: Uygulanabilir değil

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde elektronik kart üretim alanı servis bölgesinde kullanılacak olan klima santralini için ekipman seçimi yapılmıştır.

Ekipman seçimlerine, belirlenen değerlere göre geçilmiştir. Sonrasında ise ekipmanların, hava akışına karşı gösterdikleri direnç kaynaklı cihaz içi basınç kayıpları özel bir firmaya ait Eurovent onaylı seçim programı üzerinden belirlenmiş ve toplam basınç kayıpları hesaplanmıştır.

Öncelikle hedef temiz oda parametreleri ISO 14644/4:1999 standartlarında mikro elektronik temiz odalar servis bölgeleri için belirtilen Tablo 1.7'ye göre ISO Class 8 olarak belirlenmiştir.

2.1. Temiz Oda Klima Santrali Tasarım

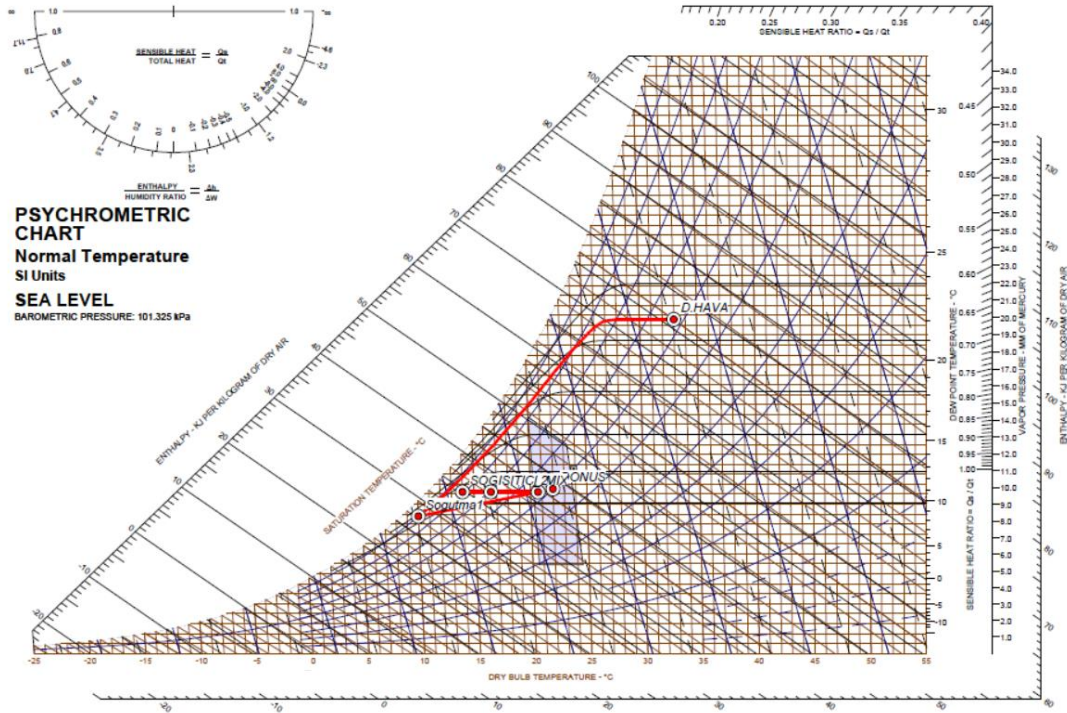
1. Şehir : Tekirdağ
2. Rakım : 150 m
3. Yaz şartları : Kuru-yaş termometre 33-25 °C
4. Kış şartları : -6 °C

ISO 14644/4:2001 standartlarında ISO Class 8 için açıkça ifade edilen 10-20 arasında hava değişim katsayısı hedeflenmiş ve saatte 20 hava değişimi belirlenmiştir. Klima santraline ait hava debisi aşağıdaki formül ile belirlenmiştir. (Mahal yüksekliği 3m' dir.)

Hava Debisi: Mahal boyutları (en x boy x yükseklik) x Hava değişim katsayısı

880 m² yüzey alanı ve 3m yüksekliğinde tasarlanan çalışma alanı saatte 20 hava değişimi düşünüldüğünde 52800 m³/h olarak hesaplanmıştır.

Klima santrali yaklaşık %3 emniyet payı ile 54000 m³/h hava debisine göre tasarlanmıştır. Anlık ihtiyaç duyulan hava debisi frekans invertörlü fanlar ile ayarlanabilmektedir. Karışım oranı enerji verimliliği ve çalışan personelin temiz hava ihtiyacı açısından düşünülerek yaklaşık %89 oranında olacaktır. Temiz oda klima santraline ait psikrometrik diyagram gösterimi Şekil 2.1 ile, iklimlendirme proses ve teorik devre şemaları Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 ile verilmiştir.



Şekil 2. 1 Temiz Oda Klima Santrali İklimlendirme Prosesi Psikrometrik Diyagram Gösterimi

SOĞUTMA 1:

$$Q_L = \dot{V}_{hava} \times \rho_{hava} \times (h_1 - h_2) \quad (2.1)$$

$$Q_L = 1,67 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times (76,1 \text{ kJ/kg} - 27,4 \text{ kJ/kg}) \approx 97,4 \text{ kW} \quad (2.2)$$

KARIŞIM HÜCRESİ:

$$\frac{m_{a1}}{m_{a2}} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1} \quad (2.3)$$

$$\frac{7200}{57600} = \frac{8,3 - w_3}{w_3 - 6,9} = \frac{43,1 - h_3}{h_3 - 27,4}$$

$$h_3 \approx 41,4 \text{ kJ/kg}$$

$$w_3 \approx 8,1 \text{ g/kg}$$

SOĞUTMA 2:

$$Q_L = \dot{V}_{hava} \times \rho_{hava} \times (h_1 - h_2) \quad (2.4)$$

$$Q_L = 15 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times (41,4 \text{ kJ/kg} - 34,6 \text{ kJ/kg}) \approx 122,4 \text{ kW}$$

SON ISITMA:

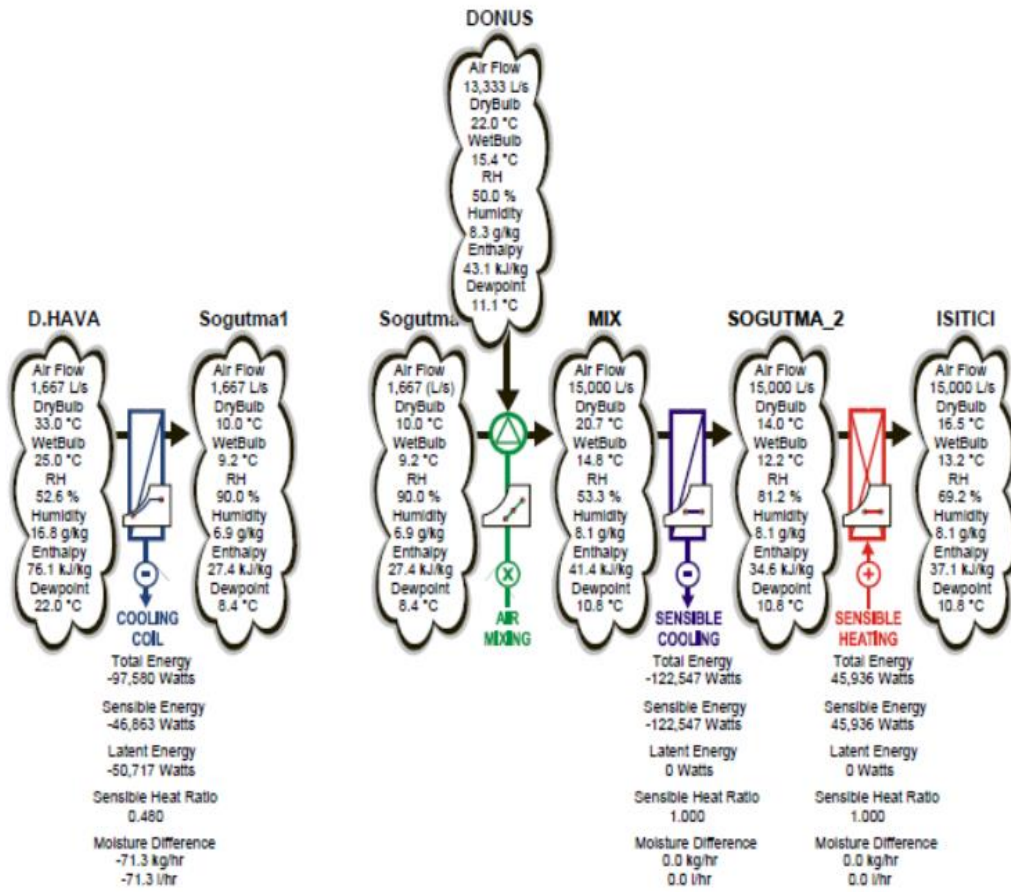
$$Q_L = \dot{V}_{hava} \times \rho_{hava} \times (h_1 - h_2) \quad (2.5)$$

$$Q_L = 15 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (37,1 \text{ kJ}/\text{kg} - 34,6 \text{ kJ}/\text{kg}) \approx 45 \text{ kW}$$

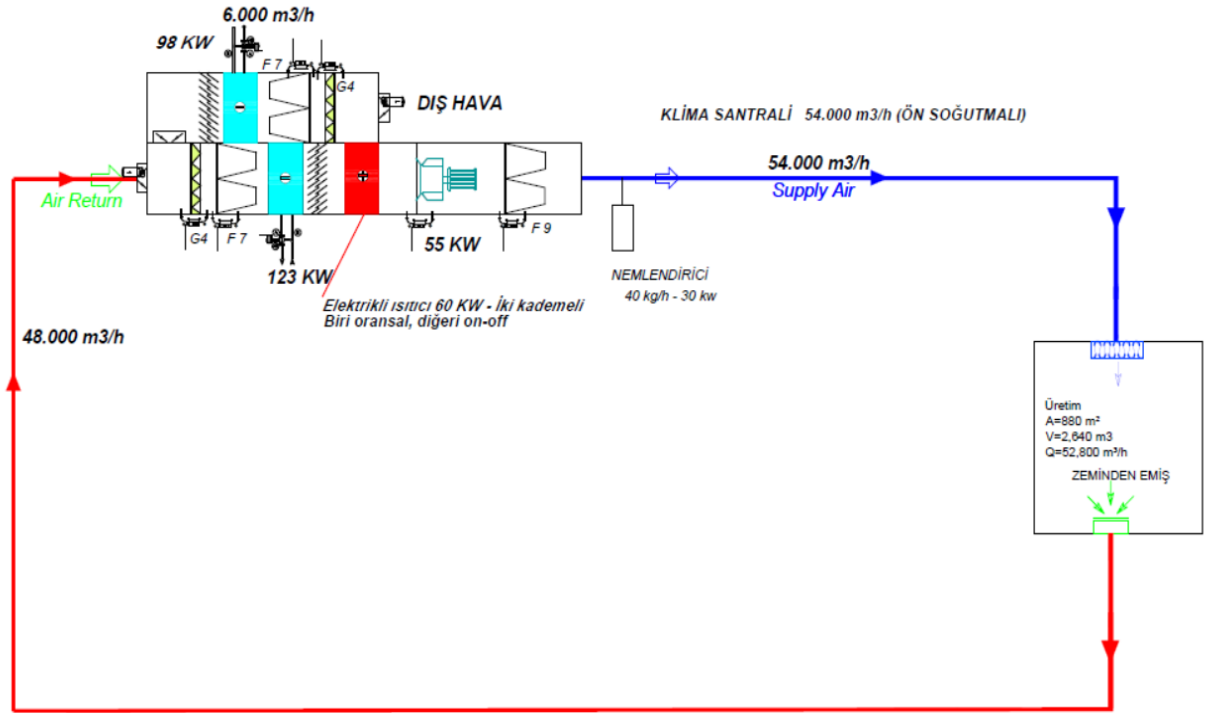
BUHARLI NEMLENDİRİCİ:

$$Q_{buhar} = V_{hava} \times \rho_{hava} \times (W_2 - W_1) \quad (2.6)$$

$$Q_{buhar} = 54000 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (0,0087 - 0,0081) g_{sb}/g_{kh} \approx 40 \text{ kg}/\text{h}$$



Şekil 2. 2 Temiz Oda Klima Santrali İklimlendirme Proses Şeması



Şekil 2. 3 Temiz Oda Klima Santrali Teorik Devre Şeması

2.2. Temiz Oda Klima Santrali Seçimi ve Kabuller

Bu fonksiyonlar için yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

1. Maksimum besleme havası debisi : 54000 m³/h
2. Besleme tarafı toplam basınç kaybı : 2099 Pa
3. Maksimum taze hava debisi : 6000 m³/h
4. Taze hava tarafı toplam basınç kaybı : 679 Pa
5. Taze hava tarafı soğutma kapasitesi : 98 kW
6. Soğuk su giriş/çıkış sıcaklığı : 5 °C / 10 °C
7. Besleme tarafı soğutma kapasitesi : 123 kW
8. Soğuk su giriş/çıkış sıcaklığı : 5 °C / 10 °C
9. Son ısıtıcı kapasitesi: 60 kW (Elektrikli)

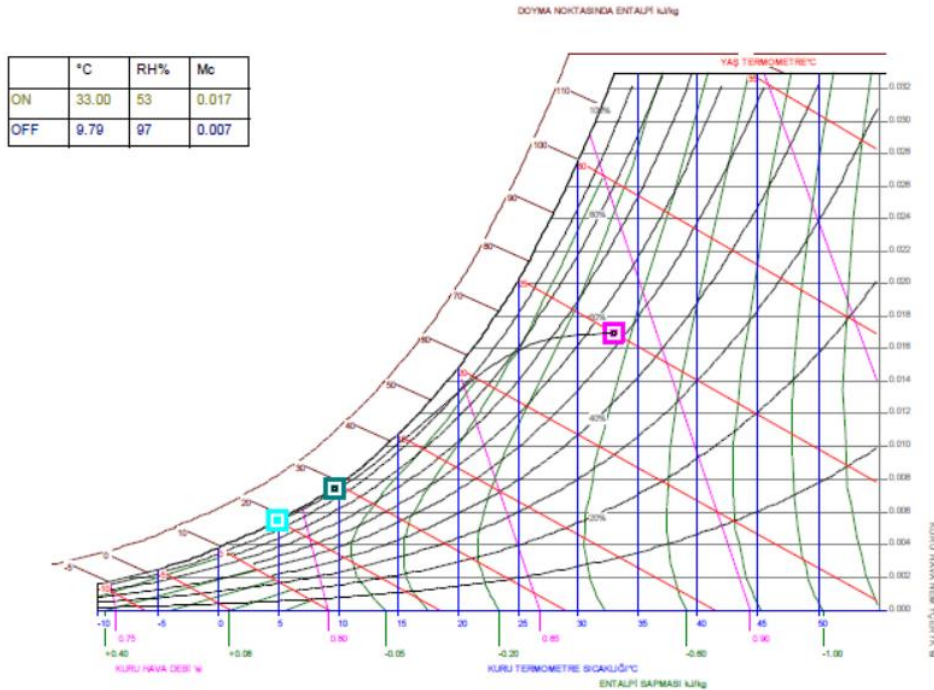
Tasarlanan klima santrali tasarım şartlarında yaklaşık %11 taze hava oranı ile çalışacaktır.

Ön soğutma bataryası alınacak taze havayı 33 °C - 25 °C kuru-yaş termometreden 99,87

kW kapasiteli soğuk sulu soğutucu batarya ile şekil 2.4 seçim çıktısı ve şekil 2.5 psikrometrik diyagram ile gösterilen yaklaşık 9,8 °C - 9,5 °C kuru-yaş termometreye getirecek kadar soğutma sağlayacaktır.

Islak Şartlar İçin Tasarlanmıştır. Batarya Kodu		CW-3228-2.3-750-826- 11R-31-S-Cu 0.35/AlHy 0.12	Yapı	İç Kollektörler
Batarya Adedi		1	Sıra Sayısı	11
Devre		31	Hava debisi	m ³ /hr 6000
Kapasite (seçilen)	kW	99.87	Hava Giriş KT	°C 33.0
Kapasite (istenen)	kW	98.00	Hava Çıkış KT (seçilen)	°C 9.4
Hava Giriş YT/Rh	°C/%	25.0 / 53	Hava Çıkış KT (istenen)	°C 9.8
Akışkan	25%	Hacimce Etilen Glikol	Hava Çıkış YT/Rh	°C/% 9.5 / 97
Akışkan Giriş	°C	5.0	Akışkan Debisi	l/s 5.13
Akışkan BD	kPa	38.23	Akışkan Çıkış	°C 10.0
Hava BD (Kuru)	Pa	218	Hava BD (Yaş)	Pa 285
Bağlantı Tipi		Vidalı BSP (Sağ)	Hava BD (Damla Tutucu)	Pa 25
Hatve	mm	2.3	Bağlantı Ebadı	2 1/2"
Damla Tutucu		Standart,Plastik/Galv. Çerçeve	Alın Hızı	m/s 2.69
			Drenaj Tavası Tipi	Eğimli

Şekil 2. 4 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 1 (Ön Soğutma) Batarya Seçim Çıktısı



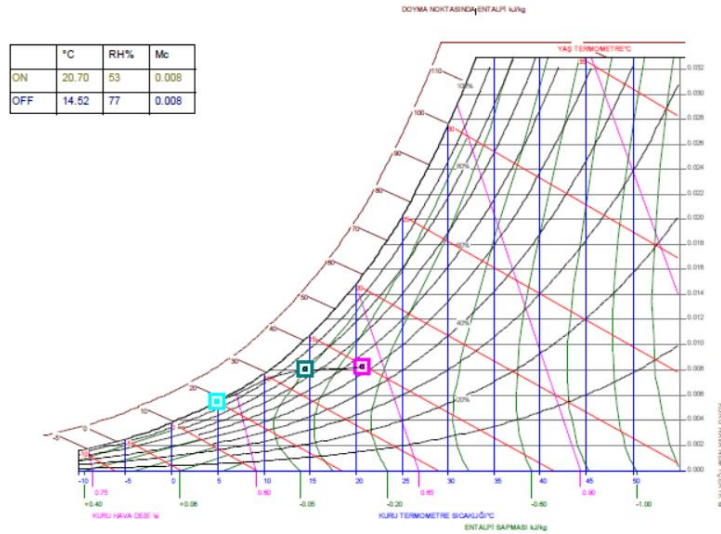
Şekil 2. 5 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 1 (Ön Soğutma) Psikrometrik Diyagram Gösterimi

Tasarlanan klima santrali tasarım şartlarında yaklaşık %11 taze hava oranı ile çalışacaktır. Karışım havası sıcaklığı 20,7 °C - 14,8 °C kuru-yaş termometre olarak hesaplanmıştır.

125,88 kW kapasiteli soğuk sulu soğutucu batarya ile şekil 2.6 seçim çıktısı ve şekil 2.7 psikrometrik diyagram ile gösterilen gösterilen yaklaşık 14,52 °C - 12,2 °C kuru-yaş termometreye getirecek kadar soğutma sağlayacaktır.

Islak Şartlar İçin Tasarlanmıştır. Batarya Kodu		CW-3228-2.1-3450-1651- 2R-35-S-Cu 0.35/AlHy 0.12	Yapı	İç Kollektörler
Batarya Adedi		1	Sıra Sayısı	2
Devre		35	Hava debisi	m ³ /hr 54000
Kapasite (seçilen)	kW	125.88	Hava Giriş KT	°C 20.7
Kapasite (istenen)	kW	123.00	Hava Çıkış KT (seçilen)	°C 14.4
Hava Giriş YT/Rh	°C/%	14.8 / 53	Hava Çıkış KT (istenen)	°C 14.5
Akışkan	25%	Hacimce Etilen Glikol	Hava Çıkış YT/Rh	°C/% 12.2 / 77
Akışkan Giriş	°C	5.0	Akışkan Debisi	l/s 6.43
Akışkan BD	kPa	35.36	Akışkan Çıkış	°C 10.0
Hava BD (Kuru)	Pa	51	Hava BD (Yaş)	Pa 56
Bağlantı Tipi		Vidalı BSP (Sağ)	Hava BD (Damla Tutucu)	Pa 25
Hatve	mm	2.1	Bağlantı Ebadı	3"
Damla Tutucu		Standart,Plastik/Galv. Çerçeve	Alın Hızı	m/s 2.63
			Drenaj Tavası Tipi	Eğimli

Şekil 2. 6 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 2 (Ana Soğutma) Batarya Seçim Çıktısı



Şekil 2. 7 Temiz Oda Klima Santrali Soğutma 2 (Ana Soğutma) Psikrometrik Diyagram Gösterimi

Tasarlanan klima santrali için eklenen son ısıtıcı tasarım kış şartlarında sıcaklığın ve düşük bağıl nemin yüksek olduğu durumlarda ya da iç ortam olası nem oranı yükselmesi ve benzeri durumlarda bağıl nemi düşürme amaçlı kullanılacaktır. Son ısıtıcı işlevi ile şekil 2.8’de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.

Hava Debisi (1 Ad)	m ³ /hr	54000	Kapasite	kW	60.00
Hava Giriş KT	°C	14.0	Hava Çıkış KT	°C	17.3
Kademe sayısı		3	Metre Başına Kapasite	kW	20.00
Voltaj	400	V	Hücre Boyu	mm	400
Batarya Adedi		1	Firma		KEP
Batarya Kodu		KEP	Batarya Genişliği (1 Ad)	mm	3620
Batarya Yüksekliği (1 Ad)	mm	3660	Alın Hızı	m/s	1.13

Şekil 2. 8 Temiz Oda Klima Santrali Son Isıtma Batarya Seçim Çıktısı

2.3. Filtre Seçimi

Filtre yerleşimi ve seçimleriyle ilgili kriterler Bölüm 1.5.1.6’da detaylı olarak verilmiştir. Tasarımı yapılan klima santrali 1. Kademe filtre için G4+F7 kombine filtre şekil 2.9 da gösterildiği gibi, 2. Kademe filtre için F9 sınıfı kompakt filtre şekil 2.10’da gösterildiği gibi seçilmiştir. Sistemde kanalın sonunda H13 sınıfında hepa filtreler öngörölmüş bu filtrelerden dolayı oluşacak basınç kaybı fan-motor seçiminde değerlendirilmiştir.

H13 Sınıfındaki hepa filtreler kanalların sonuna yerleştirilmiş, filtrasyon bölümünde detaylı anlatılmıştır. EN 1822 standartlarına göre en çok nüfuz edilen partikül değeri 0,05 µm’ dir. ISO Klas 8 standartlarının hedef alındığı çalışmamızda H13 sınıfı hepa filtreler fazlası ile ihtiyacı karşılamışlardır. Hava hızlarının hepa filtrelerde takribi 0,45 m/s aralığında olması filtrelerin sorunsuz bir şekilde partikül toplamasına izin vermektedir. Klima santralinde kullanılan filtrelerin hava debisine göre basınç kaybı değerleri santral seçim programında gösterilmektedir.

Ön Filtre					
Üretici		Mikropor	Alın Hızı	m/s	2.38
Alt Grup		Std	Başlangıç BD	Pa	40
Filtre Sınıfı		G4	Değiştirme BD	Pa	94
Malzeme Uzunluğu	mm	48			
Son Filtre					
Üretici		Mikropor	Başlangıç BD	Pa	144
Alt Grup		Std	Değiştirme BD	Pa	433
Filtre Sınıfı		F7			
Malzeme Uzunluğu	mm	600			
Kombine Filtre Hücresi					
Değiştirme Metodu		Standart	Filtre Ebadı: Adet x W x H	mm	18 x 610 x 610
EKSTRALAR					
1 x Aydınlatma			1 x Gözetleme Camı		

Şekil 2. 9 Temiz Oda Klima Santrali G4+F7 Kombine Filtre Seçimi (1. Kademe)

Üretici		Mikropor		Alın Hızı	m/s	2.38
Alt Grup		Std		Başlangıç BD	Pa	104
Filtre Sınıfı		F9		Değiştirme BD	Pa	187
Malzeme Uzunluğu	mm	292		Filtre Ebadı: Adet x W x H	mm	18 x 610 x 610
Değiştirme Metodu		Standart		1 x Gözetleme Camı		
EKSTRALAR						
1 x Aydınlatma						

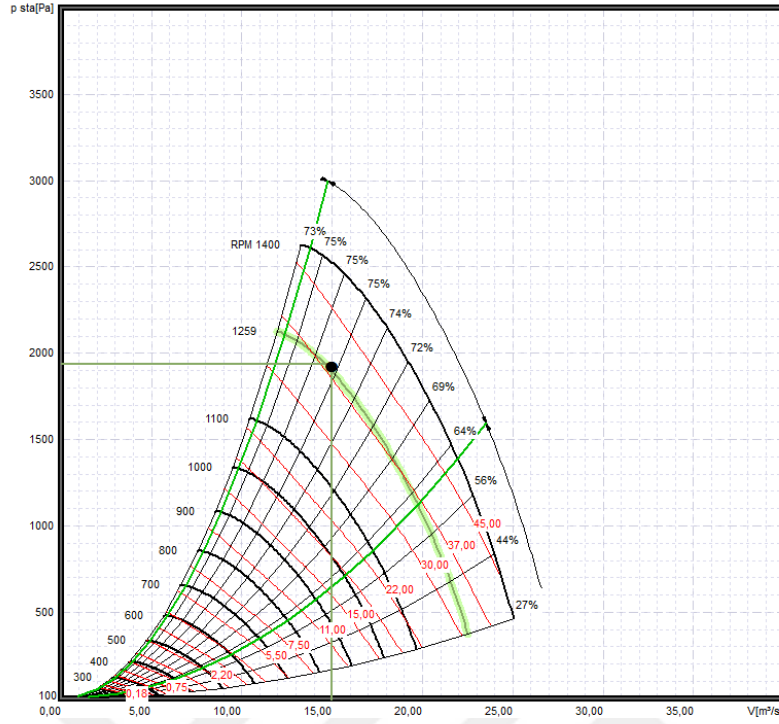
Şekil 2. 10 Temiz Oda Klima Santrali F9 Kompakt Filtre Seçimi (2. Kademe)

2.4. Fan ve Motor Seçimi

Tasarımı yapılacak olan klima santralinde karışım oranının düşük olması nedeni ile yalnızca besleme fanı öngörülmüştür. Besleme fanı için taze hava tarafı sisteminin oluşturduğu basınç kayıpları, kanal-menfez ve benzeri sistem elemanlarının oluşturduğu basınç kayıpları ve hepa filtrenin oluşturduğu basınç kayıpları düşünülerek cihaz dışı statik basınç kaybı 1100 Pa olarak kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak % 80 verimli plug fan şekil 2.11 ve şekil 2.12’de gösterildiği gibi tercih edilmiş olup IE2 enerji sınıfında 55 kW’lık elektrik motoru ile sistem tamamlanmıştır. Sisteme aynı zamanda değişken devirli kontrol sağlayabileceğimiz 55 kW kapasite uyumlu bir adet frekans konvertörü eklenmiş ihtiyaç debisini filtre kirliliği değişimi gibi farklı etkenlerden bağımsız olarak sabit tutabilmek hedeflenmiştir.

Yaş şartlar için dizayn edilmiştir					
Fan Tipi		NPA1000 -	Fan Pozisyonu		Tek
Hava debisi	m³/hr	54000	Motor x 1		Asıl
Fan Çıkış Hızı	m/s	-	Motor Gücü	kW	55.00
İhtiyaç Fan Devri	RPM	1259	Maks. Devir	RPM	1400
Motor Tipi		IE2_G	Motor Devri	RPM	1470
Cihaz Dışı Statik Basınç	Pa	1100	Voltaj	V	400
Toplam Statik Basınç	Pa	1935	Akım	A	102.0
Dinamik Basınç	Pa	163	Motor Verimi	%	92
Fan Çekilen Güç	kW	39.13	Motor Mil Gücü	kW	39.13
Motorun Çektiği Güç	kW	42.49	Çekilen toplam güç	kW	43.35
Toplam Basınç	Pa	2099			
Verim	%	80			
Frekans invertörü		Standart			

Şekil 2. 11 Temiz Oda Klima Santrali Fan ve Motor Seçimi



Şekil 2. 12 Temiz Oda Klima Santrali Fan Eğrisi

2.5. Soğutma Sistemi

Tasarlanan klima santralinde soğutma işlemini gerçekleştirecek olan sulu bataryalar hava soğutmalı su soğutma grupları (chiller) ile besleneceklerdir.

Soğutma gruplarının kapasiteleri soğutucu batarya kapasitelerinin toplamına göre ve tasarım soğutma suyu giriş sıcaklık şartı olan 5 °C' ye göre seçilmiştir.

Dış hava sıcaklık ve bağıl neminin aşırı yükselmesi gibi oluşacak olağan dışı durumlar düşünülerek soğutma grubuna 1 °C besleme suyu sıcaklığı sağlayabilen aksesuarlar eklenmiş ve cihaz kapasitesi emniyetli olarak arttırılmıştır.

Kış çalışması düşünülerek -10 °C dış ortam sıcaklığına kadar cihazların çalışması için gerekli aksesuarlar eklenmiştir.

Her iki durum için ise soğutma suyu kapalı çevrimine hacimce %25 oranında etilen glikol eklenmiştir.

Soğutma grupları seçiminde 2 adet vidalı kompresörlü cihazlar seçilmiştir. Her bir cihazda 2 bağımsız devre bulunmaktadır. Herhangi bir soğutma devresinde oluşabilecek arıza, hasar vb. gibi durumlarda diğer devre sorunsuz olarak çalışmaktadır.

İşletmede diğer temiz odalar ile birlikte toplam kapasite emniyetli olarak düşünülmüş, her bir cihaz kendi içerisinde bağımsız devrelere sahip olsa dahi en az iki adet soğutma grubu yedekli çalışma düşünülerek ve birbirlerine seri bağlanarak sistem entegrasyonu oluşturulmuştur. Bu sayede herhangi bir arıza durumunda sistemin kesintisiz çalışması hedeflenmiştir.



3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Bulgular

Bir elektronik kart üretim alanı için uygulanan klima santralinde Tablo 3.1’ de yer alan sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak yapılan uygulama özelinde tasarımın, ürün seçimlerinin ve literatüre uygunluğun sağlandığı görülmüştür. Temiz odaların hijyenik mahallerde, ilaç üretimi ve farklı kimyasal endüstrilerde uygulamalarına sıkça rastlamaktayız. Bu çalışma ile birlikte elektronik proseslerde temiz odaların önemi ve örnek uygulaması üzerinde bilgi sahibi olunmuştur. Elektronik kart üretim alanlarında, yarı iletken ve mikro elektronik üzerinde çalışma yapılan alanlarda havadaki partikül boyutlarına, sayılarına da en az hijyenik mahaller kadar dikkat edilmelidir. Öte yandan statik elektrik oluşumunun bağıl nem ile doğrudan ilişkisi nedeni ile tüm koşulların gözden geçirilmesi ve olası risklerin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Tablo 3. 1 Değişken Dış Hava Koşullarına ve Soğutma Grubu Çıkış Suyu Sıcaklığına Göre Mahalden Alınan Değerler

Soğutma Grubu Çıkış Suyu Sıcaklığı	13°C	5°C	5°C
Dış Hava Sıcaklığı ve Bağıl Nem	21,3 °C %51 BN	23,3 °C %41 BN	11,5°C %76 BN
Mahal sıcaklığı ve Bağıl Nem	21,6 °C %63 BN	21 °C %49 BN	21 °C %45 BN
Üfleme Sıcaklığı	18,5 °C %75,7 BN	16,3 °C %73 BN	20,8°C %45,7 BN
Kanal içi hava hızı	2,3 m/s	2,3 m/s	2,3 m/s
Hava Debisi	54000 m ³ /h	54000 m ³ /h	54000 m ³ /h
Partikül Satısı (0,5 µm)	107	182	103

3.2. Tartışma

3.2.1. Dış hava sıcaklığı ve nem oranı etkisi

Tasarlanan sistemde mahalın pozitif basınçta tutulması ve mahal içerisinde bulunan partikül sayısının standartlar içerisinde kalması amacıyla taze hava oranı yaklaşık %11 seçilmiştir. Taze hava mahal dönüş havası ile karışmadan önce ön soğutma bataryasından geçmektedir. Bu prosesin amacı taze havanın soğutma yükünü en aza indirmek ve yoğunlaşma ile nem alma işlemini gerçekleştirmektir. Tasarım olası en yüksek sıcaklık değerlerine göre yapılmış olsa dahi dış hava sıcaklığı ne kadar düşük olursa sistem performansı o kadar yüksek olacaktır. Dış hava sıcaklığının ve nem oranının düşük olması, mahalden alınan değerlerde görüldüğü üzere, mahale daha yüksek üfleme sıcaklığında hava verilse dahi mahal şartlarının kolaylıkla sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Dış hava sıcaklığının sisteme etkisini incelemek amacı ile soğutma bataryaları giriş suyu sıcaklıkları iki örnek için sabit tutulmuştur.

3.2.2. Üfleme sıcaklığı ve nem oranı etkisi

Üfleme sıcaklığı mahalın değişken ısı yükü ve değişken dış hava sıcaklıklarına göre otomasyon tarafından, soğutma bataryaları girişi iki yollu vanalar vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Tablo 3.1’ de görüldüğü üzere her koşul altında üfleme sıcaklığının düşük olması sistem şartlarının sağlandığı anlamına gelmeyebilir. Sıcaklık temiz odada çalışanların konfor şartları gibi parametreleri korusa dahi sıcaklıkla birlikte bağıl nem, nem oranı gibi değerlerin çok yönlü kontrol edilmesi gerekir.

3.2.3. Soğutma grubu çıkış suyu sıcaklığı etkisi

Mevcut sistemde soğutma grubu çıkış suyu sıcaklığı parametresinin olabildiğince sabit tutulması amaçlanmaktadır. Mahal içi ısı yükleri ve mahal dışı sıcaklık, nem oranı etkisinin fazlasıyla değişken olduğu varsayılarak bir parametrenin daha kontrol edilmemesi sistem performansı ve otomasyon entegrasyonu açısından önemlidir. Sistemde farklı soğutma grubu çıkış suyu sıcaklıklarına göre değerler kontrol edildiğinde 13°C soğutma suyu değeri 5°C soğutma suyu değerine göre bataryalarda gerekli yoğunlaşmayı sağlayamamış ve nem alma oranını etkilemiştir.

4. SONUÇLAR

Tez çalışması esnasında temiz odalar ile ilgili genel kavramlar, farklı standartlar ve parametreler incelenmiş olup kaynaklar taranmıştır. Elektronik kart üretim alanları için temiz oda tasarım parametrelerinin incelenmesi başlıklı tezimizde elektronik kart ve yarı iletken üretimi, servis bölgeleri gibi alanlarda başlıca hangi parametrelerin göz önünde bulundurulması gerektiği ve bu parametrelerin önemi değerlendirilmiştir.

Tez çalışması sırasında temiz oda parametreleri ISO 14644/4:1999 standartlarında mikro elektronik temiz odalar servis bölgeleri için belirtilen tabloya göre ISO Class 8 sınıfı hedef olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak havalandırma sistemi tasarım şeması hazırlanmış, şema hazırlanırken mahale yapılacak dağıtıma göre teorik bir kanal güzergahı, hava debisi, ısı kayıp kazanç tablosu belirlenmiştir. Tasarım şemasının tamamlanmasının ardından kanal basıncı, üfleme sıcaklığına bağlı ısıtma soğutma yükü, üfleme ve emiş hava debisi gibi parametreler göz önünde bulundurularak klima santralinde bulunan tüm donanımların seçimleri yapılmıştır. Uygulamada klima santraline bağlı mahalden ortamdaki partikül sayısı, sıcaklık ve nem değerleri alınarak çalışma tamamlanmıştır.

Yapılan çalışma ile birlikte uygulanan klima santralinin tasarım aşamasından ürün seçimine kadar standartlara uygun olduğu, mahalin iklimlendirme ve havalandırma ihtiyaçlarını karşıladığı açıkça görülmüştür. Tüm bu çalışma literatüre elektronik kart, mikroişlemci ve yarı iletken benzeri ürünlerin üretim ve uygulama alanlarında yapılacak çalışmalar için katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Heperkan, H., Bilge, M. (2010) Sağlık Sektöründe Uygulanan Klima Sistemlerinin Fonksiyon, Test, Kontrol (FTK) ve Validasyon Çalışmaları. Isıtma, Soğuma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi, 70, 1-11.
- [2] Bilge, M., Bilge, D. (2001) Temiz Oda Tasarım Kriterleri ve Testleri, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 13.
- [3] Heperkan, H. (2006) Ameliyathane Klima Tasarımı, Uygulanması ve Testleri Çalıştayı. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayın, 15.
- [4] Özer, M. (2007) Bir Ameliyathane Klima Tasarımı Termodinamik Testleri ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [5] Yazıcıoğlu, O., Aykut, Ş. (2009) Temiz Odaların Tasarımı. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 15, 37-54.
- [6] Kenter, M. (2007) Temiz Oda Tasarımı ve İklimlendirme Sisteminin Temiz Odalarda Önemi. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim 2007, İzmir.
- [7] Kırbaş, C., Ameliyathanelerde Basınç ve Hava Akışı Uygulaması. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Mayıs 2009, İzmir.
- [8] Bilge, M. (2008) Hastanelerde Hijyen ve Klima Tesisatı. İklimlendirme Soğutma Klima İmalatçıları Derneği, İstanbul.
- [9] Özkaynak, T. (2007) Temiz Odalarda Kullanılan HEPA Filtreler ve Test Standartları, TTMD, 49, 36-38.
- [10] Arslan, H. (2015) Temiz Odalarda Havalandırma Kanalı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [11] Eren, E. (2011) Temiz Odaların Modellenmesi ve Gerçek Bir Tesise Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [12] Dişli, E. (2011) Temiz Oda İklimlendirme Sistemi Tasarımına Etki Eden Parametrelerin Teorik Olarak İncelenmesi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye.

- [13] Hygromatik “Areas of Application”, “Electronics High Tech Manufacturing Industry”, www.hygromatik.de
- [14] Hygromatik “Why Humidity”, “Application”, www.hygromatik.de
- [15] ‘Ulpatek Filtre Test Laboratuvarı, www.ulpatek.com
- [16] Özcan, A. (2006) Temiz Odalarda Hava Değişim Sayısı ve Filtre Sınıfının Oda Klasına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [17] Kenter, M. (2003) Temiz ve Steril Üretim Alanları Planlama Kriterleri. Tesisat Mühendisliği, Eylül-Ekim 2003, 44-56.
- [18] ISO 14644-4 (2001) Cleanrooms and associated controlled environments Part 4: Design, construction and start-up, International Organization for Standardization.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serhat BALABAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.10.1991 – Bolu
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : serhat.balaban1@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	İzzet Baysal Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
01.2017 - ...	Arçelik A.Ş.	Proje Satış Yönetmeni
02.2016 – 12.2016	Teknogen	Teklif Mühendisi