تهویه نوین اتاق های عمل با استفاده از لامینار ایرفلو[1] و بهینه سازی سیستم های کنونی

مهدی کفایتی ملک آباد[2]

محسن یساقی[3]

سیدرضا نبوی کلات[4]

چکیده

آن چه که تاکنون در مباحث تهویه در بیمارستانها در خصوص اتاق های عمل مطرح و مدنظر بوده است جلوگیری از انتشار آلاینده های میکروبی و پاتوژن ها بوده است . یکی از عوامل گسترش آلودگی های ریز ذرات بوسیله دستگاههای تاسیسات مکانیکی با سیال عامل هوا می باشد. از آن جا که در اتاق های تمیز و اتاق های جراحی وجود این دستگاهها اجتناب ناپذیر است پس نیازمند مطالعات دقیق تر و کاملتری درباره چگونگی گردش هوا در فضا هستیم. اولین عامل تعیین سرعت هوا می باشد که پس از بررسی های لازم ایجاد جریان آرام با سرعت پایین عامل مهمی در کنترل آلاینده ها و پخش ذرات می باشد. تجهیز نوینی که قادر به کاهش سرعت هوا با کمترین افت فشار و بیشترین مقدار تمیزی می باشد دستگاه مکانیکی لامینار باکس نام دارد.

یکی از نکاتی که در این پژوهش بحث شده است بررسی شاخص هزینه- فایده امکان تجهیز فضای اتاق تمیز در حال بهره برداری به لامینار باکس ثابت است که نیاز بسیاری از فضاهای درمانی حال حاضر می باشد. سعی می شود برای افزایش کلاس تمیزی فضای در حال بهره برداری راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از تغییرات اساسی و دارای بار مالی بررسی و ارائه گردد .بازنگری طراحی نوع اگزاست و تخلیه هوای فضای درمانی با توجه به وجود لامینار باکس و افزایش کلاس تمیزی فضا لازم و ضروری است.

در این پژوهش سعی می شود پس از بررسی تاسیسات اتاق عمل و مطالعه و طراحی نمونه از لامینار باکس ها بصورت تئوری و چگونگی پخش ذرات بسیار ریز میکرونی و تاثیر جریان آرام خروجی از لامینار باکس یادآور الزام وجود این تجهیز در راستای ارتقا کیفیت بهره برداری باشیم .

کلمات کلیدی : اتاق عمل، تهویه مکانیکی، لامینار باکس، بهینه سازی، آلودگی ریز ذرات، هزینه - فایده.

[1] Laminar Air Flow یا لامینار باکس.

[2] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند

[3] دانش آموخته کارشناسی مهندسی مکانیک ، دانشگاه آزاد مشهد

[4] دانش آموخته کارشناسی مهندسی مکانیک ، دانشگاه آزاد مشهد

مقدمه:

ابتدا بایستی درآمدی بر فضای اتاق عمل و نقش آن در بیمارستان و سپس تاسیسات آن در بخش طراحی نگاهی بیندازیم. با نگاهی به تاریخ بیمارستان سازی در ایران تعریف بیمارستان و اتاق عمل از دید مهندسین و متخصصین بیمارستان سازی بدین گونه است.

مطمئنا در طول تاریخ همواره تعریف بیمارستان بعنوان محل درمان بیماران ، ثابت بوده و در اهمیت اتاق عمل میتوان اشاره کرد که بیمارستان به عنوان محل درمان بیماران ، همواره با شاخص اتاق های عمل مقایسه و دارای معنی و مفهوم خواهد بود. لیکن درباره اطاق های عمل همواره تغییراتی را در تعاریف ،ظرفیت ،جانمایی ، معماری داخلی ،ارتباطات با سایر بخش ها ،اندازه ها ،پارت بندی های عملکردی ،تجهیزات و منصوبات پزشکی و تاسیساتی ثابت و پرتابل، شاهد بوده و هستیم. ازهمه مهمتر چگونگی طراحی فضا ی نهایی اطاق های عمل، بدون آنکه چیزی فدای چیز دیگر شده و قابلیت اجرایی ونگهداری این مجموعه را درطول بهره برداری ، حفظ نماید ، اصلی ترین هدف بیمارستان سازان بوده است .

اگر به تمامی پیچیده گی های ذکر شده دربالا ،اهمیت منظور نمودن امکان توسعه و رفع نیازهای بعد از ساخت در ابعاد مختلف را پیش بینی کنیم اهمیت موضوع دوچندان خواهد شد. بنابراین پژوهش حاضر علاوه بر نگاهی به موضوعات طراحی، سعی شده است که از سه موضوع کلان عملیات اجرا وساخت ، تعمیر و نگهداری و همچنین توسعه و بازسازی مراکز درمانی موجود نیز غافل نباشد.

شاید بتوان گفت علی رغم کارهای مطالعاتی بسیاری که در موضوعات مختلف اتاق عمل انجام شده، اکثر جامعیت لازم در تمامی رشته ها شامل متخصصین رشته های مختلف جراحی (به عنوان بهره برداران نهایی) ومهندسین ساختمان وتاسیسات (بعنوان سازندگان این فضای خاص تخصصی وپیچیده) را نداشته و این امر باعث شده مهمترین ، واصلی ترین بخش بیمارستان ، دراکثر پروژه ها ، دچار تغییرات اساسی شده و تقریبا کمتر بیمارستانی یافت شود که در آن در طول سال شاهد کار اکیپ های بنایی وتاسیساتی نباشیم. خوشبختانه با نگارش کتاب بیمارستان ایمن تحت نظارت دفتر توسعه منابع فیزیکی وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی که با تلاش جمعی متخصصین تمامی رشته های مرتبط بسیاری از مشکلات این بخش در حوزه طراحی برطرف گردیده است. در ادامه مطالب نیز برخی از نکات طراحی تاسیساتی از کتاب حاضر را بحث می کنیم.

گذری بر تاسیسات بیمارستان و اتاق عمل

اهمیت و حساسیت بحث تاسیسات در بیمارستان ها سبب شده است که طراحی تاسیسات مکانیکی آن از پیچیدگی خاصی برخوردار باشد. در نتیجه دقت در محاسبات و رعایت اصول استانداردهای بین المللی که در مورد بیمارستانها وضع شده است بایستی دقیقا مد نظر طراح تاسیسات باشد، از طرفی بحث درمان بیمار در کنار ایجاد شرایط آسایش انسان ها نیز از نکات اساسی در طراحی تاسیسات مکانیکی تهویه مطبوع در بیمارستان است.

فضاهای تاسیساتی بیمارستان شامل:

- انبار و موتورخانه گازهای طبی
- محلی برای قرار دادن ژنراتور به عنوان نیروگاه

- موتورخانه برای گرمایش و سرمایش و لوله های آب مصرفی و تولید بخار
- اتاق هوارسان و اتاق برق . پست برق و ایستگاه گاز شهری.
- محلی واقع در فضای آزاد(سایت) برای تصفیه فاضلاب
- محلی واقع در فضای آزاد جهت جمع آوری زباله ها
- کارگاههای تعمیراتی
- تهویه مطبوع
- یخچال
- سیستم های الکتریکی-روشنایی-ارتباطات-موتورها و کنترل
- آسانسور ها

منابع آلودگی در بیمارستان

سطح آلودگی موجود در هوا در یک اتاق تمیز بستگی به فعالیت پرسنل و حرکت تجهیزات آن محیط دارد. اما مشخص شده که بسیاری از *این آلاینده ها چند منبع اصلی دارند:*

۱. امکانات وسایط : در، دیوارها، رنگ و پوشش، مصالح ساختمانی، گرد و غبار دستگاه تهویه، بخارات موجود در فضا،
۲. مردم : پوست بدن، روغن و کرم ها، آب دهان، مو، لوازم آرایشی و عطر، پرز لباس ها
۳. ابزار و تجهیزات :سایش ذرات، روان کننده ها، ارتعاشات،
۴. ذرات شناور :باکتری ها و مواد آلی مرطوب، مواد شیمیایی تمیز کننده، آب مقطر

سیستم پیشنهادی جهت گرمایش و سرمایش اتاق های عمل و ریکاوری، اتاق های زایمان، جراحی، نوزادان و بخش های مراقبت های ویژه ICUو CCU و سایر فضاهای حساس استفاده از هوارسان یک منطقه ای یا چند منطقه ای است که اصولا استفاده از هوارسان های چند منطقه ای برای فضاهایی پیشنهاد می گردد که دما و رطوبت نسبی فضاهای مجاور یکسان نباشد به عبارت دیگر بخواهیم دما و درصد رطوبت نسبی هر منطقه بطور جداگانه قابل کنترل و تنظیم باشد.با توجه به اینکه اتاق های عمل و سایر مناطق حساس با صددر صد هوای تازه کار می کنند این هواسازها فقط دارای یک ورودی جهت هوای تازه می باشند. در هواسازهای چند منطقه ای معمولا دو کویل سرد و گرم به طور موازی در آن قرار دارد .(استفاده از کویل های پیش گرمکن برای حفاظت کویل های دستگاه ها در مناطق اقلیم سرد مرسوم می باشد.)

منطقه اصلی درتالار اطاقهای عمل

این منطقه را ناحیه سترون شده یا ناحیه ضدعفونی شده یا ناحیه خط قرمز میگویند ؛ همه چیز دراین منطقه بایستی ضد عفونی شده یا به عبارتی استریل شده باشد .کلیه اقلام ، تجهیزات پزشکی وغیر پزشکی ، پرسنل ، بیماران ، حتی سطوح دیوارها و کف وسقف ، دراین منطقه حتی الامکان استریل شده وجود خواهند داشت . تک تک اطاق های عمل حتی الامکان دارای سیستم سیرکولاسیون هوا به صورت مستقل از دیگر فضاهای بیمارستان ومجهز به فیلتر های مختلف به خصوص فیلتر هپا خواهند بود . در طراحی این فضا بیشترین نقش مربوط به امور تاسیساتی خواهد بود . الزامات تاسیساتی درکف (مانند شبکه ارت زیر کفپوش های کاندکتیو ، بعضی از اتلت های گازهای طبی از کف ، شبکه برق مورد نیاز تخت جراحی از کف)و همچنین نیاز های تاسیساتی در بالای سقف کاذب (شبکه گازهای طبی ، شبکه کانال های هدایت هوای سرمایش

وگرمایش ، شبکه هدایت گازها و بو های اطاق عمل به خارج یا اگزوز فن ها ، شبکه برق روشنایی ، شبکه برق مصارف تجهیزاتی ، فضای مورد نیاز نصب پلیت چراغ سیالتیک ، و . .) اجباراً ارتفاع این قسمت از بیمارستان را با دیگر نواحی بیمارستان متمایز میکند ، به همین دلیل در جا نمایی داخلی در تالار اطاق های عمل ، از همان ابتدای طراحی بایستی فضای منطقه اصلی ویا استریل را ، در کل کار مشخص ومابقی قسمت های تالار اطا ق های عمل و بدون اغراق ،حتی مابقی بیمارستان را ، بعد از تعیین تکلیف این منطقه ، تکمیل و نهایی نمود . منطقه اصلی در تالار اطاق عمل بیمارستان ها میتواند خود یک سالن مستقل که درب تمامی اطاق های عمل به ان باز گردد باشد ویا اصلا سالن مجزایی در کار نبوده وتک تک اطاق های عمل به سالن منطقه داخلی وصل باشند ؛ دراینصورت صرفاً هر اطاق عمل یک خط قرمز خواهد داشت . ولی در هر حالتی خواه به صورت منطقه قرمز کلی ویا چند خط قرمز (البته کلی بهتر از چند منطقه ای میباشد) در طراحی سیکل هوا ، نبایستی فشار هوا بگونه ای باشد که امکان ورود هوا ی غیر استریل به داخل اطاق عمل وجود داشته باشد .

گذری برتأسیسات مکانیکی و تهویه مطبوع بیمارستان (بخش جراحی) از دیدگاه مرجع بیمارستان ایمن

این قسمت از راهنما به تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه ی مطبوع بخش جراحی اختصاص دارد.

عوامل تأثیرگذار

شرایط اقلیمی محل احداث بیمارستان برطراحی تاسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع بخش های جراحی، از راه های زیر، تاثیر معینی دارد:

۱- تغییرات دمای هوای بیرون روی بارهای گرمایی و سرمایی تاثیر گذار خواهد بود.

۲- به دلیل اینکه دستگاه هوارسان با صد در صد هوای تازه انتخاب می شود، تغییرات هوای بیرون موثر خواهد بود.

۳- شرایط آب و هوایی و اقلیم نقاط مختلف کشور، بسیار متفاوت است .عمده ترین اقلیم ها شامل انواع زیر است:

الف) معتدل

ب) معتدل وبارانی

ج) سرد وکوهستانی

د) گرم و خشک و بیابانی

ه) گرم و مرطوب

بررسی و انتخاب سیستم برای کنترل شرایط هوای فضاهای اتاق های عمل، ریکاوری و آمادگی قبل از عمل بیشتر از الزامات داخلی این بخش ها تاثیر می پذیرد و کمتر به شرایط اقلیمی واجتماعی محل احداث بیمارستان و اقلیم آن بستگی پیدا می کند؛ زیرا این بخش ها فضای بسته ای دارندکه عمدتاً به منظور کنترل عفونت، رابطه مستقیمی با هوای بیرون ساختمان و نیز هوای بخش های دیگر بیمارستان ندارد.

شرایط هوای خارج

برای انجام محاسبات تاسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع بخش های جراحی، نیاز به شرایط هوای محل احداث بیمارستان است .در این محاسبات استفاده از نقاط حداکثر مطلق) در تابستان (و حداقل مطلق) در زمستان (منطقی نیست زیرا تعداد ساعت هایی که در سال دمای هوای خارج به این ارقام می رسد کم است لذا در نظر گرفتن نقاط فوق برای طراحی، موجب بزرگی تجهیزات و افزایش غیر اقتصادی هزینه می شود .در نشریه 271 سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ، شرایط

طراحی تعدادی از شهرهای کشور جهت استفاده در محاسبات طراحی سیستم هـای تهویـه مطبـوع بـا اسـتفاده از اطلاعـات سالنامه های هواشناسی کشور تنظیم شده است .مهمترین اطلاعاتی این نشریه ارائه شرایط جغرافیـایی، شـرایط تابسـتانی و شرایط زمستانی می باشد.

شرایط هوای داخل

در بخشهای جراحی، کنترل شرایط زیر در طراحی تاسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبـوع فضـاهای مـورد نظـر بایـد صورت پذیرد که حدود شرایط هوای مورد نیاز هر یک از فضاها در جدول انتهای فصل پیشنهاد شده است:

۱- دمای خشک

۲- رطوبت نسبی

۳- تعویض هوا

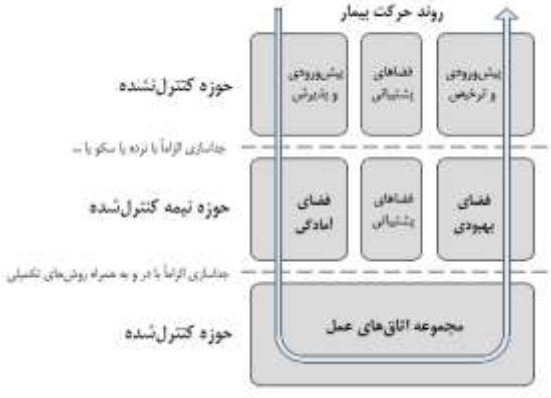
۴- فشارهای نسبی

۵- تصفیه هوا

۶- صدای نامطلوب

۷- بار روشنایی

کنترل دقیق شرایط هوا در فضاهای مختلف بخش جراحی، به خصوص در فضای اتاقهای عمل و ریکـاوری نـه تنهـا از نظـر آسایش بلکه از نظر شرایط لازم برای درمان بیماران به کمک تجهیزات پزشکی گوناگون و نیز از نظرکنتـرل عفونـت در ایـن بخش ها ضرورت اکید دارد .به همین منظور در طراحی تاسیسات گرمایی تعویض هوا و تهویه مطبوع در بخشـهای جراحـی رعایت ارقام پیشنهادی در جدول پیوست الزامی است؛ مگر در شرایطی که در استاندارد های معتبر ارقام جدیدتری ارائه گردد که موجب تغییر در برخی از این ارقام شود.

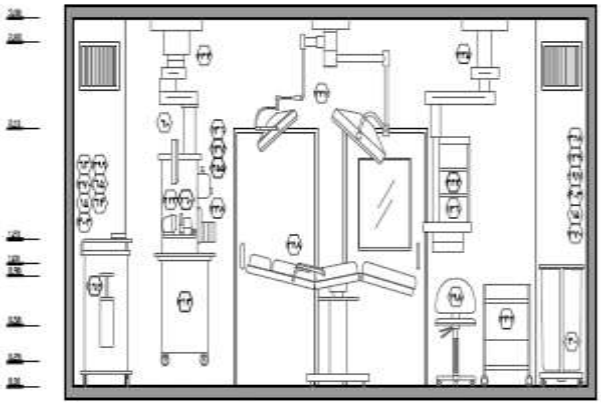


تصویر۱- چیدمان بخش جراحی و تقسیم بندی فضاها

تصویر۲- فضاهای بخش جراحی به تفکیک کنترل تهویه فضا

مطابق تصاویر ۱ و ۲ بخش جراحی را بر حسب وضعیت تهویه و شرایط هوایی به سه بخش کنترل نشده، نیمه کنتـرل شـده و تماماً کنترل شده تقسیم بندی می کنیم. بخاطر آشنایی با شرایط تهویه مورد نیاز در بخش اتـاق عمـل مصـوبات ایـن اتـاق را طبق مرجع بیمارستان ایمن ارائه میکنیم.

تصویر ۳- پلان اتاق عمل کوچک



تصویر۴ – برش از نمای داخلی اتاق عمل و دریچه های خروجی.

شرایط تهویه اتاق های عمل :

1 . اتاقهای عمل کوچک

الف- این نوع از اتاقهای عمل برای اعمال جراحی جنرال، زنان و زایمان، چشم، گوش-حلق و بینی، ارولوژی و ...مورد استفاده قرار میگیرد .ابعاد این اتاقهای عمل حداقل 36 مترمربع میباشد.

ب- اتاق های عمل حساس ترین فضای این بخش است که نباید به خارج پنجره بازشو داشته باشند .البته پیشبینی پنجره غیربازشو بر اساس آنچه در قسمت معماری گفته شده است میسر است.

ج - مناسبترین سیستم برای کنترل شرایط هوای اتاق های عمل سیستم هوارسانی، سیستم تمام هوا و بدون برگشت است . در این اتاق باید از نصب دستگاههای موضعی برای کنترل شرایط هوا خودداری شود.

د- برخی از مهمترین نکاتی که در طراحی شرایط هوای اتاق های عمل باید مورد توجه قرار گیرد:

- ورود هوا باید از بالا به سمت پایین باشد .دریچه های هوای رفت از نوع مخصوص اتاق عمل به سقف در طرفین تخت جراحی نصب شود.
- تخلیه اتاق از داخل اتاق صورت گیرد .دریچه های تخلیه هوا در گوشه های اتاق و در دو ارتفاع نصب شود .حدود $\frac{2}{3}$ هوا از پایین و $\frac{1}{3}$ هوا از بالا تخلیه شود.
- مکنده تخلیه هوای این اتاق باید مستقل باشد و بادزن آن دوگانه پیش بینی شود که درصورت از کار افتادن یکی از بادزن ها، بتوان بادزن دیگر را، به طور دستی یا خودکار راه اندازی کرد.
- طراحی سیستم هوارسانی باید طوری باشد که بتوان شرایط هوای این اتاق را توسط پزشک به طور مستقل کنترل کرد.
- فشار هوای این اتاقهای باید نسبت به فضای اسکراب و گانینگ و راهروی خارجی مثبت باشد. برای این منظور همواره مقداری هوا از این فضا به بیرون تخلیه می شود .فشار هوای استریل فرعی و انبار تجهیزات پزشکی باید نسبت به اتاق عمل مثبت باشد.

2. اتاقهای عمل بزرگ

الف - این نوع از اتاقهای عمل برای اعمال جراحی ارتوپدی، جراحی مغز و اعصاب، جراحی قلب باز و اعمال جراحی طولانی مدت میباشد .ابعاد این اتاقهای عمل حداقل 50 مترمربع میباشد.

ب- این شرایط با ایجاد کردن یک جریان آرام یا سیلابی[۵] با آشفتگی کم و عاری از میکروب بر فضای کار جراحی و میز تجهیزات استریل با گذر از فیلتر- صافی- با راندمان بالا یا همان فیلتر هپا[۶] فراهم میشود.

ج- برخی از مهمترین نکاتی که در طراحی شرایط هوای اتاقهای عمل باید مورد توجه قرار گیرد:

- از یک هوارسان مستقل برای ایجاد یک فضای تحت کنترل استفاده شود.
- سرعت جریان هوای طراحی میانگین ۰,۲۳ تا ۰,۲۵ متر بر ثانیه در اندازه ۱,۲ متر بالاتر از کفت تمام شده است.
- هوای ریزشی بصورت جریان بالا به پایین و با عبور از جعبه تثبیت کننده جریان هوا ، فیلتر هپا با حداقل درصد فیلتراسیون ۹۹,۹۵ درصد است .
- دمای اتاق بین 19 الی 26 درجه قابل تنظیم باشد.
- سطح صدا در اندازه 45 دسیبل یا کمتر باشد .
- اندازه سطح حفاظت شده باید تمام محدوده میز جراحی و تجهیزات استریل را در برگیرد .ابعاد ۳ در 3 متر در سقف اتاق عمل برای محل حفاظت شده و اندازه ۳,۲ متر در ۳,۲ متر برای جعبه هوا کفایت میکند .این اندازه حداقل اندازه است و اندازه کمتر مجاز نمی باشد.
- در شرایط طرح باید به چراغ جراحی، مانیتورها و هرگونه تجهیزاتی که از سقف نصب میشوند یا در مسیر جریان هوا قرار میگیرند، توجه شود تا باعث اغتشاش در جریان هوا نشود.
- به علت شرایط مختلف تاثیر گذار بر این طراحی باید تست های کیفیت سنجی قبل از اتمام کار انجام شود.

یک تحقیق عددی برای بررسی الزام به تغییرات در اتاق عمل

به جهت بررسی لزوم تغییر در طراحی فیلتراسیون اتاق عمل از نتایج یک تحقیق عددی معتبر در کنار سایر مراجع استفاده میکنیم. مانینگ و معمارزاده در مقاله ای تایید شده ASHRAE تحت عنوان مقایسه سیستم های تهویه اتاق عمل به منظور حفاظت از محل جراحی که خلاصه آن ارائه میگردد به بررسی نوع دریچه ها، مکان دریچه ها و سرعت جریان مطلوب و همچنین بررسی عددی گردش هوای داخل اتاق عمل پرداختند. در این مطالعه یک تکه پوستی کوچک در حدود ۱۰ میکرون از سه قسمت اتاق رها شد تا بتوان منابع آلودگی را شبیه سازی و تاثیر آلودگی بر میز و تخت جراحی را بررسی نمایند. هدف مطالعه موارد زیر که با استفاده از آنالیز عددی پیشرفته (CFD) انجام شده بطور خلاصه عبارتند از :

۱- نرخ جریان تهویه هوا
۲- نوع و محل نصب دریچه ها
۳- دمای ورودی
۴- محل قرارگیری تخلیه هوا
۵- پارامترهای موثر برای انتخاب بهترین سیستم تهویه
۶- ایجاد روش مهندسی – معماری مفید بعنوان بهترین روش طراحی.

---

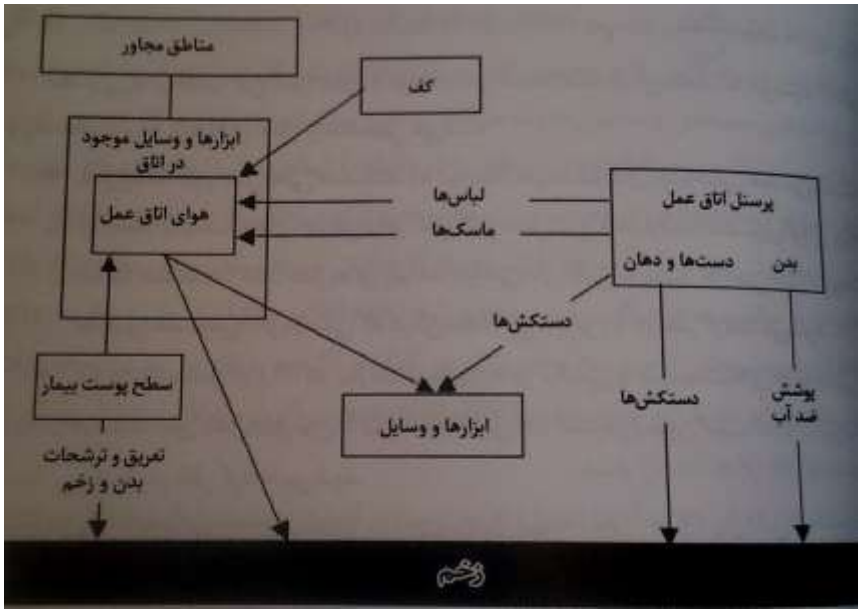
[۵] Laminar flow
[۶] Hepa

مشخصات اتاق عمل نمونه مورد بررسی در جدول زیر ذکر شده است:

اتاق			
ابعاد ۶,۱*۶,۱* ۳,۶۶ متر	پرسنل جراحی ۵ نفر	بیمار یک نفر	یک تخت تجهیزات جراحی
یک دستگاه هوشبری	دو مانیتور و پایه ها	یک دستگاه رزرو	چراغ جراحی ۲ عدد
هوای رفت			
دو دریچه با دبی 750 CFM	گریل با ابعاد 0.36 * 0.61 متر	دمای دهش 19.7 C – 67.5 F	دمای خروجی 22.2C-72F
تخلیه هوا			
چهار دریچه هر کدام 375 CFM		گریل با ابعاد 0.36 * 0.61 متر	

جدول ۱- مشخصات اولیه نمونه اتاق عمل مورد بررسی.

راههای مختلفی برای انتقال عفونت به زخم وجود دارد. در تحقیقی دیگر بیان شده که حدود ۷۵٪ عفونت از طریق ابزار و لوازم پزشکی به بیمار سرایت می کند. بهرحال امروزه عفونت محل جراحی موضوع مهمی است که موضوع اصلی مطالعات زیادی در علم روز پزشکی است. چگونگی گردش هوا در تالار اصلی اتاق عمل تاثیر زیادی در انتقال عفونت دارد. یکی از اهداف این مقاله هم کنترل عفونت هوابرد است. در شکل زیر مسیرها و منابع انتقال عفونت را نمایش می دهیم.



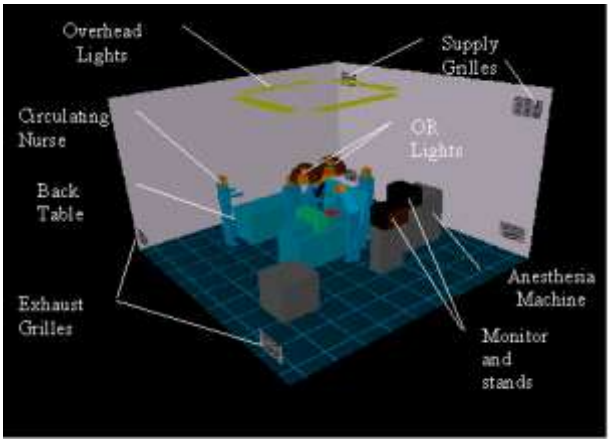
شکل ۵- مسیرها و منابع آلودگی هوابرد بر روی زخم

انواع روشهای بررسی شده در مقاله مذکور به شرح جدول زیر می باشد.

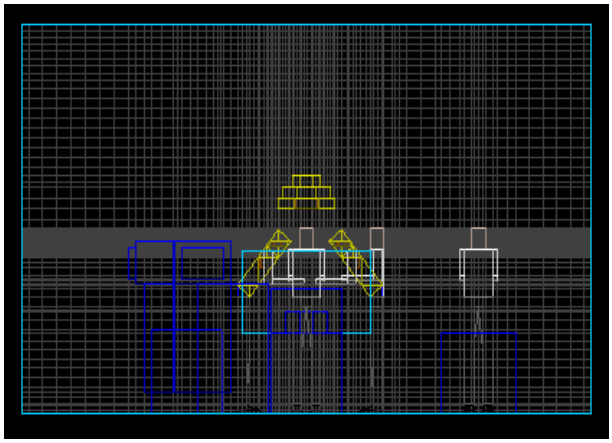
مورد مطالعه	سیستم	جزییات دریچه	دبی جریان CFM (m^3/s)	تعویض هوا	دمای هوای رفت برای تامین F۷۲	سرعت هوای رفت FPM (m/s)	ملاحظات	نوع دریچه مورد استفاده در بررسی
1	متداول	گریلهای رفت و تخلیه : ۲۴X۱۴ اینچ	1500 (0.71)	18.75	67.5 (19.7)	321.43 (1.63)	هوا از بالا وارد میشود(یک طرف) و از پایین خارج می شود (دو طرف)	متداول (رفت و تخلیه)
2	جریان لایه ای	تمام سقف دارای دریچه های رفت جریان لایه ای (۲۰X۲۰فوت) تخلیه ها: ۱۴اینچ* ۲۰ فوت	12000 (5.66)	150	71.5(21.9)	30 (0.15)	گریلهای تخلیه در پایین قرار میگیرند (دوطرف)	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)
3	جریان لایه ای	آرایه گریل هوای رفت دقیقا روی میز قرار دارد(۸X۴فوت)	12000(0.57)	15	66.2(19.0)	(0.19) 37.5	گریلهای تخلیه در یک طرف و در بالا و پایین قراردارند	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)
4	جریان لایه ای (تخلیه بالا به پایین)	آرایه گریل هوای رفت دقیقا روی میز قرار دارد(۸X۶فوت)	1600 (0.76)	20	67.6 (19.8)	(0.17) 33.3	گریلهای تخلیه در یک طرف و در بالا و پایین قراردارند	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)
5	جریان لایه ای (تخلیه از پایین)	آرایه گریل هوای رفت دقیقا در روی میز قرار دارد (۸X۶فوت)	1600(0.76)	20	67.6 (19.8)	(0.17) 33.3	گریلهای تخلیه در یک طرف و در پایین قراردارند	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)
6	جریان لایه ای (تخلیه از بالا)	آرایه گریل هوای رفت دقیقا در روی میز قرار دارد (۸X۶فوت)	1600(0.76)	20	67.6 (1908)	(0.17) 33.3	گریلهای تخلیه در یک طرف و در بالا قراردارند	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)
7	جریان تک جهته با پرده هوا	آرایه گریل هوای رفت دقیقا در روی میز قرار دارد (۱۰X۱۲فوت) گریلهای تخلیه : ۲۴X۱۴ فوت	3000 (1.42)	37.25	69.7 (20.9)	25 (0.13)	پرده ها در هر چهارطرف قرار دارند -۱۰*۱۲*۵ فوت ارتفاع- و تا سقف امتداد دارد . هوا از یک طرف و از بالا و پایین تخلیه می شود.	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)
8	بالازن	دریچه های رفت از نوع جابجایی یکنواخت: ۶*۲,۵*۵ فوت گریل تخلیه: ۱۴*۲۴ اینچ	3000 (1.42)	37.25	69.7 (20.9)	30(0.15)	گریلهای تخلیه در کف ۲*۱*۱ فوت قراردارد	بالازن (رفت) متداول (تخلیه)
9	دریچه جریان غیر مکشی	آرایه گریل هوای رفت دقیقا در روی میز قرار دارد (۸X۸فوت) گریلهای تخلیه : ۲۴X۱۴ فوت	2000(0.94)	25	68.5 (20.3)	31.25 (0.16)	تخلیه از پایین و از ۱ متری کف انجام میشود	غیرمکشی (رفت) متداول (تخلیه)
10	رفت از پایین - تخلیه از بالا	گریلهای رفت و تخلیه : ۲۴X۱۴ اینچ	1500 (0.71)	18.75	67.6 (1908)	321.43 (1.63)	رفت از پایین تخلیه از بالا (دو طرف) انجام میشود	متداول (رفت و تخلیه)
11	تئوری گلدمن	آرایه U شکل گریل هوای رفت دقیقا روی میز قرار دارد.(۶ عدد) گریل تخلیه ۲۴X۱۴ اینچ	1500 (0.71) در آرایه و	19	67.6 (1908)	31.25 (0.16) & 320 (1.63)	نازل به وسیله دودکش فراهم میشود و در ۵ فوتی زمین و هوا از پایین و از دو طرف تخلیه میشود	لایه ای (رفت) متداول (تخلیه)

جدول ۲- انواع متدهای بررسی شده در مطالعه عددی .

از آنجا که روش و محاسبات مطالعه عددی مورد بحث این مقاله نیست از بحث آن اجتناب ورزیده و در تصاویر زیر فقط نمونه طرح سه بعدی و طرح هندسی و مش بندی که شامل ۶۰۰۰۰۰ سلول با مختصات غیر یکسان است ارائه می گردد.



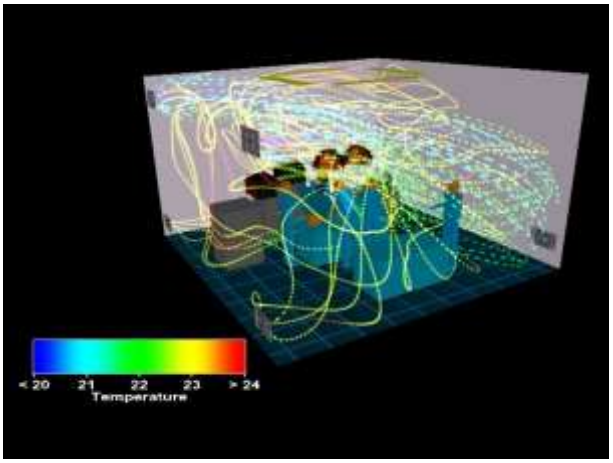
شکل۶- نمای سه بعدی از اتاق عمل و تجهیزات و افراد



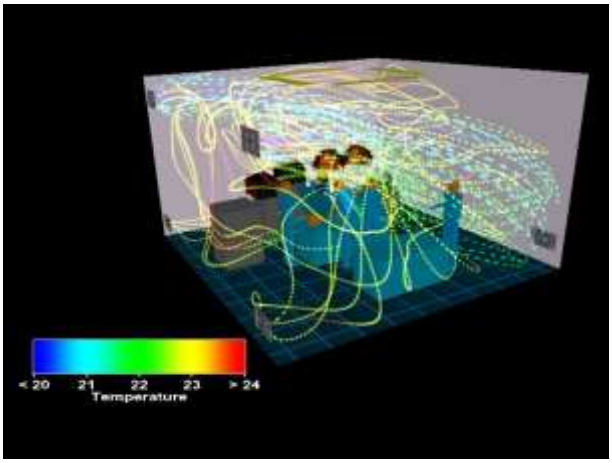
شکل ۷- مدل هندسی و مش بندی مطالعه عددی

منبع آلودگی همانطور که ابتدا گفته شد در این تحقیق سه تکه پوستی کوچک (squame) در اندازه حدود ۱۰ میکرون از سه منبع اصلی (بالای بیمار) پرستار و جراح آزاد میگردند. هدف مسیریابی ذرات در طول یک ساعت برای برخورد به محل جراحی یا خروج از اتاق به وسیله تهویه در هرکدام از روشهای تهویه است. برخی از ذرات هم پس از یک ساعت هنوز در اتاق برخورد می کنند.

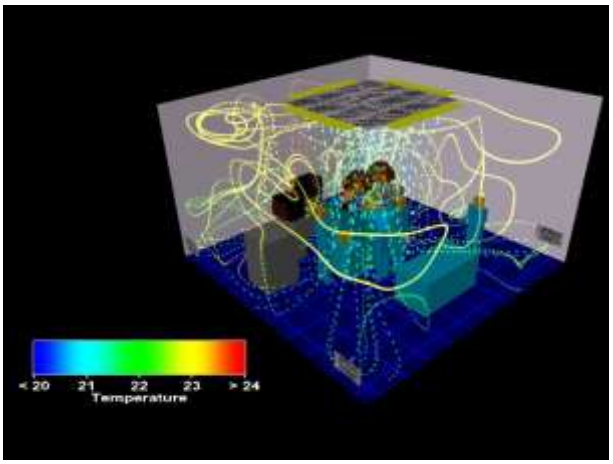
نمایش سه نمونه از گردش ذرات در اتاق در تصاویر زیر ارائه شده است:



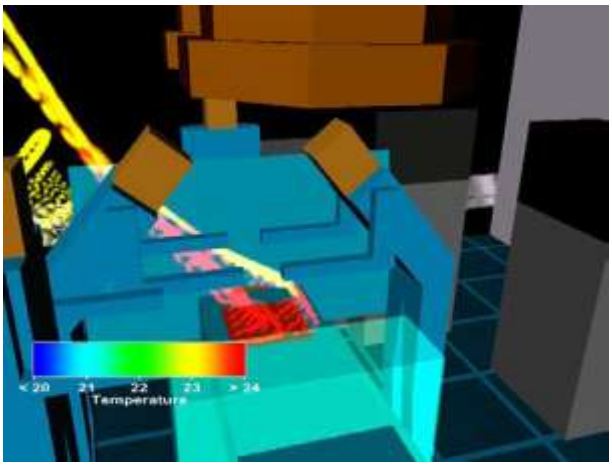
شکل ۸- چرخش ذرات و دما در نمونه ۱



شکل ۹- چرخش ذرات و دما در نمونه ۱۰



شکل ۱۰- چرخش ذرات و دما در نمونه ۹



شکل ۱۱- طرح حرارتی در نمونه آزمایشی.

در دو جدول زیر نتایج ارائه می گردد.

Case	System	ACH	Percentage of Particles that Hit Surgical Site			Percentage of Particles that Hit Back Table	
			Main	Nurse	Close	Main	Nurse
1	Conventional	18.75	0.2	0.3	4.7	1.4	2.4
2	Laminar	150	0.0	0.0	4.2	0.1	0.0
3	Laminar	15	0.2	0.0	4.1	0.1	0.6
4	Laminar (Mixed)	20	0.0	0.0	1.9	0.2	0.3
5	Laminar (Low Only)	20	0.0	0.0	2.1	0.0	0.2
6	Laminar (High Only)	20	0.0	0.0	2.7	0.2	0.2
7	Unidirectional flow with curtains	37.25	0.5	0.0	5.2	2.4	0.2
8	Upward Displacement	37.25	0.0	0.1	3.4	0.0	0.0
9	Non-aspirating diffusers	25	0.0	0.0	2.1	0.1	0.2
10	Low supply/ High exhaust	18.75	0.0	0.0	6.9	0.2	0.9
11	Goldman Concept	19	0.1	0.2	4.6	1.1	9.8

جدول ۳ – درصد ذراتی که با تخت جراحی (میز تجهیزات و محل جراحی) برخورد میکنند به تفکیک طرح.

Case	System	ACH	Percentage of Particles Vented from Room After One Hour		
			Main	Nurse	Surgical
1	Conventional	18.75	41.9	49.7	46.0
2	Laminar	150	99.4	98.4	94.8
3	Laminar	15	77.3	49.7	73.3
4	Laminar (mixed)	20	80.4	54.2	86.7
5	Laminar (low only)	20	85.9	60.8	86.0
6	Laminar (high only)	20	83.8	72.1	80.1
7	Unidirectional flow with curtains	37.25	63.5	65.0	64.9
8	Upward displacement	37.25	74.3	77.4	44.3
9	Non-aspirating diffusers	25	72.4	74.1	60.7
10	Low supply/high exhaust	18.75	69.2	81.8	73.8
11	Goldman concept	19	52.2	48.2	44.7

جدول ۴ – درصد ذرات خارج شده از فضا پس از یک ساعت به تفکیک طرح.

که نتایج این مقاله بطور خلاصه بشرح ذیل می باشد:

- با وجود نرخ تعویض هوای یکسان، رصد ذرات تخلیه شده توسط تهویه تفاوت دارد. مثلا مورد ۱۰ تخلیه بیشتری نسبت به مورد یک دارد. دلیل ان اینست که در مورد ۱ دو جریان چرخشی عظیم در اتاق بوجود می آید و در مورد ۱۰ سیستم تهویه با چرخش گرمایی در مرکز اتاق کار کرده و ذرات را به خروجی های بالایی هدایت میکنند.
- موارد ۳، ۴، ۵، ۶ و ۹ در مورد درصد ذرات تخلیه شده رفتار مشابهی دارند. نسبت متوسط ذرات خارج شده به هوای ورودی (تعویض هوا) در بهترین حالت در شماره های ۳ و۹ (استفاده از دریچه غیرمکشی – شبیه لامینار ایرفلو) می باشد.
- بررسی موارد ۴و ۵ و ۶ نشان میدهد ایجاد دریچه برگشت در دو ارتفاع پایین و بالا به کیفیت تهویه تاثیر مثبت دارد (که عملا در بیمارستانهای جدید این وضعیت عملی شده است .)
- نرخ تعویض هوای بسیار زیاد مانند مورد ۲ معایبی نیز دارد . مانند مقدار هوای مورد نیاز بسیار زیاد – تقریبا ۸ برابر دیگر موارد – و عدم توجیه آن برای تعداد اتاق زیاد و همچنین سقف دارای دریچه های متعدد و کاملا پر از دریچه. هم چنین نسبت برخورد به محل نیز از دیگر موارد بیشتر بود (جدول ۳).
- شکل ۱۱ نشان میدهد دود ناشی از تجهیزات گرمازا در جریان لایه ای بخوبی مهار نمیشود. این قضیه توسط Lewis(1993) بیان شده بود و بنابراین بایستی دود ناشی از تجهیزات گرمایی به اندازه کافی کم باشد تا بتوان از محل جراحی محافظت کرد.
- یکی دیگر از مشکلات موجود جهت کنترل منطقه جراحی ذرات محدوده چراغهای مربوطه می باشد که در مورد ۹ آزمایش بخاطر استفاده از یک جریان لایه ای و اندازه آرایه بزرگ ذرات در اثر جریان جابجایی منتقل میشوند.(طبق شکل ۱۰)
- با توجه به مباحث مطرح شده گرچه هنوز نیازمند مباحث تکمیلی است، استفاده از دریچه غیر مکشی در سقف برای هوای رفت، آرام نگهداشتن جریان با سرعت حدود ۰,۱۵ تا ۰,۲۵ متر بر ثانیه و هم چنین ایجاد دو مرحله دریچه خروجی در دو ارتفاع بالا و پایین اتاق بهترین طراحی سیستم تهویه است (ترکیب سیستم ۹ و ۴).

دیگر مطالعات انجام شده : از دیگر تحقیقات انجام شده میتوان به مطالعه جراحی انگلیسی به نام Lidwell (1970) و همکاران اشاره کرد که نرخ عفونت کمتری در مفصل ران و زانو در نتیجه تغییر سیستم تهویه مرسوم به لامینار باکس گزارش شده است. هم چنین از دو نمونه لامینار باکس مطالعه شده که بصورت عمودی یا افقی اجرا گردد مطالعات مختلفی صورت گرفته از جمله مطالعات انجام شده توسط (Lidwell-1982, friberg-1998,McCarty-2000 و تیم ارزیابی تخصصی - ۲۰۰۱) در مورد تقسیم بندی فضای اتاق عمل با استفاده از لامینار باکس و هم چنین چیدمان افقی و عمودی این دستگاه اشاره کرد.

معرفی تجهیز لامینار باکس

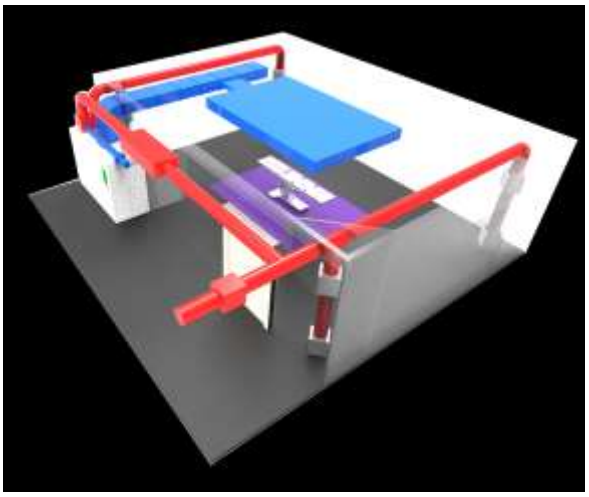
لامینار باکس یا لامینار ایرفلو[۷] که مهمترین وظیفه آن آرام کننده جریان هوای عبوری به همراه حفظ یا تقویت کلاس تمیزی فضا می باشد از دو قسمت کلی ساخته شده است. باکس یا جعبه ای که هوا را آرام و سرعت آن را کاهش داده

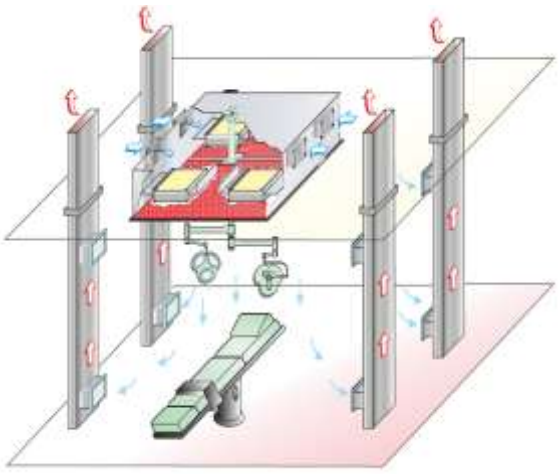
[۷] Laminar air flow

و همچنین ارتباط بین ورود هوای تازه به دستگاه از طریق کانالهای عبوری را برقرار نموده و قسمت دوم که صفحه یا دریچه غیر مکشی از یک لایه آرام کننده جریان با جنس استیل و عاری از آلودگی بوده که بتواند هر دو وظیفه را تکمیل نماید.

در بهترین نمونه های این تجهیز یک لایه فیلتر هپا در بخش میانی این دو قسمت و در داخل فضای لامینار باکس در یک سطح مشخص قرار دارد. لامینار باکس علاوه بر برقراری ارتباط بین هوای ورودی از کانالهای هوای رفت به داخل دستگاه بایستی طوری طراحی گردد که امکان ورود هیچ هوای دیگری از فضای داخل سقف کاذب یا از داخل اتاق وجود نداشته باشد. اما برای طراحی یک لامینار باکس که در اتاق های عمل کاربرد داشته باشد رعایت یک اصل دیگر ضروری است. از انجا که طبق مطالعات انجام شده لامینار باکس بهتر است بصورت افقی و مستقیم بالای سر بیمار در مرکز هندسی اتاق عمل نصب شود تا بهترین راندمان را داشته باشد و از طرفی در مرکز اتاق عمل وجود چراغ سیالیکتیک ضروری است بنابراین لامینار باکس بایستی فضایی را برای نصب چراغ به سقف در مرکز خود پیش بینی نماید که موضوع مهمی می باشد.

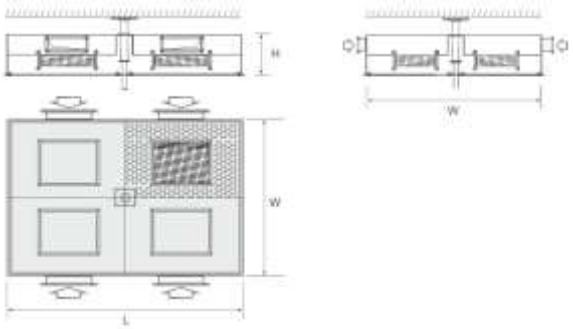
در صورت فیلتر هپا داشتن حتما بایستی از سنسور (سوییچ) اختلاف فشار[۸] برای اطلاع از تمیزی یا آگاهی از نیاز به تعویض فیلتر استفاده کرد. هم چنین برخی نمونه ها نیز به انواع چراغ های روشنایی قابل استفاده در اتاق عمل یا اتاق تمیز مجهز هستند. نرخ افت فشار معمولی این تجهیز در اغلب محصولات ارائه شده در حالت تمیزی فیلتر حدود ۳۰۰ پاسکال و در زمان تعویض تا حدود ۴۵۰ پاسکال می باشد که غالب آن مربوط به فیلتر هپا می باشد.





شکل ۱۲- الف و ب – دو طرح ۳ بعدی اتاق عمل دارای لامینار ایرفلو

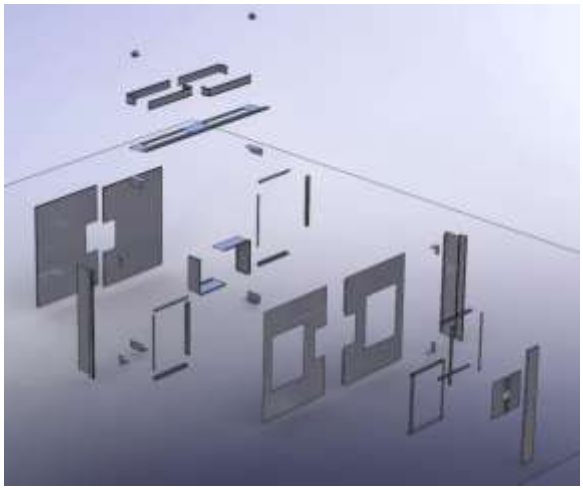
شکل ۱۴- دید ایزومتریک نمونه لامینار ایرفلو



شکل ۱۳ – لامینار ایرفلو از دیدهای مختلف

[۸] DPS- Differential Pressure sensor

شکل ۱۵- تست آرام بودن جریان خروجی از لامینار فلو



شکل ۱۶- حالت انفجاری قطعات داخلی لامینار فلو

استفاده از تجهیز لامینار ایرفلو برای مراکز درمانی در حال بهره برداری

پس از بررسی و بیان نتایج مثبت استفاده از این تجهیز حال نوبت به بررسی و امکان سنجی مجهز نمودن مراکز فاقد این تجهیز می باشد. با فرض این که در اتاق عمل مورد بررسی از هوارسان هوای تازه صد درصدی استفاده میشود در واقع از نظر تاسیسات مکانیکی با سه حالت کلی زیر مواجهیم.

۱- پس از بررسی دستگاه هواساز و بعلت تجهیز دستگاه موجود به فیلتر هپا یا مشابه مشکل افزایش افت فشار ناشی از تجهیز لامینار ایرفلو بوجود نخواهد آمد و نیازی به تغییر در سیستم وجود ندارد. پیشنهاد میشود با جابجایی فیلتر هپا به داخل دستگاه و در اخرین مکان نزدیک به اتاق عمل از کیفیت تمیزی و بهره وری بالاتری برخوردار گردد. در این حالت بیشترین تغییرات مربوط به معماری بوده که با توجه به همخوانی لامینار فلو با استقرار سقف کاذب و روشنایی و چراغ سیالیکتیک هزینه و زمان بازسازی زیادی را نخواهیم داشت.
۲- حالت دوم عدم استفاده از فیلتر هپا در وضعیت موجود بوده که در این صورت بایستی اضافه افت فشار فیلتراسیون دستگاه را رعایت نمود. با یک بررسی بر روی گراف فن و محاسبات نرم افزاری انتخاب فن میتوان به این نتیجه رسید که نیاز به تعویض فن هست یا اینکه فقط با تعویض موتور محرک یا تسمه و دیگر قطعات دستگاه راه انداز هواساز مشکل افت فشار بررسی می گردد.
۳- حالت دیگر که شاید کمتر اتفاق بیفتد این است که نیاز به دستگاه لامینار فلو محسوس است و استفاده از آن کاملا پیشنهاد می گردد ولی بعلت عدم نیاز به تغییر کلاس تمیزی و تغییر مدل فیلتراسیون بهر دلیلی افت فشار قابل توجهی به سیستم وارد نمیگردد و نیازی به تغییر در سیستم هواساز و تاسیسات مکانیکی وابسته حس نمیشود.

یکی دیگر از مزایای صفحه آرام کننده جریان و خود ساختار فیزیکی دستگاه کاهش سطح صدای خروجی هوا می باشد که شاید کمتر بدان توجه شده باشد. مطابق فصل ۴۷ استاندارد ASHRAE 2007 و استفاده از معمولاً دو مرحله پلنیوم در قبل و بعد از فیلتراسیون در این دستگاه باعث کاهش سطح صدا می گردد که البته بررسی دقیق و با استفاده از فرمولهای ذکر شده میتواند این موضوع را روشن تر بیان نماید.

نتیجه گیری

آنچه که تا کنون مطرح شد سعی در ایجاد یک تغییر اساسی در اتاق عمل بعنوان مهمترین و پیچیده ترین بخش درمانی در بیمارستان است. هماهنگی بین بخش های مختلف دخیل در امر بیمارستان سازی و بهره برداری مخصوصا دو گروه مهندسان و پزشکان یک امر ضروری است و افزایش سطح آن منجر به خدمت رسانی بیشتر به بیماران و افزایش سطح سلامت و اعتماد عمومی می گردد. امروزه تحقیقات زیادی بر روی عفونت محل جراحی در جامعه پزشکی در حال انجام است و تناسب آن با میزان تمیزی اتاق و نوع تهویه محل قابل کتمان نیست.

طبق مطالعات انجام شده دریافتیم که بهترین سرعت خروجی در حدود ۰,۱۵ تا ۰,۲۵ متر بر ثانیه است.

هم چنین بهترین حالت اگزاست ایجاد دو ردیف خروجی در دو ارتفاع پایین و بالا می باشد که بتواند همزمان هم الودگی بالای سطح جراحی مانند ذرات گرمایافته بدلیل چراغ های روشنایی، تجهیزات مختلف، عوامل انسانی جراحی را خارج نموده و هم با گردش جریان بتواند آلودگی ناشی از تجهیزات و ابزارآلات پزشکی، ناشی از بیمار و محل جراحت و دیگر آلودگی ها را زا ارتفاع پایین خارج نماید. این بهترین روش برای خروج بیشترین آلودگی و بیشترین سطح تمیزی با توجه به مدل و میزان متعارف ورودی هوای تازه در اتاق عمل می باشد.

دستگاه لامینار ایرفلو یک تجهیز ایده آل جهت افزایش سطح تمیزی و رعایت سرعت خروجی هوا می باشد که جریان آرام بدست آمده بیشترین میزان خروج ذرات آلوده را با کمترین میزان تعویض ساعت و هوای ورودی نتیجه میدهد.

یکی دیگر از اهداف اصلی این مطالعه امکان سنجی استفاده از این تجهیز برای مراکز درمانی در حال بهره برداری است که طبق بررسی ها میتوان با توجه به انعطاف این دستگاه با معماری و برق داخلی اتاق عمل و ضوابط و الزامات موجود کمترین تغییرات فیزیکی و مالی را به دنبال دارد.

میتوان اتاق عمل و دستگاه را به سنسورهای مخصوص دستگاه مانند سنسور اختلاف فشار، سرعت خروجی هوا و .... تجهیز و پیش بینی تغییرات مورد نیاز به ویژه در بهره بردای و نگهداری را رعایت نمود.

مطالعه ای که بخش میکروبیولوژی مرکز سلامت عموی انگلیس[۹] بر روی میزان ذرات شکل گرفته باقیمانده در اتاق انجام شده است نشان می دهد در حالت مرسوم حدود ۱۸۰ کولونی و با استفاده از لامینار فلو حدود ۱۰ کولونی در مترمکعب هوا باقی می ماند.

پیشنهاد می گردد میزان افت صدای خروجی از دستگاه بررسی و بصورت عددی و تئوری محاسبه گردد. همچنین با استفاده از یک لایه عایق صوتی در داخل دستگاه، به بررسی میزان کاهش صدا و همچنین دیگر خواص لامینار فلو پرداخته شود.

پیشنهاد می گردد مطالعه کاملی بر روی نمونه های وارداتی موجود در بازار به جهت انتخاب نمونه برتر جهت مشابه سازی و ساخت نمونه داخلی معتبر و با کیفیت به همراه انجام تغییرات لازم جهت رعایت الزامات و هماهنگی با رشته های معماری و برق و با مشورت تیم جراحی انجام گردد.

[۹] PUBLIC HEALTH ENGLAND,Peter Hoffman

هم چنین توصیه اکید می گردد با توجه نیاز به تجهیز مراکز درمـانی بـه لامینـار ایرفلـو در مبحـث الزامـات مرجـع بیمارستان ایمن از حالت توصیه به استفاده به سمت الزام به استفاده تصحیح گردد. هم چنـین از آنجـا کـه همـواره صـنعت و صنایع جدید به حالت علت و معلول فعال می گردند و با عنایت به همت والای صنعت دخیل در این امر ایـن الـزام مـی توانـد باعث رشد و تعالی این صنعت و صنایع وابسته گردیده و بجای ورود کالای خارجی در محـدود پـروژه هـای تجهیـز شـده و در حال طراحی، در راستای حمایت از کالای ایرانی در بازه زمانی کوتاه به تحقق واقعی امـر تولیـد و یـا صـادرات ایـن صـنعت در داخل کشور برسیم. حتما حمایت دستگاههای دولتی دخیل و ایجاد الزامات استفاده از آن به این امر مهم و مقدس منـتج مـی گردد. بدون شک دستگاههای تولید داخل علاوه بر ترویج صنعت و اشتغال در مقطع مهم کنونی و کـاهش بسـیار زیـاد قیمـت محصول به ترویج استفاده از آن با توجه به ساخت و در حین ساخت بودن تعـداد زیـادی مرکـز درمـانی خواهـد رسـید و ایـن معامله برد – برد در راستای خدمت رسانی به مردم کشور می باشد.

منابع و مراجع

۱- راهنمای جامع تاسیسات بیمارستانی ، انجمن ASHRAE ، ترجمه: حمید رستگاری، سیدصدرا شمسی پور حسـینی، یزدا، چاپ اول، ۱۳۹۱

۲- مرجع بیمارستان ایمن، معاونت توسعه مدیریت و منابع وزارت بهداشـت درمـان و آمـوزش پزشـکی، جلـد ۸ بخـش جراحی، تیرماه ۹۴.

3- M A Melhado, J L M Hensen, M Loomans; REVIEW OF VENTILATION SYSTEMS IN OPERATING ROOMS IN VIEW OF INFECTION CONTROL; proceeding of the 6th Int. Postgraduate Research Conf. in the Built and Human Enviroment, 6-7 April, BuHu, Univercity of Salford.

4- Peter Hoffman; Lamiar flow in orthopaedic operations; Public Health England.

5- ASHRAE. 2007,ASHRAE Hadbook- chapter 47; SOUND AND VIBRATION CONTROL.

6- F.MEMARZADEH, A.P.MANNING; Camparison Of Operating Room Ventilation Systems in the Protection of the Surgical Site;ASHRAE association Researches.