

ارزیابی و کنترل عوامل شیمیایی در بیمارستان

دکتر محمود حیدری

دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای و ایمنی کار

دانشگاه علوم پزشکی گیلان

در فرایند شناسایی و ارزیابی عوامل شیمیایی بیمارستان لازم است نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

- مواجهات شغلی کادر درمانی و پیراپزشکی با عوامل شیمیایی
- توجه به سلامت و ایمنی بیمار (Patient Health and Safety)
- جلوگیری از انتشار عوامل شیمیایی و بیولوژیکی در محیط بیمارستان
- کنترل عفونت
- تأمین هوای پاک و سالم به توجه به نیاز هر بخش
- توجه به آسایش حرارتی در محیط کار

منابع آلودگی هوای بیمارستان ها

❖ مهمترین منبع آلودگی هوا در محیط بیمارستان میکروارگانیزم های پاتوژن بصورت انفرادی یا گروهی بهم چسبیده و یا در قالب بیوائروسل هستند

❖ ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در بخش های مختلف بیمارستان

- فرم آلدهید، زایلن و ... در بخش های پاتولوژی
- پرکلرواتیلن و دیگر ترکیبات شوینده در لنژی
- ترکیبات آلدهیدی مانند آکرولئین در آشپزخانه
- ترکیبات بیهوشی آور مانند ایزوفلوران، سووفلوران در اتاق های عمل
- انواع حلالها در آزمایشگاه

لیست مواد شیمیایی مورد استفاده در بیمارستان

جدول لیست موادگندزدا و ضدعفونی کننده

ردیف	ماده شیمیایی	محل کاربرد
۱	آنیوس	VIP، اتاق عمل سوختگی
۲	اینترومن	اورژانس
۳	نانوسل	اتاق عمل سوختگی
۴	درموسپت	جراحی سوختگی
۵	سارفوسپت ۱	ICU، اتاق عمل، جنرال
۶	سارفوسپت ۲	ICU، اورژانس، درمانگاه، اتاق عمل، جنرال، جراحی ها
۷	سارفوسپت کوئیک	جراحی ۱ و ۲، اورژانس، اتاق عمل
۸	سارفوسپت ابزار	VIP، انبار، جراحی سوختگی
۹	سولارسپت	VIP، اتاق عمل سوختگی
۱۰	آب اکسیژنه	اتاق های عمل، جراحی ۱ و ۲
۱۱	اپی مکس	جراحی سوختگی
۱۲	سپتی سیدین پی سی	تمام بخشها
۱۳	فرمالین	پاتولوژی آزمایشگاه
۱۴	استرانیوس ۲ درصد	بخش های درمانی
۱۵	میکروزد GP	درمانگاه، انبار
۱۶	میکروزد کوآنیول	انبار
۱۷	DDSH	VIP، جراحی سوختگی
۱۸	شیشه شور	VIP
۱۹	مایع دستشویی	VIP، درمانگاه انبار، اورژانس
۲۰	مایع ظرفشویی	اورژانس، انبار
۲۱	وایتکس	اورژانس، انبار، جراحی سوختگی، درمانگاه

ردیف	ماده شیمیایی	بخش
۱	قرص فرمالین	اتاق عمل سوختگی
۲	دی اکسید کربن	تمام بخش ها
۳	هیدروکلرید سدیم	جراحی ها، اورژانس، درمانگاه، آزمایشگاه، اتاقهای عمل، جنرال، فیزیوتراپی، ICU
۴	هیپوکلرید سدیم و پودر فسفات	اتاق عمل سوختگی
۵	گاز اکسیژن	بخش درمانی
۶	محلول ثبوت و ظهور عکس	رادیولوژی
۷	سدیم آزید	پاتولوژی آزمایشگاه
۸	نیترواکساید ایزوفلوراین	اتاق های عمل
۹	گریس	تاسیسات و جایگاه امحاء زباله
۱۰	اسید سولفوریک	آزمایشگاه
۱۱	اسپری چربی گیر	تمام بخش ها، آشپزخانه، لنزری، امحاء زباله
۱۲	جوهر نمک	کلیه بخش ها، آشپزخانه، لنزری، امحاء زباله
۱۳	استرانیپوس	انبار، اورژانس، اتاق عمل سوختگی
۱۴	اسید استیک ۵ درصد	ICU، جراحی او ۲، آزمایشگاه
۱۵	الکل	ICU، جنرال، جراحی او ۲، آزمایشگاه، اورژانس، اتاق های عمل، درمانگاه
۱۶	بتادین	ICU، جنرال، آزمایشگاه، بخش های جراحی، اتاق های عمل او ۲، پاتولوژی

عوامل بیولوژیک در محیط بیمارستان

عطسه ممکن است باعث انتشار ۴۰ هزار قطره ریز با قطر بین ۰/۵ الی ۱۲ میکرون گردد، که با سرعت تا ۱۰۰ متر بر ثانیه از بینی خارج می شوند (۱). در حالیکه سرفه حدود ۳ هزار قطره بسیار ریز ایجاد می کند. تقریباً همین تعداد قطره در طی ۵ دقیقه صحبت کردن بوجود می آید. شکل ۱ انتشار ذرات ریز در هنگام عطسه و سرفه را نشان می دهد.

میکروارگانیزم های منتقله از هوا در بیمارستان

جدول ۱- میکروارگانیزم های منتقله از طریق هوا (۲)

ویروس	باکتری	قارچ	
سرخک (روپلا)، ویروس زونا	مایکو باکتریوم توبرکلوزیس	گونه های اسپرژیلوس، موکورالس (گونه های رایزوپوس)	گزارشات متعدد از مراکز بهداشتی درمانی
ویروس آبله مرغان (واریلا)، ویروس های آنفلونزا، آدنو ویروس ها، نورواک ویروس	گونه های اسپنتوباکتر، گونه های باسیلوس، گونه های بروسلا**، استافیلوکوکوس آرتوس، استرپتوکوکوس گروه A	آکرومونیوم، فوزاریوم، پسودو آشریا بوئیدی، گونه سودوسپوریدیوم، اسپورتریکس سیانسیس	گزارشات موردی از مراکز بهداشتی درمانی
هانتا ویروس، لاسا ویروس، ابولا ویروس	کوکسیلا بورنتی (تب Q)	کوکسیدوئیس ایمیتس، گونه های کریپتو کوکوس، هیستوپلاسما کپسولاتوم	منتقله از هوا در طبیعت: (گزارشی از انتقال توسط هوا در مراکز بهداشتی درمانی موجود نیست)

* این لیست میکروارگانیزم هایی منتقله از آئروسول های تولیدی از آب را شامل نمی گردد.

** مدارک و مستندات نشان دهنده انتقال آن از طریق هوا در آزمایشگاهها می باشد نه در بخش های مراقبت از بیمار

جدول ۲- قارچهای بیماریزای با منشأ محیطی در بیمارستانها و مراکز بهداشتی درمانی (۲).

گونه قارچ	مسیر انتقال محیطی
آسپرژیلوس	عملکرد نامناسب سیستم تهویه،* فیلترهای هوا، چارچوب فیلتر هوا، جریان برگشتی هوای آلوده، ⁺ آلودگی هوای خروجی، سقف های کاذب، احداث ساختمان (ساخت و ساز)، پنجره های باز، جارو برقی بیمارستان، آسانسور، دیوارها، واحد آشپزخانه، غذا، گیاهان زینتی
رایزپوس	فیلتر هوا، سقف کاذب
پنیسیلیوم	پوسیدگی چوب کابینت، عایق های فایبر گلاس مجرای تهویه، فیلترهای هوا، بی حس کننده های موضعی
آکرومونوم	فیلترهای هوا
کلادسپوریوم	فیلترهای هوا

* نتایج چندین مطالعه نشان می دهد که مدفوع پرندگان مانند کبوتر باعث انتشار آسپرژیلوس، کریپتوکوکوس و

گونه های هیستوپلاسما در بیمارستان شده است(۲)

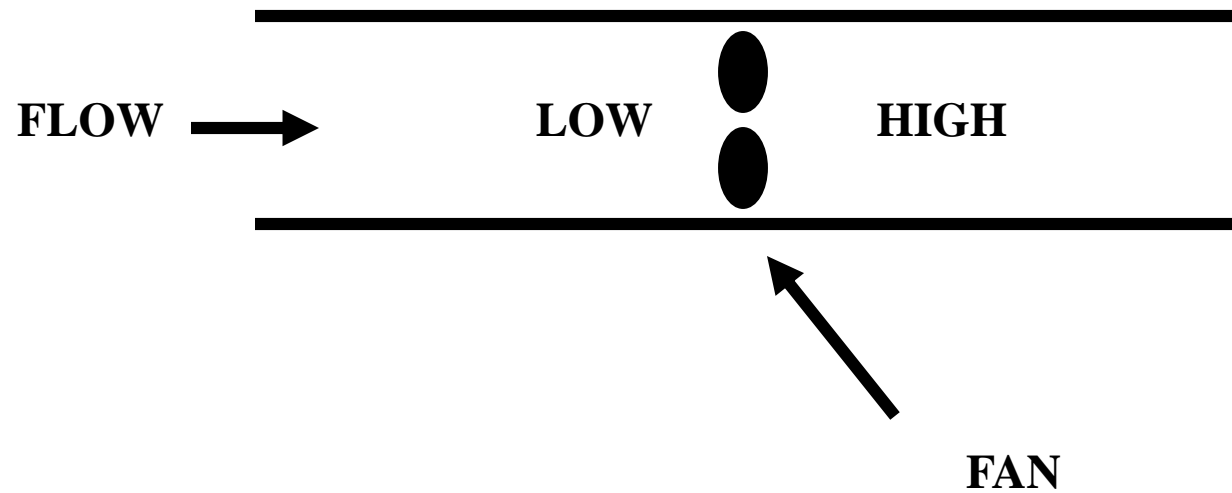
جدول ۳- دوز عفونی عوامل عفونت بیمارستانی منتقله از هوا (۳۱،۱۱)

تعداد موارد سالانه در آمریکا	دوز عفونی (تعداد)	نوع	میکروب
۲ میلیون	۲۰	واگیر	ویروس آنفلونزا A
۵۰۰۰۰۰	ND	واگیر	ویروس سرخک
۵۰۰۰۰۰	ND	واگیر	استافیلوکوکوس پنومونیا
۲۱۴۰۰۰	ND	واگیر	استافیلوکوک پیوژنز
۴۶۰۱۶	ND	واگیر	ویروس آبله مرغان (واریسلا)
۲۸۹۰۰	ND	واگیر	پارا اینفونزا ویروس
۲۰۰۰۰	۱-۱۰	واگیر	مایکوباکتریوم توبرکلوزیس
۶۵۶۴	۴	واگیر	بردوتلا پرتوسیسی
۳۰۰۰	۱۰-۶۰	واگیر	روبلا ویروس
۲۷۵۰	ND	واگیر	استافیلوکوک آرنوس
۲۶۵۰	ND	غیر واگیر	سودوموناس آئروژینوزا
۱۴۸۸	ND	واگیر	کلبسیلا پنومونیا
۱۱۶۳	۱۲۹	واگیر	لژیونلا پنوموفیلا
۱۱۶۲	ND	واگیر	هموفیلوس آنفلونزا
۱۰۰۰	۱۰	غیر واگیر	هیستوپلاسما کپسولاتوم
۶۶۶	ND	غیر واگیر	آسپرژیلوس
۱۴۷	ND	واگیر	اسینتوباکتر
۱۰	ND	واگیر	کورینه باکتریوم دیفتریا
۱۰	ND	واگیر	ویروس سارس
ND	۱۵۰	واگیر	آدنو ویروس
ND	۱۰۰	واگیر	رینو ویروس
ND	۸۰۰۰۰۰۰ اسپور	واگیر	قارچ پاراکوکسیدیودیس
ND	۱۰۰	واگیر	مایکوپلاسما پنومونیا
ND	۱۱۰	واگیر	نیسریا مننژیتیدیس
ND	۱۱۰۰۰ اسپور	واگیر	بلاستومایسز درماتیدیس
ND	۱۰۰۰ مخمر	واگیر	کریپتوکوکوس نئوفورمانس
ND	۶۷	واگیر	کوکساکسی ویروس

اختلاف فشار هوا بعنوان مبنای جابجایی هوا

- طراحان سیستم های تهویه به منظور کنترل آلودگی هوا تلاش می کنند تا در محیط **اختلاف فشار** ایجاد کنند.
- همانند بسیاری از گازها هوا نیز **از ناحیه پر فشار به ناحیه کم فشار** جریان می یابد.
- طراحان سیستم های تهویه با کمک وسایل به حرکت درآورنده هوا با ایجاد نواحی کم فشار و پرفشار، آلاینده ها را به سمت مورد نظر هدایت می کنند.

Pressure Differential Causes Movement



The density (ρ) of the air is defined as its mass per unit volume and is normally expressed in pounds mass per cubic foot (lbm/ft^3). At standard atmospheric pressure (14.7 psia), room temperature (70 F) and zero water content, its value is normally taken to be $0.075 \text{ lbm}/\text{ft}^3$, as calculated from the perfect gas equation of state relating pressure, density, and temperature:

$$\rho = \rho RT \quad [1.1]$$

where:

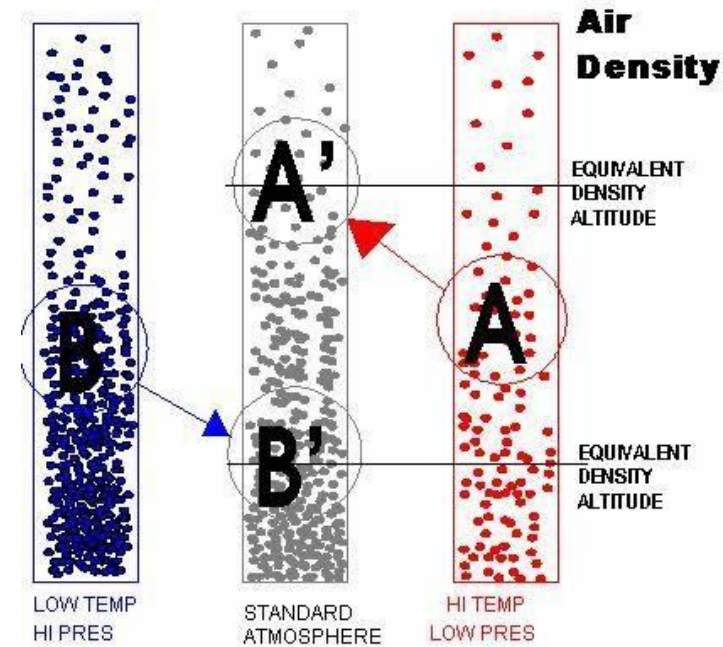
ρ = the absolute pressure in pounds per square foot absolute (psfa)

ρ = the density, lbm/ft^3

R = the gas constant for air and equals $53.35 \text{ ft}\cdot\text{lb}/\text{lbm}\cdot\text{degrees Rankine}$

T = the absolute temperature of the air in degrees Rankine

Note that degrees Rankine = degrees Fahrenheit + 459.7.



From the above equation, density varies inversely with temperature when pressure is held constant. Therefore, for any dry air situation (see Chapter 5 for moist air calculations),

$$\rho T = (\rho T)_{\text{STD}}$$

or

$$\rho = \rho_{\text{STD}} \frac{T_{\text{STD}}}{T} = 0.075 \frac{530}{T} \quad [1.2]$$

For example, the density of dry air at 250 F would be

$$\rho = 0.075 \frac{530}{460 + 250} = 0.056 \text{ lbm}/\text{ft}^3$$

Pressure

Air moves under the influence of differential pressures. A fan is commonly used to create this difference of pressure in a duct system. At sea level the standard static pressure of air is 14.7 psi (pounds per square inch) or 29.92 inch Hg (mercury), or 407 inches of water. If the fan generates one inch of negative static pressure ("1 inch w.g. SP") as shown in figure 1, then the absolute static pressure in the duct will be 406 inches water gage pressure and can be measured with a manometer.

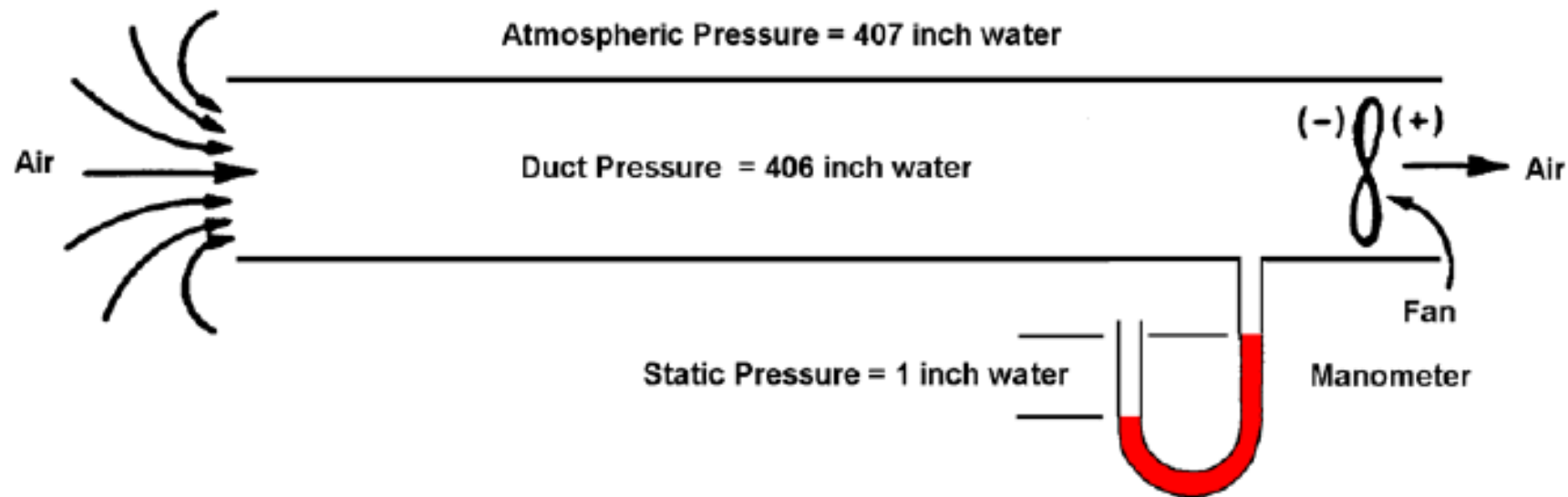


Figure 1. Pressure Differences Create Air Movement

روشهای کنترل عوامل شیمیایی

اجرای

فنی

حفاظت فردی

Engineering controls

- ❖ Designing-building, work station
- ❖ **Industrial Ventilation**
- ❖ Mechanization
- ❖ Substitution
- ❖ Enclosure
- ❖ Isolation

تهویه (Ventilation)

- **تعریف:** تهویه تامین هوای پاک (از نظر شرایط جوی) و گرفتن و تخلیه آلاینده های هوا از محیط که ممکن است همراه تصفیه یا بدون تصفیه باشد.

❖ تقسیم بندی روشهای تهویه

۱- تهویه طبیعی (Natural Ventilation)

۲- تهویه مکانیکی (Mechanical Ventilation)

- تهویه مکانیکی با دو هدف مورد استفاده قرار می گیرد:

۱- کنترل شرایط جوی: تهویه مطبوع (Air Conditioning)

۲- کنترل آلاینده ها: تهویه صنعتی (Industrial Ventilation)

تهویه بمنظور کنترل آلودگی هوا

- **تهویه عمومی یا رقتی (General or Dilution Ventilation)**

وارد کردن توده هوای پاک یا خارج کردن هوای آلوده (یا هر دو بطور همزمان) به منظور کاهش تراکم آلاینده های هوای محیط تا مقدار قابل قبول.

- **تهویه موضعی (Local Exhaust Ventilation):**

دمش هوای پاک بزرگ موضعی (تهویه موضعی دمشی) یا **مکش هوای آلوده** از موضع انتشار آلاینده و هدایت آن به محیط خارج از کارگاه

– **تهویه موضعی دمشی:** تحت تاثیر هوای پر فشار پاکسازی موضعی محل تولید آلودگی یا موضع تولید یک محصول یا انجام یک فرآیند انجام می شود. کاربرد آن برای محیطها و شرایط خاص است (مثالهای کاربردی)

– **تهویه موضعی مکشی (Local Exhaust Ventilation)** رایج ترین سیستم تهویه صنعتی برای کنترل آلاینده های هوای محیطهای کاری است.

موارد کاربرد تهویه رقتی

- ❖ سمیت آلاینده پائین باشد (ترجیحاً $TLV < 100 \text{ ppm}$)
- ❖ عدم نیاز به بازیافت آلاینده ها
- ❖ حجم انتشار آلاینده ها زیاد نباشد
- ❖ ترجیحاً انتشار یکنواخت آلاینده ها
- ❖ مواجهه کارگر با آلاینده ها بیشتر از میانگین تراکم آلاینده در محیط نباشد
- ❖ شرایط جوی مساعد
- ❖ آلاینده ذره ای شکل نباشد
- ❖ منابع انتشار آلاینده متعدد باشد

انواع تهویه رقتی در بیمارستان ها

- ۱- تهویه رقتی دمشی
- ۲- تهویه رقتی مکشی
- ۳- تهویه رقتی دمشی-مکشی



ضریب K در تهویه رقتی بیمارستان

بدلیل عدم اختلاط کامل هوای تمیز وارد شده به کارگاه و آلودگی تولید شده، مقدار هوای واقعی موردنیاز بیش از هوای مؤثر بوده و به این دلیل ضروری است مقدار هوای مؤثر در یک ضریب بنام K ضرب گردد. مقدار K از ۱-۱۰ انتخاب می شود.

ضریب K به عوامل زیر بستگی دارد:

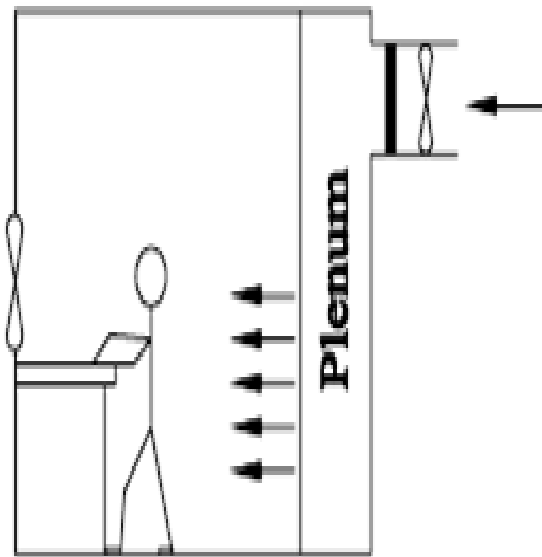
۱. کارایی اختلاط (محل اسقرار توزیع کننده‌ها و تخلیه کننده‌های هوا)
۲. سمیت آلاینده

موادی با سمیت کم	$TLV > 500 \text{ ppm}$
مواد با سمیت متوسط	$100 < TLV < 500$
موادی با سمیت زیاد	$TLV < 100 \text{ ppm}$

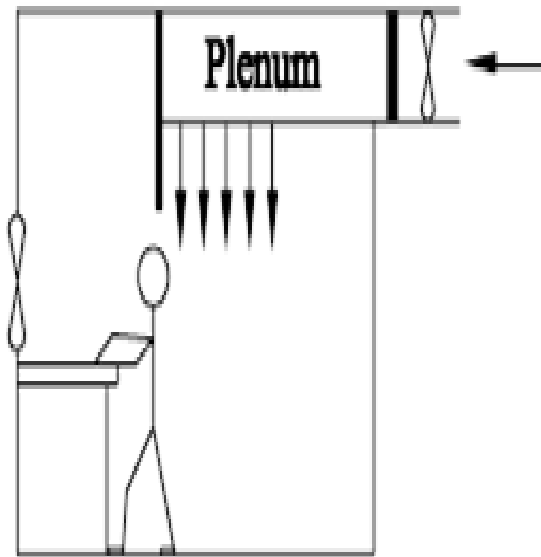
۲۱

۳. بر اساس تجربه کارشناس

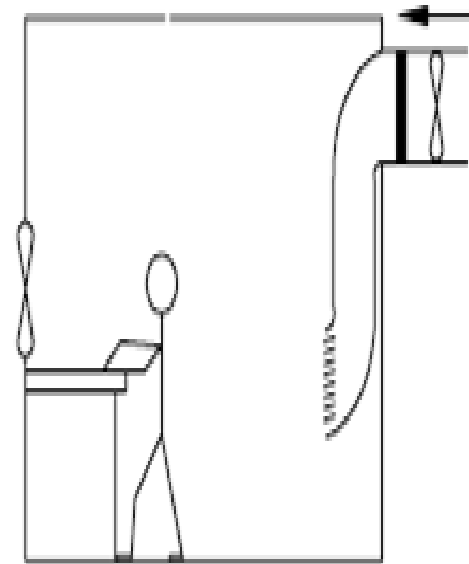
کارآیی اختلاط و مقدار ضریب K



BEST AIR INLET
Best exhaust
K = 1.0 minimum

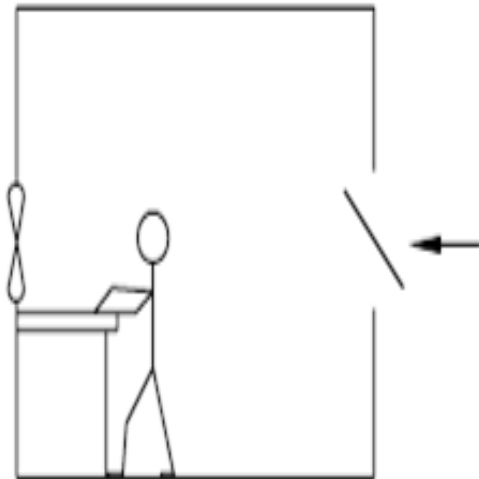


BEST AIR INLET
Best exhaust
K = 1.0 minimum

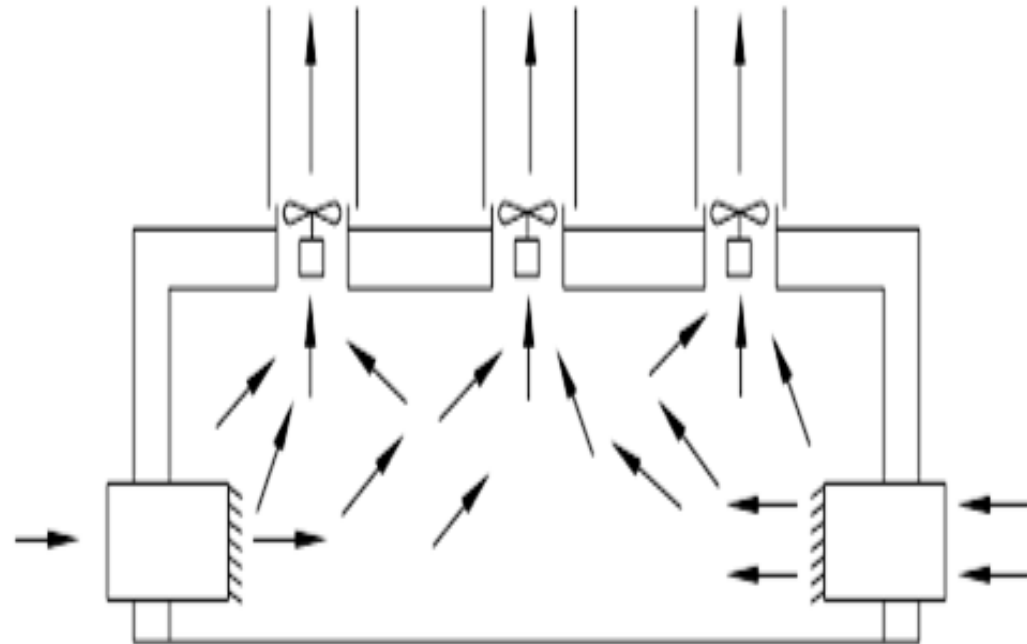


BEST AIR INLET
Best exhaust
K = 1.0 minimum

کارایی اختلاط و مقدار ضریب K

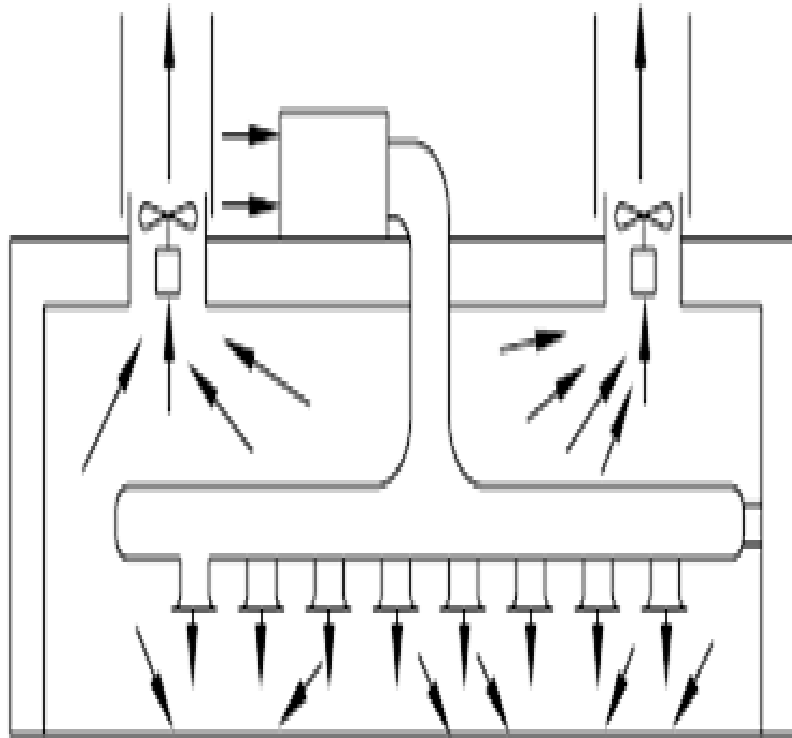


FAIR AIR INLET
Best exhaust
 $K = 2.5$ minimum

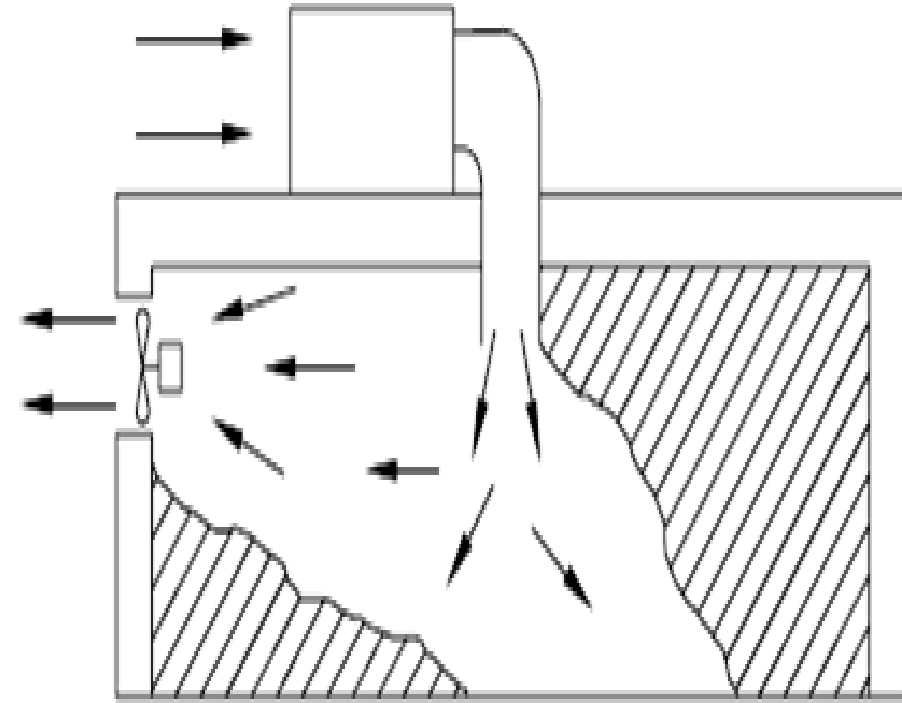


FAIR
 $K = 2$ to 5
ef. 2.2
R

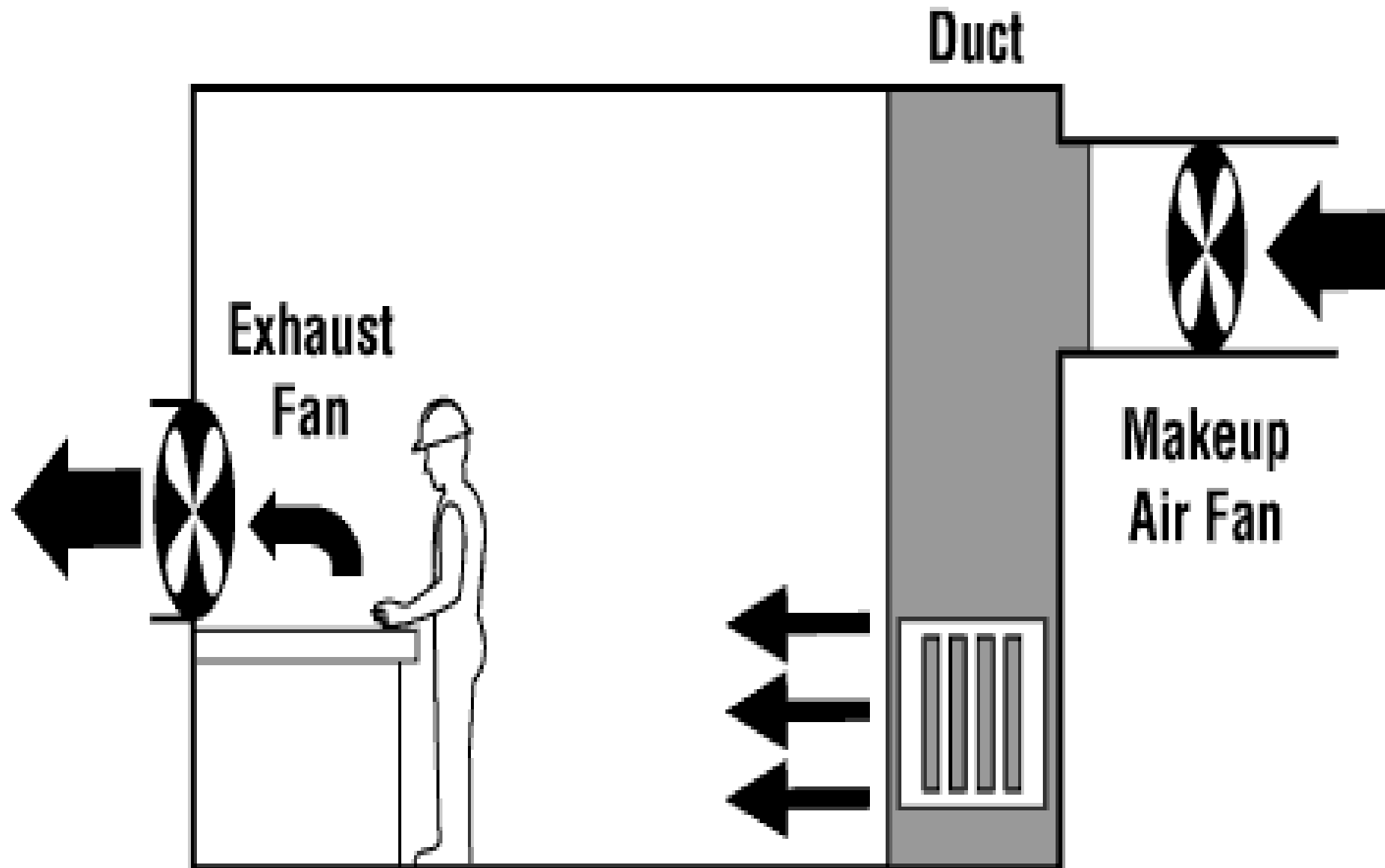
کارایی اختلاط و مقدار ضریب K



GOOD
 $K = Re^{1/2}$

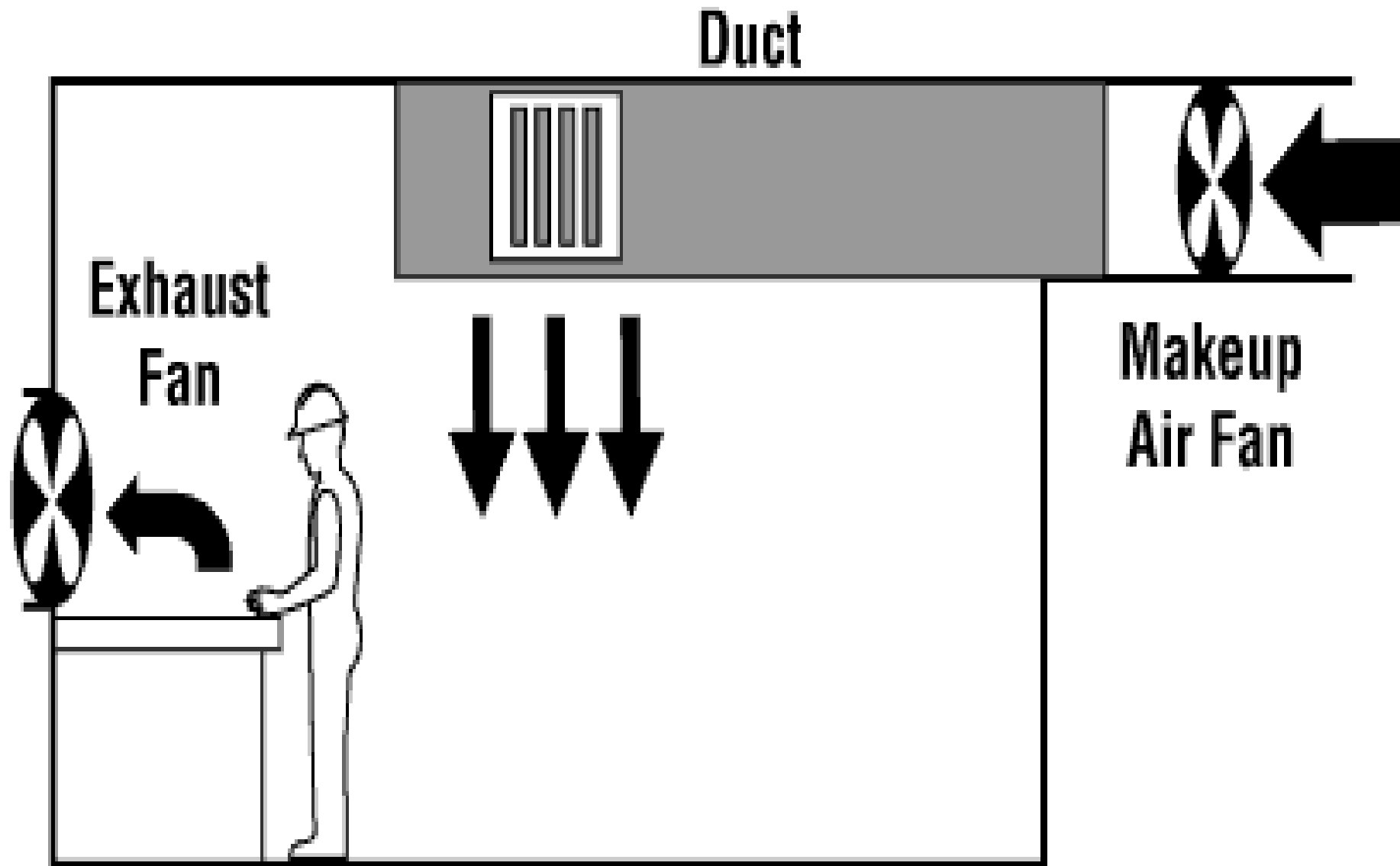


POOR
 $ReK \approx 25$ to 10



BEST air inlet

BEST exhaust

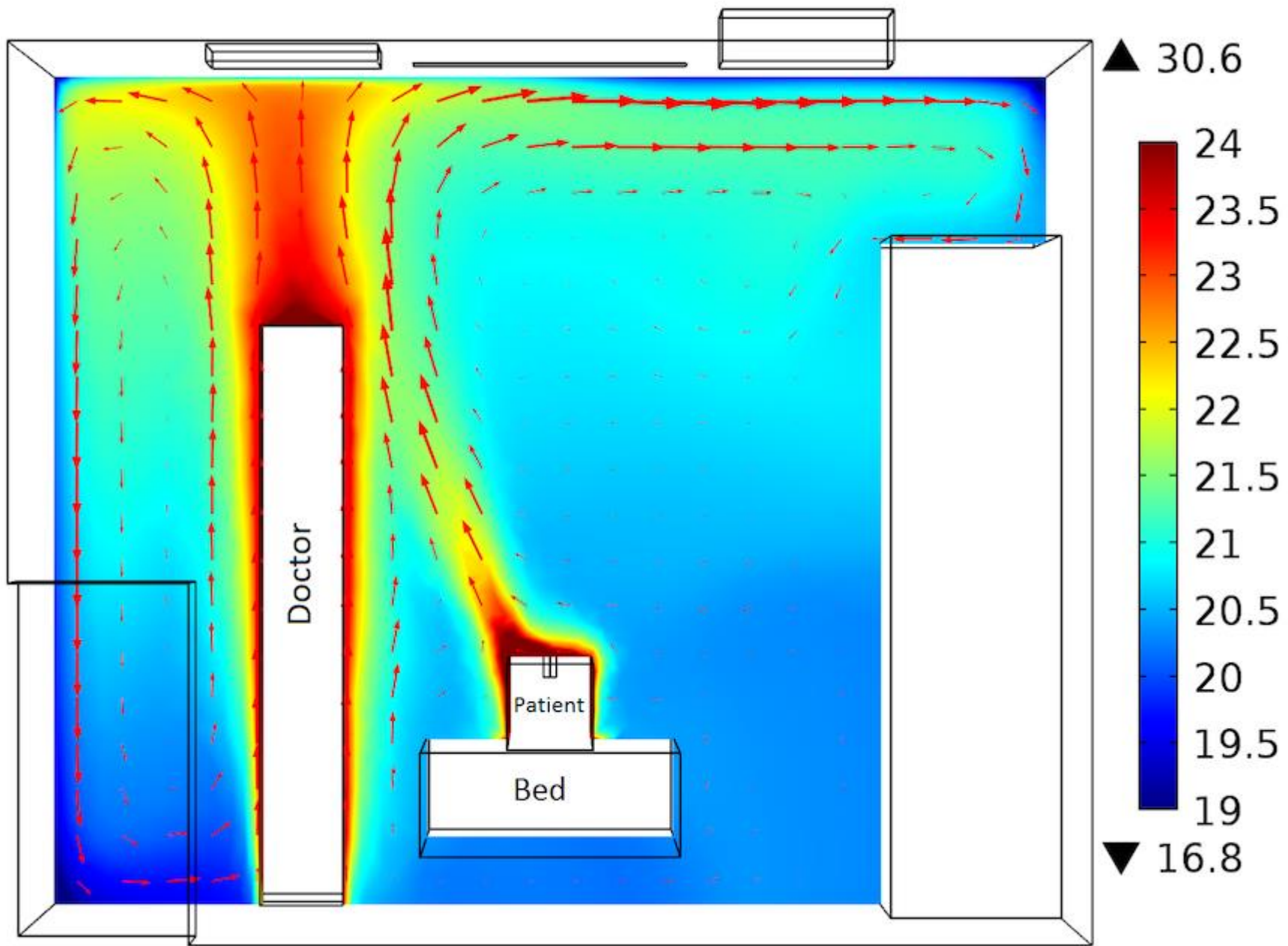


BEST air inlet

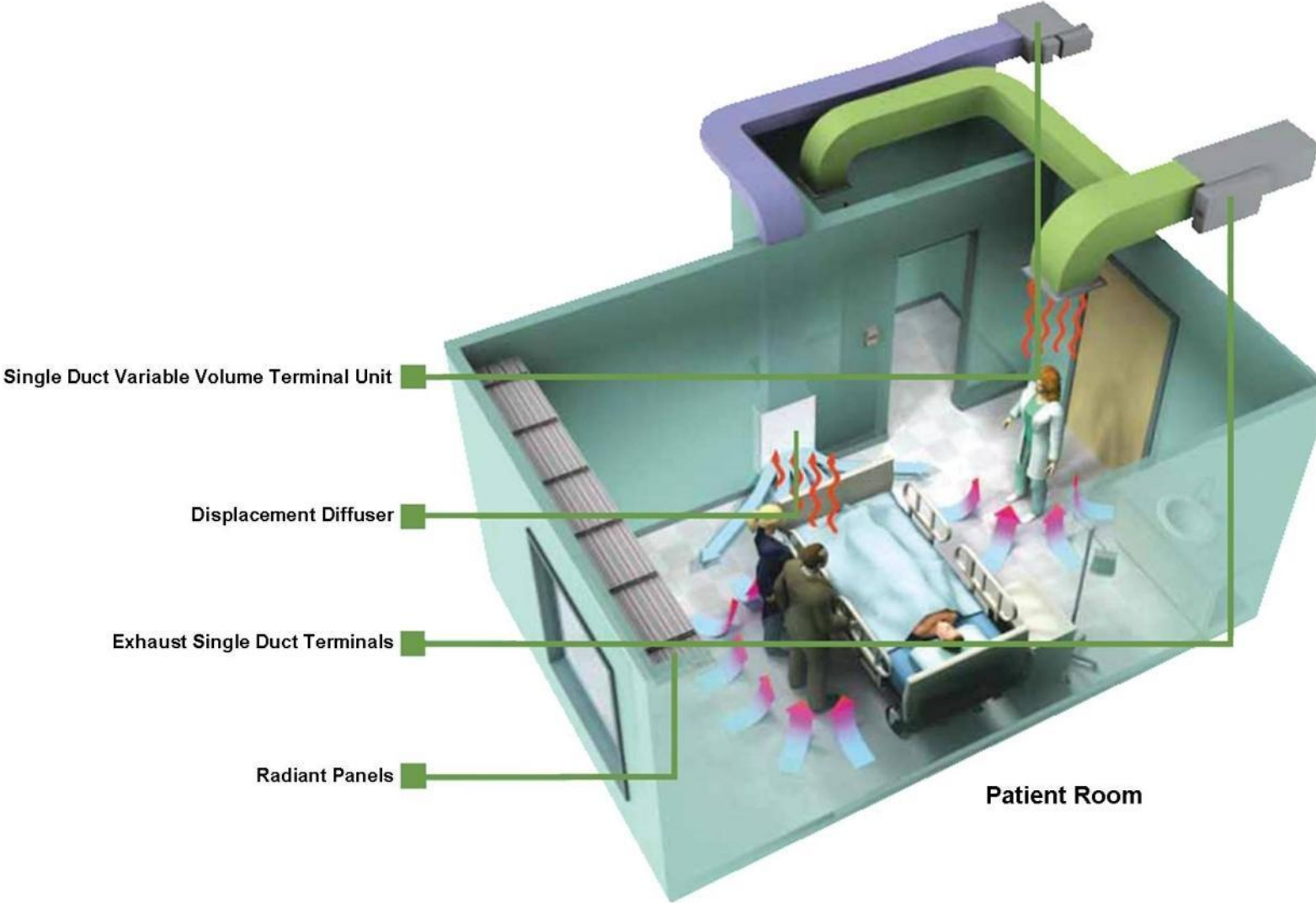
BEST exhaust

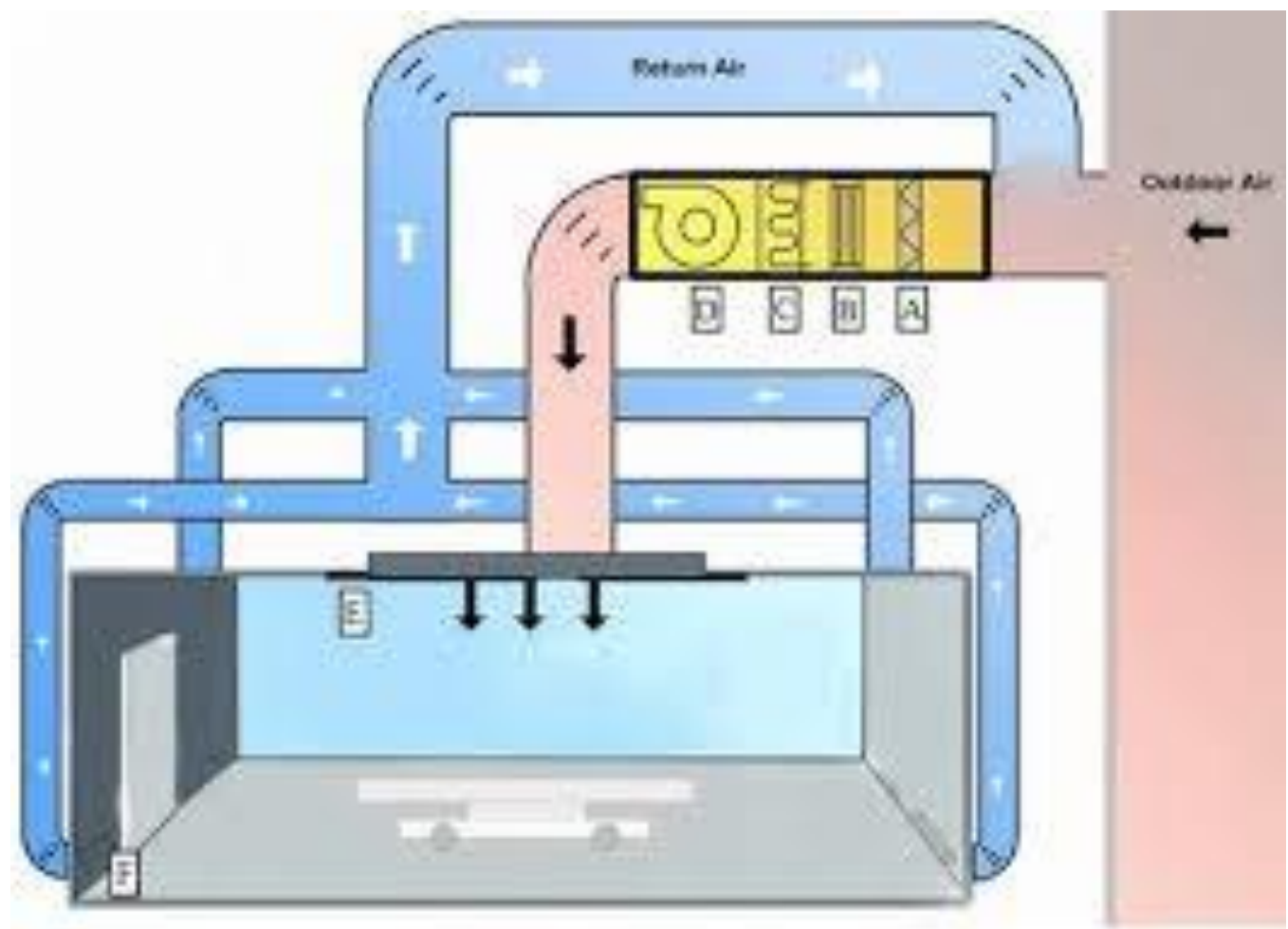
تهویه عمومی و مطبوع برای واحدهای اداری





Displacement Ventilation with 100% Outside Air





اساس قضاوت کارشناس بهداشت حرفه‌ای

- محل های استقرار تخت بیمار نسبت به منابع آلاینده
- تحلیل موقعیت و فضا های زیر:

- Dead air space
- Fresh air space
- موقعیت قرار گیری تخت بیمار -

- - موقعیت و تعداد نقاط مولد آلودگی در اتاق بیمار و یا محیط بیمارستان
- تغییرات فصلی در تهویه طبیعی
- کاهش راندمان دستگاههای مکانیکی به حرکت درآورنده هوا
- سایر مواردی که ممکن است در انتشار هوای ناسالم در محیط بیمارستان، از بیمار به محیط یا از محیط به بیمار مؤثر باشد.

نکاتی که در انتخاب K بایستی مد نظر قرار گیرند:

✓ میزان سمیت آلاینده

✓ میزان حرکت و شکل گیری آن (معمولاً غیر یکنواخت است)

✓ میزان موثر بودن سیستم تهویه

✓ تعداد کارگران

نکته:

بالا بودن میزان K نشان دهنده شرایط بد جریان هوا و تعداد زیاد کارگران در معرض تماس است.

نکاتی که در انتخاب K بایستی مد نظر قرار گیرند:

- برای محیط بیمارستان که کنترل عفونت و عدم انتشار میکروارگانیسم ها اهمیت اساسی دارد وجود میکروارگانیسم های گروه های پاتوژن در محاسبه ضریب K لازم است لحاظ شود

روابط تهویه رقیق‌سازی عمومی

هوای موردنیاز برای تهویه رقیق‌سازی یک آلاینده که بطور یکنواخت تولید می‌شود را برای حالتی که بخواهیم غلظت آلاینده در داخل کارگاه ثابت نگهداشته شود و با فرض اینکه هوای تمیز مورد استفاده فاقد آلودگی است می‌توان از رابطه اساسی تعادل مواد برآورد کرد یعنی:

$$\text{مقدار دفع} - \text{مقدار تولید} = \text{مقدار تجمع}$$

در شرایط پایدار یعنی در شرایطی که قرار است غلظت آلاینده در محیط کار در یک حد ثابت نگهداشته شود:

$$Q' = \frac{G}{C}$$

G – میزان تولید

Q' – حجم هوای مؤثر

C – غلظت گاز و یا غبار

بدلیل **عدم اختلاط کامل** هوای تمیز وارد شده به کارگاه و آلودگی تولید شده، مقدار هوای **واقعی** موردنیاز بیش از هوای **مؤثر** بوده و به همین دلیل ضروری است مقدار هوای **مؤثر** در یک ضریب بنام **K** ضرب گردد:

$$Q' = \frac{G}{C} \quad , \quad Q = K \frac{G}{C}$$

Q - میزان هوای واقعی مورد نیاز

Q' - میزان هوای مؤثر مورد نیاز

K - ضریب اختلاط

برای حلال های مایع میزان تولید مساوی است با:

$$G = \frac{F \times S.G \times W}{M}$$

G = میزان بخار تولید شده بر حسب CFM

F = فاکتور تبدیل برای واحدهای حجم مایع تبخیر شده (جدول)

S.G = چگالی نسبی مایع فرار

W = حجم مایع تبخیر شده در دقیقه

M = وزن مولکولی مایع

با جایگزینی مقدار G در رابطه می توان نوشت:

$$Q' = \frac{F \times S.G \times W \times 10^6}{M \times C}$$

فاکتورهای محاسبه جریان هوا در تهویه رقتی

فاکتور تبدیل F	حجم مایع تبخیر شده W
6.7	پینت بر ساعت
403	پینت بر دقیقه
53.7	گالن بر ساعت
3222	گالن بر دقیقه
14.1	لیتر بر ساعت
846	لیتر بر دقیقه

مثال

• اگر 5 گالن تولوئن در اتاقی به ابعاد 100 در 80 در 400 فوت در طول یک شیفت 8 ساعته تبخیر شود، اولاً میزان حجم بخار و همچنین میزان حجم هوای مورد نیاز جهت رقیق سازی آن را تا 100 پی پی ام به دست آورید ($K=4$). ثانیاً سرعت جریان هوا را در این کارگاه به دست آورده و معین کنید که تعداد تعویض هوا در ساعت در آن چقدر است؟

$$M=92.13$$

$$SG=0.866$$

$$G = \frac{F \times S.G \times W}{M}$$

$$G = \frac{3222 \times 0.866 \times 5}{92.13 \times 8 \times 60} = 0.32$$

$$Q = \frac{G \times 10^6 \times K}{C}$$

$$Q = \frac{0.32 \times 10^6 \times 4}{100} = 12800$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12800}{100 \times 80} = 1.6$$

$$V = 100 \times 80 \times 400 = 320000$$

$$\frac{12800}{320000} \times 60 = 2.4$$

تعداد تعویض هوا در ساعت

تهویه رقتی برای کنترل مخاطرات بهداشتی مخلوط مواد

- آیا مواد اثر **تجمعی** دارند یا خیر؟
- در صورتیکه مواد اثر **تجمعی** دارند و یا اطلاعات دقیق مبنی بر مستقل بودن اثر آنها در دست نیست، ارزیابی مواد و هوای مورد نیاز برای رقیق‌سازی آنها بصورت زیر است:

$$\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \frac{C_3}{TLV_3} + \dots + \frac{C_n}{TLV_n} \leq 1$$

$$Q_{Req} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

- در صورتی که مواد اثر **تجمعی نداشته** باشند، ارزیابی مواد و هوای مورد نیاز برای رقیق‌سازی آنها بصورت زیر است:

$$\frac{C_1}{TLV_1} \text{ or } \frac{C_2}{TLV_2} \text{ or } \frac{C_3}{TLV_3} \text{ or } \dots \text{ or } \frac{C_n}{TLV_n} \leq 1$$

$$Q_{Req} = Q_{Max}$$

تهویه رقتی برای پیشگیری از حریق و انفجار مخلوط مواد

هوای مورد نیاز مساوی **بیشترین** هوای مورد نیاز برای رقیق‌سازی **هر یک** از مواد می‌باشد.

$$Q_{Req} = Q_{Max}$$

Airborne isolation room اتاق های ایزوله تنفسی

اتاق ایزوله تنفسی

اتاقی با تغییرات هوا برابر یا بیش از ۱۲ بار در ساعت و جهت کنترل شده جریان هوا است. یک اتاق ایزوله تنفسی در صورت رعایت نکات لازم می تواند بطور طبیعی یا مکانیکی تهویه شود، از این اتاق در عفونت های هوابرد نظیر ابتلا به بیماری سل استفاده می گردد.

Airborne isolation room

اتاق های ایزوله محیطی

بیمارانی که مکانیسم سیستم ایمنی بدنشان به دلیل اختلالات ایمنولوژیک (به عنوان مثال ابتلا به ایدز یا سندرم نقص ایمنی مادرزادی)، بیماریهای مزمن (مانند دیابت، سرطان، شیمی درمانی، آمفیژم یا نارسایی قلبی) یا درمان سرکوب کننده ایمنی (مانند تابش، پیوند عضو، شیمی درمانی سیستوکسیک، داروهای ضد درد، یا استروئیدها) و بخصوص بیمارانی که تحت پیوند سلول های بنیادی خونساز قرار گرفته باید در اتاق ایزوله محیطی بستری گردند.

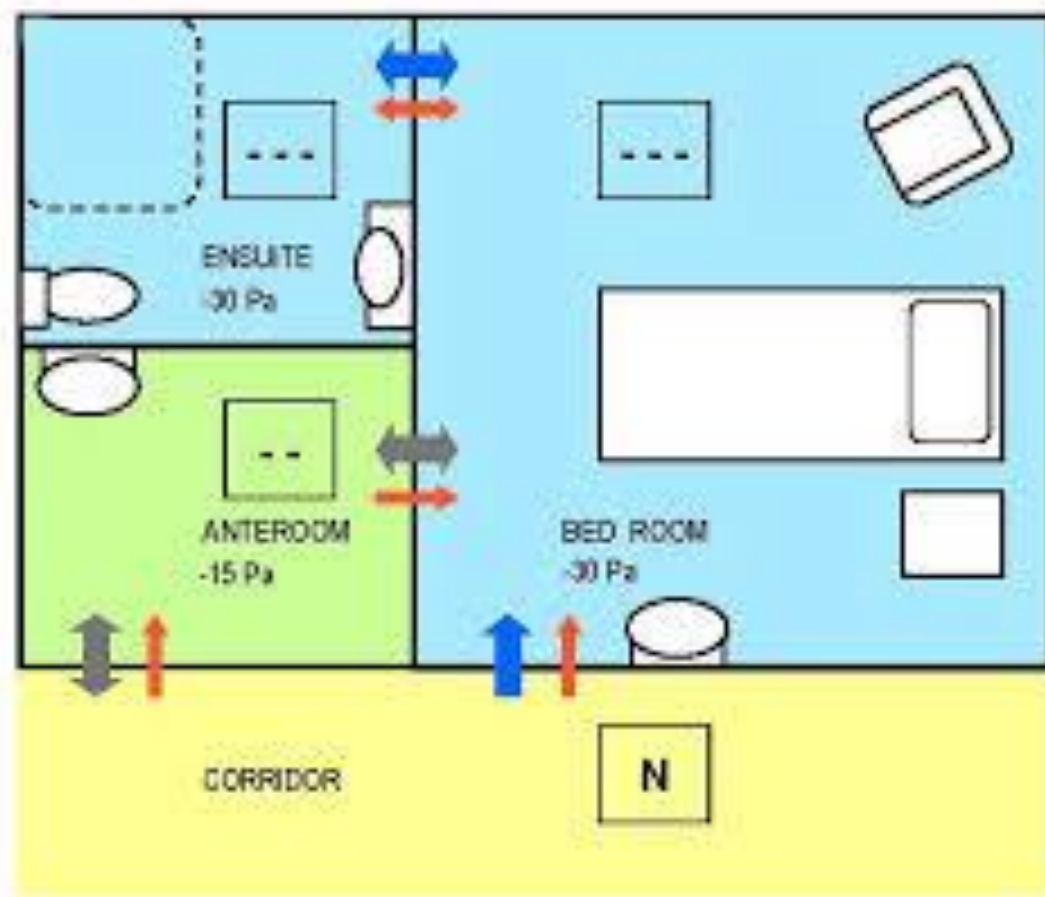
تفاوت اتاقهای ایزوله تنفسی و محیطی در روابط فشار می باشد.

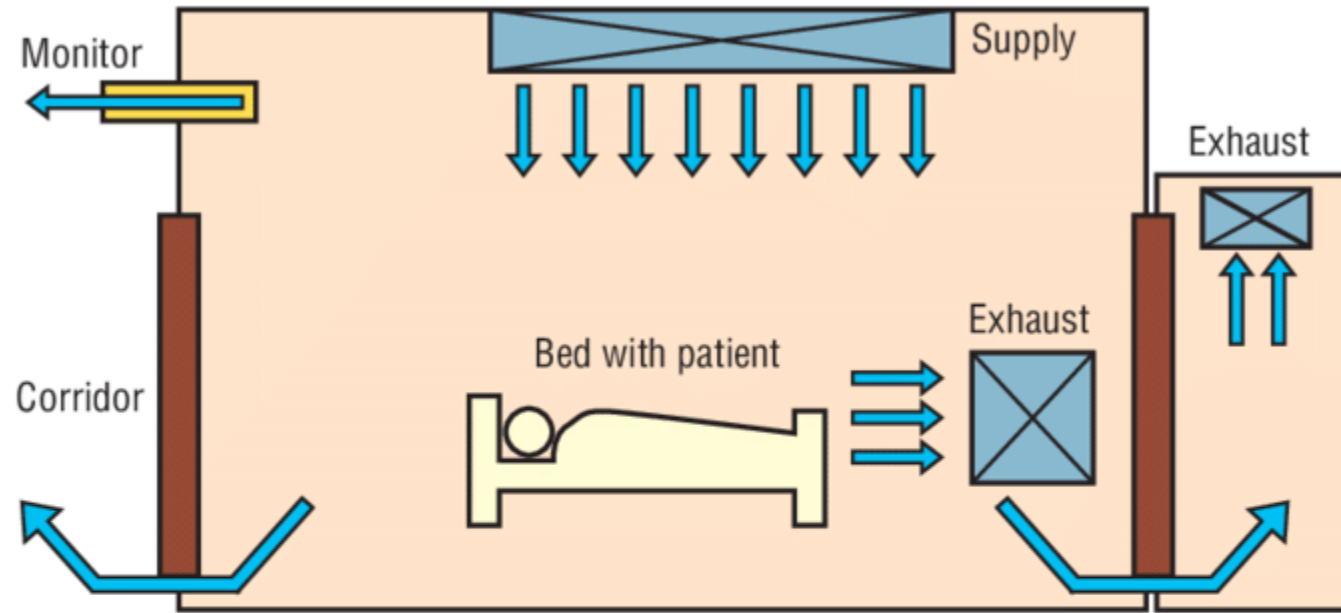
isolation room

اتاق های ایزوله

- اتاق ایزوله محیطی نسبت به اتاقهای مجاور باید فشار مثبت داشته باشد. این بخش ها به تعداد تعویض هوا فراوان (بیشتر و مساوی ۱۲ تعویض در ساعت) نیاز داشته و تمام هوای مورد نیاز از طریق عبور هوا از فیلتر هپا تامین می گردد.

- اتاق های ایزوله تنفسی باید در فشار منفی نگهداری گردد و این بخش ها به تعداد تعویض هوا فراوان (بیشتر و مساوی ۱۲ تعویض در ساعت) نیاز دارند و باید تمام هوای اتاق بدون بازچرخش در بخش، به خارج از آن تخلیه گردد.

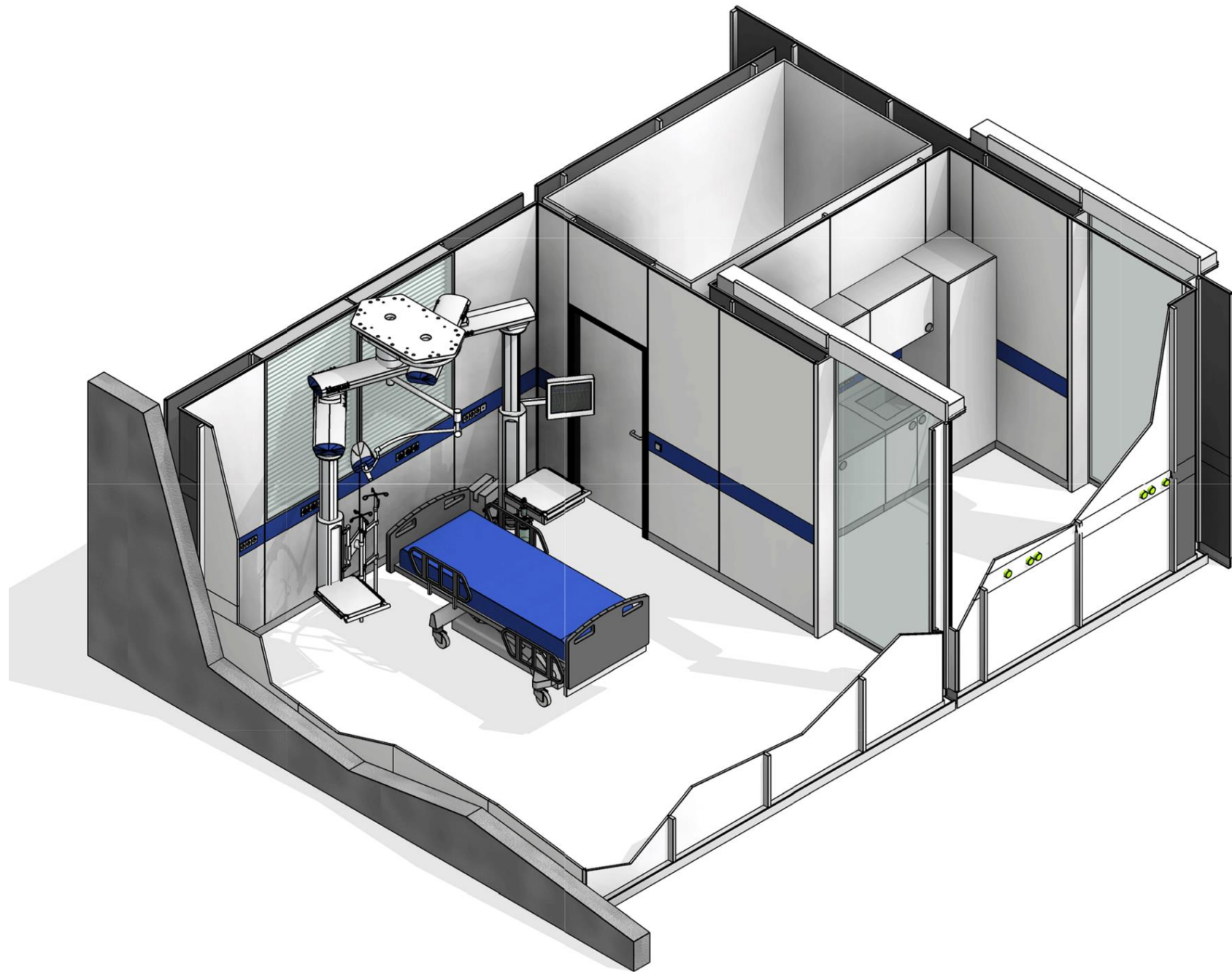




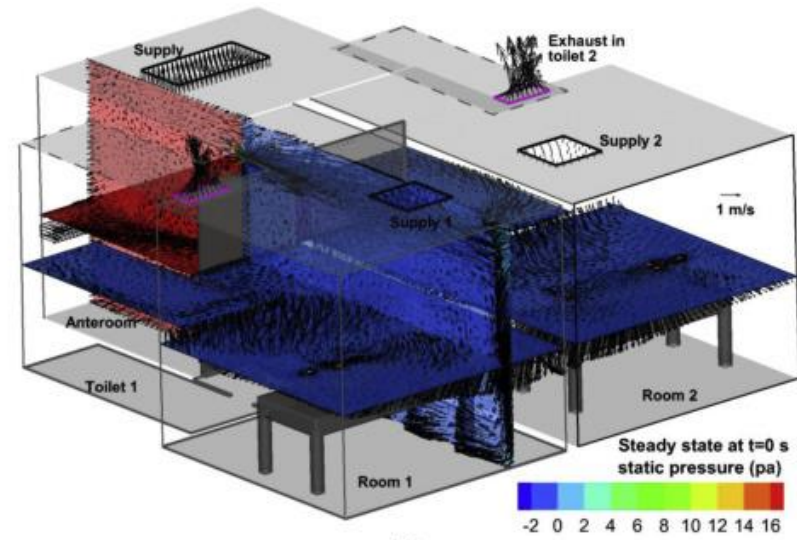
- Positive pressure (greater supply- than exhaust-air volume)
- Pressure differential 0.01-in. wg; ideal at 0.03-in. wg
- Greater than 125-cfm air-flow differential
- Sealed room with about 0.5 sq ft of leakage
- Clean-to-dirty air flow
- Monitoring
- More than 12 air exchanges per hour
- Return air recirculated through filters

Intended uses:

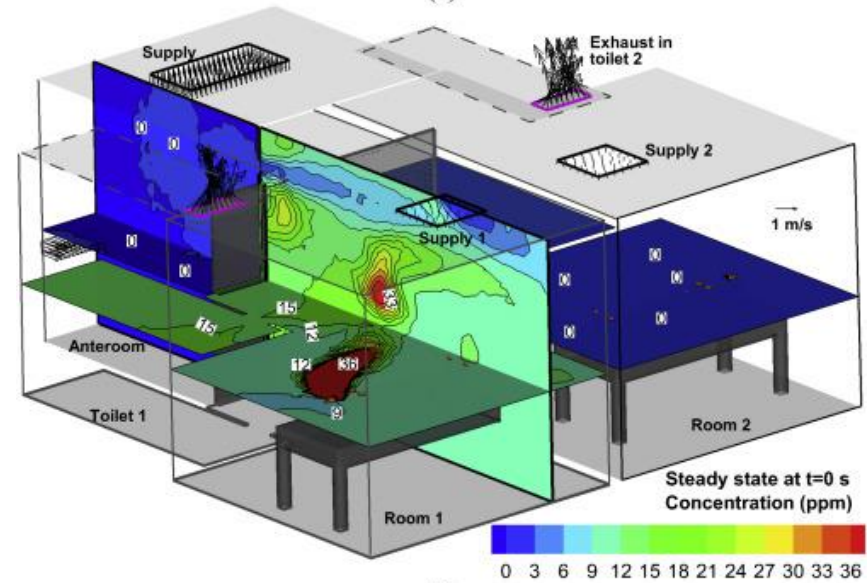
- **Rooms of patients with compromised immune systems**
- **Operating rooms**



Potential airborne transmission between two isolation cubicles through a shared anteroom



(a)



(b)



Negative pressure room

اتاق فشار منفی

اختلاف در فشار هوا بین ۲ بخش می باشد. اتاقی که تحت فشار منفی است فشار کمتری نسبت به بخش مجاور دارد، که از جریان هوا به بیرون اتاق ها و بخش های مجاور جلوگیری می نماید.

در اتاق با فشار منفی مجموع هوای خارج شده بیشتر از مجموع هوای تامین شده می باشد. این نیرو باعث ورود هوا به اتاق از راههای مختلف از جمله زیر درب و دیگر درزها و مانع از فرار ذرات عفونی می شود. این اختلاف فشار بین هوای فراهم شده و هوای خارج شده در اتاق فشار منفی بیمارستان (ایزوله تنفسی) باید برابر با ۰/۰۱ اینچ آب یا ۲/۵ پاسکال باشد (۲۱).

Figure 3. Example of negative-pressure room control for airborne infection isolation (AII)* + §¶

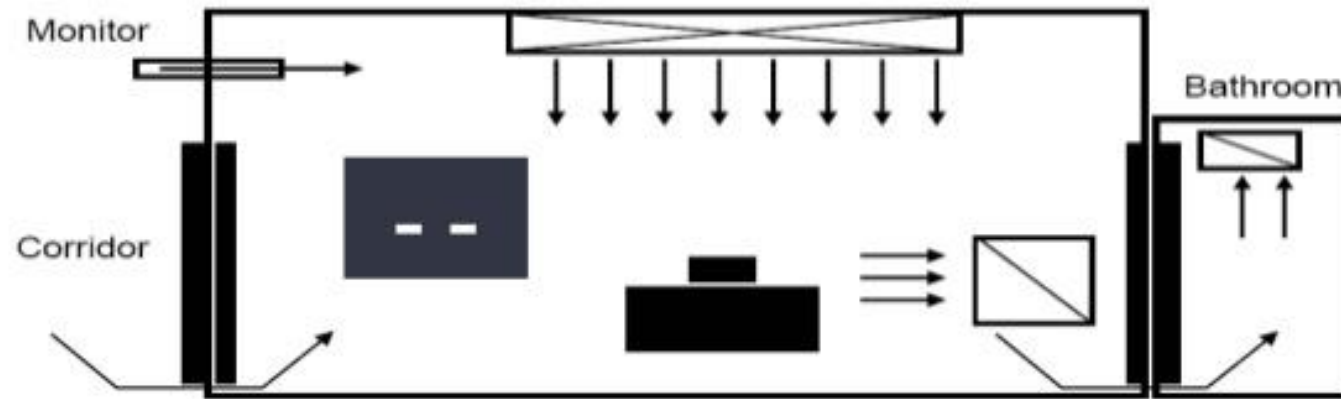


Figure 4. Example of airborne infection isolation (AII) room with anteroom and neutral anteroom* + §

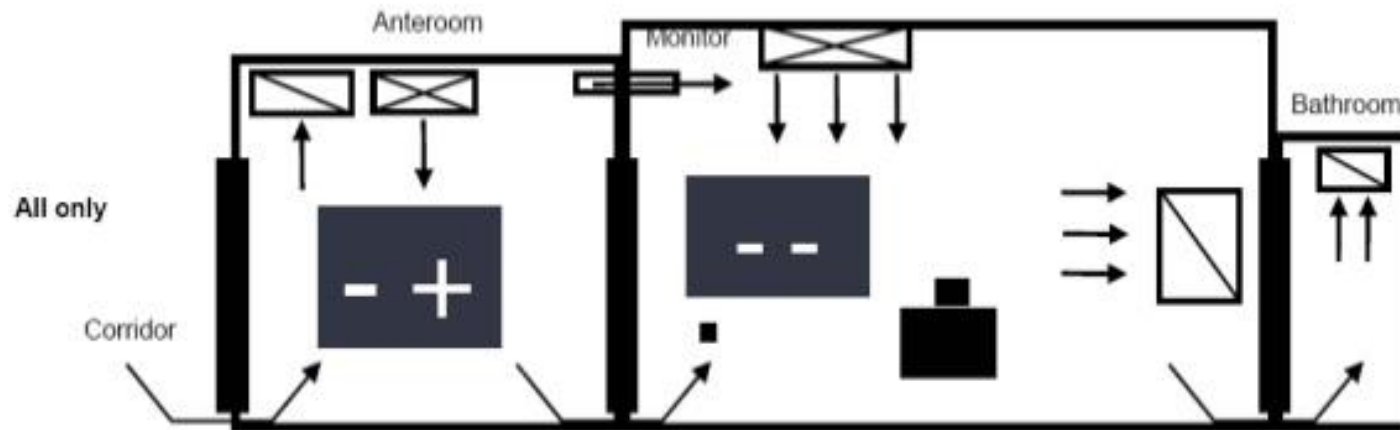
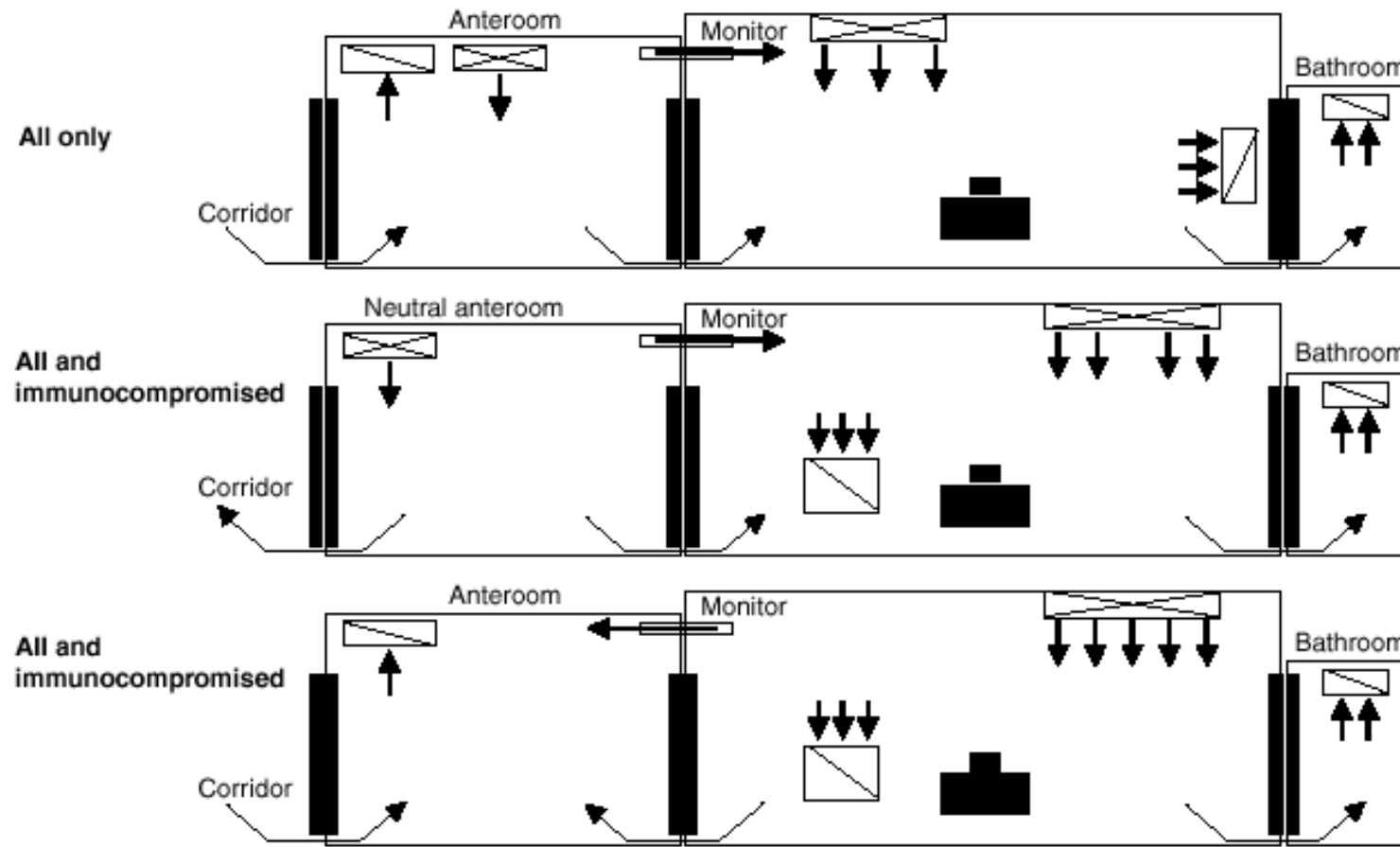


FIGURE 2. Example of airborne infection isolation (AII) room with anteroom and neutral anteroom*

اتاق های AII



Source: Used with permission from Andrew J. Streifel, M.P.H., University of Minnesota.

Note: Top diagram indicates airflow patterns when patient with only airborne infectious disease occupies room. Middle and bottom diagrams indicate recommended airflow patterns when room is occupied by immunocompromised patient with airborne infectious disease. Stacked black boxes represent patient beds. Long open boxes with cross-hatches represent supply air. Open boxes with single, diagonal slashes represent air exhaust registers. Arrows indicate directions of airflow.

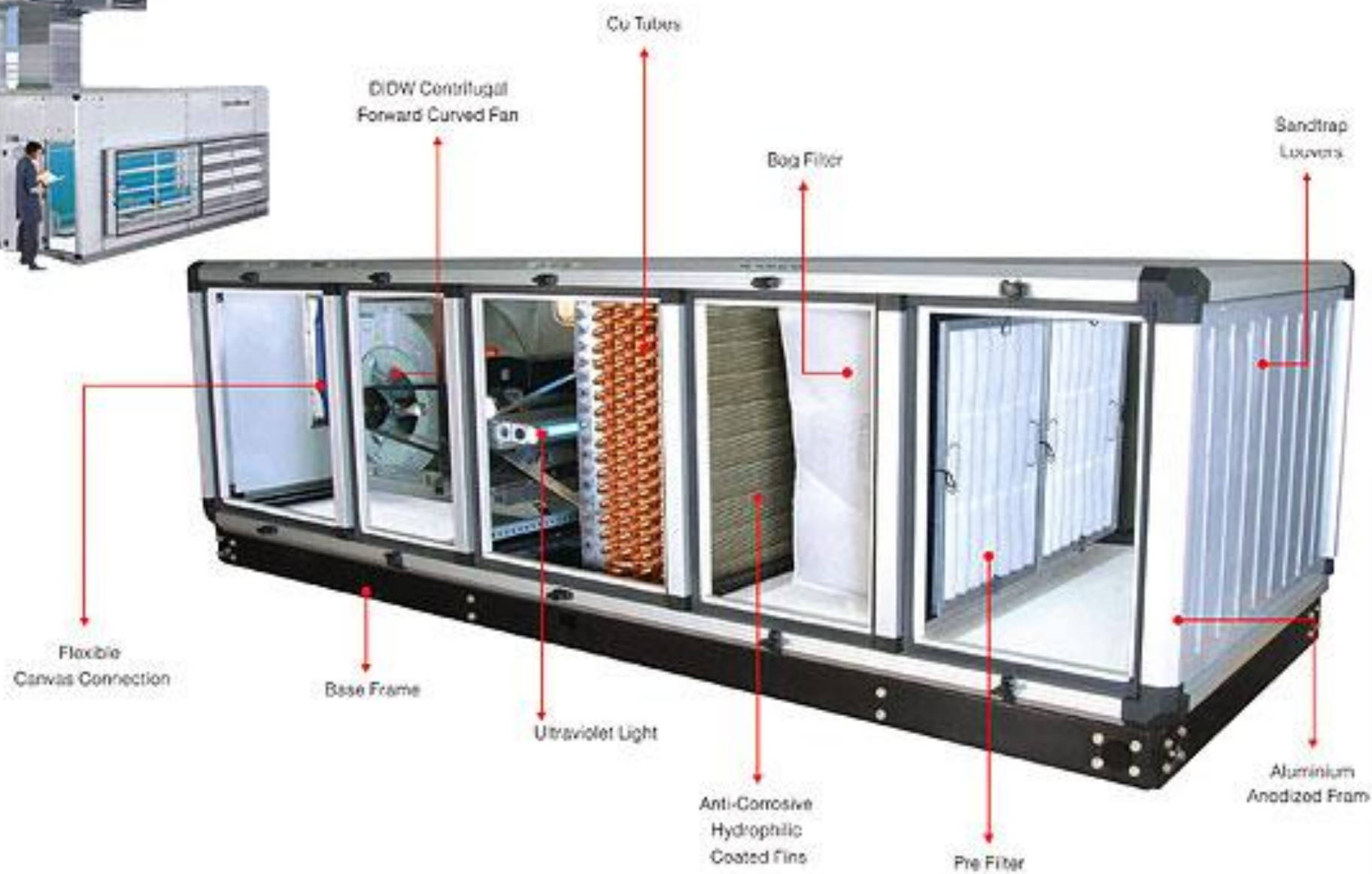
*All isolation room with anteroom engineering features include

- pressure differential of 2.5 Pa (0.01-in. water gauge);
- airflow differential >125 cfm supply versus exhaust;
- sealed room with approximately 0.5-sq. ft. leakage;
- clean to dirty airflow;
- monitoring;
- ≥ 12 air exchanges/hr (ACH) new or renovation, 6 ACH existing; and
- anteroom airflow patterns

مشخصات فنی تهویه اتاق های فشار مثبت و منفی بیمارستان

جدول ۵- مشخصات مهندسی برای اتاق های با فشار مثبت و منفی (۱۵).

مشخصات	اتاق های با فشار مثبت (اتاق ایزوله محیطی)	اتاق های با فشار منفی (اتاق ایزوله تنفسی)
اختلاف فشار	بیشتر از ۲/۵+ پاسکال	بیشتر از ۲/۵- پاسکال
تعویض هوا در ساعت (ACH)	بیشتر از ۱۲	بیشتر یا مساوی ۱۲ برای اتاق های بازسازی شده و تازه احداث شده
کارایی فیلتراسیون	تامین: ۹۹/۹۷ درصد برای ذرات دی اکتیل فتالات (DOP*) با اندازه ۰/۳ میکرون برگشت: عدم نیاز+	۹۰ درصد (اثبات توسط آزمون گرد و غبار) برگشت: ۹۹/۹۷ درصد برای ذرات دی اکتیل فتالات DOP با اندازه ۰/۳ میکرون
جهت جریان هوا	به سمت بیرون و به بخش های مجاور	به سمت داخل اتاق
اختلاف فشار ایده ال	بیش از ۸+ پاسکال	بیش از ۲/۵- پاسکال





استانداردهای تهویه در محیط بیمارستان

جدول ۹- استاندارد تهویه بیمارستان ها و مراکز درمان سرپایی در آمریکا (۱۵)

نام بخش	جهت حرکت هوا نسبت به بخش مجاور	حداقل تعویض هوا از هوای بیرون در ساعت	حداقل کل تعوض هوا در ساعت	تمامی هوای خروجی اتاق بطور مستقیم به بیرون تخلیه شود.	درصد رطوبت نسبی	دمای مطلوب
اتاق های عمل / سیتوسکوپی (لوله گذاری مثانه)	خارج (فشار مثبت)	۳	۱۵	-	۳۰-۶۰	۲۰-۲۳
اتاق زایمان	خارج (فشار مثبت)	۳	۱۵	-	۳۰-۶۰	۲۰-۲۳
اتاق احیاء	خارج (فشار مثبت)	۲	۶	-	۳۰-۶۰	۲۱-۲۴
مراقبت ویژه	خارج (فشار مثبت)	۲	۶	-	۳۰-۶۰	۲۱-۲۴
مراقبت ویژه نوزادان	خارج (فشار مثبت)	۲	۶	-	۳۰-۶۰	۲۲-۲۶
اتاق تروما	خارج (فشار مثبت)	۳	۱۵	-	۳۰-۶۰	۲۱-۲۴
ذخیره گاز بیهوشی	خارج (فشار منفی)	-	۸	بلی	-	-
اندوسکوپی	داخل (فشار منفی)	۲	۶	-	۳۰-۶۰	۲۰-۲۳
برونکوسکوپی	داخل (فشار منفی)	۲	۱۲	بلی	۳۰-۶۰	۲۰-۲۳
اتاق انتظار اندوسکوپی	داخل (فشار منفی)	۲	۱۲	بلی	-	۲۱-۲۴
تریاز	داخل (فشار منفی)	۲	۱۲	بلی	-	۲۱-۲۴
اتاق انتظار رادیولوژی	داخل (فشار منفی)	۲	۱۲	بلی	-	۲۱-۲۴
اتاق کار بر روی بیمار	خارج (فشار مثبت)	۳	۱۵	-	۳۰-۶۰	۲۱-۲۴

استانداردهای تهویه در محیط بیمارستان-ادامه

ادامه جدول ۹- استاندارد تهویه بیمارستان ها و مراکز درمان سرپایی در آمریکا(۱۵)

نام بخش	جهت حرکت هوا نسبت به بخش مجاور	حداقل تعویض هوا از هوای بیرون در ساعت	حداقل کل تعوض هوا در ساعت	تمامی هوای خروجی اتاق بطور مستقیم به بیرون تخلیه شود.	درصد رطوبت نسبی	دمای مطلوب
اتاق بیمار	-	۲	۶	-	-	۲۱-۲۴
سرویس بهداشتی	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-
محل نگهداری اطفال شیر خوار	-	۲	۶	-	۳۰-۶۰	۲۲-۲۶
اتاق ایزوله محیطی	خارج (فشار مثبت)	۲	۱۲	-	-	۲۴
اتاق ایزوله تنفسی	داخل (فشار منفی)	۲	۱۲	بلی	-	۲۴
اتاق پیش ورودی ایزوله	داخل/ خارج	-	۱۰	بلی	-	-
آزمایشگاه -زایمان- احیاء	-	۲	۶	-	-	۲۱-۲۴
اتاق پس از زایمان	-	۲	۶	-	-	۲۱-۲۴
راهرو	-	-	۲	-	-	-
اشعه X (جراحی/ مراقبت ویژه و کانتر)	خارج (فشار مثبت)	۳	۱۵	-	۳۰-۶۰	۲۱-۲۴
اشعه X (درمان و تشخیص)	-	-	۶	-	-	۲۴
اتاق تاریک (ظهور)	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-
بیوشیمی	خارج (فشار مثبت)	-	۶	-	-	۲۴
سیتولوژی	داخل (فشار منفی)	-	۶	بلی	-	۲۴
شستشوی شیشه	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-
هیستولوژی	داخل (فشار منفی)	-	۶	بلی	-	۲۴
میکروبیولوژی	داخل (فشار منفی)	-	۶	بلی	-	۲۴
پزشکی هسته ای	داخل (فشار منفی)	-	۶	بلی	-	۲۴
پاتولوژی	داخل (فشار منفی)	-	۶	بلی	-	۲۴
سرلوژی (سرم)	خارج	-	۶	-	-	۲۴
استریلیزاسیون	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-
اتاق کالبدشکافی	داخل (فشار منفی)	-	۱۲	بلی	-	-
اتاق نگهداری اجساد بدون انجماد	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	۲۱
داروخانه	خارج (فشار مثبت)	-	۴	-	-	-
اتاق دارو	خارج (فشار مثبت)	-	۴	-	-	-
فیزیوتراپی و آب درمانی	داخل (فشار منفی)	-	۶	-	-	۲۴
اتاق استریلیزه ETO	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	۳۰-۶۰	۲۴
اتاق تجهیزات استریلیزه	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-

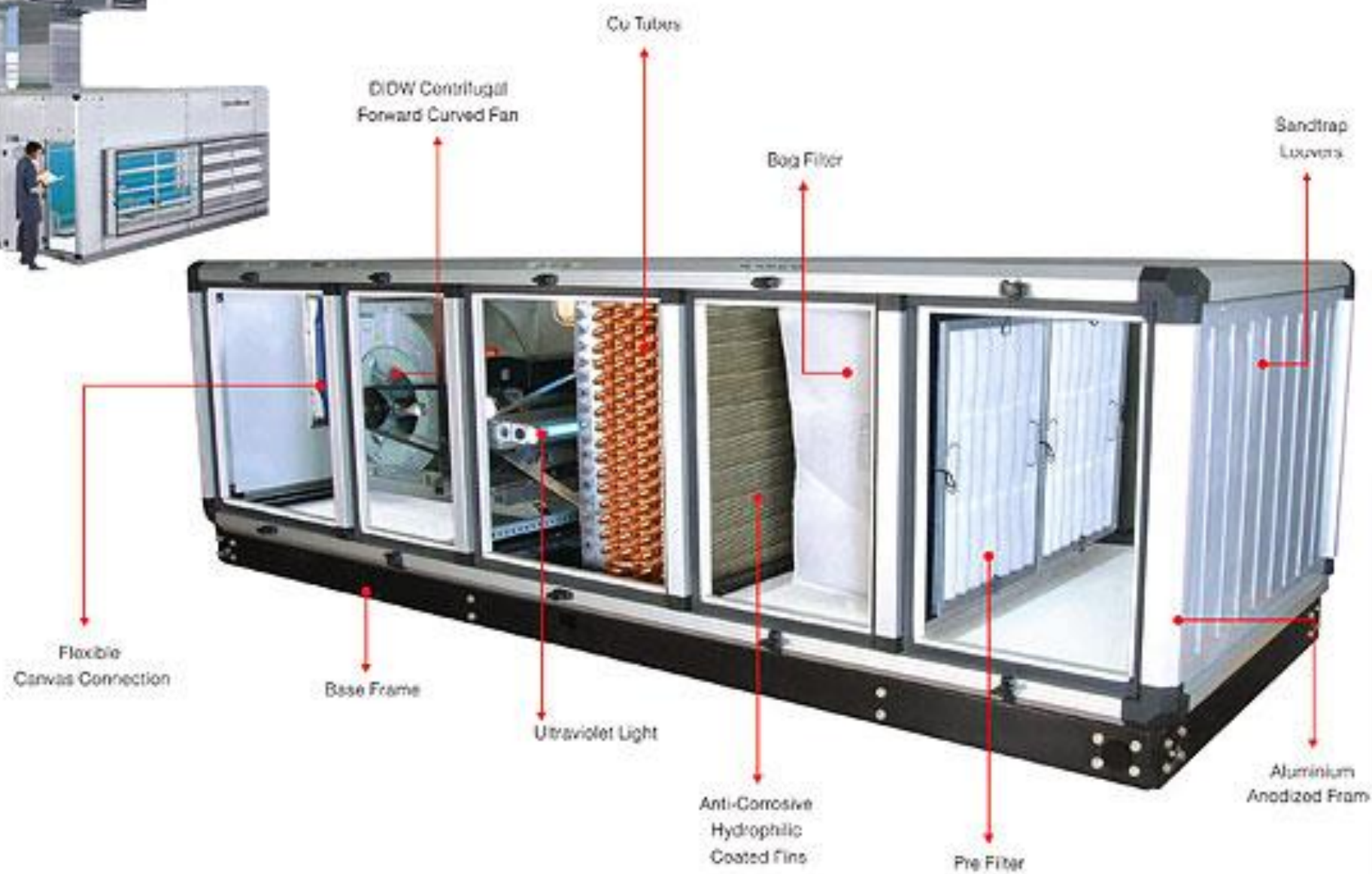
استانداردهای تهویه در محیط بیمارستان-ادامه

ادامه جدول ۹- استاندارد تهویه بیمارستان ها و مراکز درمان سرپایی در آمریکا(۱۵)

نام بخش	جهت حرکت هوا نسبت به بخش مجاور	حداقل تعویض هوا از هوای بیرون در ساعت	حداقل کل تعوض هوا در ساعت	تمامی هوای خروجی اتاق بطور مستقیم به بیرون تخلیه شود.	درصد رطوبت نسبی	دمای مطلوب
مرکز تهیه غذا	-	-	۱۰	-	-	-
شستشوی ظروف	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-
مخزن غذای رژیمی روزانه	داخل (فشار منفی)	-	۲	-	-	-
رختشویخانه عمومی	-	-	۱۰	بلی	-	-
دسته بندی و ذخیره لباس کثیف	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-
حمام	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	-	-	۲۴
نگهبانی	داخل (فشار منفی)	-	۱۰	بلی	-	-





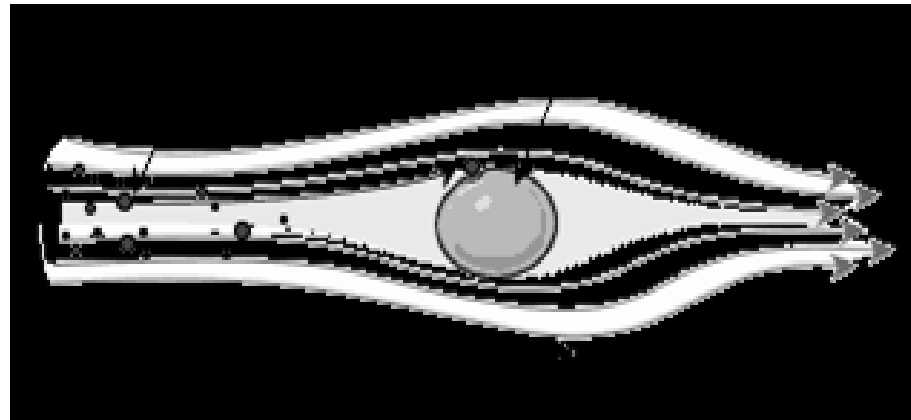


رفتار فرات در برخورد با فیلتر در فرایند فیلتراسیون

رفتار ذرات در برخورد با مانع

(برخورد اینرسی Inertial Impaction و برخورد مستقیم Interception)

- برخورد اینرسی زمانی رخ میدهد که مانع (برای مثال قطره مایع) مستقیماً در مسیر حرکت ذره معلق موجود در جریان گاز قرار گرفته باشد. در بعضی از مواقع مانع کمی از مسیر مستقیم حرکت ذره انحراف دارد که در این حالت هنگامی که ذره به کناره های مانع نزدیک شد، مانع میتواند با مکانیسمی به نام **برخورد مستقیم** ذره را به دام بیندازد.



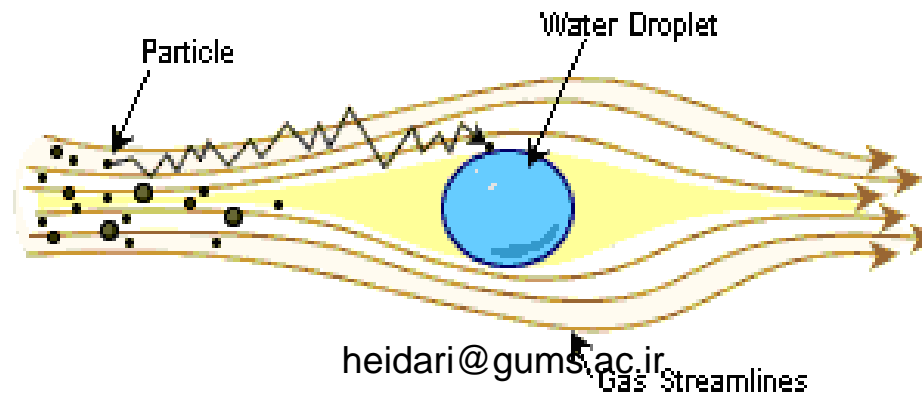
رفتار ذرات در برخورد با مانع

(برخورد اینرسی Inertial Impaction و برخورد مستقیم Interception)

- برخورد اینرسی و برخورد مستقیم برای بدام اندازی ذرات بالای ۱۰ میکرومتر بسیار موثر می باشند. با کاهش اندازه ذره، اثر بخشی این مکانیسم ها در بدام اندازی ذرات نیز کاهش می یابد. مکانیسم برخورد برای ذرات زیر ۰/۳ میکرومتر، به علت اینرسی کم آنها، روش موثری نمی باشد.

رفتار ذرات در برخورد با مانع (انتشار برونین Brownian Motion)

- انتشار برونین مکانیسم عمده در جمع آوری ذرات با قطر زیر 0.3 میکرومتر است و به طور دقیق تر برای ذرات در دامنه 0.01 تا 0.1 میکرومتر فوق العاده اثر بخش می باشد.
- هنگامی که ملکول های گازی به ذرات معلق بسیار ریز موجود در جریان گاز برخورد می کنند، آنها را کمی از مسیر حرکت خود منحرف می سازند. انتقال انرژی جنبشی از ملکول های سریع گازی به ذرات کوچک باعث انحراف خط حرکت آنها میشود که به آن انتشار برونین گویند. این ذرات ریز هنگامی که در اثر این حرکات تصادفی به مانعی (مثلا قطر مایع) برخورد کنند به دام می افتند.



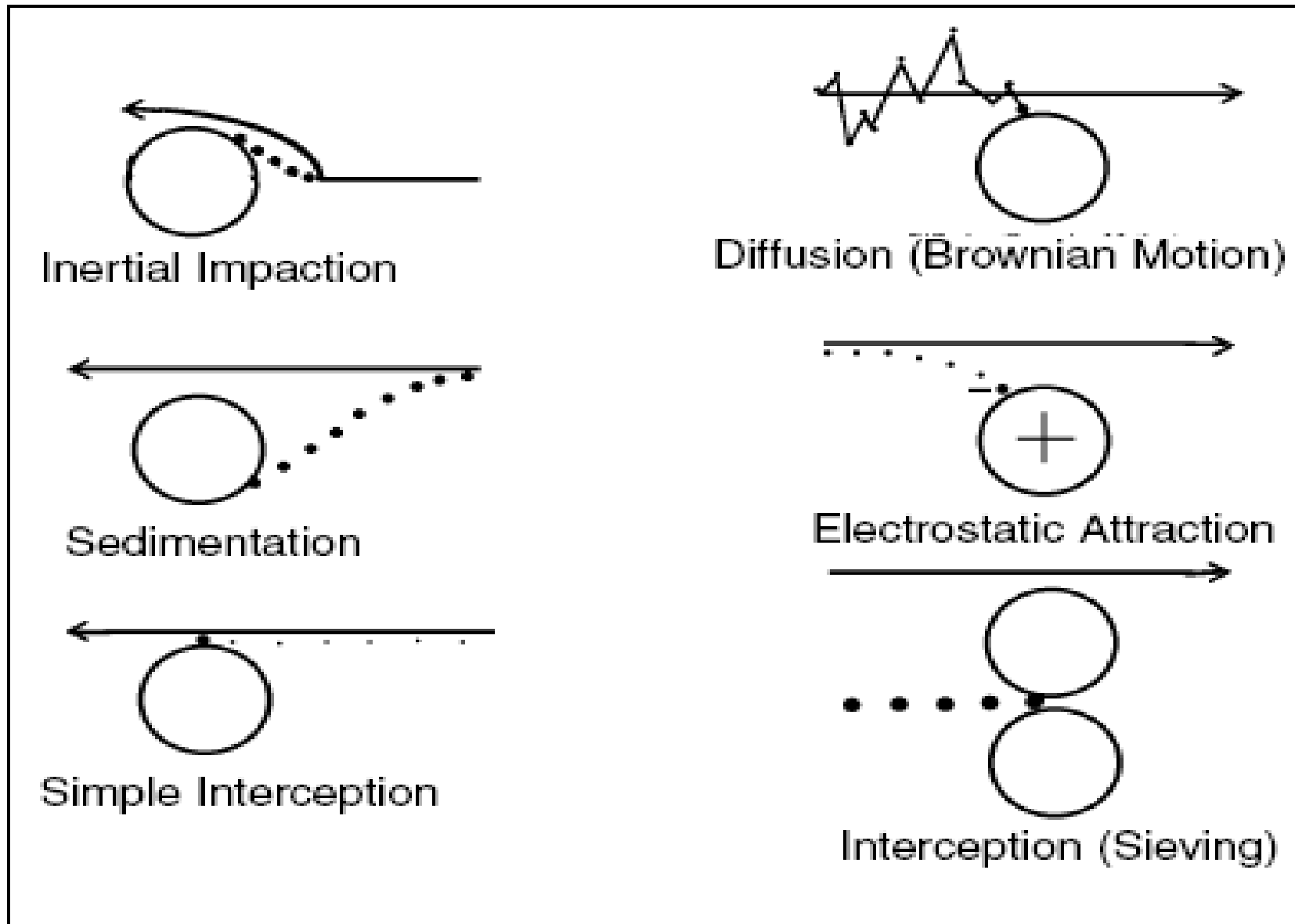


Figure 8–2. Particle deposition mechanisms.

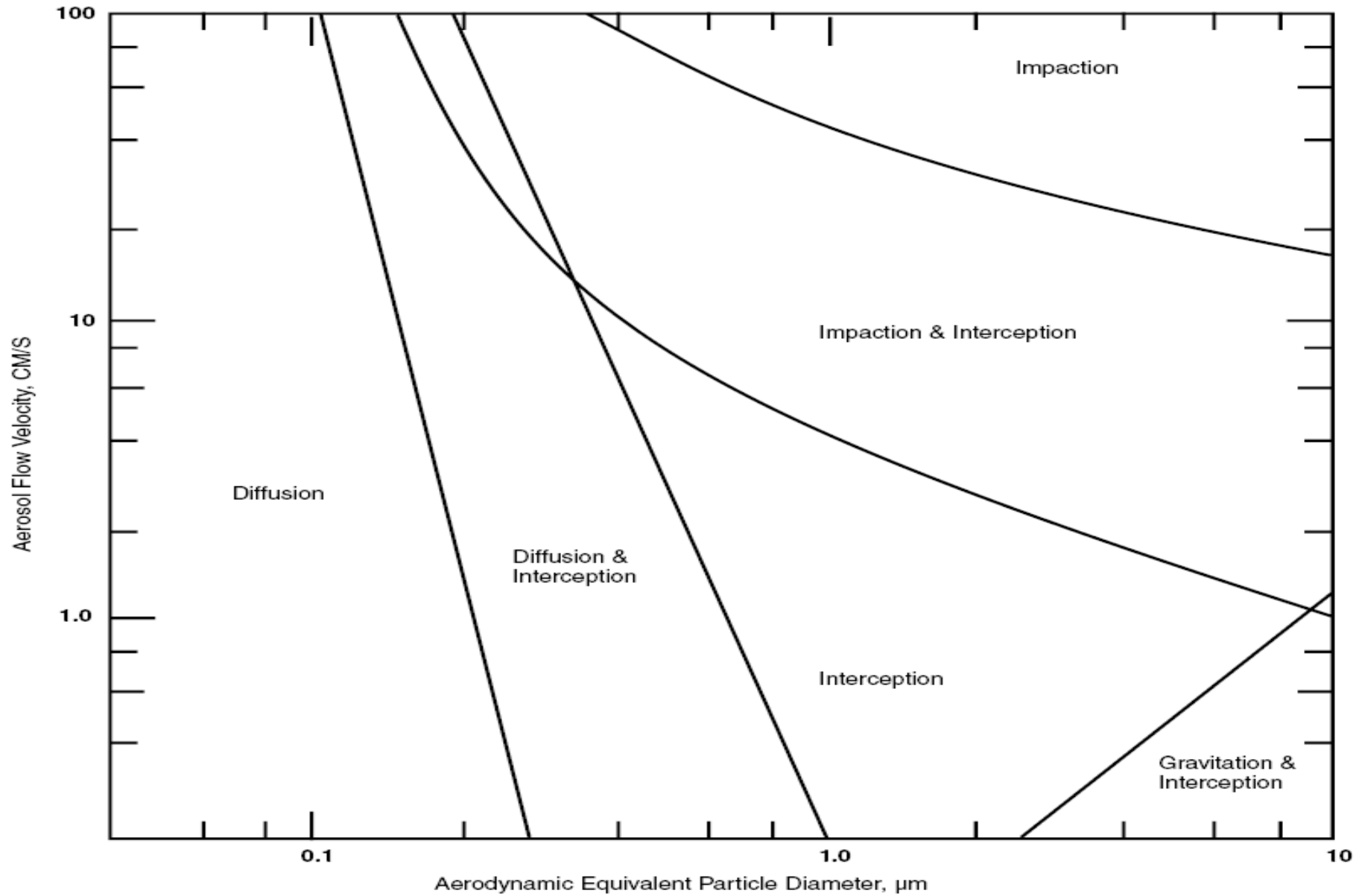
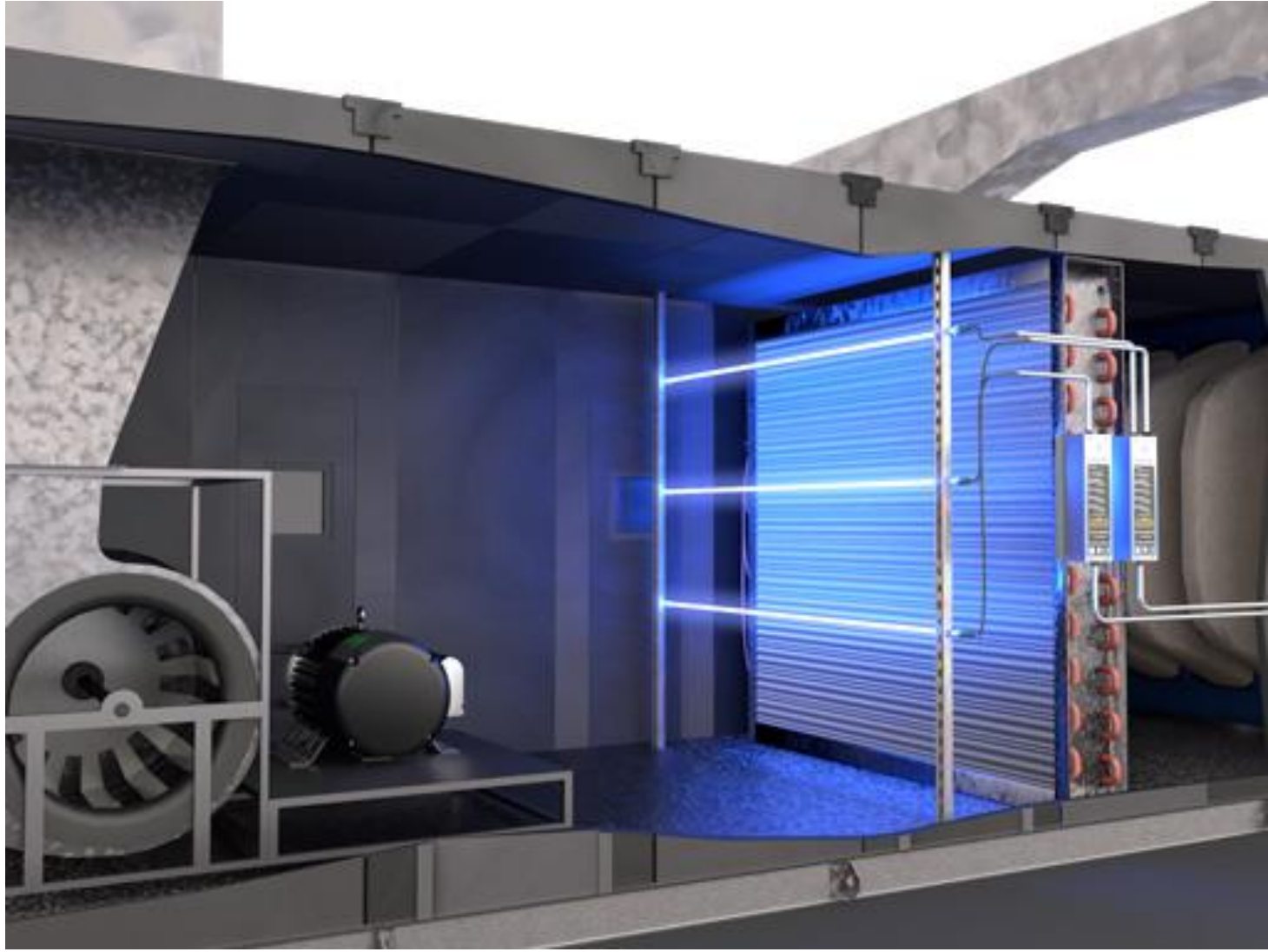


figure 8-3. Relative contribution of deposition mechanisms as a function of particle size and aerosol flow velocity.





Portable Local Exhaust Ventilation Unit

Portable local Exhaust Ventilation Unit, by being placed on the table of laboratory, research room or soldering room, effectively discharges the source of contamination. Easy moving to exhaust needing area without being fixed to installed spot.







هودهای ایمنی بیولوژیک

انواع هودهای ایمنی بیولوژیک

هود ایمنی بیولوژیکی کلاس I

این نوع هود افراد و فضای کار را در برابر عوامل خطر ساز محافظت می نماید. ولی حفاظتی برای نمونه ای که با آن در داخل هود کار می شود، فراهم نمی آورد (زیرا هوایی که وارد هود می شود در ابتدا فیلتر نمی شود). این دسته از هودها دارای جریانات هوایی شبیه به هودهای شیمیایی بوده ولی دارای فیلتر هپا می باشند. این فیلترها می توانند ۹۵٪ از ذرات با قطر بزرگتر و مساوی ۰/۳ میکرون را جذب کنند، تا جریان هوای خروجی جهت حفاظت افراد و فضای کار از داروهای سیتوتوکسیک پاک شده و آلوده نباشد.

در این دسته از هودها هوای فیلتر نشده بر سطح کار داخل هود می وزد، به همین دلیل حفاظت از نمونه را ایجاد نمی کنند. حفاظت فردی با ایجاد جریان هوایی به داخل خود با سرعت ۷۵ فوت در دقیقه و ایجاد فشار منفی در هود، فراهم می گردد. با تولید هودهای بیولوژیک کلاس II، استفاده از این نوع هودها کاهش یافته است. این هودها جهت کار با عواملی که خطر کم تا متوسط دارند استفاده می شوند (۳۳).

هود ایمنی بیولوژیکی کلاس II

۱- **هود کلاس II نوع A1:** در این نوع هود هوا با سرعت ۷۰ فوت در دقیقه وارد هود می شود. فشار درون آن منفی است ولی ممکن است در اثر اختلالات و آشفتگی فشار درون آن مثبت شود، به همین دلیل برای مواد شیمیایی توکسیک قابل تبخیر و رادیو نوکلئوتید قابل تبخیر مناسب نمی باشد. ۷۰ درصد هوا را دوباره پس از عبور از فیلتر هوا به داخل هود بر می گرداند و ۳۰ درصد را پس از فیلتر شدن به محیط بیرون (خارج از محیط کار یا به داخل محیط کار) می فرستد.

۲- **هود کلاس II نوع A2:** در این نوع هود هوا با سرعت ۱۰۰ فوت در دقیقه وارد هود می شود. در این هود هوایی که از منفذهای زیر هود به طرف فیلتر هپا می رود تحت یک فشار منفی می باشد که در این نوع هودها ۳۰ درصد از هوا پس از فیلتر شدن، از هود خارج گشته (به داخل ساختمان محل کار یا به محیط بیرون) و ۷۰ درصد (پس از فیلتر شدن) دوباره به داخل هود برمی گردد.

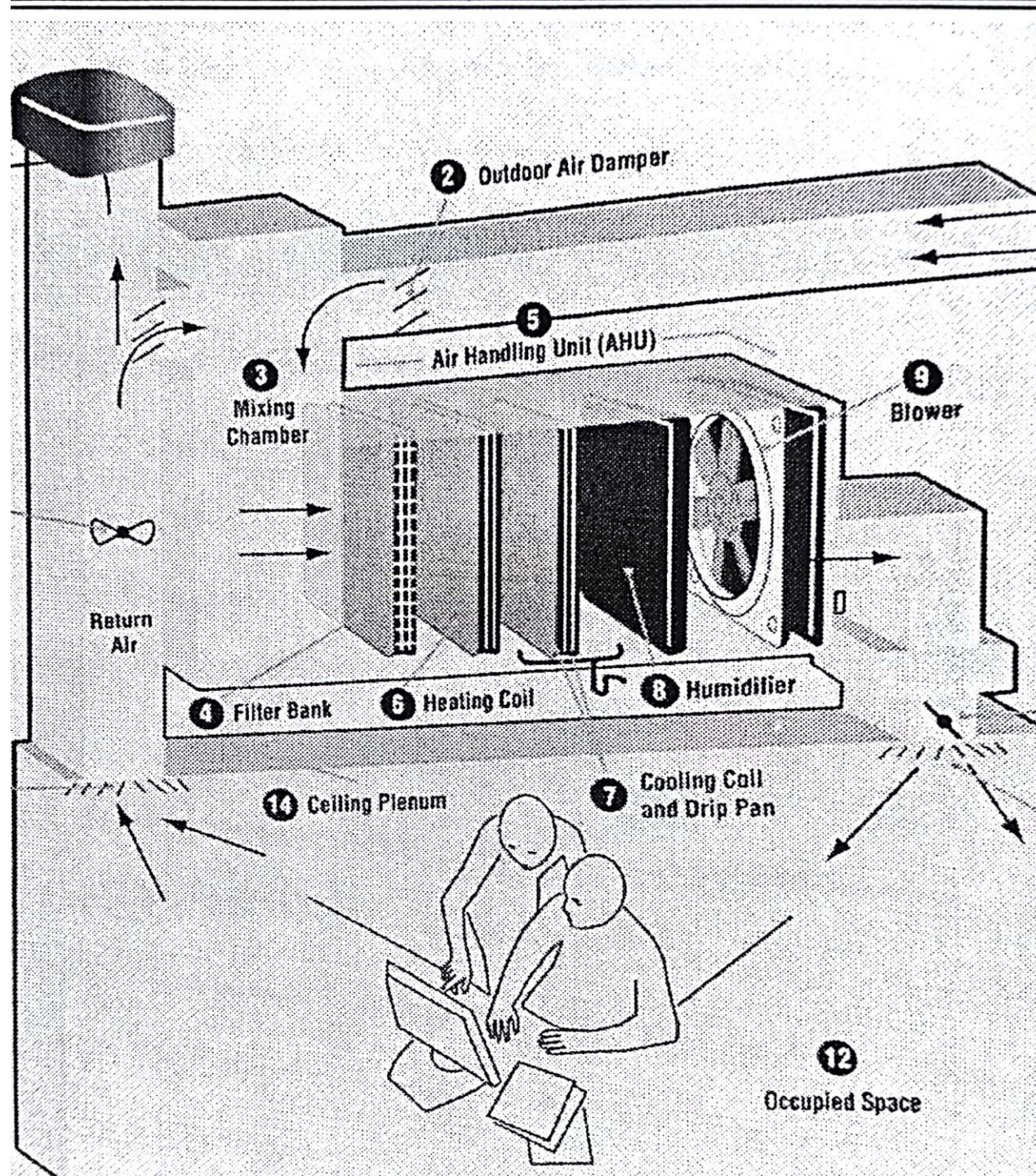
۳-هود کلاس II نوع B1: در این نوع هود هوا با فشار ۱۰۰ فوت در دقیقه وارد هود می شود فشار هوا درون هود منفی است. ۳۰ درصد هوا پس از فیلتر شدن به داخل هود بازگردانده می شود و ۷۰ درصد آن به بیرون (خارج از ساختمان محیط کار و به جو) منتقل می گردد.

۴-هود کلاس II نوع B2: در این نوع هود هوا با فشار ۱۰۰ فوت در دقیقه وارد هود می شود. فشار درون هود منفی می باشد. هیچ گونه هوایی پس از فیلتر شدن دوباره به درون هود بازگردانده نمی شود و پس فیلتر شدن به جو بر می گردد برای مواد شیمیایی سمی قابل تبخیر و مواد رادیونوکلئوتید قابل تبخیر مناسب است(۳۳).

هود ایمنی بیولوژیکی کلاس III

این کلاس هودها طوری طراحی شده اند که بالاترین سطح محافظت را برای پرسنل، محیط کار و نمونه تأمین می کنند. هود کلاس III سد فیزیکی کامل بین فرد و مواد داخل هود تأمین می کند. محفظه جلو آن مانند هود کلاس I و II باز نیست. از این هودها در موقع کار با عوامل فوق العاده خطرناک زیستی و در مواردی که ایجاد محدودیت مطلق مورد نیاز است، استفاده می گردد. برای مواد شیمیایی سمی قابل تبخیر و مواد رادیو نوکلئوتید قابل تبخیر مناسب است. این هودها هنگام کار با عوامل بسیار خطرناک نظیر ویروس HIV و هیپاتیت استفاده می گردد. هود مناسب جهت کار با داروهای سیتوتوکسیک هود کلاس II نوع B2 و یا هود کلاس III می باشد. زیرا مواد قابل تبخیر را نیز به راحتی می توان در این هودها آماده کرد (۳۳).

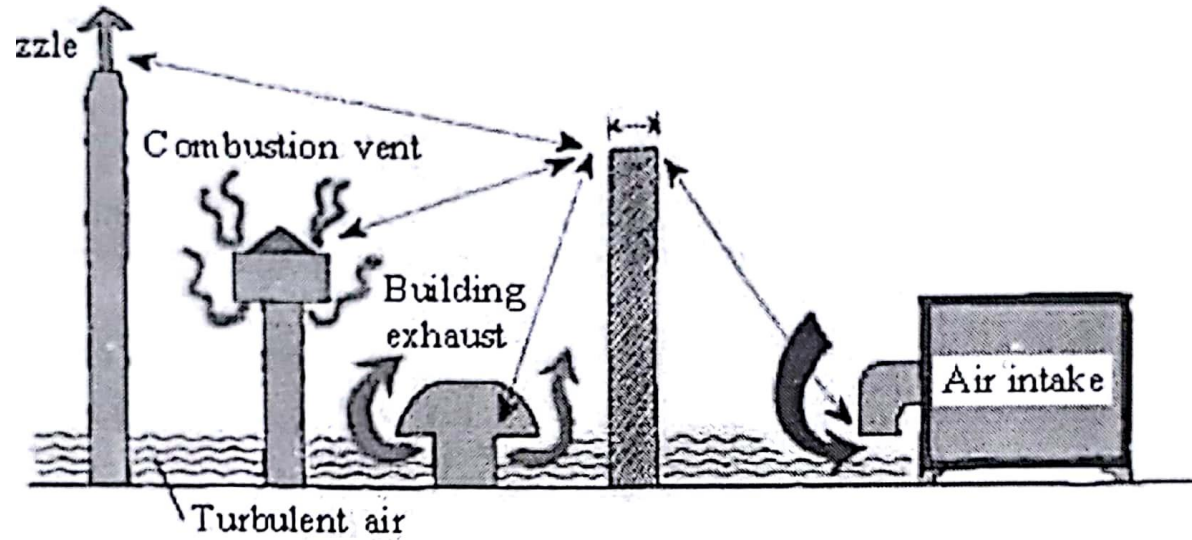
پایان



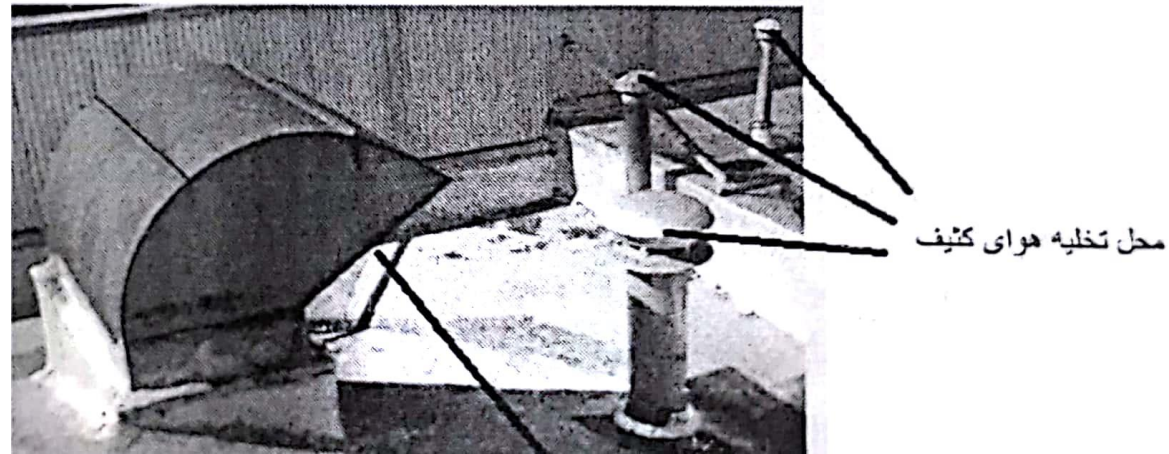
نقش سیستم های HVAC در مراکز درمانی

در حمایت از اقدامات درمانی در بیمارستان ها و مراکز مشابه، سیستم های HVAC به منظور انجام دادن چندین وظیفه مهم و حیاتی مورد استفاده قرار می گیرند. این سیستم ها بر شرایط محیطی، کنترل خطرات و عفونت ها و ایمنی ساختمان تاثیر زیادی می گذارند. تامین آسایش و راحتی کارمندان و بیماران، و تامین شرایط درمان، دستیابی به نتایج بهینه فرآیند درمان بیمار را تسهیل می نماید. شرایط محیطی برای ذخیره داده های الکترونیک، نگهداری سیستم های IT، تصویربرداری های ویژه و عملکرد سایر تجهیزات پزشکی، به خدمات ضروری سیستم های HVAC، نیاز مبرم دارند. سیستم های HVAC بواسطه انجام وظایفی نظیر رقیق سازی و زدودن پاتوژن ها و سموم، یک بخش کلیدی از تجهیزات ایمنی و کنترل عفونت به حساب می آیند. در بخش های بستری بیماران در بیمارستان و بسیاری از مراکز درمانی سیار، که به دلیل ناتوانی بیماران به منظور واکنش صحیح در شرایط حریق ناگهانی، سیستم های HVAC با تخلیه دود و تقسیم بندی مناسب فضاهای داخلی، حفاظت و ایمنی جانی افراد را تامین می نماید. در نهایت، سیستم HVAC باید با معماری ساختمان

پیش بینی ویژگی های جریان هوا در اطراف ساختمان، عملکرد یا دودکش خروجی، و مناسب برای ورود هوا به ساختمان، ارائه می نماید. در فصول بعدی اطلاعات بیشتری در این خواهد شد.



شکل ۱-۲: نصب مانع به منظور جلوگیری از ورود هوای آلوده به داخل سیستم های



تاکنون شواهد علمی که بطور قاطع نشان دهد که مواجهه طولانی مدت با رطوبت پایین می تواند منجر به تضعیف شرایط بیمار گردد، منتشر نشده است.

۱-۳-۳. کنترل عفونت

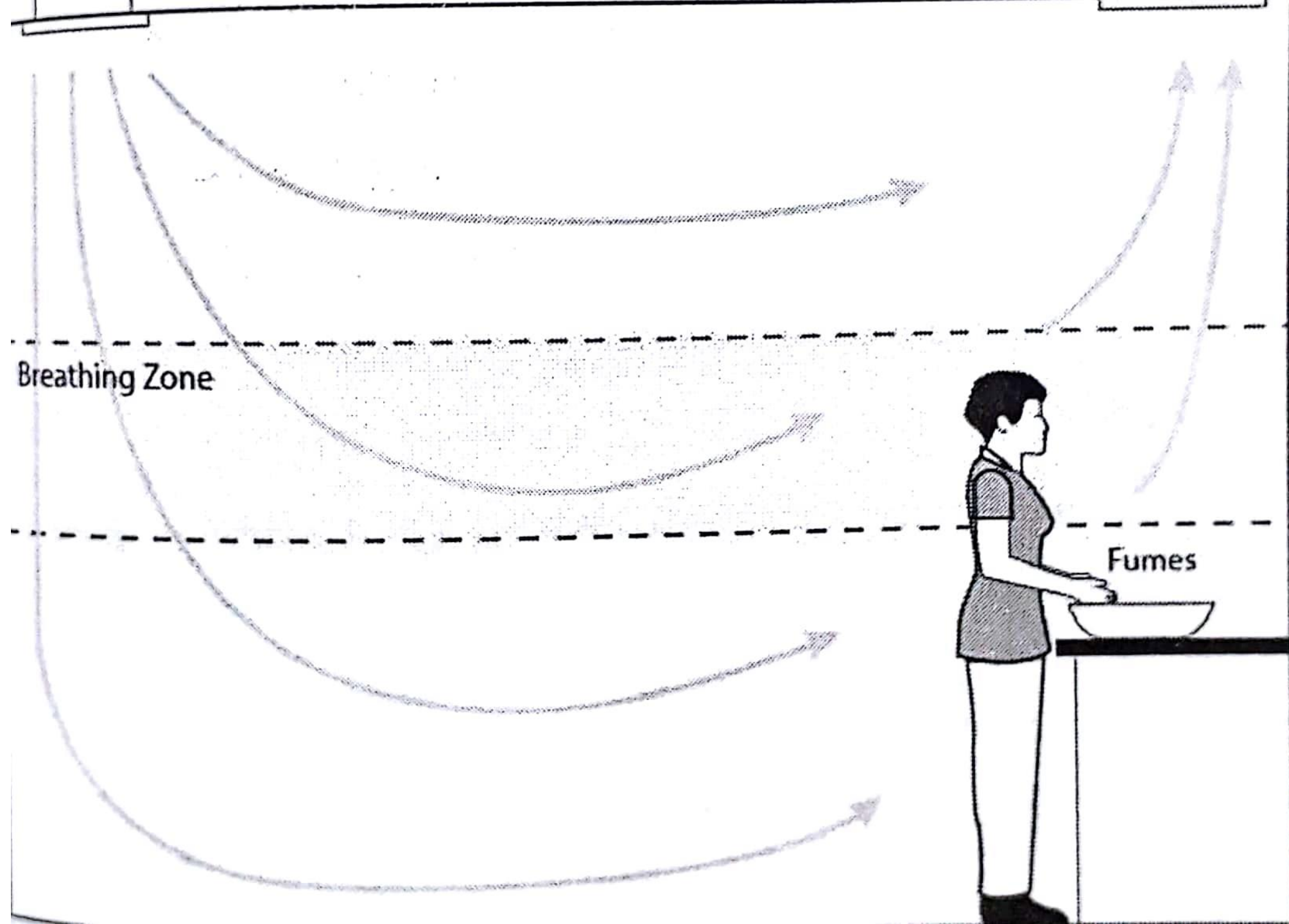
با استثناء برخی موارد (نظیر مراکز بهداشت رفتاری، طب ورزش یا مراکز مراقب زایمان)، اکثر مراکز درمانی مکان هایی هستند که سطوح بالایی از میکرو اورگانیزم های بیماری زا تولید شده و به وسیله افراد آلوده، یا روش هایی که بافت های انسانی و مایعات بدن بیماران را دستکاری می کنند، انتقال می یابند. این پاتوژن ها به مقدار زیادی در اثر تماس، و به مقدار کمتری در اثر دلایل غیر تماسی (از طریق انتقال هوابرد) که با جزئیات که در فصل هفتم در رابطه با آن توضیح داده می شود، پراکنده می شوند. می توان گفت که افرادی که در این ساختمان ها حضور دارند در معرض ریسک بالایی از مواجهه با این پاتوژن ها می باشند. بیماران و افراد مصدومی که عملکرد سیستم ایمنی آن ها تضعیف شده اند، آسیب پذیری بیشتری در برابر عفونت های جدید دارند. ملاقات کنندگان از بیماران و یا افراد مصدوم، در مناطقی از قبیل اتاق های انتظار بیمارستان یا بخش های اتفاقات، بیشتر در معرض این پاتوژن ها قرار می گیرند. کارمندان مراکز درمانی با توجه به ماهیت شغل آنها، تقریبا به طور روزانه در کنار منابع عفونی انجام وظیفه می کنند. بنابراین مراکز درمانی به عملکردهای مؤثر دقیق و کنترل های مهندسی برای حفاظت از کارکنان درون ساختمان نیاز دارد. سیستم های HVAC یکی از تجهیزات و فرایندهای متعدد قابل استفاده برای کنترل عفونت می باشند.

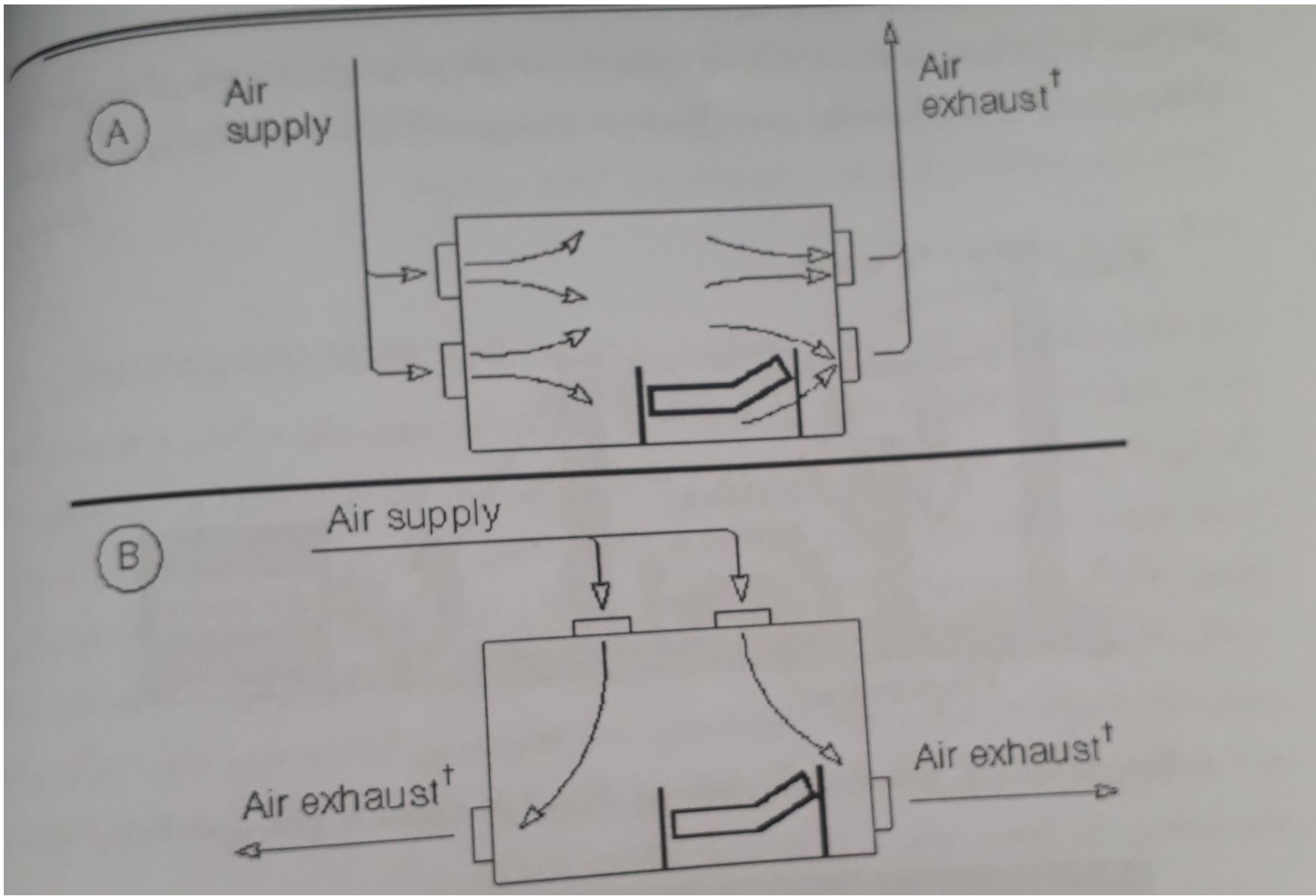
۱-۳-۴. تهویه و کنترل محیطی برای عملکردهای خاص

بسیاری از فعالیت های درمانی شامل عملکردها و فرایندهایی است که طی آن فیوم های شیمیایی، آئروسول ها و گازهای مضر تولید و نگهداری می شوند، که خطرات ایمنی یا بهداشتی را به دنبال خواهند داشت. مثال هایی از این دست شامل آزمایشگاه هایی که آئروسول های شیمیایی که برای ثابت کردن نمونه های لغزنده استفاده می کنند، نگهداری بافت ها، یا انجام سایر فرایندهای مربوطه، تجهیزات ارتوپدی و فروشگاه های اندام مصنوعی شامل چسب ها و عوامل تولید آئروسول، محل های بیپوشی که در مواجهه طولانی مدت با مقادیر کم از گازهای بیپوشی، می تواند عوارض مضر را به دنبال داشته باشد. در چنین کاربردهایی، تجهیزات HVAC همراه با سایر تجهیزات محدود کننده اولیه نظیر هودهای شیمیایی، هودهای رادیوایزوتوپ، میزهای مجهز به جریان هوای لایه ای، سیستم های

Breathing Zone

Fumes





۲-۴. کنترل فشار محیط

تنظیم فشار در ساختمان بیمارستان از جمله مهمترین عامل در کنترل کردن محیط می باشد. اگر فشار درون ساختمان بواسطه اقداماتی چون قرارگیری فیلتر در مسیر کانال، کاهش سرعت هواکش تامین هوای ورودی، یا افزایش سرعت هواکش هوای برگشت(خروجی) منفی شود، هوای مرطوب و کثیف می تواند از ترک ها و روزنه ها وارد ساختمان شود. این هوا کاملاً فرآوری نشده بوده و شرایط لازم برای رشد کپک ها را فراهم می کند (مانند رطوبت، اسپورها، مواد غذایی).

ایجاد شیب فشار یکنواخت و کنترل شده، با کنترل کیفیت و کمیت هوای ورودی و خروجی، نگهداری اختلاف فشار هوا بین مناطق مجاور و طراحی الگوهای جریان هوا به منظور دستیابی به اهداف خاص کلینیکی قابل حصول می باشد.

$$Q = \frac{(AGH) \times (\text{room volume})}{60 \text{ min/h}} = \text{cu ft/min}$$

Q: دبی هوا (بر حسب فوت مکعب بر دقیقه)

ACH: تعداد تعویض هوا در هر ساعت

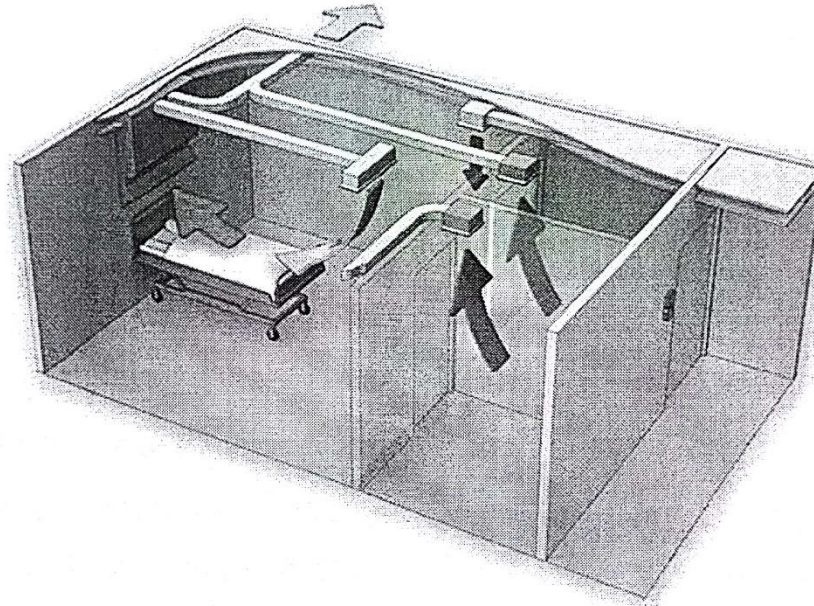
به منظور محاسبه دبی هوای مورد نیاز برای تهویه مناسب و مکفی در یک محیط:

- ۱- حجم محیط مورد نظر (طول×عرض×ارتفاع) را بر حسب فوت مکعب حساب کنید
- ۲- حجم هوای مورد نیاز برای تهویه را با ضرب کردن حجم اتاق در تعداد تعویض هوا در ساعت (ACH) برای فضای مورد نظر، بدست آورید

مطالعات انجام شده به وسیله موسسه معماری آمریکایی (AIA)² نشان داده است که یک بار ACH می تواند ۶۳ درصد ذرات معلق را به محیط بیرون تخلیه کند. در صورتی که سیستم تهویه هوا را ۱۰ بار در ساعت تعویض کند، پس از گذشت ۱۴ دقیقه ۹۰ درصد و پس از ۲۸ دقیقه ۹۹ درصد آلودگی های هوای تازه را از محل خارج خواهد کرد. بنابراین افزایش تعداد تعویض هوا و جایگزینی هوای تازه در پاک سازی آلودگی های هوای تازه مؤثر است. هر چند اگر تعداد تعویض در ساعت بیشتر از ۲۰ بار باشد ممکن است باعث آشفته گی بیش از حد جریان و افزایش هزینه ها در محیط شود. بنابراین بهترین حالت توصیه شده ۱۲ بار تعویض در ساعت می باشد، البته به شرطی که با وجود افت فشار زیاد ناشی از فیلترها، قابل تامین باشند. همچنین با افزایش ACH، مقدار انرژی مصرفی افزایش می یابد (۱).

انتخاب ۱۲ بار ACH در تهویه تا حد زیادی تابع عرف می باشد. مقدار تهویه اختیاری است مگر این که به وسیله استاندارد دولتی الزامات خاصی تعیین شده باشد. این استاندارد ها بجای اینکه در عملکرد

یک اتاق ایزوله عفونت های هوابرد (که از این پس به آن اتاق ایزوله گفته شود ALL)، انتقال هوا از اتاق ایزوله به قسمت های دیگر را در مراکز درمانی به حداقل می رساند. ریسک آلوده شدن از طریق جریان هوای آلوده، به غلظت ذرات موجود در هوا بستگی دارد. احتمال اینکه یک ذره حامل یک میکروارگانیزم بر روی یک زخم باز بنشینند، با افزایش غلظت ذرات، افزایش می یابد. با کاهش غلظت ذرات، احتمال عفونت کاهش یافته و در نتیجه آن، تعداد بیماران آلوده کاهش می یابد(۱).



شکل ۲-۱: نمای کلی از یک اتاق ایزوله بیمار

چهار عامل اصلی بر غلظت آلاینده ها بصورت موضعی در اطراف یک فرد تاثیر می گذارد:

- ۱- اولاً، افزایش میزان تولید ذرات در اتاق باعث افزایش غلظت آن ها می شود.
- ۲- دوماً، نسبت مقدار هوای ورودی و هوای تخلیه شده با توجه به اندازه اتاق تعیین می شود(تعداد تعویض هوا در ساعت)

Q: دبی هوا (برحسب فوت مکعب بر دقیقه)

ACH: تعداد تعویض هوا در هر ساعت

به منظور محاسبه دبی هوای مورد نیاز برای تهویه مناسب و مکفی در یک محیط:

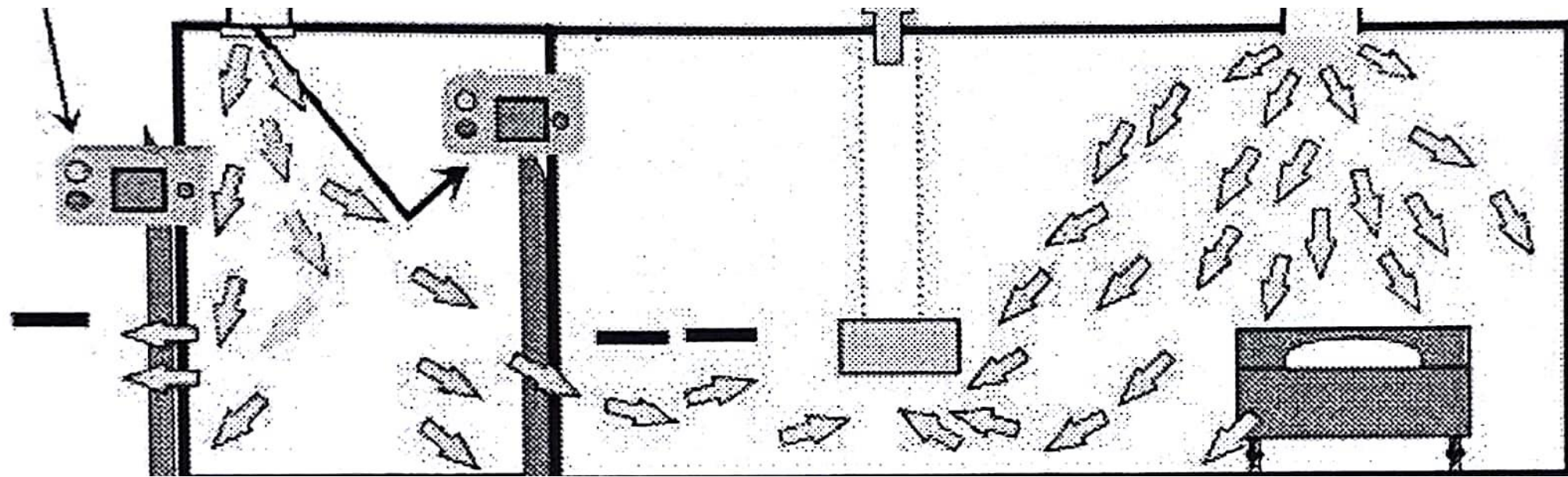
- ۱- حجم محیط مورد نظر (طول×عرض×ارتفاع) را بر حسب فوت مکعب حساب کنید
- ۲- حجم هوای مورد نیاز برای تهویه را با ضرب کردن حجم اتاق در تعداد تعویض هوا در ساعت (ACH) برای فضای مورد نظر، بدست آورید

مطالعات انجام شده به وسیله موسسه معماری آمریکایی (AIA)² نشان داده است که یک بار ACH می تواند ۶۳ درصد ذرات معلق را به محیط بیرون تخلیه کند. در صورتی که سیستم تهویه هوا را ۱۰ بار در ساعت تعویض کند، پس از گذشت ۱۴ دقیقه ۹۰ درصد و پس از ۲۸ دقیقه ۹۹ درصد آلودگی های هوا برد را از محل خارج خواهد کرد. بنابراین افزایش تعداد تعویض هوا و جایگزینی هوای تازه در پاک سازی آلودگی های هوا برد مؤثر است. هر چند اگر تعداد تعویض در ساعت بیشتر از ۲۰ بار باشد ممکن است باعث آشفستگی بیش از حد جریان و افزایش هزینه ها در محیط شود. بنابراین بهترین حالت توصیه شده ۱۲ بار تعویض در ساعت می باشد، البته به شرطی که با وجود افت فشار زیاد ناشی از فیلترها، قابل تامین باشند. همچنین با افزایش ACH، مقدار انرژی مصرفی افزایش می یابد(۱).

انتخاب ۱۲ بار ACH در تهویه تا حد زیادی تابع عرف می باشد. مقدار تهویه اختیاری است مگر این که به وسیله استاندارد دولتی الزامات خاصی تعیین شده باشد. این استاندارد ها بجای اینکه در عملکرد تجهیزات تهویه تدوین شوند، تنها در طراحی وسایل و تجهیزات تهویه بکار می روند. البته در رابطه با میزان تهویه محیط های مختلف از طرف موسسات مربوطه مقادیری به عنوان راهنما پیشنهاد شده است. براساس یافته های علمی و برآوردهای کارشناسی که در دستورالعمل های AIA، ASHRAE¹ و ANSI² منعکس شده اند، توصیه های طراحی و نکات مربوط به فشار هوا در نواحی مختلف مراکز درمانی، ارائه شده است. مراکز درمانی که از استاندارد خاصی در طراحی و ساخت سیستم های تهویه استفاده نمی کنند باید از استاندارد ANSI/ASHRAE ۶۲ تحت عنوان "تهویه برای کیفیت قابل قبول هوای داخل" تبعیت کنند. در غیر اینصورت در صورت فقدان معیاری برای تعیین تعداد تعویض هوا در ساعت، می توانند از نکاتی که در ادامه آورده است استفاده کنند:

² American Institute of Architects

¹ American Society of Heating, Refrigeration, and Air-conditioning Engineers



شکل بالا ترتیب جریان هوا در سیستم HVAC برای اتاق کلاس N را نشان می دهد. فضای پیش-اتاق برای تأمین قفل هوا (جلوگیری از اختلاط هوا) بین اتاق بیمار و بخش های مجاور طراحی شده است. جریان هوا از پیش-اتاق وارد اتاق ایزوله می شود. کنترل فشار با تنظیم دریچه های ورود و تخلیه هوا در اتاق انتظار که از یک سنسور اندازه گیری فشار، دستور می گیرند ایجاد می شود.

۲-۴-۲. کنترل عفونت و استفاده از تهویه برای اتاق های All

هنگامی که مقررات دولتی خاصی برای طراحی و ساخت سیستم های تهویه در مراکز درمانی جدید یا نوسازی شده وجود ندارد از دستورالعمل های AIA به عنوان حداقل استانداردهای استفاده شود.

اصول توصیه شده شامل:

- ۱- حصول اطمینان از اتاق های ایزوله عفونت های هوابرد که برای نگهداری فشار منفی طراحی شده اند.
- ۲- کنترل پیوسته فشار هوای منفی که اختلاف آن نسبت به فشار هوا در راهروها نباید کمتر از ۲/۵ پاسکال (۰/۰۱ اینچ آب) باشد (فشار کمتر باشد). این اختلاف فشار با استفاده از یک سیستم تخلیه مجزا که حداقل ۱۵ درصد بیشتر از سیستم مولد، هوا را تخلیه می کند حاصل می شود.
- ۳- کنترل فشار هوا به صورت دوره ای، ترجیحاً به صورت روزانه با مانومترهای صوتی یا لوله های دود در درب اتاق ها (برای اتاق های All) یا نصب سیستم های دیداری برای کنترل دائمی فشار هوا
- ۴- زمانی که افت فشار فیلتر جریان هوای مولد حداکثر میزان افت را دارد، میزان تهویه هوا باید به مقداری باشد که تعداد تعویض هوا بیشتر یا مساوی ۱۲ بار در ساعت برای اتاق های جدید و بازسازی شده و بیش از ۶ بار تعویض هوا در ساعت برای اتاق های All باشد.
- ۵- در سیستم مولد اتاق های ایزوله فشار منفی (کلاس N) از فیلترهای MERV 14 (که ۹۰ درصد گرد و غبارها را حذف می کند) و در سیستم تخلیه این اتاق ها از فیلتر هپا (که ۹۹/۹۷ درصد ذرات با قطر ۰/۳ میکرون را فیلتر می کنند) استفاده می شود.
- ۶- گردش مجدد هوای تخلیه شده از اتاق های کلاس N توصیه نمی شود. سیستم تخلیه باید هوا را دور از مناطق مسکونی و هر گونه سیستم مولد هوا و مکانهای شلوغ هدایت کند. اما اگر گردش مجدد هوا قابل قبول شناخته شد لازم است از فیلتر هپا (که ۹۹/۹۷ درصد ذرات با قطر ۰/۳ میکرون را فیلتر می کنند) در سیستم های مولد برای سایر مکانها به منظور جلوگیری از ورود آلودگی ها احتمالی استفاده می شود.
- ۷- تخلیه جریان هوای آلوده به بیرون، نباید برای افراد خارج از ساختمان و پرسنل تعمیر و نگهداری از این سیستم ها، خطراتی را به وجود آورد. کنترل های مهندسی مکمل که در نتیجه ارزیابی

۲۴ باید بسته و مجهز به الارم باشند (بجز در شرایط اضطراری).

۱۳- از سیستم های جریان هوای خطی در اتاق های PE که به تازگی ساخته شده اند استفاده نشود.

۱۴- در اتاق PE از سیستم تهویه که بر روی دیوار قرار دارد و به سمت بیرون هوا را تخلیه می کند استفاده نشود.

۱۵- حمام های که به روشویی مجهز می باشند در قسمت پیش - اتاق نصب شود.

۱۶- اتاق های ایزوله فشار مثبت با تابلوهای ویژه ای مشخص شود.

۲-۴-۶. کنترل عفونت و الزامات تهویه برای اتاق های عمل

فشار مورد نیاز برای اتاق های عمل، مشابه اتاق های PE هستند. البته لازم است موارد استثناء زیر در نظر گرفته شوند:

۱- فشار مثبت را در اتاق های عمل نسبت به راهروها و فضاهای اطراف آن حفظ نمایید، تعداد تعویض هوا در هر ساعت بیشتر یا مساوی ۱۵ بار تامین شود که لازم است حداقل ۲۰ درصد این مقدار هوا، هوای تازه باشد.

۲- همه هوای تازه بیرونی و هوای برگشتی، با فیلترهای مناسب که راندمان آنها حداقل ۹۰ درصد باشد، فیلتر شوند.

۳- در اتاق هایی که جریان هوا بصورت جریان خطی افقی طراحی نشده باشد، لازم است هوا از سقف وارد شده و از نزدیکی کف، خارج شود.

۴- از لامپ های UV بر روی محل انجام عمل جراحی استفاده نشود.

۲-۴-۷. چالش های ویژه

یکی از مهمترین چالش ها زمانی است که بیمار هر دو اتاق ایزوله منفی و مثبت را نیاز دارد. به عنوان مثال زمانی که یک بیمار نقص سیستم ایمنی به یک بیماری عفونی مسری مانند سل مبتلا شده است. مطالعات نشان داده است که تقریباً ۱۵ درصد بیماران مبتلا به ایدز از سل رنج می برند که این موضوع یکی از مشکلات موجود در زمینه طراحی فضاهای بیمارستانی شده است. این بیماران نه تنها به محیط

حفاظت شده به منظور حفظ سلامت خود نیاز دارند، بلکه جداسازی آنها برای حفاظت سایر افراد از بیماری مسری آنها نیز ضروری می باشد. راه حل این مشکل، طراحی اتاقی حفاظت شده با فشار مثبت است که در کنار آن یک پیش-اتاق با فشار منفی نسبت به راهرو و اتاق حفاظت شده بیمار در نظر گرفته شده است.

هشدار: از طراحی سیستمی که در آن شرایط فشار مثبت و منفی قابل تغییر است اجتناب کنید.

۲-۶. پیش-اتاق^۱

پیش-اتاق برای اتاق های معمولاً برای اتاق های ایزوله منفی و مثبت پیشنهاد می شود که سه دلیل اصلی برای این موضوع وجود دارد:

- ۱- ایجاد مانع به منظور پیشگیری از کاهش فشار، پیشگیری از ورود یا خروج آلاینده ها بواسطه هوای ورودی یا خروجی از اتاق حفاظت شده در شرایطی که درب باز است.
- ۲- تأمین محیط کنترل شده به منظور پوشیدن لباس های حفاظتی و جلوگیری از آلوده شدن لباس ها قبل از ورود به اتاق ایزوله.
- ۳- تأمین محیط کنترل شده در مجاورت اتاق حفاظت شده، به منظور جلوگیری از آلوده شدن سایر مکان های اطراف.

بطور کلی سه طرح احتمالی برای کنترل جریان هوا در پیش-اتاق وجود دارد که از لحاظ فشار درون آنها نسبت به اتاق حفاظت شده و راهرو با هم تفاوت دارند.

۲-۶-۱. طرح شماره ۱: پیش-اتاق فشار منفی نسبت به راهرو و اتاق ایزوله

این طراحی دو مزیت دارد: نیازی به ایجاد سیستم مولد هوا برای بخش پیش-اتاق نیست، و اگر احیاناً پیش-اتاق آلوده شود بین پیش-اتاق و راهرو فشار منفی وجود دارد و از خروج آلودگی جلوگیری می شود. عیب آن: از آنجا که در پیش-اتاق نسبت به راهرو فشار منفی است، احتمال انتقال آلودگی از راهرو به پیش-اتاق زیاد است.

۲-۶-۲. طرح شماره ۲: پیش-اتاق فشار مثبت بست به راهرو و اتاق ایزوله

این طرح دو مزیت دارد: نیازی به سیستم تخلیه هوا و ایجاد تعادل در پیش-اتاق ندارد. همچنین هنگامی که اتاق انتظار نسبت به راهرو فشار منفی دارد، احتمال آلوده شدن آن از طریق راهرو کمتر است. عیب آن: اگر پیش-اتاق آلوده شود اتاق ایزوله نیز آلوده خواهد شد، به همین دلیل این طرح توصیه نمی شود.

^۱ anteroom

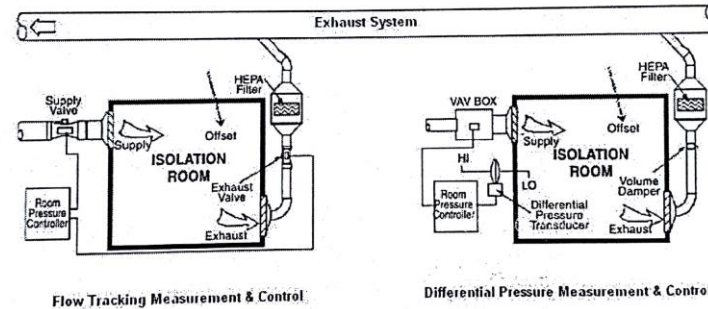
۲-۶-۳. طرح شماره ۳، پیش- اتاق خنثی، فشار منفی نسبت به اتاق ایزوله و فشار مثبت نسبت برای راهرو

این طرح ترکیبی از بهترین ویژگی های دو طرح قبل است. مزیت آن: هنگامی که اتاق انتظار نسبت به راهرو مثبت است، احتمال آلودگی آن از طریق راهرو کمتر بوده و اگر پیش- اتاق آلوده شود هنوز یک فشار حائل بین اتاق ایزوله و پیش- اتاق وجود دارد. معایب آن شامل افزایش هزینه ها و پیچیدگی کنترل ها و تعادل ها می باشد.

۲-۷. کنترل فشار اتاق

به منظور اطمینان از فشار مناسب اتاق لازم است اختلاف فشارها بطور پیوسته کنترل شوند. دو روش رایج کنترل اختلاف فشار شامل موارد زیر می باشند:

- ۱- اندازه گیری و کنترل میزان جریان هوای ورودی و خروجی از اتاق
- ۲- اندازه گیری و کنترل میزان اختلاف فشار (سیستم فشار تفاضلی)

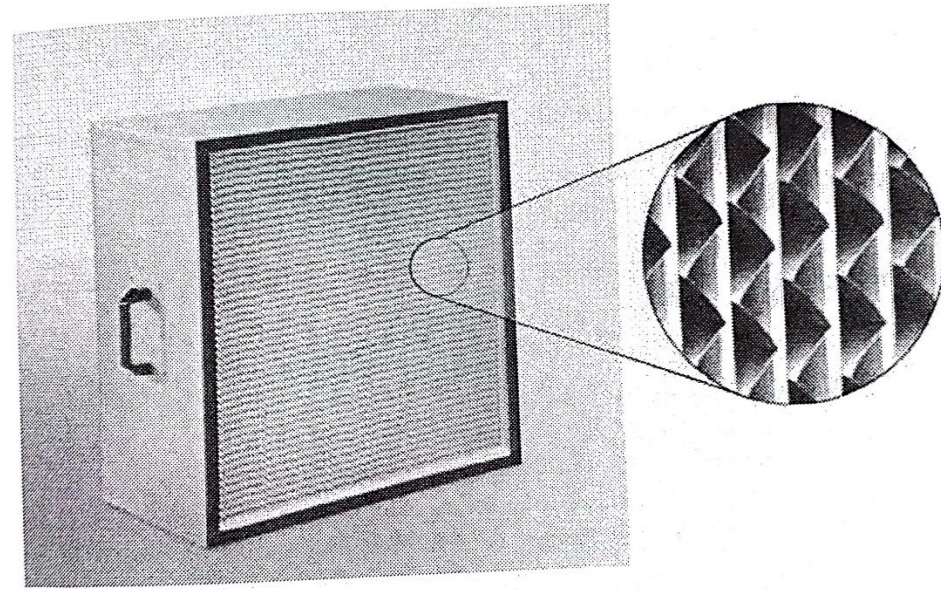


شکل ۲-۶: تنظیم فشار اتاق به روش کنترل دبی جریان هوای ورودی و خروجی (شکل سمت چپ)، و روش کنترل و اندازه گیری فشار اتاق (شکل سمت راست)

در روش اول به منظور تامین فشار مورد نظر، میزان تخلیه هوا از محیط و تامین هوا به محیط، کنترل و اندازه گیری می شود.

در روش دوم یا سیستم فشار تفاضلی، اختلاف فشار بین اتاق ایزوله و راهرو بواسطه اندازه گیری سرعت جریان هوای القا شده به یک مجرا در اتاق ایزوله و راهرو ها اندازه گیری می شود. از آنجا که مقدار فشار تفاضلی بسیار اندک است، ممکن است به وسیله عواملی چون اثر دودکشی ساختمان، اثر ناشی از آسانسور، باد و ... تحت تاثیر قرار گیرد، اندازه گیری آن بسیار مشکل است. دستگاه های دقیقی برای اندازه گیری فشار تفاضلی وجود دارد، اما هزینه آن بسیار زیاد است. OSHA و CDC استفاده از کنترل

نقطه بحرانی است زیرا این فیلتر برای دفع کپک و باکتری های هوابرد کاربرد
اندازه ۱ تا ۵ میکرون هستند، و همچنین برای زدودن ذرات ویروسی با اندازه زیر
مثال اسپورهای اسپریلوس با قطر ۲/۵-۳ میکرومتر) استفاده می شود. هر فیلتر هپا
فردی در کارخانه به منظور تأیید عملکرد آن ها از این استاندارد، سنجش می شود.
ت به منظور تأیید تبعیت مداوم از الزامات کارایی، در حین کاربرد در محیط نیز مورد



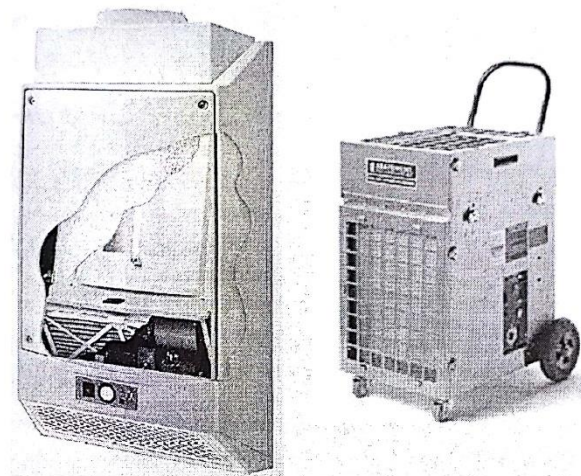
شکل ۲-۹: نمای کلی از یک فیلتر HEPA

های استفاده از فیلترهای هوا

در موارد زیر استفاده شود:

مسیر توزیع هوای ورودی اتاق های حفاظت شده

سیر هوای برگشتی از اتاق های ایزوله عفونی، وقتی که هوای برگشتی مجدداً در ا
ر می آید(به منظور افزایش تعداد تصفیه ها و کاهش احتمال انتقال ذرات از



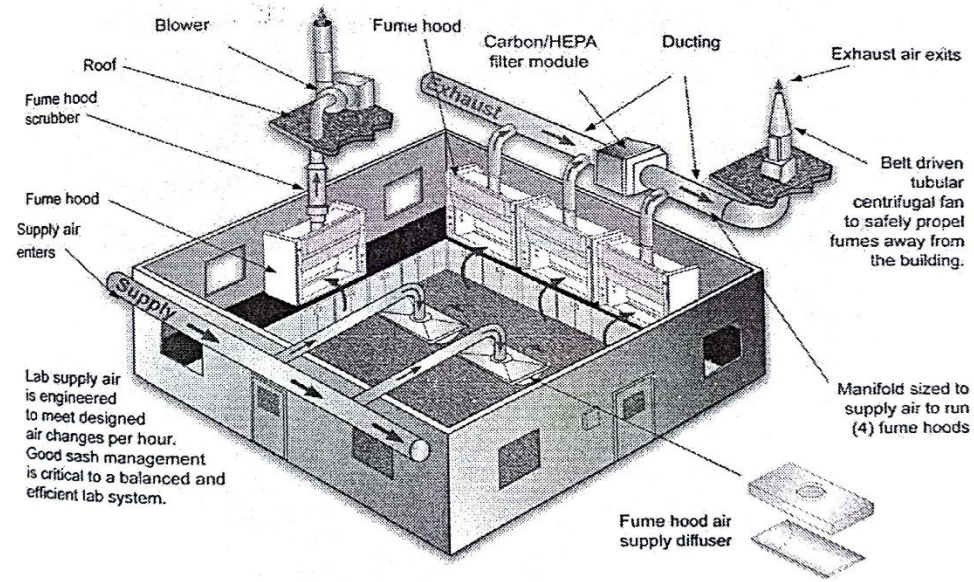
شکل ۲-۱۰: دو نمونه از فیلترهای قابل حمل هپا

۲-۱۶. کنترل بو

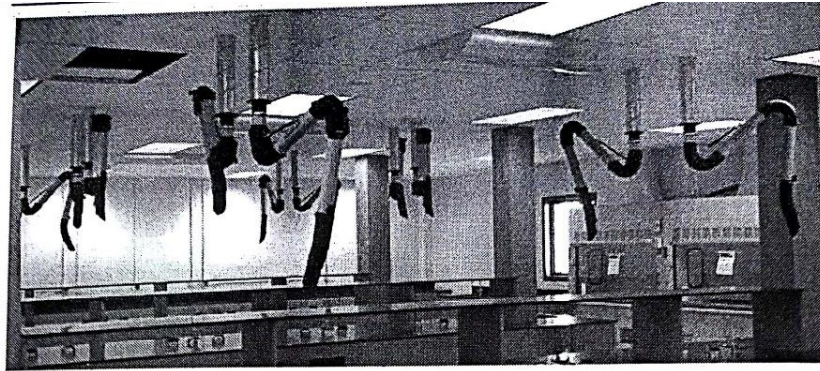
نواحی متعددی در مراکز درمانی وجود دارد که بوها و آلودگی های گازی در آنها رایج است. بسیاری از این آلودگی ها ممکن است فقط جنبه مزاحمت و عدم آسایش داشته باشد، در حالی که برخی از آلودگی ها ممکن است یک تهدید برای سلامتی کارکنان باشد.

فیوم ها و بوها می توانند به وسیله روش های شیمیایی مانند "جذب سطحی گاز" از هوا زدوده شوند که این آلاینده ها بیشتر رفتاری شبیه به گاز دارند نه شبیه ذرات (به عنوان مثال آلودگی های گازی مانند فرمالدئید، دی اکسید گوگرد، ازون و اکسیدهای نیتروژن). جذب سطحی گاز شامل یک یا چند روش از روش های زیر با مواد جاذب می باشد (به عنوان مثال کربن فعال، آلومیناژل، خاکی که به طور شیمیایی فیلتر شده است):

ی از موارد به دلیل مجاورت محل تهیه این آمیخته با ورودی هوای تازه به ساختمان، خطرناک ممکن است مجدداً وارد ساختمان شوند. در این شرایط لازم است از ترکیبات جاذب آسین های چندگانه استفاده نمود. در سردخانه که از فرمالین استفاده می شود، نباید فقط فیلتراسیون بخارات فرمالین بود، بلکه باید نگران زدودن باکتری های هوابرد عفونی نیز باشیم. دال بر ابتلا به بیماری سل ناشی از رشد باکتری TB که در طول فرآیند کالبد شکافی، هوابرد، گزارش شده است. در شرایطی که هوا بایستی از سردخانه تخلیه شده و قبل از ورود به تهویه فیلتر شود، استفاده از فیلتر هوا و فیلتراسیون بخارات آلاینده به کمک بسترهای جاذب ام از اهمیت بسزایی برخوردار است.



شکل ۲-۱۲: نمای کلی از سیستم تهویه موضعی ثابت در آزمایشگاه



شکل ۲-۱۳: نمایی از هودهای بازویی متحرک در آزمایشگاه

۲-۲۱. تهویه آشپزخانه

سیستم های تهویه مکنده که آلاینده ها را از تجهیزات آشپزخانه نظیر فر خوراک پزی، اجاق های گاز، ظرفشویی و . . . باید از بخش های دیگر جدا شود و هوای مکیده شده نباید مجدداً در ساختمان برگشت داده شود. دستورالعمل های زیر باید در حین طراحی سیستم های تهویه مد نظر قرار گیرند:

هودها و کانال ها

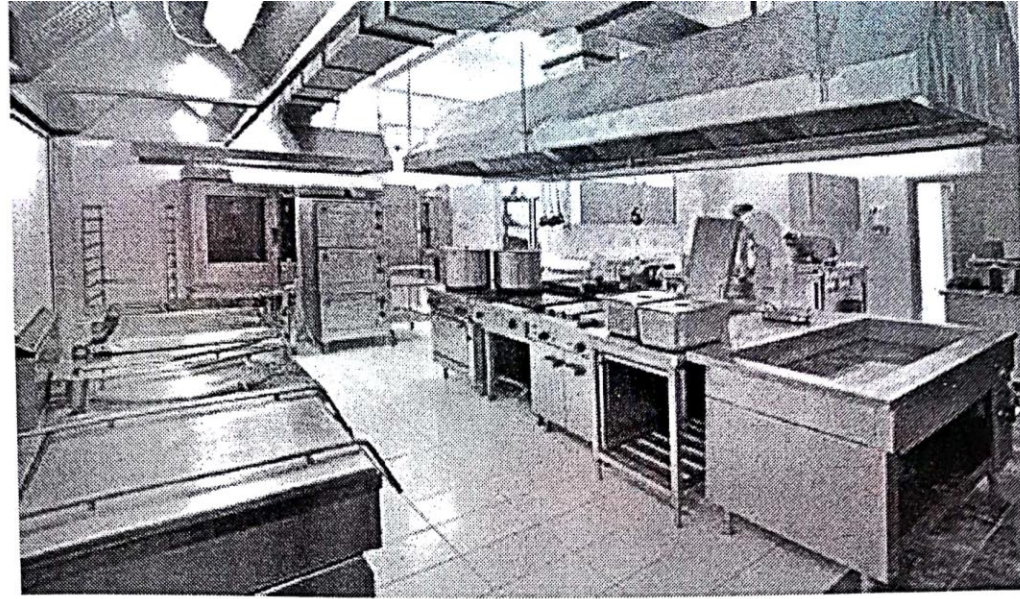
- ۱- سرعت سرعت هوا در کانال ها باید بین ۱۵۰۰ تا ۴۰۰۰ fpm باشد.
- ۲- سرعت ربایش هود بین هود و سطح پخت و پز نباید کمتر از ۵۰ fpm باشد.
- ۳- سطح دهانه هود باید به اندازه $\frac{1}{4} \times$ فاصله بین هود و سطح پخت بیشتر در نظر گرفته شود
- ۴- جنس هود کانوپی، کانال ها و موانع باید از مواد غیرقابل احتراق باشند

فیلترها

- ۱- سرعت توصیه شده در فیلتر: ۱۰۰ تا ۴۰۰ fpm
- ۲- دبی هوای عبوری از فیلتر توصیه شده: حداکثر ۲ CFM تخلیه برای هر اینچ مربع از سطح

فیلتر

- ۳- نحوه نصب توصیه شده: در زاویه ۴۵-۶۰ درجه نسبت به افق. هرگز افقی نصب نشود
- ۴- فیلترها از پرتو مستقیم گرمایی حفاظت شوند. موارد توصیه شده:
 - فیلترها با شعله مواجهه نداشته باشند، حداقل ۱ تا $\frac{1}{5}$ فوت فاصله تا فیلتر
 - آتش های ذغالی یا موارد مشابه، حداقل ۴ فوت فاصله شعله تا فیلتر



شکل ۲-۱۴: سیستم تهویه موضعی در آشپزخانه

۲-۲۲. تهویه اتاق های قفل دار، توالت و حمام

تهویه این فضاها در دفع بوها و رطوبت اهمیت دارد. در هنگام طراحی این محل ها بایستی حداقل الزمات قانونی در رابطه با تهویه رعایت شود. در توالت ها میزان تخلیه هوا 10 ACH یا 2 cfm/sq-ft ، هر کدام از این دو که نرخ تهویه بیشتری باشد، توصیه شده است. تأمین هوا ممکن است از طریق دریچه مشبک تعبیه شده در روی درب و یا از زیر درب انجام شود. دقت شود که بیش از $4/2$ متر مکعب هوا بر دقیقه (150 cfm) از زیر درب عبور داده نشود. توالت ها و حمام های عمومی به کانال هایی برای تخلیه هوا نیاز دارند که بتواند حداقل $8/5 \text{ ACH}$ را ایجاد کند. برای ایجاد تعادل، هوای جایگزین باید به مقدار 10 ACH از طریق راهروها به داخل کشیده شود و فشار منفی مورد نظر نیز تامین گردد.

۲-۲۳-۲. رطوبت

تلاش ها برای محدود کردن رطوبت و نم اضافی در ساختمان و جریان هوا در سیستم HVAC می تواند تکثیر و پخش اسپورهای قارچی و باکتری های موجود در آب، در تمامی هوای درون ساختمان را به حداقل برساند. کنترل رطوبت شامل سیستم های رطوبت زنی و رطوبت گیری می باشند که برای حفظ حداقل و حداکثر سطح رطوبت در قسمت های مختلف ساختمان مورد نیاز می باشند. چها معیار برای بیان میزان رطوبت و ویژگی های فیزیکی متفاوت مخلوط بخار آب و هوا استفاده می شود که شامل رطوبت نسبی، رطوبت مخصوص، نقطه شبنم و فشار بخار می باشند. رایج ترین آن ها رطوبت نسبی است که نسبت مقدار بخار آب در هوا به حداکثر مقدار بخار آبی که می توان در آن دما در هوا نگه داشته شود. در رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد، هوا اشباع از رطوبت شده است. برای اغلب بخش های مراکز درمانی، شرایط آسایش رطوبتی ۳۰ تا ۶۰ درصد (رطوبت نسبی) تعیین شده است. در صورتی که سطح رطوبت نسبی بیشتر از ۶۰ درصد باشد شرایط رطوبتی به گونه ای خواهد بود که عدم آسایش را به دنبال خواهد داشت و همچنین رشد قارچ ها را تسریع خواهد کرد.

۲-۲۳-۳. رطوبت گیری

اگر رطوبت به اندازه کافی به وسیله سیستم HVAC کنترل نشود، این امر می تواند منجر به یک فاجعه در خصوص رشد قابل توجه کپک ها باشد. رطوبت گیری معمولاً به واسطه سرد کردن هوا تا زیر نقطه شبنم انجام می شود. تاسیسات حرارتی که فقط تلاش می کنند که فضا دمای خشک را در محدوده ۷۵ درجه فارنهایت و رطوبت نسبی را ۵۰ درصد نگهدارند (به عبارت دیگر نقطه شبنم ۵۵ درجه

۲-۲۳-۴. رطوبت زنی

رطوبت زنی می تواند به وسیله مرطوب سازهای بخاری انجام شود. مرطوب سازها باید از جنس مقاوم در برابر رشد میکروب ها و پوسیدگی ساخته شوند. به منظور پایش و تمیز کاری این تجهیزات، محل هایی که احتمال تجمع آب وجود دارد باید دسترسی دائمی و آسان تعیین شود. واحدهای فرآوری هوا بایستی بواسطه کویل های سرمایش یا با استفاده از بسترهای جاذب رطوبت، قادر باشند هوا را در حد نیاز خشک کنند

موارد توصیه شده:

- ۱- مرطوب سازهای داخل کانالی را در پایین دست آخرین فیلتر نصب کنید
- ۲- مکانیزمی برای دفع آب اضافی در درون سیستم تهویه در نظر بگیرید
- ۳- تمامی دریچه های دمنده در پایین دست جریان به اندازه کافی از دستگاه های مرطوب ساز دور باشند تا رطوبت به طور کامل جذب هوا شود
- ۴- در صورت امکان از رطوبت بصورت بخار استفاده شود و با این روش از کثیر میکروبی در درون سیستم جلوگیری شود. از رطوبت زنی با میست آب سرد خودداری شود
- ۵- از اسپری نمودن آب معمولی به عنوان رطوبت زنی استفاده نکنید.

