بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده شیمی

گروه شیمی معدنی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی شیمی گرایش معدنی

عنوان:

جذب CO_2 بوسیله مزوپور MCM-41 حاوی فلز روی (Zn) به عنوان مدلی از آنزیم کربونیک آنهیدراز

استاد راهنما

دکتر مهتاب پیروزمند

استاد مشاور

دکتر سید ابوالفضل حسینی یزدی

پژوهشگر

بهناز نیکزاد کوجنق

شهریور ماه ۱۳۹۳

تقدیم به سه وجود مقدس:

پدر عزیزم

مادر مهربانم

و

استاد بزرگوارم

تقدیر و تشکر

شکر شایان نثار ایزد منان، که توفیق را رفیق راهم ساخت تا با یاریش این پایان‌نامه را به پایان برسانم.

او که بزرگترین امید و بهترین یاور من در لحظه لحظه‌های زندگیست ...

از استاد فرهیخته و بزرگوارم سرکار خانم دکتر مهتاب پیروزمند به پاس تلاش‌های بی‌وقفه و راهنماییهای بی‌دریغشان در راستای انجام این پروژه نهایت سپاسگزاری را دارم.

از جناب آقای دکتر حسینی یزدی که زحمت مشاوره و راهنمایی این کار پژوهشی را بر عهده داشتند تشکر می‌کنم.

از استاد فرزانه و دلسوزم سرکار خانم دکتر خاتمیان به خاطر قبول زحمت داوری پایان‌نامه سپاسگزارم.

از مدیریت محترم گروه جناب آقای دکتر شعبانی و سایر اساتید گروه، جناب آقای دکتر خاندار و دکتر عالمی که از محضر پرفیض تدریسشان در طول این دوره تحصیلی بهره‌ها برده‌ام کمال سپاسگزاری را دارم.

از هم‌آزمایشگاهی و دوستان عزیزم به ویژه خانم‌ها: شیخی‌زاده، محمدی و آقایان: رسولزاده، رسولی، اسدی و محمودی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری نمودند متشکرم.

با سپاس فراوان از پدر و مادر مهربانم و برادران و خواهران عزیزم که در تمام مراحل زندگی پشتیبان و مشوقم بودند و چراغ وجودشان سختی‌های راه را برایم آسان نمود.

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

نام خانوادگی: نیکزاد کوجنق نام: بهناز

عنوان پایان نامه: جذب CO_2 بوسیله مزوپور MCM-41 حاوی فلز روی (Zn) به عنوان مدلی از آنزیم کربونیک آنهیدراز

استاد راهنما: دکتر مهتاب پیروزمند استاد مشاور: دکتر سید ابوالفضل حسینی یزدی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: شیمی گرایش: شیمی معدنی

دانشگاه: تبریز دانشکده: شیمی تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ماه ۱۳۹۳ تعداد صفحه:۷۹

کلید واژه‌ها: مزوپور MCM-41، Zn-MCM-41، جذب CO_2، سورفکتانت

چکیده:

در کار پژوهشی حاضر مزوپورهای MCM-41 به روش غیرهیدروترمال سنتز شد و تمپلیت آلی موجود در حفرات آن به دو روش مختلف، استخراج با حلال و کلسینه کردن حذف گردید. بارگذاری فلز در حفرات و سطح مزوپور MCM-41 به سه روش مستقیم، تبادل یونی و تلقیح مرطوب انجام گرفت. خواص مزوپورهای سنتز شده به وسیله‌ی پراش اشعه ایکس از پودر XRD، FTIR، EDX و SEM مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج XRD نشان داد که با بارگذاری روی در حفرات MCM-41، ساختار مزوپور تخریب نمی‌شود. با استفاده از نتایج EDX به این نتیجه رسیدیم که بیشترین بارگذاری روی، در روش تلقیح مرطوب صورت می‌گیرد. بازیسیته کاتالیزگرهای تهیه شده با استفاده از شناساگرهای هامت و تیتراسیون با بنزوئیک اسید اندازه‌گیری شد. تاثیر روش سنتز و تمپلیت آلی بر روی بازیسیته و نیز عملکرد هر یک از کاتالیزورها، در واکنش جذب CO_2 و تبدیل آن به بیکربنات بررسی شد. نتایج نشان داد که کاتالیزورهای حاوی تمپلیت، نسبت به کاتالیزورهای بدون تمپلیت، CO_2 بیشتری را جذب می‌کنند. همچنین با استفاده از نتایج حاصل

از EDX کاتالیزورهای بازیافت شده به این نتیجه رسیدیم، که کاتالیزورهای سنتز شده به روش مستقیم پایدارترند و می‌توانند در واکنش‌های زیادی به کار برده شوند.

فصل اول: بررسی منابع

عنوان صفحه

۱- مقدمه ۲

۱-۱- دی‌اکسیدکربن ۲

۱-۲- روش‌های مختلف جذب CO_2 ..... ۷

۱-۲-۱- جذب توسط حلال ۸

۱-۲-۱-۱- جذب توسط ذرات آمینی قرار گرفته در حلال ۸

۱-۲-۱-۲- مایعات یونی ۸

۱-۲-۲- جداسازی غشایی ۱۰

۱-۲-۳- جذب توسط جاذب‌های جامد ۱۰

۱-۲-۳-۱- جذب CO_2 توسط مزوپورها ۱۰

۱-۲-۳-۲- جاذب‌های جامد بر پایه آمین ۱۳

۱-۲-۳-۳- جاذب‌های جامد با پایه فلز قلیایی خاکی ۱۶

۱-۳- جذب CO_2 به وسیله‌ی آنزیم کربونیک آنهیدراز ۱۷

۱-۳-۱- آنزیم کربونیک آنهیدراز ۱۷

۱-۳-۲- واکنش جذب CO_2 به وسیله‌ی آنزیم کربونیک آنهیدراز ۱۸

۱-۳-۳- معایب استفاده از کربونیک آنهیدراز به صورت آزاد ۲۱

۱-۳-۴- تثبیت آنزیم کربونیک آنهیدراز روی بسترهای جامد ۲۱

۱-۴- جذب CO_2 به وسیله‌ی گروه‌های دارای فلز روی با تقلید زیستی از آنزیم کربونیک آنهیدراز.....۲۲

۱-۵- اصلاح معدنی مواد مزوپوری ۲۵

۱-۵-۱- وارد کردن فلز به روش مستقیم ۲۵

۱-۵-۲- روش پس از سنتز ۲۵

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد شیمیایی مورد استفاده ۲۸

۲-۲- دستگاه‌های مورد استفاده ۲۹

۲-۳- سنتز MCM-41 .....۳۰

۲-۴- سنتزMCM-41 حاوی روی به روش مستقیم Zn/MCM-41[DS] ۳۰

۲-۵- سنتز MCM-41 حاوی روی به روش تبادل یونی Zn/MCM-41[TIE] ۳۱

۲-۶- سنتز MCM-41 حاوی روی به روش تلقیح مرطوب Zn/MCM-41[WI] ۳۱

۲-۷- حذف تمپلیت آلی ۳۱

۲-۸- اندازه‌گیری میزان بازیسیته ۳۲

۲-۹- روش تولید CO_2 محلول و چگونگی استفاده از کاتالیزگرهای سنتز شده در سرعت بخشیدن به واکنش تبدیل CO_2 محلول به HCO_3^-.....۳۴

۲-۱۰- بررسی نقش کاتالیزگر در سرعت بخشیدن به واکنش تبدیل CO_2 به HCO_3^- ۳۶

۲-۱۱- تعیین pH بهینه برای تبدیل CO_2 به HCO_3^- ۳۶

۲-۱۲- بررسی تکرارپذیری کاتالیزگرهای سنتز شده ۳۷

فصل سوم: بحث و نتایج

۳- روش‌های سنتز و شناسایی مزوپورهای Zn/MCM-41 ..... ۳۹

۳-۱-۱- الگوهای پراش اشعه ایکس از پودر نمونه‌های MCM-41 حاوی روی (Zn)..... ۳۹

۳-۱-۲- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور Zn/MCM-41[DS] بدون تمپلیت (استخراج تمپلیت با حلال) ۳۹

۳-۱-۳- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور Zn/MCM-41[DS] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت با کلسینه کردن)..... ۴۱

۳-۱-۴- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور [CTA]Zn/MCM-41[TIE] ۴۲

۳-۱-۵- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور Zn/MCM-41[TIE] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت با حلال) ۴۳

۳-۱-۶- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور Zn/MCM-41[TIE] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت باکلسینه کردن) ۴۴

۳-۱-۷- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور Zn/MCM-41[WI] بدون تمپلیت (استخراج تمپلیت با حلال) ۴۵

۳-۱-۸- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مزوپور Zn/MCM-41[WI] بدون تمپلیت (استخراج تمپلیت با کلسینه کردن)..... ۴۶

۳-۲- بررسی طیف‌های FTIR مزوپورهای Zn/MCM-41 سنتز شده به روش‌های مختلف ۴۷

۳-۲-۱- بررسی طیف FTIR، کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] ۴۷

۳-۲-۲- بررسی طیف FTIR، کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE][CTA]..... ۵۰

۳-۲-۳- بررسی طیف FTIR، کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] ۵۲

۳-۳- تجزیه و تحلیل داده‌های EDX مربوط به کاتالیزگرهای Zn/MCM-41 ..... ۵۴

۳-۴- بررسی بازیسیته کاتالیزگرهای Zn/MCM-41 ..... ۵۹

۳-۴-۱- بررسی نتایج بازیسیته سه کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] ۵۹

۳-۴-۲- بررسی نتایج بازیسیته سه کاتالیزگرZn/MCM-41[TIE] ۶۰

۳-۴-۳- بررسی بازیسیته دو کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] ۶۰

۳-۵- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۶۱

۳-۵-۱- بررسی تصاویر SEM کاتالیزگر Zn/MCM-41(DS) [CTA] ۶۱

۳-۵-۲- بررسی تصاویر SEM کاتالیزگر Zn/MCM-41(DS) بدون تمپلیت (استخراج تمپلیت با کلسینه کردن) ۶۲

۳-۶- بررسی میزان جذب CO_2 به وسیله‌ی کاتالیزگرهای سنتز شده ۶۴

۳-۷- الگوی پراش پرتو ایکس و طیف FTIR کلسیم کربنات ($CaCO_3$) ۶۵

۳-۸- بررسی تکرارپذیری کاتالیزگرهای Zn/MCM-41 ..... ۶۷

نتیجه‌گیری ۷۱

پیشنهادات ۷۲

منابع ۷۴

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱- مهمترین منابع گازهای گلخانه‌ای ۳

شکل ۱-۲- مهمترین گازهای گلخانه‌ای موجود در طبیعت ۴

شکل ۱- ۳- میزان افزایش CO_2 از سال ۱۹۵۸ تا سال ۲۰۱۲ ..... ۴

شکل ۱-۴- سیستم هوازی موجودات زنده ۶

شکل ۱-۵- روش‌های مختلف جذب CO_2 و درصد جذب هر کدام از آن‌ها ۷

شکل ۱-۶- ساختار شماتیک a) MCM-41 و b) SBA-15 c) MCM-48 c) MCM-50 ..... ۱۲

شکل ۱-۷- واکنش‌های شیمیایی معمول جذب CO_2 به وسیله a) آمین‌های نوع اول و دوم و

b) آمین‌های نوع سوم ۱۴

شکل ۱-۸- (الف) مکانیسم عامل‌دار شدن MCM-41 با یک آمین نوع اول ۱۵

شکل ۱-۸- (ب) مکانیسم جذب CO_2 به وسیله مزوپورهای MCM-41 عامل‌دار شده با یک آمین نوع اول ۱۵

شکل ۱-۹- میزان جذب CO_2 توسط مزوپورهای MCM-41 و مزوپورهای عامل دار شده با مونو اتانول آمین و دی اتانول آمین ۱۶

شکل ۱-۱۰- آنزیم کربونیک آنهیدراز با سایت فعال Zn در سیستم زیستی ۱۸

شکل ۱-۱۱- مکانیسم تبدیل CO_2 به HCO_3^- به وسیله آنزیم کربونیک آنهیدراز ۱۹

شکل ۱-۱۲- میزان ته‌نشینی کلسیم کربنات را در حضور (a) و در عدم حضور (b) آنزیم کربونیک آنهیدراز ۱۹

شکل ۱-۱۳- مکانیسم تثبیت آنزیم کربونیک آنهیدراز روی SBA-15 عامل‌دار شده با گروه‌های آمینی مختلف ۲۲

شکل ۱-۱۴- ساختار لیگاندهای L^1 و L^2 ..... ۲۳

شکل ۱-۱۵- ساختار کمپلکس‌های $[L^1Zn\text{-}X]Y$ و $[L^2Zn\text{-}X]Y$ ۲۳

۱-۱۶- مکانیسم هیدراته کردن CO_2 به وسیله‌ی کمپلکس‌های روی (Zn) ۲۴

شکل ۱-۱۷- ساختار کمپلکس $Cyclen\text{-}Zn^{2+}$ ۲۵

شکل ۲-۱- شکل شماتیک سیستم بکار رفته در تبدیل CO_2 به HCO_3^- ۳۵

شکل ۳-۱-۱- الگوی XRD کاتالیزگر [CTA]Zn/MCM-41[DS] ۳۵

شکل ۳-۱-۲- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] (حذف تمپلیت باحلال) ۳۶

شکل ۳-۱-۳- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] (حذف تمپلیت با کلسینه کردن) ۳۷

شکل ۳-۱-۴- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE][CTA] ۳۸

شکل ۳-۱-۵- الگویXRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE] (حذف تمپلیت باحلال) ۳۹

شکل ۳-۱-۶- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE] (حذف تمپلیت با کلسینه کردن).....۴۰

شکل ۳-۱-۷- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] (حذف تمپلیت با حلال).....۴۱

شکل ۳-۱-۸- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] (حذف تمپلیت با کلسینه کردن).....۴۲

شکل ۳-۲-۱- طیف FTIR کاتالیزگرهای Zn/MCM-41[DS].....۴۸

شکل ۳-۲-۲- طیف FTIR کاتالیزگرهای Zn/MCM-41[TIE] ۵۰

شکل۳-۲-۳- طیف FTIR کاتالیزگرهای Zn/MCM-41[WI].....۵۲

شکل ۳-۵-۱ تصاویر SEM کاتالیزور Zn/MCM-41[DS] [CTA] ۶۲

شکل ۳-۵-۲- تصاویر SEM کاتالیزور Zn/MCM-41[DS] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت

با کلسینه کردن) ۶۳

۳-۷-۱- الگوی پراش اشعه ایکس از پودر مربوط به $CaCO_3$ ۶۶

۳-۷-۲- طیف FTIR مربوط به $CaCO_3$ ۶۶

شکل ۳-۸-۱- الگوی XRD کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE][CTA] بعد از یک بار جذب CO_2 ..۶۸

شکل ۳-۸-۲- طیف FTIR کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] حاوی تمپلیت بعد از جذب CO_2 .....۶۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- نتایج تاثیرات دما، غلظت آنزیم کربونیک آنهیدراز و وجود یا عدم وجود بافر بر میزان ته نشینی کلسیم کربنات ۲۰

جدول ۲-۱- مواد شیمیایی مورد استفاده در این کار پژوهشی ۲۸

جدول ۲-۲- دستگاه‌ها و تجهیزات به کار رفته در این پروژه ۲۹

جدول ۲-۳- خصوصیات تعدادی از شناساگرهای مورد استفاده ۳۳

جدول ۳-۱- اطلاعات مربوط به پیک‌های FTIR کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] حاوی تمپلیت..... ۴۹

جدول ۳-۲- اطلاعات مربوط به پیک‌های FTIR کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE] حاوی تمپلیت ۵۲

جدول ۳-۳- اطلاعات مربوط به پیک‌های FTIR کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] (استخراج تمپلیت با حلال) ۵۴

جدول ۳-۴- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] حاوی تمپلیت ۵۵

جدول ۳-۵- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE] حاوی تمپلیت ۵۵

جدول ۳-۶- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[DS] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت با حلال)..... ۵۶

جدول ۳-۷- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت با حلال).....۵۶

جدول ۳-۸- اطلاعات EDX کاتالیزگز Zn/MCM-41[DS] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت با کلسینه کرد.....۵۷

جدول ۳-۹- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[TIE] بدون تمپلیت (حذف تمپلیت

با کلسینه کردن) ۵۷

جدول ۳-۱۰- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] (استخراج تمپلیت با حلال) ۵۸

جدول ۳-۱۱- اطلاعات EDX کاتالیزگر Zn/MCM-41[WI] (حذف تمپلیت با کلسینه کردن).....۵۸

جدول ۳-۱۲- بازیسیته کاتالیزگرهای Zn/MCM-41(DS) ۵۹

جدول ۳-۱۳- بازیسیته کاتالیزگرهای Zn/MCM-41(TIE) ۶۰

جدول ۳-۱۴- بازیسیته کاتالیزگرهای Zn/MCM-41(WI) ۶۱

جدول ۳-۱۵- میزان ته‌نشینی $CaCO_3$ توسط کاتالیزگرهای Zn/MCM-41 .....۶۴

جدول ۳-۱۶- میزان ته‌نشینی $CaCO_3$ توسط کاتالیزگرهای بازیافت شده Zn/MCM-41 .....۶۷

جدول ۳-۱۷- مقایسه اطلاعات EDX کاتالیزگرهای اولیه و کاتالیزگرهای بازیافت شده Zn/MCM-41.....۷۰

علائم و اختصارات

CTAB: Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide

DS: Direct Synthesis

EDX: Energy Dispersive X-ray

MCM: Mobile Composition of Matter

SEM: Scannig Electron Microscopy

TIE: Template Ion Exchange

WI: Wet Impregnation

XRD: X-ray Powder Diffraction

فصل اول

بررسی منابع

۱- مقدمه

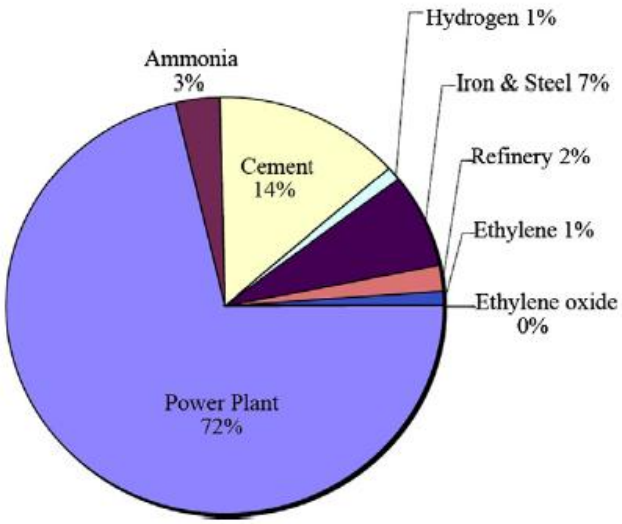
یکی از مهمترین نیازهای بشری نیاز به هوای پاک است که در صورت آلودگی آن حیات بشر با خطرات جدی روبرو می‌شود. در حقیقت هر گونه ماده‌ی خارجی، قطرات و یا ذراتی که وارد اتمسفر شده و باعث کاهش کیفیت و تغییر خواص آن شود، آلودگی هوا در نظر گرفته می‌شود. فعالیت صنایع و کارخانجات، ماشین‌ها، هواپیماها و آتش سوزی‌های عمدی و غیر عمدی و انواع فعالیت‌های دیگر باعث آلودگی هوا می‌شوند. افزایش مصرف انرژی همراه با افزایش جمعیت و فعالیت‌های صنعتی بشر بعد از انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ میلادی، سبب افزایش مصرف سوختهای فسیلی شده است. احتراق سوختهای فسیلی در تجهیزاتی مانند موتورهای ساکن، دستگاه‌های صنعتی، توربین‌های گازی، نیروگاه‌ها و فرآیندهای گرم کننده، جهت برآورده کردن تقاضای جامعه برای انرژی، حجم عظیمی از آلاینده‌های گازی و غبارهای جامد مانند اکسیدهای نیتروژن[۱]، اکسیدهای گوگرد[۲]، مونوکسیدکربن[۳]، دی اکسیدکربن[۴] و ذرات دوده را به محیط زیست وارد می‌کند. در کشورهای صنعتی سالانه مقادیر زیادی از انواع گازهای شیمیایی مضر، که در اثر فعالیت غیراستاندارد و کنترل نشده‌ی صنایع تولید می‌شود، وارد اتمسفر شده و باعث ایجاد مشکلات زیستی و تهدید اکوسیستم‌های زنده می‌گردد. به هر حال مقادیر زیاد این آلاینده‌ها زندگی انسان و سایر موجودات زنده را تهدید می‌کند[۱].

۱-۱- دی‌اکسیدکربن

دی‌اکسیدکربن یکی از مهمترین گازهای گلخانه‌ای است که در گرم شدن کره زمین عامل اصلی به شمار می-رود[۲]. با آغاز انقلاب صنعتی از سال ۱۸۵۰ به طور متوسط غلظت CO_2 از ۲۸۰ppm تا ۳۸۰ppm افزایش یافته

[1] NO_x
[2] SO_x
[3] CO
[4] CO_2

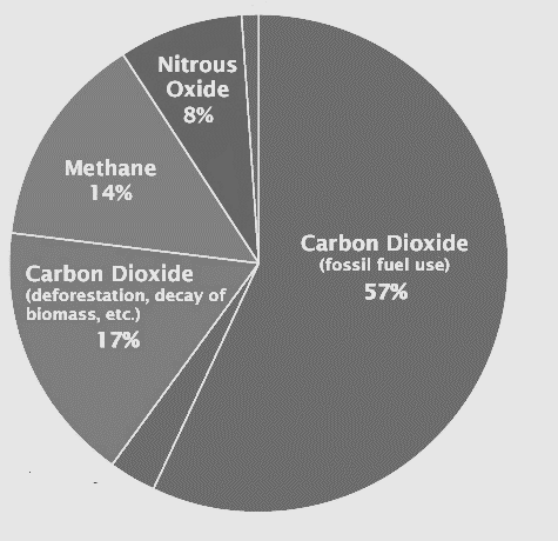
است که نتیجه آن افزایش دمای زمین در حدود ۰/۶ تا ۱ درجه سانتیگراد است[۳]. هیئت بین‌المللی تغییرات آب و هوا[1] پیش‌گویی کرده که تا سال ۲۱۰۰، غلظت CO_2 اتمسفر به ppm ۵۷۰ برسد که این امر سبب افزایش دمای زمین به اندازه‌ی °C ۱/۹ خواهد شد. عدم کنترل نشر دی‌اکسیدکربن باعث بالا رفتن سطح آب اقیانوس‌ها و انقراض گونه‌های موجودات زنده می‌شود. سیستم‌های احتراق سوختهای فسیلی مانند نیروگاه‌های برق با سوخت زغال‌سنگ یکی از مهمترین منابع انتشار CO_2 هستند که عامل انتشار ۴۰-۳۳ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر جهان می‌باشند[۴]. مهمترین منابع تولید CO_2 در چین در شکل (۱-۱) آورده شده است مشاهده می‌شود که کارخانه‌های تولید برق[2] و سیمان[3] بیشترین درصد تولید CO_2 را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۱-۱- مهمترین منابع گازهای گلخانه‌ای [۵]

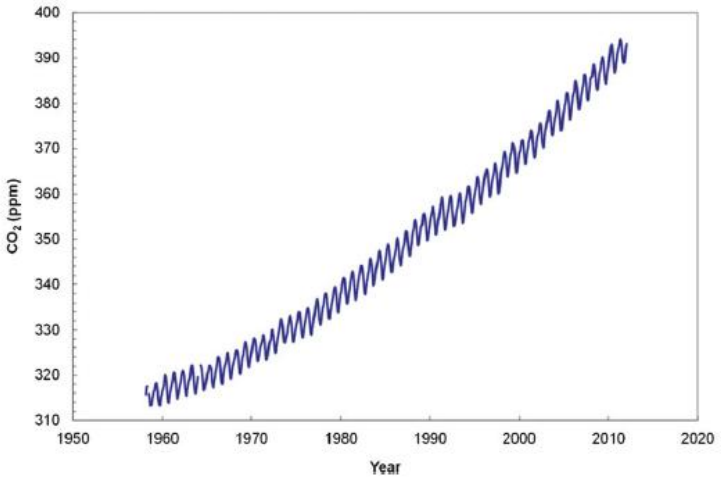
دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروژن مهمترین گازهای گلخانه‌ای هستند و در بین آن‌ها طبق بررسی‌های انجام شده دی‌اکسید کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی بیشترین تاثیر را روی تولید گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن کره‌ی زمین دارد (شکل ۱-۲) .

[1] International Panel on Climate Change
[2] Power Plant
[3] Cement



شکل ۱-۲- مهمترین گازهای گلخانه‌ای موجود در طبیعت [۶]

میزان افزایش CO_2 از سال ۱۹۵۸ تا سال ۲۰۱۲ در شکل (۱-۳) آورده شده است که نشان می‌دهد با پیشرفت صنعت و جمعیت میزان CO_2 با روند چشمگیری در حال افزایش است.



شکل ۱- ۳- میزان افزایش CO_2 از سال ۱۹۵۸ تا سال ۲۰۱۲ [۷]

دی‌اکسید کربن علاوه بر افزایش دمای کره زمین، در مناطق سرد در گیاهان منجمد می‌شود و باعث کاهش استحکام گیاهان می‌گردد[۲]. بنا به دلایل موجود کاهش گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسیدکربن برای ثابت نگه