٩٩١٩٣

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

تعیین مشخصات کربن فعال برای جذب گاز متان در سیستم ANG

محمد رضا اوقانیان

اساتید راهنما:
دکتر رامین کریم زاده
دکتر سید ابوالفضل دستغیب

۴۳۸۴ /۸۱/۲۲

اسفند ماه ۱۳۸۶

۹۹۱۹۳

۴۲۷۶

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای **محمدرضا اوقانیان** پایان نامه ۹ واحدی خود را **با عنوان تعیین خواص مواد جاذب کربن فعال شده برای جذب گاز متان درسیستم** ANG در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۲۶ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی – مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر رامین کریم زاده	استادیار	
استاد ناظر	دکتر حسن پهلوانزاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علیمراد رشیدی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر حسن پهلوانزاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سیدابوالفضل دستغیب		

۱۳۸۷/۸/۲۲

این نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما

۹۹۱۹۳

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 فعالیتهای علمی- پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی 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 مهندسی شیمی است که در سال ۱۳۸۶ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم / جناب آقای دکتر حسین کریم زاده - سید ابوالفضل دستمشاور سرکار خانم / جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم / جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند 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، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگا می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالعه و وصول کند; به علاوه به دانشگاه حق می‌دهند به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل و جه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروشو تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمدرضا اوقانیان دانشجوی رشته مهندسی شیمی مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی محمدرضا اوقانیان

تاریخ و امضاء: ۸۷/۲/۱۱

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

تقدیم به پدر و مادر گرامی

و

همسر عزیزم

تشکر و قدردانی

- از زحمات آقای دکتر رامین کریم زاده که علاوه بر مسئولیت استاد راهنما، در تأمین منابع مالی برای ساخت دستگاه آزمایشگاهی، تلاش های بسیاری انجام دادند صمیمانه تشکر می نمایم.
- از آقای دکتر سید ابوالفضل دستغیب که مسئولیت استاد راهنمای دوم در این پروژه را به عهده گرفتند تشکر می کنم. بی شک بدون راهنماییهای کارشناسانه ایشان چه در زمینه ساخت دستگاه و چه در تأمین منابع علمی مربوط به این موضوع، انجام این پروژه با مشکل مواجه می شد.
- از انتقادات و پیشنهادات آقای دکتر حسن پهلوان زاده و آقای دکتر علیمراد رشیدی که مسئولیت استادان ممتحن این پروژه را قبول کردند تشکر و قدردانی می کنم.

چکیده

یکی از روش های مقابله با آلودگی محیط زیست، به ویژه در مکان های شهری و شلوغ، استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت وسایل نقلیه، به جای سایر سوخت ها مانند بنزین است. گاز طبیعی با وجود دارا بودن خواص پاک سوزی و عدد اکتان بالا، چگالی انرژی اندکی نسبت به بنزین دارد. به منظور افزایش چگالی انرژی گاز طبیعی، فناوری های گاز طبیعی مایع، LNG، و گاز طبیعی فشرده، CNG، مورد استفاده قرار گرفته است. مشکلات ناشی از مایع سازی گاز طبیعی و فشرده سازی تا فشار MPa ۲۰، پژوهشگران را به سمت یافتن روش های جدیدی برای افزایش چگالی انرژی گاز طبیعی سوق داد. یکی از این روش ها، فناوری ANG یا استفاده از مواد جاذب کربن فعال شده برای جذب گاز طبیعی در دمای محیط تا فشار حد اکثر MPa ۴ است. تعیین مشخصات مواد کربن فعال مناسب برای این منظور، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این کار، یک دستگاه آزمایشگاهی برای اندازه گیری تعادل جذب بر مبنای حجمی، طراحی و ساخته شده است. با استفاده از این دستگاه، مشخصات نمونه های جاذب به کمک جذب گاز دی اکسید کربن در K ۲۷۳ تعیین شده است. توزیع اندازه حفرات نمونه ها به دو روش DA و HK محاسبه و با هم مقایسه شده است. سپس مقادیر جذب متان بر روی نمونه ها اندازه گیری شده و در نهایت یک رابطه خطی بین $V_{DR,CO2}$ و مقدار uptake متان به دست آمده است.

کلمات کلیدی: ANG، کربن فعال شده، گاز طبیعی

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۱-۱- وسایل نقلیه گاز سوز ۲

۱-۲- تاریخچه خودروهای گازسوز ۴

۱-۳- مسائل انرژی وسایل نقلیه گازسوز ۴

۱-۴- فناوری گاز طبیعی جذب شده ۵

۲- مروری بر مطالعات انجام شده ۸

۲-۱- گاز طبیعی، وسایل نقلیه گاز سوز ۹

۲-۲- روش های ذخیره سازی گاز طبیعی ۱۰

۲-۲-۱- گاز طبیعی مایع (LNG) ۱۰

۲-۲-۲- گاز طبیعی فشرده (CNG) ۱۱

۲-۲-۳- گاز طبیعی جذب شده (ANG) ۱۱

۲-۲-۴- سایر روش های ذخیره سازی گاز طبیعی ۱۳

۲-۳- مقدار بارگیری (uptake) و مقدار تحویل (delivery) گاز متان ۱۵

۲-۴- جذب متان بر روی کربن فعال در سیستم ANG ۱۶

۲-۵- پارامترهای موثر در مقدار ظرفیت جذب متان ۱۶

۲-۶- روش های تعیین توزیع اندازه حفرات (MPSD) ۱۷

۲-۶-۱- روش Horvath-Kawazoe (HK) ۱۹

۲-۶-۲- روش Dubinin-Astakhove (DA) ۲۰

۲-۶-۳- روش Density Functional Theory (DFT) ۲۱

۲-۷- انرژی پتانسیل اتم گاز درون حفرات ۲۲

۲-۸- روش های اندازه گیری تعادل جذب ۲۶

۳- کربن فعال، جذب سطحی ۲۸

۳-۱- کربن فعال ۲۹

۳-۲- تاریخچه استفاده از کربن فعال ۲۹

۳-۳- تولید کربن فعال ۳۰

۳-۴- مواد اولیه برای تولید کربن فعال ۳۱

۳-۵- شکل حفرات و تقسیم بندی اندازه آنها ۳۲

۳-۶- جذب سطحی ۳۳

۳-۷- تعادل جذب و نمودارهای ایزوترم ۳۴
۳-۸- جذب فیزیکی گازها توسط جامدات میکروپور (ایزوترم نوع I) ۳۷
۳-۹- جذب فیزیکی گازها توسط جامدات غیر متخلخل (ایزوترم نوع II) ۳۸
۳-۱۰- ایزوترم نوع III ۴۱
۳-۱۱- جذب فیزیکی گازها توسط جامدات مزوپور (ایزوترم نوع IV) ۴۱
۳-۱۲- ایزوترم نوع V ۴۳
۴- روش برازش معادلات تئوری بر داده های تجربی ۴۴
۴-۱- تعیین سطح ویژه جاذب به روش BET ۴۵
۴-۲- تعیین حجم میکروپور به روش DR ۴۶
۴-۳- انطباق معادله DA و تعیین توزیع اندازه حفرات ۴۷
۴-۴- انطباق معادله لانگ موير بر داده های جذب ۴۸
۵- آزمایشات ۵۰
۵-۱- دستگاه اندازه گیری تعادل جذب به روش حجمی ۵۱
۵-۲- کالیبراسیون دستگاه ۵۵
۵-۳- تست مخزن خالی از نمونه ۵۶
۵-۴- آماده سازی و رطوبت زدائی نمونه ها ۵۷
۵-۵- جذب گاز CO_2 در ۲۷۳ K ۵۸
۵-۶- جذب گاز متان در ۲۹۸ K ۶۴
۶- نتایج و بحث ۶۹
۶-۱-انطباق معادله لانگ موير بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K ۷۰
۶-۲- محاسبه حجم میکروپور با استفاده از معادله DR ۷۲
۶-۳- محاسبه توزیع اندازه حفرات با روش DA ۷۴
۶-۴- محاسبه توزیع اندازه حفرات به روش HK ۷۵
۶-۵- مقایسه توزیع های به دست آمده با روش های DA و HK ۸۰
۶-۶- محاسبه سطح ویژه با استفاده از معادله BET ۸۲
۶-۷- تحلیل نتایج جذب گاز CO_2 در ۲۷۳ K ۸۴
۶-۷-۱- حجم میکروپور ۸۴
۶-۷-۲- سطح BET ۸۵
۶-۸- انطباق معادله لانگ موير بر داده های جذب CH_4 در ۲۹۸ K ۸۶
۶-۹- رابطه بین مقدار جذب متان و حجم میکروپور محاسبه شده با گاز CO_2 ..... ۸۸

۷- نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۲
منابع و مراجع ۹۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱: پارامترهای معادله لنارد جونز برای کربن دی اکسید، متان و کربن ۲۶
جدول ۳-۱: تقسیم بندی حفرات بر حسب اندازه آنها ۳۲
جدول ۵-۱: قسمت های مختلف دستگاه اندازه گیری تعادل جذب به روش حجمی ۵۲
جدول ۵-۲: نتایج کالیبراسیون دستگاه ۵۵
جدول ۵-۳: مشخصات نمونه های کربن فعال استفاده شده (با استفاده از جذب گاز نیتروژن در دمای ۷۷ K) ۵۷
جدول ۵-۴: نتایج آزمایش رطوبت زدایی نمونه های کربن فعال ۵۸
جدول ۵-۵: داده های مقدار جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K در فشارهای نسبی مختلف برای نمونه Merck ۶۰
جدول ۵-۶: داده های مقدار جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K در فشارهای نسبی مختلف برای نمونه HD 4000 ..... ۶۱
جدول ۵-۷: داده های مقدار جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K در فشارهای نسبی مختلف برای نمونه Nuchar ۶۲
جدول ۵-۸: داده های مقدار جذب گاز CH_4 در دمای ۲۹۸ K در فشارهای نسبی مختلف برای نمونه Merck ۶۵
جدول ۵-۹: داده های مقدار جذب گاز CH_4 در دمای ۲۹۸ K در فشارهای نسبی مختلف برای نمونه HD 4000 ..... ۶۶
جدول ۵-۱۰: داده های مقدار جذب گاز CH_4 در دمای ۲۹۸ K در فشارهای نسبی مختلف برای نمونه Nuchar ۶۷
جدول ۶-۱: پارامترهای معادله لانگ موير برای جذب گاز CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه ها ۷۲
جدول ۶-۲: پارامترهای معادله DR بر طبق داده های جذب CO_2 و خطای نسبی ۷۴
جدول ۶-۳: پارامترهای معادله DA بر طبق داده های جذب CO_2 ..... ۷۴
جدول ۶-۴: مقدار عددی ثابت های معادله HK و واحد آنها ۷۶
جدول ۶-۵: مقادیر فشار نسبی در حفرات با اندازه های مختلف با استفاده از روش HK ۷۷
جدول ۶-۶: مقدار جذب گاز کربن دی اکسید در فشارهای نسبی محاسبه شده با روش HK ۷۸
جدول ۶-۷: نتایج مشتق گیری از مقادیر جذب در حفره های با اندازه مختلف ۷۸
جدول ۶-۸: مقادیر سطح BET، درصد خطای نسبی و ثابت C برای نمونه های کربن فعال ۸۴
جدول ۶-۹: حجم میکروپور محاسبه شده با استفاده از جذب CO_2 در ۲۷۳ K و همچنین جذب N_2 در ۷۷ K ۸۵
جدول ۶-۱۰: مقادیر سطح BET با استفاده از جذب CO_2 در ۲۷۳ K و جذب N_2 در ۷۷ K ۸۶

جدول ۶-۱۱: پارامترهای معادله لانگ موير برای جذب گاز CH_4 در ۲۹۸ K بر روی نمونه ها..... ۸۸
جدول ۶-۱۲: مشخصات نمونه های کربن فعال در کنار مقدار جذب گاز متان..... ۸۹

فهرست شکل ها و نمودار ها

شکل ۱-۱: نموداری از یک سیستم ذخیره سازی ANG ۶

شکل ۲-۱: درصد مقدار چگالی انرژی حجمی روش های مختلف ذخیره گاز طبیعی در مقایسه با بنزین ۱۲

شکل ۲-۲: مقایسه ظرفیت جذب متان در یک مخزن خالی و یک مخزن پر از مواد جاذب ۱۳

شکل ۲-۳: ایزوترم متان بر روی نمونه نانو لوله کربنی چند جداره در حالت مرطوب و خشک ۱۵

شکل۲-۴: نمودار معادله انرژی ۶-۱۲ لنارد جونز و پارامترهای مربوط به آن ۲۳

شکل ۲-۵: عکس العمل یک اتم با سطح یک شبکه مولکولی ۲۴

شکل ۲-۶: عکس العمل یک اتم با یک قطعه از شبکه جامد ۲۵

شکل ۲-۷: حفره ای از کربن فعال با دیواره های گرافیتی که بر روی هم انباشته شده اند ۲۵

شکل ۳-۱: فرایند کلی تولید کربن فعال از هر نوع ماده اولیه ۳۱

شکل ۳-۲: انواع ایزوترم های جذب بر طبق طبقه بندی BET ۳۶

شکل ۳-۳: همپوشانی میدان انرژی دیواره های حفرات ۳۷

شکل ۳-۴: شکل ایزوترم نوع IV در مقایسه با ایزوترم نوع II (خط چین) ۴۲

شکل ۵-۱: نقشه دستگاه اندازه گیری تعادل جذب به روش حجمی ۵۳

شکل ۵-۲: نمایی از دستگاه ساخته شده برای اندازه گیری تعادل جذب به روش حجمی ۵۴

شکل ۵-۳: نمودار جذب گاز CO_2 توسط بدنه مخزن جذب شیشه ای، بدون کربن فعال ۵۶

شکل ۵-۴: نمودار ایزوترم جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K برای نمونه Merck ۶۰

شکل ۵-۵: نمودار ایزوترم جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K برای نمونه HD 4000 ..... ۶۱

شکل ۵-۶: نمودار ایزوترم جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K برای نمونه Nuchar ۶۲

شکل ۵-۷: مقایسه نمودارهای ایزوترم جذب گاز CO_2 در دمای ۲۷۳ K برای هر سه نمونه ۶۳

شکل ۵-۸: نمودار ایزوترم جذب گاز متان در دمای ۲۹۸ K برای نمونه Merck ۶۵

شکل ۵-۹: نمودار ایزوترم جذب گاز متان در دمای ۲۹۸ K برای نمونه HD 4000 ..... ۶۶

شکل ۵-۱۰: نمودار ایزوترم جذب گاز متان در دمای ۲۹۸ K برای نمونه Nuchar ۶۷

شکل ۵-۱۱: مقایسه نمودارهای ایزوترم جذب گاز متان در دمای ۲۹۸ K برای هر سه نمونه ۶۸

شکل ۶-۱: انطباق معادله لانگ موير بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه Merck ۷۰

شکل ۶-۲: انطباق معادله لانگ موير بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه HD 4000 ..... ۷۱

شکل ۶-۳: انطباق معادله لانگ موير بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه Nuchar ۷۱

شکل ۶-۴: انطباق معادله خطی DR بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه Merck ۷۲

شکل ۶-۵: انطباق معادله خطی DR بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه HD 4000 ..... ۷۳

شکل ۶-۶: انطباق معادله خطی DR بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه Nuchar ۷۳

شکل ۶-۷: نمودار توزیع اندازه حفرات نمونه ها به روش DA..... ۷۵
شکل ۶-۸: توزیع اندازه حفرات به روش HK با استفاده از داده های تجربی جذب گاز کربن دی اکسید ۷۹
شکل ۶-۹: توزیع اندازه حفرات به روش HK با استفاده از مدل DA به عنوان ایزوترم جذب کربن دی اکسید..... ۸۰
شکل ۶-۱۰: مقایسه توزیع اندازه حفرات نمونه Merck با روش های DA و HK..... ۸۱
شکل ۶-۱۱: مقایسه توزیع اندازه حفرات نمونه HD 4000 با روش های DA و HK..... ۸۱
شکل ۶-۱۲: مقایسه توزیع اندازه حفرات نمونه Nuchar با روش های DA و HK..... ۸۲
شکل ۶-۱۳: انطباق معادله خطی BET بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه Merck.. ۸۳
شکل ۶-۱۴: انطباق معادله خطی DR بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه HD4000 ۸۳
شکل ۶-۱۵: انطباق معادله خطی DR بر داده های جذب CO_2 در ۲۷۳ K برای نمونه Nuchar.. ۸۴
شکل ۶-۱۶: انطباق معادله لانگ مویر بر داده های جذب CH_4 در ۲۹۸ K برای نمونه Merck..... ۸۷
شکل ۶-۱۷: انطباق معادله لانگ مویر بر داده های جذب CH_4 در ۲۹۸ K برای نمونه HD4000 ۸۷
شکل ۶-۱۸: انطباق معادله لانگ مویر بر داده های جذب CH_4 در ۲۹۸ K برای نمونه Nuchar... ۸۸
شکل ۶-۱۹: مقادیر جذب متان توسط نمونه ها در فشارهای مختلف در مقابل $V_{DR,CO2}$..... ۸۹
شکل ۶-۲۰: نمودار مقدار uptake متان تا فشار ۳,۱ MPa در مقابل $V_{DR,CO2}$ ۹۰
شکل ۶-۲۱: مقایسه مقادیر uptake متان توسط نمونه ها تا فشار ۳,۱ MPa با مقادیر مشابه برای نمونه های CF، CFS 36، CFC 73 و CFC 47 از مرجع {۱۴} ۹۱

فهرست علائم و نشانه ها

P: فشار

P_0: فشار اشباع

w و d: پهنای حفره

$N(P/P_0)$: ایزوترم کلی

$N(P/P_0, w)$: ایزوترم تک حفره ای

$f(w)$: تابع توزیع اندازه حفرات

φ: تابع انرژی پتانسیل بین مولکول ها

ε: عمق چاه انرژی

σ: شعاع برخورد

r: فاصله بین هسته های دو اتم، شعاع حفره

z: فاصله عمودی بین اتم با سطح شبکه مولکولی

ρ_s: چگالی تعداد مراکز مولکول ها در واحد حجم

Δ: فاصله بین لایه های گرافیتی دیواره کربن فعال

m: جرم جاذب، جرم الکترون

n: مقدار جذب گاز، توان معادله DA

T: دما

n_m: ظرفیت جذب تک لایه ای

a_m: سطح اشغال شده توسط یک مولکول ماده جذب شده

L و K : عدد آووگادرو

b: ضریب affinity معادله لانگ مویر

C: ثابت معادله BET

c: سرعت نور در خلأ

γ: کشش سطحی

E: انرژی جذب

R: ثابت جهانی گازها

V_0: حد اکثر حجم ماده جذب شده در معادلات DA و DR

V_L: حجم مولی مایع

فصل اول

مقدمه

این فصل شامل مرور مختصری بر خودروهای گازسوز، تاریخچه و مسایل انرژی آنها می باشد. در فصل دوم، مقالات و کارهای انجام شده قبلی مورد بررسی قرار گرفته اند. برای آشنایی بیشتر با کربن فعال و همچنین فرایند جذب سطحی، فصل سوم به این موضوعات اختصاص یافته است. در فصل چهارم نحوه استفاده از معادلات نظری برای کار با داده های تجربی، تشریح شده است. آزمایشات انجام گرفته و نتایج آنها و تحلیل نتایج به ترتیب در فصل های پنجم و ششم ذکر شده اند.

۱-۱- وسایل نقلیه گازسوز[1]

با توجه به موضوع کیفیت و پاکی هوا که امروزه اهمیت زیادی پیدا کرده است، استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت وسایل نقلیه، یکی از بهترین جایگزین ها برای بنزین و دیزل است. زیرا گاز طبیعی دارای خصوصیت ذاتی پاک سوزی می باشد. خودروهای گاز سوز می توانند انتشار آلاینده ها در هوا را به ویژه در مکان های شهری و شلوغ که کیفیت هوا به یک نگرانی برای سلامت عمومی تبدیل شده است، کاهش دهند. در وسایل نقلیه گاز سوز میزان انتشار آلاینده های اکسید نیتروژن و گوگرد که عامل ایجاد باران های اسیدی هستند، کمتر است. همچنین به طور کلی این نتیجه حاصل شده است که پتانسیل گرم سازی کلی در اثر نشر گاز دی اکسید کربن، برای خودروهایی که با سوخت هیدروکربنی مایع کار می کنند کمتر است.

در کشورهای مختلف در سالهای اخیر قوانینی برای اصلاح اساسی کیفیت هوای مناطق شهری با کاهش منابع آلاینده هوا و ترویج استفاده از سوخت های پاک تر وضع شده است. این قوانین جدید نیازمند حرکت های سریع تجاری و حکومتی برای خرید تعداد زیادی وسیله نقلیه ای است که با سوخت های دیگری مانند گاز طبیعی، پروپان، متانول و یا اتانول کار کنند. در بین سوخت های مایع و گازی پیشنهاد شده، گاز طبیعی به دلیل قیمت کمتر و میزان انتشار آلودگی کمتر در مقایسه با سایر موارد ارجحیت دارد. حتی هنگامی که گاز طبیعی با انرژی برق مقایسه گردد میزان انتشار

[1] - Natural Gas Vehicles (NGVs)

آلودگی در چرخه کامل تهیه و مصرف سوخت اعم از تولید، تبدیل و حمل و نقل، برای وسایل نقلیه گاز سوز کمتر است. خودروهای گاز سوز مزایای دیگری هم دارند. هنگامی که منابع انبوه گاز طبیعی در کشور وجود دارد، استفاده از این خودروها کاهش وابستگی به نفت و سایر سوخت هایی که از کشورهای دیگر وارد می شود را به دنبال خواهد داشت.

مزایای زیست محیطی و تأمین انرژی وسایل نقلیه گازسوز بسیار مهم هستند. ولی این وسایل نقلیه باید بتوانند از نظر اقتصادی با سایر وسایل نقلیه رقابت کنند تا بتوانند در بازار جایی پیدا کنند. یکی از مزایای صنعت گاز طبیعی قابلیت گرفتن انشعاب از خطوط لوله گازی است که برای مصارف دیگر آماده شده اند. بنابراین جایگاه سوخت گیری می تواند تقریباً در هر مکانی که سرویس خدمات گاز طبیعی وجود داشته باشد دایر گردد. با این حال این خودروها در مقایسه با خودروهای بنزینی و دیزلی، عیب بزرگی دارند و آن هزینه های زیاد وسیله نقلیه است. وسیله نقلیه بنزینی و دیزلی از تجربه بهینه سازی و حجم بالای تولید در چندین دهه بهره می برند. در حالی که وسایل نقلیه گاز سوز کنونی همان وسایل نقلیه بنزینی هستند که برای شرایط کار با گاز طبیعی تغییراتی در آنها صورت گرفته است. در نتیجه شکل هندسی و محل جایگزینی سیستم ذخیره سوخت برای گاز طبیعی بهینه نشده است.

برای استفاده از گاز طبیعی مشکل بزرگی وجود دارد. چون گاز طبیعی در دما و فشار معمولی در مقایسه با سوخت های جامد و مایع دانسیته انرژی کمتری دارد، ذخیره سازی مقدار کافی از آن در خودرو مشکل است. اما علیرغم وجود این مشکل، وسایل نقلیه گاز سوز به دلیل هزینه کمتر سوخت، توانایی رقابت با سایر وسایل نقلیه معمول را دارند. در چند سال اخیر با توجه به مزایایی که برای خودروهای گازسوز مشاهده شد، توسعه سیستم های ذخیره و سوخت رسانی ارزان با گاز طبیعی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است {۱و ۲}.

۱-۲- تاریخچه خودروهای گازسوز

تاریخچه خودروهای گاز سوز به سال ۱۹۳۰ باز می گردد که ایتالیا برنامه ای برای توسعه این خودروها طرح ریزی کرد. امروزه در ایتالیا بیش از ۲۹۰۰۰۰ خودرو گازسوز وجود دارد. اساسی ترین دلیل توسعه این خودروها در این کشور، قیمت اندک گاز طبیعی است که کمتر از یک سوم قیمت بنزین می باشد. تا سال ۱۹۸۴ کشور آرژانتین با داشتن حدود ۳۴۰۰۰۰ خودروی گازسوز، بیشترین تعداد این نوع خودرو در جهان را داشت. کشورهای اتحادیه جماهیر شوروی سابق بیش از ۲۰۰۰۰۰ خودروی گازسوز دارند و سایر موارد قابل ذکر در زلاندنو، کانادا و ایالات متحده است که هر کدام در حدود چندین ده هزار خودروی گازسوز دارند.

هنگامی که استفاده از وسایل نقلیه گاز سوز آغاز شد تعداد مکانهای سوخت گیری برای آنها بسیار کم بود. برای رفع این محدودیت، اغلب این خودروها به صورت دوگانه سوز طراحی شدند. در ابتدا خودرو با سوخت گاز طبیعی کار کرده و هنگام اتمام گاز، سوخت خود را به حالت بنزینی تغییر می دهد. با این روش راننده خودروی گاز سوز هنگام اتمام سوخت گازی خودرو، نگران وجود جایگاه سوختگیری گاز نیست. سیستم خودروهای دوگانه سوز معایبی هم دارد. وجود دو سیستم سوخت رسانی در خودرو باعث کاهش حجم صندوق بار خودرو می شود. همچنین چون موتور خودروها برای استفاده از بنزین بهینه شده است، استفاده از گاز باعث کاهش عملکرد خودرو می شود {۱}.

۱-۳- مسائل انرژی وسایل نقلیه گازسوز

علیرغم این که گاز طبیعی-که اکثر آن متان است- در مقایسه با سایر سوخت ها دارای نسبت هیدروژن به کربن بیشتر و در نتیجه مقدار انرژی در واحد حجم بیشتری است، نمی تواند با چگالی ای مانند چگالی سوخت های مایع ذخیره شود. گاز طبیعی حتی هنگامی که به دمای نقطه جوش