

به نام خدا

**تبدیل دی اکسید کربن به محصولات با ارزش افزوده
(روش‌ها، فرصت‌ها و چالش‌ها)**

مؤلف:

محسن سرادق

۱۳۹۹

مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

سرشناسه	: مرادی، محسن، ۱۳۷۴-
عنوان و نام پدیدآور	: تبدیل دی اکسیدکربن به محصولات با ارزش افزوده (روش ها، فرصت ها و چالش ها) محسن مرادی.
مشخصات نشر	: تهران: آموزشی تألیفی ارشدان، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۱۵۴ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۲۵۱-۵۲۰-۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: کربن گیری و ذخیره سازی کربن
موضوع	: Carbon sequestration
رده بندی سنگر	: SD۳۸۷
رده بندی دیویی	: ۶۳۴/۹۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۱۳۳۱



مؤسسه آموزشی تألیفی ارشدان

تبدیل دی اکسیدکربن به محصولات با ارزش افزوده (روش ها، فرصت ها و چالش ها)	■ نام کتاب:
محسن مرادی	■ تألیف:
آموزشی تألیفی ارشدان	■ ناشر:
اول	■ ویرایش:
اول ۱۳۹۹	■ نوبت چاپ:
www.irantypist.com	■ حروفچینی و صفحه آرایی:
www.irantypist.com	■ طراح و گرافیکست:
۹۷۸-۶۲۲-۲۵۱-۵۲۰-۱	■ شابک:
۱۰۰۰	■ شمارگان:
www.arshadan.com	■ مرکز خرید آنلاین:
www.arshadan.net	■ مرکز پخش و توزیع:
۰۲۱۴۷۶۲۵۵	■ قیمت:
۲۵۰۰۰ تومان	

هدف این کتاب معرفی روش‌های تبدیل دی‌اکسیدکربن (CO_2) به مواد شیمیایی با ارزش افزوده و سوخت‌های مصنوعی به کمک انرژی‌های تجدیدپذیر است. سه روش کلی تبدیل دی‌اکسیدکربن شامل روش ترموکاتالیستی، الکتروکاتالیستی و فوتوکاتالیستی با تاکید بر توسعه پایدار و استفاده از انرژی خورشید به عنوان منبع بی‌پایان انرژی تجدیدپذیر مورد بحث قرار می‌گیرند. در سراسر متن خواننده علاقمند به تعدادی از بهترین مقاله‌های مروری ارجاع داده می‌شود. سعی بر آن بوده که محتوای کتاب به گونه‌ای نوشته شده که پیش زمینه خاصی مورد نیاز نباشد. با این حال، در برخی بخش‌های کتاب مباحث پیچیده و تخصصی تبدیل CO_2 مطرح شده است که نیاز به پیش‌زمینه در حوزه شیمی و مهندسی شیمی دارد. برای تمام روش‌های تبدیل CO_2 ، ابتدا اصول پایه‌ای به خواننده معرفی می‌شود، سپس بحث و بررسی با جزئیات بیشتر بر روی مکانیسم‌های واکنش و طراحی راکتورها مطرح می‌شوند. همچنین، یک دید ویژه بر روی پتانسیل صنعتی شدن این روش‌ها و چالش‌های فنی مربوطه نیز بیان می‌شود.

در حال حاضر، انتشار بی‌رویه دی‌اکسیدکربن حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی به داخل جو یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌های مکتون در راه آینده حیات کره زمین است. از اواخر قرن ۱۹ تاکنون غلظت دی‌اکسیدکربن در جو از 280 ppm به 400 ppm افزایش یافته است که به دلیل اثر گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن موجب گرم شدن زمین شده است. علاوه بر گرم شدن زمین جذب دی‌اکسیدکربن موجود در جو توسط گیاهان موجب اسیدی شدن و کاهش pH اقیانوس‌ها می‌شود که تعادل شیمیایی اقیانوس‌ها را به هم می‌زند. متأسفانه، علیرغم نگرانی‌های موجود، انتشار دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۱۷ در کل جهان به‌طور متوسط $1/6$ درصد رشد داشته که نسبت به میانگین رشد ۱۰ ساله ۲۰۱۶-۲۰۰۶ کمتر بوده است. با وجود اینکه پیش بینی دقیق پیامدهای تغییرات آب و هوایی برای آینده مبسر نیست، اما جوامع علمی به این اجماع رسیده‌اند که انتشار CO_2 باید محدود شود.

به‌طور کلی برای رهایی از مشکلات دی‌اکسیدکربن سه دیدگاه کلی مطرح شده است: راهکار اول اینکه می‌توان دی‌اکسیدکربن تولیدشده از منابع متمرکز مثل نیروگاه‌های برق که با سوخت‌های فسیلی و از جمله زغال‌سنگ کار می‌کنند را از جریان گازهای احتراق جدا کرده خالص نموده و با افزایش فشار و انتقال به محل‌های ذخیره‌سازی در نهایت به سازه‌های

زمین‌شناسی مثل مخازن نفت و گاز یا اقیانوس‌ها تزریق کرد. اما هرکدام از مراحل جداسازی، خالص‌سازی، افزایش فشار، انتقال و ذخیره‌سازی به انرژی زیادی نیاز دارد و مطالعات مختلفی نشان داده که نیروگاه‌های مجهز به سامانه جذب کربن^۱ برای تولید توان خروجی یکسان به ۲۵ تا ۸۰ درصد انرژی ورودی بیشتری نیاز دارند. با این حال، کم کردن انتشار CO₂ از این روش به دلیل افزایش جمعیت و افزایش تقاضای انرژی جهت تامین زندگی با کیفیت بالا در کشورهای صنعتی دشوار است. کاهش انتشار از طریق جذب و ذخیره سازی CO₂ به عنوان مثال در سازه‌های زمینی به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه گذاری اول و هزینه‌های نگهداری با محدودیت ظرفیت همراه است که صنعتی کردن گسترده این روش را چالش‌برانگیز می‌کند. راهکار دوم تغییر دادن شرایط استراتوسفر^۲ از طریق وارد کردن ارسول‌های سولفیدی است که با تغییر میزان جذب نور خورشید در اتمسفر سبب کاهش روند گرم شدن زمین می‌شود. اما این روش هم قابل‌اعتماد نیست چراکه مشکل را به‌صورت پایمانی حل نمی‌کند و عواقب آن بر روی اتمسفر زمین قابل پیش‌بینی نیست. علاوه بر این، در صورت موفقیت‌آمیز بودن تنها مشکل گرمایش جهانی را حل می‌کند و نمی‌تواند مشکل تجمع اکسیدکربن و جذب آن توسط اقیانوس‌ها را رفع کند. راهکار سوم تبدیل CO₂ به مواد شیمیایی و سوخت‌های مصنوعی با استفاده از انرژی تجدید پذیر است تا چرخه مصنوعی کربن ایجاد شود. با وجود اینکه CO₂ گاز گلخانه‌ای مضر است، اما منبعی مناسب، اشتعال‌ناپذیر و غیرسم‌رنده برای کربن است. منابع آن که شامل گازهای احتراق حاصل از نیروگاه‌های گاز طبیعی و بغال سنگ، بیوگاز و گاز دفن زباله (تا ۵۰ درصد CO₂) و جریان گازهای زائد در فرآیندهای صنعتی گوناگون مانند تولید آمونیاک و تخمیر، بسیار فراوان هستند. منبع بزرگ دیگر CO₂ مربوط به تولید از چاه‌های نفت و گاز طبیعی هستند که این CO₂ نیز معمولاً به درون جو فرستاده می‌شود.

رویکرد سوم بسیار مورد توجه قرار گرفته است چرا که می‌تواند از طریق فراهم آوردن منبعی تجدیدپذیر و جایگزین برای مواد شیمیایی و سوخت‌های بر پایه کربن موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی گردد. اما CO₂ مولکول بسیار اکسید شده و پایداری است و فعال کردن برای واکنش به صرف انرژی بسیار زیادی نیاز دارد که کل زنجیره فرآیند را غیر پایدار می‌سازد. بنابراین، فرایندهای تبدیل تجدیدپذیر CO₂

^۱ carbon capture

^۲ Stratosphere

بایستی وابسته به منابع انرژی تجدید پذیر باشد که نیاز به سرمایه گذاری اولیه پرهزینه دارد. بنابراین بسیار حائز اهمیت است که فرایندهایی که واقعاً روش‌های پایدار برای تبدیل CO_2 به مواد شیمیایی و سوخت هستند، شناخته شوند. در این راستا، ارزیابی‌های اساسی بر مبنای درک پایه‌ای مکانیسم‌های تبدیل CO_2 همراه با ارزیابی فنی-اقتصادی ضروری است.

تبدیل CO_2 به مواد شیمیایی و سوخت نیاز به عامل احیا کننده دارد که می‌تواند هیدروژن (H_2) و یا آب (H_2O) باشد. در طول واکنش، هیدروژن این ترکیبات به کربن متصل شده و انواع هیدروکربن‌ها را تولید می‌کند. در سطح زمین مقدار بسیار زیادی آب وجود دارد که می‌تواند به طور مستقیم و یا به صورت غیر مستقیم به عنوان منبع هیدروژن برای احیای CO_2 به سوخت‌های مصنوعی استفاده شود. تولید هیدروژن از آب (یک ترکیب بسیار اکسید شده) نیاز به انرژی فراوانی دارد. اگر این انرژی از منابع تجدید پذیر تأمین گردد، چنین فرآیندی مسیری برای تولید سوخت‌های مصنوعی تجدیدپذیر از CO_2 ایجاد خواهد کرد.

در این کتاب مبانی اولیه روش‌های گوناگون تبدیل CO_2 به مواد شیمیایی و سوخت‌های مفید همراه با پیشرفت‌های اخیر هر حوزه بیان می‌شود. کتاب از چهار فصل تشکیل شده که فصل اول مقدمه کلی از فرصت‌ها و چالش‌های تبدیل CO_2 را بیان می‌کند و در سه فصل بعدی، ملاحظات طراحی کاتالیزوری، پیشرفت‌های اخیر و چالش‌های فنی هر کدام از روش‌های تبدیل ترموکاتالیستی، فوتوکاتالیستی، الکتروکاتالیستی CO_2 بررسی می‌شوند. این کتاب جهت آشنایی با مفاهیم بنیادی تبدیل CO_2 به مواد با ارزش افزوده جهت استفاده محققان صنعتی و دانشگاهی مناسب است.

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه‌ای بر فرصت‌ها و چالش‌های تبدیل دی‌اکسیدکربن
۱۵	مراجع
۱۷	فصل ۲: احیای ترموکاتالیستی CO_2
۱۷	۱-۲ واکنش‌های تبدیل ترموکاتالیستی CO_2
۲۱	۲-۲ مکانیسم واکنش‌های ترموکاتالیستی
۲۶	۳-۲ بررسی غیر فعالشدن کاتالیزورها
۲۹	۴-۲ عکس‌رانش جابجایی آب-گاز
۳۲	۵-۲ سنتز متانول از هیدروژناسیون CO_2
۳۴	۶-۲ اصلاح خشک‌مان
۳۶	۷-۲ متاناسیون CO_2
۳۹	۸-۲ طراحی راکتور
۴۴	۹-۲ چشم اندازهای آینده
۴۸	مراجع
۵۱	فصل ۳: تبدیل فوتوکاتالیستی CO_2
۵۱	۱-۳ مقدمه‌ای بر فوتوکاتالیست‌ها
۵۳	۲-۳ ترمودینامیک واکنش‌های فوتوکاتالیستی
۵۹	۳-۳ فرصت‌ها و چالش‌های فوتوکاتالیست‌ها در تبدیل CO_2
۶۲	۴-۳ فوتوکاتالیست‌های تبدیل CO_2
۶۵	۵-۳ مکانیسم‌های تبدیل فوتوکاتالیستی CO_2
۶۶	۱-۵-۳ مکانیسم نیم‌واکنش احیا
۷۴	۲-۵-۳ مکانیسم نیم‌واکنش اکسایش آب
۷۵	۳-۶ رسوب نوری کاتالیست‌های کمکی به عنوان روشی کارآمد برای فوتوکاتالیست‌های احیای CO_2
۷۵	۱-۶-۳ اصول کلی رسوب نوری
۸۰	۲-۶-۳ اثر گونه فداشونده
۸۳	۳-۶-۳ اثر pH

۸۵	۳-۶-۴ اثر Cl^- و نمک پلاتین
۸۶	۳-۶-۵ اثر وجود اکسیژن
۸۷	۳-۷-۷ پارامترهای مؤثر بر واکنش تبدیل فوتوکاتالیستی CO_2
۸۸	۳-۷-۱ اثر وجود ناخالصی‌ها
۸۹	۳-۷-۲ اثر وجود اکسیژن در محیط واکنش
۹۰	۳-۷-۳ اثر بخار آب بر روی واکنش
۹۱	۳-۷-۴ اثر شدت نور
۹۱	۳-۷-۵ اثر غلظت دی‌اکسیدکربن
۹۲	۳-۸-۸ مروری بر احیای فوتوکاتالیستی دی‌اکسیدکربن بر روی TiO_2 و دیگر نیمه‌رساناها
۹۲	۳-۸-۱ مقدمه
۹۶	۳-۸-۲ اصلاح اکسید تیتانیوم با استفاده از کاتالیست‌های کمکی
۹۹	۳-۸-۳ اصلاح اکسید تیتانیوم با استفاده از دوپ کردن عناصر
۱۰۱	۳-۸-۴ اصلاح اکسید تیتانیوم با استفاده از عناصر قلیایی
۱۰۱	۳-۸-۵ اصلاح اکسید تیتانیوم با استفاده از ایجاد هترو اتصال با سایر نیمه‌رساناها
۱۰۳	۳-۹ طراحی راکتورهای تبدیل فوتوشیمیایی CO_2
۱۱۵	۳-۱۰ محدودیت‌ها و امکان‌سنجی عملیاتی
۱۱۷	مراجع

فصل ۴: تبدیل الکتروکاتالیستی CO_2

۱۲۷	۴-۱ مبانی احیای الکتروشیمیایی CO_2
۱۲۹	۴-۲ کاتالیزورهای احیای الکتروشیمیایی CO_2
۱۳۴	۴-۳ طراحی سل الکتروشیمیایی
۱۳۶	۴-۴ چالش‌های اساسی
۱۳۸	۴-۵ تهیه الکتروشیمیایی متانول
۱۴۰	۴-۶ تهیه گاز سنتز در پیل‌های سوختی اکسید جامد
۱۴۲	۴-۷ چشم‌اندازهای آینده
۱۴۳	مراجع