

## **TEMİZ ODALARIN TASARIMI**

**Osman YAZICIOĞLU\* Şeref AYKUT\*\***

*Geliş: 01.06.2009 Kabul: 10.07.2009*

### **ÖZET**

Temiz odalar imalatın yapıldığı kontrollü çevreyi sağlamaktadır. Yarı iletken ve tümleşik devre imalatı gibi endüstrilerde temiz odalara gerek bulunmaktadır. Havada uçan kirletici parçacıkların kaynağı insanlar, süreç, kullanılan alet ve makinelerdir. Bu parçacıkların sürekli olarak havadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Temiz oda tasarımları imalat için uygun ortamların oluşturulmasını, yatırım ve işletme masraflarının kabul edilebilir düzeyde tutulmasını amaçlamaktadır. Bu çalışmada temiz odalar incelenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** *Temiz odalar*

### **CONSIDERATIONS ON CLEAN ROOM DESIGNS**

### **ABSTRACT**

A clean room is controlled environment where products are manufactured. Much of the processing sequence for semiconductor, integrated circuits, aerospace and other industries must be carried out in a clean room. In this study some design rules of clean rooms have been considered. Any clean room in which the air handling system need suitable supply for a laminar airflow.

**Keywords:** *Clean room designs*

---

*\*İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maltepe-İSTANBUL, oyazicioglu@iticu.edu.tr*

*\*\*Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, BİTLİS*

## 1. GİRİŞ

Temiz odalar endüstriyel ürünlerin imal edildiği atmosferi kontrol edilen yerlerdir. Nano teknolojide imalatın yapıldığı ortamın temiz olması çok önemlidir. Yarı iletken, tıbbi cihazlar, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde her zaman uçak, uzay, otomotiv ve makine imalatında bazı süreçlerde temiz odalar gerekli olmaktadır. Mikrometre mertebesinde bir toz mikro devrede yapışmayı veya bağlantıyı engelleyebilir ve bu yüzden istenen performans elde edilemez. Temiz odalarda havada uçan parçacıklar belirli sınırlar içinde kalacak şekilde kontrol edilir. Boyutu mikrometreden küçük kirletici parçacıkların uzaklaştırılması gerçek bir süreç kontrolünü gerektirmektedir. Havada uçan kirletici parçacıkların kaynağı insanlar, süreç, kullanılan alet ve makinelerdir. Bu parçacıkların sürekli olarak havadan uzaklaştırılması gerekmektedir. Uzaklaştırılması gereken parçacıkların büyüklükleri ve miktarı süreçle yakından ilgilidir.

Temiz oda tasarımları imalat için uygun ortamların oluşturulmasını, yatırım ve işletme masraflarının kabul edilebilir düzeyde tutulmasını amaçlamaktadır.

## 2. TEMİZ ODALAR

Temiz sözcüğünü ve temizlik derecesini tanımlamak kolay değildir. Bir yüzey silindikten sonra artıkların kalması ve sürekli nem tabakası kalması temizliğin belirlenmesine ilişkin iki basit yöntem olarak düşünülebilmektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2001).

İlk federal standart A.B.D. de temiz oda ve iş atölyelerinin gereksinimleri ve temiz odalar adıyla 1963 yılında 209 sayılı olarak yayınlandı. Bu standartta 1 ft<sup>3</sup> havadaki 0.5 µm den büyük olan parçacıkların sayısı esas alınmaktadır (Groover, 2007). Sonraki yıllarda beş kez gözden geçirilen standardın son şekli 1992 tarihli 209E sayılıdır. Uluslar arası standartlaştırma çalışmaları da sürdürülmektedir.

Temiz odalardaki parçacık miktarı ve standart hava temizleyicilerin sınıfları 209 E Federal Standardında belirtilmektedir. Kirletici parçacıkların ürüne bulaşmasını azaltmak için sıkı kurallar ve yöntemler uygulanmaktadır.

Temiz odalar birçok alanda kullanılmaktadır. Bazı alanlar aşağıda verilmektedir (Whyte, 2002, Geng, 2005, www.omeda.com):

1. Yarı iletken
2. Tıbbi cihazlar
3. İlaç endüstrisi
4. Hastane, sağlık, bakım
5. Biyoloji ve biyoteknoloji
6. Tarım ve gıda
7. Elektronik baskı devreleri, sensörler, anahtarlar
8. Fotoğraf, baskı, holografi
9. DVD, CD ve diğer manyetik medya
10. Süreç ve temizleme donanımı
11. Kimya, cam, sıvı ve su
12. Uzay, savunma
13. Otomotiv
14. Lazer, optik, güneş enerjili cihazlar
15. Bilgisayar ve çevre donanımı
16. Mimarlık, tasarım, inşaat
17. Metal sanayi, hassas parçalar
18. Plastik, kauçuk
19. Danışmanlık
20. Hükümet
21. Üniversiteler.

Bir temiz oda Şekil 1 de görülmektedir.



**Şekil 1. Bir temiz oda tasarımı. Burada cam duvarlar 4 m tavan yüksekliğine kadar yapılabilmektedir. Malzeme kalınlığı statik duruma göre seçilmektedir (The clean-tek glass wall system).**

Temiz odada çalışanların özel giysiler kullanması ve temiz odada kullanılan araç gereçlerin uygun olması gerekmektedir (Şekil 2). Mikrometre ve altı büyüklükte parçacıkları temizleyen Eco-Snow (Accu-Fab Systems) yaklaşık 5000 \$ (7500 TL) değerindedir. Tablet temizlemede kullanılan çift taraflı fırçalı DSS-200 (Ontrak) da aynı değerdedir (www.bidservice.com).



**Şekil 2. Temiz oda için HVAC test ve havalandırma aryaları yapabilen ısı konfor çalışmalarına uygun. Opsiyonel problar kullanılarak debi, nem ve turbülans ölçebilir ([www.nanophotonics](http://www.nanophotonics))**

Temiz oda havasının standart değerlere uygunluğu sürekli denetlenmelidir. Sıcaklık, nem ve hava hızı gibi büyüklükler ölçülmesinde 100 TL lik ucuz elle kullanılan ölçme cihazlarından otomatik olarak çalışanlarına kadar çeşitli olanları bulunmaktadır. Şekil 3 te bir anemometre görülmektedir. Fiyatı yaklaşık 1700 Euro (3400 TL) olan bu cihaz hava hızı, basınç farkı, sıcaklık ve nem ölçebilmektedir. Geniş hız aralığında kullanılabilmekte ve beşe kadar ölçmeyi aynı anda yapabilmektedir.



**Şekil 3. Çok fonksiyonlu ısı anemometre ([www.nanophotonics](http://www.nanophotonics))**

A.B.D ordusu mühendislik grubu temiz odaların planlama, tasarım, yapı, bakım, restorasyon ve yenileştirme kıstasları ile askeri departmanlar, savunma ajansları ve DOD (Amerikan Savunma Bakanlığı) alan çalışmalarına ve uygulamalarına ilişkin ortak ilkeleri belirlemektedir. Parçacıkların bulaşmasını önlemek için temiz odadaki havanın debisi, akış yönü, sıcaklığı, basıncı ve nemi özel filtrelerle kontrol altında tutulur. Yarı iletken, elektronik, sağlık, kozmetik ve ilaç endüstrisi gibi alanlarda temiz odalar sıkı protokol ve yöntemlerle tasarlanıp imal edilmektedir (Basham vd, 2004).

Birçok nano teknoloji ürünü gibi tümleşik devrelerin tasarımı da çok hızlı gelişmektedir. Bir yonga üzerindeki elektronik cihaz sayısı Moore yasasına göre her bir buçuk yılda iki kat artmaktadır. Bir bütünleşik devre tasarımı, transistör, diyot, kapasitör ve direnç gibi elektronik cihazların küçük bir yarı iletken levha üzerine dizilmesi ve bağlantılarının yapılması ile ilgilidir. Transistör bir anahtara benzer, bilgisayarda bilgi depolamak ve bir stereo amplifikatörde ses sinyallerini kuvvetlendirmek için kullanılır. Diyot belirli koşullarda elektrik akımını durdurur ve koşullar değişince akım geçmesine izin verir. Bir fotoğraf makinesinin flaşı gibi, kapasitör elektriği depo eder ve çok kısa sürede serbest bırakır. Direnç elektrik

akımını sınırlar. Televizyonun ses denetimi böyle yapılır (Fleddermann ve Bradshaw, 2003).

Yarı iletken taban levhası %95 oranında sikon kristalinden oluşmaktadır. İlk tümleşik devre 1958 yılında mucit Kilby tarafından kazandırıldı. İlk patent başvuruları ABD’de 1959 yılında Kilby ve ondan üç ay sonra Noyce tarafından yapıldıysa da ilk patent Kilby’ye (1924-2005) verilmedi ve yargı sorunu yaşandı. Tümleşik devre kalınlığı 0.5 mm olan 5-25 mm kenar uzunluğuna sahip bir levha üzerinde tasarlanmaktadır. Tek kristal silikon levha üzerine çok sayıda elektronik cihaz yerleştirilebilmektedir. Bağlantı tasarımında çok ince alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Küçük ölçekli bir tümleşik devre yongası üzerinde 1959 yılında 10-50 cihaz varken günümüzde giga ölçeklilerde  $10^9$ - $10^{10}$  adet elektronik cihaz bulunabilmektedir. Hızlı büyüyen tümleşik devre ve parçaları pazarının 2009 yılında 5.6 milyar \$ (8.4 milyar TL) olması tahmin edilmektedir. Bu üretimler için temiz oda gerekli olmaktadır.

### 3. TEMİZ ODALAR İÇİN STANDARTLAR

Alışılmış ofis binalarında  $1 \text{ ft}^3$  (R 27 L) havada  $0.5 \mu\text{m}$  den büyük parçacık sayısı 500 bin ile 1 milyon arasındadır. Federal Standart sınıfı 1000 olan bir temiz odada ise parçacık sayısı 1000 den fazla olmamalıdır. Bir insan hücresi en az  $3 \mu\text{m}$  ve en çok  $120 \mu\text{m}$  büyüklüğündedir. İnsan saçı  $75$ - $100 \mu\text{m}$  büyüklüğe sahiptir ve temiz odada bundan 200 kez daha küçük parçacıklar felakete yol açabilir. Kirletici parçacıklar fabrikanın ölü zamanını artırarak üretim maliyetini yükseltirler. Örneğin NASA’nın milyar dolarlık Hubble uzay teleskopu  $0.5 \mu\text{m}$  den küçük parçacıklar nedeniyle arızalandığı için bir süre amaçlanan görevini yerine getirememiştir (McFadden, 2008).

Temiz odadaki havanın sıcaklığı  $21^\circ\text{C}$  ve bağıl nemi %45 olmalıdır. Bunun sağlanması için havanın yüksek verimli parçacık filtresinden HEPA (High Efficiency Particulate Air) geçirilmesi gerekmektedir (Groover, 2007). Bu filtreler temiz odaların asıl elemanlarıdır ve genellikle radyolojik olmayan atıklar için kullanılmaktadır. Radyolojik atıklar için olan HEPA filtreler giriş ve çıkış havası için kullanılmaktadır. HEPA filtreler havada bulunan  $0.3 \mu\text{m}$  den büyük parçacıkların en az %99.97 sini uzaklaştırabilmektedir. Bu büyüklükteki parçacıkların uzaklaştırılması zordur. ULPA (Ultra Low Penetration Air) filtrelerde bu oran %99.999 a yükselmektedir.

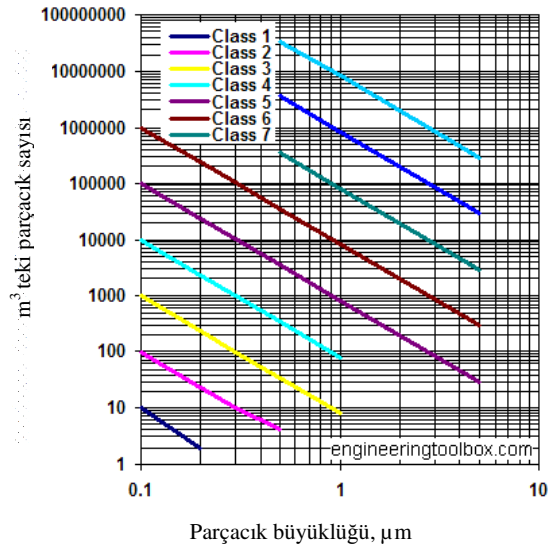
Radyoaktif parçacıkların veya etkinliklerin konsantrasyonu iz miktardan birkaç yüz tera Becquerel (TBq) değerine kadar çıkabilmektedir (Coffey, 2002, ASHARE 2003).

ULPA filtreler  $0.12 \mu\text{m}$  ve daha büyük toz, polen gibi parçacıkları uzaklaştırabilmektedir. EN 1822 standardına göre U 15, U 16 ve U 17 için ULPA

filtrelerin verimi sırasıyla %99.9995, %99.99995 ve %99.999995 olmaktadır (Ege Nisan, 2009).

Aerology, Airflow Systems, Torit ve AQE firmaları %99.97 verimli HEPA filtre imal etmektedir. Ahşap çerçeveli filtreler metal çerçeveli olanlardan daha ucuzdur. Torit'in %99.97 verimli P199372 metal çerçeveli filtresinin fiyatı 226 Euro dur (Wynnenvironmental, 2008).

Temiz odalar hava içinde asılı toz parçacıkların birim hacimdeki sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Sınıflama temiz oda havasındaki parçacık büyüklüğüne ve sayısına göre Şekil 34 te görülmektedir.



**Şekil 4. ISO temiz hava sınıflarında parçacık büyüklüğüne göre metre küp havadaki maksimum parçacık sayısı. En alttaki doğru sınıf 1 temiz oda ve en üstteki doğru sınıf 7 temiz oda içindir (Engineering Toolbox).**

Uluslar arası sınıflama ISO 14644-1 e göre yapılmaktadır. Bu standart Avrupa Birliği tarafından 1999 da ve A.B.D. tarafından 2001 yılında uyarlanmıştır. Bununla birlikte uygulamada basit ve kolay anlaşılır olmasından dolayı en çok 209 sayılı Federal Standart kullanılmaktadır.

Federal Standart 209E'ye göre sınıflama Çizelge 1'de verilmektedir.

**Çizelge 1. Federal Standart 209E'e ye göre temiz odalarda bir m<sup>3</sup> havadaki parçacık sayısına göre sınıflar** (Groover, 2007, ISO, 2005, Toolbox, 2008, Rousseau, 2004).

Sınıflar	Sınırlar				
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	5 µm
M1	350	75.7	30.9	10.0	
M1.5	1240	265	106	35.3	
M2	3500	757	309	100	
M2.5	12400	2650	1060	353	
M3	35000	7570	3090	1000	
M3.5		26500	10600	3530	
M4		75700	30900	10000	
M4.5				35000	247

İngiliz standardına göre temiz odaların sınıflaması Çizelge 2'de görülmektedir.

**Çizelge 2. BS 5295 e göre temiz oda sınıfları** (Groover, 2007, ISO, 2005, Toolbox, 2008, Rousseau, 2004).

Sınıf	Bir m <sup>3</sup> teki maksimum parçacık sayısı, büyüklüğü ≥ aşağıda verilen değerler.					En büyük örnek alma	En küçük basınç farkı, Pa	
	0.3 µm	0.5 µm	5 µm	10 µm	25 µm		Aynı nitelikli	Farklı nitelikli
C	100	NS	0	NS	NS	10	15	10
D	1000	NS	0	NS	NS	10	15	10
E	10 000	NS	0	NS	NS	10	15	10
F	NS	NS	0	NS	NS	25	15	10
G	100 000	NS	200	0	NS	25	15	10
H	NS	NS	200	0	NS	25	15	10
J	NS	0	2 000	450	0	25	15	10
K	NS	500	20 000	4 500	500	50	15	10
L	NS	5 000	200 000	45 000	5 000	50	10	10
M	NS	50 000	NS	450 000	50 000	50	10	NA

Uluslararası standarda göre temiz odaların 1, 2 ve 3 sınıfları Çizelge 3'de verilmektedir. Diğer sınıflar 7, 8, ve 9 için standarda bakılabilir. Havada bulunmasına izin verilen parçacık sayısının maksimum değeri aşağıdaki ifade ile verilmektedir:

$$C_n = 10^N (0.1/D)^{2.08} \quad (1)$$

Burada C<sub>n</sub>=Bir m<sup>3</sup> havada bulunmasına izin verilen maksimum parçacık sayısı,



N=ISO sınıf sayısı ve  
D=Parçacık büyüklüğü,  $\mu\text{m}$   
olmaktadır.

Örnek olarak parçacık büyüklüğü 500 nm ve ISO sınıfı 3 olan bir temiz oda havasının bir metreküpünde bulunmasına izin verilen parçacık sayısının en çok ne olacağını bulmak için (1) denkleminde,

N ve D değerleri yazılır. Maksimum parçacık sayısı,

$$C_n = 10^N (0.1/D)^{2.08} = 10^3 (0.1/0.5)^{2.08} = 35 \text{ adet/m}^3 \text{ bulunur. ISO sınıf numarası } 10N09 \text{ bir tamsayı olmalıdır.}$$

**Çizelge 3. ISO 14644'e göre temiz oda sınıflarında parçacık sayısı (Groover, 2007, ISO, 2005, Toolbox, 2008, Rousseau, 2004).**

Parçacık büyüklüğü →	1 m <sup>3</sup> havadaki maksimum parçacık sayısı					
	> 0.1 $\mu\text{m}$	> 0.2 $\mu\text{m}$	> 0.3 $\mu\text{m}$	> 0.5 $\mu\text{m}$	> 1 $\mu\text{m}$	> 5 $\mu\text{m}$
ISO sınıf 1	10	2				
ISO sınıf 2	100	24	10	4		
ISO sınıf 3	1000	237	102	35	8	

Uluslar arası (ISO) ve Federal Standard (FD) Çizelge 4 te karşılaştırılmaktadır.

**Çizelge 4. Uluslar arası (ISO) ve Federal standartların (FD) karşılaştırılması (Whyte, 2002, Groover, 2007, ISO, 2005, Toolbox, 2008, Rousseau, 2004).**

ISO 14644-1 sınıfları →	3	4	5	6	7	8
FS 209 sınıfları →	1	10	100	1000	10 000	100 000

Temiz odada parçacık konsantrasyonu oda ilk yapıldığında boş durumdayken düşüktür. İmalat tam kapasite ile yapılmakta iken en yüksek olur. ISO 14644-1 de bu yüzden üç durum tanımlanmaktadır:

1. Oda yeni yapılmış, tüm bağlantılar tamamlanmış fakat ekipman, malzeme ve personel bulunmuyor, inşa edildiği gibi durum,
2. Oda imalata hazır fakat personel bulunmuyor, tatilde durumu ve
3. İmalat personelle tam kapasitede yapılıyor, çalışma durumu.

#### 4. TEMİZ ODALAR İÇİN BAKIM PROGRAMLARI

Temiz odalar inşa edildikten sonra bakım ve temizlik işlemleri aynı yüksek standartlarla yapılmalıdır. Yüzey kirleticileri biçimlerine göre film türünde ve parçacık türünde olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Çok küçük olan bir elektronik devrede bu kirleticiler çok ciddi bir etkiye sahip olabilirler. Kalınlığı sadece 10 nm olan bir film tablet veya yonganın kaplamaya yapışma yeteneği böyle bir

kirleticiden dolayı feci biçimde azalabilir. Bu yüzden 0.5 µm den büyük parçacıklar istenmemektedir. Bazı endüstriler bundan daha küçük parçacıkların bulunmamasını gerektirmektedir. Kirletici kaynakları aşağıda incelenmektedir.

1. İnsan. Kirletici kaynaklarının en önde geleni insandır. Bir insanda  $10^{14}$  hücre ve  $10^{15}$  bakteri bulunmaktadır. Hücreler sürekli yenilenmekte ve insan cildinden dökülen parçalar, yağlar, saçlar, kozmetik ve parfüm, ağız suyu, keten ve elyaf gibi elbise artıkları söz konusu olmaktadır.
2. Tesisat. Odanın duvar, döşeme ve tavanı, boya ve kaplamalar, parke, lamine gibi inşaat malzemeleri kirletici kaynağıdır. Klima sisteminin artıkları, oda havası, buhar sızıntısı ve döküntüler kirletici kaynağıdır.
3. Takımlar. İmal edilen takımlar sürtünme ve aşınma ile kirletici üretirler. Yağlar, süpürge ve tozlar da bu grupta sayılmaktadır.
4. Akışkanlar. Havada yüzen parçacıklar, bakteriler, temizlik kimyasalları, organik parçacıklar ve nem.
5. Plastizerler, atılan gazlar ve deiyonize su.
6. İmal edilen ürünler. Silikon yonga, kuartz flake, temiz oda artıkları ve alüminyum parçacıklar kirletici kaynağıdır.

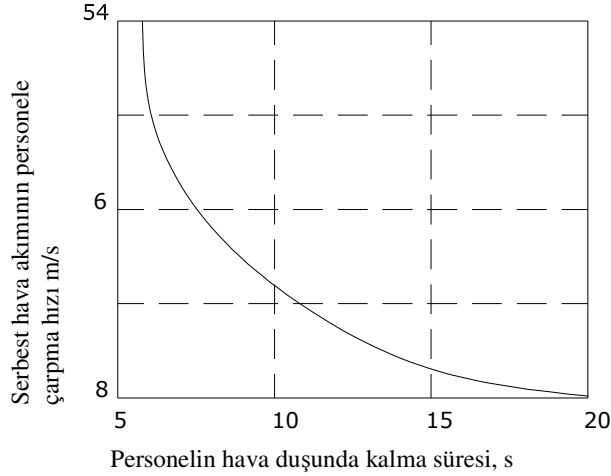
En önde gelen kaynağın bir dakikada ürettiği parçacık sayısı Çizelge 5 te verilmektedir.

**Çizelge 5. İnsanın ürettiği parçacık sayısı (McFadden, 2008).**

Faaliyet	Parçacık sayısı, $10^6$ adet/min
İnsan hareketsiz, ayakta veya oturuyor	0.1
0.9 m/s hızla yürüyen insan	5
1.6 m/s hızla yürüyen insan	7
2.2 m/s hızla yürüyen insan	10
El şakası yapan insan	100

Tümleşik devre imalatında kullanılan temiz oda maliyetleri artmaktadır ve tesis yatırım masraflarının %20 sine ulaşmaktadır. Tesisin işletme masrafları içindeki payı ise %45 e ulaşmaktadır. Bu masrafları azaltmak için yüksek verimli filtreler geliştirilmeye çalışılmaktadır (Honbori vd 1994).

Temiz odalarda kullanılan araç ve gereçlerin seçiminde bazı hususlara dikkat edilmelidir. Malzemelerin aşınma, parçacık kopması ve oksitlenmeye dirençli olarak seçimi gerekir. Normal boyaların sık temas edilen yerlerde kullanılmasına izin verilmemelidir. Epoxy, polyester ve benzeri katkılı boyalarla kaplama yapılmalıdır. Temiz odaya giriş ve çıkışlarda hava basıncının korunması için hava kilidi kullanılmalıdır. Temiz hava lülelerinde minimum hava hızı 22 m/s olmalıdır. Yüksek hızlı hava akımı ve vakumla elbiselerin ve ciltlerin temizlenmesi veya hava duşu gerekir. Duş süresi hava hızına bağlı olarak Şekil 5'te verilmektedir.



**Şekil 5. Serbest hava akımının personele çarpma hızı ile hava duşunda kalma süresi arasındaki ilişki** (Basham vd, 2004).

Temiz oda yöneticisi mendil, kâğıt ve kurşun kalem gibi malzemeler için gerekli kuralları belirler. Kozmetiklerin çoğu sodyum, magnezyum, silisyum, kalsiyum, potasyum ve demir ihtiva etmektedir. Bu kimyasallar zararlı parçacıklar oluşturabildiğinden temiz oda yöneticisi bunları sınırlamalı veya yasaklamalıdır. Örneğin temiz odadaki kolonya bir uzay teleskopu aynasında buğu oluşturabilir. Temiz oda yöneticisi parçacık sayısı, hava debisi, hava hızı, nem, sıcaklık ve yüzey temizliği ile ilgili ölçmeler yaparak ilgili standartlara göre değerlendirmelidir. Personelin bu konuda bilgilendirilmesi önemlidir.

Temiz oda sınıfına göre sınır değerler değişmektedir. Temiz oda sınıfı 10 000 için minimum koşullarda malzeme listesi aşağıda verilmektedir.

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1. Temizleme ve dezenfeksiyon çözeltileri | 3. Temiz oda elektrik süpürgesi |
| 2. Temiz oda çöp taşıyıcıları             | 4. Temiz oda silicileri         |
|   | 5. Temiz oda çöp kovası         |
- Bazı durumlarda elektrik süpürgesine izin verilmemektedir.

Temiz odalarda temizlik görevleri listesi aşağıda verilmektedir:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Kontrol edilen çevrenin tüm yüzeylerinin temizlenmesi              | 4. Kapı, kasa ve kilitlerin ön bölümde temizlenmesi, uygun temizleme çözeltilerinin kullanılması |
| 2. Döşeme ve çalışma yüzeylerinin elektrik süpürgesi ile temizlenmesi | 5. Çöp toplama ve temiz oda döşemeleri ile ilgili görevler.                                      |
| 3. Biriktirilen çöp ve atıkların boşaltılması                         |  |

Ayrıca bölgesel standartların incelenmesi gerekmektedir. Sınıfı 1000 olan bir temiz oda için görev listesi Çizelge 6'da verilmektedir.

**Çizelge 6. Temiz oda 1000 sınıfı için görev listesi (McFadden, 2008).**

Alan adı	İş tanımı	Sıklık
101	Örtü mandallarını değiştirme	2 saatte bir defa
102	Islak çöp malzemesini uygunu ile değiştirme	Vardiyada 2 defa
103	Toz malzemesi (izin veriliyorsa)	Vardiyada 2 defa
104	Atıkları uzaklaştırma, süpürme, masaları silme, duvar ve dönüşüm kutularını temizleme	Vardiyada 1 defa
105	Vakum girişlerinin örtülerini silme	Vardiyada 1 defa
106	Döşemeyi fırça ve musluk suyu ile temizleme	Vardiyada 1 defa
107	Çöpleri uzaklaştırma, her zaman temiz eldiven giyilir, atıkları taşıyan kovalar temiz oda içine alınmaz	Vardiyada 1 defa
108	Islak çöpleri uzaklaştırma	Vardiyada 1 defa
109	Atık ve solvent artıkları uzaklaştırma	Vardiyada 1 defa
110	Tüm tuvaletleri temizleme, yeniden doldurma	Haftada 3 defa
111	Döşemeyi süpürme (izin varsa)	Haftada 2 defa
112	Paslanmaz çelik geçişler ve uygun silecekler	Haftada 1 defa

Temizleme yöntemi ile ilgili bir örnek Çizelge 7’de verilmektedir.

**Çizelge 7. Temiz oda 1000 sınıfı için temizleme yöntemi (McFadden,2008).**

Bölge	Yöntem	Sıklık
1A	Çöp atma	Günde 1 defa
1A	Yolluklar	Haftada 1 defa
1A	Yatay yüzeyleri silme	Ayda 1 defa
1B	Yapışkan yaygıları silme	2 saatte 1 defa
1C	Çöp atma	Günde 1 defa
1C	Duvarları silme	Haftada 1 defa
1D	Çöp atma	Günde 1 defa
1D	Duvarları silme	Haftada 1 defa
2A	Çöp atma	Vardiyada 2 defa
2A	Duvarları silme	Haftada 1 defa
2A	Vakumla temizleme	Ayda 1 defa
2B	Çöp atma	Vardiyada 1 defa
2C	Duvar, pencere, kapı, duş, koridor ve yangın söndürücü	Haftada 1 defa

Genel olarak temiz odalarda bazı hareketlerin yapılmasına izin verilmemektedir. Temiz odalarda hızlı yürümek, koşmak ve el şakası yapmak istenmemektedir. Donanım veya iş parçası üzerine oturmak veya dayanmak kirliliğe yol açacağından istenmez. Donanım veya elbise üzerinde yazı yazmak, temiz oda elbisesi altındaki

malzemeyi uzaklaştırmak, temiz oda elbisesini temiz oda dışında giymek ve eskimiş veya tozlanmış temiz oda elbisesi giymek yasaklanmıştır (McFadden, 2008).

## **5. TEMİZ ODA TASARIMLARI**

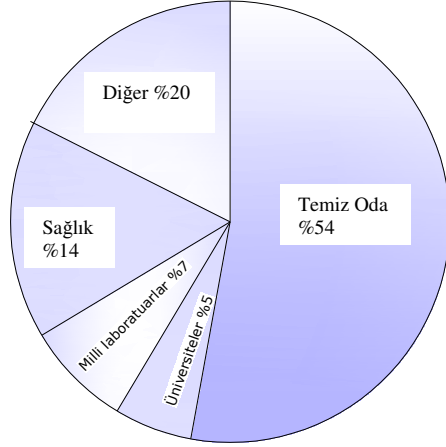
Tasarımda işçi güvenliği ve sağlığı kuralları her zaman önemlidir. Az masrafla alınabilecek önlemler olasılığı az da olsa yaşanabilecek zararlardan korunmayı ve çalışanların güven duygusu içinde bulunmalarını sağlamaktadır (Foulke, 2007).

Temiz odaların tasarım uygulamaları ve yazılım çalışmalarında kullanılan cihazlarla ilgili olarak A.B.D. Patent ve Ticari Marka Ofisi halka bilgi vermektedir. Süreç projeden projeye değişmekte ancak genellikle iki ana görev bulunmaktadır. Birincisi tersine mühendislik (reverse engineering) sürecidir. Burada (a) özgün cihazın biçim, uygunluk ve işlev konuları tanımlanır ve (b) özgün cihazın iç çalışmasının anlaşılmasına teşebbüs edilir.

Bunlardan birincisi basittir ve kısa sürede gerçekleştirilebilir. İkincisi ise iç çalışma biçimleri ile ilgili deneyleri gerektirir ve zaman alıcıdır. Mikro devrelerin belirlenmesi bazen çok zordur. Bu ikincisi için teknik referans el kitapları, akademik makaleler, patentler ve internet kaynakları (USEnet News, lisanslı yazılımlar, finansal haberler, vs) gerekebilir. Temiz oda tasarım sürecinde tersine mühendisliğin değerlendirilmesi için çeşitli yasal ve etik yöntemlerin bilinmesi gerekmektedir. Maskeleye çalışması ile bir özgün tasarımın haksız olarak alınmaması için yasal koruma kuralları konulmaktadır (Peterson, 2008).

Tümleşik devre imalatında kullanılan temiz oda maliyetleri yüksektir ve tesis yatırım masraflarının %20 sine ulaşmaktadır. Tesisin işletme masrafları içindeki payı ise %45 e ulaşmaktadır. Bu masrafları azaltmak için yüksek verimli filtreler geliştirilmeye çalışılmaktadır (Honbori vd, 1994).

Temiz odalar enerjinin en yoğun kullanıldığı alanlardır. California'da yapılan bir araştırmaya göre %54 oranıyla temiz odalar en yüksek yoğunluğa sahip sektördür (Şekil 6).



Şekil 6. Binalarda elektrik enerjisi kullanımı (Lowel vd, 1999).

Tayvan'da yarı iletken imal eden 9 fabrikanın incelenmesiyle ortalama günlük elektrik tüketimi 348 905 kWh olarak saptanmaktadır. İmalat ve takımlar sırasıyla %56.6 ve % 40.4 ile en yüksek paya sahip olmaktadır. Tablet alanının  $\text{cm}^2$  si için 1.43 kWh enerji harcanmaktadır (Hu ve Chuah, 2003). Uzay uygulamalarında mikro elektronik mekanik düzenler (MEMS) enerji tüketimi yönünden incelenmektedir (Bilhaut ve Duraffourg, 2009).

California'da endüstrilere göre elektrik enerjisi kullanımı Yarı iletken imalatında %18 ile en yüksek düzeyde bulunmaktadır. Bunu elektronik %15, tıp %15, hastaneler %12, gıda %12, farmakoloji %11, Yarı iletken tedarikçileri %6, uzay %6 otomotiv %5 oranı ile izlemektedir (Lowel vd, 1999).

Temiz oda tasarımlarında laminer hava akışı bulunur. Hava akışı laminer değilse temiz oda tasarımı alışılmış temiz oda tasarımı olarak adlandırılır. Alışılmış temiz odalar 250-650  $\text{m}^2$  taban alanı ile sınırlıdır. Tavan yüksekliği en az 2.40 m olmalıdır. İmalat daha büyük alan gerektiriyorsa taban alanı perdelerle bölünmelidir.

Personel ve donanım için hava kilitleri, donanım temizleme odası gerektirdiğinden etkinlik alanı azalır.

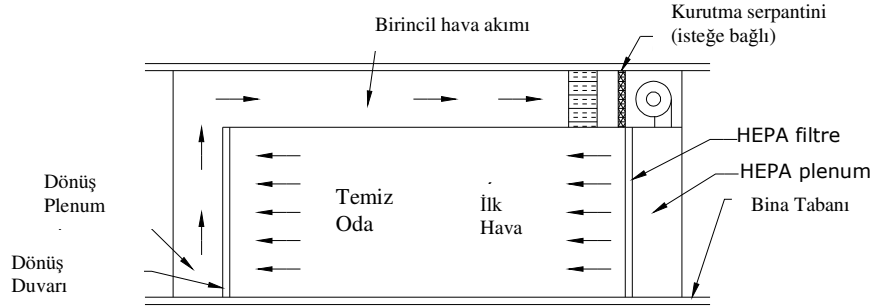
Hava duşları sağlanmalı ve bunlar hava kilitleri ile birlikte tasarlanmalıdır. Parçaların taşınabilmesi için geçiş kutuları veya pencereleri hava kilitleri ile donatılmalıdır. Gerekli olduğunda ayakkabı temizleyici ve gözlem pencereleri ile donatılmalıdır.

Temiz odaların tasarımında aşağıdakiler göz önüne alınmalıdır:

- Temiz odada saatte 15-20 kez hava değişimi sağlanmalıdır. HEPA filtreleri çıkışa en yakın yerleştirilmelidir.

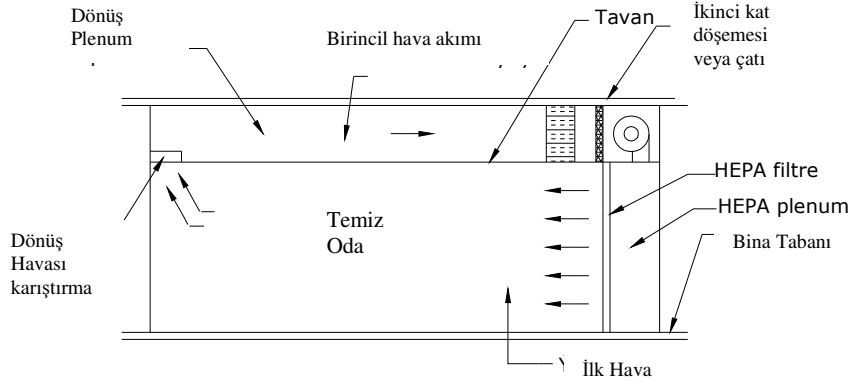
- (b) Hava dağıtımı üst kanal yayıcılarından etkin biçimde sağlanmalıdır.
- (c) Yayıcı seçilirken hava hızı  $0.18 \leq v \leq 0.28$  m/s aralığında tutulmalıdır.
- (d) Dağıtım yolu davlumbaz gibi başka hava akış yolları ile kesişmemelidir.

Yatay laminer akışlı temiz odalarda birincil hava akımı yataydır (Şekil 7).

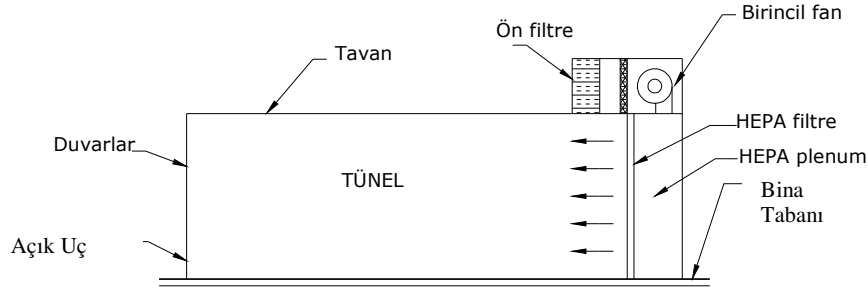


Şekil 7. Yatay duvardan duvara laminer hava akışı (Basham vd, 2004).

Temizlenen hava gerekiyorsa sıcaklık, nem ve basınç değerlerini korumak için dönüş havasıyla karıştırılır (Şekil 8).



Şekil 8. Yatay duvardan tavana laminer hava akışı (Basham vd, 2004).



**Şekil 9. Yatay duvardan açık uca laminer hava akışı veya tünel (Basham vd, 2004).**

Duvardan duvara hava akışı yapımı ve çalıştırılması en pahalı yatay laminer akışlı tasarımdır. Duvardan tavana akışlı düzen daha az masraflıdır. En az masraflı düzen ise duvardan açık uca hava akımı sağlayan tünel çeşididir (Şekil 9).

Yatay akışlı temiz odaların üstün yanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Temizlik düzeyi temiz odada yapılan etkinliğe bağlı değildir.
- Temiz oda kendinden temizleme yeteneğine sahiptir ve hızlı biçimde temizlik kazanma yeteneği vardır.
- Hava alma birimini sadece çalışma saatlerinde çalıştırmak yeterlidir.
- Yatay temiz odalar düşey odaların öncüsü olmuştur. Düşey akışlı temiz odalarda bulaşma tüm temiz odalar içinde en az düzeydedir. Aynı zamanda daha az masraflıdır. Bununla birlikte yerleştirme önemli olmaktadır.

## 6. SONUÇLAR

Yarı iletken, tıbbi devre, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde her zaman uçak, uzay, otomotiv ve makine imalatında bazı süreçlerde temiz odalar gerekli olmaktadır. Temiz odalar hava içinde asılı toz parçacıklarının birim hacimdeki sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Uluslar arası sınıflama ISO 14644-1 e göre yapılmaktadır. Bu standart Avrupa Birliği tarafından 1999 da ve A.B.D. tarafından 2001 yılında uyarlanmıştır. Bununla birlikte uygulamada basit ve kolay anlaşılır olmasından dolayı en çok 209 sayılı Federal Standart kullanılmaktadır. Genel olarak temiz odalarda bazı hareketlerin yapılmasına izin verilmemektedir. Temiz odalarda hızlı yürümek, koşmak ve el şakası yapmak istenmemektedir. Temiz odalar enerjinin en yoğun kullanıldığı alanlardır. California'da yapılan bir araştırmaya göre temiz odalar %54 oranıyla en yüksek yoğunluğa sahip sektör olmaktadır. Temiz odada saatte 15-



20 kez hava değişimi sağlanmalıdır. HEPA filtreleri çıkışa en yakın yerleştirilmelidir. Alışılmış temiz odalar 250-650 m<sup>2</sup> taban alanı ile sınırlıdır. Tavan yüksekliği en az 2.40 m olmalıdır. İmalat daha büyük alan gerektiriyorsa taban alanı perdelerle bölünmelidir. Temiz odaların tasarım uygulamaları ve yazılım çalışmalarında kullanılan cihazlarla ilgili olarak A.B.D. Patent ve Ticari Marka Ofisi halka bilgi vermektedir. Süreç projeden projeye değişmekte ancak genellikle iki ana görev bulunmaktadır. Birincisi tersine mühendislik sürecidir. Burada (a) özgün cihazın biçim, uygunluk ve işlev konuları tanımlanır ve (b) özgün cihazın iş çalışmasının anlaşılmasına teşebbüs edilir.

## **7. KAYNAKÇA**

Basham, D., Wright, J.W, Ferguson, K.I ve Moy, G.W.( 2004), Design: Clean rooms, UFC 4-310-02N, MIL-HDBK-1028/SA.

Bilhaut, L. ve L. Duraffourg (2009), Assesment of nanosystems for space applications. Acta Astronautica, in press, corrected proof.

Coffey, D.E., (2002), High efficiency particulate air (HEPA) filter generation, characterization and disposal experiences at the Oak Ridge National Laboratory. WM202 Conference. Feb. 24-28.

Clean Room and Work Station Requirements (2007), Controlled Environments.

Fleddermann, C.B. ve Bradshaw, M.D. (Çev.E. Akın), (2003), Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliğine Giriş, Nobel Yayın, Ankara.

Foulke, E. G., (2007), Safeguarding equipment and Protecting Employees from Amputations. OSHA (Occupational Safety and Health Administration), Small Business Safety and Health Management Series.

Geng, H., (2005), Semiconductor Manufacturing Handbook, Chapter 38, Pavlotsky, R. V. ve Beck, S.C., Cleanroom Design and Costruction. McGraw-Hill Book, New York.

Gommel, U. (2009), Maximizing benefits of clean manufacturing and technical cleaning advancements in automotive production. CleanRooms Europe.

Groover, M. P., (2007), Fundamentals of Modern Manufacturing. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Honbori, I., Katu , Y. ve Kisakibaru, T. (1994), Development of highly efficient fan filter system for clean rooms. International Symposium on Semiconductor Manufacturing.

Hu, S.C. ve Chuah, Y.K., (2003) Power consumption of semiconductor fabs in Taiwan. *Energy* (28) 895-907.

ISO, (2005), Standards for classification of clean rooms.

Kalpakjian, S. and Schmid, S. R., (2001), *Manufacturing Engineering and Technology*. 4th ed. Prentice-Hall.

Lowel, C. ve C. Blumstein, D. (1999), *Sartor: Industrial Energy Efficiency, Clean Rooms and Laboratories for high Technology industries*. California Energy Commission.

McFadden, R., (2008), *A basic introduction to clean rooms*. Coastwide Laboratories.

Peterson, W.D., (2008), *The Creation of Interoperable Integrated Circuits using clean room design practice*. Silicore Corporation Plymouth.

Rousseau, A. (2004), *The Scottish Society for Contamination Control*.

Whyte, W., (2002), *Cleanroom Design*, John Wiley and Sons Inc., New York.

Egecell Fan Filtre birimleri (2009), HEPA/ULPA filtreler. Ege Nisan Ltd. Yenişehir, İzmir. [www.egenisan.com](http://www.egenisan.com).

İkinci el temiz oda ekipmanı. [www.bidservice.com](http://www.bidservice.com).

ToolBox.com., *Clean Rooms-ISO standard 14644*. The Engineering ToolBox. [www.Engineering](http://www.Engineering).

Wynnenvironmental (2008), [www.wynenv.com](http://www.wynenv.com).