بسم الله الرحمن الرحيم

تاسیس ۱۳۰۷
**دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی**
**دانشکده مهندسی مکانیک**

پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش سیستم محرکه خودرو

# امکان سنجی بازیافت حرارتی از اگزوز یک موتور دیزل برای تهویه مطبوع خودرو با استفاده از سیکل تبرید جذب سطحی

نگارش: مرتضی خانبانها

استاد راهنمای اول: دکتر سید علی جزایری
استاد راهنمای دوم: دکتر علی بهبهانی نیا

زمستان ۱۳۹۱

**اظهار نامه دانشجو**

**موضوع پایان‌نامه:**

**امکان سنجی بازیافت حرارتی از اگزوز یک موتور دیزل برای تهویه مطبوع خودرو با استفاده از سیکل تبرید جذب سطحی**

استاد راهنمای اول: دکتر سید علی جزایری

استاد راهنمای دوم: دکتر علی بهبهانی نیا

**نام دانشجو**: مرتضی خانبانها

**شماره دانشجویی**: ۸۹۰۱۷۲۴

اینجانب **مرتضی خانبانها** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **مهندسی مکانیک** گرایش **سیستم محرکه خودرو** دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می‌باشد، و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. بعلاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامه چارچوب مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده‌ام.

مرتضی خانبانها

امضا

## ***حق چاپ، تکثیر و مالکیت نتایج***

۱- حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده آن می باشد. هرگونه کپی برداری بصورت کل پایان نامه یا بخشی از آن تنها باموافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می باشد.

۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

**تقدیم به پدر و مادر عزیزم که همواره پشتیانم بوده اند**

**تقدیر و تشکر:**

حمد و سپاس خداوند متعال را که به انسان حکمت و دانش آموخت  تا خود را بشناسد آنگاه خدای خود را. خدای را سپاس می‌گویم که در دوران تحصیل خود از نعمت اخلاق، تجربه و دانش اساتید راهنمای ارجمند جناب آقایان **دکتر سید علی جزایری** و **دکتر علی بهبهانی‌نیا** بهره‌های فراوان بردم. نقطه - نظرات جامع و کلیدی ایشان در جای جای این تحقیق، نحوه فکر کردن و رویارویی صبورانه با مسائل علمی را به من آموخت. از خداوند منان آرزوی موفقیت در تمامی مراحل زندگی برای ایشان خواستارم.

## چکیده

به کار گیری سیستم های سرمایش جذب سطحی که توان خود را از حرارت اتلافی از موتورهای احتراق داخلی یا حرارت خورشید دریافت می کنند می تواند به کاهش استفاده از مواد مخرب لایه ازن از جمله ترکیبات کلوروفلوروکربن( CFC) و هیدروکلوروکربن ( HCFC) کمک کند. در سال های اخیر این سیستم توجه بسیاری را در زمینه های مختلف به خود جلب کرده است و دلیل آن هم کارکرد بی صدا، دوام بالا، هزینه نگهداری کم و دوستدار محیط زیست بودن آن است. وسائل حمل و نقل سنگین شامل انواع جاده ای، غیر جاده ای و ریلی، بیش از ۲۵ درصد از سوخت مورد استفاده در بخش حمل ونقل را مصرف می‌کنند [۱]. همچنین در یک خودروی دیزل سنگین هنگام حرکت خودرو نیز کمپرسور مکانیکی مربوط به سیستم تهویه مطبوع حدود ۱۲ درصد از توان خروجی موتور را مصرف می کند[۲]. بنابراین پتانسیل خوبی برای صرفه جویی در مصرف انرژی در صورت حذف کمپرسور مکانیکی وجود دارد. در مطالعه حاضر سعی شده تا امکان به کارگیری سیستم تبرید جذب سطحی در خودروهای دیزل سنگین بررسی شود. برای این منظور ابتدا زوج های کاری مختلف و سیکل های ترمودینامیکی آنها مورد بررسی قرار گرفت و سپس کربن فعال- آمونیاک به عنوان زوج کاری انتخاب گردید.در ادامه با محاسبه با برودتی مورد نیاز و حرارت در دسترس از اگزوز یک موتور دیزل ۳۵۰ کیلوواتی مشخص شد که توان حرارتی کافی برای به کارگیری سیستم تبرید جذب سطحی وجود دارد.

برای تعیین حرارت در دسترس از اگزوز، با استفاده از نرم افزار GT-POWER موتور دیزلی با توان ۳۵۰ کیلووات مدل شد و میزان آنتالپی گازهای خروجی در گشتاورها و دورهای مختلف موتور بدست آمد. در نهایت فاکتور وزن و جانمایی این سیستم نیز در وسائل نقلیه مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی های انجام شده در این تحقیق نشان می دهد که به کارگیری این تکنولوژی در وسائل حمل و نقل سنگین امکان پذیر می باشد. هر چند جای کار بسیاری برای بالا بردن راندمان سیستم از طریق افزایش ضریب عملکرد (COP) و به کارگیری مواد جدیدتر ضمن کاهش وزن و ابعاد سیستم وجود دارد.

لغات کلیدی : سیستم تبرید، جذب سطحی، زوج کاری ، حرارت دردسترس، موتور دیزل

# فهرست

**۱ مقدمه ..... ۱**

۱. ۱. تاریخچه تهویه مطبوع ..... ۵
۱. ۲. پیامد مبردهای متداول ..... ۶
۱. ۳. اهداف پایان نامه ..... ۷

**۲. مروری بر تکنولوژیهای تبرید ..... ۸**

۲. ۱. انواع سیستمهای تبرید ..... ۸
۲. ۱. ۱. سیستم‌های تبرید تراکمی بخار ..... ۸
۲. ۱. ۲. سیستم تبرید استرلینگ ..... ۹
۲. ۱. ۳. سیستم تبرید ترمو الکتریک ..... ۹
۲. ۱. ۴. سیستم دسیکانت ..... ۹
۲. ۱. ۵. سیستم جذبی ..... ۱۰
۲. ۱. ۶. سیستم جذب سطحی ..... ۱۱
۲. ۲. انواع سیستمهای جذب سطحی ..... ۱۳
۲. ۲. ۱. سیستم غیردائم ..... ۱۵
۲. ۲. ۲. سیستم پیوسته قدیمی ..... ۱۵
۲. ۲. ۳. سیستم پیوسته مدولار ..... ۱۷
۲. ۳. سیکلهای جذب سطحی ..... ۱۸
۲. ۳. ۱. سیکل پایه ..... ۱۹
۲. ۳. ۲. سیکل با دو محفظه جذب ..... ۲۶
۲. ۳. ۳. سیکل بازیاب حرارت ..... ۲۷
۲. ۳. ۴. چرخه بازیابی جرم ..... ۳۰
۲. ۳. ۵. چرخه های آبشاری ..... ۳۲
۲. ۳. ۶. چرخه های پیشرفته دیگر ..... ۳۳
۲. ۴. ژنراتور و ساختار تبرید جذب سطحی لوله ای (ART) ..... ۳۴
۲. ۵. مروری بر مدل ریاضی ..... ۳۶
۲. ۵. ۱. مدل انتقال حرارت ..... ۳۶
۲. ۵. ۲. مدل انتقال جرم ..... ۳۷
۲. ۵. ۳. مدل جذب ..... ۳۸
۲. ۶. انواع جاذب، مبرد و زوج های کاری رایج ..... ۳۸

۲. ۶. ۱. انواع جاذبها و مبردهای رایج ..... ۳۸
۲. ۶. ۱. ۱. کربن فعال ..... ۴۱
۲. ۶. ۱. ۲. سیلیکاژل ..... ۴۱
۲. ۶. ۱. ۳. زئولیت ..... ۴۲
۲. ۶. ۲. زوج های کاری رایج ..... ۴۲
۲. ۶. ۲. ۱. سیستم های آمونیاک –کربن فعال شده ..... ۴۲
۲. ۶. ۲. ۲. سیستم های متانول –کربن فعال شده ..... ۴۴
۲. ۶. ۲. ۳. سیستم های متانول/سیلسکا ژل و آب/ سیلسکا ژل ..... ۴۵
۲. ۶. ۲. ۴. سیستم های آب زئولیت ..... ۴۶
۲. ۷. تئوری جذب سطحی ..... ۴۸
۲. ۷. ۱. اصول جذب سطحی ..... ۴۸

**۳ شرح نحوه عملکرد سیستم ..... ۵۱**

۳. ۱. مشخصات سیستم تبرید ..... ۵۱
۳. ۲. نحوه کار سیستم تبرید جذب سطحی ..... ۵۴
۳. ۳. کاربرد در سیستم‌های تهویه مطبوع خودرو ..... ۵۵
۳. ۴. کارکرد سیکل ..... ۵۸
۳. ۵. مفهوم کاربردی از سیستم تهویه مطبوع جذب سطحی برای اتومبیل‌ها ..... ۶۳

**۴ بحث و نتیجه ..... ۶۶**

۴. ۱. مقدمه ..... ۶۶
۴. ۲. معرفی موتور دیزل ..... ۶۷
۴. ۳. اثرات زیست محیطی ..... ۶۸
۴. ۴. بار برودتی ..... ۷۱
۴. ۵. توان سرمایشی مخصوص ..... ۷۱
۴. ۶. نرخ حرارت در دسترس موتور دیزل ..... ۷۴
۴. ۶. ۱. حرارت در دسترس از سیال خنک کاری موتور ..... ۷۴
۴. ۶. ۲. حرارت در دسترس از اگزوز موتور دیزل ..... ۷۵
۴. ۶. ۳. مدل موتور دیزل ۳۵۰ کیلوواتی در محیط نرم افزار GT-POWER ..... ۷۷
۴. ۷. پارامترهای ترمودینامیکی تبرید و نرخ جریان ..... ۹۱
۴. ۷. ۱. فشارها و دماهای عملکردی در سیستم تهویه مطبوع اتوبوس و تریلر یخچال دار ..... ۹۲
۴. ۷. ۲. نرخ جریان مبرد و اندازه لوله ها ..... ۹۳
۴. ۸. طراحی سیستم ..... ۹۴

۴. ۸. ۱. طرح ها و حالت های عملکردی ..... ۹۵
۴. ۸. ۲. سیستم کنترل شیر ..... ۹۵
۴. ۸. ۳. طرح سطح مقطع بستر جذب ..... ۹۶
۴. ۸. ۴. طرح کمپرسور جذبی ..... ۱۰۲
۴. ۹. جانمایی، طرح بندی و ابعاد سیستم ..... ۱۰۴
۴. ۹. ۱. قرارگیری کمپرسور جذبی و سیستم تبرید در تریلر ..... ۱۰۴
۴. ۹. ۲. قرارگیری کمپرسور جذبی و سیستم تبرید در کشنده ..... ۱۰۵
۴. ۹. ۳. وزن سیستم ..... ۱۰۹
۴. ۹. ۴. وزن بار مجاز تریلر یخچال دار ..... ۱۱۱
۴. ۹. ۵. حرارت ورودی به کمپرسور جذبی ..... ۱۱۱

**۵. نتیجه گیری و تحقیقات آتی ..... ۱۱۴**

۵. ۱. نتیجه گیری ..... ۱۱۴
۵. ۲. تحقیقات آتی ..... ۱۱۵

**پیوست ..... ۱۱۶**

پیوست الف : نمودارها ..... ۱۱۶
پیوست ب: نمونه محاسبات مشخصات بستر جذب ..... ۱۱۷
پیوست ج: جداول ..... ۱۲۵
پیوست د: روابط و تعاریف ..... ۱۳۳

**مراجع ..... ۱۴۴**

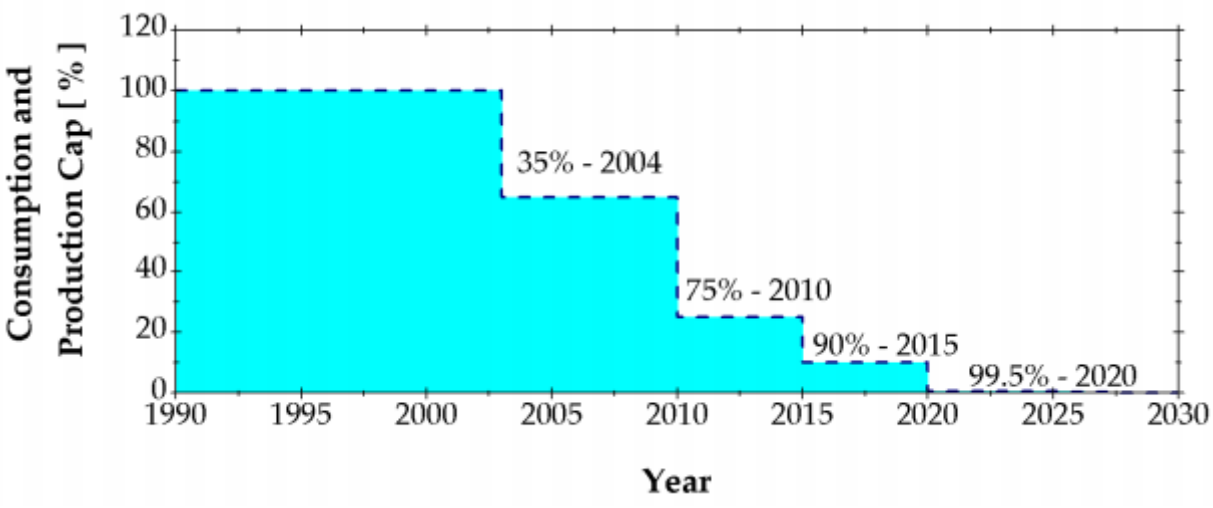
جدول ۱-۱: برنامه زمان بندی حذف مواد مخرب لایه اُزن در اتحادیه اروپا ..... ۶
جدول ۲-۱: تغییرات COP سیکل تبرید جذب سطحی زئولیت-آب با دمای اواپراتور، چگالنده، جذب و رهاسازی به ترتیب $^{oc}$ ۰ ، $^{oc}$ ۴۰ ، $^{oc}$ ۵۰ ، $^{oc}$ ۳۵۰ ..... ۲۹
جدول ۲-۲: مقایسه انواع مبردهای رایج ..... ۳۹
جدول ۲-۳: خواص مبردهای رایج ..... ۴۰
جدول ۳-۱: فازهای کارکرد کمپرسور ..... ۵۸
جدول ۴-۱: نیاز سرمایشی برای تریلرها و اتوبوس ها بر حسب kw ..... ۷۱
جدول ۴-۲: نیاز سرمایشی و حرارت مورد نیاز برای بسترهای جذب با آمونیاک و R134A و فرض COP=1 برای حالت کربن فعال به همراه آمونیاک ..... ۷۲
جدول ۴-۳: حرارت در دسترس از مدار خنک کاری یک موتور دیزل بزرگ ..... ۷۵
جدول ۴-۴: حرارت در دسترس از اگزوز یک موتور دیزل بزرگ ..... ۷۶
جدول ۴-۵ : مشخصات موتور دیزل مدل شده در نرم افزار ..... ۷۸
جدول ۴-۶: مقایسه حداقل توان حرارتی مورد نیاز برای وسائل نقلیه مختلف ..... ۸۹

شکل ۱-۱: برنامه حذف ترکیبات HCFC در پروتوکل مونترال ..... ۱
شکل ۲-۱: سیکل تبرید تراکم بخار ..... ۸
شکل ۲-۲: شماتیک سیکل جذبی ..... ۱۰
شکل ۲-۳: سیکل پایه جذب سطحی ..... ۱۳
شکل ۲-۴: شماتیک یک یخ ساز خورشیدی[۳] ..... ۱۵
شکل ۲-۵: چیلر جذبی دو بستر [۱۸] ..... ۱۶
شکل ۲-۶: چیلر جذبی با سه بستر[۲۰] ..... ۱۶
شکل ۲-۷: سیستم خنک ساز دوار مدولار [۲۲] ..... ۱۷
شکل ۲-۸: سیستم جذبی چند لولهای[۲۳] ..... ۱۸
شکل ۲-۹: دیاگرام کلاپیرون یک چرخه تبرید پایه ایده آل. ..... ۲۰
شکل ۲-۱۰: نمودار کلاپیرون برای سیکل جذب پایه ..... ۲۱
شکل ۲-۱۱: شمای کلی یک چیلر جذب سطحی با دو محفظه جذب[۳۲] ..... ۲۷
شکل ۲-۱۲: نمودارهای کلاپیرون مراحل عملکرد چیلر جذب سطحی با بازیافت حرارت[۳۵] ..... ۲۸
شکل ۲-۱۳: شمای کلی چیلر جذب سطحی با بازیافت حرارت[۳۵] ..... ۲۸
شکل ۲-۱۴: دیاگرام شماتیک یک چرخه بازیابی گرمای خارجی با جاذب های یکسان. ..... ۳۰
شکل ۲-۱۵: دیاگرام چرخه بازیابی جرم که با فشار کار می کند. ..... ۳۱
شکل ۲-۱۶: چرخه بازیابی جرم که با حرارت کار می کند.[۱۹] ..... ۳۲
شکل ۲-۱۷: شماتیک چرخه آبشاری ..... ۳۳
شکل ۲-۱۸: پیکربندی یک ژنراتور گرم شونده از وسط. خلاصه ای از ساختارهای پیشنهادی[۴۳] و[۵۰] ..... ۳۴
شکل ۲-۱۹: پیکربندی یک ژنراتور گرم شونده از خارج. خلاصه ای از ساختارهای پیشنهادی[۵۲] و [۵۳] ..... ۳۵
شکل ۲-۲۰: پیکربندی یک ART. تصویر از[۲۲] و [۲۳] ..... ۳۶
شکل ۳-۱: سیستم تبرید جذب سطحی با دو کمپرسور و بدون بازیاب ..... ۵۲
شکل ۳-۲: مدار سیال بازیاب برای یک سیستم تبرید با دو کمپرسور ..... ۵۳
شکل ۳-۳: نمایی شماتیک از سیستم تهویه مطبوع با کمپرسور جذب سطحی و مدار بازیاب ..... ۵۵
شکل ۳-۴: شماتیک سیستم کمپرسور جذب سطحی ..... ۵۶
شکل ۳-۵: نمایی از برش طولی المان کمپرسور ..... ۵۷
شکل ۳-۶: کمپرسور جذب سطحی با بازیاب حرارت ..... ۵۷
شکل ۳-۷: الف : فاز ۱ از ۴ ..... ۵۹
شکل ۳-۸: شماتیک یک سیستم کامل تهویه مطبوع جذب سطحی ..... ۶۳
شکل ۳-۹: طرح کمپرسور جذب سطحی برای استفاده در وسائل نقلیه ..... ۶۵
شکل ۴-۱: فرایندهای اصلی سیکل دیزل ..... ۶۷
شکل ۴-۲: نمودارهای T-S و P-V برای سیکل ایدهآلی دیزل ..... ۶۸
شکل ۴-۳ : نمودار تغییرات جرم جاذب بر حسب ظرفیت سرمایشی برای آمونیاک و R134A ..... ۷۳
شکل ۴-۴: نمودار تغییرات راندمان احتراق بر حسب Ø ..... ۷۸

شکل ۴-۵: نمایی از طرح موتور مدل شده در محیط نرم افزار ..... ۷۹
شکل ۴-۶:نمودارتغییرات فشار بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۰
شکل ۴-۷: نمودارتغییرات مصرف سوخت ویژه بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۰
شکل ۴-۸: نمودار تغییرات مصرف سوخت بر حسب تغییر دور و در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۱
شکل ۴-۹: نمودارتغییرات بازده ترمزی بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۱
شکل ۴-۱۰: نمودارتغییرات توان ترمزی بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۲
شکل ۴-۱۱: نمودارتغییرات دمای اگزوز بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۲
شکل ۴-۱۲: نمودارتغییرات گشتاور ترمزی بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۳
شکل ۴-۱۳: نمودارتغییرات نرخ جریان گازهای خروجی بر حسب تغییرات دور موتور در موقعیتهای مختلف دریچه گاز ..... ۸۳
شکل ۴-۱۴: نمودارتغییرات گشتاور و دمای اگزوز پس از توربو شارژر بر حسب تغییرات دور موتور ..... ۸۴
شکل ۴-۱۵: نمودارتغییرات گشتاور و نرخ جریان بر حسب تغییرات دور موتور ..... ۸۵
شکل ۴-۱۶: محدوده عملکردی مناسب موتور برای تامین نرخ جریان مورد نیاز ..... ۸۶
شکل ۴-۱۷: نمودارتغییرات گشتاور و آنتالپی بر حسب تغییرات دور موتور ..... ۸۷
شکل ۴-۱۸: محدوده عملکردی مناسب موتور برای تامین آنتالپی مورد نیاز ..... ۸۸
شکل ۴-۱۹: توزیع انرژی در یک موتور اشتعال جرقهای نوعی بر حسب سرعت موتور ..... ۹۱
شکل ۴-۲۰: نرخ جریان مورد نیاز برای مبردهای R134A و R717 به عنوان تابعی از ظرفیت سرمایشی ..... ۹۳
شکل ۴-۲۱: طرح مقطع عرضی بستر جذب ..... ۹۷
شکل ۴-۲۲: نمای ایزومتریک از مقطع عرضی بستر جذب دو لایه ..... ۹۸
شکل ۴-۲۳: یک بستر جذب کوچک آزمایشگاهی کربنی به همراه فوم آلومینیومی ..... ۹۹
شکل ۴-۲۴: نمای انتهایی بستر جذب دولایه ..... ۹۹
شکل ۴-۲۵: بستر جذب سطحی مونتاژ شده ..... ۱۰۰
شکل ۴-۲۶: منیفولد گرمایش مستقیم با اگزوز و سرمایش با هوای محیط به همراه چهار بستر جذب ..... ۱۰۳
شکل ۴-۲۷: شماتیک کمپرسور جذب سطحی با گرمایش و سرمایش مستقیم بستر جذب ..... ۱۰۳
شکل ۴-۲۸: ابعاد نسبی سیستمهای قراردادی در اتوبوس ۱۲ متری و تریلر ۱۶ متری ..... ۱۰۶
شکل ۴-۲۹: طرح و ابعاد نسبی سیستم تبرید جذب سطحی بر روی کشنده و تریلر ۱۶ متری ..... ۱۰۷
شکل ۴-۳۰: طرح و ابعاد نسبی سیستم تبرید جذب سطحی بر اتوبوسهای ۱۲ متری ..... ۱۰۸
شکل ۴-۳۱: طرح شماتیک کمپرسور متصل شده به کشنده ..... ۱۰۸
شکل ۴-۳۲: وزن سیستم متداول در برابر سیستم جذب سطحی در تریلر یخچال دار ..... ۱۱۰
شکل ۴-۳۳: حرارت مورد نیاز سیستم جذب سطحی در برابر ظرفیت سرمایشی ..... ۱۱۲

## ۱ مقدمه

به طور کلی، سیستم تهویه مطبوع خودرو ترکیبی از مدار گرمایش و سرمایش می باشد. بنابراین امکان ایجاد شرایط دلخواه در داخل کابین را مستقل از شرایط بیرون خواهیم داشت. در نتیجه تهویه مطبوع یک فاکتور اساسی برای ایمنی و راحتی سفر می باشد. هرچند تکنولوژی تبرید و تهویه مطبوع ملزم به تطابق با قوانین زیست محیطی می باشد (پروتوکل مونترال در سال ۱۹۸۷). بین سال‌های ۱۹۹۰ (لندن) تا ۲۰۰۷ (مونترال) در این قانون اصلاحاتی در مورد کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه صورت گرفت. طبق توافقی که در در سال ۱۹۹۵ (مونترال) صورت گرفت، کشورهای توسعه یافته موظف شدند تا تولید ترکیبات (CFC) را متوقف کنند و تصمیم حذف کامل ترکیبات (HCFC) تا سال ۲۰۳۰ تصویب شد.




**شکل ۱-۱: برنامه حذف ترکیبات HCFC در پروتوکل مونترال**

این گرایش باعث تقاضای قابل توجهی نسبت به سیستم های سرمایشی جایگزین شده است. از میان تکنولوژی های سرمایشی که تا کنون پیشنهاد شده اند، سیستم سرمایش جذب سطحی از پتانسیل بسیار خوبی بهره مند می باشد. مزیت‌های این سیستم کارکرد بی صدا،عمر زیاد، هزینه نگهداری کم، مبردهای غیر آلاینده و سازگاری با محیط زیست می باشد (Wang & Dieng،۲۰۰۱) [۳] .

در گذشته، فرایندهای جذب سطحی به طور گسترده در کاتالیست‌ها و جداسازی گاز به‌کار گرفته شده است. با ظهور تکنولوژی جذب سطحی، تحقیق بسیاری (به خصوص در چین،ایالات متحده آمریکا و ژاپن) به منظور بررسی امکان به کارگیری این تکنولوژی برای سرمایش و تبرید فضاهای مختلف انجام شد.

با مراجعه به ASHRAE(1972)، سیستم سرمایش جذب سطحی پتانسیل لازم به عنوان یکی از شیوه های تبرید حرارتی را دارا می باشد. امکان استفاده از حرارت اتلافی و انرژی خورشیدی برای تامین توان

سیستم جذب سطحی، آن را به عنوان سیستم سرمایشی جایگزین که بیشترین سازگاری را با محیط زیست دارد معرفی کرده‌است؛ که این سازگاری شامل پتانسیل تخریب لایه ازن، پتانسیل گرمایش جهانی و مصرف انرژی می باشد. بنابراین، سیستم جذب سطحی در آینده می تواند جایگزین مناسبی برای ماشین های تراکم بخار متداول باشد .

سیکل تبرید جذب سطحی که توان خود را از انرژی خورشیدی یا حرارت اتلافی از موتورها می گیرد به طور موفقیت آمیزی برای تولید یخ مورد استفاده قرار گرفته است. برای مثال، یخ ساز خورشیدی (Boubakri et al.,2000) [۴]. سیستم سردخانه خورشیدی آب-زئولیت (Lu et al., 2003) [۵]، یخچال نگهداری واکسن خورشیدی با زوج کاری کربن- آمونیاک (Critoph, 1994) [۶] و یک سیکل تبرید جذب سطحی آب-سیلیکاژل که توسط حرارت اتلافی کار می کرد (Saha et al., 1995) [۷]. در سال ۲۰۰۱ (Dieng & wang) [۳] مطالعات آزمایشگاهی و تئوری متعددی را روی سیستم های سرمایشی جذب سطحی شبیه سازی کردند. آنها همچنین خطوط راهنمای مفیدی برای تشخیص پارامترهای طراحی بسترهای جذب، و قابلیت اجرای تبرید خورشیدی را برای تهویه مطبوع و انجماد ارائه کردند. در سال ۲۰۰۱ ( R.Z. Wang ) [۸] پس از توصیف مکانیزم جذب سطحی سیکل‌های مختلفی از جمله سیکل‌های بازیاب حرارت، بازیاب جرم و حرارت، موج حرارتی و آبشاری را مورد بررسی قرار داد و تغییرات ضریب عملکرد هر یک تحت تاثیر پارامترهای گوناگون را بیان کرد. انتخاب زوج کاری مناسب برای استفاده از حرارت اگزوز موتور دیزل یک قایق ماهیگیری به منظور تولید یخ انجام شد (Wang et al, 2004) [۹]. در ادامه سیستم یخ ساز قایق ماهیگیری که با حرارت اتلافی از اگزوز کار میکرد طراحی و شبیه سازی شد (Wang et al, 2006) [۱۰]. همچنین طرح مفهومی از سیستم جذب سطحی برای راه اندازی تهویه مطبوع یک خودروی سواری ارائه شد (Lambert et al, 2006) [۲]. همچنین زوج کربن فعال- آمونیاک با هدف استفاده در سیستم تهویه مطبوع، پمپ حرارتی و یخ سازها مورد بررسی جامعی قرار گرفت و تغییرات ضریب عملکرد سیستم در شرایط مختلف بدست آورده شد (Z.Tamainot et al, 2009) [۱۱]. پس از آن نیز یک نمونه اولیه از سیستم کربن فعال- متانول که با حرارت اتلافی از اگزوز کار می‌کرد ساخته شد (Leo Sing Lim, 2010) [۱۲].

سیستم‌های سرماساز جذب سطحی به طور گسترده‌ای در خنک‌کننده‌های برودتی پیشرفته که روی ماهواره‌های نظارتی نصب می‌شوند به کار گرفته شده است، اما استفاده از این تکنولوژی برای کاربردهای غیرنظامی و تجاری تازگی دارد. به این دلیل که کمپرسور جذب سطحی توسط حرارت به کار می‌افتد، هر تعدادی از سوخت‌های قابل قبول، الکتریسیته یا گرمای اتلافی می‌تواند آن را به راه اندازد. این انعطاف می‌تواند به این تکنولوژی این امکان را بدهد که با گستره وسیعی از تجهیزات سیار یا ترانزیت وفق یابد.
برخی از تجهیزات که پتانسیل استفاده از این تکنولوژی در آن‌ها وجود دارد عبارتند از سیستم‌های تهویه مطبوع برای خودروهای ترانزیت کالا، کانتینرها، یا تجهیزات گرمایشی و سرمایشی اماکن مسکونی.

منبع گرما می‌تواند گرمای اتلافی از گازهای خروجی، گرمای ناشی از خنک کاری موتور، گرمای ناشی از بازیافت حرارت از ترمزها و یا انرژی خورشیدی باشد.

اگر چه استفاده از سیستم جذب سطحی هنوز برای تهویه مطبوع وسایل نقلیه که نیاز سرمای نسبتاً زیادی دارند متداول نشده است، یخچال‌های کوچکی که بوسیله سیستم جذبی کار می‌کنند برای وسائل نقلیه تفریحی (موتورخانه‌ها، قایق‌ها و ...) به بازار عرضه شده‌اند. بنابراین یک طرح خلاقانه نیاز است تا به طور عملی از این تکنولوژی در تهویه مطبوع خودروها و وسایل نقلیه استفاده شود.

سیستم تهویه مطبوع معمول مورد استفاده در خودروها از کار شناخت موتور برای به چرخش درآوردن کمپرسور مکانیکی استفاده می‌کند. به حرکت درآوردن کمپرسور مکانیکی بار روی موتور و در نتیجه مصرف سوخت، آلایندگی و دمای کارکردی موتور را افزایش می‌دهد. یک سیستم کمپرسور جذب سطحی می‌تواند از حرارت اگزوز یا حرارت جذب شده توسط آب خنک‌کاری استفاده کند. این حرارت که می‌توان آن را به عنوان انرژی رایگان در نظر گرفت، می‌تواند برای راه‌اندازی یک سیستم برودتی کافی باشد.

اخیراً تابلوهایی در کنار جاده‌های مناطق گرمسیری با شیب نسبتاً زیاد (در آمریکا) نصب می‌شوند که توصیه می‌کنند سیستم‌های تهویه مطبوع خودرو را خاموش کنید.

این تابلو به این معنی است که برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد موتور در خودروهای استاندارد باید بار روی موتور کم شود. یک تریلر حمل مواد غذایی می‌تواند با استفاده از سیستم تبرید جذب سطحی که بوسیله گرمای اتلافی اگزوز یا گرمای آب خنک کاری موتور کار می‌کند فضای بار را خنک نگه دارد سیستم جذبی (معمولاً آمونیاک و آب) در حال حاضر در موتورخانه‌ها برای خنک کاری استفاده می‌شود، ولی برای تأمین گرمای مورد نیاز به سوزاندن گاز طبیعی وابسته است. یک سیستم تبرید جذب سطحی تراکمی هم می‌تواند به این صورت باشد.

سیستم تهویه مطبوع یک خودروی عادی از یک کمپرسور مکانیکی که حدود ۲ تا ۵ اسب بخار از توان موتور را می‌گیرد استفاده می‌کنند. کمپرسور مکانیکی درصدی از کل توان خودرو را بسته به شرایط حمل و نقل از جمله حرکت با سرعت ثابت، حمل یک محفظه بار بزرگ یا حرکت در سراشیبی مصرف می‌کند. بسته به بار، کمپرسور می‌تواند تا ۱۰ درصد از توان خروجی موتور را مصرف کند.

به کارگیری از یک کمپرسور بخار جدید که از یک ماده جاذب حرارت اتلافی استفاده می‌کند موضوع مطالعه حاضر می‌باشد. برخلاف سیستم‌های تراکم بخار متداول که یک کمپرسور مکانیکی را به کار می‌گیرند، تکنولوژی جدید از یک بستر جذب ساکن که بوسیله حرارت به کار می‌افتد استفاده می‌کند. و بنابراین می‌تواند به اندازه ۹۰٪ از توان ورودی مورد نیازی که به طور عادی برای کار کمپرسور مکانیکی نیاز است صرفه جویی کند. این سیستم از مزیت مواد خاصی از جمله کربن فعال یا زغال چوب برای جذب مقادیر نسبتاً زیادی از بخار ماده مبرد را در دما و فشار پایین استفاده می‌کند. ماده مبرد سپس در فشار بالاتر به سادگی با به کارگیری حرارت آزاد می‌شود. ماده فعال (ماده جاذب) در یک محفظه (بستر جذب) ذخیره می‌شود. می‌توان با به کارگیری بسترهای جذب چندتایی (حداقل ۴ بستر) یک جریان دائمی از

ماده مبرد متراکم شده را در درون سیستم ایجاد کرده به این شکل که یک بستر همیشه داغ نگه داشته می‌شود (و بخار مبرد را آزاد می‌کند) و یک بستر همیشه سرد می‌ماند ( و بخار مبرد را جذب می‌کند) در حالی که دو بستر دیگر در دماهای میانی هستند. در حالی که یکی گرم می‌شود دیگری سرد می‌شود. یک مایع بازیاب حرارتی می‌تواند برای افزایش راندمان سیستم بوسیله انتقال گرما از یک بستر گرم به یک بستر سرد استفاده شود از آنجایی که هیچ قطعه متحرکی وجود ندارد (به جز شیرها). سیستم جذبی به طرز قابل توجهی ساده تر است روغن کاری نیاز ندارد و بنابراین نگهداری کمتری را می‌طلبد.

اگر سیستم جذبی به مایع بازیاب نیاز نداشته باشد بنابراین سخت افزار مرتبط با آن نیز حذف می‌شود و سیستم ساده‌تر می‌شود در حالی که فقط شیرهای یکطرفه نیاز می باشند.

مزیت دیگر عملکردی بی صدا و آرام می‌باشد بنابراین به راحتی می‌وان برای افزایش ظرفیت خنک کاری به تعداد بسترها افزود. به علاوه بیشتر منابع گرما (از جمله گرمای اتلافی یا انرژی‌های تجدیدپذیر) نیز می‌توانند به کار گرفته شوند. بنابراین صرفه جویی در مصرف انرزی قابل توجهی می‌توانیم داشته باشیم اگرچه سیستم می‌تواند از مبردهای قراردادی مانند R 134 A استفاده کند، بسته جذب وقتی از مبردهای غیر کلروفلورو کربن ($non-CFC$) مانند آمونیاک استفاده می‌کند از راندمان بالاتری برخوردار خواهد بود.

موارد کاربردی که سیستم جذب سطحی می‌تواند به عنوان یک سیستم منعطف و با عملکرد عالی پیشنهاد شود عبارتند از:

۱- سیستم تهویه مطبوع برای کامیون‌های بزرگ، اتوبوس‌ها و کشتی‌ها – گرمای اتلافی از یک موتور می‌تواند برای گرم کردن مایع مبرد و در نتیجه بالا بردن دما و فشار آن مورد استفاده قرار گیرد بنابراین می‌تواند نیاز به یک کمپرسور مکانیکی و در نتیجه هزینه تعمیر و نگهداری را حذف کند.

۲- تبرید کانتینرهای حمل مواد فاسد شدنی مانند مواد خوراکی و مواد شیمیایی خاص. همچنین، این سیستمها برای کانتینرها می‌توانند نصب شوند و آنها برای سرد شدن مستقل باشند و هیچ قطعه متحرکی درون آنها به کار گرفته نشود ضمن اینکه این تکنولوژی دوستدار محیط زیست نیز می‌باشد. در آب و هوای گرم و کویری، جایی که سرماسازی بیشتر احتیاج می‌باشد، این سیستم جذاب خواهد بود زیرا گرمای مورد نیاز برای گرم کردن مبرد می‌تواند از انرزی خورشیدی کسب شود. هر چه شدت تابش آفتاب بیشتر شود سرمای بیشتری می‌توان تولید کرد. هم اکنون کانتینرهایی که به سرد شدن نیاز دارند از واحد تراکم بخار فرئون بهره می‌برند که انرژی الکتریکی یا سوخت فسیلی برای راه اندازی آن لازم است. اگر واحدهای جذبی هیچ مزیتی جز حذف قطعات دوار و رفت و برگشتی و نگهداری آنان نداشته باشند باز هم استفاده از این سیستم را جذاب می‌کند.

## ۱.۱. تاریخچه تهویه مطبوع

در گذشته دور، رومی های باستان برای خنک کردن اتاق ها آب را از میان دیوارهای خاصی از خانه ها عبور می دادند. هرچند، به دلیل گران بودن منبع استفاده آب در آن زمان این شیوه خنک کاری فضا فقط مخصوص ثروتمندان بود. در سال ۱۸۲۰، دانشمند و مخترع انگلیسی مایکل فارادی کشف کرد که اگر آمونیاک را متراکم و مایع کرده سپس به آن اجازه داده شود تا بخار شود می تواند هوا را سرد کند. در سال ۱۸۴۲ یک فیزیکدان اهل فلوریدا (Dr. John Gorrie)، از تکنولوژی کمپرسور برای تولید یخ به منظور خنک کردن بیمارانش در بیمارستان آپالاچیکولا بهره برد. او سرانجام برای استفاده از ماشین یخ ساز خود به منظور تنظیم دمای ساختمان ها امیدوار شد. در سال ۱۸۵۱، امتیاز انحصاری را برای ماشین یخ ساز خود دریافت کرد اگرچه نمونه اولیه آن نشتی داشت و نامنظم کار میکرد. متاسفانه، با مرگ حامی مالی پروژه امید او برای موفقیت به یأس بدل شد. دکتر گُری در سال ۱۸۵۵ در فقر از دنیا رفت و ایده تهویه مطبوع نیز برای ۵۰ سال محو شد.

کاربردهای تجاری اولیه تهویه مطبوع منحصر به سرمایش هوا برای فرایندهای صنعتی می شد و استفاده ای در تامین آسایش شخصی نداشت. در سال ۱۹۰۲، (Willis Haviland Carrier) اولین تهویه مطبوع الکتریکی مدرن را اختراع کرد. اختراع او به منظور کنترل بهینه فرایند ساخت در یک کارخانه چاپ طراحی شده بود، به این صورت که علاوه بر دما رطوبت را نیز کنترل می کرد. در این مورد، حرارت و رطوبت می بایست پایین نگه داشته می شد تا ابعاد کاغذ و هم ترازی جوهر حفظ شود. با رشد تکنولوژی در طول زمان، تهویه مطبوع برای افزایش رفاه در خانه های مسکونی و همچنین در خودروها به کار گرفته شد. که به طور عادی این سیستم های تهویه مطبوع از آمونیاک، پروپان و کلرید متیل به عنوان مبرد استفاده می کردند.

در سال ۱۹۲۸، (Thomas Midgley) اولین کلوروفلوروکربن را که با نام فرئون می شناسیم ایجاد کرد. این مبرد ایمن می باشد ولی بعدها مشخص شد که به لایه اُزن اتمسفر آسیب وارد می کند. به طور کلی، فرئون نام تجاری Dupont برای هر ترکیب کلوروفلوروکربن (CFC) ،کلوروفلوروکربن هیدروژنه (HCFC) یا هیدروفلوروکربن (HFC) می باشد.HCFC به عنوان R-22 شناخته می شود و برای مصرف در سیستم های سرمایشی رفاهی انبساط مستقیم از بقیه متداول تر می باشد. مبردهای غیر مخرب لایه اُزُن متعددی به عنوان جایگزین توسعه یافته اند، مانند R-410A. R-410A با نام Puron شناخته می شود. همزمان با ادامه رشد تکنولوژی های تهویه مطبوع، اخیرا بر افزایش راندمان انرژی و همچنین بهبود کیفیت هوای داخل تاکید بیشتری می شود.

### ۱. ۲. پیامد مبردهای متداول

استفاده از مبردهایی با ترکیبات کلوروفلوروکربن (CFCs) و (HCFC) تا قبل از پروتوکل مونترال که در سال ۱۹۸۷ تنظیم شد در تجارت سیستم های تهویه مطبوع و تبرید رایج بود. مقبولیت فلوروکربن ها که در سیستم های تهویه مطبوع و یخچال ها استفاده می شوند به دلیل سه خصوصیت مهمی است که ارائه می دهند، که عبارتند از : سازگاری خوب با مواد به کار رفته در اجزاء سیستم، قابلیت اشتعال صفر و سمیت کم.

در اکتبر سال ۲۰۰۰، یک آئین نامه اروپایی جدید در مورد ذرات مخرب لایه اُزن، آئین نامه ۲۰۳۷/۲۰۰۰، به کار گرفته شد. این آیین نامه تمام مراحل کنترل و جدول زمانی حذف همه ذرات مخرب لایه اُزن را به خصوص CFCs و HCFCs در برمیگیرد (جدول ۱). در نتیجه، این آئین نامه نفوذ مبردهای جایگزین و همینطور تکنولوژی های تبرید جایگزین را تسریع می بخشد. گرچه انواع مختلفی از مبردهای جدید در بازار که به منظور حذف ترکیبات CFCs و HCFCs توسعه یافته اند در دسترس هستند، فقط ۵ گزینه برای مبردهای مورد استفاده در سیکل های تراکم بخار باقی می ماند. این مبردها عبارتند از:

هیدروفلوروکربن ها (HCFCs)، هیدروکربن ها و مخلوط آنها (HC-290,HC600,HC-600a,HFCs ,etc)

آمونیاک (R-717)، **دی اکسید کربن** ($CO_2$,R-744) و **آب** (R-718)

**جدول ۱-۱: برنامه زمان بندی حذف مواد مخرب لایه اُزن در اتحادیه اروپا**

| Date | Remarks |
|---|---|
| 1/1/2001 | ▪ CFCs banned for servicing and maintaining existing system<br>▪ Recovered CFCs must be destroyed<br>▪ HCFCs banned in new systems above 100 kW cooling capacity |
| 1/7/2002 | ▪ HCFCs banned in new systems below 100 kW cooling capacity<br>▪ 15% cut in supply of new HCFCs |
| 1/1/2003 | ▪ 55% cut in supply of new HCFCs |
| 1/1/2004 | ▪ HCFCs banned in new reversible and heat pump systems<br>▪ 70% cut in supply of new HCFCs |
| 1/1/2008 | ▪ Review the alternatives for HCFCs (Ban on HCFCs for servicing and maintaining existing systems might be brought forward)<br>▪ 75% cut in supply of new HCFCs |
| 1/1/2010 | ▪ Virgin HCFCs banned for maintaining and servicing existing systems<br>▪ Total ban on supply of new HCFCs |
| 1/1/2015 | ▪ All HCFCs banned for maintaining and servicing existing systems |

اگرچه، هیچ یک از این مبردها کامل نیستند. به عنوان مثال، ترکیبات HFC به طور نسبی پتانسیل بالایی در گرمایش جهانی دارند و آمونیاک از بقیه سمی تر است. به علاوه، هردوی آمونیاک و هیدروکربن ها قابل

اشتعال هستند. قوانین موجود در مورد ذرات مخرب لایه اُزن فشار روز افزونی را بر مصرف کننده ها برای استفاده از مایعات و تکنولوژی های جایگزین وارد آورده است. این مسئله باعث شده است که ترکیبات HFC برای کاربردهای سرمایشی بسیار مورد توجه قرار گیرند. خصوصیاتی که این ترکیبات را به عنوان جایگزین مورد علاقه و مقبول می سازند قابلیت اشتعال و سمیت صفر آن‌ها است. ضمنا، آن ها همچنین تاثیری بر لایه اُزن ندارند. عیب این ترکیبات این است که اثر بسیار زیادی بر مسئله گرمایش جهانی دارند، که به طور معمول اثر آن ها حدود ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ برابر دی اکسید کربن است که خود یک گاز گلخانه ای می باشد .

### ۱. ۳. اهداف پایان نامه

به منظور دست یابی به یک سیستم تهویه مطبوع که بتواند با انرژی رایگان مانند حرارت اتلافی یا انرژی خورشیدکار کند، سیستم سرمایش جذب سطحی می تواند یک جایگزین خوب باشد.

بر اساس نوشتار پیشین، تحقیقات گسترده ای بر روی تبرید جذب سطحی انجام شده است، اما تحقیق در مورد به‌کارگیری این تکنولوژی برای تهویه مطبوع خودروها بسیار نادر می باشد. هدف از مطاله حاضر به‌کار گیری حرارت اتلافی از اگزوز یک خودروی دیزل سنگین برای تامین توان مورد نیاز یک سیستم سرمایش جذب سطحی می باشد. به این منظور مدلی از یک موتور دیزل ۳۵۰ کیلوواتی در محیط نرم افزار GT-POWER ایجاد شد و حرارت دردسترس از اگزوز در دور موتورها و گشتاورهای مختلف مشخص شد تا امکان استفاده از این انرژی برای راه اندازی سیستم تهویه مطبوع یک خودرو مورد ارزیابی قرار گیرد.

در این راستا اهداف زیر در این پایان نامه مورد توجه قرار گرفته اند :

۱- ارائه مطالعه اصولی بر تکنولوژی سرمایش جذب سطحی و امکان سنجی به‌کار گیری آن در تهویه مطبوع خودروی دیزل.

۲- مطالعه ای جامع به منظور انتخاب زوج کاری مناسب از میان جاذب و مبردهای مختلف.

۳- ارائه مدلی یکپارچه از سیستم تبرید جذب سطحی.

۴- ایجاد مدلی از یک موتور دیزل سنگین در محیط نرم افزار GT-POWER به منظور تعیین میزان انرژی خروجی از اگزوز در سرعت‌ها و گشتاورهای مختلف موتور.

۵- بررسی وزن و ابعاد سیستم مورد نظر به منظور ارزیابی استفاده از این تکنولوژی در کاربردهای سیار.

۶- مکان یابی برای نصب تجهیزات سیستم تبرید جذبی در اتوبوس‌ها و تریلرها.