

# TEMİZ ODA KLİMA SİSTEMLERİNDE DEVREYE ALMA ÇALIŞMALARI VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Orkan KURTULUŞ  
Burak OLGUN  
Serdar GÜLTEK  
Hasan HEPERKAN

## ÖZET

Temiz odalar öncelikli olarak hastaneler, ilaç ve gıda üretimi gibi özellikle insan sağlığını ilgilendiren konularda olmak üzere; elektronik uygulamalar içerisinde değerlendirilebilecek yarı iletkenler ve mikroişlemci yongaları imalatı, optik ürünlerin geliştirilmesi, boyama prosesi ve çeşitli savunma sanayisi uygulamaları için kurulmakta ve kullanılmaktadır. Bu çalışmada temiz oda standartları hakkında genel anlamda bilgi verilmiş, temiz oda klima sistemleri tanıtıldıktan sonra validasyon kavramı anlatılmış ve validasyon planı tanımlanmış; uygulanan prosesin validasyonu ve sistem yeterliliğinin doğrulanmasındaki kriterler ve uygulanan aşamalar hakkında bilgi verilmiştir. Uygulamaya yönelik olarak kullanıcı isteklerinin ve fonksiyonel özelliklerin net olarak belirlenmesi, tasarım yeterliliği(DQ), montaj yeterliliği (IQ), çalışma yeterliliği (OQ) ve performans yeterliliği (PQ) ölçütlerin oluşturulması ve bu amaçla yapılması gerekli testler ile bu testlerde kullanılması gerekli cihaz kalifikasyonları ve uygulanması gereken prosedürler anlatılmaktadır. Ayrıca tüm bu çalışmaların sürdürülmesi sırasında hazırlanması gereken belgeler hakkında bilgi verilerek bu belgelerin, tesisin bu testler bazında geriye dönük izlenebilirliğindeki önemine dikkat çekilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Temiz odalar, validasyon, Fonksiyon kalite kontrol, DQ, IQ, OQ, PQ

## ABSTRACT

Clean rooms are erected and utilized specially in hospitals, food and pharmaceutical production facilities where human health is of prime importance, as well as electronic applications such as semi conductors and microprocessors, development of optical instruments, printing processes and various defense – military industrial projects. This study gives general information regarding clean room standards, describes clean room air conditioning systems, describes the validation concept and the validation plan and states the criteria and procedures during the qualification of the system. Customer specifications on the application, design qualification (DQ), installation qualification (IQ), operational qualification (OQ) and performance qualification (PQ) are covered and the measurement instrumentation and their certification together with the procedures are explained. In addition, information on the documentation of the tests is given and their importance on the traceability of the tests is emphasized.

**Key Words:** Clean rooms, Validation, Test Commissioning, DQ, IQ, OQ, PQ

## 1. GİRİŞ

Devreye alma ve performans değerlendirmesi işlemleri belli bazı standartlara uygun olarak yürütülmektedir. Bu konu ile ilgili birçok standart bulunmaktadır, ancak konu ile ilgili Türk standardı olmadığından yabancı standartlar mevcuttur. Konu ile ilgili Amerikan standardı 209 Federal Standart; Alman standartları DIN 1946/4, VDI2167, VDI2080 ve VDI2083 mevcuttur. Son olarak da bu standartların birleştirilmiş hali olan Avrupa standardı ISO 14644'de bu konu ele alınmıştır. Tablo 1.'de VDI 2083 ve Fed. Standart 209D temiz oda standartlarının karşılaştırmaları görülmektedir.

**Tablo 1. Temiz Oda Standartlarının Karşılaştırılması [1][2][3]**

Fed. Standart 209d'ye göre		100.000	10.000	1.000	100	10	1
VDI 2083'e göre		6	5	4	3	2	1
Temiz odalarda beher m <sup>3</sup> havada müsaade edilen maksimum partikül sayısı	5,0 micron	30.000	3.000	300	0	0	0
	0,5 micron	4.000.000	400.000	40.000	4.000	400	40
	0,3 micron				12.000	1.200	120
	0,2 micron				30.000	3.000	300
	0,1 micron				120.000	12.000	1.200
Hava akım şekli		türbülanslı	türbülanslı	karışık	laminer	laminer	laminer
Saatte oda hava değişimi (m <sup>3</sup> /h)		20-25	40-60	120-300	360-500	500-600	500-600
Hava debisi (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> )		60-75	120-180	360-900	1.000-1.600	1.600-1.800	1.600-1.800
Ortalama hava hızı (m/s)		NA	NA	0,1-0,25	0,3-0,45	0,45-0,50	0,50-0,60
Hava egzostlarının konumu		Yan duvar	Alt yan duvar	Alt yan duvar	Alt yan duvar	Döşeme	döşeme
Hava üflemlerinin konumu		Spiral üflemlerli difüzör veya perfore tavan	Spiral üflemlerli difüzör	Filtreli tavan	Filtreli tavan	Filtreli tavan	Filtreli tavan
Filtre alanının oda alanına oranı (%)		5-10	15-20	30-50	75'den büyük	90'dan büyük	90'dan büyük
Ön filtre	1.kademe	G4	G4	F5	F5	F5	F5
Torba filtre	2.kademe	F7	F7	F8	F9	H10	H10
Son filtre	3.kademe	H10	H13	H14	H14	U15	U16
Ön filtre ve torba filtrenin bakım periyodu		Otomatik ikaza göre					
Son filtrenin bakım periyodu		Otomatik ikaza göre					
Partikül sayım kontrolü		Yıllık	Aylık	2 Haftalık	Haftalık	Günlük	evamlı
Pozitif basınçlandırma, minimum (Pa)		5	10	10	12	15	15
Makine dairesi gereksinimi (% olarak)		50	75	100	150	200-300	200-400

Tablolarda ayrıca standartlara göre oda klasları, hava değişim miktarları gibi bilgiler de yer almaktadır.

## 2. TEMİZ ODALAR VE VALIDASYON

Temiz odalarda istenilen özellikler, odanın kullanım alanına bağlı işletme parametrelerine göre değişiklik göstermekle beraber genellikle aşağıda belirtilen şekildedir. Bu özelliklere odanın kullanım amacına göre pozitif veya negatif yönde eklemeler yapılabilir. [4]

- Sıcaklık 20 °C ile 24 °C arasında ayarlanabilmelidir.
- Bağıl nem %50 -%60 arasında olmalı (özel şartlar belirtilmediği durumlarda)
- Laminer akışta HEPA filtre üzerindeki hava hızı 0,45 m/s ±%20 olmalı.
- Mahal içine %10-%15 fazla hava vererek pozitif basınç sağlanmalı.
- Mahal sınırlarını oluşturan kapı, duvar ve tavanlarda sızdırmazlık sağlanmalı.

Yukarıda belirtilen durum haricinde kullanıcı isteklerine bağlı olarak değişiklikler yapılması istenebilmekle beraber bazı durumlarda oda içerisine laminar akış yerine türbülanslı akış da tercih edilebilir. Dizayn edilen temiz odanın, kullanım amacına göre; hiçbir suretle dışarıya partikül taşınması istenmiyorsa, komşu mahallere göre negatif basınçta tutulması gerekir. Bunun tam aksi durumunda ise oda, komşu mahallere göre pozitif basınçta tutularak içeriye partikül taşınması engellenir. İstenilen basıncın sağlanabilmesinde, mahal sınırlarını oluşturan kapı, duvar, döşeme vb. gibi yapı elemanlarının etkisi önemli bir faktördür.

Temiz odalarda genel olarak kontrol edilen parametreler şunlardır. [5]

- Sıcaklık
- Bağıl nem (%RH)
- Saatteki hava değişim sayısı
- Basınç farkları
- Hava hızı (laminar air flow)
- Canlı ve cansız parçacık sayısı
- Ses ve gürültü

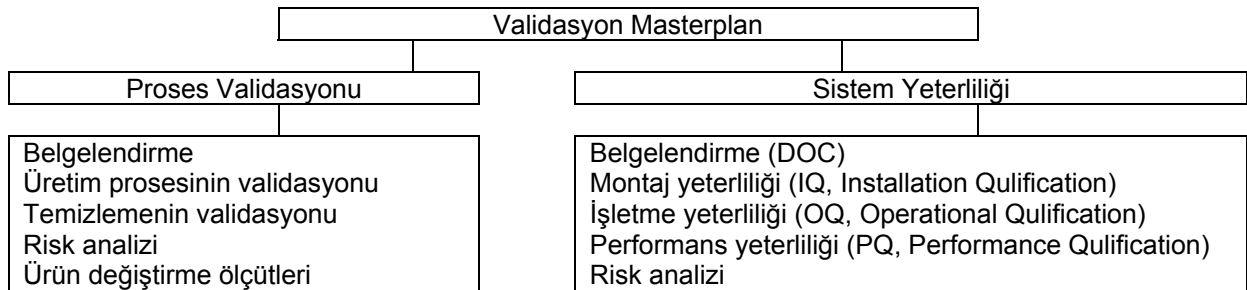
Oda içerisinde değişik noktalarda farklı hava profilleri görülebilir. İmalat yapılan tezgah veya ameliyat masasının olduğu bölgede genellikle laminar akış istenilir. Laminar akış düzenli bir akıştır. Akış eğer türbülanslı olursa hava yönü değişebilir, temiz ve kirli havanın karışarak risk oluşturabilir. Laminar akışlı sistemler, pahalı sistemler olduğundan genellikle imalatın veya operasyonun yapıldığı bölgede kullanılmaktadır. Bu iki sistemin bir arada bulunduğu sistemlere karışık havalı sistemler denilmektedir.

## 2.1 Validasyon ve Hazırlıkları

Temiz oda validasyon işlemlerinden önce kullanıcı istekleri çok iyi tanımlanmalıdır. Kullanıcı bilinçli olmalıdır, sistem hakkında her türlü bilgiye sahip olmalı veya sistemin ne tür gereksinimlere ihtiyaç olduğunu bilmelidir. Eğer kullanıcı sistem hakkında yeterli bilgiye sahip değil ise bazı sorular ile kullanıcı yönlendirilip validasyonu yapılacak sistemin master planı ortaya çıkarılmalıdır.

Master plan hazırlandıktan sonraki çalışmalar birkaç aşamadan oluşur. [6]

- URS Kullanıcı istekleri (User Requirement Specification)
- FS Fonksiyonel özellik (Functional specifications)
- DQ Tasarım yeterliliği (Design qualifications)
- IQ Montaj yeterliliği (Installation qualifications)
- OQ Çalışma yeterliliği (Operational qualifications)
- PQ Performans yeterliliği (performance qualifications)



Şekil 1. Validasyon master plan [7]

Fonksiyonel özellik; kullanıcı istekleri belirlendikten sonra bunların hangi fonksiyonlarla, nasıl sağlanacağını belirlemesidir. Tasarım yeterliliği içinde mimari, inşaat, mekanik, elektrik ve kontrol, konuları bulunmaktadır. Bütün bu çalışmaların denetlenmesine kısaca "design qualification" tasarımın

yeterliliği denilir. Bir sonraki adım tasarımın sahada nasıl uygulandığı, sistemin nasıl monte edildiğinin incelenmesidir.

Validasyon işleminde belgelendirme çok önemli bir konudur. Belgelendirme olmadan validasyonun bir değeri olmamaktadır. Temiz oda içerisindeki her bir parametrenin ve cihazın ayrı ayrı belirlenip daha sonra ilgili belgeye işlenmelidir. İşin bu kısmına da kısaca "installation qualification" montajın yeterliliği denilir. Tüm bu işlemlerden sonra sistemin çalışma yeterliliği kontrol edilmelidir.

Montaj yeterliliğinde temiz oda için seçilen cihazların montajının düzgün yapıp yapılmadığı veya sistemin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir. Klima santrali içerisindeki fan motorunun kutuplarının ters takılması nedeni ile fanın dönme yönü ters olması ve dolayısı ile istenilen hava debisi ve basıncını sağlayamaması, ısı değiştirici sıcak su giriş/çıkış bağlantılarının yanlış yapılması sonucu ısı değiştiricinin istenilen kapasitede çalışmaması bu aşamada karşılaşılan muhtemel hatalara birkaç örnek olarak verilebilir. Hepa filtre montajından kaynaklı sorunlar ise en sık karşılaşılan hatalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktalar, validasyonun montaj yeterliliğinde kontrol edilmelidir. Varsa eksikler tamamlandıktan sonra; sırasıyla işletme yeterliliğinin kontrolü ve performans yeterliliğinin kontrolü işlemleri yapılabilir. Yukarıda belirtilen örneklerden de görüleceği üzere bu üç test iç içedir.

Bu durumda iki tip kontrol yapılır. [8]

- Mikrobiyolojik Kontroller
- Fiziksel Kontroller

Fiziksel kontrolleri şu başlıklar altında toplamak uygun olacaktır. [9]

- Oda sıcaklık ve nem testleri
- Parçacık tayini
- Fark basınç tespiti
- Hava hareketi kontrolleri
- Mahal içi hava akış testleri
- Parçacık temizleme hızı

## 2.2 Kontrol, Test, Ölçümler Ve Dengeleme

Kontrol, test, ölçümler ve dengeleme işlemlerini uygulama, işletme ve performans yeterlilik (IQ,OQ,PQ) çalışmaları şeklinde de tanımlanabilir. Genellikle iç içe geçmiş ve sürekli karıştırılan uygulama yeterlilik(IQ) ve işletme yeterlilik (OQ) test ve kontrolleri aşağıdaki örnekle açıklanmıştır.

Bir temiz oda uygulamasında kullanılan fanın tipinin ve markasının, kasnak çapının, motor gücü ve markasının tasarıma veya şartnamelere uygunluğunun belgelendirilmesi IQ çalışmasıdır Bu fanın devrinin, debisinin, statik basıncının ve çektiği amperin ölçülmesi ve bu değerlerin tasarım değerlerine uygunluğunun belgelendirilmesi ise OQ çalışması olarak geçmektedir.

Özet olarak IQ, uygulamanın tasarıma ve teknik şartnamelere uyguladığını denetlerken, OQ çalışmaları klima sistemindeki her bir ekipmanın tasarımda tanımlanan fonksiyonları yerine getirdiğini belgelendirmektedir.

Aşağıdaki listede test ve ölçüm yapılacak bazı hava tarafı ekipmanları tanımlanmıştır [9][10]

Fan	IQ,OQ
Hepa Filtre	IQ,OQ
Filtreler	IQ,OQ
Klima Santrali Basınç testi	IQ
Hava Debisi Ölçümü	OQ
Hava Debisi Ölçü İstasyonu	IQ,OQ
Batarya	IQ,OQ

Kanal sızdırmazlık Testi	IQ
Son Kontrol Çalışmaları (check list)	IQ
Kimyasal Nem Alıcı	IQ, OQ

Performans yeterlilik çalışmaları ise doğrudan temiz oda ile ilgili ve onun performansını denetleyen ölçüm çalışmalarıdır. [10][11]

Temiz Oda Partikül ölçümü	PQ
Temiz Oda Hava Debisi (difüzör) Ölçümü ve Hava Değişim Sayısı	PQ
Temiz Oda Fark Basınç Ölçümü	PQ
Temiz Oda Toz Toplama Sistemi Ölçümleri	PQ
Temiz Odaya Açılan Boşluklarda Hava Hızı Ölçümü	PQ

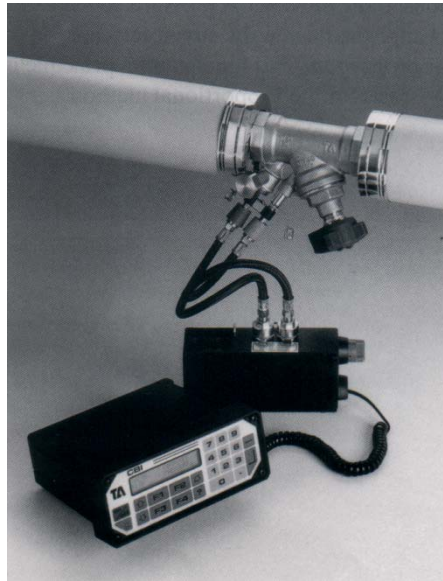
Hava tarafı test ve ölçüm çalışmalarına başlamadan önce emiş ve üfleme kanallarındaki olası kirliliklere karşı sadece ön filtre monte edilmiş halde (ara, son veya terminal hepa filtreler monte edilmeden) klima santralı bir müddet çalıştırılmalı daha sonra tüm filtreler takılarak ölçüm çalışmaları başlatılmalıdır.

Test ve ölçüm cihazlarının tümü temiz oda test prosedürlerine uygun olarak kalibre edilmiş olmaları gerekmektedir.

Aşağıda temiz oda klima sisteminde yapılması zorunlu bazı ölçüm ve testler hakkında daha detaylı bilgi verilmiştir.

İkinci önemli konu sistemin dengelemesidir. Bunu yapmadan sistemin performansını tayin etmek mümkün değildir. Dengeleme hazırlık aşamalarından biridir, çünkü projede verilmiş olan debilerin ve hava miktarlarının gerçekten istenilen miktarda mahallere gidip gitmediğini ölçeriz.

Şekil 2'de su tesisatıyla ilgili bir dengeleme vanası ve ölçüm cihazı görülmektedir. Sistem, işin başında istenen ayarların yapılması için uygun tasarlanmamışsa çok büyük sorunlar çıkarabilmektedir. Yapılan işin sonunda ayar işleri yapılması istenildiğinde, ayar işleminin yapılması için yapılacak fonksiyon kalite kontrolün başlangıç aşamasında dikkate almamız ve bu işi bilen bilinçli kişileri mutlaka o projeye dahil edilmesi gerekmektedir. Dengelemenin düzgün zaman bir kumanda vanası veya klape takmak istenildiğinde, sistem bitmiş ve tavan kapatılmışsa bu işlemi yapmak mümkün olmayabilir.



Şekil 2. Dengeleme Vanası

Şekil 3'de hız ölçümüyle ilgili bir cihaz, kanatlı bir anemometre görülmektedir. Bu cihazların düzenli aralıklarla kalibre edilmesi gerekir. Hava hızı ölçümü için genellikle en çok kullanılan ölçüm cihazı, aslında pitot tüpü ve manometredir. Belirli yerlere takılabilmesi için pitot tüpünün değişik boylarda ve çaplarda olması gerekir. Genellikle fark basınç manometresi olarak eğik manometre kullanılmaktadır, çünkü kalibrasyonu yoktur. Menfez ağzındaki hava debisini ölçmek için kullanılan bir başka cihaz Şekil 9'da gösterilmiştir. Menfezler büyük bir alana sahiplerse ortalama hızın okunması gerekmektedir. Ortalamayı hesaplamak zor olduğundan bu tip cihazlar büyük ölçümlerde kolaylık sağlamaktadır.

### 3. KALİBRASYON

Kontrol parametreleri istenilen parametreyi ölçmeye uygun olan cihazlarla ölçmek mümkündür. Her ölçüm değerlerinin teyit edilmiş olması, ulusal standartlara göre izlenebilir olması gerekir, yani düzgün kalibre edilmemiş, ya da sadece başka bir ölçüm aleti ile kontrol edilmiş cihazlar veya ölçüm aletleri ile ölçümleri yapmak uygun değildir. Her bir cihazın belirli periyotlarla, sertifikalı ve belgelendirilmiş firmalar tarafından, mutlaka bir ulusal standartlar ile izlenebilen sistemlerle kalibre edilmesi gerekir. Aksi takdirde yapılan ölçümlerin bir geçerliliği olmaz. Kalibrasyon sertifikaları, üzerlerinde belirtildiği üzere belirli bir süre için geçerli olup; bu süre sonunda yenilenmelidir. Dolayısı ile cihazların belirli periyotlarda kalibrasyonlarının yapılması zorunludur. Kalibrasyon sertifikalarının ve kalibrasyon verilerinin saklanması, testleri yapılan cihazların geriye dönük izlenebilirlikleri açısından önem arz eder.

### 4. MİKROBİYOLOJİK KONTROL

Bunların uzman bir mikrobiyolog tarafından yapılması gerekir. Fikir vermesi ve konuyu tamamlaması açısından bazı hususları özetlemekte gerekmektedir. Mahallin büyüklüğüne göre tespit edilen belirli yerlere, bunlar da yine standartlarda tanımlanmıştır, içinde özel besi yerleri olan steril petriyer yerleştirilir. Bunların hangi besi yerleri olduğu, petrinin çapına kadar her ayrıntı DIN 1946/4 de tanımlanmıştır, örneğin petriyer yerden 1.2 metre yükseklikte olmalıdır. Daha sonra belirli sürelerle petriyerin kapakları açılır. Tabii petriyer steril olduğundan paketin doğru noktada açılması önemlidir. Kapaklar kapatıldıktan sonra yine steril şekilde laboratuara götürülüp 48 saat 36 °C de bekletilir ve koloni sayımları yapılır. Sonuçları karşılaştırabilmek için 50 cm<sup>2</sup>, 80 dakika referansına indirgenir, petriyerin ortalama değerleri bulunur ve şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Bu değer, A sınıfı odalar için 1, B sınıfı odalar için 10 un altında olmalıdır.

### 5. FİZİKSEL KONTROLLER VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

Aşağıda listeler halinde temiz oda ekipmanlarının ölçümleri ve ölçümler ile ilgili cihazlar kısaca açıklanmıştır.

#### 5.1 Fan (IQ, OQ)

Fanların kontrolleri montaj ve operasyon yeterlilikleri aşamasında gerçekleştirilmelidir. Montaj yeterliğinde fanın dönme yönünün doğru olduğu. Sisteme sağladığı hava debisinin yeterli olup olmadığı gibi kontroller yapılmalıdır. Fanın dönme yönü testi göz ile yapılabilir. Fanın sağladığı debiyi ise kanal çıkış ağzında kanatlı anemometre ile matris tarayarak ölçülmesi sureti ile kontrolü yapılabilir. Şekil 3'de kanatlı bir anemometrenin resmi görülmektedir.



Şekil 3. Kanatlı Anemometre

### 5.2 Hepa Filtre(IQ,OQ)

Filtrelerle ilgili 2 tip test vardır, parafin yağıyla yapılan, tutma deneyleri ve sodyum alevi testleri. Sodyum alevi dediğimiz testte bir kimyasal verilir, bu HEPA filtre çıkışında bir ışılda, parlaklık yaratır. Buradan penetrasyon derinliğini ve ne kadar parçacık geçtiği görülebilir. Şekil 4'de sodyum alevi test cihazı gösterilmiştir. İkinci bir yöntem ise, belirli büyüklükte parçacıkların sisteme gönderilmesi ve ne kadarının geçip geçmediğini ölçmesidir. Bu parçacıklar, gaz, sıvı veya katı parçacıklar olabilir. Genellikle duman üretici cihaz kullanılarak bu test yapılır. Şekil 5'da duman üreten cihazın bir resmi bulunmaktadır.



Şekil 4. Sodyum Alevi Test Cihazı



Şekil 5. Duman Gazı Üretici

### 5.3 Filtreler (IQ,OQ)

Filtrelerin montaj sırasında sisteme doru yerleştirildiğinin kontrolü yapılmalıdır. Filtrelerin takıldığı bölümde havanın filtrenin oturduğu çerçevenin etrafından geçmemesi istenilmektedir. Eğer filtre sistem içerisindeki yerine tam oturmaz ise görevini tam olarak gerçekleştiremez. Operasyon yeterliliği kontrolünde sistem çalışırken filtrenin dolma ihtimaline karşı filtreden hemen önce ve filtreden hemen sonra statik prizler yardımı ile fark basınç manometresi kullanılarak filtrenin kullanıcı isteği doğrultusunda istenilen basınç düşümü değeri aralığında olduğunun kontrolü yapılabilir. Bu işlem için dijital bir fark basınç manometresi kullanılabilir veya filtrenin olduğu yerde bir macnehelic yardımı ile ölçüm yapılabilir. Şekil 6'da bir fark basınç manometresi görülmektedir.





**Şekil 6.** Magnehelic Fark Basınç Manometresi

Magnehelicler mekanik tipte bir fark basınç ölçüm cihazıdır. Klibrasyonu el ile kolaylıkla yapılabilir. Genellikle gözle yapılan kontrollerde kullanılan bu cihazlar yerine dijital çıkış veren başka bir fark basınç manometresi kullanılarak otomasyona sinyal gönderilip yine otomasyon üzerinden işlem yaptırılabilir.

### 5.6 Klima Santralı Basınç Testi (IQ)

Filtrenmemiş Havanın Santral Paneli İçersine Sızması Hijyenik Açidan Sorunlar Yaratabilir. Bu Nedenle, Panel Hava Sızdırmazlığı, Tablo 2 'te Belirtilen Sızdırmazlık Şartlarına Uygun Olarak Seçilmelidir.

**Tablo 2.** Klima Santral Paneli Hava Sızdırmazlık Sınıfları

Sızdırmazlık sınıfı	3A	A	B
400 Pa negatif deney basıncındaki en yüksek sızıntı debisi (L / m <sup>2</sup> .s)	3,96	1,32	0,44
700 Pa pozitif deney basıncındaki en yüksek sızıntı debisi (L / m <sup>2</sup> .s)	5,70	1,90	0,63

Bu test fabrikada veya şantiyede yapılabilir. Klima Santralı giriş ve çıkış ağızları kapatılarak santral belirli bir basınç altında iken santral gövdesinden kaçan hava miktarı okunur. Bulunan hava miktarı santral yüzey alanına bölünür. Bulunan bu değer tasarımda tanımlanan ( EN 1886 B sızdırmazlık sınıfı gibi) hava sızdırma miktarı ile kontrol edilir Şekil 7'de hava kanal kaçak cihazının bir resmi görülmektedir.



**Şekil 7.** Kanal Kaçak Test Cihazı

### 5.7 Hava Debisi Ölçümü (OQ)

Hava debisi ilgili standartta belirtilen şartlara uygun olarak ölçümleri yapılmalıdır. Ölçümü yapılması istenilen kanal üzerinde standart da belirtilen şartlara uygun bir noktada ve standartta belirtilen minimum sayıda ölçüm alınması suretiyle ölçümü işlemi yapılır. Ölçümde eğik manometre ve pitot tüpü kullanılmak suretiyle kanal içerisinde eğik manometre ile toplam basınç ile statik basınç farkı



(dinamik basınç) okunur. Okunan dinamik basınçtan yola çıkarak kanal içerisindeki hava hızı bulunur. Hava hızı bulunduğundan sonra kanalın kesit alanı ile çarpılarak kanaldaki debi bulunmuş olur. Eğik manometre yerine kalibrasyon sertifikası bulunan elektronik bir fark basınç ölçüm cihazı da kullanılabilir. Cihaz üzerinde okunan dinamik basınçtan yola çıkarak yine kanal içerisindeki hava hızı bulunabilir. Dijital fark basınç cihazlarının bazılarında fonksiyon olarak kesit alanı girilebilir. Bu sayede cihaz bize ara herhangi bir işlem yapmadan kanal içerisindeki debiyi verecektir. Şekil 8'de bir eğik manometre görülmektedir.



Şekil 8. Fark Basınç Manometresi

### 5.8 Batarya (IQ,OQ)

Batarya ölçümlerinde batarya kapasitesini belirlenebilmesi için klima santrali içerisinde ve santral dışında ölçümler yapılmak zorundadır. Montaj yeterliliği kontrolünde bataryanın santral içinde düzgün bir şekilde yerleşip yerleşmediği kontrolü yapılmalıdır. Aynı zamanda hava giriş çıkış yönlerinin doğru bir şekilde ayarlandığı su giriş çıkış noktalarının düzgün montajının yapıldığı kontrol edilmelidir. Batarya ölçümünde bataryanın hava tarafında nem ve sıcaklık ölçümleri yapılmalıdır. Diğer taraftan bataryanın su tarafının da sıcaklık ve su debisi ölçümleri yapılmalıdır. Bu ölçümler yapıldıktan sonra bataryanın gerçek kapasitesi ortaya çıkacaktır.

### 5.9 Kanal sızdırmazlık Testi (IQ)

Kanal sızdırmazlık testi klima santrali basınç testinde olduğu gibi kanal kaçak test cihazı ile yapılmaktadır. Kanal sızdırmazlık testi hava kanalları asılmadan yapılmalıdır. Kanalların giriş ve çıkış ağzaları kapatılarak kanallar belirli bir basınç altında iken kanaldan kaçan hava miktarı okunur.

### 5.10 Temiz Oda Hava Debisi (Difüzör) Ölçümü ve Hava Değişim Sayısı (PQ)

Menfezler büyük bir alana sahiplerse ortalama hızı okumamız gerekir. Balometreler bu iş için dizayn edilmiş ölçüm cihazlarıdır. Şekil 9'da balometrenin resmi görülmektedir. Şekil 9'da görüldüğü üzere difüzör üzerine yerleştirilen balometre ve balometrenin üzerindeki ekran sayesinde rahat ve düzgün bir şekilde difüzördeki ortalama hava debisi ölçülebilmektedir. Balometre iki parçadan oluşur. Birinci parça çadır kısmıdır. Bu çadır kısmı ölçülmesi istenilen difüzörün boyutlarında olmalıdır. İkinci parça ise içinde kros pitot'un olduğu parçadır. Çadırın ölçmedeki amacı içinden geçen havanın akışını düzeltip kros pitot'un üzerinden geçmesini sağlamaktır. Kros pitot ise normal pitot tüpünde olduğu gibi toplam ve statik basınç değerlerini bağlı bulunduğu fark basınç cihazına ileterek difüzörden üflenen ortalama hava debisi vermektedir.



Şekil 9. Balometre

#### 4.13 Temiz Oda Fark Basınç Ölçümü (PQ)

Temiz oda içerisinde kullanıcı isteğine bağlı olarak veya üretim veya kullanım amacına göre pozitif basınç veya negatif basınç istenmektedir. Performans yeterliliği aşamasında yapılan bu test oda içerisinde üretim varken veya üretim olmadan önce yapılacak testlerden birisidir. Temiz oda ile odaya bağlı bulunan koridor, açık alan veya başka bir temiz odaya ile arasındaki basınç farkı okunmalıdır. Bu ölçüm işlemi eğik manometre, kalibrasyon sertifikası bulunan elektronik mamometre veya magnehelic fark basınç manometresi yardımı ile yapılabilmektedir. Genellikle magnehelic cihazları temiz odaların duvarlarında sabit olarak bağlanırlar. Bu sayede temiz odaların komşu mahal ile arasındaki basınç farkı odanın şartları değiştirilmeden okunabilir.

#### 4.16 Temiz Oda Partikül ölçümü (PQ)

Temiz oda da yapılan yukarıda bahsedilen testlerin sonuçları olumlu olduğu takdirde partikül ölçümüne geçilir. Temiz oda içerisindeki değişik çaptaki uçucu maddeler optik partikül okuyucuları ile okunup kayıt edilir. Örneğin class 100 bölge için  $1 \text{ m}^3$  hava içerisinde 0.5 mikron çapındaki partikül sayısı 3530'un altında ise standartlara göre temiz oda class 100 şartlarını sağlıyor diyebiliriz. Şekil 10'de partikül sayıcı cihazın resmi görülmektedir.



Şekil 10. Partikül Sayıcı Cihaz

#### 4.17 Son Kontrol Çalışmaları (check list) (IQ)

Temiz oda ölçümlerinde daha önce de belirtildiği yapılan ölçüm ve diğer işlemlerin belgelendirmesi geriye dönük yapılacak işlemlerden ötürü çok büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten ötürü yapılan her ölçümün ve düzeltmenin kontrol listesinin çıkartılması önemli bir yer tutmaktadır. Tablo 3 ve Tablo 4 de örnek birer kontrol listesi görülmektedir.

**Tablo 3. Kanal Testi Kontrol Listesi**

HAVALANDIRMA SİSTEMİ TESTLERİ TEST FOR HVAC SYSTEM				KANALLARDAĞI HAVA DEĞİRLERİ AIR FLOW IN DUCTS			
MÜŞTERİ / CLIENT		SÖZLEŞME No / CONTRACT N°					
PROJE / PROJECT							
SİSTEM / SYSTEM							
KAYNAKLAR / REF. DOCUMENTS							
ODA N° ROOM N°	KANAL BOYUTLARI DUCT SIZE mm	PROJE / PROJECT		ÖLÇÜLEN / MEASURED		STATİK BASINÇ STATIC PRESS	
		Hız / Vel. m/s cfd/m <sup>2</sup> /average	Debi / Flowrate m <sup>3</sup> /h	Hız / Vel. m/s cfd/m <sup>2</sup> /average	Debi / Flowrate m <sup>3</sup> /h	Pa	Pa
NOTLAR / NOTES:							
KULLANILAN CİHAZ / INSTRUMENT USED							
HAZIRLAYAN DRAFTER	KONTROL CHECKED BY		ONAYLAYAN APPROVED BY				
ŞİRKET / COMPANY FİRMADA / SIGNATURE	ŞİRKET / COMPANY FİRMADA / SIGNATURE		ŞİRKET / COMPANY FİRMADA / SIGNATURE				
TARİH / DATE	TARİH / DATE		TARİH / DATE				

**Tablo 4. Emiş Kanalı Kontrol Listesi**

EMİŞ MENFEZİ RETURN GRILL							
MÜŞTERİ / CLIENT		SÖZLEŞME No / CONTRACT N°					
PROJE / PROJECT							
SİSTEM / SYSTEM							
KAYNAKLAR / REF. DOCUMENTS							
Ölçü Point	Menfez No. Return No.	Tip Type	Birimdeki Dışarıya m <sup>3</sup> /h	TAKVİM SİZEMİ NO. / DATE	DEĞİŐ FLOW RATE (m <sup>3</sup> /s) VE HIZ VELOCITY (m/s) (Average / average)	ÖLÇÜLEN EĞİLİM m/s	NOTLAR / NOTES
MENFEZ TİPİ / TYPE OF RETURN GRILL				Menfez konumu ölçülen yönüne, konumu / orientation of return grille			
<input type="checkbox"/> G= DUVAR TİPİ - GRILL ON THE WALL							
<input type="checkbox"/> A= ASMA TAVAN TİPİ - GRILL IN THE FALSE CEILING							
NOT: Menfez yönü ve konumu ölçülen yönüne / For number and position of return grille see LAY-OUT attached							
KULLANILAN CİHAZ / INSTRUMENT USED							
HAZIRLAYAN DRAFTER	KONTROL CHECKED BY		ONAYLAYAN APPROVED BY				
ŞİRKET / COMPANY FİRMADA / SIGNATURE	ŞİRKET / COMPANY FİRMADA / SIGNATURE		ŞİRKET / COMPANY FİRMADA / SIGNATURE				
TARİH / DATE	TARİH / DATE		TARİH / DATE				

**SONUÇ**

İşlemlerin her bir menfez için, her bir kanal için, parça için, cihaz için tekrarlanması gerekir, Yukarıda bahsi geçen testlerin hepsinin sonunda her bir cihaz ve parça için bir belge hazırlanması gerekir. Bu işlemler çok zaman alan işlemlerdir, fakat yapılan işlerin geriye dönük izlenebilirliği açısından yapılması zorunludur. Fonksiyon kalite kontrol oldukça emek harcanan, zor ve sabır isteyen bir işiştir. Dosyalarda test formları yanında ‘‘as built’’ projeler, yani son değerlerin ne olması gerektiğini gösteren projeler, kullanım ve işletme kılavuzları, bakım kılavuzları, parça ve cihaz listeleri, vb. belgelerin de bulunması gerekir. Fonksiyon kalite kontrol işi yapılmadan önce projeye önceden hazırlanmalı ve gerekli hazırlıklar önceden bitirilmelidir.

**KAYNAKLAR**

- [1] US 209D, ‘‘Clean Room and Work Station Requirements, Controlled Environment’’, Federal Standard, U.S.A, 1992.
- [2] US 209E, Federal Standard, U.S.A, 1992.
- [3] VDI 2083, ‘‘Clean Room Engineering’’.
- [4] ‘‘Reinraumtechnik für die Pharmazeutische Industrie’’, Zander Klimatechnik AG, Wolf Ziemer.
- [5] DIN 1946-4, ‘‘Heating, Ventilating and Air Conditioning, HVAC Systems in Hospitals’’, Deutsche Norm, 2005 Entwurf.
- [6] Procedural Standards for Certified Testing of Cleanrooms, National Environmental Balancing Bureau, Second Edition 1996.
- [7] Heperkan, Prof.Dr. Hasan, ‘‘Temiz Oda Klima Sistemlerinde Devreye Alma, Dengeleme, IQ Ve OQ Testleri, Ölçüm ve Belgelendirme’’, 2007
- [8] VDI 6022 Part 3, ‘‘Hygienic Standards for Ventilation and Air-Conditioning Systems – Production Facilities and Business Enterprises’’, November 2002
- [9] VDI 6022 Part 1, ‘‘Hygienic Standards for Ventilation and Air-conditioning Systems – Offices and Assembly Rooms’’,July 1998

- [10] EN 13053, “Ventilation for Buildings – Air Handling Units – Ratings and Performance for Units, Components and Sections”, European Committee for Standardization, October 2001
- [11] EN 1886, “Ventilation for Buildings–Air Handling Units–Mechanical Performance”, 1997

## ÖZGEÇMİŞ

### Orkan KURTULUŞ

1980 yılında Almanya’da doğdu. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2006’da aynı üniversiteden yüksek mühendis ünvanı almasını takiben doktora öğrenimine başlamıştır. 2006’dan bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

### Burak OLGUN

1977 yılında İstanbul’da doğmuş, 2000’de Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi’nden mezun olmuş. 2002’de aynı üniversiteden Isı Proses alanında Yüksek Mühendis ünvanı almış olup halen aynı alandaki talep tarafı enerji yönetimi konulu doktora tez çalışmasına devam etmektedir. Aynı zamanda enerji yöneticisi olup; 2002’den bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalı bünyesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

### Serdar GÜLTEK

1976 yılında İstanbul’da doğdu. 2000 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2003 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Worcester Polytechnic Institute okulundan Yangın Güvenlik Mühendisliği Yüksek Lisans derecesini aldı. Özel sektörde yaptığı çalışmalardan sonra halen İstanbul Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu “İtfaiyecilik ve Yangın Güvenliği” ile “Savunma ve Güvenlik” programlarında öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

### Hasan HEPERKAN

1953 yılında İstanbul ‘da doğmuş, 1970 de Ankara Fen Lisesi, 1974 de İTÜ Makina Fakültesi ‘nden mezun olmuştur. Fullbright ve TÜBİTAK şeref bursiyeri olarak ABD ne giden Heperkan, 1976 da Syracuse University de M.Sc. ve 1980 de University of California, Berkeley de Ph. D. derecelerini elde etmiş, bu arada Lawrence Berkeley Laboratuvarı ‘nda araştırmacı olarak çalışmıştır. Daha sonra ABD de Union Carbide firması Araştırma Merkezi ‘inde bir yıl görev yaparak, Alexander von Humboldt bursiyeri olarak Universitaet Karlsruhe (TH) ya gitmiştir. 1984 yılına kadar Almanya ‘da kalmış ve geri dönmüştür. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ve Demirdöküm ‘de çalıştıktan sonra 1996 da Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi ‘ne geçerek 1997 de profesör unvanını almıştır. 1987 den beri Yıldız Teknik Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Yeditepe Üniversitesi ve Hava Harp Okulunda ısı tekniği ve tesisat konularında çeşitli dersler vermekte olup, birçok doktora ve lisansüstü tez yönetmiş, araştırma ve endüstriyel projeler yürütmüştür. 2003–2006 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Dekanı olarak görev yapmıştır. İki dil bilen Heperkan çeşitli ulusal ve yabancı ödüller kazanmış ve 60 ın üzerinde kitap, makale ve bildirisi yayınlanmıştır.