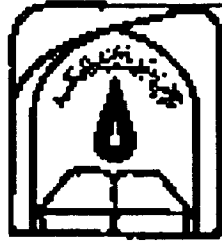


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



استاد تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

گزارش پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی پزشکی بیوالکتریک

عنوان:

طراحی و ارزیابی یک ونتیلاتور جدید کنترل شده بوسیله کامپیوتر

ناصر چاجی

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا مؤمنی

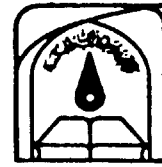
استاد مشاور:

دکتر محمد حسین میران بیگی

زمستان ۱۳۷۷

20061/2

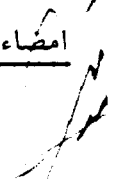
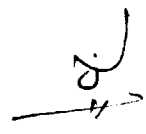
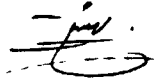

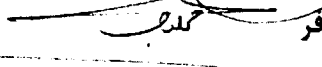
۲۵۲۵۸



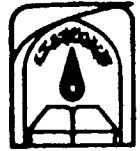
دانشگاه تربیت مدرس

## تاییدیه هیات داوران

آقای ناصر چاجی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان طراحی و ارزیابی یک ونتیلاتور جدید کنترل شده به وسیله کامپیوتر در تاریخ ۷۷/۱۱/۱۴ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق باگرایش مهندسی پزشکی پیشنهاد می کنند. ۱۱-۶۶

<u>امضاء</u>	<u>نام و نام خانوادگی</u>	<u>اعضای هیات داوران</u>
	آقای دکتر مؤمنی	۱- استاد راهنما:
	آقای دکتر میران بیگی	۲- استاد مشاور:
	آقای دکتر بهشتی	۳- استادان ممتحن:
	آقای دکتر مشیری	
	آقای دکتر محلوچی فر	۴- مدیر گروه:
		(یا نماینده گروه تخصصی)

این نسخه به عنوان نسخه نهائی پایان نامه الزامه مورد تایید است.  
اعضای استاد راهنما:



شماره: ۱۳۷۸ / ۳ / ۲۵

تاریخ:

پیوست:

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲ در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:  
کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته فلسفه تربیتی است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمد رضا مومنی و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر محمد حسن میران سلمی از آن دفاع شده است.

ماده ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵ دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶ اینجانب ناصر حاجی دانشجوی رشته فلسفه تربیتی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.



پدر و مادرم

و

خواهران و برادرم

## تقدیر و تشکر:

برای من افتخار بزرگی بود که کار پایان نامه را زیر نظر اساتید بزرگوارم جناب آقای دکتر حمیدرضا مؤمنی به عنوان استاد راهنما و جناب آقای دکتر محمد حسین میران بیگی به عنوان استاد مشاور انجام بدهم. در طول مدت تحصیل و در حین انجام پایان نامه همواره از راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند بوده‌ام. از همراهی و کمک جناب آقای دکتر مؤمنی و جناب آقای دکتر میران بیگی بسیار سپاسگذارم. علاوه بر این اخلاق خوب و اعتماد ایشان نسبت به من جای تشکر مضاعف دارد.

از اساتید محترم، آقایان دکتر مشیری، دکتر بهشتی و دکتر محلوجی فر بخاطر قبول زحمت و حضورشان در جلسه دفاع بسیار سپاسگذارم.

همچنین از تمامی معلمین و اساتید محترمی که در طول مدت تحصیل به نحوی در خدمت ایشان بوده‌ام بسیار سپاسگذارم. توفیق رفیق راهشان باد.

## چکیده:

این تحقیق اصول طراحی یک ونتیلاتور برای تهویه مکانیکی اتوماتیک شش‌ها را توصیف می‌کند. همانطور که می‌دانیم در تهویه سیستم تنفسی با دو کمیت اساسی فشار هوا در دهان و فلوی هوا در مجرای تنفسی سروکار داریم. مشخصات سیستم تنفسی تعیین کننده ارتباط این دو کمیت با یکدیگر است. در ونتیلاتورهای رایج موجود فقط یکی از دو کمیت فوق قابل تنظیم است. علاوه بر این اصلاح وضعیت ونتیلاتور نیز توسط کاربر انجام می‌شود. در این تحقیق با استفاده از سیستم‌های الکترومکانیکی دیجیتال و کنترل مناسب عملکرد آنها بوسیله کامپیوتر، یک ونتیلاتور جدید طراحی شده است. نحوه طراحی و قابلیت کنترل کامپیوتری باعث شده که ونتیلاتور از ویژگی‌های زیر برخوردار باشد: (۱) بسته به انتخاب کاربر هر کدام از دو کمیت فشار هوا در دهان و فلوی هوا در مجرای تنفسی قابل تنظیم است. (۲) بازه وسیعی از زمانهای دم و بازدم و فرکانس تنفس قابل انتخاب است. (۳) الگوی فلوی مطلوب برای حالت دم قابل برنامه‌ریزی است. (۴) امکان فیدبک گرفتن از پارامترهای تنفسی و اصلاح وضعیت ونتیلاتور به صورت اتوماتیک میسر است. این قابلیت‌ها باعث می‌شود که ونتیلاتور طراحی شده در تمام بیماریهایی که در آن تنفس مکانیکی مصنوعی تجویز می‌شود - چه در واحدهای مراقبت ویژه و چه در فعالیتهای تحقیقاتی - قابل استفاده باشد.

کلید واژه‌ها: ونتیلاتور، سیستم تنفسی.

## «فهرست مطالب»

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
۱- پیشینه استفاده از ونتیلاتور.....	۳
۱-۱- مخزن تنفس مصنوعی و پوشش تهویه کننده.....	۳
۱-۱-۱- مخزن تنفس مصنوعی.....	۵
۱-۱-۲- پوشش تهویه کننده.....	۵
۱-۲- تهویه مکانیکی مرسوم.....	۶
۱-۲-۱- ونتیلاتورهای مکانیکی.....	۷
۱-۲-۲- ونتیلاتورهای مکانیکی اتوماتیک.....	۷
۲- تئوری استفاده از ونتیلاتور.....	۱۰
۲-۱- وظایف کلی و ویژگیهای اساسی ونتیلاتور.....	۱۰
۲-۲- مکانیزم کنترل ونتیلاتور.....	۱۵
۳- طبقه بندی ونتیلاتورها.....	۱۸
۳-۱- اجزای تشکیل دهنده ونتیلاتور.....	۱۸
۳-۲- مکانیزم کنترل.....	۲۱
۴- کاربردهای ونتیلاتور.....	۲۴
۴-۱- کاربرد ونتیلاتور در بیهوشی.....	۲۴
۴-۲- کاربردهای درمانی ونتیلاتور.....	۲۵
۵- طراحی ونتیلاتور نمونه.....	۲۶
۵-۱- توصیف کلی اهداف طراحی.....	۲۶
۵-۲- ساختار کلی ونتیلاتور نمونه.....	۲۸



۳۰	۵-۳ قطعات مورد نیاز واحد پنوماتیک.....
۳۰	۵-۳-۱ تولید هوای فشرده.....
۳۴	۵-۳-۲ محاسبه خط لوله.....
۴۰	۵-۳-۳ شیر تنظیم فشار مجهز به دهانه تخلیه.....
۴۰	۵-۳-۴ شیر تنظیم فشار بدون دهانه تخلیه.....
۴۲	۵-۳-۵ شیر الکترومغناطیسی.....
۴۵	۵-۴ ساختار زیر واحد مولد فلو/فشار.....
۴۸	۵-۵ ساختار زیر واحد کنترل پنوماتیکی فلو/فشار.....
۵۱	۵-۶ سنسورها و مدارهای خیر دهنده.....
۵۴	۵-۷ واحد کنترل کامپیوتری.....
۵۴	۵-۷-۱ پارامترهای تنفسی موثر در کنترل ونتیلاتور.....
۵۸	۵-۷-۲ اصلاح وضعیت ونتیلاتور.....
۶۲	۵-۷-۳ کنترل ونتیلاتور در حالت مولد فشار.....
۶۵	۵-۷-۴ کنترل ونتیلاتور در حالت مولد فلو.....
۶۸	۶- ارزیابی.....
۷۳	۷- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها.....
۷۵	مراجع.....

## «پیوست الف»

۷۶	۱- ضرورت وجود دستگاه تنفسی در انسان.....
۷۹	۲- ساختمان عمومی دستگاه تنفسی انسان.....
۸۰	۲-۱ حفره بینی.....
۸۰	۲-۲ حنجره.....

- ۲-۳- نای و نایژه‌ها..... ۸۱
- ۲-۴- تنظیم قطر مجاری تنفسی..... ۸۱
- ۲-۵- شش‌ها..... ۸۲
- ۲-۶- پرده‌های جنب..... ۸۳
- ۳- اعمال عمومی تنفس..... ۸۳
- ۴- حجم‌ها و ظرفیت‌های ششی..... ۸۵
- ۵- متغیرهای قابل اندازه‌گیری در سیستم تنفسی..... ۸۶

«پیوست ب»

- ۱- مدل کردن سیستم تنفسی..... ۸۷
- ۱-۱- مدل انتقال گاز..... ۸۹
- ۱-۲- مدل کردن مکانیک شش..... ۹۲
- ۱-۲-۱- مدل مکانیک تنفس طبیعی در طی تنفس آهسته..... ۹۴

## مقدمه

در پزشکی اصطلاح تهویه<sup>(۱)</sup> بر رساندن اکسیژن به ششها و دفع دی‌اکسیدکربن از آنها دلالت دارد. هنگامی که مکانیزم‌های خود بدن برای انجام عمل تهویه صدمه دیده یا از انجام این کار ناتوان باشند، لازم است که یک ابزار مصنوعی برای این کار مورد استفاده قرار گیرد. دستگاه مورد استفاده برای تهویه مکانیکی شش‌ها، ونتیلاتور نامیده می‌شود.

تهویه مکانیکی شش‌ها به‌طور وسیعی در کارهای کلینیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. عمده‌ترین کاربرد آن در بیهوشی و به‌طور اساسی در جراحی‌های طولانی و در موارد عدم کارکرد مناسب سیستم تنفسی است.

در تهویه سیستم تنفسی با دو کمیت اساسی فشار هوا در دهان و فلوی هوا در مجرای تنفسی سروکار داریم. مشخصات سیستم تنفسی تعیین‌کننده ارتباط این دو کمیت با یکدیگر است. در ونتیلاتورهای رایج موجود، فقط یکی از دو متغیر فلوی یا فشار قابل تنظیم است.

تا کنون انواع مختلفی از دستگاه‌های ونتیلاتور برای تهویه اتوماتیک شش‌ها طراحی و ساخته شده‌اند. با توجه به تفاوت زیاد در طراحی ونتیلاتورها، طبقه‌بندی آنها به هیچ وجه کار آسانی نیست. اما در حالت کلی دو دسته ونتیلاتور متمایز داریم: ونتیلاتورهای مولد فشار و ونتیلاتورهای مولد فلوی. در ونتیلاتورهای مولد فشار علیرغم تغییر بار خارجی (تغییر مشخصات مربوط به سیستم تنفسی)، فشار هوا در دهان قابل تنظیم است. در ونتیلاتورهای مولد فلوی نیز علیرغم تغییر در بار خارجی مقدار فلوی در مجرای تنفسی قابل تنظیم است.

در مرجع [۱] مشخصات اساسی انواع مختلف ونتیلاتورهای موجود در بازار ارائه شده‌است. هر یک از این ونتیلاتورها دارای محدوده کاری معینی است و فقط برای اشخاصی با بیماری‌های مشخص کاربرد دارد. در این تحقیق با استفاده از سیستم‌های الکترومکانیکی دیجیتال و کنترل مناسب عملکرد آنها به وسیله کامپیوتر، یک ونتیلاتور جدید طراحی شده

---

(1) Ventilation

است. نحوه طراحی و قابلیت کنترل کامپیوتری این امکان را فراهم می‌کند که ونتیلاتور هم به صورت مولد فشار و هم به صورت مولد فلو در دسترس باشد. در حالت مولد فشار علی‌رغم تغییر مشخصات سیستم تنفسی، ونتیلاتور جریانی از هوای تنفسی با فشار پایدار ثابت را به بیمار تحویل می‌دهد. در این حالت محدوده وسیعی از زمانهای دم و بازدم و فرکانس تنفس قابل انتخاب است. در حالت مولد فلو نیز علی‌رغم تغییر مشخصات سیستم تنفسی، ونتیلاتور جریانی از هوای تنفسی با فلوی پایدار (مستقل از تغییر مشخصات سیستم تنفسی) را به بیمار تحویل می‌دهد. مقدار فلو می‌تواند یکی از شانزده سطح دیجیتال را به خود اختصاص دهد. علاوه بر این، تغییر و کنترل میزان فلو در زیر فاصله‌های زمانی دلخواه از یک عمل دم مجزا میسر است. به عبارتی هر شکل موج فلوی مطلوب از نظر کلینیکی قابل برنامه‌ریزی است. بنابراین سیستم طرح شده در این تحقیق دارای ویژگی‌هایی است که به ونتیلاتور امکان می‌دهد تعداد زیادی از احتیاجات مهم بیماران را برآورده کند و به محدوده وسیعی از بیماری‌ها پاسخگو باشد. این ویژگی‌ها عبارتند از: ۱) ونتیلاتور هم به صورت مولد فشار و هم به صورت مولد فلو در دسترس است. ۲) محدوده وسیعی از زمانهای دم و بازدم و فرکانس تنفس قابل انتخاب است. ۳) کنترل پیوسته سطوح فشار (ماکزیمم، مینیمم و متوسط) و حجم تنفس شده مقدور است. ۴) پایداری فلو خوب است و شکل موج فلو نیز قابل تغییر است. ۵) عملکرد ونتیلاتور توسط کامپیوتر کنترل می‌شود.

این ویژگی‌ها به اپراتور اجازه می‌دهد که بر اساس وضعیت ویژه کلینیکی بیمار، از ونتیلاتور به صورت مولد فشار و یا به صورت مولد فلو استفاده کند. همچنین در حالت مولد فلو، اپراتور می‌تواند شکل موج فلوی مطلوب از نظر کلینیکی را انتخاب کند. ونتیلاتور نیز قادر است شکل موج فلوی مطلوب را با پایداری بالا به بیمار تحویل دهد. بنابراین ونتیلاتور طراحی شده، در تمام امراضی که برای آن تنفس مکانیکی مصنوعی تجویز می‌شود - چه در واحدهای مراقبت ویژه و چه در فعالیتهای تحقیقاتی - قابل استفاده است.

## ۱- پیشینه استفاده از ونتیلاتور

در این بخش تاریخچه کوتاهی درباره استفاده از ونتیلاتور بیان شده است. همچنین روند تکاملی طراحی و ساخت ونتیلاتورها نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. انجام این مطالعه از دو نظر حائز اهمیت است: اول اینکه وظایف کلی و ویژگی‌های اساسی ونتیلاتور را مشخص می‌کند و دوم اینکه با بررسی نقاط ضعف و قوت طراحی‌های موجود، اهداف طراحی و نیز بهترین روش برای رسیدن به این اهداف مشخص می‌شود.

در سال ۱۵۵۵ و سالوس<sup>(۱)</sup> طرز کار یک تراکتوستومی<sup>(۲)</sup> و تهویه سیستم تنفسی (توسط ورود یک نی به مجرای هوا) برای زنده کردن یک حیوان را توضیح داد. یک قرن بعد روبرت هوک<sup>(۳)</sup> آزمایشات و سالوس را تأیید کرد. او با استفاده از یک کیسه هوا و از طریق تراکتوستومی، عمل تهویه سیستم تنفسی یک سگ را انجام داد. در طول ۳۰۰ سال بعدی آزمایشات مشابه دیگری نیز به طور متفرق گزارش شده است [۲].

## ۱-۱- مخزن تنفس مصنوعی و پوشش تهویه کننده

از اواخر قرن ۱۹ تا اوایل قرن ۲۰ توسعه تکنولوژیکی قطعات مورد نیاز برای تهویه کمکی، روی دستگاههایی که فشار منفی روی سطح بدن اعمال می‌کردند (شش آهنی یا مخزن تنفس مصنوعی) و یا دستگاههایی که به دیواره سینه فشار منفی اعمال می‌کردند (پوشش تهویه کننده) متمرکز شده بود.

در تهویه سیستم تنفسی، اعمال فشار منفی به شش‌ها از طریق دیواره سینه در مقایسه با اعمال فشار مثبت به مجرای هوا، از نظر فیزیولوژیکی مناسب‌تر است. اما بیشتر

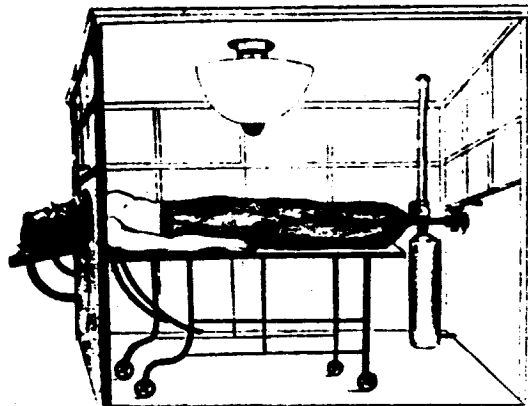
---

(۱) Vesalius

(۲) ایجاد سوراخی در گلو و وارد کردن یک نی در آن برای انجام تهویه.

(۳) Robert Hooke

طراحی‌های انجام شده در این راستا کاربردی نیستند. یک محفظه ایجاد کننده فشار منفی در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. همانطور که از روی شکل نیز مشخص است این نوع طراحی‌ها پرزحمت و از لحاظ مکانیکی غیر قابل اعتماد است.



شکل (۱-۱) محفظه ایجاد کننده فشار منفی. شکم و پاهاى شخص در محفظه‌ای قرار گرفته که با محیط خارج در ارتباط است [۱].

## ۱-۱-۱- مخزن تنفس مصنوعی

مخزن تنفس مصنوعی اولین بار با کوشش مشترک درینکر<sup>(۱)</sup>، مک هانن<sup>(۲)</sup> و شاو<sup>(۳)</sup> توسعه یافت. در دانمارک نیز همین طراحی به وسیله کروی<sup>(۴)</sup> مورد استفاده قرار گرفته بود. در سال ۱۹۳۲ امرسون<sup>(۵)</sup> یک گنبد کیپ را به این طراحی اضافه کرد. این گنبد روی سر بیمار قرار می گرفت و پرستاری از بیمار در حین انجام تهویه از طریق مجرای طبیعی هوا را آسان می کرد. مخزن تنفس مصنوعی کاربردهای کلینیکی وسیعی پیدا کرد. به عنوان مثال در بیماری همه گیر فلج اطفال شش آهنی یک نجات دهنده محسوب می شد. اما استفاده از شش آهنی برای کاربردهای بیهوشی و جراحی عملی نبود [۲].

## ۱-۱-۲- پوشش تهویه کننده

دستگاههای پوشش تهویه کننده اصول کار مشابهی دارند. اساس کار آنها مبنی بر اعمال یک فشار متناوب منفی به دیواره سینه، یا شکم و دیواره سینه است. استفاده از این دستگاهها در مقایسه با استفاده از مخزن تنفس مصنوعی مزیت هایی دارد که عبارتند از: (۱) قابلیت دسترسی به بیمار و بنابراین مراقبت آسانتر از او. (۲) صرفه جویی بیشتر و (۳) قابل حمل بودن دستگاه. مطالعات فیزیولوژیکی نشان می دهد که استفاده از پوشش شکم و قفسه سینه (یا پوشش قفسه سینه به تنهایی) در مقایسه با استفاده از مخزن تنفس مصنوعی حجم حیاتی کمتری را نتیجه می دهد. بنابراین یکی از معایب استفاده از دستگاههای پوشش تهویه کننده در مقایسه با استفاده از مخزن تنفس مصنوعی، همین عدم دسترسی به حجم حیاتی بالا است.

مطالعات مختلف استفاده موفقیت آمیز از پوشش تهویه کننده برای تهویه سیستم تنفسی بیماران در طول جراحی عمومی و نایژه بینی و در ضعف هایی که ناشی از خارج شدن مکانیک سیستم تنفسی از حالت طبیعی است (چاقی یا بیماری مسدود شدن شش) را نشان می دهند. در طول بیهوشی نیز می توان از دستگاههای پوشش تهویه کننده استفاده کرد.

---

(۱) Drinker      (۲) Mckhann      (۳) Shaw  
(۴) Krogh      (۵) Emerson