JMRA
مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک
ISSN: 2251-7383, eISSN: 2251-7391

مطالعه کوتاه برآناتومی و فیزیولوژی دستگاه تنفس و بررسی فیلتر HME دستگاه ونتیلاتور

بهزاد کریم خانی[۱]، حسین محمدی جوزدانی[۲]، سمیه یعقوبی[۳*]

۱- دانشجوی ارشد مهندسی پزشکی گرایش بیومکانیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲- دانشجو ارشد مهندسی پزشکی گرایش توانبخشی ، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد.

*۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران .(s.yaghoubi@pmc.iaun.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹-۱۰-۱۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۹-۱۰-۱۶

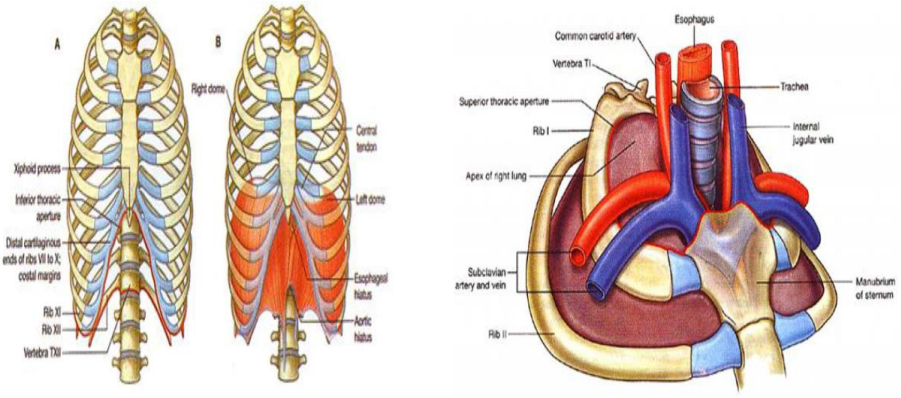
چکیده: در این پژوهش ابتدا مروری بر آناتومی و فیزیولوژی دستگاه تنفس خواهیم کرد، سپس فیلترهای دستگاه ونتیلاتور مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این مقاله فیلتری مشابه فیلتر HME دستگاه ونتیلاتور اما با تغییرات جزئی در هندسه آن، طرحی شده است. این طراحی به کمک نرم افزار سالیدورک انجام گرفته است. بعد از آن تحلیل های تنش بر روی فیلتر مورد نظر وهمچنین تعیین جنس آن فیلتر در این مقاله انجام شده¬است. سپس به تحلیل جریان سیال که معمولا اکسیژن می‌باشد، پرداخته‌ایم و دریافتیم که در طراحی جدید سرعت اکسیژن در دستگاه بیشتر خواهد بود و بخار کمتری خواهد داشت. در نهایت هم آب اضافی خارج خواهد شد، که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه تحلیل گرمایی فیلتر طراحی شده انجام گرفته و ملاحظه شد که پس از وارد شدن گرمای معادل از دمای اتاق تا دمای تب در بدن بعد از افزایش تا حدود۱/۲ درجه سانتیگراد نیز به سرعت به دمای اولیه برگشته و دمای بالای مذکور بر فیلتر اثر گذار نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ونتیلاتور، تنفس، فیلتر HME، جریان هوا، ریه

۱. مقدمه

آناتومی دستگاه تنفس و قفسه‌ی سینه

قفسه سینه به شکل یک استوانه نامنظم با یک دهانه باریک در بالا و یک دهانه نسبتاً بزرگ در پایین است. دهانه فوقانی باز است و با گردن ارتباط دارد، دهانه تحتانی توسط دیافراگم بسته می‌شود. دیواره عضلانی - اسکلتی قفسه سینه قابل انعطاف است و از بخشهای قطعه قطعه مانند مهره ها، دنده ها، عضلات و جناغ تشکیل می‌شود [۱و۲].



شکل۱- دهانه فوقانی و تحتانی قفسه‌ی سینه برگرفته از آناتومی نتر.

دستگاه تنفس [۱] ، وظیفه تبادل گازها را با خون به عهده دارد، قسمت اصلی این دستگاه دو عضو به نام ریه‌ها مـی باشـند. بقیـه قسمت‌های سیستم تنفس مربوط به راه‌های هدایت هوای تنفسی هستند اعضای سیستم تنفس عبارتند از: حفرات بینی [۲] ، حلق [۳] ، حنجره [۴] ، نای [۵] ، ریه ها [۶].

حفرات بینی [۷] ، از دو حفره که توسط دیواره ای به نام سپتوم از هم جدا می شوند، تشکیل شده است بینی شامل یک اسـکلت غـضروفی استخوانی است که بین پوست، و مخاط قرار دارد. سطح خارجی بینی توسط پوست صورت و سطح داخلی توسط مخاط پوشـیده شده است قسمت اعظم این مخاط، مخاط تنفسی است که عروق خونی فراوان دارد. درقـسمت سـقف بینـی مخـاط زرد رنـگ بویایی زوائد استخوانی نازکی به داخل بینی به نام شاخک بر آمده می شود که روی این زوائد اسـتخوانی به وسـیله مخـاط بینـی پوشیده شده و باعث افزایش سطح مخاط بینی می شوند. تنفس از طریق بینی سه مزیت دارد: ۱ - هوای تنفسی از طریق مخاط بینی گرم می شود. ۲ - هوای تنفسی در اثر ترشحات مخاط بینی مرطوب می شـود. ۳ - موهـای بینـی ذرات خـارجی را جـذب نموده و مانع از عبور آنها می شوند. علاوه بر آن مخاط بویایی مانع تنفس گازهای سمی می شود. سوراخ های بینی در عقب به حلق باز می شوند[۳].

---

[1] System Respiratory

[2] Cavitis Nasal

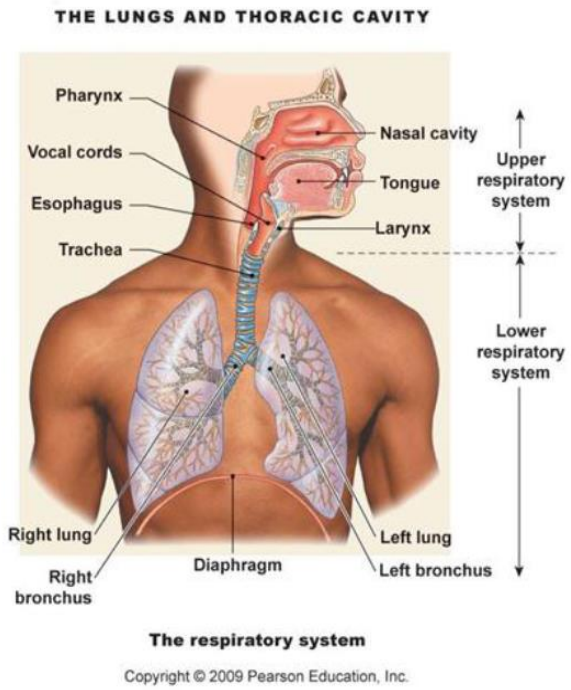
[3] Pharynx

[4] Larynx

[5] Trochea

[6] Lungs

[7] Cavitis Nasal



شکل ۲- نمایی از دستگاه تنفس.

حلق[۸] یک لوله عضلانی ناقص است که از قاعده جمجمه شروع می‌شود و به قاعده گردن در مهره C_6 خـتم می شود. حلق در جلو از بالا به پایین با سوراخ‌های خلفی بینی، دهان وحنجره مجاورت دارد و از ایـن نظـر بـه ۳ قـسمت تقـسیم می‌شود، که عبارتند از؛

۱- حلق حنجره [۹] ۲- حلق دهانی [۱۰] ۳ – حلق بینی[۱۱].

در حلق بینی سوراخ لوله شنوایی قرار دارد که حلق را با پرده صماخ یا گوش میانی مرتبط می‌کند و از این طریق تعادل هوای پرده صماخ در دو طرف پرده صماخ انجام می‌شود. در سقف حلق بینی لوزه حلقی قرار دارد که در کودکان فعـال در بـالغین تحلیل می رود حلق در عقب با ستون مهر ها مجاورت دارد. حلق دهانی ازکام نرم تا کنار فوقـانی غـضروف اپیگلـوت ادامـه دارد، در دیـواره‌هـای طرفـی آن دو چـین کـامی-زبـانی و کـامی حلقـی قـرار دارنـد کـه بـین آن دو حفـره لـوزه ای [۱۲] قرار دارد که جایگاه لوزه های کامی[۱۳] می باشد. در ساختمان حلق عضلات تنگ کننده حلقی [۱۴] ، شرکت دارند. داخل حلق توسط مخاط پوشیده شده اسـت، حلـق هم مربوط به دستگاه تنفس و هم مربوط به سیستم گوارش می

---

[8] Pharynx

[9] Laryngio Pharynx

[10] Oro Pharynx

[11] Naso Pharynx

[12] fossa tonsilar

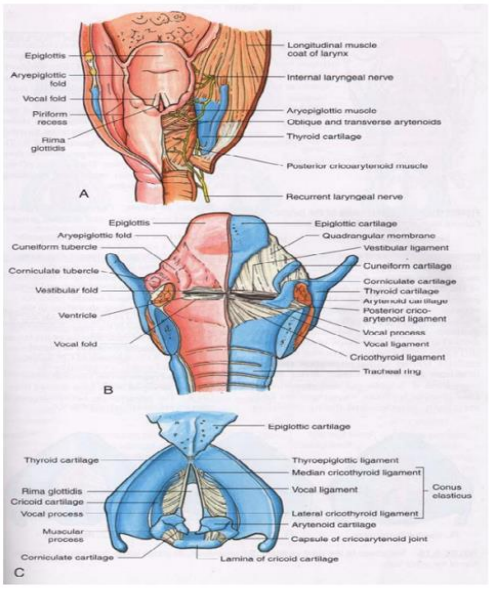
[13] tonsil palatine

[14] constrictor

باشد. تنگ ترین قسمت حلق، حلق حنجره ای است اگر سوراخ های طرفی حلق بینی که مربوط به لوله شنوائی هستند مسدود شود به علت اختلال در هوای صندوق صماخ موجب کری[15] می‌شود حلق در قسمت قدامی طرفی با عروق بزرگ مجاورت دارد. در دیواره های طرفی آن بن بست هرمی قرار دارد که از زیر مخاط آن شاخه داخلی عصب حنجره ای فوقانی عبور می‌کنند. عصب حنجره ای با عروق بزرگ گردن مجاورت دارد [۴].

حنجره[16] ساختمانی است که از تعدادی غضروف و الیاف لیفی و عضله تشکیل شده است. تعداد غضروفهای حنجره ۹ عدد می‌باشد. (سه زوج وسه فرد) مهمترین آنها عبارتند از : ۱- تیروئید غضروف[17] ۲- اپیگلوت غضروف[18] ۳- غضروف های هرمی ۴- غضروف انگشتری

ارتفاع آن ۴/۵ cm است. از جلو با عضلات ۶ شروع می شود و در حدود مهره C_4 حنجره از مهره C_6 گردن، از عقب با حلق حنجره ای و از طرفین با عروق ناحیه گردن و غده تیروئید در تماس است، حنجره محلی است برای عبور هوای تنفسی و وظیفه دیگر آن تولید صداست. در ساختمان حنجره غضروف ها به صورت ۳ زوج و سه فرد قرار گرفته اند که جمعاً ۹ غضروف می‌شود. بزرگترین غضروفها ، غضروف تیروئید است که یک برجستگی در انسان ایجاد می کند که به آن سیب آدم[19] گویند. غضروف تیروئید: این غضروف از دو ورقه تشکیل شده که مانند کتاب نیمه باز می باشد. در مردها زاویه این غضروف ۹۰ درجه و در زنها کمی بیشتر است، که در شکل ۳، آمده است.



شکل۳- آ)عضلات و اعصاب حنجره، ب) نمای خلفی درون حنجره پ) نمای فوقانی غضروف ها و رباط های حنجره [۲و۴] .

---

[15] deafness

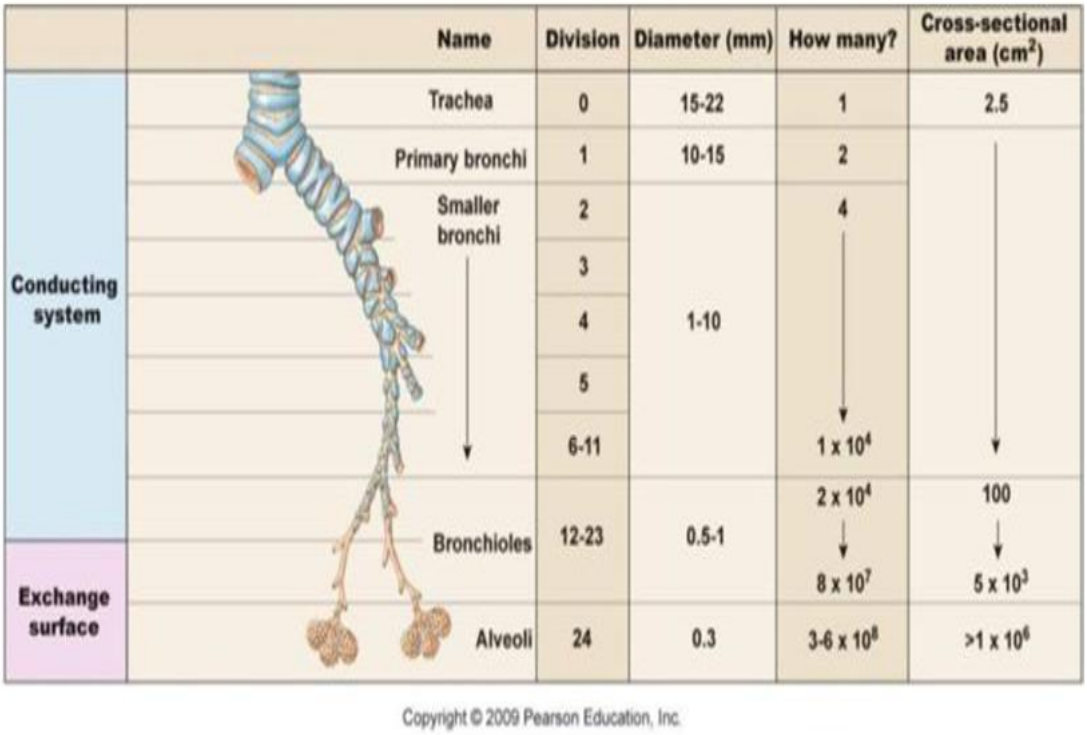
[16] Larynx

[17] Thyroid Cartilage

[18] Epiglottic Cartilage

[19] eminenetia Laryngeal

نای [۲۰] یک لوله غضروفی و الاستیک است که طول آن درحدود ۱۲-۱۰ سانتی متر است. قطر خارجی آن در مـردان ۲ سـانتی متـر و در زنان ۱/۵ سانتی متر است. ساختمان آن از ۱۵-۲۰ حلقه غضروفی ناقص C شکل تشکیل شده که دهانه این غـضروف‌هـا به عقب باز است اما این دهانه باز توسط الیاف الاستیک وعضلانی (عضله [۲۱]) بسته می‌شـود. از آنجـا کـه نـای در عقب با مری مجاورت دارد وجود غشاء فیبروالاستیک در سطح خلفی نای اجازه اتساع بـه مـری در هنگـام عبـور مـواد غـذائی می‌دهد. داخل نای بوسیله مخاط اپی تلیوم مطبق منشوری مژه دار که غنی از غدد ترشح کننده موکوز می‌باشـد، پوشـیده شـده است. شروع نای از زیر غضروف انگشتری حنجره در مجاور مهـره شـشم گردنـی و انتهـای آن در مجاور چهـارمین مهـره سینه ای (در پشت زاویه جناغی)، در محل دو شاخه شدن آن است. در وضعیت ایستاده انتهای نای و محـل دو شـاخه شـدن آن کمی پائین تر و در مهره پنجم سینه ای واقع می شود. نای دارای دو قسمت گردنی و سـینه ای اسـت ،که در شکل۴ ، آمده است.



شکل۴- نای با دو قسمت سینه ای و گردنی[۸].

ریه ها [۲۲] اعضاء اصلی دستگاه تنفس هستند، در قفسه سینه واقع شده وتوسط فضای مدیاستن و محتویات آن از هم جدا می شوند. وزن ریه راست در حدود ۵۰ گرم از ریه چپ بیشتر است (وزن ریه راست۶۲۵ گرم می باشد). رنگ ریه در نـوزادان قبـل از تولـد قرمز تیره و در اشخاص

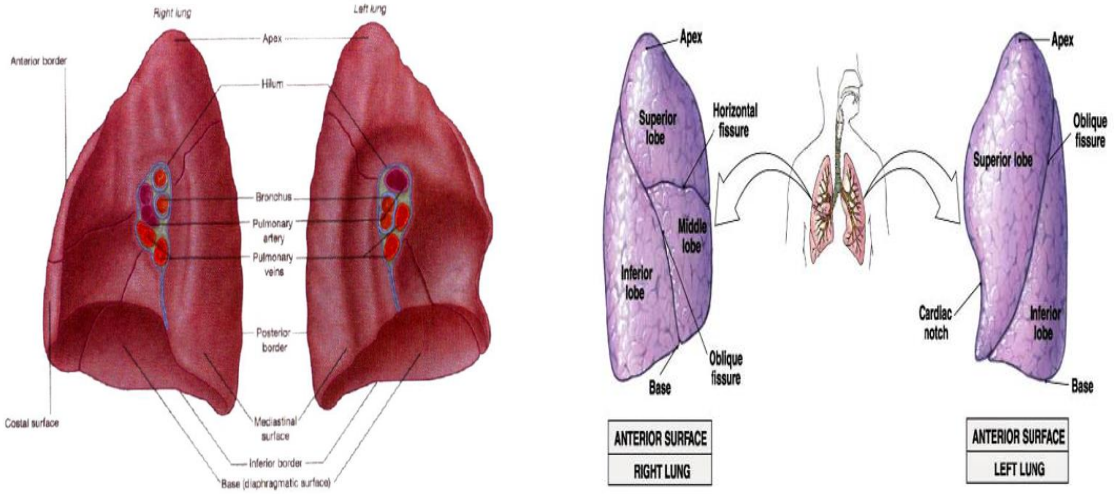
---

[20] Trochea

[21] Trachalis

[22] Lungs

مسن به علت رسوب مواد کربن دار به رنگ خاکستری مایل به سبز می باشد. ریـه راسـت از ریـه چـپ حجیم تر وکوتاه تر است. هر ریه دارای سه سطح وسه کنار و یک قاعده و یک رأس می باشد [۵-۱]. در شکل ۵ ، آمده است.



الف) لوب های ریه انسان [۸].

ب) رگ های ریه انسان[۵]

شکل ۵ - ریه انسان.

مکانیک تنفس، دم و بازدم

ریه ساختمانی ارتجاعی دارد و اگر نیرویی آن را پر از هوا نگه ندارد همانند بادکنکی روی هم می‌خوابد و هوا از آن خارج می‌شود. همچنین به غیر از ناف ریه که از مدیاستینوم آویزان است ، هیچ اتصال دیگری بین ریه و دیواره قفسه سینه وجود ندارد. در واقع ریه در حفره سینه آویزان است و لایه نازکی از مایع جنب، آن را احاطه کرده است، که موجب لغزندگی آن در حفره قفسه سینه می‌شود.

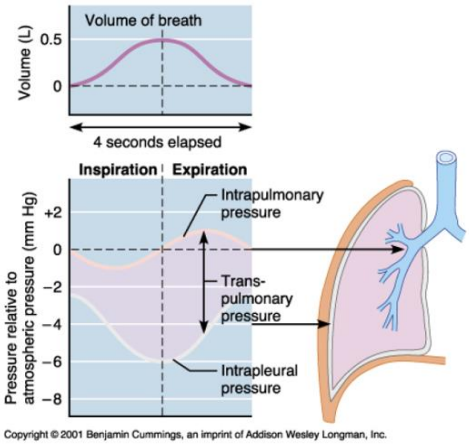
علاوه بر این، مایع کافی به طور پیوسته به درون مجاری لنفاوی مکیده می‌شود و همین امر موجب اعمال مکش مختصر بین جنب احشایی واقع بر ریه و جنب جداری روی قفسه سینه می‌شود. بنابراین، ریه ها به نحوی در جدار دیواره قفسه سینه نگاه داشته شده اند که تصور می‌شود هنگام انقباض و انبساط قفسه سینه، بین آنها چسبندگی وجود دارد، درحالی که سطح بین آنها به گونه ای است که ریه و جدار قفسه سینه میتوانند به آسانی بر روی هم بلغزند. فشار جنبی[۲۳] ، فشار مایعی اس که در فضای باریکی واقع در بین جنب ریوی(احشایی)و جنب جدار سینه(جداری) قرار دارد. بین این دوسطح، اندکی مکش یعنی فشار منفی وجود دارد. فشار جنب به طور طبیعی در شروع دم حدود۵ سانتیمتر آب(۲/۵ mmHg) این همان فشار مکش است که برای باز نگه داشتن ریه ها در حد استراحت لازم است.

انبساط قفسه سینه هنگام دم آرام باعث می‌شود سطح ریه ها با نیروی بیشتری کشیده و فشار منفی‌تری ایجاد شود که به طور متوسط ۷/۵ سانتیمتر آب (۶mmHg) است. فشار جبابچه ای[۲۴] فشار داخل حبابچه های ریه است. هنگامی که گلوت باز است و هیچ هوایی به داخل یا خارج ریه ها جریان ندارد، فشار تمام قسمت های تنفسی با فشار جو که آن را فشار مرجع صفردر مجاری هوایی(برابر صفر سانتیمتر آب)در نظر

[23] Pleural Pressure

[24] Alveolar Pressure

می‌گیرند، مساوی است . برای اینکه هوا طی دم به داخل جریان یابد، باید فشار داخل حبابچه ها اندکی کمتر از جو باشد(کمتر از صفر). نمودار جریان‌های هوایی در شکل ۶ آمده است.

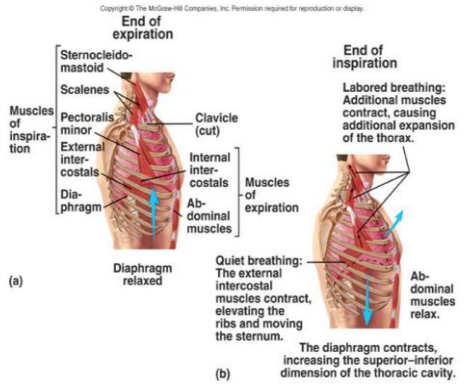


شکل ۶- نمودار دم و بازدم[۸].

ریه ها از دو طریق منقبض و منبسط می‌شوند:

الف) با حرکت دیافراگم رو به بالا و پایین برای کاهش یا افزایش طول قفسه سینه، ب) پایین و بالا رفتن دنده ها برای کاهش یا افزایش قطر قدامی- خلفی قفسه سینه صورت میگیرد.

نفس کشیدن آرام و طبیعی به طور کامل به وسیله روش اول یعنی با حرکت دیافراگم صورت می‌گیرد. انقباض دیافراگم طی دم، سطوح تحتانی ریه ها را به طرف پایین می‌کشد. در بازدم فقط دیافراگم شل می‌شود و خاصی ارتجاعی ریه‌ها، دیواره سینه و ساختمان‌های شکمی بر ریه ها فشار وارد می‌سازد. البته طی تنفس شدید، نیروهای ارتجاعی به قدر کافی قدرتمند نیستند که بتوانند نیاز بدن به بازدم سریع را مرتفع سازند، به طوری که انقباض عضلات شکمی، نیروی کافی لازم را به طور عمده برای این منظور فراهم می‌کند و محتویات شکم را به زیر دیافراگم می‌فشارد. دومین روش برای انبساط ریه‌ها بالا کشیدن دنده‌هاست ، بدین ترتیب ریه ها باز می‌شوند زیرا در حال طبیعی، دنده‌ها شیبدار هستند و به جناغ اجازه می‌دهند تا در حال استراحت طبیعی در طرف عقب یعنی به طرف ستون مهره‌ها جابجا شود، اما وقتی دنده ها بالا کشیده می شوند، تقریباً ستون مهره ها به طور مستقیم به طرف جلو قرار می‌گیرند، به طوری که جناغ هم با حرک به طرف قدام از مهره ها دور می‌شود . مراحل دم و بازدم در شکل ۷ ،آمده است.



شکل ۷- مراحل دم و بازدم [۸].

هنگام عمل دم و بازدم، بخشهای گوناگون ریه ها به سوی محیط خارجی باز شده و در نتیجه در معرض فشار، دما و رطوب هوای جو قرار می گیرند. عضلات تهویه ای باعث ایجاد اختلاف فشار بین هوای موجود در ریه ها و هوای جوی می شوند. هنگام دم، ریه ها به دلیل انقباض عضلات دمی متسع می‌شوند و در نتیجه از میزان فشار هوای درون ریه ها کاسته شده و اجازه می دهد هوا از جو به درون ریه ها حرک کند. هنگام بازدم، به دلیل انقباض عضلات بازدمی، از وسع حجم ریه ها کاسته می‌شود و در نتیجه فشار درون ریه ها افزایش و هوا از ریه ها به سوی جو جاری می‌شود. این وقایع هنگام فعالی ورزشی بسیار مهم اند، یعنی زمانی که تهویه میتواند میزان جریان هوا به درون ریه ها را از ۶ لیتر در دقیقه هنگام استراحت به بیش از ۱۵۰ لیتر در دقیقه هنگام فعالی ورزشی بیشینه و بیش از ۲۰۰ لیتر در دقیقه هنگام تنفس ارادی بیشینه افزایش دهد.

تغییرات وسیع در تهویه ریوی در کمتر از چند ثانیه رخ می دهد. این تغییرات حاصل افزایش مدت تنفس و افزایش حجم جاری است. سرعت پرشدن و خالی شدن ریه ها قابل توجه است و این امر به دلیل مقاوم ناچیز حبابچه ها در مقابل پر شدن و خالی شدن رخ می‌دهد. برخورداری از ویژگی توانایی افزایش اندازه یا حجم با حداقل تغییر در فشار را اتساع پذیری می‌گویند. بنابراین ریه ها باید اتساع پذیری بسیار بالایی داشته باشند تا با حداقل تلاش بتوانند از ۶ تا ۲۰۰ لیتر هوا در دقیقه(متناسب با جثه فرد)پر یا خالی شوند. حین تنفس آرام فقط حدود ۲ درصد از کل انرژی مصرفی بدن برای تأمین انرژی عمل تهویه ای ریه ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما مقدار انرژی لازم هنگام فعالی شدید، ممکن است تا ۵۰ برابر افزایش یابد، به ویژه اگر فرد دچار درجاتی از افزایش مقاوم مجاری یا کاهش ظرفی پذیری ریه ها باشد. بنابراین، یکی از محدودی های عمده حداکثر شدت فعالی در هر فرد، میتواند توانمندی وی در تأمین انرژی عضلانی کافی فقط برای تنفس باشد[۸-۶].

ونتیلاتور[۲۵]

ونتیلاتور یا دستگاه تنفس مصنوعی، دستگاهی است که با توجه به شرایط بیمار به عمل تنفس کمک می‌کند و یا برای بیمارانی که قادر به تنفس نیستند، تنفس را بصورت کامل انجام می‌دهد. دستگاه به نحوی طراحی شده است تا هوای قابل تنفس (در صورت نیاز هوا با درصد اکسیژن بیشتر) را به داخل ریه ها بفرستد و سپس دی اکسید کربن را از ریه ها خارج کند. از ونتیلاتورها به صورت عمده در بخش های مراقبت ویژه، بخش اورژانس و بیهوشی استفاده می‌شود. نوعی از ونتیلاتور به نام ونتیلاتور پرتابل نیز برای استفاده در آمبولانس، همچنین در شرایط بحرانی، مناطق صنعتی، بیمارستان صحرایی و مکان های امدادی بدون تجهیزات پیشرفته و همچنین در هواپیما مورد استفاده قرار می گیرد ضمن این که برای نگهداری از بیمار در منزل[۲۶] نیز می توان از دستگاه ونتیلاتور پرتابل استفاده نمود. با توجه به شرایط بیمار ونتیلاتور می تواند فشار،حجم و زمان تنفس را کنترل و یا محدود سازد.

هدف استفاده از دستگاه کمک تنفسی ونتیلاتور

هدف اصلی استفاده از دستگاه کمک تنفسی ونتیلاتور برقراری تهویه مصنوعی درمان بیماری های ریوی نیست بلکه با برقراری تهویه مکانیکی و حمایت از ریه ها تا زمان رفع علت زمینه ساز، نیاز های تهویه ای و اکسیژناسیون بیمار تامین می‌گردد. در واقع ونتیلاتور باعث درمان بیماری نمی‌شود فقط می تواند بیمار را زنده نگه دارد تا بیماری زمینه ای درمان شود. گروه پزشکی و کادر درمان همواره در تلاشند که اگر شرایط بیمار اجازه دهد هر چه زودتر بیمار را از دستگاه ونتیلاتور جدا کنند. بعضی از بیماران چند ساعت بعضی چند روز و گروهی مدت طولانی تر نیاز به دستگاه دارند و گاهی بیماران برای تمام عمر نیاز به دستگاه ونتیلاتور دارند.

اولین نمونه این ونتیلاتورها حدوداً در سال ۱۹۴۰ ابداع مقدمه ای بر ماشین های تهویه مکانیکی در پزشکی ۱۲ شدند . طرز کار آنها این گونه بود که فرد در داخل یک استوانه بزرگ قرار می‌گرفت که فشار آن از فشار محیط اطراف کمتر بود و این اختلاف فشار باعث کشیده شدن هوا

---

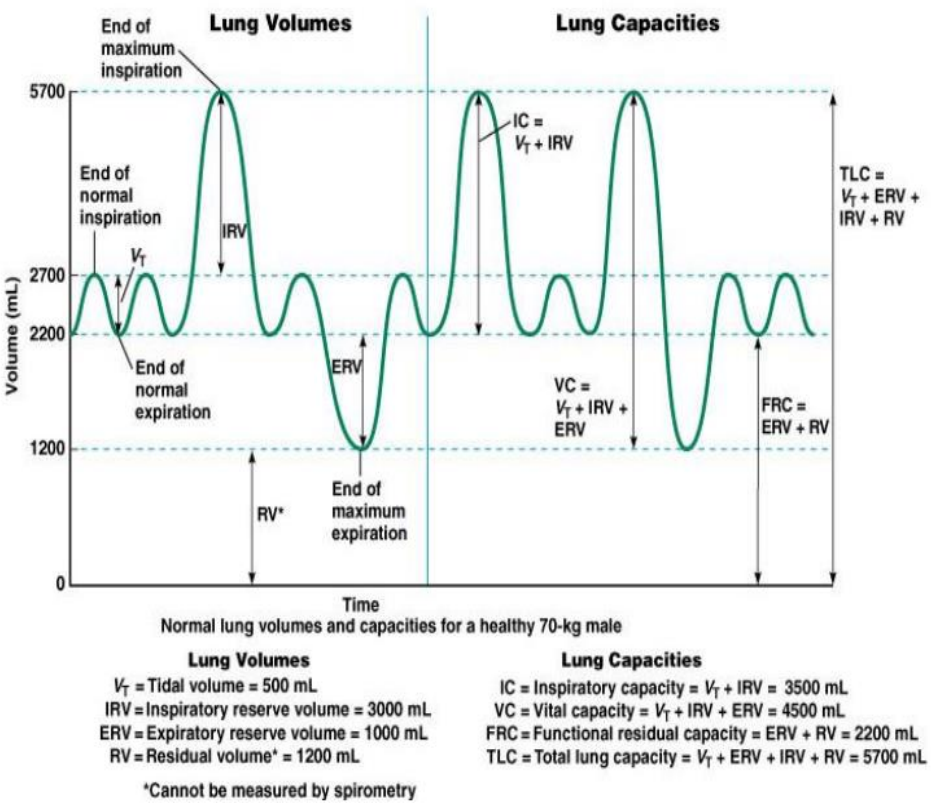
[25] Ventilator

[26] Home Care

به داخل ریه ها می‌گردید. امروزه ونتیلاسیون فشار مثبت جایگاه ویژه‌ای یافته و همزمان با پیشرفت علوم مهندسی و پزشکی روش‌های جدیدتر با فناوری‌هایی با توانایی حفظ تنفس مصنوعی برای دوره‌های زمانی طولانی معرفی شده‌اند[۱۰-۹].

حجم و ظرفیت‌های ریوی

جهت درک بیشتر خصوصیات مکانیکی تنفس لازم است تا اثر متقابل شش و قفسه سینه بررسی شود .این اثر متقابل یک مسئله مهم و تعیین کننده برای حجم های ریوی خواهد بود و حجم‌های ریوی نیز نتایج مهمی برای عمل تبادل گاز برای شش‌ها در بر خواهند داشت همه این حجم‌ها که به آنها اشاره خواهد شد زیر مجموعه‌ای از ظرفیت کلی شش[۲۷] خواهند بود، شکل ۸.



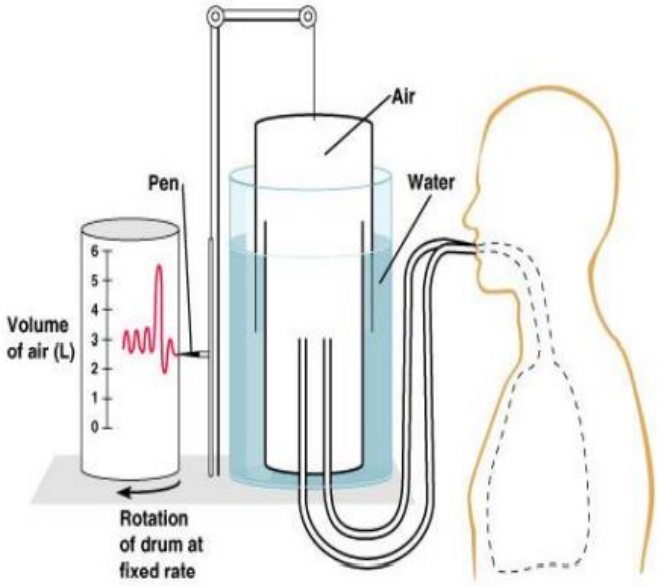
شکل۸- حجم‌های ریوی طبیعی و ظرفیت‌های مربوط به آن برای یک شخص با وزن ۷۰ کیلوگرم[۱۰].

این حجم ها و ظرفیت‌های خاص معرفی شده ویژگیهایی را نمایان می‌سازند که فرد بررسی کننده را قادر می سازند تا وضعیت دستگاه ریوی را بررسی کنند . با استفاده از این اطلاعات پزشک قادر خواهد بود وضعیت فیزیولوژیکی سیستم تنفسی بیمار را رصد کند و تعیین کند آیا این وضعیت سبب جریان هوایی ناکافی (مثلا وقتی که مسیر عبور هوا از نظر فیزیکی با مخاط یا ترشحات درون نای بسته شده اند)، مبادله گاز ناکافی (مثلا وقتی که آلوئول‌ها دچار مشکلی مانند بیماری آمفیزم) شده است یا خون به قدر کافی نمی رسد[۱۰].

روش اندازه گیری حجمهای ریوی

---
[27] TLC

روش اندازه گیری حجمهای ریوی استفاده از آزمون کارکرد ریوی می باشد که متداول‌ترین آن انجام اسپیرومتری است. شمای کلی و ساده ابزار بکار گرفته شده در شکل۹، نشان داده شده است. بیمار به داخل یک محفظه درپوش دار عمل تنفس انجام می‌دهد. در پوش که سوار یک جداره آبی روان کننده است بر اثر تنفس بالا و پایین می رود با بالارفتن در پوش ، یک قلم متصل به محفظه خط سیری را بر استوانه کاغذ چرخان رسم می‌کند. اسپیرومتر مقاومت بسیار کمی در برابر تنفس نشان می‌دهد از این رو شکل منحنی اسپیرومتری به طور خالص تابعی از کامپلیانس ریه بیمار و سینه بیمار و نیز مقاومت مسیرهای هوایی است. با استخراج پارامترهای مفید از روی منحنی های بدست آمده از ابزارهای دقیق سنجش عملکرد ریه ها نوع بیماری سیستم تنفسی مشخص نموده و اقدامات درمانی متناسب را برنامه ریزی نمود[۱۲ و ۱۱].



شکل ۹- اجزای یک دستگاه اسپیرومتری[۱۰].

در این پژوهش یکی از مهمترین اهداف بررسی فیلترHME ونتیلاتور می باشد. که در ادامه این پژوهش به همراه تحلیل ها و نمودار های آن این فیلتر بررسس خواهد شد. همچنین تغییر شکل جزیی این فیلتر خواهد بود که به آن پرداخته خواهد شد.

۲- اهمیت و ضرورت

در بخشهای مراقبت ویژه، تهویه مکانیکی یکی ازمهمترین اقدامات حمایتی در ارائه درمانها و مراقبتهای ویژه به بیماران است[۱۳]. با طولانی شدن مدت تهویه مکانیکی، هزینه های مرتبط با تهویه مکانیکی و عوارض ناشی از آن افزایش یافته و بیماران، VAPدر معرض خطر پنومونی وابسته به ونتیلاتور آسیب مجاری تنفسی، تضعیف سیستم عضلانی، افزایش نیاز به داروهای آرام بخش و بار روانی بیماران و خانواده آنها و افزایش میزان مرگ و میر قرار طولانی شدن مدت تهویه مکانیکی می گیرند[۱۵-۱۴]. طولانی شدن مدت تهویه مکانیکی موجب افزایش طول اقامت بیمار در بخش های مراقبت ویژه می شود که می تواند کمبود تخت های بخش مراقبت ویژه و افزایش هزینه های بهداشتی درمانی را خواهد داشت[۱۶]. دستگاه ونتیلاتور اطلاعات زیادی در اختیار تیم سلامت و درمانگر قرار می‌دهد که خود می‌تواند کمک شایانی به درمان فرد نماید[۱۷].

مدار تنفسی بیمار

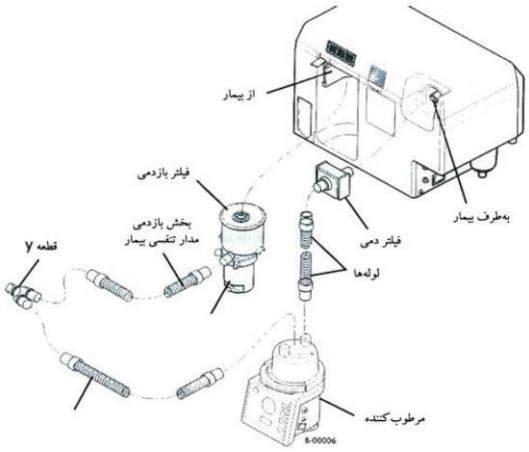
بخشی است که بین بیمار و ونتیلاتور قرار دارد، لوله ها و اجزاء مربوطه این بخش شامل اجزای زیر است:

•فیلتر دمی (آنتی باکتریال)

•دستگاه مرطوب کننده [۲۸]

•لوله های دمی و بازدمی

•ظرف جمع کننده [۲۹] ،که در شکل۱۰، آمده است.



شکل ۱۰ - اجزا مدار تنفسی ونتیلاتور[۱۸].

دستگاه مرطوب کننده یا همودیفایر جهت گرم و مرطوب کردن هوای دمی برای بیمارانی که مدت طولانی به دستگاه متصل می‌شوند و نیز در بیماران نوزاد بکار می رود. برای جمع کردن قطرات آب ناشی از میعان بخارات بازدمی و جلوگیری از ویال جمع کننده و یا ورود آنها به داخل ونتیلاتور بکار گرفته می‌شود. فلوسنسور برای اندازه گیری فلوی بازدمی بیمار استفاده می‌شود، شکل۱۱.

شکل۱۱- فلوسنسور[۱۸-۹]

فیلتر آنتی با کتریال، برای جلوگیری از سرایت و انتقال عفونت و آلودگی به بیمار استفاده می‌شود برای هر بیمار باید تعویض شود و در صورت استفاده طولانی برای یک بیمار هر۴۸ساعت تعویض گردد، شکل ۱۲.

---

[28] Humidifier

[29] Collector Vial

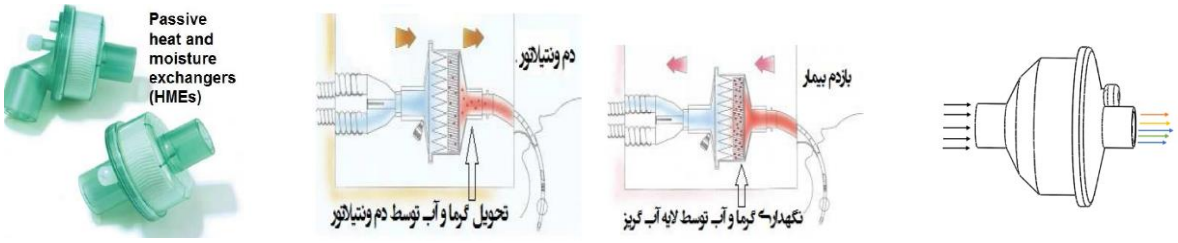
شکل ۱۲- فیلتر آنتی باکتریال[۱۸-۹].

همودیفایرجریان هوا از روی سطح یک حمام بخار حرکت مینماید در نتیجه جریان هوا ذرات آب را با خود به همراه برده و احتمال انتقال میکروب در این روش به حداقل میرسد. این روش در ونتیلاتورها به عنوان استفاده می‌شود. در بخش مراقبت ویژه با بیماران روش گرم و مرطوب سازی فعال بستری طولانی مدت از روش گرم و مرطوب سازی فعال به همراه لوله های یکبار مصرف توصیه میشود، شکل۱۳.

شکل۱۳- همودیفایر[۱۸-۹].

فیلتر ها

فیلتری است که با تغلیظ رطوبت ناشی از بازدم بیمار و نگهداری حرارت بازدمی بیمار موجب گرم و مرطوب شدن هوای دمی تحویلی از طرف ونتیلاتور به بیمار می‌گردد و از انتقال آلودگی از ونتیلاتور به بیمار و بر عکس جلوگیری می کند. در این پژوهش به یکی از این مدل های فیلترها پرداخته می شود، شکل۱۴.

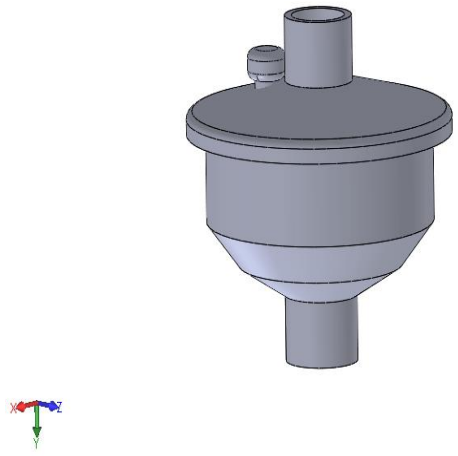


الف) فیلتر طراحی شده پیشنهادی. ب) نحوه استفاده فیلتر ها ج) فیلتر های موجود

شکل۱۴- فیلترهای مورد استفاده برای بیمار.

در این فیلترها با تغییرات جزئی داده شده فیلتر جدید در نرم افزار سالیدورک مورد بررسی قرار گرفته است . سوپاپ های خروجی در این فیلتر تغییرات کوتاهی داشته که این تغییرات می تواند به راحتی بخار های آب خروجی را با در پوش یک طرفه از خود خارج کند و در مخزن خود نگهداری کند، شکل ۱۵.

با استفاده از نرم افزار سالیدورک [۳۰] طرح اولیه فیلترHME طراحی شده است که در شکل ۱۵ ، آمده است. سالیدورک نرم افزاری بسیار پیشرفته به منظور طراحی سازه های صنعتی به صورت سه بعدی می باشد. با استفاده از این نرم افزار می توان اقدام به طراحی و ایجاد مراجع هندسی ، منحنی ها ، پلان ها با تنظیم کردن صفحه ، دستگاه مختصات جدید ، منحنی های مارپیچ ، شیب دهی به سطوح و قرینه سازی اشیا سه بعدی ، چرخش پروفیل حول یک محور و ... نمایید. این نرم افزار قابل توجه بسیاری از مهندسان و دانشجویان رشته های مهندسی مکانیک، مهندسی صنایع ، نقشه کشی صنعتی و ... بوده زیرا نسبت به نرم افزارهای مشابه از محیط کاربری ساده ای بر خوردار است و در عین حال به پیشرفته ترین ابزارهای طراحی و مدلسازی نیز مجهز می باشد.



شکل ۱۵- فیلتر طراحی شده.

۳- روش انجام کار

فیلترهای سیستم تنفس یکبار مصرف برای کاهش انتقال میکروب‌ها و سایر ذرات موجود در بیهوشی در بخش مراقبت های ویژه به کار می‌روند. این فیلترها با حفظ حرارت و رطوبت بازدم ، عمل گرم کردن و رطوبت بخشیدن به گاز را فراهم می‌کنند. استفاده از این نوع فیلترها می تواند به طور

[30] SOLIDWORKS 2016 x64 Edition

موثر خطر عفونت هنگام بیهوشی و آلودگی تجهیزات تنفسی را کاهش دهد. همچنین مبدل حرارتی و رطوبت یکبار مصرف نوعی سیستم رطوبت است که در بیماران با تهویه مکانیکی و یا بیماران بیهوشی استفاده می شود تا به رطوبت ، گرم کردن، و فیلتر کردن گاز کمک کند. با فیلتر الکترواستاتیک برای محافظت در برابر میکروب ها به منظور کاهش انتقال ویروس ها و باکتری ها طراحی شده است تا خطر پنومونی ناشی از ونتیلاتور کاهش یابد. محصولات از جنس پلیمرگرید پزشکی [۳۱] بوده و با اتصالات استاندارد طراحی می شوند. محیط فیلتراسیون فوق الکترواستاتیک است و خاصیت آبگریز آن می‌تواند رشد میکروارگانیسم‌ها را مهار کند. این نوع مبدل ها می‌توانند بخشی از گرما و رطوبت و گاز ناشی از بازدم بیمار را حفظ کنند.

فیلترهای HME برای بیمارانی که تنفس خودبخود این فیلترها دارای پورتی برای اتصال به اکسیژن و منفذی برای ساکشن کردن می باشد . این فیلترها از چندین لایه تشکیل شده که عمل ضد باکتری، ضد ویروسی و همچنین از یک لایه آب گریز [۳۲] تشکیل شده که اجازه عبور آب و بخار آب را نمی‌دهد. در طی بازدم گرما و بخار آب دفعی از بیمار توسط لایه های آب‌گریز فیلتر در همان سمت حفظ شده، و در دم انتقالی توسط ونتیلاتور به بیمار باز می‌گرداند. مشخصه های یک فیلتر HME مناسب، ظرفیت بالا در برگشت آب بازدمی بیمار، حجم داخلی کوچک (فضای مرده پایین)، مقاومت پایین در برابر جریان هوا را دارا می باشد. برای انجام کار یک فیلتر HME از جنس پلیمر گرید پزشکی، به دلیل موارد قبلی که مطرح شد، از معمول ترین مواد مورد استفاده می باشد. خواص مکانیکی این پلیمر در جدول ۱، آورده شده است، [۱۹] .

جدول ۱- پلیمر گرید پزشکی برگرفته از کتابخانه سالیدورک.

خاصیت مکانیکی	مقدار	واحد
مدول الاستیک	۶۰۰۰۰۰۰	N/M^2
ضریب پواسن	۰/۴۷	N/M
مدول برشی	۲۰۰۰۰۰۰	N/M^2
کرنش	۱۳۰۰۰۰۰۰	N/M^2
رسانایی گرمایی	۰/۱۶	W/(m.k)
ظرفیت گرمایی ویژه	۱۶۰۰	J/(kg.k)

مدل های سه بعدی از ساختار فیلتر مد نظر برای دستگاه ونتیلاتور، ابتدا در نرم افزار سالیدورک طراحی شده است و در ادامه به منظور انجام تحلیل های مکانیکی و به دست آوردن نمودارها داخل همان نرم افزار انجام شده است. با توجه به مطالبی که مطرح شد، یکی از موارد استفاده از روش اجزا محدود می‌باشد که می تواند در این فرایند مورد استفاده قرار گیرد.

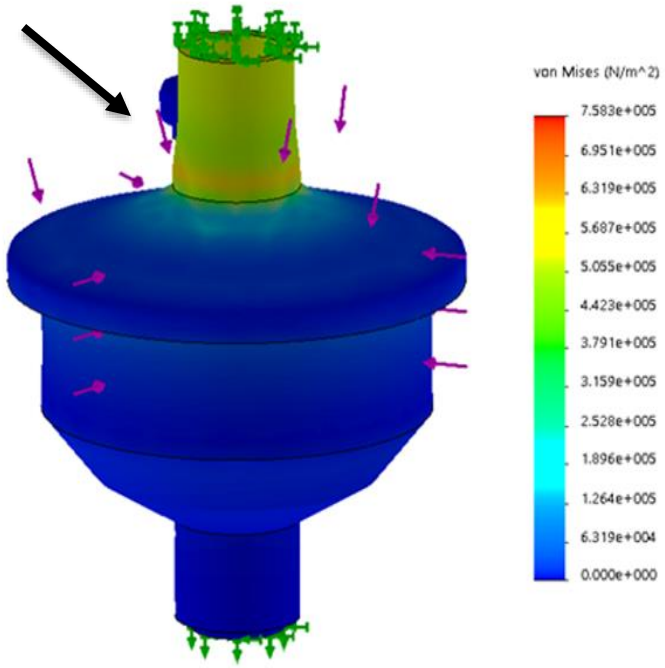
نتایج حاصل از تحلیل ها

با توجه به مباحث گفته شده تحلیل های مکانیکی به صورت زیر می باشد ،که با استفاده از جدول ۱ ، بارگذاری های لازم انجام شده است. با توجه به تحلیل های بدست آمده که بامعیار فون مایسز به دست آمده است ، که نقاط تنش در فیلتر مد نظر نمایش داده شده است. با استفاده از نرم افزار سالیدورک تحلیل های تنشی انجام شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در سر فیلتر نیز نقاط تنشی بیشتر است ولی در محفظه تنش کمتر خواهد بود که در ساخت های بعدی قسمتی که با فلش مشکی نمایش داده شده است ،می تواند به صورت ضخیم تر یا هلال باشد که شکستگی روی آن صورت نگیرد. با استفاده از نقاط بحرانی بدست آمده این فیلتر نسبتا گزینه مناسبی جهت استفاده باشد، شکل۱۷.

---

[31] Poly Vinyl Chloride(PVC)

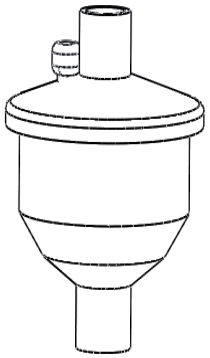
[32] Hydrophobic



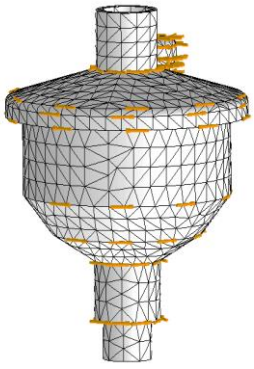
شکل ۱۷- تنش ها و نیروی های مکانیکی موجود بر روی فیلتر ونتیلاتور.

نمودار بررسی نقاط تنش در فیلتر نیز، میزان تنش را نشان می دهد که با توجه به کانتور تنش میزان حداکثر تحمل فیلتر موجود را مشخص می کند و قابلیت استفاده از یک فیلتر، مشخص می‌شود. با وارد شدن نیروی حدود ۵۰۰نیوتون، بیشینه وکمینه تحمل این فیلتر مشخص می شود که ابتدا و انتهای فیلتر(فلش های بنفش) میزان تنش بیشتر است.

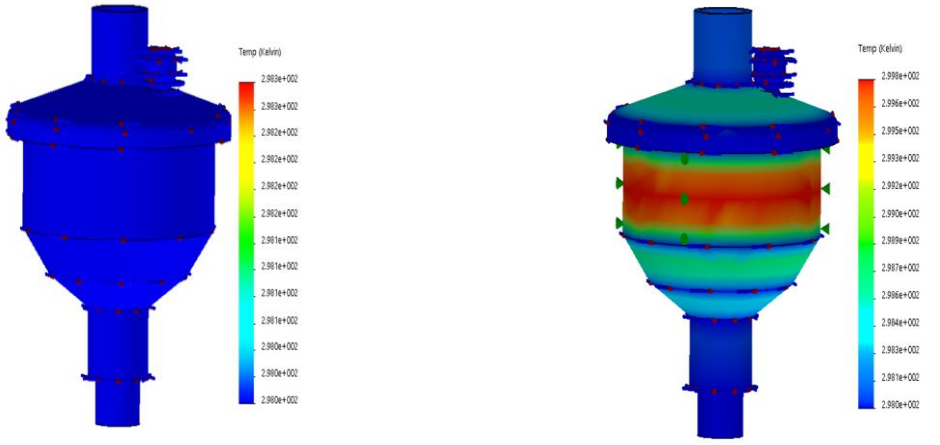
بعد از تحلیل مکانیکی نوبت به تحلیل های گرمایی میرسد ،که در شکل۱۸ آورده شده است. با توجه به میزان گرمایی که در تحلیل گرمایی بدست آمده، می توان با توجه به آن و گرمای کم حاصل به قابل استفاده بودن آن پی برد، زیرا با توجه به گرمایی که محیط دارد و افزایش دمای بدن فرد، این فیلتر قابل استفاده می باشد. این تحلیل ها در شکل۱۸، مش بندی مثلثی و همین طور میزان توزیع گرما را نشان می دهد.



الف) فیلتر طراحی شده



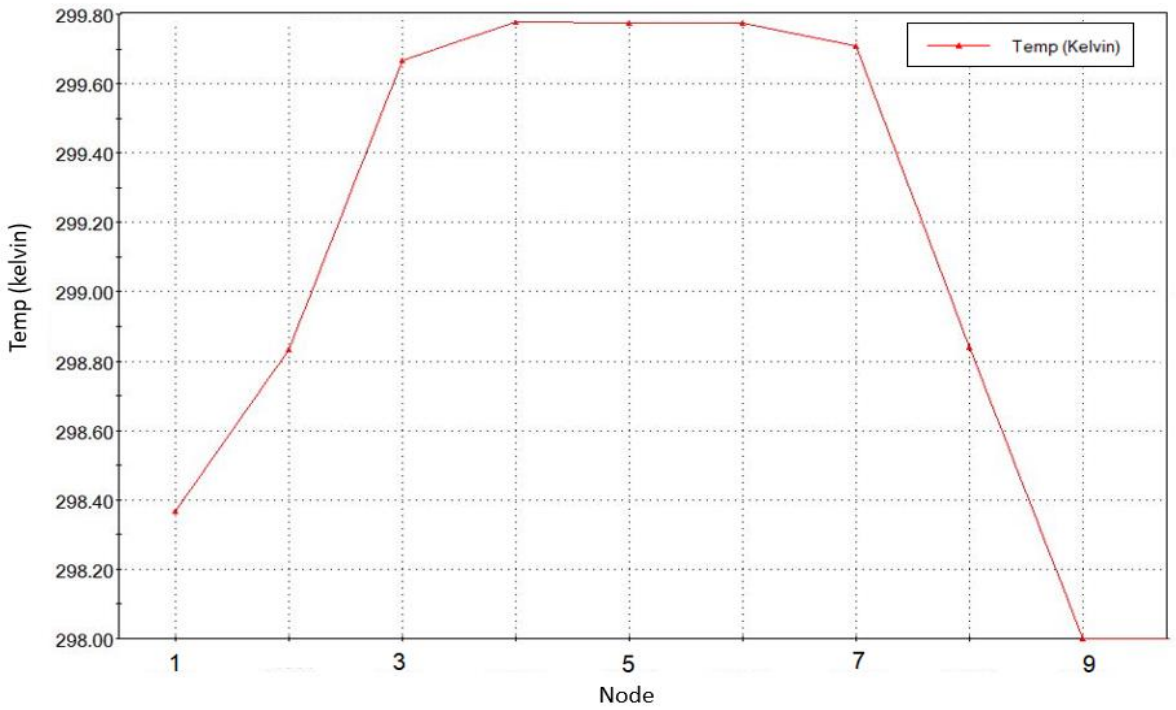
ب) مش مثلثی برای فیلتر



د)افزایش دما در حدود ۴ درجه ج)دمای ثابت اتاق

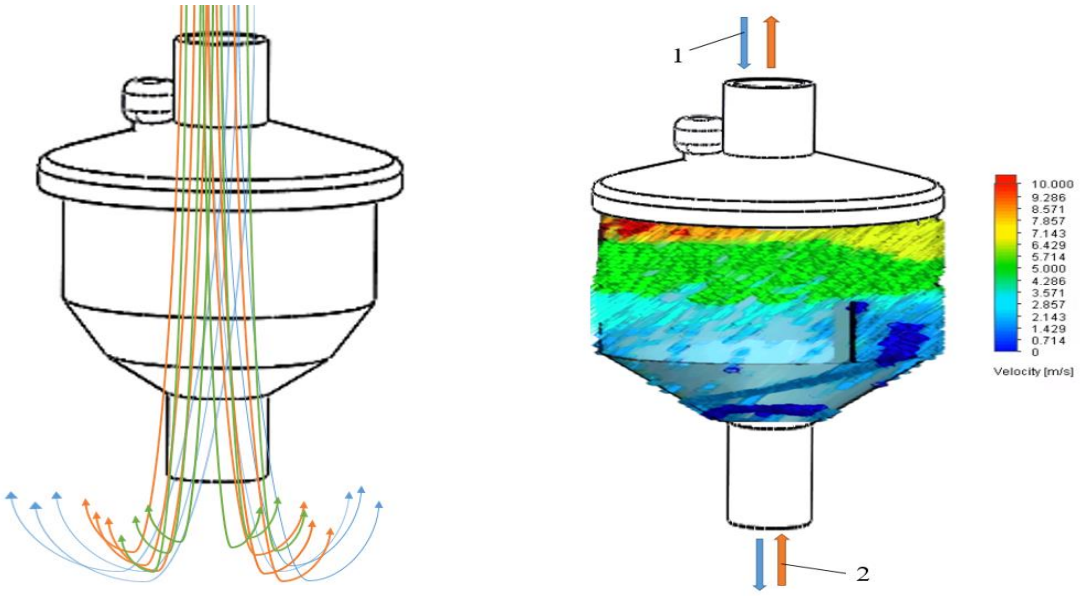
شکل۱۸- تحلیل گرمایی وارد بر فیلتر دستگاه ونتیلاتور.

نمودار های تحلیل های حرارتی در شکل۱۹ آورده شده است. با توجه به نمودار ها میتوان به نتایجی که در شکل ۱۸ بدست آمده پی برد. که در شکل مشخص می باشد.



شکل ۱۹- نمودار حاصل از تحلیل گرمایی.پس از وارد شدن گرمای معادل دمای اتاق از دمای ۲۹۸/۱۵ تا دمای تب در بدن در حدود ۱۵/ ۳۱۳که نمودار تغییرات دمایی در یک قسمت از فیلتر را نشان داده که بعد از افزایش تا حدود۱/۲نیز به سرعت به دمای اولیه برگشته و دما معادل گفته شده، زیاد بر فیلتر اثر گذار نخواهد بود.

در نهایت نوبت به تحلیل جریان در فیلتر هوا می رسد که مطابق با میزان حداکثر فشار دستگاه ونتیلاتور، می‌باشد که در شکل ۲۰، آمده است. توزیع این گرما در شکل مشخص شده است وجریان یک طرفه و دو طرفه نیز در شکل ۲۰ آورده شده است. این تحلیل ها که بررسی سرعت اکسیژن را در این فیلتر ها نشان می‌دهد، نشان از طراحی مناسب این فیلترها جهت جریان هوا میباشد.



ب) الف)

شکل ۲۰- تحلیل جریان هوا در داخل دستگاه ونتیلاتور. الف) قسمت سرعت جریان هوا، که این سرعت جریا هوا پس از تقسیم این عدد بر ۱۰۰ به دست خواهد امد. ب) بررسی کانتور جریان هوا.

با توجه به تحلیل به دست آمده در این پژوهش همانطور که بیان شد، تحلیل های مکانیکی ناشی از نیروهای وارد بر این فیلتر، استحکام لازم را برای استفاده یک بیمار دارد. در تحلیل های گرمایی هم شرایط داخلی بیمار از نظر دمای بدن و هم از نظر دمای محیط نیز مورد بررسی قرار گرفت که قابل استفاده است و قابلیت تحمل این گرما بدون تغییر شکل را دارا می باشد .

آخرین تحلیل مورد بررسی از نظر میزان فشار اکسیژن و سرعت جریان هوا می باشد که مورد بررسی قرار گرفته و این میزان جریان هوا قابلیت استفاده در این فیلتر را دارا می باشد.

۴- نتیجه گیری

با توجه به احساس نیاز به دستگاه ونتیلاتور و یا حتی دستگاه های پر کاربرد دیگر یکی از مهمترین مواردی که برای استفاده دستگاه مهم است ، کاربری ساده دستگاه و در دسترس بودن وسایل آن دستگاه است. دستگاه ونتیلاتور هم همین نکته در مورد آن صدق میکند، داشتن وسایل مصرفی در دسترس میتواند به استفاده بهتر ان دستگاه کمک کند . با توجه به پژوهش فوق یکی از موارد مهمی که در دستگاه ونتیلاتور مورد استفاده قرار می گیرد فیلترهای آن دستگاه است که برای بیمار و سازنده و درمان گر بسیار مهم است .

در این پژوهش فیلتر های HME مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج بدست آمده از این و تحلیل که جریان هوا را به خوبی از خود عبور دهد و آب و بخارات اضافی تنفس ناشی از دم و بازدم را اجازه ورود به دستگاه تنفسی بیمار و حتی ریه بیماران ندهد ، چرا که موجب آسیب بیمار خواهد شد . بنابر این شکل و طراحی و استقامت فلیترهای موجود برای استفاده بسیار مهم است که علاوه بر خروج قطرات بخار اضافی آب ناشی از تنفس باید به آن اهمیت داده شود و به موقع این فیلترها تعویض گردد.

۵- مراجع

[۱] جامعی ب، شمشیربند ه (۱۳۸۹)،" **آناتومی کاربردی بالینی برای رشته های تصویربرداری پزشکی**"، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی ایران، صفحه ۳۲۱-۳۷۸.

[۲] درک ر، وگل و، میچل آ(۱۳۸۸)،" **آناتومی گری(تنه)** "، جلد اول ترجمه حسن زاده غ، جامعی ب، اکبری م، ابوالحسنی ف، بربرستانی م، زنده دل ا، چاپ اول، انتشارات خسروی.

[۳] إل مور ک (۱۳۸۷)،" **آناتومی مور تنه** " جلد اول، ترجمه عمیدی ف، عباسی م، پتاس بختش پ، آشتنا س، کریمی م، چاپ اول، انتشارات نهض پویا.

[۴] زدهینکل ک(۱۳۸۰)،" **اصول و مبانی آناتومی و حرکت** "ترجمته حستنی ع، شتریفی آذر ک، چتاپ اول، دانشگاه شاهرود.

[۵] Richard L. Drake, A. Wayne Vogl, Adam W.M. Mitchell- "Gray's Anatomy for Students 2 th Edition," 2010.

[۶] صادقیپور رودسری ح، صدر ش، غریبزاده ش، فقیهی م، کریمیان م(۱۳۷۹)، " **فیزیولوژی پزشکی** " جلد اول،چاپ اول فروردین، انتشارات و چاپ دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران.

[۷] لویتزکی م، (۱۳۸۶) " **فیزیولوژی تنفس** " جلد اول، ترجمه دشتی رحم آبتادی م، مرشتدی ع، چاپ اول،انتشارات بقیۀ العتره.

[۸] گایتون آ، هال ج(۱۳۸۹)، " **فیزیولوژی پزشکی گایتون** " ترجمه نیاورانی ا، چاپ اول، انتشارات سماط.

[۹] مهندسی پزشکی و ابزار دقیق، جوزف دی. برنزینو، ترجمه دکتر نجاریان و همکاران.

[۱۰] Principle of Human Physiology, second edition, William J.German, University of South Alabama, 2007

[۱۱] علی جهاندیده, رستم; ماهوری, علیرضا; غنی‌زاده, مهدی".(1389) مقدمه‌ای بر ماشین‌های تهویه مکانیکی در پزشکی .(PDF) "*اداره تجهیزات پزشکی دانشگاه علوم پزشکی ارومیه*.

[۱۲]David J Pierson. "Mechanical Ventilation pimer- Clinical Respiratory Diseases & Critical Care Medicine, Seattle - Med 610". *University of Washington School of Medicine*. Retrieved 2020-06-10.

[۱۳]Khoobi M, Ahmady Hedayat M, Mohammady N, Ashghali Farahani M, Haghani H, Anisiyan A. The Relationship between Respiratory Indexes with the Consequences of Weaning from Mechanical Ventilator in CABG Patients in ShahidRajaei Hospital, Tehran, Iran, 2011. Qom Univ Med Sci J. 2015;8(6):66-71.

[۱۴] Muttini S, Villani PG, Trimarco R, Bellani G, Grasselli G, Patroniti N. Relation between peak and integral of the diaphragm electromyographic activity at different levels of support during weaning from mechanical ventilation: a physiologic study. Journal of critical care. 2015;30(1):7-12.

[۱۵] Danckers M, Grosu H, Jean R, Cruz RB, Fidellaga A, Han Q, et al. Nurse-driven, protocol directed weaning from mechanical ventilation improves clinical outcomes and is well accepted by intensive care unit physicians. Journal of critical care. 2013;28(4):433-41.

[۱۶] Criner G. Long-term ventilator-dependent patients: New facilities and new models of care. The American perspective. Pulmonology. 2012;18(5):214-6.

[۱۷] Fredberg, Jeffrey J. 'Bronchospasm and its biophysical basis in airway smooth muscle.' Respiratory research 5.1 (2004): 2. 10.

[۱۸] راهنمای استفاده از ونتیلاتور بنت 840 شرکت شالچیلار– ۱۳۸۶.

[۱۹] سربلوکی، م.، و محمدی روشنده، ج. (۱۳۸۲). کاربرد پلیمرها در پزشکی و درمان. شیمی و مهندسی شیمی ایران (فارسی)، ۲۲(۱)، ۱-۲۸. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=1480

۶- فهرست نمادها و نشانه ها

m: متر

J : ژول

N: نیوتون

Mpa : مگا پاسکال

K : کلوین

W : وات

Sec : ثانیه

Kg : کیلو گرم