

# تهویه مطبوع اتاق بیمار

ترجمه: مهندس نیره شمشیری

ماخذ: ماهنامه اشری - ژوئن ۲۰۱۶

هوا ناقل اولیه گرما، رطوبت، آلودگی‌ها و آلاینده‌های هوا در تأسیسات مراکز درمانی مثل اتاق‌های بیمار، اتاق‌های ایزوله و اتاق‌های عمل است؛ بنابراین مسیر جریان هوای رفت نقش مهمی در تعیین سرعت و دمای هوا، غلظت آلاینده‌ها و مسیر جریان میکروب‌های بیماری‌زای هوا در این فضاها دارد. این عوامل آسایش حرارتی ساکنین، کیفیت هوای داخل، توزیع آلودگی سطحی و پتانسیل انتقال بیماری‌زاهای هوا در یک اتاق را تعیین می‌کنند.

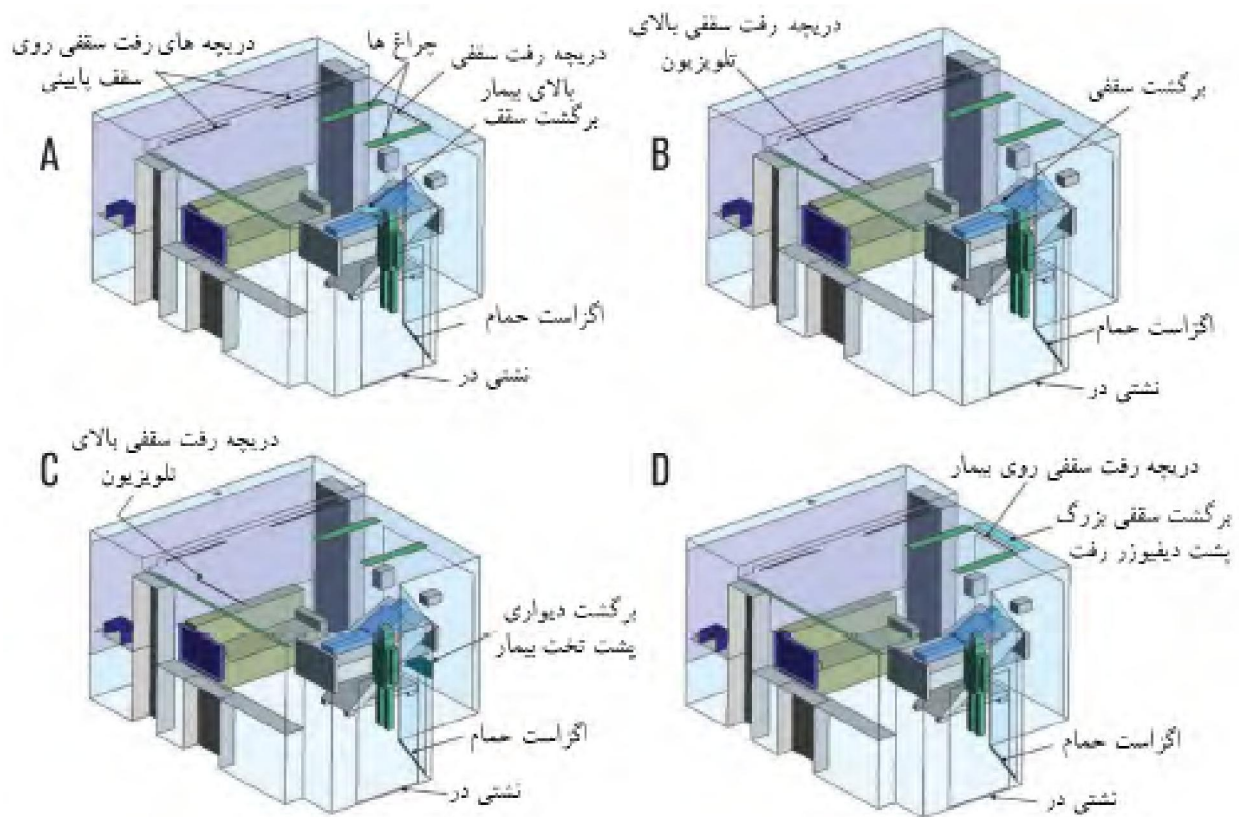
الگوهای جریان هوا، توزیع دما و غلظت آلاینده‌ها شامل مسیر جریان بیماری‌زاهای هوا در یک اتاق بیمار به چندین عامل مرتبط از جمله محل و نوع دریچه‌های هوای رفت، سرعت جریان هوای رفت (میزان تغییر هوا) و جریانات دریچه‌ی هوای رفت مربوطه، دمای هوای رفت، اندازه و محل هوای برگشت، سرعت جریان اگزاست حمام، محل و قدرت منابع حرارتی مختلف در یک اتاق، چیدمان وسایل و سایر موانع جریان هوا و نیز محل نسبی یک بیمار در اتاق بستگی دارد. به‌علاوه، جهت اتاق می‌تواند بارهای گرمای محسوس خورشیدی در اتاق را تعیین کند. چندین مطالعه نشان می‌دهد طراحی یک سیستم تهویه و الگوی جریان هوای حاصل در مقایسه با کنترل مسیر جریان آلاینده‌ها نسبت به سرعت جریان هوای رفت یا میزان دفعات تعویض هوا در ساعت نقش مهم‌تری ایفا می‌کند. یک مطالعه روی الگوهای جریان هوا و قرار گرفتن احتمالی کارکنان مراکز درمانی در معرض بیماری‌زاهای هوا نشان می‌دهد آئروسول‌های جداشده از بیمار با حرکت هوا از دریچه‌ی هوای رفت به سمت اگزاست اتاق می‌تواند به سمت پرسنل حرکت کند. در مطالعه‌ای دیگر، اختلاط جریانات استنشاقی ذرات سرفه با جریان تهویه در یک سوئیت بیمارستانی نشان می‌دهد اگزاست‌های پایین از نظر حذف ذرات و ذرات باقی‌مانده اطراف تخت قوی‌تر از محل‌های دیگر اگزاست عمل می‌کنند.

این مطالعه تلاش می‌کند با استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، تأثیر محل رفت و برگشت روی الگوهای جریان هوا و توزیع دما همراه با آسایش حرارتی ساکنین و مسیر جریان احتمالی بیماری‌زاهای هوا در یک اتاق بیمار معمولی را ارزیابی کند.

## اتاق بیمار مجازی

یک مدل دینامیک سیالات محاسباتی حالت پایدار سه‌بعدی برای این آنالیز ساخته می‌شود. اتاق بیمار مجازی در شکل ۱ محل بیمار، پرسنل مرکز، محل نشستن، در تا راهرو، در تا حمام و محل‌های هوای رفت و برگشت برای موارد مختلف را نشان می‌دهد. مساحت اتاق ۲۰۰ فوت مربع (۱۸,۹ مترمربع) و ارتفاع سقف ۹ فوت (۲,۷۴ متر) است که یک سقف پایین‌تر در بخشی از اتاق قرار گرفته و شامل چند وسیله تولیدکننده گرما مثل یک مونیتور، پمپ اینفیوژن، یک تلویزیون و یک کامپیوتر می‌باشد.

# تهویه مطبوع اتاق بیمار



## شکل ۱:

نمودار شماتیک مدل های دینامیک سیال محاسباتی برای چیدمان های مختلف HVAC اتاق بیمار  
**A** (نمونه پایه) **B** (نمونه دو) **C** (نمونه سه) **D** (نمونه چهار)

کل بار گرمای محسوس این تجهیزات  $2,2 \text{ Btu}$  بر ساعت به ازای فوت مربع ( $6,84$  وات بر مترمربع) فرض شد. بار گرمای محسوس ساکنین (بیمار و پرستار)  $2,5 \text{ Btu}$  بر ساعت به ازای فوت مربع ( $7,8$  وات بر مترمربع) فرض شد. درحالی که بار گرمای محسوس روشنایی  $2,3 \text{ Btu}$  بر ساعت به ازای فوت مربع ( $7,3$  وات بر مترمربع) فرض شد. اتاق یک پنجره رو به جنوب دارد که بهره گرمای خورشیدی آن  $9 \text{ Btu}$  بر ساعت فوت مربع ( $28,4$  وات بر مترمربع) است. سایر دیوارهای خارجی اتاق آدیباتیک فرض می شوند.

بنابراین کل بار گرمای محسوس اتاق  $16 \text{ Btu}$  بر ساعت به ازای فوت مربع ( $50$  وات بر مترمربع) فرض شد. این آنالیزها برای شرایط بار جزئی که رایج تر از شرایط بار طراحی پیک است انجام شد.

هوا از طریق سه دریاچه ای هوای رفت خطی یک شیاری (عرض  $1$  اینچ یا  $25$  میلی متر) هر یک به طول  $4$  فوت ( $1,2$  متر) تأمین می شود. کل نرخ جریان و دمای هوای رفت به ترتیب  $227 \text{ cfm}$  ( $107$  لیتر بر ثانیه،  $1 \text{ ach}$ ) و  $58$  درجه فارنهایت ( $14,4$  درجه سانتی گراد) مشخص شد. دو دریاچه ای هوای رفت خطی در سقف پایینی رو به

## تهویه مطبوع اتاق بیمار

پنجره قرار گرفته و طوری طراحی شدند که  $70\text{cfm}$  (۳۳ لیتر بر ثانیه) هوای رفت را مستقیماً به سمت پنجره تأمین کنند درحالی که دریچه‌ی هوای رفت خطی روی بیمار برای تأمین  $87\text{cfm}$  (۴۱ لیتر بر ثانیه) طراحی می‌شود. فرض می‌شود همه دریچه‌های هوای رفت خطی، هوا را با زاویه ۱۵ درجه نسبت به سقف تأمین می‌کنند که اختیاری انتخاب می‌شوند. فرض می‌شود اتاق با فشار منفی کار می‌کند.

نرخ جریان برگشت از اتاق برای  $177\text{cfm}$  (۱۱۲ لیتر بر ثانیه) طراحی شد، درحالی که نرخ جریان اگزاست  $60\text{cfm}$  (۲۸ لیتر بر ثانیه) طراحی شد. پس کل نرخ جریان برگشت  $237\text{cfm}$  (۱۱۲ لیتر بر ثانیه) با کسر  $10\text{cfm}$  (۴٫۷ لیتر بر ثانیه) فرض شد که از طریق نشی زیر در اصلی از راهرو تأمین می‌شود.

آسایش حرارتی ساکنین با استفاده از شاخص رأی میانگین پیش‌بینی شده (PMV) که در هندبوک مبانی ASHRAE ۲۰۱۳ توضیح داده شده تحلیل شد. این شاخص با فرض اعداد  $0.5\text{clo}$  و نرخ تولید گرمای متابولیک  $1.2$  محاسبه شد. مسیرهای جریان احتمالی بیماری‌زاهای هوا با ردیابی خطوط جریان هوای منتشره از چهره بیمار تحلیل می‌شود. این آنالیز روی انتشار بیماری‌زاهای با گشتاور پایین تمرکز می‌کند (روی انتشارات با مومنتوم بالا مثل عطسه و سرفه با حجم کامل تمرکز ندارد) و فرض می‌کند بیشتر بیماری‌زاهای هوای منتشر شده از صورت بیمار از مسیر جریان هوا پیروی می‌کنند و نشستن این ذرات روی سطوح نادیده گرفته می‌شود. این فرض برای ذرات کوچک که در مرجع ۶ توضیح داده شده صادق است. در مجموع چهار مورد که برای محل‌های مختلف دریچه‌های هوای رفت و برگشت تحلیل شد در ادامه توضیح و در شکل ۱ نشان داده می‌شود.

- نمونه پایه: دریچه‌ی هوای رفت سقفی روی سر بیمار و برگشت سقفی نزدیک در ورودی. این یک چیدمان HVAC معمول برای اتاق بیمار است.
- نمونه ۱: دریچه‌ی هوای رفت سقفی روی سر بیمار که به سمت تلویزیون (دور از بیمار) حرکت می‌کند و برگشت سقفی که نزدیک در ورودی نگه‌داشته می‌شود.
- نمونه ۲: دریچه‌ی هوای رفت سقفی بالای تلویزیون (دور از بیمار) و برگشت سقفی که با برگشت دیواری پایین که پشت سر بیمار گذاشته می‌شود تعویض می‌شود.
- نمونه ۳: دریچه‌ی هوای رفت سقفی روی سر بیمار و برگشت سقفی نزدیک در که با یک برگشت سقفی بزرگ بالای سر بیمار تعویض می‌شود.

### تحلیل و نشانه‌ها

#### نمونه پایه: چیدمان معمول HVAC

## تهویه مطبوع اتاق بیمار

نتایج محاسباتی برای هر نمونه به شکل نمودارهای رنگی ارائه می‌شود که توزیع دما، توزیع PMV، نمودار برداری نشان‌دهنده توزیع جریان هوا و نمودارهای خط جریان که نشان‌دهنده مسیر احتمالی ذرات هوای منتشره از صورت بیمار است را نشان می‌دهد. در آنالیز نمونه پایه، هم دریچه‌ی هوای رفت و هم گریل برگشت در سقف قرار می‌گیرد و دریچه‌ی هوای رفت خطی مستقیم بالای سر بیمار است (شکل ۱a). هوای خروجی از دریچه‌ی هوای رفت یک الگوی سیر کولاسیون قوی بالای بیمار شکل می‌دهد. دریچه‌های هوای رفت خطی که به‌عنوان دریچه‌ی هوای رفت ترکیب‌کننده هم خوانده می‌شوند به خاطر ویژگی‌های القایی خود شناخته می‌شوند. جت هوای خروجی از دریچه‌ی هوای رفت خطی، جریان کششی قوی (القایی) روی بیمار و پشت تخت ایجاد می‌کند. (شکل ۲a). در نتیجه جریانات هوا به سمت بالا روی بیمار بوده و پشت به جریان هوای رفت قرار می‌گیرد. الگوهای جریان هوایی که در همه این موارد نشان داده می‌شود در یک صفحه مخصوص قرار دارد که از مرکز بدن بیمار عبور می‌کند. با این وجود، الگوهای جریان هوای سه‌بعدی حاصل از چیدمان‌های مختلف دریچه‌های هوای رفت و برگشت در اتاق کاملاً پیچیده است که بر الگوهای جریان هوا در صفحه تأثیر می‌گذارد.

دمای هوای نزدیک سر بیمار و پشت تخت کمی بیشتر از دمای هوای نزدیک دیوار مخالف است (شکل ۲b). این نتیجه تا حدی به دلیل جریان هوای برگشت عبوری از این منطقه است. شکل ۲c توزیع حاصل PMV، شاخص آسایش حرارتی را نشان می‌دهد.

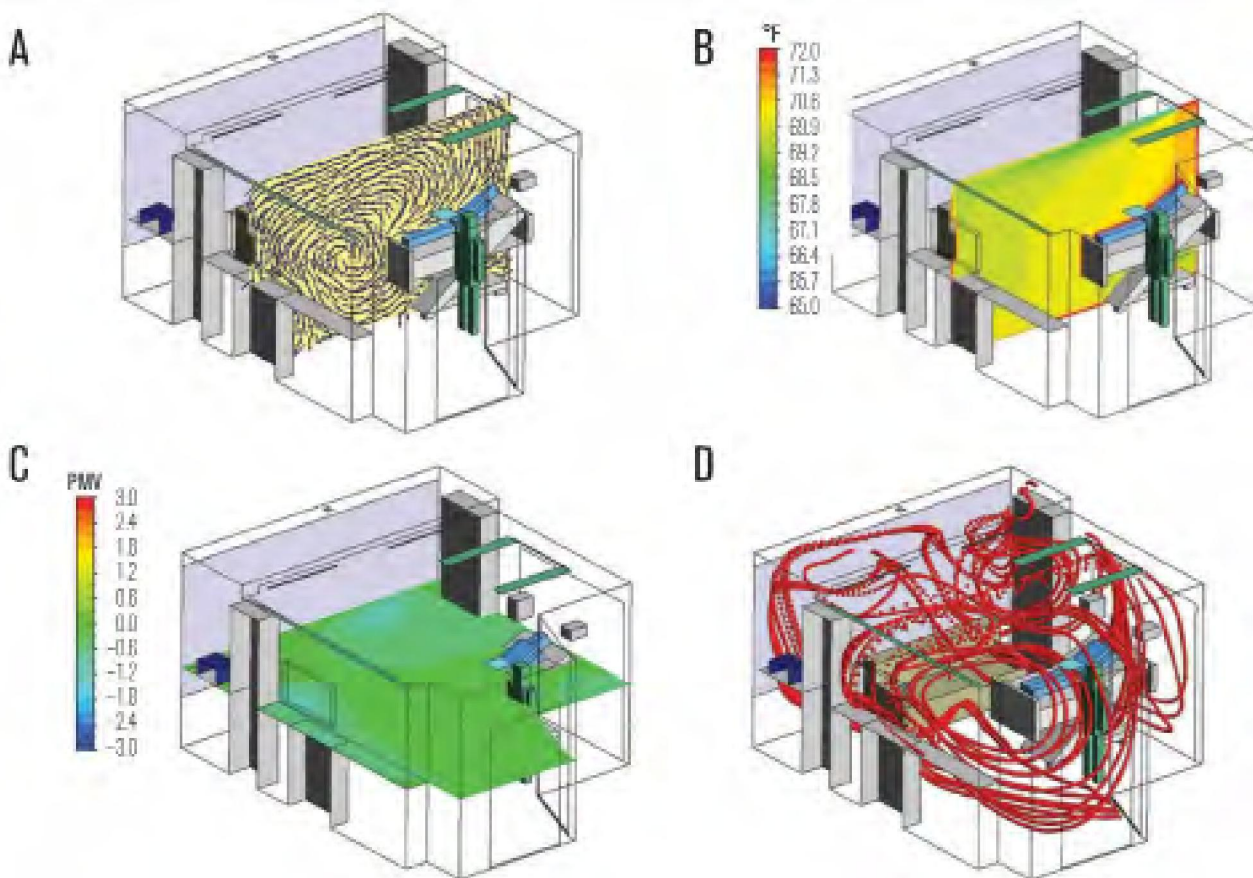
همان‌طور که در این شکل نشان داده شده در ارتفاع ۴ فوتی (۱٫۲ متر) از کف، آسایش حرارتی ساکنین تقریباً در سطح خنثی (PMV نزدیک ۰٫۰) است که یک محیط گرمایی قابل قبول را نشان می‌دهد. جریانات هوای القایی سبب می‌شوند ذرات هوای منتشرشده از صورت بیمار به سمت بالا و دریچه‌ی هوای رفت حرکت کرده و پشت جریان هوای رفت قرار گیرند که گاهی ممکن است به اتاق گسترش یابد. این نشان می‌دهد ترکیب جریان هوا می‌تواند تأثیر معکوس روی کنترل آلودگی داشته باشد. این چیدمان خاص تأسیسات مکانیکی و تهویه مطبوع سبب می‌شود بیماری‌زاهای هوا به جریان هوای رفت برگردند.

### نمونه ۱: دریچه هوای رفت دور از بیمار

در تلاش برای اجتناب از سیر کولاسیون هوای قوی و ورود جریان هوا مستقیم روی صورت بیمار، دریچه هوای رفت دور از بیمار و نزدیک‌تر به دیوار مخالف روی تلویزیون گذاشته شد (شکل ۱b). مثل نمونه قبل، هم دریچه هوای رفت و هم گریل‌های برگشت در سقف قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل ۳a نشان داده‌شده، دور شدن دریچه هوای رفت از بیمار الگوی جریان هوا را عکس می‌کند. در این مورد، منطقه جریان کششی (القایی) نزدیک تلویزیون حرکت می‌کند. هوای رفت بعد از خروج از دریچه هوای رفت نزدیک سر بیمار می‌ریزد و به سمت پایین نزدیک بیمار می‌رود. این تغییر محل دریچه هوای رفت دمای نزدیک سر بیمار را کمی کاهش داده و بازهم شرایط آسایش حرارتی را در ارتفاع ۴ فوتی (۱٫۲ متر) از کف حفظ می‌کند (شکل‌های ۳b و ۳c).

## تهویه مطبوع اتاق بیمار

با این وجود خطوط مسیر جریان که از صورت بیمار بیرون می‌آید نشان می‌دهد ذرات هوا به‌جای بالا رفتن از صورت بیمار به سمت پایین رفته و بعد به سمت بالا و دریچه هوای رفت حرکت می‌کند. شبیه نمونه قبل، بیماری‌زاهای هوا را می‌توان پشت سر جریان هوای رفت قرار داد و به‌کل اتاق گسترش داد. اگرچه تغییر محل دریچه هوای رفت به وارونه کردن مسیر جریان ذرات هوا نزدیک سر بیمار کمک کرد، اما نتوانست از قطار شدن (حمل) اجتناب کند و با جریان هوای رفت ترکیب می‌شود.



### شکل ۲

نتایج آنالیز نمونه پایه که موارد زیر را نشان می‌دهد:

(A) الگوهای جریان هوا (B) توزیع دما

(C) توزیع PMV در ارتفاع ۴ فوتی (۱,۲ متری)

(D) خطوط مسیر جریان حاصله که مسیر احتمالی ذرات هوای منتشره از صورت بیمار را نشان می‌دهد. این چیدمان HVAC ذرات هوا را به جریان هوای رفت برمی‌گرداند که در واقع به‌کل اتاق گسترده می‌شود.