



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي



كلية التكنولوجيا

مذكرة مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان: علوم وتكنولوجيا

شعبة: هندسة طرائق

تخصص: هندسة كيميائية

تحت إشراف الأستاذ:

د. عمار بن مية

من تقديم الطالبات

- كوثر بده سعداني
- ذكرى نسيب
- عايدة ونيسي
- دعاء زربية
- حفصة لمقدم

بغوان

إنبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

دراسة كرونولوجية

تمت مناقشة المذكرة في: 2023/06/04

أمام اللجنة المكونة من الأساتذة:

جامعة الوادي.

رئيسا

د. خالد بلال

جامعة الوادي.

مناقشا

د. رجب يوسف

جامعة الوادي.

مؤطرا

د. عمار بن مية

الموسم الجامعي: 2023/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# شكر وتقدير

في البداية، الشكر والحمد لله، جل في علاه فإليه يُنسب الفضل كله في إكمال هذا العمل

والكمال يبقى لله وحده

وبعد الحمد لله، فإننا نتوجه إلى أستاذنا الدكتور عمار بن مية-

بالشكر والتقدير الذي لن نفيه أي كلمات حقه،

فبارك الله فيه وأدامه منارة للعلم نستنير بنورها فلولا مثارته ودعمه المستمر

ما تم هذا العمل وبعدها

فالشكر موصول لكل أساتذتنا الذين تتلمذنا على أيديهم في كل مراحل دراستنا

نتشرف بوقوفنا أمام حضراتكم اليوم

ونتقدم بشكر لكل أساتذة كلية العلوم والتكنولوجيا

وبالأخص تخصص هندسة الطرائق والهندسة الكيميائية

بالإضافة إلى جنود الخفي الذي سخرهم الله إلى مساعدتنا

وكل إطارات وإداريين وموظفين جامعة الشهيد حمه لخضر.

# اهداء

من قال انا لها " نالها " وانا لها ان أبت رغما عنها اتيت بها.  
الى الايادي الطاهرة التي ازلت عن طريقي اشواك الفشل .....  
الى من رسمولي طريق المستقبل بخطوط من الثقة والحب.....  
اليكم عائلتي

اهدي فرحة تخرجني الى تلك الانسانية العظيمة التي طالما تمننت ان تقر عينها برؤيتي في يوم كهذا  
الى..... امي

الى ابي الغالي اهديك فرحتي وامتناني.

والى من كلل العرق جبينه وعلمني ان النجاح لا يأتي الا بصبر والإصرار..... اخي لغالي واي  
الثاني عبد الرحمان

الى من كان وسيبتي نقطة قوتي وسندي واتكائي ورفيق روحي ..... اخي العزيز عبد الله  
وهنا وفي هاذ المكان أتمنى من الله ان يعطيني القدرة ان اوفيا ولو القليل من فضلها الى  
سندي عند ميولي والى قوتي عند ضعفي والى فرحتي عند حزني والى دوائني عند المي الى حبيبة  
الروح ورفيقة الدرب الى غاليتي ..... صديقتي ذكرى.

الى من تأنس روحي بجواركم الى افتخاري وعزوتي الى نور الطريق وفرحة القلب ودواء الروح  
..... اختاي نجلاء ونسرين

والى اول من انتضر هذه اللحظات ليفتخر بي الى ضلعي دائم ومسندي وشريك حياتي .....  
زوجي بغدادي

والى ابنة قلبي وسعادة روحي أتمنى ان اراكي في اعلى القمم ..... يقين

# اهداء

أهدي ثمرة جهدي المتواضع

إلى من وهبوني الحياة والأمل، والنشأة على شغف

الاطلاع والمعرفة، ومن علموني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر؛

برا وإحسانا ووفاء لهما والدي العزيز، ووالدتي "عبد الرزاق" "هدى" العزيزة إلى من

وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى العقد المتين

من كانوا عوناً لي في رحلة بحثي: إخواني وأخواتي "إبراهيم، زينب، ملاك، اية، نقي"

إلى من كاتفنتي ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح في مسيرتنا العلمية، ورفيقة روحي

وسندي واتكأني إلى رفيقة دربي كوثر بده سعداني.

وأخيراً إلى كل من ساعدني، وكان له دور من قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة،

سائلة المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة.

ذكرى نسيب

# اهداء

والحمد لله رب العالمين الذي وفقنا وأعاننا على إنهاء هذا البحث والخروج به بهذه الصورة المتكاملة ثم أود أن أشكر مشرفي، الأستاذ الدكتور عمار بن مية، الذي كانت خبرته لا تقدر بثمن في صياغة أهم مواضيع البحث ومنهجيته.

أهدي تخرجي هذا إلى من علمني العطاء وإلى من أحمل اسمه بكل افتخار وأرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار “والدي العزيز البشير” وإلى ملاكي في الحياة وإلى معنى الحب والحنان والتفاني وإلى بسملة الحياة وسر الوجود وإلى من كان دعائها سر نجاحي أغلى الحبايب “امي الحبيبة سعاد” وإلى من له الفضل الكبير في تشجيعي وتحفيزي ومن منة تعلمت المثابرة والاجتهاد وإلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد وإلى من بوجودهم اكتسب قوة ومحبة لا حدود لها وإلى من عرفت معهم معنى الحياة “إخوتي محمد علي و هيثم وأختي الغالية سارة” وإلى من تحلوا بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء وإلى من برفقتهم في دروب الحياة السعيدة والحزينة سرت وإلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير “أصدقائي الأعتز” بتوفيق من الله، وبدعاء من الام لم يبق سوى خطوات قليلة لإنهاء مسيرتي الدراسية، شكراً لكل من مد لي يد العون أهدي تخرجي هذا لروحك الطيبة يا أبي واسأل الله التوفيق لي ولكم.

ونيسى عايدة

# اهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى  
5 سنوات من الجهد والسهر نختتمها بأسطر لن تروي ماعشناه من فرح وحزن وخوف  
وأمل

إلى سندي ومسندي الوالدين الكريمين حفظهما الله

إلى شرايين قلبي اخوتي حسام. تقي ومحمد

إلى روح جدي وجدتي رحمهما الله

لكل العائلة والاصدقاء من كانوا برفقتي أثناء دراستي

إلى كل من كان لهم أثر في حياتي واحبهم قلبي

# اهداء

إلى من كلله الله بالهبة والوقار، إلى من علمني العطاء دون إنتظار،

والذي العزيز إبراهيم

إلى ملاكي في الحياة،،،، إلى معنى الحب

والحنان،،،، أمي الحبيبة مبروكة

إلى من شاركني حزن الأم وبهم أستند

عزتي وإصراري ،،،، إخوتي

خولة ،سمية ، إلياس وزوجته كوثر

، المعتصم بالله ، حسام الدين

حفصة لمقدم

## الفهرس

شكر وتقدير.....	
اهداء.....	
الفهرس.....	
قائمة الصور.....	
قائمة الجداول.....	
مقدمة.....	1
<b>الفصل الأول: عموميات حول انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والدراسة الكرونولوجية</b>	
مقدمة الفصل الأول:.....	5
أولاً: عموميات حول انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.....	6
1- تعريف غاز ثاني أكسيد الكربون:.....	6
2- المصادر الطبيعية لثاني أكسيد الكربون:.....	6
1-2 النشاط البركاني:.....	6
2-2 التنفس:.....	6
3-2 التحلل:.....	6
4-2 حرائق الغابات:.....	6
5-2 تسرب الغاز الطبيعي:.....	7
6-2 صخور الكربونات:.....	7
7-2 خزانات الكربون الجيولوجية:.....	7
8-2 التخمر الطبيعي:.....	7
9-2 التحلل الطبيعي للتربة:.....	7
10-2 الأنهار والبحيرات:.....	7
11-2 الترسبات البحرية:.....	7
12-2 النشاط البركاني البحري:.....	8
13-2 العواصف الرعدية:.....	8
3- المصادر البشرية لثاني أكسيد الكربون:.....	8
2-3 إزالة الغابات والتغيرات في استخدام الأراضي:.....	8
3-3 العمليات الصناعية:.....	8
4-3 استخدام الطاقة السكنية والتجارية:.....	8
5-3 العمليات الصناعية والكيميائية:.....	9
6-3 حرق الكتلة الحيوية:.....	9
7-3 لأنشطة العسكرية:.....	9
8-3 احتراق الوقود الأحفوري:.....	9
9-3 تحلل وترميد النفايات:.....	9
10-3 الزراعة:.....	9
11-3 توليد الطاقة:.....	9
4- خصائص ثاني أكسيد الكربون:.....	10
1-4 الكيميائية:.....	10
أ- الصيغة والبنية الكيميائية:.....	10
ب- الذوبان:.....	10
ج- التفاعلية:.....	10
د- تفاعلات الاختزال:.....	10

10	2-4 الفيزيائية:
10	أ- الصيغة والبنية الجزيئية:
11	ب- الكثافة والوزن الجزيئي:
11	ج- انتقالات المرحلة:
11	د- ثاني أكسيد الكربون الصلب (الثلج الجاف):
11	هـ- ثاني أكسيد الكربون الغازي:
12	و- نقطة الانصهار:
12	س- نقطة الغليان:
12	ك- السعة الحرارية:
12	ل- اللزوجة:
12	5- أهمية غاز ثاني أكسيد الكربون واستخداماته:
12	1-5 الأهمية:
12	أ- البناء الضوئي ونمو النبات:
13	ب- الإنتاج الغذائي والعائد الزراعي:
13	2-5 استخدامات غاز ثاني أكسيد الكربون:
13	أ- الصناعات الكيميائية:
14	3-5 استخدامات أخرى لثاني أكسيد الكربون:
14	أ- إخماد الحريق:
14	ب- معالجة وحفظ الغذاء:
14	ج- زراعة الدفيئة:
15	د- اللحام وتصنيع المعادن:
15	هـ- التطبيقات الطبية والعلاجية:
15	و- التبريد:
15	ي- تخزين الطاقة المتجددة:
16	ثانياً: الدراسة الكرونولوجية لثاني أكسيد الكربون:
19	خاتمة الفصل الأول:

### الفصل الثاني: اثار انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

31	مقدمة الفصل الثاني:
32	أولاً: ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة:
32	ثانياً: اثار السلبية لغاز ثاني اكسيد الكربون:
32	1- تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على التغيرات المناخية:
33	1-1 تغيرات في نظام الأمطار:
33	2-1 ارتفاع مستوى سطح البحر:
33	3-1 تأثيرات على الأنظمة الإيكولوجية:
33	2 - تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على صحة الإنسان:
34	1-2 زيادة درجة حرارة الجسم:
34	2-2 تأثير الجهاز التنفسي:
34	3-2 الآثار على القلب والأوعية الدموية:
34	4-2 زيادة خطر الإصابة بالأمراض المزمنة:
34	2-5 الآثار العصبية:
34	2-6 الآثار على صحة الجنين:
35	2-7 الآثار على الصحة النفسية:

35	8-2 الوظيفة المعرفية:
35	9-2 صحة القلب والأوعية الدموية:
35	3- تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على الحياة البرية.
36	1-3 الأنظمة الإيكولوجية والتنوع البيولوجي:
36	4- تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على البحار والمحيطات.
37	5- الأثر الاقتصادي للغاز ثاني أكسيد الكربون الزائد في الغلاف الجوي.
38	6- تأثير ثاني أكسيد الكربون على طبقة الأوزون:
38	1-6 زيادة درجة الحرارة الجوية :
38	2-6 التغير في دورة الهواء العلوي:
38	ثالثا: ماهي الدول التي لديها أكبر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون.
41	خاتمة الفصل الثاني:
	<b>الفصل الثالث: المواد الكيميائية وهندسة المحطات المستخدمة في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون</b>
47	مقدمة الفصل ثالث .....
48	أولا: فهم أساسيات المواد الكيميائية والمنشآت الهندسية للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون:
48	ثانيا: المنشآت الهندسية للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون:
48	1- وحدات فصل ثاني أكسيد الكربون:
48	2- أنظمة الضغط والنقل:
49	3- محطات تحويل ثاني أكسيد الكربون:
49	4- البنية التحتية لتخزين الكربون:
49	5- أنظمة المراقبة والتحقق:
49	ثالثا: تقنيات الامتزاز وفصل الأغشية لالتقاط ثاني أكسيد الكربون:
49	1- تقنيات الامتزاز:
50	1-1 الكربون المنشط:
50	2-1 الأطر المعدنية العضوية (MOFs):
50	3-1 الزوليت:
50	4-1 المواد المكونة للأمين:
50	2- تقنيات فصل الغشاء:
50	1-2 أغشية بوليمرية:
51	2-2 أغشية المصفوفة المختلطة (MMMs):
51	3-2 أغشية غير عضوية:
51	3- العمليات التحفيزية لتحويل ثاني أكسيد الكربون:
51	1-3 التحويل الكهروكيميائية:
51	2-3 الحفز غير المتجانس:
51	3-3 الحفز المتجانس:
53	4-3 التحفيز الضوئي:
53	5-3 تحفيز البلازما:
53	6-3 الحفز الحيوي:
54	4- العمليات التحفيزية الأخرى لتحويل ثاني أكسيد الكربون:
54	1-4 الميثان المباشر:
54	2-4 تفاعل التحول العكسي بين الماء والغاز (RWGS):
54	3-4 حلقات الكربونات:
54	4-4 رد فعل Sabatier:

55	4-5 تخليق الميثانول: .....
55	4-6 توليف فيشر ترروب: .....
56	4-7 تخليق حمض الفورميك: .....
56	4-8 إعادة تشكيل ثاني أكسيد الكربون: .....
56	رابعاً: تجاوز الحدود: دمج استراتيجيات المختبر والمحيط لإدارة ثاني أكسيد الكربون .....
57	1- فهم إدارة ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى المحيطات: .....
57	2- البحث والتطوير المخبري: .....
57	3- بحوث تحمض المحيطات: .....
57	4- زراعة الطحالب البحرية والأعشاب البحرية: .....
57	5- ترجمة نتائج المختبر إلى تطبيقات واقعية: .....
58	6- المشاريع التجريبية والتجارب الميدانية: .....
58	7- التعاون وتبادل المعرفة: .....
58	8- المراقبة والتحقق: .....
58	9- الاستدامة والتكيف على المدى الطويل: .....
59	خامساً: تطبيق المواد الكيميائية والهندسة للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون في المحيطات .....
59	1- فهم تحمض المحيطات: .....
59	2- تحسين قلوية المحيط: .....
59	3- تقوية اصطناعية: .....
60	4- تشجير المحيط: .....
60	5- المراقبة والتنظيم: .....
60	سادساً: رسم خرائط مياه جديدة: .....
60	1- الجمع بين المواد الكيميائية والهندسة لمحاربة ثاني أكسيد الكربون في المحيط .....
60	2- البحث والتطوير المستمر: .....
61	3- حلول الهندسة الحيوية: .....
61	4- الذكاء الاصطناعي والنمذجة: .....
62	خاتمة الفصل ثالث: .....
	<b>الفصل الرابع: طرق معالجة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون</b>
74	مقدمة الفصل الرابع: .....
75	أولاً: مفهوم الاحتباس الحراري: .....
75	ثانياً: الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري: .....
76	2- تقنيات خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الصناعات الزراعية: .....
76	1-2 تحسين إنتاجية المحاصيل: .....
76	2-2 إدارة التربة: .....
76	3-2 التحكم في إنتاج الغازات الدفيئة: .....
76	3- تقنيات تخفيف انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الصناعات الكيميائية: .....
76	4- تقنيات الكربون المحايدة: .....
77	5- كفاءة المواد: .....
77	6- مخططات تداول ضرائب الكربون والانبعاثات: .....
77	7- تقنيات التخفيف الكربوني في قطاع النقل: .....
77	1-7 السيارات الكهربائية: .....
77	2-7 الوقود الحيوي: .....
77	3-7 خلايا الوقود: .....

78	4-7 طرق بديلة للنقل:
78	8- تقنيات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وتخفيف آثار تغير المناخ:
79	9- التقاط غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من محطات توليد الطاقة:
79	10- سحب غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء الطلق وتخزينه تحت الأرض:
80	11- تخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيطات:
81	12- تخزين ثاني أكسيد الكربون في المعادن:
82	13- التقنيات الكهروكيميائية:
82	14- التقنيات الفضائية:
82	15- الطاقات المتجددة:
82	1-15 الطاقة الشمسية:
82	2-15 الطاقة الريحية:
82	3-15 الطاقة المائية:
83	4-15 الطاقة الحرارية الأرضية:
83	خاتمة الفصل الرابع:
90	خاتمة عامة
93	ملخص

## قائمة الصور

- 11 .....[45] الصورة 1: توضح بنية غاز الكربون
- 33 .....[12] الصورة 2: توضح تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون
- الصورة 3: منحى يبين الدول العشر الأولى من حيث الانبعاثات العالمية لغاز ثاني أكسيد الكربون، وفقاً لتقرير صادر عن مؤسسة الطاقة الدولية في عام 2021 [78] 40
- 48 .....[5] الصورة 4: محطات معالجة ثاني أكسيد الكربون
- 49 .....[17] الصورة 5: توضح نموذج بروناور للامتزاز متعدد الطبقات هو
- 56 .....[101] الصورة 6: توضح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المحيطات
- 75 ..... الصورة 7: توضح ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والاحتباس الحراري
- 78 .....[37] الصورة 8 : توضح رسم تخطيطي لأنظمة احتجاز الكربون وتخزينه المحتملة
- 79 .....[42] الصورة 9: توضح التقاط غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من محطات توليد الطاقة
- 80 .....[52] الصورة 10 : أخذ ثاني أكسيد الكربون من الهواء الطلق وتخزينه تحت الأرض
- 81 .....[59] الصورة 11: تخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيط

## قائمة الجداول

الجدول 01: أمثلة على العمليات التحفيزية لتحويل ثاني أكسيد الكربون [47].....52

مقدمة

انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) تعتبر واحدة من أهم التحديات البيئية التي نواجهها في الوقت الحاضر [1]. يعود ذلك إلى دوره الكبير في زيادة تركيز الغازات الدفيئة في الجو [2]، والتي تسبب تغير المناخ وتأثيراته السلبية على البيئة والحياة البشرية [3].

تم اجرا دراسة الكرونولوجية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون تهدف إلى تحديد وتحليل التغيرات في مستويات الانبعاثات على مر الزمن [4]. يتم ذلك من خلال مراقبة الأنشطة البشرية المتعلقة بإصدار ثاني أكسيد الكربون تشمل أيضاً تحليل العوامل المؤثرة في زيادة أو انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مدار فترة زمنية محددة [5].

ثاني أكسيد الكربون هو غاز دفيء يتشكل بشكل طبيعي خلال العمليات الحيوية مثل التنفس والتخمر [6]. ومع ذلك، فإن النشاط البشري هو المسؤول الرئيسي عن زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي [7]. حيث يمتص هذا الغاز أشعة الشمس ويعيدها مرة أخرى إلى الأرض، مما يزيد من درجة حرارة الكوكب [8]. وهذا يؤدي بدوره إلى تغير المناخ، بما في ذلك ارتفاع درجات الحرارة، وارتفاع مستوى سطح البحر، وتغيرات في نمط الأمطار، وتأثيرات بيئية أخرى [9].

يعد الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) خطوة حاسمة في مكافحة تغير المناخ والانتقال إلى مستقبل أكثر استدامة. في حين أن هناك العديد من الاستراتيجيات والتقنيات المشاركة في هذا الجهد [10]، فإن بعض المواد الكيميائية والنباتات تلعب دوراً مهماً في التقاط أو تخزين أو استخدام ثاني أكسيد الكربون [11].

تم تطوير مجموعة متنوعة من المحطات والتقنيات للحد من انبعاث ثاني أكسيد الكربون وتقليل تأثيره السلبي على البيئة والمناخ [12]. تستهدف هذه المحطات الحد من انبعاث CO<sub>2</sub> من مصادر مختلفة مثل محطات توليد الكهرباء، ومصانع الصناعة الثقيلة، وقطاعات النقل [13].

تشهد المحطات التي تقلل من انبعاث ثاني أكسيد الكربون تطوراً مستمراً، حيث يتم العمل على تطوير تقنيات أكثر فعالية واقتصادية. وتزداد الاستثمارات في مجال الطاقة المتجددة وتكنولوجيا الاحتراق النظيف [14].

قسمت المذكرة الى أربع فصول

الفصل الأول: عموميات حول غاز ثاني أكسيد الكربون والدراسة الكرونولوجية

الفصل الثاني: اثار انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

الفصل الثالث: المواد الكيميائية وهندسة المحطات المستخدمة في تقليل انبعاثات غاز ثاني أكسيد

الكربون

الفصل الرابع: طرق معالجة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

- 
1. Sumida, K., et al., Carbon dioxide capture in metal–organic frameworks. *Chemical reviews*, 2012. 112(2): p. 724-781.
  - .2Enkvist, P., T. Nauclér, and J. Rosander, A cost curve for greenhouse gas reduction. *McKinsey Quarterly*, 2007. 1: p. 34.
  - .3Doherty ,T.J. and S. Clayton, The psychological impacts of global climate change. *American Psychologist*, 2011. 66(4): p. 265.
  - .4Udara Willhelm Abeydeera, L.H., J. Wadu Mesthrige, and T.I. Samarasinghalage, Global research on carbon emissions: A scientometric review. *Sustainability*, 2019. 11(14): p. 3972.
  - .5Liu, Z., et al., Near-real-time monitoring of global CO2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic. *Nature communications*, 2020. 11(1): p. 5172.
  - .6Kayranli, B., et al., Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review. *Wetlands*, 2010. 30: p. 111-124.
  - .7Kampa, M. and E. Castanas, Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, 2008. 151(2): p. 362-367.
  - .8Al-Ghussain, L., Global warming: Review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2019. 38(1): p. 13-21.
  - .9Jeppesen, E., et al., Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, 2015. 750: p. 201-227.
  - .10Song, C., Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO2 for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing. *Catalysis today*, 2006. 11 : (4-1)5p. 2-32.
  - .11Herzog, H.J., Scaling up carbon dioxide capture and storage: From megatons to gigatons. *Energy Economics*, 2011. 33(4): p. 597-604.

- 
- .12Leung, D.Y., G. Caramanna, and M.M. Maroto-Valer, An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. 39: p. 426-443.
- .13Chen, W. and R. Xu, Clean coal technology development in China. *Energy policy*, 2010. 38(5): p. 2123-2130.
- .14Bull, S.R., *Renewable energy today and tomorrow*. Proceedings of the IEEE, 2001. 89(8): p. 1216-1226.

**الفصل الأول: عموميات حول  
انبعاثات ثاني أكسيد الكربون  
والدراسة الكرونولوجية**

## مقدمة الفصل الأول:

في السنوات الأخيرة، أصبح فهمنا لثاني أكسيد الكربون وتأثيره على تغير المناخ أكثر قوة. حيث يعتبر أحد الغازات الدفيئة الأولية المسؤولة عن ظاهرة الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، ويتم إنتاجه من خلال الأنشطة البشرية والطبيعية، مثل حرق الغابات والوقود الأحفوري... وتهدف هذه الدراسة إلى الخوض في الديناميات الزمنية لتركيزات ثاني أكسيد الكربون، وتتبع الاختلافات، والمصادر، والمصارف، والعواقب المرتبطة بها من الماضي إلى يومنا هذا. من خلال تحليل الأنماط طويلة المدى، يمكننا الحصول على نظرة ثاقبة للدوافع وراء انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، والآليات التي تؤثر على تراكمه في الغلاف الجوي، والتداعيات اللاحقة على نظامنا المناخي.

## أولاً: عموميات حول انبعاثات ثاني أكسيد الكربون

## 1- تعريف غاز ثاني أكسيد الكربون:

ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) هو غاز عديم اللون والرائحة موجود بشكل طبيعي في الغلاف الجوي للأرض [1]. وتتكون من ذرة كربون واحدة وذرتين من الأكسجين ، ويبلغ وزنها الجزيئي حوالي 44 جم / مول ولا ينبعث ثاني أكسيد الكربون فقط من الأنشطة البشرية ولكن أيضاً عن طريق العمليات الطبيعية [2]. على سبيل المثال، تطلق المحيطات ثاني أكسيد الكربون عندما ترتفع درجة حرارتها وتمتصه عندما تبرد. وبالمثل ، ينتج ثاني أكسيد الكربون عن ظواهر طبيعية مثل حرائق الغابات ، وانحلال المواد العضوية ، والانفجارات البركانية [3]. ثاني أكسيد الكربون هو أحد الغازات الدفيئة الهامة التي تساهم في تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي للأرض ، مما يساعد على تنظيم درجة حرارة الكوكب [4]. إن ظاهرة الاحتباس الحراري هي عملية طبيعية تقوم فيها غازات معينة ، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون ، بحبس الحرارة من الشمس في الغلاف الجوي للأرض ، مما يحافظ على كوكب الأرض دافئاً بدرجة كافية لدعم الحياة [5].

• تتعمق هذه الدراسة في العموميات المحيطة بثاني أكسيد الكربون ، وسنكتشف مصادره وخصائصه وأهميته في مختلف جوانبه الطبيعية والبشرية [6].

## 2- المصادر الطبيعية لثاني أكسيد الكربون:

## 1-2 النشاط البركاني:

تطلق البراكين ثاني أكسيد الكربون، إلى جانب الغازات الأخرى والرماد، أثناء الانفجارات. هذا هو أحد المصادر الطبيعية المهمة لثاني أكسيد الكربون [7].

## 2-2 التنفس:

البشر، بما في ذلك الحيوانات، تفرز ثاني أكسيد الكربون كمنتج ثانوي للتنفس الخلوي. تحدث هذه العملية عندما يتم استهلاك الأكسجين ، ويتم إطلاق ثاني أكسيد الكربون كمنتج نفايات [8].

## 2-3 التحلل:

عندما تتحلل المواد العضوية مثل النباتات أو الحيوانات أو المواد العضوية الأخرى بشكل طبيعي ، يتم إطلاق ثاني أكسيد الكربون نتيجة لعملية التحلل [9].

## 2-4 حرائق الغابات:

أثناء حرائق الغابات أو حرائق الغابات الطبيعية، يتم إطلاق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مع احتراق الغطاء النباتي.

## 2-5 تسرب الغاز الطبيعي:

في بعض المناطق ، يحدث تسرب للغاز الطبيعي حيث يتم إطلاق غاز الميثان ، وهو أحد غازات الدفيئة القوية ، إلى جانب ثاني أكسيد الكربون [10]. يمكن العثور على هذه التسربات على الأرض أو تحت الماء ، وهي تساهم في الانبعاثات الطبيعية لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي [11].

## 2-6 صخور الكربونات:

تحتوي أنواع معينة من الصخور، مثل الحجر الجيري والرخام، على كربونات. بمرور الوقت ، يمكن لهذه الصخور أن تطلق ثاني أكسيد الكربون بشكل طبيعي من خلال عمليات مثل التجوية والتعرية [12].

## 2-7 خزانات الكربون الجيولوجية:

في أعماق قشرة الأرض ، يتم تخزين ثاني أكسيد الكربون في تكوينات جيولوجية مختلفة ، مثل طبقات الفحم وحقول النفط وخزانات الغاز الطبيعي [13]. على مدى فترات طويلة ، يمكن إطلاق بعض هذا الكربون المخزن بشكل طبيعي من خلال العمليات الجيولوجية ، مثل النشاط البركاني أو الفتحات الحرارية الأرضية [14].

## 2-8 التخمر الطبيعي:

يتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون كنتيجة لعمليات التخمر الطبيعية، مثل تخمر الحليب.

## 2-9 التحلل الطبيعي للتربة:

يتم تحلل المواد العضوية في التربة عن طريق البكتيريا والفطريات، مما يؤدي إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون كناتج فرعي [15].

## 2-10 الأنهار والبحيرات:

تحتوي المياه العذبة على ثاني أكسيد الكربون المذاب، والذي يطلق إلى الجو عندما يتم التبخر أو عندما يتعرض الماء لعمليات التحلل الطبيعية [16].

## 2-11 الترسبات البحرية:

تحتوي بعض الترسبات البحرية على كميات كبيرة من الكربون العضوي، وعند تحللها، يتم إطلاق ثاني أكسيد الكربون [17].

## 2-12 النشاط البركاني البحري:

يمكن أن يتسبب النشاط البركاني تحت سطح الماء في إطلاق ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى من المزارع الحرارية تحت الماء [18].

## 2-13 العواصف الرعدية:

خلال العواصف الرعدية، قد يتم إطلاق ثاني أكسيد الكربون من خلال الصواعق الكهربائية وعمليات التفكك الجزئي للجزيئات في الجو [19].

## 3- المصادر البشرية لثاني أكسيد الكربون:

### 3-1 احتراق الوقود الأحفوري:

يعد احتراق الوقود الأحفوري ، مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي ، أكبر مساهم في انبعاثات الكربون التي يسببها الإنسان [20]. تستخدم هذه الأنواع من الوقود بشكل أساسي لتوليد الكهرباء ، والنقل ، والعمليات الصناعية ، يؤدي حرق الوقود الأحفوري إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ، مما يزيد من التركيز العام لغازات الدفيئة [20].

### 3-2 إزالة الغابات والتغيرات في استخدام الأراضي:

يساهم تدمير الغابات ، لأغراض الزراعة وقطع الأشجار والتحصن في المقام الأول ، في انبعاثات الكربون [21]. تعمل الغابات كمصارف للكربون، حيث تمتص ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي. عندما يتم قطع الأشجار أو حرقها، يتم إطلاق الكربون المخزن مرة أخرى في الغلاف الجوي. بالإضافة إلى ذلك [22] ، يمكن أن تؤدي التغيرات في استخدام الأراضي ، مثل تحويل الغابات إلى أراضٍ زراعية ، إلى زيادة تدهور التربة وزيادة انبعاثات الكربون [23].

### 3-3 العمليات الصناعية:

الأنشطة الصناعية ، بما في ذلك إنتاج الأسمنت ، وتصنيع الصلب ، والإنتاج الكيميائي ، تطلق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون كمنتج ثانوي [24]. يمثل إنتاج الأسمنت وحده ما يقرب من 8 ٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. غالبًا ما تعتمد هذه العمليات الصناعية على العمليات كثيفة الاستهلاك للطاقة والتفاعلات ذات درجات الحرارة العالية ، مما يؤدي إلى انبعاثات كربونية كبيرة [25].

### 3-4 استخدام الطاقة السكنية والتجارية:

تساهم الطاقة المستهلكة في المباني السكنية والتجارية ، في المقام الأول للتدفئة والتبريد والكهرباء في انبعاثات الكربون [26]. يعتمد على الوقود الأحفوري للتدفئة ، والأجهزة غير الفعالة ، والعزل غير الكافي في المباني يمكن أن يزيد بشكل كبير من استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون المرتبطة بها [26].

**3-5 العمليات الصناعية والكيميائية:**

الأنشطة الصناعية المختلفة ، مثل التصنيع الكيميائي والتكرير وإنتاج المعادن والبلاستيك ، ينبعث منها ثاني أكسيد الكربون كمنتج ثانوي [27].

**3-6 حرق الكتلة الحيوية:**

يؤدي حرق الكتلة الحيوية ، مثل الخشب والمخلفات الزراعية ، لأغراض الطهي والتدفئة وتوليد الطاقة ، إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي [28].

**3-7 لأنشطة العسكرية:**

العمليات العسكرية ، بما في ذلك استخدام المركبات والطائرات والسفن ، تساهم في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من خلال احتراق الوقود الأحفوري [29].

**3-8 احتراق الوقود الأحفوري:**

يساهم حرق الفحم والنفط والغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء والنقل والعمليات الصناعية والتدفئة السكنية بكميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي [20].

**3-9 تحلل وتريميد النفايات:**

ينتج عن تحلل النفايات العضوية في مدافن النفايات غاز الميثان ( $CH_4$ ) ، والذي يمكن تحويله إلى ثاني أكسيد الكربون من خلال الهضم أو الاحتراق اللاهوائي [30]. ويؤدي حرق النفايات في المحارق إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون في الهواء [31].

**3-10 الزراعة:**

تؤدي الممارسات الزراعية مثل زراعة الأرز وتربية المواشي إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ، خاصة من غاز الميثان الناتج عن هضم الماشية وحقول الأرز [32].

**3-11 توليد الطاقة:**

ينتج عن تشغيل محطات الطاقة ، خاصة تلك التي تعمل بالفحم أو الغاز الطبيعي ، كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون [33]. وهذا ينطبق على كل من محطات الطاقة الحرارية التقليدية ومحطات الطاقة التي تعمل بالغاز [34].

4- خصائص ثاني أكسيد الكربون:

4-1 الكيمائية:

أ- الصيغة والبنية الكيميائية:

الصيغة الكيميائية لثاني أكسيد الكربون هي  $CO_2$  [36]. من الناحية الهيكلية، يتكون من ترتيب خطي لذرة كربون واحدة مرتبطة بذرتين من الأكسجين بواسطة روابط مزدوجة. يجعل هذا التركيب الجزيئي ثاني أكسيد الكربون مركبًا مستقرًا وخاملاً نسبيًا [37].

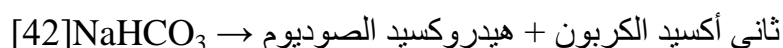
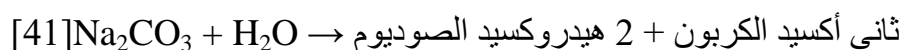
ب- الذوبان:

يُظهر ثاني أكسيد الكربون قابلية ذوبان معتدلة في الماء. عندما يذوب ، فإنه يشكل حمض ضعيف يسمى حمض الكربونيك ( $H_2CO_3$ ) من خلال التفاعل العكسي التالي [38]:



ج- التفاعلية:

في حين أن ثاني أكسيد الكربون مستقر كيميائيًا وغير متفاعل نسبيًا في ظل الظروف العادية، فإنه يمكن أن يشارك في تفاعلات مختلفة في ظل ظروف محددة. على سبيل المثال ، يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع بعض المركبات القلوية [39] ، مثل هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) ، لتكوين كربونات أو بيكربونات [40]:



د- تفاعلات الاختزال:

يمكن أن يخضع ثاني أكسيد الكربون لتفاعلات اختزال ، والتي تنطوي على اكتساب الإلكترونات أو انخفاض في حالة الأكسدة [43].

4-2 الفيزيائية:

أ- الصيغة والبنية الجزيئية:

عند درجة الحرارة والضغط القياسيين، يوجد ثاني أكسيد الكربون كغاز. لها صيغة جزيئية لثاني أكسيد الكربون، مع بنية جزيئية خطية. تقع ذرة الكربون في المركز، مرتبطة بذرتين من الأكسجين بواسطة روابط مزدوجة. تبلغ زاوية الرابطة بين ذرات الكربون والأكسجين 180 درجة تقريبًا [44].



الصورة 1: توضح بنية غاز الكربون [45]

### ب- الكثافة والوزن الجزيئي:

تعتمد كثافة ثاني أكسيد الكربون على درجة الحرارة والضغط. عند (0 درجة مئوية وضغط جوي واحد)، تبلغ كثافته حوالي 1.98 كجم / متر مكعب. الوزن الجزيئي لثاني أكسيد الكربون حوالي 44.01 جرام لكل مول [46].

### ج- انتقالات المرحلة:

يمكن أن يخضع ثاني أكسيد الكربون لتحولات الطور بين الحالات الصلبة والسائلة والغازية تحت ظروف درجات حرارة وضغط مختلفة [47]:

### د- ثاني أكسيد الكربون الصلب (الثلج الجاف):

عند درجات حرارة أقل من -78.5 درجة مئوية (-109.3 درجة فهرنهايت) وتحت الضغط الجوي يخضع ثاني أكسيد الكربون لعملية تسامي مباشر ، ويتحول من مادة صلبة إلى غاز دون الانتقال إلى مرحلة سائلة [48]. يستخدم ثاني أكسيد الكربون الصلب ، المعروف باسم الثلج الجاف ، على نطاق واسع للتبريد والحفظ والتأثيرات الخاصة بسبب درجات الحرارة المنخفضة وخصائص التسامي [49].

ثاني أكسيد الكربون السائل: تحت ضغط مرتفع، يمكن تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى حالة سائلة. عند درجات حرارة أعلى من -56.6 درجة مئوية (-69.9 درجة فهرنهايت) وتحت حوالي 5.1 ضغط جوي، يسيل ثاني أكسيد الكربون. يجد ثاني أكسيد الكربون السائل تطبيقاً في العديد من العمليات الصناعية بما في ذلك التفاعلات الكيميائية ، كالمذيب ، وفي كربنة المشروبات [50].

### هـ- ثاني أكسيد الكربون الغازي:

غالبًا ما يصادف ثاني أكسيد الكربون كغاز في الظروف العادية. تبلغ درجة الحرارة الحرجة 31.1 درجة مئوية (87.98 درجة فهرنهايت) وضغط حرج يبلغ 73.8 درجة مئوية. عند درجات حرارة أعلى

من النقطة الحرجة ، لا يمكن أن يوجد ثاني أكسيد الكربون في حالة سائلة ، بغض النظر عن الضغط المطبق [51].

و- نقطة الانصهار:

لا يحتوي ثاني أكسيد الكربون على مرحلة سائلة عند الضغط الجوي. نقطته الثلاثية هي -56.6 درجة مئوية ، مما يعني أنه عند ضغوط أقل من 5.2 ضغط جوي [52] ، فإنه سوف يتحول مباشرة من الصلب إلى الغاز [53].

س- نقطة الغليان:

تبلغ درجة غليان ثاني أكسيد الكربون -78.5 درجة مئوية عند الضغط الجوي.

ك- السعة الحرارية:

يحتوي ثاني أكسيد الكربون على سعة حرارية منخفضة مقارنة بالغازات الأخرى ، مما يعني أنه يتطلب طاقة أقل للتسخين [54].

ل- اللزوجة:

غاز ثاني أكسيد الكربون له لزوجة منخفضة تقارب 0.015 عند STP [55]

5- أهمية غاز ثاني أكسيد الكربون واستخداماته:

تهدف هذه الدراسة لاستكشاف مفصل للطرق المختلفة التي يكون فيها ثاني أكسيد الكربون أمرًا حيويًا لاستمرار الحياة على الأرض من بينها [20] :

1-5 الأهمية:

أ- البناء الضوئي ونمو النبات:

يعد ثاني أكسيد الكربون مكونًا أساسيًا في العملية المعروفة باسم التمثيل الضوئي ، وهي الطريقة التي تحول بها النباتات والكائنات الحية الأخرى الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية [56]. أثناء عملية التمثيل الضوئي ، تمتص النباتات ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي ، وبالاقتران مع الماء وأشعة الشمس ، تقوم بتحويله إلى أكسجين وجلوكوز (سكر) [57]. هذه العملية حيوية لأنها تنتج الأكسجين، وهو ضروري لبقاء جميع الكائنات الهوائية، بما في ذلك البشر. علاوة على ذلك ، يعمل ثاني أكسيد الكربون كمصدر أساسي للكربون للنباتات ، مما يسهل نموها وتطورها [58].

**ب- الإنتاج الغذائي والعائد الزراعي:**

يلعب ثاني أكسيد الكربون دورًا مهمًا في الزراعة الحديثة وإنتاج الغذاء [59]. يمكن أن تؤدي المستويات المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى تحفيز نمو النباتات وزيادة المحاصيل الزراعية. هذه الظاهرة، المعروفة باسم تأثير التخصيب بثاني أكسيد الكربون [60]، تعزز كفاءة التمثيل الضوئي وتعزز إنتاجية أكبر للمحاصيل. يمكن للمزارعين التلاعب بمستويات ثاني أكسيد الكربون في البيوت البلاستيكية لتحسين نمو النباتات وزيادة إنتاج الغذاء [61]، مما يؤدي إلى تحسين الأمن الغذائي وتقليل الضغط على النظم البيئية الطبيعية [62].

**2-5 استخدامات غاز ثاني أكسيد الكربون:**

هناك طيف واسع من التطبيقات التي يدخل فيها ثاني أكسيد الكربون، وذلك نظراً لانخفاض سعره [63]، ولعدم خطورته، ولسهولة التعامل به، سواءً على شكل غاز أو سائل أو صلب أو في الطور فوق الحرج [64].

**أ- الصناعات الكيميائية:**

**❖ التوليف الكيميائي:**

يمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون كمادة خام في تركيبات كيميائية مختلفة، مما يساهم في تطوير عمليات مستدامة. بعض الأمثلة البارزة تشمل [65]:

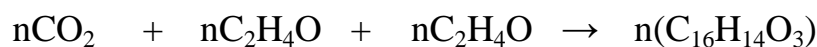
**❖ إنتاج اليوريا:**

يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الأمونياك (NH<sub>3</sub>) لتكوين اليوريا، وهو سماد حيوي قائم على النيتروجين ومركب كيميائي يستخدم في إنتاج البلاستيك والراتجات [66]. يمكن تمثيل التفاعل الكيميائي على النحو التالي [67]:



**❖ إنتاج البولي:**

ثاني أكسيد الكربون هو لبنة أساسية لتخليق البولي كربونات، وهو بلاستيك هندسي متعدد الاستخدامات. في هذه العملية [68]، يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الإيبوكسيدات [69]، وينتج بوليمرات بولي كربونات [70]. مثال على هذا التفاعل هو:



## ❖ تكوين الكربونات:

يمكن دمج ثاني أكسيد الكربون مع أكاسيد المعادن ، مثل أكسيد الكالسيوم (CaO) لإنتاج الكربونات [71]. يتم استخدام هذا التفاعل في صناعة الأسمنت لإنتاج كربونات الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>) ، وهو مكون رئيسي في صناعة الأسمنت [72].

## ❖ الاستخلاص المعزز للنفط (EOR):

يستخدم ثاني أكسيد الكربون في تقنيات الاستخلاص المعزز للنفط لزيادة استخراج النفط من الخزانات [73]. في هذه العملية ، يتم حقن ثاني أكسيد الكربون في مكامن النفط ، حيث يختلط بالزيت ويقلل من لزوجته ، مما يسهل استخراجها [74]. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يعمل ثاني أكسيد الكربون أيضًا كعامل إزاحة، مما يدفع النفط نحو آبار الإنتاج. الصيغة الكيميائية لإذابة ثاني أكسيد الكربون في الزيت هي [75]:

ثاني أكسيد الكربون + النفط ← استخلاص الزيت المحسن [76]

## 3-5 استخدامات أخرى لثاني أكسيد الكربون:

## أ- إخماد الحريق:

الخصائص الفريدة لثاني أكسيد الكربون تجعله مناسبًا لأنظمة إخماد الحرائق. يتم تخزين ثاني أكسيد الكربون كغاز مضغوط أو سائل ، وعند إطلاقه ، فإنه يزيح الأكسجين ، ويخمد الحرائق بشكل فعال [77]. يستخدم بشكل شائع في طفايات الحريق ، خاصةً في الحرائق السائلة الكهربائية والقابلة للاشتعال ، حيث لا يترك أي بقايا ولا يضر بالمعدات الحساسة [78].

## ب- معالجة وحفظ الغذاء:

يُعد ثاني أكسيد الكربون العديد من التطبيقات في صناعة الأغذية. يتم استخدامه كمبرد في عمليات التجميد والتبريد. بالإضافة إلى ذلك ، يتم استخدام ثاني أكسيد الكربون في عبوات الغلاف الجوي المعدلة [79]، حيث يساعد على إطالة العمر الافتراضي للأطعمة القابلة للتلف عن طريق تثبيط نمو الميكروبات والأكسدة [80]. يستخدم ثاني أكسيد الكربون أيضًا في التجميد المبرد وكعامل تنظيف لمعدات تجهيز الأغذية.

## ج- زراعة الدفيئة:

في البيئات الدفيئة الخاضعة للرقابة [81] ، يتم استخدام إثراء ثاني أكسيد الكربون لتعزيز نمو النباتات وتعزيز غلات المحاصيل. تؤدي زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون إلى تحفيز عملية التمثيل

الضوئي [82]، مما يؤدي إلى تحسين معدلات نمو النبات وزيادة الإنتاجية وتحسين جودة المحاصيل. هذه التقنية ذات قيمة خاصة في المناطق ذات أشعة الشمس المحدودة أو المناخات الباردة [83].

#### د- اللحام وتصنيع المعادن:

يستخدم ثاني أكسيد الكربون بشكل شائع كغاز وقائي في عمليات اللحام وتصنيع المعادن [84]. عندما يقترن غازات أخرى مثل الأرجون ، فإن ثاني أكسيد الكربون يخلق جوًا خاملًا يحمي المعدن الملحومة من الأكسدة ، مما ينتج عنه لحام عالي الجودة مع تحسين القوة والنزاهة [85].

#### هـ- التطبيقات الطبية والعلاجية:

لثاني أكسيد الكربون عدة تطبيقات طبية. في الطب ، يتم استخدامه في إجراءات التنظير الداخلي كغاز نفخ لخلق رؤية واضحة للمنطقة الجراحية [86]. في العلاج التنفسي، يمكن إعطاؤه كمحفز للجهاز التنفسي لعلاج حالات مثل انقطاع التنفس. بالإضافة إلى ذلك ، يتم استخدام ليزر ثاني أكسيد الكربون في طب الجلد وإجراءات التجميل لتقشير الجلد والجراحة [87].

#### و- التبريد:

يستخدم ثاني أكسيد الكربون كمبرد في بعض أنظمة التبريد. على وجه الخصوص ، تكتسب أنظمة ثاني أكسيد الكربون العابرة للحرز شعبية بسبب كفاءتها العالية في استخدام الطاقة وتأثيرها البيئي المنخفض [88]. تستخدم هذه الأنظمة في التبريد التجاري ، وتبريد النقل ، وتطبيقات التبريد الصناعي [89].

#### ي- تخزين الطاقة المتجددة:

يمكن استخدام ثاني أكسيد الكربون في أنظمة تخزين الطاقة على أساس التقاط الكربون واستخدامه. على سبيل المثال [90] ، يمكن استخدام الطاقة المتجددة الزائدة الناتجة عن مصادر مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى وقود اصطناعي أو مواد كيميائية، مما يؤدي إلى تخزين الطاقة بشكل فعال في شكل محايد للكربون لاستخدامها لاحقًا [20].

ثانياً: الدراسة الكرونولوجية لثاني أكسيد الكربون:

لم يتم اكتشاف ثاني أكسيد الكربون بصورة مباشرة حتى القرن الـ 17 [91]، ولكن كان يعرف باسم "الهواء الثقيل" [92] أو حتى "الهواء المخملي" لأنه كان يمتلك كثافة أعلى من الهواء الطبيعي [93]

القرن 18 عندما بدأ الإنسان في استخدام الوقود الحفري بشكل كبير وبدأت تزايد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الجو ومع تطور الصناعة والاعتماد على الوقود الحفري في العصر الحديث [94]، زادت كمية الانبعاثات بشكل كبير [95].

حوالي عام 1630، اكتشف العالم الفلمنكي جان فان هي لمونت (1580-1644) أن بعض الأبخرة تختلف عن الهواء [96]، والذي كان يُعتقد في ذلك الوقت أنه مادة أو عنصر واحد. صاغ فان هي لمونت مصطلح الغاز لوصف هذه الأبخرة وجمع الغاز المنبعث من حرق الأخشاب، وأطلق عليه اسم سيل فيستر الغازي [97]. اليوم، يُعرف هذا الغاز باسم ثاني أكسيد الكربون. يرجع الفضل إلى فان هي لمونت في اكتشافه [98]. كما أدرك أن ثاني أكسيد الكربون ينتج عن تخمير والعمليات الطبيعية الأخرى. قبل فترة طويلة، بدأ علماء آخرون في ملاحظة أوجه التشابه بين عمليتي التنفس والاحتراق، وكلاهما يستهلك ثاني أكسيد الكربون وينبعث منه [99]. على سبيل المثال، اكتشفوا أن لهب الشمعة سينطفئ في النهاية عند وضعه في وعاء به كمية محدودة من الهواء، وكذلك حياة طائر أو حيوان صغير ثم في عام [100] 1756، أثبت الكيميائي الاسكتلندي جوزيف بلاك (1728-1799) أن ثاني أكسيد الكربون، الذي أطلق عليه الهواء الثابت، موجود في الغلاف الجوي وأنه يتحد مع مواد كيميائية أخرى لتشكيل مركبات جديدة [101]. قام بتسخين مسحوق الجير (أو أكسيد الكالسيوم)، الذي كان يستخدم في عمليات التطهير في ذلك الوقت، ولاحظ إن الغاز الناتج كان يحتوي على مادة مختلفة عن الهواء الطبيعي و حدد بلاك أيضاً ثاني أكسيد الكربون في الزفير [102]، و حدد أن الغاز أثقل من الهواء، و وصف سلوكه الكيميائي بأنه سلوك حمض ضعيف. سرعان ما أدى العمل الرائد لفان هي لمونت وبلاك إلى اكتشاف غازات أخرى بواسطة الكيميائي والفيزيائي الإنجليزي هنري كافنديش (1731-1810) [103]، والكيميائي الفرنسي أنطوان لوران أفوازييه (1743-1794)، والكيميائي السويدي كارل فيلهلم شيل (1742-1786) وكيميائيين آخرين. نتيجة لذلك، بدأ العلماء يدركون أنه يجب وزن الغازات وحسابها في تحليل المركبات الكيميائية، تماماً مثل المواد الصلبة والسوائل [103].

كذلك في عام 1824، اكتشف العالم الفرنسي "جوزيف لويس جاي لوساك" ثاني أكسيد الكربون و وصف خصائصه الكيميائية والفيزيائية [104]. ولقد لعبت الكيمياء الحديثة دوراً هاماً في فهم ثاني أكسيد الكربون وأثاره على البيئة وتغيرات المناخية حيث أجرى العالم السويدي Svante Arrhenius أول

تقرير لتأثير ثاني أكسيد الكربون على درجات الحرارة العالمية [105]. واستندت تقديراته إلى قياسات درجات الحرارة وتراكيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

وفي عام 1958، قام العالم الجيوفيزياء الأمريكي Charles David Keeling بإجراء قياسات دقيقة لتراكيز CO<sub>2</sub> في الغلاف الجوي على قمة ماونالوا زيادة تدريجية في تراكيز CO<sub>2</sub> في الغلاف الجوي [106].

بين عامي 1850 و1960، شهد العالم عموماً نمو مستمراً في الانبعاثات، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى التصنيع والنمو السكاني، لا سيما في الولايات المتحدة [107]. لم يشهد هذا التطور سوى بعض الانقطاعات بسبب الأحداث التاريخية، مثل الكساد الكبير في الثلاثينات ونهاية الحرب العالمية الثانية في عام 1945 [108]. ومع ذلك بحلول الخمسينيات من القرن الماضي، بدأت الصين وروسيا في رؤية انبعاثاتهما تتصاعد مع نمو اقتصاداتهما [109].

وفي العقود الأخيرة، بدأ العلماء في دراسة تأثير ثاني أكسيد الكربون على التغيرات المناخية وزيادة الاهتمام بمراقبة تراكيزه في الجو وفي عام 1992، تأسست منظمة الأمم المتحدة للتغيرات المناخية (UNFCCC) بهدف التصدي للتحديات المتعلقة بالتغيرات المناخية والحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وغيرها من غازات الاحتباس الحراري [110].

وفي عام 2015، تم التوصل إلى الاتفاقية باريس للتغيرات المناخية والتي تستهدف الحد من ارتفاع درجة حرارة الأرض بحد أقصى 2° درجة مئوية عن مستويات ما قبل الثورة الصناعية [111]. وتستند الاتفاقية على مبادئ وإجراءات لتحسين العمل الدولي لمكافحة التغيرات المناخية، بما في ذلك تخفيض الانبعاثات وتحويل الاقتصاد إلى اقتصاد منخفض [112]. لأنه في الوقت الحالي يتمتع غاز CO<sub>2</sub> بأهمية كبيرة في دراسة تغيرات المناخ وتأثيرات الاحتباس الحراري على البيئة، حيث يعتبر من بين الغازات التي تساهم في هذه الظاهرة [113]. وأدرك العلماء إن زيادة تراكيز ثاني أكسيد الكربون في غلاف الجوي تؤدي إلى تغيرات في نظام المناخ، ما أدى إلى بدء دراسات أكثر تفصيلاً حول تأثيرات هذا الغاز على البيئة والصحة العامة [114]. يمكن إجراء دراسة كرونولوجية لثاني أكسيد الكربون على النحو التالي:

### ❖ الثورة الصناعية (1750-1850):

كان الاستخدام الواسع للوقود الأحفوري، مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي في وقت لاحق، بمثابة بداية الثورة الصناعية. شهدت هذه الفترة زيادة كبيرة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بسبب احتراق هذه الأنواع من الوقود الغني بالكربون [115]. في حين أن التأثير الكلي على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي كان محدوداً خلال هذه المرحلة، فقد مهد الطريق للزيادات الكبيرة في المستقبل [116].

## ❖ العصر الحديث (1850-1950):

مع التقدم في التصنيع والتوسع في استخدام الوقود الأحفوري ، بدأ تركيز ثاني أكسيد الكربون في الارتفاع بشكل ملحوظ [117]. شهدت هذه الفترة زيادة تدريجية من 280 جزء في المليون إلى حوالي 310 جزء في المليون بحلول منتصف القرن العشرين [118]. كما ساهمت إزالة الغابات والتغيرات في استخدام الأراضي في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ، حيث تعمل الغابات كمصارف حيوية للكربون [119].

## ❖ الارتفاع المتسارع (1950-2000):

شهد النصف الأخير من القرن العشرين تسارعًا كبيرًا في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون [120]. أدت عوامل مثل النمو السكاني السريع والتحضر وزيادة الطلب على الطاقة إلى زيادة كبيرة في استهلاك الوقود الأحفوري [121]. تجاوز تركيز ثاني أكسيد الكربون 350 جزء في المليون بحلول أواخر الثمانينيات ، متجاوزًا المستويات التي لم نشهدها منذ مئات الآلاف من السنين [122]. وشهدت هذه الفترة أيضًا إنشاء الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في عام 1988 ، والتي اعترفت بأن ثاني أكسيد الكربون هو المحرك الرئيسي لتغير المناخ [123].

## ❖ الاتجاهات المعاصرة (2000-2021):

تميز القرن الحادي والعشرون بالاتجاه التصاعدي المستمر في تركيز ثاني أكسيد الكربون. تجاوز التركيز علامة 400 جزء في المليون رمزية في حوالي عام 2013 ، مما يسلط الضوء على الحاجة الملحة لمعالجة القضية [124]. لا يزال حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات والعمليات الصناعية من المصادر الرئيسية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون [125]. أصبح تأثير الأنشطة البشرية على نظام المناخ العالمي واضحًا بشكل متزايد من خلال ارتفاع درجات الحرارة ، وذوبان القمم الجليدية ، وظواهر الطقس المتطرفة [126].

## خاتمة الفصل الأول:

نختتم دراستنا حول ثاني أكسيد الكربون بالنتائج التي توصلنا إليها وبعض التوصيات المهمة. تم تحليل العوامل المساهمة في ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، بما في ذلك الأنشطة الصناعية واحتراق الوقود الأحفوري. وتم استعراض الدراسات الكرونولوجية المهمة التي تعود إلى العصور المختلفة والتي تسلط الضوء على زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وتأثيرها على المناخ والبيئة. تم استعراض البحوث والأدلة العلمية التي تدعم الفرضية الرئيسية بشأن زيادة درجات الحرارة العالمية وتغير المناخ الناجم عن ثاني أكسيد الكربون.

- .1 Cho, K.J., Carbon dioxide angiography: scientific principles and practice. Vascular Specialist International, 2015. **31**(3): p. 67.
- .2 Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis, Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. 2016: John Wiley & Sons.
- .3 Revelle, R., Carbon dioxide and world climate. Scientific American, 1982. **247**(2): p. 35-43.
- .4 Schneider, S.H., The greenhouse effect: science and policy. Science, 1989. **243**(4892): p. 771-781.
- .5 Koulaidis, V. and V. Christidou, Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. Science Education, 1999. **83**(5): p. 559-576.
- .6 Harley, C.D., et al., Effects of climate change on global seaweed communities. Journal of Phycology, 2012. **48**(5): p. 1064-1078.
- .7 Newman, S., S. Epstein, and E. Stolper, Water, carbon dioxide, and hydrogen isotopes in glasses from the ca. 1340 AD eruption of the Mono Craters, California: Constraints on degassing phenomena and initial volatile content. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1988. **35**(1-2): p. 75-96.
- .8 Miekisch, W., J.K. Schubert, and G.F. Noeldge-Schomburg, Diagnostic potential of breath analysis—focus on volatile organic compounds. Clinica chimica acta, 2004. **347**(1-2): p. 25-39.
- .9 Tenney, F.G. and S.A. Waksman, Composition of natural organic materials and their decomposition in the soil: IV. The nature and rapidity of decomposition of the various organic complexes in different plant materials, under aerobic conditions. Soil Science, 1929. **28**(1): p. 55.
- .10 Howarth, R.W., R. Santoro, and A. Ingraffea, Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations: A letter. Climatic change, 2011. **106**: p. 679-690.
- .11 Russell, B.D., et al., Future seagrass beds: Can increased productivity lead to increased carbon storage? Marine Pollution Bulletin, 2013. **73**(2): p. 463-469.
- .12 Winkler, E., Stone in architecture: properties, durability. 1997: Springer Science & Business Media.
- .13 Gunter, W.D., S. Bachu, and S. Benson, The role of hydrogeological and geochemical trapping in sedimentary basins for secure geological storage of carbon dioxide. Geological Society, London, Special Publications, 2004. **233**(1): p. 129-145.

- .14 Garrett, R.G., Natural sources of metals to the environment. Human and ecological risk assessment, 2000. **6**(6): p. 945-963.
- .15 Sandberg, F. and D. Corrigan, Natural remedies: their origins and uses. 2001: CRC Press.
- .16 Bhateria, R. and D. Jain, Water quality assessment of lake water: a review. Sustainable Water Resources Management, 2016. **2**: p. 161-173.
- .17 Canfield, D.E., Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. Chemical geology, 1994. **114**(3-4): p. 315-329.
- .18 Helmreich, S., Alien ocean: Anthropological voyages in microbial seas. 2009: Univ of California Press.
- .19 Schumann, U. and H. Huntrieser, The global lightning-induced nitrogen oxides source. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007. **7**(14): p. 3823-3907.
- .20 Olah, G.A., A. Goepfert, and G.S. Prakash, Chemical recycling of carbon dioxide to methanol and dimethyl ether: from greenhouse gas to renewable, environmentally carbon neutral fuels and synthetic hydrocarbons. The Journal of organic chemistry, 2009. **74**(2): p. 487-498.
- .21 Chakravarty, S., et al., Deforestation: causes, effects and control strategies. Global perspectives on sustainable forest management, 2012. **1**: p. 1-26.
- .22 Grace, J., Understanding and managing the global carbon cycle. Journal of Ecology, 2004. **92**(2): p. 189-202.
- .23 Don, A., J. Schumacher, and A. Freibauer, Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. Global Change Biology, 2011. **17**(4): p. 1658-1670.
- .24 Imbabi, M.S., C. Carrigan, and S. McKenna, Trends and developments in green cement and concrete technology. International Journal of Sustainable Built Environment, 2012. **1**(2): p. 194-216.
- .25 Benhelal, E., et al., Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry. Journal of cleaner production, 2013. **51**: p. 142-161.
- .26 Nejat, P., et al., A global review of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO<sub>2</sub> emitting countries). Renewable and sustainable energy reviews, 2015. **43**: p. 843-862.
- .27 Koutinas, A.A., et al., Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers. Chemical Society Reviews, 2014. **43**(8): p. 2587-2627.

- .28 Crutzen, P.J. and M.O. Andreae, Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 1990. **250**(4988): p. 1669-1678.
- .29 Peters, G.P., et al., Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies. *Nature Climate Change*, 2020. **10**(1): p. 3-6.
- .30 Bogner, J., et al., Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation). *Waste Management & Research*, 2008. **26**(1): p. 11-32.
- .31 Rendek, E., G. Ducom, and P. Germain, Carbon dioxide sequestration in municipal solid waste incinerator (MSWI) bottom ash. *Journal of hazardous materials*, 2006. **128**(1): p. 73-79.
- .32 Cole, C., et al., Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 1997. **49**: p. 221-228.
- .33 Buhre, B.J., et al., Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation. *Progress in energy and combustion science*, 2005. **31**(4): p. 283-307.
- .34 Traber, T. and C. Kemfert, Gone with the wind?—Electricity market prices and incentives to invest in thermal power plants under increasing wind energy supply. *Energy Economics*, 2011. **33**(2): p. 249-256.
- .35 Leeson, D., et al., A Techno-economic analysis and systematic review of carbon capture and storage (CCS) applied to the iron and steel, cement, oil refining and pulp and paper industries, as well as other high purity sources. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2017. **61**: p. 71-84.
- .36 Stiling, P. and T. Cornelissen, How does elevated carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) affect plant–herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO<sub>2</sub>-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. *Global change biology*, 2007. **13**(9): p. 1823-1842.
- .37 Freund, H.-J. and M.W. Roberts, Surface chemistry of carbon dioxide. *Surface Science Reports*, 1996. **25**(8): p. 225-273.
- .38 Meldrum, N.U. and F.J. Roughton, Carbonic anhydrase. Its preparation and properties. *The Journal of physiology*, 1933. **80**(2): p. 113.
- .39 Peters, M., et al., Chemical technologies for exploiting and recycling carbon dioxide into the value chain. *ChemSusChem*, 2011. **4**(9): p. 1216-1240.

- .40 Hikita, H., S. Asai, and T. Takatsuka, Absorption of carbon dioxide into aqueous sodium hydroxide and sodium carbonate-bicarbonate solutions. *The Chemical Engineering Journal*, 1976. **11**(2): p. 131-141.
- .41 Berg, R.L. and C.E. Vanderzee, Thermodynamics of carbon dioxide and carbonic acid:(a) the standard enthalpies of solution of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (s),  $\text{NaHCO}_3$  (s), and  $\text{CO}_2$  (g) in water at 298.15 K;(b) the standard enthalpies of formation, standard Gibbs energies of formation, and standard entropies of  $\text{CO}_2$  (aq),  $\text{HCO}_3^-$ (aq),  $\text{CO}_3^{2-}$ (aq),  $\text{NaHCO}_3$  (s),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (s),  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (s), and  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (s). *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 1976. **8**(12): p. 1113-1136.
- .42 Yoo, M., S.-J. Han, and J.-H. Wee, Carbon dioxide capture capacity of sodium hydroxide aqueous solution. *Journal of environmental management*, 2013. **114**: p. 512-519.
- .43 Jernigan, G. and G. Somorjai, Carbon monoxide oxidation over three different oxidation states of copper: metallic copper, copper (I) oxide, and copper (II) oxide-a surface science and kinetic study. *Journal of Catalysis*, 1994. **147**(2): p. 567-577.
- .44 Yang, Q. and C. Zhong, Molecular simulation of carbon dioxide/methane/hydrogen mixture adsorption in metal-organic frameworks. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2006. **110**(36): p. 17776-17783.
- .45 Helveg, S., et al., Atomic-scale imaging of carbon nanofibre growth. *Nature*, 2004. **427**(6973): p. 426-429.
- .46 Haddadnia, A., *Phase Behaviour and Physical Properties of Athabasca Bitumen and Solvent Mixtures*. 2016, Graduate Studies.
- .47 Sachdev, S., Quantum phase transitions. *Physics world*, 1999. **12**(4): p. 33.
- .48 Haney, P.D. and C.L. Hamann, Recarbonation and liquid carbon dioxide. *Journal-American Water Works Association*, 1969. **61**(10): p. 512-521.
- .49 Scott, J.L., D.G. Kraemer, and R.J. Keller, Occupational hazards of carbon dioxide exposure. *Journal of Chemical Health & Safety*, 2009. **16**(2): p. 18-22.
- .50 El-Kaddah N.H., Carbon-oxygen equilibrium and homogeneous nucleation of carbon monoxide bubbles in levitated molten iron. 1975.
- .51 Dilshad, S., A.R. Kalair, and N. Khan, Review of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) based heating and cooling technologies: past, present, and future outlook. *International Journal of Energy Research*, 2020. **44**(3): p. 1408-1463.
- .52 Ellis, A. and R. Golding, The solubility of carbon dioxide above 100 degrees C in water and in sodium chloride solutions. *American Journal of Science*, 1963. **261**(1): p. 47-60-

- .53 Goyal, H., D. Seal, and R. Saxena, Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2008. **12**(2): p. 504-517.
- .54 Forsberg, C.W., P.F. Peterson, and P.S. Pickard, Molten-salt-cooled advanced high-temperature reactor for production of hydrogen and electricity. *Nuclear Technology*, 2003. **144**(3): p. 289-302.
- .55 Mariwala, R.K. and H.C. Foley, Evolution of ultramicroporous adsorptive structure in poly (furfuryl alcohol)-derived carbogenic molecular sieves. *Industrial & engineering chemistry research*, 1994. **33**(3): p. 607-615.
- .56 Bassham, J.A. and M. Calvin, *The path of carbon in photosynthesis*. 1960: Springer.
- .57 Barber, J., *Photosynthetic energy conversion: natural and artificial*. *Chemical Society Reviews*, 2009. **38**(1): p. 185-196.
- .58 Higa, T. and J.F. Parr, *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. Vol. 1. 1994: International Nature Farming Research Center Atami.
- .59 Sekhon, B.S., *Nanotechnology in agri-food production: an overview*. *Nanotechnology, science and applications*, 2014: p. 31-53.
- .60 Farrar, J. and M. Williams, The effects of increased atmospheric carbon dioxide and temperature on carbon partitioning, source-sink relations and respiration. *Plant, Cell & Environment*, 1991. **14**(8): p. 819-830.
- .61 Stavi, I. and R. Lal, *Agroforestry and biochar to offset climate change: a review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013. **33**: p. 81-96.
- .62 Bommarco, R., D. Kleijn, and S.G. Potts, *Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security*. *Trends in ecology & evolution*, 2013. **28**(4): p. 230-238.
- .63 Leung, D.Y., G. Caramanna, and M.M. Maroto-Valer, *An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. **39**: p. 426-443.
- .64 Zhang, L., C.C. Xu, and P. Champagne, *Overview of recent advances in thermochemical conversion of biomass*. *Energy conversion and management*, 2010. **51**(5): p. 969-982.
- .65 Anastas, P. and N. Eghbali, *Green chemistry: principles and practice*. *Chemical Society Reviews*, 2010. **39**(1): p. 301-312.

- .66 Estahbanati, M.K., et al., Environmental impacts of recovery of resources from industrial wastewater, in Biomass, biofuels, biochemicals. 2021, Elsevier. p. 121-162.
- .67 Pérez-Fortes, M., A. Bocin-Dumitriu, and E. Tzimas, CO2 utilization pathways: techno-economic assessment and market opportunities. Energy Procedia, 2014. **63**: p. 7968-7975.
- .68 Liu, Q., et al., Using carbon dioxide as a building block in organic synthesis. Nature communications, 2015. **6**(1): p. 5933.
- .69 Darensbourg, D.J. and M.W. Holtcamp, Catalysts for the reactions of epoxides and carbon dioxide. Coordination Chemistry Reviews, 1996. **153**: p. 155-174.
- .70 Zhu, Y., C. Romain, and C.K. Williams, Sustainable polymers from renewable resources. Nature, 2016. **540**(7633): p. 354-362.
- .71 Gupta, H. and L.-S. Fan, Carbonation– calcination cycle using high reactivity calcium oxide for carbon dioxide separation from flue gas. Industrial & engineering chemistry research, 2002. **41**(16): p. 4035-4042.
- .72 Jonkers, H.M., Self healing concrete: a biological approach. Self healing materials: an alternative approach to 20 centuries of materials science, 2007: p. 195-204.
- .73 Verma, M.K. 'Fundamentals of carbon dioxide-enhanced oil recovery (CO2-EOR): A supporting document of the assessment methodology for hydrocarbon recovery using CO2-EOR associated with carbon sequestration. 2015: US Department of the Interior, US Geological Survey Washington, DC.
- .74 Holm, L. and V. Josendal, Mechanisms of oil displacement by carbon dioxide. Journal of petroleum Technology, 1974. **26**(12): p. 1427-1438.
- .75 Zhang, Z., et al., Recent advances in carbon dioxide utilization. Renewable and sustainable energy reviews, 2020. **125**: p. 109799.
- .76 Thomas, S., Enhanced oil recovery-an overview. Oil & Gas Science and Technology- Revue de l'IFP, 2008. **63**(1): p. 9-19.
- .77 Rodriguez, B.R. Development of the International Space Station (ISS) fine water mist (FWM) portable fire extinguisher. in 43rd International Conference on Environmental Systems. 2013.
- .78 Junjunan, S.F., et al., A review on fire protection systems in military and civilian vehicles. Fire technology, 2021: p. 1-40.
- .79 Stoecker, W.F., Industrial refrigeration handbook. 1998: McGraw-Hill Education.

- .80 Sivertsvik, M., W.K. Jeksrud, and J.T. Rosnes, A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products—significance of microbial growth, activities and safety. *International Journal of Food Science & Technology*, 2002. **37**(2): p. 107-127.
- .81 Tsai, W.-T., H.-P. Chen, and W.-Y. Hsien, A review of uses, environmental hazards and recovery/recycle technologies of perfluorocarbons (PFCs) emissions from the semiconductor manufacturing processes. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2002. **15**(2): p. 65-75.
- .82 Leakey, A.D., Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2009. **276**(1): (666p. 2333-2343.
- .83 Grace, J., 3. Plant response to wind. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1988. **22**: p. 71-88.
- .84 Insley, A.L., et al., Occupational survey of airborne metal exposures to welders, metalworkers, and bystanders in small fabrication shops. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2019. **16**(6): p. 410-421.
- .85 Norrish, J., *Advanced welding processes*. 1992: Springer Science & Business Media.
- .86 Harrell, A.G. and B.T. Heniford, Minimally invasive abdominal surgery: lux et veritas past, present, and future. *The American journal of surgery*, 2005. **190**(2): p. 239-243.
- .87 Yosipovitch, G., A. DeVore, and A. Dawn, Obesity and the skin: skin physiology and skin manifestations of obesity. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2007. **56**(6): p. 901-916.
- .88 Wang, J., et al., Parametric analysis of a new combined cooling, heating and power system with transcritical CO<sub>2</sub> driven by solar energy. *Applied energy*, 2012. **94**: p. 58-64.
- .89 Tassou, S., G. De-Lille, and Y. Ge, Food transport refrigeration—Approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. *Applied Thermal Engineering*, 2009. **29**(8-9): p. 1467-1477.
- .90 Di Lauro, F., et al., Improving the performance of calcium looping for solar thermochemical energy storage and CO<sub>2</sub> capture. *Fuel*, 2021. **298**: p. 120791.
- .91 Rotaru, A.-E., et al., A new model for electron flow during anaerobic digestion: direct interspecies electron transfer to Methanosaeta for the reduction of carbon dioxide to methane. *Energy & Environmental Science*, 2014. **7**(1): p. 408-415.

- .92 Dotterud, L., J. Odland, and E. Falk, Atopic diseases among schoolchildren in Nikel, Russia, an Arctic area with heavy air pollution. ACTA DERMATOVENEREOLÓGICA-STOCKHOLM-, 2001. **81**(3): p. 198-201.
- .93 Johnson, E.P., E. Pauline Johnson, Tekahionwake: collected poems and selected prose. 2002: University of Toronto Press.
- .94 Raupach, M.R., et al., Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences :(24)104 .2007 ,p. 10288-10293.
- .95 Li, D.-g., et al., Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines. Renewable energy, 2005. **30**(6): p. 967-976.
- .96 Debus, A.G., Chemistry and medical debate: Van Helmont to Boerhaave. 2001: Science History Publications/USA.
- .97 Pagel, W., Joan Baptista van Helmont: reformer of science and medicine. 2002: Cambridge University Press.
- .98 West, J.B., Joseph Black, carbon dioxide, latent heat, and the beginnings of the discovery of the respiratory gases. American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology, 2014. **306**(12): p. L1057-L1063.
- .99 Keilin, D., The history of cell respiration and cytochrome. 1966: CUP Archive.
- .100 Holmes, F.L. 'Lavoisier and the chemistry of life: An exploration of scientific creativity. 1985: Univ of Wisconsin Press.
- .101 Jacobson, M.Z., Atmospheric pollution: history, science, and regulation. 2002: Cambridge University Press.
- .102 Lamb, A.B., W.C. Bray, and J. Frazer, The Removal of Carbon Monoxide from Air. Industrial & Engineering Chemistry, 1920. **12**(3): p. 213-221.
- .103 Fisher, A.A., An arc across fields of study: electricity in Physics and Chemistry (1751-1807). 2010.
- .104 Crosland, M.P., Gay-Lussac: scientist and bourgeois. 2004: Cambridge University Press.
- .105 Anderson, T.R., E. Hawkins, and P.D. Jones, CO<sub>2</sub>, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. Endeavour, 2016. **40** :(3)p. 178-187.
- .106 Hansen, J., et al., Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. Journal of geophysical research: Atmospheres, 1988. **93**(D8): p. 9341-9364.

- .107 Krausmann, F., et al., Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological economics*, 2009. **68**(10): p. 2696-2705.
- .108 Kennedy, D.M., *Freedom from fear: The American people in depression and war, 1929-1945*. 1999: Oxford University Press.
- .109 Aslund, A. 'How capitalism was built: the transformation of Central and Eastern Europe, Russia, the Caucasus, and Central Asia. 2013: Cambridge University Press.
- .110 Stern, P.C., Psychological dimensions of global environmental change. *Annual review of psychology*, 1 : (1)43 .992p. 269-302.
- .111 Masson-Delmotte, V., et al., *Global Warming of 1.5° C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. 2022: Cambridge University Press.
- .112 Fragkos, P., et al., Energy system transitions and low-carbon pathways in Australia, Brazil, Canada, China, EU-28, India, Indonesia, Japan, Republic of Korea, Russia and the United States. *Energy*, 2021. **216**: p. 119385.
- .113 Vitousek, P.M., *Beyond global warming: ecology and global change*. *Ecology*, 1994. **75**(7): p. 1861-1876.
- .114 Reşitoğlu, İ.A., K. Altinişik, and A. Keskin, The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2015. **17**: p. 15-27.
- .115 Bond, T.C., et al., Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of geophysical research: Atmospheres*, 2013. **118**(11 : (p. 5380-5552.
- .116 Strain, B.R. and J.D. Cure, *Direct effects of increasing carbon dioxide on vegetation*. 1985, Duke Univ., Durham, NC (USA).
- .117 Bolin, B., Changes of Land Biota and Their Importance for the Carbon Cycle: The increase of atmospheric carbon dioxide may partly be due to the expansion of forestry and agriculture. *Science*, 1977. **196**(4290): p. 613-615.
- .118 Stokes, G.M. and J.C. Barnard, *Presentation of the 20th Century Atmospheric CO<sub>2</sub> Record in Smithsonian Spectrographic Plates. The Changing Carbon Cycle: A Global Analysis*, 1986: p. 50-65.
- .119 Harris, A., Derogating the precautionary principle. *Vill. Envtl. LJ*, 2008. **19**: p. 1.
- .120 Steffen, W., et al., The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. *The Anthropocene Review* : (1)2 .2015 ,p. 81-98.

- .121 Avtar, R., et al., Population–urbanization–energy nexus: a review. *Resources*, 2019. **8**(3): p. 136.
- .122 Hansen, J., et al., Target atmospheric CO<sub>2</sub>: Where should humanity aim? arXiv preprint arXiv:0804.1126, 2008.
- .123 Masson-Delmotte, V., et al., Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2021. **2**.
- .124 Vertès, A.A., *The Industrial World in the Twenty-First Century. Green Energy to Sustainability: Strategies for Global Industries*, 2020: p. 613-648.
- .125 Le Quéré, C., et al., Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature geoscience*, 2009. **2**(12): p. 831-836.
- .126 Steffen, W., et al., Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018. **115**(33): p. 8252-8259.
- .127 Rauch, S.L., et al., Regional cerebral blood flow measured during symptom provocation in obsessive-compulsive disorder using oxygen 15—labeled carbon dioxide and positron emission tomography. *Archives of general psychiatry*, 1994. **51**(1): p. 62-70.

# الفصل الثاني: اثار انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

**مقدمة الفصل الثاني:**

في العصر الحالي، يعاني العالم من مشكلات عديدة تتعلق بالبيئة وتغير المناخ، حيث تؤثر الانبعاثات الكربونية على الحياة اليومية للمجتمعات المختلفة. ويشكل غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) واحدًا من أكثر الملوثات البيئية الخطرة التي تسبب تغير المناخ وتضر بالصحة العامة. إن دراسة الآثار الاقتصادية والحياة اليومية لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون هي مجال بحث متنوع وشامل، حيث يتعلق هذا الجانب بتحليل الاقتصادي والبيئي للتأثيرات السلبية التي تترتب على البيئة والمجتمعات المتأثرة بهذا الانبعاث. وبالنسبة للأثر الحياتي، تتعلق الدراسات بتحليل التأثيرات البيئية والصحية الناجمة عن الانبعاثات الكربونية، وكيفية التأثير على جودة الهواء والتغذية والماء والأراضي والنظام البيئي بشكل عام.

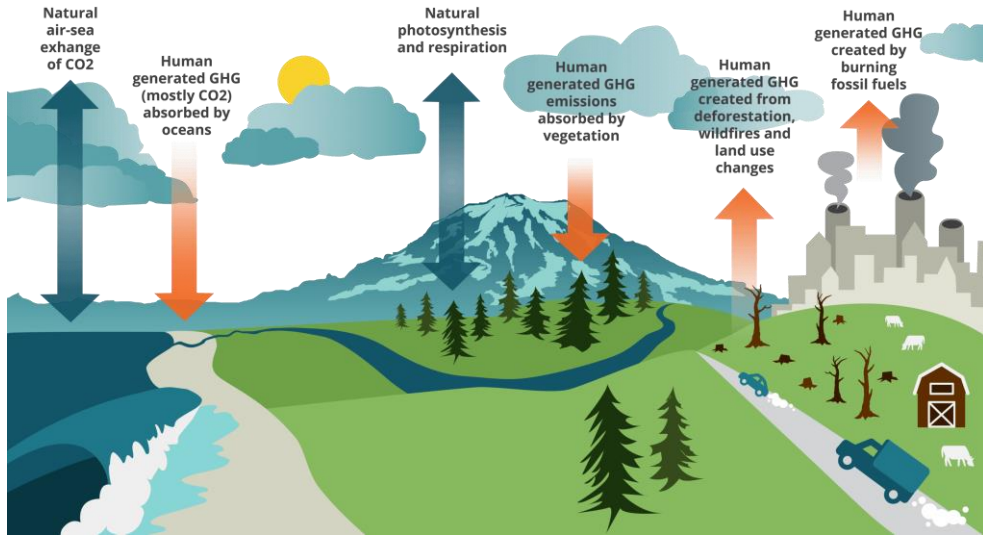
### أولاً: ثاني أكسيد الكربون والغازات الدفيئة

هي مسألة بيئية هامة يتم مناقشتها بشكل واسع في العالم اليوم. ثاني أكسيد الكربون هو غاز دفيء يعتبر هو الغاز الأكثر شيوعاً من بين الغازات الدفيئة [1]، حيث يتم إصدار حوالي 35 مليار طن من هذا الغاز سنويًا بسبب حرق الوقود الأحفوري والأنشطة الصناعية والزراعية والتغيرات في الاستخدام الأرضي. ينبعث هو وباقي الغازات الدفيئة من مختلف الأنشطة البشرية [2]، مثل الحرق النفط والغاز والفحم لإنتاج الطاقة، والصناعات المختلفة، والزراعة، وتصنيع الأسمدة الزراعية، وإزالة الغابات. وبمجرد إطلاق هذه الغازات إلى الجو [3]، فإنها تبقى هناك لفترات طويلة، مما يزيد من تركيزها في الجو ويؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة العالمية. تؤثر الغازات الدفيئة بشكل مباشر على البيئة والكائنات الحية، حيث تزيد من تركيزها في الجو، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة العالمية وتغير المناخ [4]. ويؤدي ذلك إلى زيادة تساقط الأمطار في بعض المناطق وجفاف في مناطق أخرى، وزيادة في حدة الأعاصير والفيضانات والجفاف [5]، وتغير في النباتات والحيوانات وانهيار البيئة يتم حساب ثاني أكسيد الكربون وغيره من الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي بوحدة تسمى جزء في المليون (ppm) تعمل غازات الدفيئة، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون [6]، على زيادة الاحتباس الحراري في الجو، تزيد كمية الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي عندما يتم إصدارها إلى الهواء عن طريق الأنشطة البشرية، مما يؤدي إلى زيادة الاحتباس الحراري وارتفاع درجة حرارة الأرض [7]. يعتبر الاحتباس الحراري نتيجة للتراكم الزائد للغازات الدفيئة في الجو، والتي تعمل على الاحتفاظ بالحرارة في الغلاف الجوي بدلاً من إعادتها إلى الفضاء. وهذا يؤدي في النهاية إلى تغير المناخ والتأثير على البيئة والحياة البرية والبشرية [8].

### ثانياً: آثار السلبية لغاز ثاني أكسيد الكربون

#### 1- تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على التغيرات المناخية:

تعد الظاهرة الطبيعية لتغير المناخ من أكثر الأزمات العالمية التي يواجهها العالم اليوم، والتي يتحمل تبعاتها الكثير من المجتمعات والأنظمة الإيكولوجية في جميع أنحاء العالم. تعد زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي واحدة من أبرز العوامل المؤثرة في هذا التغير المناخي [9]، والتي تمثل تحديًا للجهود المبذولة للحد من تأثيرات هذا الغاز الضار على البيئة. يعد غاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات الدفيئة، والتي تتمثل في الغازات التي تعزز الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي [10]. يتم إصدار هذا الغاز عن طريق عدة عمليات، ترتبط بزيادة غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بتغيرات في المناخ، من خلال زيادة درجة حرارة الأرض وتأثيراتها على الظواهر الجوية [11].



الصورة 2: توضح تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون [12]

### 1-1 تغيرات في نظام الأمطار:

يؤدي تغير المناخ الناجم عن زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون إلى تغيرات في نظام الأمطار وزيادة الفيضان [5].

### 2-1 ارتفاع مستوى سطح البحر:

يؤدي ارتفاع درجة حرارة الأرض وذوبان الأنهار المتجمدة إلى ارتفاع مستوى سطح البحر، مما يؤدي إلى تغيرات في الحياة البحرية والنظم الإيكولوجية المرتبطة بها [13].

### 3-1 تأثيرات على الأنظمة الإيكولوجية:

يؤدي زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون إلى تغيرات في الأنظمة الإيكولوجية وتأثيرات على الكائنات الحية المرتبطة بها، بما في ذلك تغيرات في التوزيع الجغرافي لأنواع وزيادة خطر الانقراض [14].

### 2 - تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على صحة الإنسان:

دراسة حول الآثار السلبية التي يمكن أن يسببها الغاز على صحة الإنسان، وكذلك آثاره على الأمراض المزمنة [15]. تعد مشكلة التغير المناخي والاحتباس الحراري من أبرز التحديات التي تواجه العالم في الوقت الحاضر، وهي مشكلة تتطلب اتخاذ إجراءات سريعة وفعالة لمواجهتها [16]. واحدة من أكثر العوامل التي تساهم في هذه المشكلة هي غاز ثاني أكسيد الكربون [17]، الذي يتم إطلاقه بكميات كبيرة إلى الجو سوف نتحدث عن تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على صحة الإنسان [18]، وسنتناول الآثار السلبية التي يمكن أن يسببها الغاز على الصحة العامة والأمراض المزمنة [19].

## 2-1 زيادة درجة حرارة الجسم:

إن الارتفاع الكبير في مستوى ثاني أكسيد الكربون في الجو يمكن أن يؤدي إلى زيادة درجة حرارة الجسم. ويمكن أن يؤدي هذا إلى تعرض الإنسان للإجهاد الحراري والإصابة بالإغماء أو الجفاف [20]، وهذا يمكن أن يكون خطيراً إذا كان الشخص المتعرض للغاز هو كبار السن أو الأطفال أو الأشخاص الذين يعانون من أمراض مزمنة [21].

## 2-2 تأثير الجهاز التنفسي:

يمكن أن يؤدي التعرض المفرط للغاز إلى تأثير الجهاز التنفسي، وهذا يمكن أن يؤدي إلى الإصابة بالصداع والدوخة والغثيان والإسهال [22]. كما يمكن أن يزيد هذا من مخاطر الإصابة بالتهابات الجهاز التنفسي مثل الربو والتهاب الشعب الهوائية، وذلك بسبب التعرض المفرط لمستويات عالية من ثاني أكسيد الكربون [21].

## 2-3 الآثار على القلب والأوعية الدموية:

يمكن أن يؤدي التعرض المفرط للغاز إلى زيادة الأحمال على القلب والأوعية الدموية [23]، وهذا يمكن أن يؤدي إلى زيادة خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية، مثل الجلطات الدموية والنوبات القلبية [24].

## 2-4 زيادة خطر الإصابة بالأمراض المزمنة:

يمكن أن يؤدي التعرض المفرط للغاز إلى زيادة خطر الإصابة بالأمراض المزمنة، مثل السرطان وأمراض الجهاز العصبي وأمراض الكلى [25]، وذلك بسبب تأثيره السلبي على الجسم ونظام المناعة [26].

## 2-5 الآثار العصبية:

قد يؤدي تعرض الإنسان للغاز ثاني أكسيد الكربون بتركيزات عالية إلى آثار عصبية، مثل الصداع والدوار والشعور بالارتباك، كما أنه يمكن أن يسبب فقدان الوعي في حالات الاختناق الشديد [27].

## 2-6 الآثار على صحة الجنين:

يمكن لتعرض الحامل للغاز ثاني أكسيد الكربون بتركيزات عالية أن يؤثر على صحة الجنين، ويزيد من خطر الإصابة بالولادة المبكرة والولادة القيصرية والعيوب الخلقية [28].

## 2-7 الآثار على الصحة النفسية:

يؤدي التعرض لغاز ثاني أكسيد الكربون بتركيزات عالية إلى آثار سلبية على الصحة النفسية، مثل الاكتئاب والقلق والتعب والإرهاق وتقليل القدرة على التركيز والذاكرة [29]. وتشير الدراسات إلى أن الأشخاص الذين يعانون من الأمراض المزمنة والأطفال وكبار السن والحوامل هم الأكثر عرضة للآثار السلبية لغاز ثاني أكسيد الكربون على صحتهم [30].

## 2-8 الوظيفة المعرفية:

أن زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون يمكن أن تؤثر سلبيًا على الوظيفة الإدراكية والأداء العقلي [31]. يمكن أن تؤدي التركيزات العالية لثاني أكسيد الكربون إلى إضعاف التركيز واتخاذ القرار والإنتاجية [32]. في الفصول الدراسية أو أماكن العمل ذات التهوية السيئة، حيث يمكن أن ترتفع مستويات ثاني أكسيد الكربون، قد يعاني الطلاب والموظفون من انخفاض القدرات المعرفية وتراجع الأداء العام [31].

## 2-9 صحة القلب والأوعية الدموية:

يمكن أن يكون له أيضًا آثار ثانوية على صحة القلب والأوعية الدموية [33]. يمكن أن يؤدي ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون إلى تمدد الأوعية الدموية، مما قد يؤدي إلى ارتفاع ضغط الدم [34]. قد يساهم التعرض المطول لمستويات عالية من ثاني أكسيد الكربون، إلى جانب عوامل الخطر الأخرى [35]، في تطور أمراض القلب والأوعية الدموية أو تفاقمها [36].

## 3- تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على الحياة البرية.

يُعد غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) من بين الغازات الدفيئة الرئيسية التي تؤثر على البيئة والتي تسبب زيادة في درجة حرارة الأرض [11].

تزيد درجات الحرارة العالية من معدل التبخر وتؤدي إلى نقص في الماء في التربة والنباتات، والتي تؤثر على موارد الغذاء للحيوانات. وبالإضافة إلى ذلك [37]، يمكن أن يؤدي الارتفاع المستمر في مستويات  $CO_2$  إلى تغيرات في توزيع النباتات. يعتمد العديد من الحيوانات على النباتات للحصول على الغذاء والمأوى، وتؤثر التغيرات في توزيع النباتات على توافر المواد الغذائية [38]. يمكن أن يؤدي ارتفاع درجات الحرارة وزيادة  $CO_2$  إلى تغير في نمو النباتات وجعل بعض النباتات أكثر تفضيلاً للحشرات الضارة [39]. هذا يمكن أن يؤدي إلى فقدان المحاصيل الزراعية والنباتات البرية، مما يؤثر على الحيوانات التي تعتمد عليها للحصول على الغذاء والمأوى ويؤدي إلى تدهور البيئة [40].

يمكن أن يؤثر غاز  $CO_2$  أيضًا على صحة الحيوانات في البرية ، حيث يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تعرض الحيوانات لحرارة شديدة وجفاف ، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى نقص الطعام والماء وزيادة خطر التعرض للأمراض والأوبئة [41]. كما يمكن أن يؤثر الغاز على الحيوانات البحرية والتي تعتمد على الكائنات النباتية الصغيرة كمصدر غذائي [42].

### 3-1 الأنظمة الإيكولوجية والتنوع البيولوجي:

يمكن أن يؤثر تغير المناخ وتراجع مستويات ثاني أكسيد الكربون على النظم الإيكولوجية والتنوع البيولوجي [43]. يعتمد العديد من الكائنات الحية على ظروف بيئية محددة وتوازنات حرارية مستقرة، وبالتالي فإن التغيرات في المناخ قد تؤثر على التوازنات البيئية وتؤدي إلى تغيرات في التوزيع الجغرافي للأنواع وانقراض بعضها [14].

### 4- تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون على البحار والمحيطات.

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) واحدًا من أكثر الغازات المسببة للاحتباس الحراري وتغير المناخ. يتم إصدار الكثير من هذا الغاز من خلال الأنشطة البشرية. يعتبر البحر والمحيط العالميان أكبر مستودعين للكربون في العالم ويتم تخزينهما بواسطة الحياة البحرية والطحالب [44]. ومع ذلك، فإن إنتاج  $CO_2$  بكميات كبيرة من قبل الإنسان يؤدي إلى تأثير سلبي كبير على البحار والمحيطات. أحد التأثيرات الرئيسية لـ  $CO_2$  على البحار هو التحرك نحو التحمض الحمضي (Ocean Acidification) [44]، حيث يتفاعل  $CO_2$  مع الماء لتكوين حمض الكربونيك، وهذا يؤدي إلى انخفاض درجة الحموضة في الماء، مما يؤثر على الحياة البحرية ويؤدي إلى تغيرات في التوازن الإيكولوجي للنظام البيئي البحري. على سبيل المثال، تتأثر الحيوانات المائية مثل المرجان والقرنفل البحري بتحول البيئة الحمضية [45]، مما يؤثر على نموها وتكاثرها ومن ثم تهديدها بالانقراض. بالإضافة إلى ذلك، يتأثر نمو الطحالب والأسماك والمحار والكائنات البحرية الأخرى بسبب التحول الحمضي [46]، مما يؤدي إلى تغيرات في سلاسل الغذاء البحرية وتقلصها. وبما أن الحياة البحرية تشكل جزءًا كبيرًا من نظام الغذاء العالمي [47]، فإن التأثيرات السلبية على الحياة البحرية يمكن أن تؤدي إلى تأثيرات سلبية على الغذاء والموارد الاقتصادية [48]. قد يؤدي تأثير ثاني أكسيد الكربون على الحياة البحرية إلى انخفاض كمية الأسماك والكائنات الحية الأخرى في المحيطات [49]، وبالتالي يمكن أن يؤثر على صناعات الصيد والزراعة البحرية والسياحة في المناطق الساحلية [50]. علاوة على ذلك، يتأثر الاحتباس الحراري بشكل كبير بالبحار والمحيطات، حيث يتم تخزين حوالي 25% من الكربون الذي ينتجه الإنسان في المحيطات. وبما أن درجة حرارة المياه تزداد [8]، فإنه يمكن أن يؤدي ذلك إلى زيادة ارتفاع مستوى سطح البحر وتغيرات في أنماط التيارات البحرية والمناخية، مما يؤثر على الحياة البحرية والسكان الساحليين

والمجتمعات التي تعتمد على المحيطات يمكن أن يؤثر ثاني أكسيد الكربون أيضاً على صحة المحيطات [51]، حيث يمكن أن يؤدي إلى تغيرات في مستوى الحموضة في الماء. يتم امتصاص الغاز من الجو ويتفاعل مع الماء لتكوين حمض الكربونيك، الذي يزيد من حموضة الماء [52]. وبما أن معظم الكائنات الحية البحرية تعتمد على التوازن الحمضي القاعدي في الماء، فإن تغيرات في مستوى الحموضة قد تؤثر على نمو وتطور هذه الكائنات الحية [53]. علاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي تأثير ثاني أكسيد الكربون على الحياة البحرية إلى زيادة درجة حرارة الماء وانخفاض مستوى التوازن الحراري في المحيطات، مما يؤثر على التنوع البيولوجي والتغذية وحياة الكائنات الحية [14].

#### 5- الاثر الاقتصادي للغاز ثاني اكسيد الكربون الزائد في الغلاف الجوي.

تعد الغازات المسببة للتغير المناخي من بين أكثر القضايا البيئية التي تشغل العالم حالياً [54]. تصدر العديد من الصناعات والنشاطات المختلفة كميات كبيرة من الغازات المسببة للتغير المناخي، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون [55]، مما يؤدي إلى زيادة تركيزه في الغلاف الجوي وتسبب العديد من المشاكل البيئية والصحية [56].

تؤثر الغازات المسببة للتغير المناخي بشكل كبير على الاقتصادات العالمية، حيث تعمل على تقليل الإنتاجية وتزيد التكاليف في العديد من القطاعات [57]. ويعد ثاني أكسيد الكربون الزائد في الغلاف الجوي أحد العوامل التي تسبب هذا التأثير الاقتصادي. أحد أهم الآثار الاقتصادية لغاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي هو زيادة تكاليف إنتاج الطاقة [57]، حيث يؤدي الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية المتوافرة إلى إصدار كميات كبيرة من هذا الغاز، مما يزيد من تكاليف إنتاج الطاقة [58]. بالإضافة إلى ذلك، يعمل زيادة التركيز الجوي لثاني أكسيد الكربون على تغيير نظم المناخ، مما يؤدي إلى تغيرات في نظام الزراعة والتجارة الدولية، ويزيد التكاليف التي تترتب على إجراءات التكيف مع هذه التغيرات [59]. بالإضافة إلى التأثيرات الاقتصادية المباشرة، فإن تغيرات المناخ تؤثر أيضاً على البيئة، وهذا يعني أن هناك تكاليف بيئية ضخمة يتعين تحملها [60]. فالتغير المناخي يؤدي إلى تلف البيئة وانخفاض الإنتاجية الزراعية، مما يزيد من تكاليف الغذاء ويؤثر على الأمن الغذائي [61]. ويؤدي أيضاً إلى زيادة تكاليف الصحة العامة بسبب الظروف المناخية السيئة وزيادة الأمراض المرتبطة بالتلوث [30]. وعلى الرغم من أن تكاليف تلوث الهواء بثاني أكسيد الكربون يمكن أن تكون عالية في المدى البعيد، إلا أن هناك أيضاً تكاليف قصيرة الأجل يمكن أن تؤثر على الاقتصادات المحلية، بما في ذلك تأثيرها على قطاعات الصناعة والزراعة والصحة [62].

6- تأثير ثاني أكسيد الكربون على طبقة الأوزون:

6-1 زيادة درجة الحرارة الجوية :

تساهم زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في احتباس الحرارة في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة العامة للكوكب. هذا الارتفاع في درجة الحرارة يؤثر على توزيع الأوزون في الغلاف الجوي ويزيد من احتمالية تكسير جزيئات الأوزون [35].

6-2 التغير في دورة الهواء العلوي:

يتأثر ثاني أكسيد الكربون بتيارات الهواء العلوية وتوزيعها، مما يؤثر على انتقال الأوزون في الغلاف الجوي. قد يؤدي هذا التأثير إلى تراجع طبقة الأوزون في بعض المناطق وتكون ثقب في الطبقة، مما يتسبب في تسرب الأشعة فوق البنفسجية الضارة إلى سطح الأرض [62].

**ثالثاً: ماهي الدول التي لديها أكبر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون**

إن الانبعاثات الغازية التي تتراكم في الغلاف الجوي الخاص بنا تؤدي إلى ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ. وبما أن غاز ثاني أكسيد الكربون هو أحد العوامل الرئيسية التي تساهم في تلك الظاهرة [63]، فإن تقليل انبعاثاته يعد أمراً مهماً للغاية. الدول التي لديها أكبر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في العالم. سنستند في ذلك إلى بيانات تم جمعها من قبل منظمة البيئة العالمية [64]، والتي تعمل على تقييم المخاطر البيئية وتحديد الحلول اللازمة للتصدي لها [65].

❖ الصين

تعتبر الصين الدولة الأكثر انبعاثاً لغاز ثاني أكسيد الكربون في العالم، إذ تنتج نحو 10.06 جيجا تون منه سنوياً. ويرجع ذلك جزئياً إلى حجم سكان الصين الكبير [66]، إذ يبلغ عدد سكانها أكثر من 1.4 مليار نسمة، بالإضافة إلى تطور الاقتصاد الصيني السريع واعتمادها على الفحم كمصدر رئيسي للطاقة [67].

❖ الولايات المتحدة الأمريكية

تأتي الولايات المتحدة في المرتبة الثانية بإنتاج 5.41 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنوياً. ويرجع ذلك جزئياً إلى الكمية الكبيرة من الوقود التي تستهلكها الولايات المتحدة [68]، بما في ذلك الفحم والنفط، كما أن المركبات الكهربائية لا تزال تشكل نسبة صغيرة من المركبات المتنقلة في الولايات المتحدة [69].

❖ الهند

تأتي الهند في المرتبة الثالثة بإنتاج 2.65 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تعتبر الهند من أسرع الدول نموًا اقتصاديًا في العالم، وتعتمد بشكل كبير على الفحم كمصدر رئيسي للطاقة، مما يسهم في زيادة الانبعاثات [70].

❖ روسيا

تأتي روسيا في المرتبة الرابعة بإنتاج 1.71 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. يعود ذلك جزئيًا إلى اعتماد روسيا على الفحم والنفط كمصادر رئيسية للطاقة، كما يلعب قطاع الغاز دورًا كبيرًا في اقتصاد البلاد [71].

❖ اليابان

تأتي اليابان في المرتبة الخامسة بإنتاج 1.2 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تستهلك اليابان كميات كبيرة من الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة، وتعتبر أيضًا من أكثر الدول اعتمادًا على الطاقة النووية [72].

❖ ألمانيا

تأتي ألمانيا في المرتبة السادسة بإنتاج 0.80 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تستهلك ألمانيا كميات كبيرة من الوقود الأحفوري، وتعتمد أيضًا على الفحم كمصدر رئيسي للطاقة [73].

❖ كندا

تأتي كندا في المرتبة السابعة بإنتاج 0.71 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تستهلك كندا كميات كبيرة من النفط والغاز الطبيعي، وتستخدم أيضًا الفحم في بعض المناطق [74].

❖ إندونيسيا

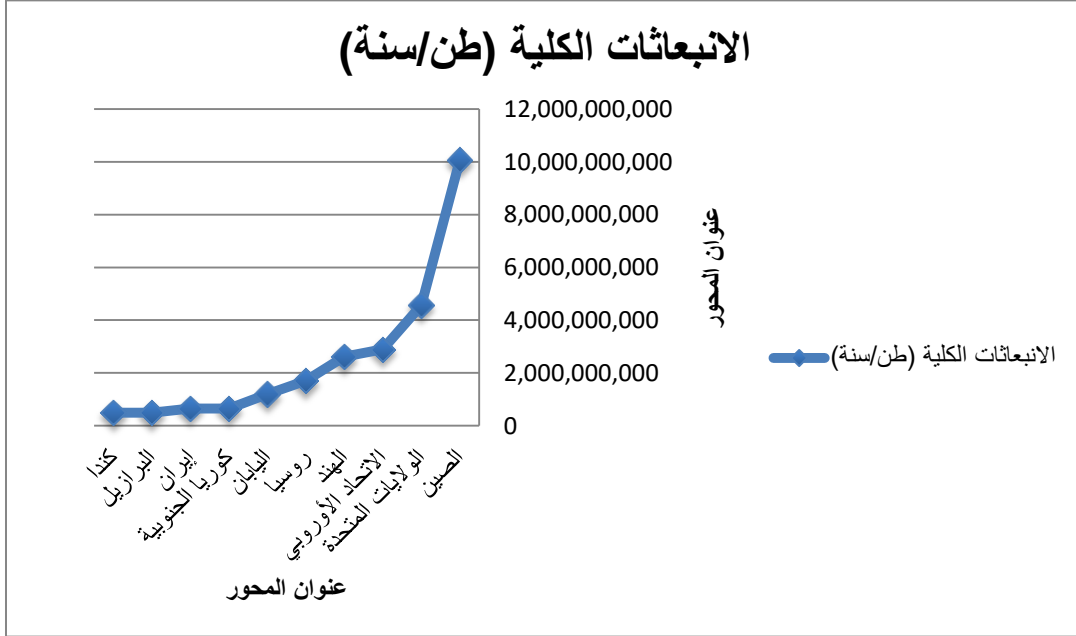
تأتي إندونيسيا في المرتبة الثامنة بان تأتي إندونيسيا في المرتبة الثامنة بإنتاج 0.64 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تعتمد البلاد بشكل كبير على الفحم والنفط لتوليد الطاقة، وتواجه تحديات كبيرة في مجال الحفاظ على البيئة والتنمية المستدامة [68].

❖ إيران

تأتي إيران في المرتبة التاسعة بإنتاج 0.64 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تعتمد إيران بشكل كبير على النفط والغاز لتوليد الطاقة، كما تواجه التحديات نفسها التي تواجهها الكثير من الدول النامية في مجال الحفاظ على البيئة [75].

❖ الكوريتان الجنوبية

تأتي الكوريتان الجنوبية في المرتبة العاشرة بإنتاج 0.62 جيجا تون من غاز ثاني أكسيد الكربون سنويًا. تستهلك البلاد كميات كبيرة من الوقود الأحفوري [76]، وتسعى للتحويل إلى مصادر طاقة نظيفة والتحول إلى التنمية المستدامة [77].



الصورة 3: منحى يبين الدول العشر الأولى من حيث الانبعاثات العالمية لغاز ثاني أكسيد الكربون، وفقاً لتقرير صادر عن مؤسسة الطاقة الدولية في عام 2021 [78]

خاتمة الفصل الثاني:

يمكن أن يكون لآثار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عواقب طويلة المدى تتجاوز الإطار الزمني الحالي. حتى لو تم تخفيض الانبعاثات بشكل كبير في السنوات القادمة، فإن تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سيظل مرتفعًا لعدة قرون، مما يساهم في تغير المناخ المستمر. وهذا يسلط الضوء على أهمية ليس فقط تخفيف الانبعاثات ولكن أيضًا الاستثمار في تدابير التكيف لحماية المجتمعات والنظم البيئية المعرضة للخطر من الآثار التي لا مفر منها بالفعل.

- .1 Olah, G.A., A. Goeppert, and G.S. Prakash, *Chemical recycling of carbon dioxide to methanol and dimethyl ether: from greenhouse gas to renewable, environmentally carbon neutral fuels and synthetic hydrocarbons*. The Journal of organic chemistry, 2009. **7** :(2)4p. 487-498.
- .2 Lal, R., *Soil carbon sequestration to mitigate climate change*. Geoderma, 2004. **123**(1-2): p. 1-22.
- .3 West, T.O. and G. Marland, *A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002. **91**(1-3): p. 217-232.
- .4 Ficke, A.D., C.A. Myrick, and L.J. Hansen, *Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries*. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2 :17 .007p. 581-613.
- .5 Trenberth, K.E., *Changes in precipitation with climate change*. Climate research, 2011. **47**(1-2): p. 123-138.
- .6 Watson, R.T., et al., *Greenhouse gases and aerosols*, in *Climate change: the IPCC scientific assessment*. 1990, Cambridge University Press. p. 1-40.
- .7 Ramanathan, V. and Y. Feng, *Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives*. Atmospheric environment, 2009. **43**(1): p. 37-50.
- .8 Karl, T.R., J.M. Melillo, and T.C. Peterson, *Global climate change impacts in the United States: a state of knowledge report from the US Global Change Research Program*. 2009: Cambridge University Press.
- .9 McMichael, A.J., et al., *Food, livestock production, energy, climate change, and health*. The lancet, 2007. **37** :(9594)0p. 1253-1263.
- .10 Dodman, D., *Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories*. Environment and urbanization, 2009. **21**(1): p. 185-201.
- .11 Hansen, J., et al., *Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide*. Science, 1981. **213**(4511): p. 957-966.
- .12 Karacan, C.Ö. and G.D. Mitchell, *Behavior and effect of different coal microlithotypes during gas transport for carbon dioxide sequestration into coal seams*. International Journal of Coal Geology, 20 :(4)53 .03p. 201-217.
- .13 Brierley, A.S. and M.J. Kingsford, *Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems*. Current biology, 2009. **19**(14): p. R602-R614.
- .14 Harley, C.D., et al., *The impacts of climate change in coastal marine systems*. Ecology letters, 2006. **9**(2): p. 228-241.
- .15 Del Rio, D., et al., *Dietary (poly) phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases*. Antioxidants & redox signaling, 2013. **18**(14): p. 1818-1892.
- .16 Swinburn, B.A., et al., *The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report*. The lancet, 2019. **393**(10173): p. 791-846.
- .17 Woodwell, G.M., *The carbon dioxide question*. Scientific American, 1978. **238**(1): p . 43-34
- .18 Holdren, J.P., et al., *Energy, the environment and health*. New York: United Nations Development Programme, 2000.
- .19 Ben-Shlomo, Y. and D. Kuh, *A life course approach to chronic disease epidemiology: conceptual models, empirical challenges and interdisciplinary perspectives*. 2002, Oxford University Press. p. 285-293.
- .20 Keatinge, W.R., et al., *Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol levels during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis*. The American journal of medicine, 1986. **81**(5): p. 795-800.
- .21 Smith, K.R., et al., *Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory infections in children*. Thorax, 2000. **55**(6): p. 518-532.

- .22 Brooks, S.M., M.A. Weiss, and I. Bernstein, *Reactive airways dysfunction syndrome (RADS): persistent asthma syndrome after high level irritant exposures*. Chest, 1985. **88**(3): p. 376-384.
- .23 Araujo, J.A. and A.E. Nel, *Particulate matter and atherosclerosis: role of particle size, composition and oxidative stress*. Particle and fibre toxicology, 2009. **6**: p. 1-19.
- .24 Kannel, W.B., et al., *Fibrinogen and risk of cardiovascular disease: the Framingham Study*. Jama, 1987. **258**(9): p. 1183-1186.
- .25 Järup, L., *Hazards of heavy metal contamination*. British medical bulletin, 2003. **68**(1): p. 167-182.
- .26 Ozata, M., I.C. Ozdemir, and J. Licinio, *Human leptin deficiency caused by a missense mutation: multiple endocrine defects, decreased sympathetic tone, and immune system dysfunction indicate new targets for leptin action, greater central than peripheral resistance to the effects of leptin, and spontaneous correction of leptin-mediated defects*. The journal of clinical endocrinology & metabolism, 1999. **84**(10): p. 3686-3695.
- .27 Weaver, L.K., *Carbon monoxide poisoning*. Critical care clinics, 1999. **15**(2): p. 297-317.
- .28 Stillerman, K.P., et al., *Environmental exposures and adverse pregnancy outcomes: a review of the science*. Reproductive sciences, 2008. **15**(7): p. 631-650.
- .29 Cianconi, P., S. Betrò and L. Janiri, *The impact of climate change on mental health: a systematic descriptive review*. Frontiers in psychiatry, 2020. **11**: p. 74.
- .30 Perera, F., *Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: Solutions exist*. International journal of environmental research and public health, 2018. **15**(1): p. 16.
- .31 Allen, J.G., et al., *Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments*. Environmental health perspectives, 2016. **124**(6): p. 805-812.
- .32 Satish, U., et al., *Is CO<sub>2</sub> an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO<sub>2</sub> concentrations on human decision-making performance*. Environmental health perspectives, 2012. **120**(12): p. 1671-1677.
- .33 Hennekens, C.H., et al., *Schizophrenia and increased risks of cardiovascular disease*. American heart journal, 2005. **150**(6): p. 1115-1121.
- .34 Harper, A.M. and H. Glass, *Effect of alterations in the arterial carbon dioxide tension on the blood flow through the cerebral cortex at normal and low arterial blood pressures*. Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry, 1965. **28**(5): p. 449.
- .35 Chen, T.-M., et al., *Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects*. The American journal of the medical sciences, 2007. **333**(4): p. 249-256.
- .36 Kasai, T., J.S. Floras, and T.D. Bradley, *Sleep apnea and cardiovascular disease: a bidirectional relationship*. Circulation, 2012. **126**(12): p. 1495-1510.
- .37 Pimentel, D., et al., *Water resources: agricultural and environmental issues*. BioScience, 2004. **54**(10): p. 909-918.
- .38 Soetan, K., C. Olaiya, and O. Oyewole, *The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review*. African journal of food science, 2010. **4**(5): p. 200-222.
- .39 Hatfield, J.L., et al., *Climate impacts on agriculture: implications for crop production*. Agronomy journal, 20 : (2)103 .11p. 351-370.
- .40 Steinfeld, H., et al., *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. 2006: Food & Agriculture Org.
- .41 Tirado, M.C., et al., *Climate change and food safety: A review*. Food Research International, 2010. **43**(7): p. 17.1765-45

- .42 Pelc, R. and R.M. Fujita, *Renewable energy from the ocean*. Marine Policy, 2002. **26**(6): p. 471-479.
- .43 Hautier, Y., et al., *Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity*. Science, 2015. **348**(6232): p. 336-340.
- .44 Raven, J., et al., *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. 2005: The Royal Society.
- .45 Hoegh-Guldberg, O., et al., *Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification*. science, 2007. **318**(5857): p. 1737-1742.
- .46 Dulvy, N.K., Y. Sadovy, and J.D. Reynolds, *Extinction vulnerability in marine populations*. Fish and fisheries, 2003. **4**(1): p. 25-64.
- .47 Nagelkerken, I., et al., *The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review*. Aquatic botany :(2)89 .2008 ,p. 155-185.
- .48 Sumaila, U.R., et al., *Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries*. Nature climate change, 2011. **1**(9): p. 449-456.
- .49 Munday, P.L., et al., *Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009. **106**(6): p. 1848-1852.
- .50 Weatherdon, L.V., et al., *Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism, and human health: an update*. Frontiers in Marine Science, 2016. **3**: p. 48.
- .51 Kildow, J.T. and A. McIlgorm, *The importance of estimating the contribution of the oceans to national economies*. Marine Policy, 2010. **34**(3): p. 367-374.
- .52 Bain, C.D. and G.M. Whitesides, *A study by contact angle of the acid-base behavior of monolayers containing. omega.-mercaptocarboxylic acids adsorbed on gold: an example of reactive spreading*. Langmuir, 1989. **5**(6): p. 1370-1378.
- .53 Fabry, V.J., et al., *Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes*. ICES Journal of Marine Science, 2008. **65**(3): p. 414-432.
- .54 Bulkeley, H. and M.M. Betsill, *Cities and climate change: urban sustainability and global environmental governance*. Vol. 4. 2005: Psychology Press.
- .55 Souza, G.M., et al., *The role of bioenergy in a climate-changing world*. Environmental development, 2017. **23**: p. 57-64.
- .56 Jaishankar, M., et al., *Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals*. Interdisciplinary toxicology, 2014. **7**(2): p. 60.
- .57 Janssens-Maenhout, G., et al., *EDGAR v4. 3.2 Global Atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970–2012*. Earth System Science Data, 2019. **11**(3): p. 959-1002.
- .58 Nikolaidis, P. and A. Poullikkas, *A comparative overview of hydrogen production processes*. Renewable and sustainable energy reviews, 2017. **67**: p. 597-611.
- .59 Rosenzweig, C. and M.L. Parry, *Potential impact of climate change on world food supply*. Nature, 1994. **367**(6459): p. 133-138.
- .60 Tol, R.S.J., *The economic effects of climate change*. Journal of economic perspectives, 2009. **23**(2): p. 29-51.
- .61 Lobell, D.B. and S.M. Gourdj, *The influence of climate change on global crop productivity*. Plant physiology, 2012. **160**(4): p. 1686-1697.
- .62 Haines, A., et al., *Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health*. Public health, 2006. **120**(7): p. 585-596.
- .63 Lai, L., et al., *Exploration of the active center structure of nitrogen-doped graphene-based catalysts for oxygen reduction reaction*. Energy & Environmental Science, 2012. **5**(7): p. 7936-7942.
- .64 Bostrom, A., et al., *What do people know about global climate change? 1. Mental models*. Risk Analysis, 1994. **14**(6): p. 959-970.

- .65 Worrell, E., et al., *Carbon dioxide emissions from the global cement industry*. Annual review of energy and the environment, 2001. **26**(1): p. 303-329.
- .66 Brack, W., et al., *The SOLUTIONS project: challenges and responses for present and future emerging pollutants in land and water resources management*. Science of the total environment, 2015. **503**: p. 22-31.
- .67 Shen, L., et al., *Factory-level measurements on CO<sub>2</sub> emission factors of cement production in China*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **34**: p. 337-349.
- .68 Kaygusuz, K., *Energy for sustainable development: A case of developing countries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(2): p. 1116-1126.
- .69 White, C.M., et al., *Sequestration of carbon dioxide in coal with enhanced coalbed methane recovery a review*. Energy & Fuels, 2005. **19**(3): p. 659-724.
- .70 Thomas, C., *Fuel cell and battery electric vehicles compared*. international journal of hydrogen energy, 2009. **34**(15): p. 6005-6020.
- .71 Demirbas, M.F., M. Balat, and H. Balat, *Potential contribution of biomass to the sustainable energy development*. Energy Conversion and Management, 2009. **50**(7): p. 1746-1760.
- .72 Hickman, R. and D. Banister, *Transport, climate change and the city*. 2014: Routledge.
- .73 Schiermeier, Q., et al., *Electricity without carbon*. Nature, 2008. **454**(7206): p. 816-824.
- .74 Armaroli, N. and V. Balzani, *The future of energy supply: challenges and opportunities*. Angewandte Chemie International Edition, 2007. **46**(1-2): p. 52-66.
- .75 Benhelal, E., et al., *Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry*. Journal of cleaner production, 2013. **51**: p. 142-161.
- .76 Hegab, A., A. La Rocca, and P. Shayler, *Towards keeping diesel fuel supply and demand in balance: Dual-fuelling of diesel engines with natural gas*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. **70**: p. 666-697.
- .77 WCED, S.W.S., *World commission on environment and development*. Our common future, 1987. **17**(1): p. 1-91.
- .78 Majid, M., *Renewable energy for sustainable development in India: current status, future prospects, challenges, employment, and investment opportunities*. Energy, Sustainability and Society, 2020. **10**(1): p. 1-36.
- .79 Pata, U.K., *Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO<sub>2</sub> emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective*. Renewable Energy, 2021. **17** :3p. 197-208.

**الفصل الثالث: المواد  
الكيميائية وهندسة المحطات  
المستخدمة في تقليل انبعاثات  
ثاني أكسيد الكربون**

### مقدمة الفصل ثالث

في مواجهة المخاوف المتزايدة بشأن تغير المناخ وأثاره الضارة، ليصبح الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) أولوية عالمية حاسمة. لمكافحة المستويات المتزايدة من غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، ولهذا تستخدم مناهج مبتكرة في المواد الكيميائية وهندسة المصانع. تهدف هذه التقنيات والاستراتيجيات إلى التخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من خلال تطوير عمليات فعالة، واستخدام مواد جديدة، وتحسين استهلاك الطاقة. حيث تتوفر هذه المقدمة لمحة عامة عن التطورات في مجال المواد الكيميائية وهندسة المصانع التي يتم توظيفها لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. سيسلط الضوء على المفاهيم والمنهجيات والتقنيات الرئيسية المستخدمة في هذه المجالات، مع التركيز على قدرتها على دفع التنمية المستدامة ومكافحة تغير المناخ.

أولاً: فهم أساسيات المواد الكيميائية والمنشآت الهندسية للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون:

تلعب المواد الكيميائية والمنشآت الهندسية دورًا محوريًا في هذه العملية [1]، حيث توفر الحلول الأساسية لالتقاط وتخزين وتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى منتجات مفيدة [2]. تتناول هذه الدراسة أساسيات المواد الكيميائية والمرافق الهندسية للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون [3]، واستكشاف أهميتها والتقنيات الرئيسية المستخدمة [4].



الصورة 4: محطات معالجة ثاني أكسيد الكربون [5]

ثانياً: المنشآت الهندسية للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون:

يتطلب التنفيذ الناجح لاستراتيجيات التخفيف من ثاني أكسيد الكربون مرافق هندسية متخصصة. تشمل هذه المرافق على مكونات مختلفة، بما في ذلك [6]:

#### 1- وحدات فصل ثاني أكسيد الكربون:

تستخدم هذه الوحدات تقنيات فصل مختلفة لالتقاط ثاني أكسيد الكربون من غازات المداخن أو العمليات الصناعية. غالبًا ما يستخدمون المذيبات أو الأغشية أو المواد الماصة الصلبة لتحقيق فصل فعال [7].

#### 2- أنظمة الضغط والنقل:

بمجرد التقاطها، يجب ضغط ثاني أكسيد الكربون إلى حالة فوق الحرجة للنقل. ثم تُستخدم خطوط الأنابيب أو السفن المخصصة لنقل ثاني أكسيد الكربون المضغوط إلى مواقع التخزين أو الاستخدام [8].

### 3- محطات تحويل ثاني أكسيد الكربون:

تستخدم هذه المرافق عمليات كيميائية متقدمة لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى منتجات قيمة. قد تشمل المفاعلات التحفيزية أو الخلايا الكهروكيميائية أو الأنظمة البيولوجية التي تمكن من تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى وقود أو مواد كيميائية [9].

### 4- البنية التحتية لتخزين الكربون:

تتطلب المرافق الهندسية لتخزين ثاني أكسيد الكربون بنية تحتية مناسبة لتخزين آمن وموثوق على المدى الطويل [10]. تشمل هذه البنية التحتية آبار الحقن وأنظمة المراقبة وتدابير سلامة تجويف البئر لضمان احتواء آمن لثاني أكسيد الكربون تحت الأرض [11].

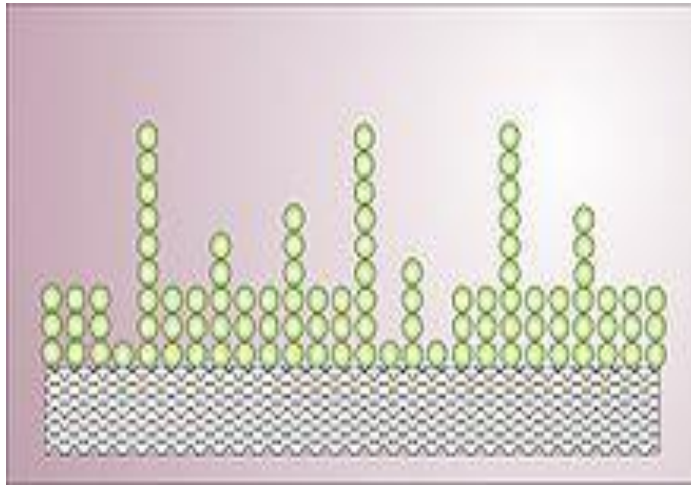
### 5- أنظمة المراقبة والتحقق:

لضمان فعالية استراتيجيات التخفيف من ثاني أكسيد الكربون، تدمج المرافق الهندسية أنظمة المراقبة والتحقق [12]. تقوم هذه الأنظمة بتتبع ثاني أكسيد الكربون المحقون، ومراقبة سلامة موقع التخزين [13]، والتحقق من أن ثاني أكسيد الكربون الذي تم التقاطه يظل مخزناً بشكل آمن أو يتم تحويله إلى منتجات مرغوبة [14].

### ثالثاً: تقنيات الامتزاز وفصل الأعشبية لالتقاط ثاني أكسيد الكربون:

#### 1- تقنيات الامتزاز:

يشير الامتزاز إلى عملية التقاط الجزيئات على سطح مادة صلبة، والمعروفة باسم مادة الامتصاص. تم استكشاف العديد من الممتزازات لالتقاط ثاني أكسيد الكربون [15]، بما في ذلك الكربون المنشط، والأطر المعدنية العضوية (MOFs)، والزلوليت، والمواد الوظيفية الأيونية [16].



الصورة 5: توضح نموذج بروناور للامتزاز متعدد الطبقات هو. [17]

### 1-1 الكربون المنشط:

الكربون المنشط عبارة عن مواد مسامية للغاية ذات مساحة سطح كبيرة، مما يوفر مواقع واسعة لامتصاص ثاني أكسيد الكربون. يمكن اشتقاقها من الكتلة الحيوية أو الفحم أو المواد الأولية القائمة على البترول [18]. يمكن تعديل كيمياء سطح الكربون المنشط لتعزيز قدرتها على احتجاز ثاني أكسيد الكربون وانتقائيتها [19].

### 2-1 الأطر المعدنية العضوية (MOFs):

الأطر المعدنية العضوية هي فئة من المواد المسامية تتكون من أيونات معدنية منسقة مع روابط عضوية. تجعل هيكلها القابلة للضبط ومساحات السطح المرتفعة منها جذابة لامتصاص ثاني أكسيد الكربون [20]. قام الباحثون بتجميع العديد من الأطر المعدنية العضوية بخصائص مخصصة لتحسين كفاءة احتجاز ثاني أكسيد الكربون [21].

### 3-1 الزوليت:

الزوليا عبارة عن مواد بلورية من سيليكات الألمنيوم ذات مسام دقيقة منتظمة [22]. إنها تمتلك ثباتاً حرارياً وكيميائياً عالياً وقد أظهرت قدرات واعدة في التقاط ثاني أكسيد الكربون [23]. يمكن تصنيع الزوليت بأحجام مسام محددة ومجموعات وظيفية لتعزيز انتقائية ثاني أكسيد الكربون [24].

### 4-1 المواد المكونة للأمين:

اكتسبت المواد الماصة التي تعمل بالأمين، مثل السيليكا المسامية أو مواد البوليمر المشبعة بالأمين [25]، الاهتمام بسبب تقاربها القوي مع ثاني أكسيد الكربون [26]. تربط هذه المواد ثاني أكسيد الكربون كيميائياً من خلال مجموعات أمين، مما يتيح الالتقاط الفعال والإطلاق اللاحق من خلال التجديد الحراري [27].

### 2- تقنيات فصل الغشاء:

يتضمن الفصل الغشائي استخدام حواجز رقيقة وانتقائية لفصل ثاني أكسيد الكربون عن خليط الغاز بناءً على الاختلافات في معدلات النفاذية. يمكن تصنيف الأغشية إلى أغشية بوليمرية وأغشية مصفوفة مختلطة (MMMs) وأغشية غير عضوية، ولكل منها مزايا وتحديات مميزة [26].

### 1-2 أغشية بوليمرية:

تتكون الأغشية البوليمرية من بوليمرات اصطناعية [28]، مثل بوليميرات أو بولي (ثير أميد)، والتي تمتلك خصائص نقل انتقائية لثاني أكسيد الكربون. يمكن تصنيع هذه الأغشية من خلال تقنيات

مختلفة مثل انعكاس الطور أو البلورة البينية[29]. توفر الأغشية البوليمرية قابلة ممتازة للتوسع وفعالية من حيث التكلفة، ولكن انتقائها واستقرارها يحتاجان إلى تحسين للتطبيقات الصناعية[30].

## 2-2 أغشية المصفوفة المختلطة (MMMs):

تجمع MMMs مواد مائئة غير عضوية[31]، مثل الزوليت[32]، أو الأطر العضوية المعدنية، أو أكاسيد المعادن، مع المصفوفات البوليمرية لتعزيز الانتقائية والنفذية[33]. تستفيد هذه المركبات من انتقائية الحشوات غير العضوية وقابلية معالجة المصفوفة البوليمرية[34]. يواصل الباحثون استكشاف مواد حشو جديدة وتحسين تفاعل حشو المصفوفة لتحسين أداء MMMs[35].

## 2-3 أغشية غير عضوية:

توفر الأغشية غير العضوية، مثل الأغشية الخزفية أو المعدنية، ثباتاً حرارياً وكيميائياً فائقاً مقارنة بالأغشية البوليمرية[36]. يمكنهم تحمل ظروف التشغيل القاسية وإظهار انتقائية عالية لفصل ثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك، فإن تكاليف تصنيعها وتعقيدها تحد من استخدامها على نطاق واسع[37].

## 3- العمليات التحفيزية لتحويل ثاني أكسيد الكربون:

### 1-3 التحويل الكهروكيميائية:

تستخدم العمليات الكهروكيميائية الكهرباء لدفع تحويل ثاني أكسيد الكربون. يتضمن الاختزال الكهروكيميائية لثاني أكسيد الكربون، المعروف أيضاً باسم التحفيز الكهربائي[38]، استخدام المحفزات لتسهيل تقليل ثاني أكسيد الكربون إلى منتجات مختلفة. على سبيل المثال، يمكن للمحفزات المعدنية، مثل النحاس أو الفضة أو الذهب[39]، تحويل ثاني أكسيد الكربون انتقائياً إلى أول أكسيد الكربون (CO) أو أيونات الفورمات (HCOO<sup>-</sup>) في الخلايا الكهروكيميائية[40].

### 2-3 الحفز غير المتجانس:

يتضمن التحفيز غير المتجانس استخدام محفزات صلبة لتسهيل تفاعلات تحويل ثاني أكسيد الكربون[41]. المحفزات المعدنية المدعمة على الأسطح الصلبة، مثل الأكاسيد أو الزوليت[42]، تستخدم بشكل شائع في الحفز غير المتجانس. توفر هذه المحفزات مواقع نشطة لامتصاص وتنشيط جزيئات ثاني أكسيد الكربون[41]، مما يتيح التحولات الكيميائية اللاحقة. يمكن استخدام التحفيز غير المتجانس لدرجة ثاني أكسيد الكربون[43]، حيث يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الهيدروجين (H<sub>2</sub>) لإنتاج الميثان (CH<sub>4</sub>) أو الهيدروكربونات الأخرى[44].

### 3-3 الحفز المتجانس:

يتضمن التحفيز المتجانس استخدام محفزات جزيئية مشتتة بشكل موحد في مذيب. توفر المحفزات المتجانسة انتقائية عالية ويمكن أن تسهل تفاعلات تحويل ثاني أكسيد الكربون المعقدة. على سبيل المثال [45]، يمكن للمجمعات المعدنية الانتقالية أن تحفز التشغيل المباشر لثاني أكسيد الكربون عن طريق دمجها في الجزيئات العضوية لإنتاج الأحماض الكربوكسيلية أو غيرها من المواد الكيميائية ذات القيمة المضافة [46].

الجدول 01: أمثلة على العمليات التحفيزية لتحويل ثاني أكسيد الكربون [47]

Catalytic Process	Catalysts Used	Reaction Products
Carbon Capture	Transition metal	Methanol, Formic acid
Utilization (CCU)	complexes, Zeolites	Dimethyl carbonate
Electrochemical	Copper, Silver,	Carbon monoxide (CO)
Conversion	Gold	Formate ions (HCOO <sup>-</sup> )
Heterogeneous	Metal catalysts	Methane (CH <sub>4</sub> )
Catalysis	supported on	Ethylene (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )
	solid surfaces	
Homogeneous	Transition metal	Carboxylic acids,
Catalysis	complexes	Value-added chemicals

يقدم الجدول أعلاه لمحة سريعة عن بعض العمليات التحفيزية المستخدمة في تحويل ثاني أكسيد الكربون، جنبًا إلى جنب مع المحفزات المستخدمة ونواتج التفاعل المقابلة [9]. تسلط هذه الأمثلة الضوء على تنوع المحفزات ومجموعة المنتجات التي يمكن الحصول عليها من خلال تحويل ثاني أكسيد الكربون [48]. من المهم ملاحظة أن تطوير محفزات فعالة وانتقائية لا يزال يمثل تحديًا كبيرًا في تحويل ثاني أكسيد الكربون [49]. لا تحتاج المحفزات إلى تعزيز تفاعل ثاني أكسيد الكربون فحسب، بل تحتاج أيضًا إلى ضمان انتقائية عالية تجاه المنتجات المرغوبة [50]، مع تقليل استهلاك الطاقة وتقليل المنتجات الثانوية غير المرغوب فيها. يستكشف الباحثون بنشاط مواد محفزة جديدة واستراتيجيات تصميم لمواجهة هذه التحديات [51]. تلعب العمليات التحفيزية دورًا مهمًا في تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى منتجات ذات قيمة. التحويل الكهروكيميائية، والتحفيز غير المتجانس، والحفز المتجانس [52]، يمكن تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى مواد كيميائية ووقود ومواد بناء، وبالتالي المساهمة في الحد من انبعاثات غازات الاحتباس

الحراري والانتقال إلى مستقبل أكثر استدامة[53]. سيكون البحث والتطوير المستمر في الحفز أمرًا حيويًا في إطلاق الإمكانيات الكاملة لتحويل ثاني أكسيد الكربون وتخفيف تأثير تغير المناخ[54].

### 3-4 التحفيز الضوئي:

يستخدم التحفيز الضوئي الطاقة الضوئية لدفع تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى منتجات مفيدة. المحفزات القائمة على أشباه الموصلات، مثل ثاني أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) أو الأطر المعدنية العضوية (MOFs)[55]، تُستخدم بشكل شائع في عمليات التحفيز الضوئي. تمتص هذه المحفزات الفوتونات وتولد أزواجًا من الثقوب الإلكترونية[56]، والتي يمكن أن تشارك في تفاعلات الأكسدة والاختزال مع ثاني أكسيد الكربون والمواد المتفاعلة الأخرى[57]. يوفر التحفيز الضوئي نهجًا مستدامًا لتحويل ثاني أكسيد الكربون، حيث إنه يستخدم الطاقة الشمسية ويمكن تنفيذه في ظل الظروف المحيطة[58]. يمكن أن تختلف منتجات التحويل التحفيزي لثاني أكسيد الكربون اعتمادًا على المحفز المستخدم[59]، ولكنها تشمل عادةً على الهيدروكربونات أو الكحولات أو غيرها من المواد الكيميائية ذات القيمة المضافة[60].

### 3-5 تحفيز البلازما:

يتضمن تحفيز البلازما استخدام بلازما غير متوازنة لتنشيط ثاني أكسيد الكربون وتسهيل تحويله[65]. البلازما غاز مؤين يحتوي على أنواع عالية التفاعل، مثل الإلكترونات والأيونات والجذور. يمكن أن تتفاعل هذه الأنواع التفاعلية مع ثاني أكسيد الكربون، فتكسر روابطها الكيميائية وتعزز تكوين المنتجات المرغوبة[66]. يوفر تحفيز البلازما ميزة التشغيل في درجات حرارة منخفضة وضغط جوي، مما يجعله موفرًا للطاقة ومتوافقًا مع مختلف المواد الأولية[67]. يمكن استخدامه لإنتاج غاز التخليق (خليط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون) أو الميثان أو الهيدروكربونات الأخرى[2].

### 3-6 الحفز الحيوي:

يأخذ الحفز الحيوي الإلهام من العمليات الطبيعية ويستخدم المحفزات الاصطناعية لتقليد كفاءة وانتقائية النظم البيولوجية[68]. تم تصميم هذه المحفزات لتكرار المواقع النشطة الموجودة في الإنزيمات أو البروتينات المعدنية المسؤولة عن تحويل ثاني أكسيد الكربون في الكائنات الحية[48]. يوفر الحفز الحيوي إمكانية انتقائية وخصوصية عالية في تفاعلات تحويل ثاني أكسيد الكربون. يمكن تطبيقه على العديد من التحويلات، مثل تثبيت ثاني أكسيد الكربون[69]، أو الكربوكسيل، أو الاختزال، لإنتاج مجموعة من المواد الكيميائية القيمة أو الوقود[48].

تجلب كل من هذه العمليات التحفيزية مزايا وتحديات فريدة في مجال تحويل ثاني أكسيد الكربون. يواصل الباحثون والمهندسون استكشاف هذه الأساليب[70]، ساعين إلى تحسين المحفزات وتحسين

ظروف التفاعل وتوسيع نطاق عمليات التطبيق الصناعي. من خلال تسخير قوة الحفز، من الممكن تحويل ثاني أكسيد الكربون من غاز دفيئة إشكالي إلى مورد قيم للإنتاج المستدام [71].

#### 4- العمليات التحفيزية الأخرى لتحويل ثاني أكسيد الكربون:

##### 4-1 الميثان المباشر:

يتضمن الميثان المباشر التحويل الحفزي لثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ( $H_2$ ) إلى ميثان ( $CH_4$ ). تستخدم هذه العملية محفزًا، مثل النيكل أو الروثين يوم أو الكوبالت [72]، لتسهيل التفاعل. الميثان المباشر مفيد بشكل خاص لتخزين واستخدام الطاقة المتجددة الزائدة [73]. من خلال تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى ميثان، يمكن تخزين الغاز الناتج بسهولة واستخدامه كمصدر وقود نظيف لتوليد الطاقة أو التدفئة [74].

##### 4-2 تفاعل التحول العكسي بين الماء والغاز (RWGS):

يتضمن تفاعل التحول العكسي للماء والغاز تحويل ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ( $H_2$ ) إلى أول أكسيد الكربون ( $CO$ ) والماء ( $H_2O$ ). يستخدم هذا التفاعل بشكل شائع في عمليات إنتاج الهيدروجين. المحفزات [75]، مثل الحديد أو النحاس أو المواد القائمة على السيريوم، تستخدم لتعزيز التفاعل. يمكن تحويل ثاني أكسيد الكربون المنتج إلى مواد كيميائية أو وقود ذي قيمة، بينما يمكن إعادة تدوير الماء لتوليد الهيدروجين [71].

##### 4-3 حلقات الكربونات:

حلقات الكربونات هي عملية من خطوتين تتضمن التقاط ثاني أكسيد الكربون وتحويله لاحقًا. في الخطوة الأولى، يتم التقاط ثاني أكسيد الكربون بالتفاعل مع أكاسيد الفلزات [76]، عادةً أكسيد الكالسيوم ( $CaO$ )، لتكوين كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) [77]. تتضمن الخطوة الثانية التحلل الحراري لـ  $CaCO_3$  إلى  $CaO$  و  $CO_2$ . يمكن بعد ذلك استخدام ثاني أكسيد الكربون المنطلق في العديد من التطبيقات. هذه العملية دورية [78]، مع إعادة استخدام  $CaO$  المجدد لمزيد من التقاط ثاني أكسيد الكربون. يمكن استخدام المحفزات لتعزيز كفاءة كل من خطوات الالتقاط والتحرير [79].

##### 4-4 رد فعل Sabatier:

يتضمن تفاعل Sabatier الهدرجة التحفيزية لثاني أكسيد الكربون لإنتاج الميثان ( $CH_4$ ) والماء ( $H_2O$ ) [80]. يتم إجراء هذا التفاعل بشكل نموذجي باستخدام محفز، مثل النيكل أو الروثين يوم أو الكوبالت، في درجات حرارة وضغوط مرتفعة [72]. تفاعل Sabatier هو نهج جذاب لأنه يسمح بإنتاج

الميثان، وهو وقود نظيف الاحتراق، من ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين [9]. يمكن استخدام الميثان في العديد من تطبيقات الطاقة، بما في ذلك التدفئة وتوليد الكهرباء أو كمادة وسيطة للتوليف الكيميائي [81]. هذه العمليات التحفيزية الإضافية تسلط الضوء بشكل أكبر على الاستراتيجيات المتنوعة لتحويل ثاني أكسيد الكربون. تقدم كل عملية مزايا وتحديات فريدة، ويعتمد اختيار النهج التحفيزي على عوامل مثل المنتج المطلوب وظروف التفاعل وقابلية التوسع [82].

مع استمرار البحث والتطوير في مجال التحفيز، يمكننا أن نتوقع المزيد من التقدم في تقنيات تحويل ثاني أكسيد الكربون. ستسهم هذه التطورات في الاستخدام المستدام لثاني أكسيد الكربون [9]، والحد من تأثيره البيئي وتعزيز مستقبل أكثر اخضرارًا [83].

#### 4-5 تخليق الميثانول:

يتضمن تخليق الميثانول التحويل الحفزي لثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ( $H_2$ ) إلى ميثانول ( $CH_3OH$ ) [84]. تستخدم المحفزات القائمة على النحاس، مثل أكسيد النحاس والزنك وأكسيد الألومنيوم ( $Cu-ZnO-Al_2O_3$ )، بشكل شائع لهذه العملية [85]. الميثانول مادة كيميائية متعددة الاستخدامات يمكن أن تكون بمثابة لبنة لبناء لمنتجات مختلفة، بما في ذلك الوقود والبلاستيك والمذيبات [86]. يساهم إنتاج الميثانول من ثاني أكسيد الكربون في إعادة تدوير الكربون ويقلل الاعتماد على إنتاج الميثانول القائم على الوقود الأحفوري [87].

#### 4-6 توليف فيشر تروب:

تخليق (FT) هو عملية تحفيزية تقوم بتحويل ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ( $H_2$ ) إلى منتجات هيدروكربونية [88]، مثل الوقود السائل أو الشمع. تتضمن هذه العملية سلسلة من التفاعلات الكيميائية على محفز، عادةً ما يكون من الحديد أو الكوبالت [89]، والذي يتيح تكوين روابط كربون-كربون. يوفر تخليق FT إمكانية إنتاج الوقود المتسرب، والذي يمكن استخدامه كبديل مباشر للوقود التقليدي القائم على البترول [90].

توضح هذه العمليات التحفيزية الإضافية تعدد استخدامات تحويل ثاني أكسيد الكربون وإمكانية استخدام ثاني أكسيد الكربون كمادة وسيطة قيمة لمختلف المنتجات [91]. يلعب الحفز دورًا حاسمًا في تمكين هذه التحولات من خلال تعزيز معدلات التفاعل والانتقائية والكفاءة [92]. من خلال تطوير التقنيات التحفيزية وتحسين ظروف التفاعل، يمكننا الاستمرار في إطلاق العنان لإمكانات تحويل ثاني أكسيد الكربون وتقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتعزيز اقتصاد دائري أكثر استدامة [93].

#### 4-7 تخليق حمض الفورميك:

حمض الفورميك (HCOOH) هو مادة كيميائية قيمة يمكن إنتاجها من ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين ( $H_2$ ) من خلال العمليات التحفيزية [94]. يستخدم حمض الفورميك كمادة حافظة وعامل مضاد للجراثيم ووقود لخلايا الوقود. المحفزات [95]، مثل المعقدات المعدنية القائمة على الروثين يوم أو البيريليوم، يمكن أن تسهل الهدرجة الانتقائية لثاني أكسيد الكربون إلى حمض الفورميك [96]. توفر هذه العملية فرصة لتخزين واستخدام ثاني أكسيد الكربون كوقود سائل عالي الكثافة للطاقة [97].

#### 4-8 إعادة تشكيل ثاني أكسيد الكربون:

إعادة تشكيل ثاني أكسيد الكربون، المعروف أيضًا باسم الإصلاح الجاف، يتضمن التفاعل التحفيزي بين ثاني أكسيد الكربون والميثان ( $CH_4$ ) لإنتاج غاز تخليقي (غاز تخليقي) يحتوي على أول أكسيد الكربون (CO) والهيدروجين ( $H_2$ ) [98]. تُستخدم المحفزات، مثل المواد القائمة على النيكل أو الروديوم، بشكل شائع لتعزيز هذا التفاعل [99]. Syngas عبارة عن وسيط متعدد الاستخدامات يمكن معالجته بشكل أكبر لإنتاج مجموعة من المواد الكيميائية والوقود ذات القيمة، بما في ذلك الميثانول أو الأمونيا أو الهيدروكربونات [100].

#### رابعاً: تجاوز الحدود: دمج استراتيجيات المختبر والمحيط لإدارة ثاني أكسيد الكربون

هناك حاجة ملحة لإيجاد حلول فعالة لإدارة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. بينما تم استكشاف العديد من الأساليب [213]، فإن أحد السبل المحتملة التي تبشر بالخير هو استخدام المحيطات الشاسعة للأرض كوسيلة لإدارة ثاني أكسيد الكربون [290]. تتعمق هذه الدراسة في مفهوم تجاوز الحدود بين الأبحاث المخبرية والتطبيق الواقعي في استراتيجيات إدارة ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى المحيطات [291].



الصورة 6: توضح انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المحيطات [101]

### 1- فهم إدارة ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى المحيطات:

تتضمن إدارة ثاني أكسيد الكربون المعتمدة على المحيطات تنفيذ استراتيجيات لتعزيز القدرة الطبيعية للمحيطات على امتصاص وتخزين ثاني أكسيد الكربون [102]. تعمل المحيطات كبالوعة للكربون، حيث تمتص ما يقرب من ربع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي يولدها الإنسان. ومع ذلك [103]، مع ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون تتضاءل قدرة المحيطات على عزل الكربون. لذلك، فإن الجهود جارية لتطوير تقنيات يمكنها تحسين هذه العملية الطبيعية وتعزيزها بشكل محتمل [8].

### 2- البحث والتطوير المخبري:

تشارك المختبرات العلمية في جميع أنحاء العالم بنشاط في البحث وتطوير مناهج مبتكرة لإدارة ثاني أكسيد الكربون في المحيطات [104]. وتشمل هذه المساعي دراسة تحمض المحيطات، وتقنيات التقاط الكربون وتخزينه، وزراعة الطحالب البحرية والأعشاب البحرية، من بين أمور أخرى [105]. في المختبر، يمكن للباحثين إجراء تجارب مضبوطة لاكتساب رؤى حول الجدوى والكفاءة والمخاطر المحتملة المرتبطة بالتقنيات المختلفة [106].

### 3- بحوث تحمض المحيطات:

يعد تحمض المحيط نتيجة مباشرة لزيادة امتصاص مياه البحر لثاني أكسيد الكربون، مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحموضة في المحيطات [107]. تشكل هذه الظاهرة تهديدًا كبيرًا للنظم البيئية البحرية، بما في ذلك الشعاب المرجانية ومجموعات المحار [108]. تمكن التجارب المعملية العلماء من دراسة آثار تحمض المحيطات على الحياة البحرية وتطوير استراتيجيات التخفيف لحماية هذه النظم البيئية الهشة [109].

### 4- زراعة الطحالب البحرية والأعشاب البحرية:

تلعب الطحالب البحرية والأعشاب البحرية دورًا مهمًا في عزل الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي. تركز التجارب المعملية على فهم معدلات النمو وقدرات امتصاص الكربون وطرق الزراعة المثلى لهذه الكائنات [110]. من خلال دراسة علم الأحياء الخاص بهم واستجاباتهم للظروف البيئية المتغيرة، يمكن للباحثين تطوير استراتيجيات لتعظيم إمكاناتهم حيث يتم امتصاص ثاني أكسيد الكربون في المناطق الساحلية [111].

### 5- ترجمة نتائج المختبر إلى تطبيقات واقعية:

بينما توفر الأبحاث المخبرية رؤى لا تقدر بثمن في إدارة ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى المحيطات، فإن ترجمة هذه النتائج إلى حلول عملية لا تزال تمثل تحديًا. يتطلب سد الفجوة بين المختبر

والمحيط اتباع نهج متعدد التخصصات يضم العلماء والمهندسين وصناع السياسات وأصحاب المصلحة[112].

#### 6- المشاريع التجريبية والتجارب الميدانية:

لسد هذه الفجوة، من الضروري إجراء مشاريع تجريبية وتجارب ميدانية تختبر جدوى وفعالية استراتيجيات إدارة ثاني أكسيد الكربون المختلفة في ظروف العالم الحقيقي. تسمح هذه المبادرات للباحثين بالتحقق من صحة النتائج المخبرية، وتحديد القيود المحتملة، وصقل التقنيات قبل التنفيذ على نطاق واسع[113].

#### 7- التعاون وتبادل المعرفة:

يتطلب التنفيذ الناجح لإدارة ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى المحيطات التعاون بين المؤسسات البحثية والوكالات الحكومية والكيانات الخاصة. يتيح إنشاء شراكات ومنصات دولية لتبادل المعرفة وتبادل الخبرات والبيانات وأفضل الممارسات. يعزز هذا النهج التعاوني الابتكار ويسرع نشر استراتيجيات فعالة لإدارة ثاني أكسيد الكربون[114].

#### 8- المراقبة والتحقق:

يعد الرصد والتحقق المستمران لمشاريع إدارة ثاني أكسيد الكربون أمرًا حيويًا لتقييم فعاليتها، وقياس امتصاص الكربون، وضمان الامتثال للمعايير التنظيمية. يمكن أن يوفر استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد والقياسات الأوقيانوغرافية وأجهزة الاستشعار تحت الماء بيانات في الوقت الفعلي عن مستويات ثاني أكسيد الكربون وتغيرات الأس الهيدروجيني وصحة النظم الإيكولوجية البحرية. هذه المعلومات ضرورية للإدارة التكيفية وصقل الاستراتيجيات بمرور الوقت[115].

#### 9- الاستدامة والتكيف على المدى الطويل:

يجب تصميم استراتيجيات إدارة ثاني أكسيد الكربون المستندة إلى المحيط مع مراعاة الاستدامة والقدرة على التكيف على المدى الطويل. المرونة ضرورية لمراعاة المعرفة العلمية المتطورة، والظروف البيئية المتغيرة، والعواقب المحتملة غير المقصودة. تعد إعادة التقييم المنتظمة وتعديل الاستراتيجيات بناءً على نتائج الأبحاث الجديدة والتقدم التكنولوجي أمرًا حيويًا لضمان استمرار فعالية وسلامة تقنيات إدارة ثاني أكسيد الكربون[116].

### خامسا: تطبيق المواد الكيميائية والهندسة للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون في المحيطات

أدت الزيادة السريعة في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) إلى مستويات مثيرة للقلق من غازات الاحتباس الحراري في غلافنا الجوي [117]، مما يساهم في تغير المناخ. في حين أن الجهود المبذولة للحد من الانبعاثات والانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة أمر بالغ الأهمية [118]، فإن التركيز على تخفيف ثاني أكسيد الكربون لا يتوقف عند الهواء الذي نتنفس [119]. تلعب محيطات العالم دورًا مهمًا في امتصاص وتخزين ثاني أكسيد الكربون، لكن هذا الامتصاص يؤدي إلى تحمض يهدد النظم البيئية البحرية [107]. استجابةً لذلك، يستكشف العلماء والمهندسون طرقًا مبتكرة لمعالجة هذه المشكلة، وتجاوز جدران المختبرات التقليدية واحتضان الحلول الكيميائية والهندسية للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون في المحيطات [120].

#### 1- فهم تحمض المحيطات:

يحدث تحمض المحيطات عندما يؤدي امتصاص فائض ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي إلى انخفاض درجة حموضة مياه البحر. هذه العملية لها آثار ضارة على الحياة البحرية، بما في ذلك تبيض المرجان [121]، وتقليل التكلس في الكائنات الحية المكونة للصدفة، واضطرابات في سلاسل الغذاء. لمكافحة هذه الآثار [122]، يبحث الباحثون عن طرق لإزالة فائض ثاني أكسيد الكربون من المحيط أو التخفيف من آثاره [111].

#### 2- تحسين قلوية المحيط:

أحد الأساليب الواعدة ينطوي على تعزيز قلوية مياه البحر. عن طريق إضافة المواد القلوية مثل الجير أو صخور السيليكات المكسرة، يمكن رفع الرقم الهيدروجيني، مما يبطل عملية التحميض. هذه التقنية، المعروفة باسم تحسين قلوية المحيطات، يمكن أن تعيد التوازن الطبيعي لكيمياء مياه البحر وتوفر بيئة أكثر ملاءمة للكائنات البحرية [123].

#### 3- تقوية اصطناعية:

هناك استراتيجية مبتكرة أخرى يجري استكشافها وهي الانبعاث الاصطناعي. إن تدفق المياه إلى السطح هو عملية محيطية طبيعية حيث يتم جلب المياه العميقة الغنية بالمغذيات إلى السطح، مما يحفز نمو العوالق النباتية. تمتص هذه النباتات المجهرية ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي. يهدف التدفق الاصطناعي إلى تكرار هذه العملية باستخدام آليات مختلفة لضخ المياه الغنية بالمغذيات إلى السطح، وتعزيز نمو العوالق النباتية وبالتالي تعزيز امتصاص ثاني أكسيد الكربون [124].

#### 4- تشجير المحيط:

مستوحاة من جهود إعادة التحريج الأرضية، تشتمل عملية تشجير المحيطات على زراعة النباتات البحرية مثل عشب البحر والأعشاب البحرية لامتصاص ثاني أكسيد الكربون. يمكن لهذه النباتات سريعة النمو التقاط كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التمثيل الضوئي [102]. بالإضافة إلى ذلك، فهي توفر موائل لمختلف الأنواع البحرية ويمكن استخدامها في إنتاج الوقود الحيوي أو غيرها من المنتجات القيمة، مما يجعل هذا النهج مفيداً بيئياً ومجدياً اقتصادياً [125].

#### 5- المراقبة والتنظيم:

لضمان فعالية وسلامة البيئة لهذه التدخلات الكيميائية والهندسية، من الضروري وجود أطر قوية للرصد والتنظيم. يعد الرصد المستمر لكيمياء المحيطات، وصحة النظام الإيكولوجي، وتأثيرات استراتيجيات التخفيف هذه أمراً بالغ الأهمية لتقييم فعاليتها على المدى الطويل وآثارها الجانبية المحتملة. التقييمات المنتظمة وتبادل البيانات بين العلماء وأصحاب المصلحة يسهل اتخاذ القرار القائم على الأدلة والإدارة التكيفية [126].

بالإضافة إلى ذلك، فإن التعاون الدولي والأطر التنظيمية ضروريان لمعالجة الطبيعة العالمية لتحمض المحيطات والتخفيف من حدته. يمكن للجهود التعاونية بين البلدان والمنظمات وضع مبادئ توجيهية ومعايير وبروتوكولات لتنفيذ ورصد هذه الاستراتيجيات. يمكن أن توفر الاتفاقات والاتفاقيات الدولية، مثل اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ واتفاقية التنوع البيولوجي، منبراً للمناقشات والعمل المنسق بشأن التخفيف من تحمض المحيطات [127].

#### سادساً: رسم خرائط مياه جديدة:

##### 1- الجمع بين المواد الكيميائية والهندسة لمحاربة ثاني أكسيد الكربون في المحيط

أحد مجالات البحث التي تبشر بالخير هو الجمع بين المواد الكيميائية والهندسة لمكافحة ثاني أكسيد الكربون في المحيط [2]. يهدف هذا النهج إلى تطوير تقنيات يمكنها امتصاص وتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى مواد غير ضارة [69]، وبالتالي المساعدة في استعادة توازن النظم البيئية البحرية وتقليل التأثير العام لتغير المناخ [128].

##### 2- البحث والتطوير المستمر:

لا يزال مجال الحلول الكيميائية والهندسية لمكافحة ثاني أكسيد الكربون في المحيطات في مراحله الأولى، والبحث والتطوير المستمران ضروريان لصقل هذه التقنيات وتحسينها [129]. يدرس العلماء والمهندسون بنشاط الكفاءة، وقابلية التوسع، والتأثيرات طويلة المدى لأساليب احتجاز الكربون وتخزينه،

بالإضافة إلى العواقب البيئية المحتملة لتعزيز قلوبية المحيطات الاصطناعية [130]. تركّز جهود البحث على تحسين عمليات الالتقاط والتخزين لضمان أقصى قدر من الكفاءة وتقليل استهلاك الطاقة [131]. تستكشف التطورات في علم وهندسة المواد مواد جديدة يمكنها التقاط وتخزين ثاني أكسيد الكربون بشكل فعال، وتحسين الأداء العام لهذه التقنيات [132]. وبالمثل، فإن البحث الجاري مكرس لفهم الآثار البيئية لإدخال المواد القلوية في المحيط وتقييم جدوى واستدامة هذه الأساليب على نطاق أوسع [133]. تعد الدراسات التعاونية التي يشارك فيها علماء الأحياء البحرية وعلماء البيئة وعلماء المحيطات ضرورية لتقييم آثار هذه التدخلات على النظم الإيكولوجية البحرية والتنوع البيولوجي المرتبط بها [134].

### 3- حلول الهندسة الحيوية:

تتضمن مناهج الهندسة الحيوية الاستفادة من القدرات الطبيعية للكائنات الحية الدقيقة أو الكائنات المعدلة وراثيًا لالتقاط وتحويل ثاني أكسيد الكربون [136]. على سبيل المثال، يبحث العلماء في استخدام الطحالب المعدلة وراثيًا التي يمكنها امتصاص ثاني أكسيد الكربون بكفاءة وتحويله إلى وقود حيوي أو مواد كيميائية أخرى مفيدة [105]. بالإضافة إلى ذلك، تلعب المجتمعات الميكروبية في المحيط دورًا مهمًا في دورة الكربون، ويمكن أن يؤدي فهم قدراتها وتسخيرها إلى استراتيجيات جديدة لالتقاط الكربون وتخزينه [137].

### 4- الذكاء الاصطناعي والنمذجة:

يمكن أن تساعد التطورات في الذكاء الاصطناعي وتقنيات النمذجة بشكل كبير في تطوير وتحسين تقنيات التقاط الكربون وتخزينه. يمكن لخوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل مجموعات البيانات الكبيرة ومحاكاة العمليات المعقدة، مما يساعد الباحثين على تحديد الظروف والمواد والاستراتيجيات المثلى لالتقاط وتخزين ثاني أكسيد الكربون [138]. يمكن أن تساعد هذه التقنيات أيضًا في التنبؤ بالآثار المحتملة للتدخلات المختلفة على النظم الإيكولوجية البحرية، مما يسهل اتخاذ القرارات المستنيرة [139].

### خاتمة الفصل ثالث:

تلعب المواد الكيميائية والمنشآت الهندسية دورًا حيويًا في مواجهة التحديات التي يفرضها ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. من النقاط ثاني أكسيد الكربون إلى تخزينه تحت الأرض أو تحويله إلى منتجات قيمة، توفر هذه التقنيات خيارات قابلة للتطبيق للتخفيف من ثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك، فإن معالجة التحديات المرتبطة بها، مثل التكلفة والبنية التحتية والتأثيرات البيئية، تتطلب جهودًا تعاونية بين الحكومات والصناعات والباحثين. من خلال الاستثمار في البحث والتطوير وتنفيذ هذه التقنيات، تقدم تقنيات الامتزاز وفصل الأغشية حلولاً واعدة لالتقاط ثاني أكسيد الكربون، مع مزايا مثل الانتقائية العالية، ومتطلبات الطاقة المنخفضة، ويمثل التحويل الكهروكيميائية لثاني أكسيد الكربون نهجًا واعدًا ومستدامًا لمكافحة تغير المناخ وتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. من خلال تسخير مصادر الطاقة المتجددة واستخدام الخلايا الكهروكيميائية المتخصصة.

- .1 Lai, L., et al., *Exploration of the active center structure of nitrogen-doped graphene-based catalysts for oxygen reduction reaction*. Energy & Environmental Science, 2012. **5**(7): p. 7936-7942.
- .2 Olah, G.A., A. Goepfert, and G.S. Prakash, *Chemical recycling of carbon dioxide to methanol and dimethyl ether: from greenhouse gas to renewable, environmentally carbon neutral fuels and synthetic hydrocarbons*. The Journal of organic chemistry, 2009. **74**(2): p. 487-498.
- .3 Sartori, G. and D.W. Savage, *Sterically hindered amines for carbon dioxide removal from gases*. Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, 1983. **22**(2): p. 239-249.
- .4 Starks, H. and S. Brown Trinidad, *Choose your method: A comparison of phenomenology, discourse analysis, and grounded theory*. Qualitative health research, 2007. **17**(10): p. 1372-1380.
- .5 Long, S.P., et al., *Rising atmospheric carbon dioxide: plants FACE the future*. Annu. Rev. Plant Biol., 2004. **55**: p. 591-628.
- .6 Lambrou, Y. and G. Piana, *Gender: The missing component of the response to climate change*. 2006: FAO Rome.
- .7 Aaron, D. and C. Tsouris, *Separation of CO<sub>2</sub> from flue gas: a review*. Separation science and technology, 2005. **40**(1-3): p. 321-348.
- .8 Leung, D.Y., G. Caramanna, and M.M. Maroto-Valer, *An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **39**: p. 426-443.
- .9 Centi, G. and S. Perathoner, *Opportunities and prospects in the chemical recycling of carbon dioxide to fuels*. Catalysis Today, 20 : (4-3)148 .09p. 191-205.
- .10 Bachu, S., *Sequestration of CO<sub>2</sub> in geological media: criteria and approach for site selection in response to climate change*. Energy conversion and management, 2000. **41**(9): p. 953-970.
- .11 Aminu, M.D., et al., *A review of developments in carbon dioxide storage*. Applied Energy, 2017. **208**: p. 1389-1419.
- .12 Ellerman, A.D. and P.L. Joskow, *The European Union's emissions trading system in perspective*. 2008: Pew Center on Global Climate Change Arlington, VA.
- .13 White, C.M., et al. *Sequestration of carbon dioxide in coal with enhanced coalbed methane recovery a review*. Energy & Fuels, 2005. **19**(3): p. 659-724.

- 
- .14 Metz, B., *Carbon dioxide capture and storage: special report of the intergovernmental panel on climate change*. 2005: Cambridge University Press.
- .15 Spigarelli, B.P. and S.K. Kawatra, *Opportunities and challenges in carbon dioxide capture*. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, 2013. **1**: p. 69-87.
- .16 Fu, L., et al., *Research progress on CO<sub>2</sub> capture and utilization technology*. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, 2022. **66**: p. 102260.
- .17 Gelb, L.D. and K. Gubbins, *Characterization of porous glasses: Simulation models, adsorption isotherms, and the Brunauer– Emmett– Teller analysis method*. Langmuir, 1998. **14**(8): p. 2097-2111.
- .18 Yoro, K.O. and M.O. Daramola, *CO<sub>2</sub> emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect*, in *Advances in carbon capture*. 2020, Elsevier. p. 3-28.
- .19 Pevida, C., et al., *Surface modification of activated carbons for CO<sub>2</sub> capture*. Applied Surface Science, 200 : (22)254 .8p. 7165-7172.
- .20 Kreno, L.E., et al., *Metal–organic framework materials as chemical sensors*. Chemical reviews, 2012. **112**(2): p. 1105-1125.
- .21 Samanta, A., et al., *Post-combustion CO<sub>2</sub> capture using solid sorbents: a review*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2012. **51**(4): p. 1438-1463.
- .22 Venkatachalam, D. and S. Kaliappa, *Superabsorbent polymers: A state-of-art review on their classification, synthesis, physicochemical properties, and applications*. Reviews in Chemical Engineering : (1)39 .2023 ,p. 127-171.
- .23 D'Alessandro, D.M., B. Smit, and J.R. Long, *Carbon dioxide capture: prospects for new materials*. Angewandte Chemie International Edition, 2010. **49**(35): p. 6058-6082.
- .24 Kulesza, D., et al., *Anomalous red and infrared luminescence of Ce<sup>3+</sup> ions in SrS: Ce sintered ceramics*. The Journal of Physical Chemistry C, 2015. **119**(49): p. 27649-27656.
- .25 Drese, J.H., et al., *Synthesis–structure–property relationships for hyperbranched aminosilica CO<sub>2</sub> adsorbents*. Advanced Functional Materials, 2009. **19**(23): p. 3821-3832.
- .26 Zhang, W., A.R. Mohamed, and W.J. Ong, *Z-scheme photocatalytic systems for carbon dioxide reduction: where are we now?* Angewandte Chemie International Edition, 2020. **59**(51): p. 22894-22915.
- .27 Trickett, C.A., et al .*The chemistry of metal–organic frameworks for CO<sub>2</sub> capture, regeneration and conversion*. Nature Reviews Materials, 2017. **2**(8): p. 1-16.

- 
- .28 Maitz, M.F., *Applications of synthetic polymers in clinical medicine*. Biosurface and Biotribology, 2015. **1**(3): p. 1.176-61
- .29 Mannan, H.A., et al., *Recent applications of polymer blends in gas separation membranes*. Chemical Engineering & Technology, 2013. **36**(11): p. 1838-1846.
- .30 Pendergast, M.M. and E.M. Hoek, *A review of water treatment membrane nanotechnologies*. Energy & Environmental Science, 2011. **4**(6): p. 1946-1971.
- .31 Chung, T.-S., et al., *Mixed matrix membranes (MMMs) comprising organic polymers with dispersed inorganic fillers for gas separation*. Progress in polymer science, 2007. **32**(4): p. 483-507.
- .32 Bowlby, R., *Just Looking (Routledge Revivals): Consumer Culture in Dreiser, Gissing and Zola*. 2009: Routledge.
- .33 Park, H.B., et al., *Maximizing the right stuff: The trade-off between membrane permeability and selectivity*. Science, 2017. **356**(6343): p. eaab.0530
- .34 Ismail, A., et al., *Transport and separation properties of carbon nanotube-mixed matrix membrane*. Separation and Purification Technology, 2009. **70**(1): p. 12-26.
- .35 Cramer, N., J. Stansbury, and C. Bowman, *Recent advances and developments in composite dental restorative materials*. Journal of dental research, 2011. **90**(4): p. 402-416.
- .36 Kulwicki, B.M., *Humidity sensors*. Journal of the American Ceramic Society, 1991. **74**(4): p. 697-708.
- .37 Bernardo, P., E. Drioli, and G. Golemme, *Membrane gas separation: a review/state of the art*. Industrial & engineering chemistry research, 2009. **48**(10): p. 4638-4663.
- .38 Finn, C., et al., *Molecular approaches to the electrochemical reduction of carbon dioxide*. Chemical Communications, 2012. **48**(10): p. 1392-1399.
- .39 Kortlever, R., et al., *Catalysts and reaction pathways for the electrochemical reduction of carbon dioxide*. The journal of physical chemistry letters, 2015. **6**(20): p. 4073-4082.
- .40 Hawecker, J., J.M. Lehn, and R. Ziessel, *Photochemical and electrochemical reduction of carbon dioxide to carbon monoxide mediated by (2,2'-bipyridine) tricarbonylchlororhenium (I) and related complexes as homogeneous catalysts*. Helvetica chimica acta, 1986. **69**(8): p. 1990-2012.
- .41 Jiang, X., et al., *Recent advances in carbon dioxide hydrogenation to methanol via heterogeneous catalysis*. Chemical reviews, 2020. **120**(15): p. 7984-8034.

- 
- .42 Vachhrajani, V. and P. Khakhkhar, *Science of Wound Healing and Dressing Materials*. 2020, Springer.
- .43 Ye, R.-P., et al., *CO<sub>2</sub> hydrogenation to high-value products via heterogeneous catalysis*. Nature communications, 2019. **10**(1): p. 5698.
- .44 Hori, Y., A. Murata, and R. Takahashi, *Formation of hydrocarbons in the electrochemical reduction of carbon dioxide at a copper electrode in aqueous solution*. Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases, 1989. **85**(8): p. 2309-2326.
- .45 Jiao, L., et al., *Metal-organic frameworks as platforms for catalytic applications*. Advanced Materials, 2018. **30**(37): p. 1703663.
- .46 Fiorani, G., W. Guo, and A.W. Kleij, *Sustainable conversion of carbon dioxide: the advent of organocatalysis*. Green Chemistry, 2015. **17**(3): p. 1375-1389.
- .47 Ashcroft, A., et al., *Partial oxidation of methane to synthesis gas using carbon dioxide*. Nature, 1991. **352**: p. 225-226.
- .48 Appel, A.M., et al., *Frontiers, opportunities, and challenges in biochemical and chemical catalysis of CO<sub>2</sub> fixation*. Chemical reviews, 2013. **113**(8): p. 6621-6658.
- .49 Song, Q.-W., Z.-H. Zhou, and L.-N. He, *Efficient, selective and sustainable catalysis of carbon dioxide*. Green Chemistry, 2017. **19**(16): p. 3707-3728.
- .50 Wang, W., et al., *Recent advances in catalytic hydrogenation of carbon dioxide*. Chemical Society Reviews, 2011. **40**(7): p. 3703-3727.
- .51 Anastas, P. and N. Eghbali, *Green chemistry: principles and practice*. Chemical Society Reviews, 2010. **39**(1): p. 301-312.
- .52 Costentin, C., M. Robert, and J.-M. Savéant, *Catalysis of the electrochemical reduction of carbon dioxide*. Chemical Society Reviews, 2016. **45**(6): p. 2423-2436.
- .53 Omer, A.M., *Energy, environment and sustainable development*. Renewable and sustainable energy reviews, 2008. **12**(9): p. 2265-2300.
- .54 Höök, M. and K. Aleklett, *A review on coal-to-liquid fuels and its coal consumption*. International journal of energy research, 2010. **34**(10): p. 848-864.
- .55 Ola, O. and M.M. Maroto-Valer, *Review of material design and reactor engineering on TiO<sub>2</sub> photocatalysis for CO<sub>2</sub> reduction*. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 2015. **24**: p. 16-42.
- .56 Hou, W. and S.B. Cronin, *A review of surface plasmon resonance-enhanced photocatalysis*. Advanced Functional Materials, 2013. **23**(13): p. 1612-1619.

- 
- .57 Bond, G.C. and D.T. Thompson, *Gold-catalysed oxidation of carbon monoxide*. Gold Bulletin, 2000. **33**(2): p. 41-50.
- .58 Li, S.-H., et al., *A sustainable approach for lignin valorization by heterogeneous photocatalysis*. Green Chemistry, 2016. **18**(3): p. 594-607.
- .59 Tackett, B.M., E. Gomez, and J.G. Chen, *Net reduction of CO<sub>2</sub> via its thermocatalytic and electrocatalytic transformation reactions in standard and hybrid processes*. Nature Catalysis, 2019. **2**(5): p. 381-386.
- .60 Chheda, J.N., G.W. Huber, and J.A. Dumesic, *Liquid-phase catalytic processing of biomass-derived oxygenated hydrocarbons to fuels and chemicals*. Angewandte Chemie International Edition, 2007. **46**(38): p. 7164-7183.
- .61 He, Z. and L.T. Angenent, *Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells*. Electroanalysis: An International Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis, 2006. **18**(19-20): p. 2009-2015.
- .62 Fuchs, G., *Alternative pathways of carbon dioxide fixation: insights into the early evolution of life?* Annual review of microbiology, 2011. **65**: p. 631-658.
- .63 Liu, C., et al., *Nanowire-bacteria hybrids for unassisted solar carbon dioxide fixation to value-added chemicals*. Nano letters, 2015. **15**(5): p. 3634-3639.
- .64 Amin, S., *Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae*. Energy conversion and management : (7)50 .2009 ,p. 1834-1840.
- .65 Arora, S. and R. Prasad, *An overview on dry reforming of methane: strategies to reduce carbonaceous deactivation of catalysts*. RSC advances, 2016. **6**(110): p. 108668-108688.
- .66 Eliasson, B. and U. Kogelschatz, *Nonequilibrium volume plasma chemical processing*. IEEE transactions on plasma science, 1991. **19**(6): p. 1063-1077.
- .67 Alves, H.J., et al., *Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells*. International journal of hydrogen energy, 2013. **38**(13): p. 5215-5225.
- .68 Wheeldon, I., et al., *Substrate channelling as an approach to cascade reactions*. Nature chemistry, 2016. **8**(4): p. 299-309.
- .69 Mikkelsen, M., M. Jørgensen, and F.C. Krebs, *The teraton challenge. A review of fixation and transformation of carbon dioxide*. Energy & Environmental Science, 2010. **3**(1): p. 43-81.

- .70 Lynd, L.R., C.E. Wyman, and T.U. Gerngross, *Biocommodity engineering*. Biotechnology progress, 1999. **15**(5): p. 777-793.
- .71 Artz, J., et al., *Sustainable conversion of carbon dioxide: an integrated review of catalysis and life cycle assessment*. Chemical reviews, 2018. **118**(2): p. 434-504.
- .72 Etiope, G. and A. Ionescu, *Low-temperature catalytic CO<sub>2</sub> hydrogenation with geological quantities of ruthenium: a possible abiotic CH<sub>4</sub> source in chromitite-rich serpentinized rocks*. Geofluids, 2015. **15**(3): p. 438-452.
- .73 Jentsch, M., T. Trost, and M. Sterner, *Optimal use of power-to-gas energy storage systems in an 85% renewable energy scenario*. Energy Procedia, 2014. **46**: p.261-254 .
- .74 Demirbaş, A., *Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals*. Energy conversion and Management, 2001. **42**(11): p. 1357-1378.
- .75 Tsai, J.C. and K.M. Nicholas, *Rhodium-catalyzed hydrogenation of carbon dioxide to formic acid*. Journal of the American Chemical Society, 1992. **114**(13): p. 5117-5124.
- .76 Gupta, H. and L.-S. Fan, *Carbonation– calcination cycle using high reactivity calcium oxide for carbon dioxide separation from flue gas*. Industrial & engineering chemistry research, 2002. **41**(16): p. 4035-4042.
- .77 Baker, J.S. and S.J. Judd, *Magnetic amelioration of scale formation*. Water research, 1996. **30**(2): p. 247-260.
- .78 Gil, A., et al., *State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization*. Renewable and sustainable energy reviews, 2010. **14**(1): p. 31-55.
- .79 Joensuu, T., H. Edelman, and A. Saari, *Circular economy practices in the built environment*. Journal of cleaner production, 20 :276 .20p. 124215.
- .80 Wei, W. and G. Jinlong, *Methanation of carbon dioxide: an overview*. Frontiers of Chemical Science and Engineering, 2011. **5**: p. 2-10.
- .81 Gahleitner, G., *Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications*. international Journal of hydrogen energy, 2013. **38**(5): p. 2039-2061.
- .82 Chynoweth, D.P., J.M. Owens, and R. Legrand, *Renewable methane from anaerobic digestion of biomass*. Renewable energy, 2001. **22**(1-3): p. 1-8.
- .83 Wong, V., W. Turner, and P. Stoneman, *Marketing strategies and market prospects for environmentally-friendly consumer products I*. British journal of Management, 1996. **7**(3): p. 263-281.

- .84 Twigg, M.V. and M.S. Spencer, *Deactivation of Copper Metal Catalysts for Methanol Decomposition, Methanol Steam Reforming and Methanol Synthesis*. Topics in Catalysis, 2003. **22**.
- .85 Alejo, L., et al., *Partial oxidation of methanol to produce hydrogen over Cu-Zn-based catalysts*. Applied Catalysis A: General, 1997. **16** (2-1): p. 281-297.
- .86 de Jong, E.D., et al., *Furandicarboxylic acid (FDCA), a versatile building block for a very interesting class of polyesters*, in *Biobased monomers, polymers, and materials*. 2012, ACS Publications. p. 1-13.
- .87 Olah, G.A., *Towards oil independence through renewable methanol chemistry*. Angewandte Chemie International Edition, 2013. **52**(1): p. 104-107.
- .88 Adhikari, U., M.S. Eikeland, and B. Halvorsen, *Gasification of biomass for production of syngas for biofuel*. 2015.
- .89 Dry, M.E., *The fischer-tropsch process: 1950-2000*. Catalysis today, 2002. **71**(3-4): p. 227-241.
- .90 Rosetti, V., *Catalysts for H<sub>2</sub> production*. 2007.
- .91 De Luna, P., et al., *What would it take for renewably powered electrosynthesis to displace petrochemical processes?* Science, 2019. **364**(6438): p. eaav3506.
- .92 Christopher, P., H. Xin, and S. Linic, *Visible-light-enhanced catalytic oxidation reactions on plasmonic silver nanostructures*. Nature chemistry, 2011. **3**(6): p. 467-472.
- .93 Mülhaupt, R., *Green polymer chemistry and bio-based plastics: dreams and reality*. Macromolecular Chemistry and Physics, 2013. **214**(2): p. 159-174.
- .94 Feaster, J.T., et al., *Understanding selectivity for the electrochemical reduction of carbon dioxide to formic acid and carbon monoxide on metal electrodes*. Acs Catalysis, 2017. **7**(7): p. 4822-4827.
- .95 Dibner, J. and P. Buttin, *Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism*. Journal of applied poultry research, 2002. **11**(4): p. 453-463.
- .96 Dalebrook, A.F., et al., *Hydrogen storage: beyond conventional methods*. Chemical communications, 2013. **49**(78): p. 8735-8751.
- .97 Lee, J.S., et al., *Metal-air batteries with high energy density: Li-air versus Zn-air*. Advanced Energy Materials, 2011. **1**(1): p. 34.50-

- 
- .98 Wang, S., G. Lu, and G.J. Millar, *Carbon dioxide reforming of methane to produce synthesis gas over metal-supported catalysts: state of the art*. Energy & fuels, 1996. **10**(4): p. 896-904.
- .99 Sunley, G.J. and D.J. Watson, *High productivity methanol carbonylation catalysis using iridium: the Cativa™ process for the manufacture of acetic acid*. Catalysis Today, 2000. **58**(4): p. 293-307.
- .100 Spath, P.L. and D.C. Dayton, *Preliminary screening--technical and economic assessment of synthesis gas to fuels and chemicals with emphasis on the potential for biomass-derived syngas*. 2003, National Renewable Energy Lab., Golden, CO.(US)
- .101 Caldeira, K. and M.E. Wickett, *Ocean model predictions of chemistry changes from carbon dioxide emissions to the atmosphere and ocean*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2005. **110**(C9).
- .102 Nellemann, C. and E. Corcoran, *Blue carbon: the role of healthy oceans in binding carbon: a rapid response assessment*. 2009: UNEP/Earthprint.
- .103 Canadell, J.G., et al., *Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks*. Proceedings of the national academy of sciences, 2007. **104**(47): p. 18866-18870.
- .104 Halmann, M.M. and M. Steinberg, *Greenhouse gas carbon dioxide mitigation: science and technology*. 1998: CRC press.
- .105 Quadrelli, E.A., et al., *Carbon dioxide recycling: emerging large-scale technologies with industrial potential*. ChemSusChem, 2011. **4**(9): p. 1194-1215.
- .106 Kuhl, K.P., et al., *New insights into the electrochemical reduction of carbon dioxide on metallic copper surfaces*. Energy & Environmental Science, 2012. **5**(5): p. 7050-7059.
- .107 Raven, J., et al., *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. 2005: The Royal Society.
- .108 Kirby, M.X., *Fishing down the coast: historical expansion and collapse of oyster fisheries along continental margins*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2004. **101**(35): p. 13096-13099.
- .109 Fabry, V.J., et al., *Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes*. ICES Journal of Marine Science, 2008. **65**(3): p. 414-432.
- .110 Chai, W.S., et al., *Multifaceted roles of microalgae in the application of wastewater biotreatment: a review*. Environmental Pollution, 2021. **269** :p. 116236.

- 
- .111 Karl, T.R., J.M. Melillo, and T.C. Peterson, *Global climate change impacts in the United States: a state of knowledge report from the US Global Change Research Program*. 2009: Cambridge University Press.
- .112 Board, O.S., E. National Academies of Sciences, and Medicine, *Negative emissions technologies and reliable sequestration: A research agenda*. 2019.
- .113 Van Deventer, J.S., J.L. Provis, and P. Duxson, *Technical and commercial progress in the adoption of geopolymers*. *Minerals Engineering*, 2012. **29**: p. 89-104.
- .114 Valdés, L., *Global ocean science report: the current status of ocean science around the world*. 2017.
- .115 Rosenqvist, Å., et al., *A review of remote sensing technology in support of the Kyoto Protocol*. *Environmental Science & Policy*, 2003. **6**(5): p. 441-455.
- .116 Shepherd, J.G., *Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*. 2009: Royal Society.
- .117 Solomon, S., et al., *Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions*. *Proceedings of the national academy of sciences*, 2009. **106**(6): p. 1704-1709.
- .118 Dincer, I., *Renewable energy and sustainable development: a crucial review*. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2000. **4**(2): p. 157-175.
- .119 Sanderson, W.C., R.M. Rapee, and D.H. Barlow, *The influence of an illusion of control on panic attacks induced via inhalation of 5.5% carbon dioxide-enriched air*. *Archives of General psychiatry*, 1989. **46**(2): p. 157-162.
- .120 Niklas, K.J., *Plant biomechanics: an engineering approach to plant form and function*. 1992: University of Chicago press.
- .121 Anthony, K.R., et al., *Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008. **105**(45): p. 17442-17446.
- .122 Doney, S.C., et al., *Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem*. *Annual review of marine science*, 2009. **1**: p. 169-192.
- .123 Hamilton, D.L., *Methods of conserving archaeological material from underwater sites*. Texas A&M University, 1999. **110**.
- .124 Kurakin, A., *The self-organizing fractal theory as a universal discovery method: the phenomenon of life*. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2011. **8**: p. 1-66.

- .125 Ahmad, A.L., et al., *Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: a review*. Renewable and sustainable energy reviews, 2011. **15**(1): p. 584-593.
- .126 Moore, M.N., et al., *An integrated biomarker-based strategy for ecotoxicological evaluation of risk in environmental management*. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 2004. **552**(1-2): p. 247-268.
- .127 Lindstrom, E., et al., *A Framework for Ocean Observing. By the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing*. 2012.
- .128 Hoegh-Guldberg, O. and J.F. Bruno, *The impact of climate change on the world's marine ecosystems*. Science, 2010. **328**(5985): p. 1523-1528.
- .129 Pienkos, P.T. and A. Darzins, *The promise and challenges of microalgal-derived biofuels*. Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy, 2009. **3**(4): p. 431.440-
- .130 Fuss, S., et al., *Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects*. Environmental Research Letters, 2018. **13**(6): p. 063002.
- .131 Banos, R., et al., *Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review*. Renewable and sustainable energy reviews, 2011. **15**(4): p. 1753-1766.
- .132 Chu, S., Y. Cui, and N. Liu, *The path towards sustainable energy*. Nature materials, 2017. **16**(1): p. 16-22.
- .133 Provis, J.L., A. Palomo, and C. Shi, *Advances in understanding alkali-activated materials*. Cement and Concrete Research, 2015. **78**: p. 110-125.
- .134 Leslie, H.M. and K.L. McLeod, *Confronting the challenges of implementing marine ecosystem-based management*. Frontiers in Ecology and the Environment, 2007. **5**(10): p. 540-548.
- .136 Rittmann, B.E., *Opportunities for renewable bioenergy using microorganisms*. Biotechnology and bioengineering : (2)100 .2008 ,p. 203-212.
- .137 Singh, B.K., et al., *Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options*. Nature Reviews Microbiology, 2010. **8**(11): p. 779-790.
- .138 Xu, Y., et al., *Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research*. The Innovation, 2021. **2**(4): p. 100179.
- .139 Darling, J.A. and A.R. Mahon, *From molecules to management: adopting DNA-based methods for monitoring biological invasions in aquatic environments*. Environmental research, 2011. **111**(7): p.988-978 .

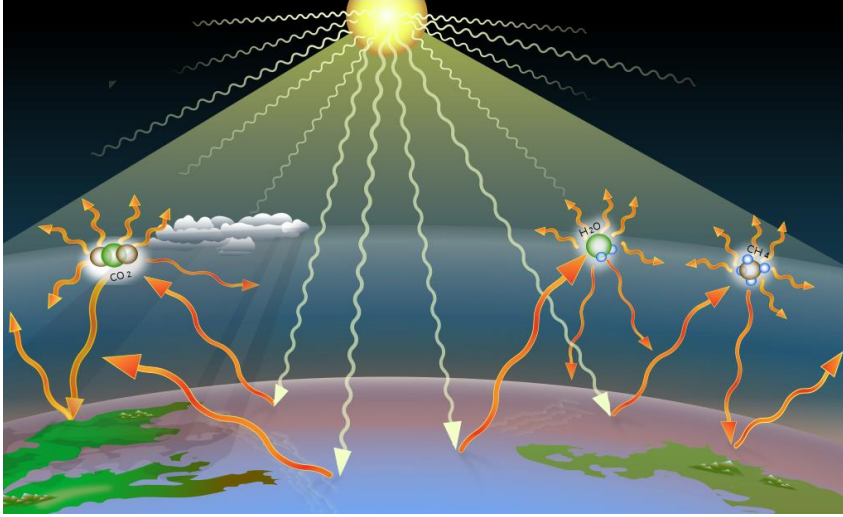
# الفصل الرابع: طرق معالجة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون

## مقدمة الفصل الرابع:

حظيت القضية الملحة المتعلقة بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتأثيرها الضار على البيئة باهتمام كبير في جميع أنحاء العالم. بينما تصارع المجتمعات الحاجة الملحة للتصدي لتغير المناخ، أصبح إيجاد طرق فعالة لتخفيف ومعالجة ثاني أكسيد الكربون أمرًا بالغ الأهمية. يهدف هذه الفصل إلى تقديم لمحة عامة عن مختلف طرق معالجة ثاني أكسيد الكربون التي ظهرت كحلول محتملة في المعركة ضد ارتفاع مستويات غازات الاحتباس الحراري.

أولاً: مفهوم الاحتباس الحراري:

الاحتباس الحراري هو ظاهرة تتمثل في ارتفاع درجة حرارة الأرض نتيجة لزيادة تراكيز بعض الغازات في الغلاف الجوي، وخاصة ثاني أكسيد الكربون والميثان [1]. تعمل هذه الغازات على امتصاص الأشعة الشمسية وإعادة توجيهها إلى سطح الأرض، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة العامة للكوكب [2].



الصورة 7: توضيح ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والاحتباس الحراري

ثانياً: الحد من ظاهرة الاحتباس الحراري:

### 1- تقنيات المعالجة الحيوية لغاز ثاني أكسيد الكربون:

تشير المعالجة الحيوية إلى استخدام الكائنات الحية لتنظيف التلوث البيئي [3]. في السنوات الأخيرة، تم تطبيق تقنيات المعالجة البيولوجية بشكل متزايد للتخفيف من آثار غازات الدفيئة على البيئة. مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز، مسؤولة عن الاحتباس الحراري وتغير المناخ [4]. تتضمن استخدام الكائنات الحية الدقيقة والنباتات لالتقاط وتخزين هذه الغازات، فضلاً عن تحويلها إلى مركبات أقل ضرراً [5].

خلال هذه العملية تمتص النباتات ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتخزنه في أنسجتها. ثم يتم إطلاق الكربون مرة أخرى في الغلاف الجوي عندما يموت النبات ويتحلل، أو عندما يتم حرقه للوقود [6]. لمنع ذلك، يشمل التصفية الحيوية استخدام تقنيات لتخزين ثاني أكسيد الكربون في أنسجة النبات لفترة أطول من الوقت [7]، مثل دفن المادة النباتية تحت الأرض أو استخدامها لصنع الوقود الحيوي [8].

## 2- تقنيات خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الصناعات الزراعية:

تعتبر الصناعة الزراعية واحدة من المصادر الرئيسية لانبعاث غازات الاحتباس الحراري في العالم، هناك العديد من التقنيات المتاحة سوف نتطرق لبعض التقنيات [9]:

### 1-2 تحسين إنتاجية المحاصيل:

يمكن تحسين جودة المحاصيل وزيادة إنتاج المحاصيل بواسطة تقنيات الري المتطورة والتحكم في درجات الحرارة والإضاءة في البيوت المحمية [10]، مما يقلل من الحاجة إلى الزراعة التقليدية في الأراضي الزراعية الكبيرة التي تسبب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عند استخدام المعدات الثقيلة [11].

### 2-2 إدارة التربة:

يمكن لإدارة التربة أن تلعب دورًا هامًا في تخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الصناعة الزراعية [12]. فعلى سبيل المثال، يمكن لتغطية التربة بالحشائش والأعشاب تقليل التآكل الناتج عن الرياح والمياه والحفاظ على الرطوبة [13]، مما يؤدي إلى تقليل انبعاثات الكربون. كما يمكن استخدام تقنيات الحفاظ على التربة، مثل تقنيات الحراثة العميقة، والتي يتم فيها تحريك التربة بعمق لزرع النباتات، والتي تساعد على زيادة محتوى الكربون العضوي في التربة [14].

### 2-3 التحكم في إنتاج الغازات الدفيئة:

يمكن استخدام تقنيات التحكم في إنتاج الغازات الدفيئة، مثل تقنيات إنتاج السماد الأخضر والحيواني، وتقنيات توليد الطاقة الحيوية، وذلك يساعد على تخفيض انبعاثات الكربون [15].

### 3- تقنيات تخفيف انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الصناعات الكيميائية :

يمثل القطاع الكيميائي حوالي 10 ٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالطاقة العالمية. مع تزايد المخاوف بشأن تغير المناخ انبعاثات غازات الاحتباس الحراري [16]. فسنناقش بعض التقنيات التي يمكن استخدامها لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الصناعة الكيميائية [17].

### 4- تقنيات الكربون المحايدة:

يمكن أن تساعد التقنيات المحايدة للكربون مثل خلايا وقود الهيدروجين والوقود الحيوي في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الصناعة الكيميائية [18]. يمكن لخلايا وقود الهيدروجين أن تحل محل الوقود الأحفوري في إنتاج الكهرباء والحرارة ، بينما يمكن استخدام الوقود الحيوي كبديل للوقود الأحفوري في النقل والتدفئة [19].

5- كفاءة المواد:

يمكن أن يساعد تقليل استخدام المواد والنفايات في الصناعة الكيميائية أيضاً على التخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون [20]. يمكن تحقيق ذلك من خلال تصميم عمليات ومنتجات أكثر كفاءة ، واستخدام مواد متجددة ومعاد تدويرها ، وتنفيذ تدابير الحد من النفايات مثل إعادة التدوير وإعادة الاستخدام [21].

6- مخططات تداول ضرائب الكربون والانبعاثات:

يمكن لضرائب الكربون وخطط تداول الانبعاثات أن تحفز الصناعة الكيميائية لتقليل بصمتها الكربونية. ضريبة الكربون هي رسوم مفروضة على انبعاثات غازات الدفيئة [22]، بينما تسمح مخططات تداول الانبعاثات للشركات بشراء وبيع مخصصات الانبعاثات. يمكن أن توفر أدوات السياسة هذه إشارة أسعار للانبعاثات وتشجع الصناعة على الاستثمار في تدابير الحد من الانبعاثات [23].

7- تقنيات التخفيف الكربوني في قطاع النقل :

أصبحت تقنيات تخفيف الكربون في قطاع النقل ذات أهمية متزايدة حيث يواجه العالم تحدي الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري للتخفيف من آثار تغير المناخ. إليكم بعض تقنيات تخفيف الكربون المتوفرة حالياً في قطاع النقل [24]:

1-7 السيارات الكهربائية:

أصبحت السيارات الكهربائية خياراً شائعاً بشكل متزايد للمستهلكين الذين يتطلعون إلى تقليل بصمتهم الكربونية. يتم تشغيل المركبات الكهربائية بالكهرباء بدلاً من البنزين أو الديزل، مما يقلل بشكل كبير من انبعاثات الكربون [25]. بينما لا تزال المركبات الكهربائية تعتمد على الكهرباء المولدة من الوقود الأحفوري في العديد من المناطق، فإن التحول إلى مصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية يجعل المركبات الكهربائية أكثر نظافة [26].

2-7 الوقود الحيوي:

الوقود الحيوي مصنوع من مصادر متجددة مثل المحاصيل ومنتجات النفايات. على عكس الوقود الأحفوري، الذي يطلق الكربون الذي تم تخزينه لملايين السنين [27]، فإن الوقود الحيوي خالٍ من الكربون، مما يعني أنه لا يطلق الكربون الصافي في الغلاف الجوي [28].

3-7 خلايا الوقود:

خلايا الوقود هي تقنية واعدة أخرى لتخفيف انبعاثات الكربون في قطاع النقل. تولد خلايا الوقود الكهرباء عن طريق الجمع بين الهيدروجين والأكسجين، ويكون المنتج الثانوي الوحيد هو الماء [29]. سيارات خلايا الوقود موجودة بالفعل في السوق، وعلى الرغم من ارتفاع تكلفتها الأولية، فمن المتوقع أن تصبح التكنولوجيا أكثر فعالية من حيث التكلفة في المستقبل [30].

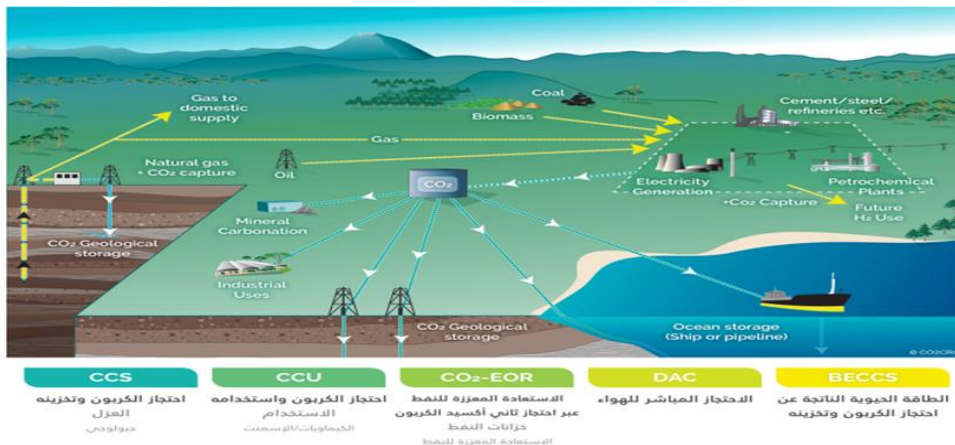
#### 4-7 طرق بديلة للنقل:

يمكن أن تقلل وسائل النقل البديلة مثل ركوب الدراجات والمشى من الانبعاثات وتحسين جودة الهواء في المناطق الحضرية [31]. يمكن للمدن الترويج لأنماط النقل هذه من خلال توفير ممرات للدراجات، وبنية تحتية صديقة للمشاة، وبرامج عامة لمشاركة الدراجات [32].

#### 8- تقنيات احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون وتخفيف آثار تغير المناخ :

احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون هو أسلوب يستخدم لتقليل كمية الانبعاثات البشرية من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في محاولة منه للحد من آثار تغير المناخ العالمي [33]. يمكن استخدام احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه لتحقيق عدد من الأهداف المتعلقة بتخفيف آثار تغير المناخ، ومنها منع متوسط درجة الحرارة العالمية من الوصول إلى مستويات معينة فوق متوسط ما قبل التحول الصناعي [34].

ويشير إلى استخدامه في تطبيقات أخرى، ومنها الاستخراج المحسن للنفط أو صنع الوقود السائل أو تصنيع سلع استهلاكية مفيدة مثل البلاستيك [35]. يركز كلا النهجين على احتجاز ثاني أكسيد الكربون المنبعث وتخزينه، سواء أكان ذلك تحت الأرض في التكوينات الجيولوجية أم عبر الاحتجاز طويل الأجل في المنتجات المادية، ويستخدم المصطلحان عادة لوصف العملية ذاتها [36].



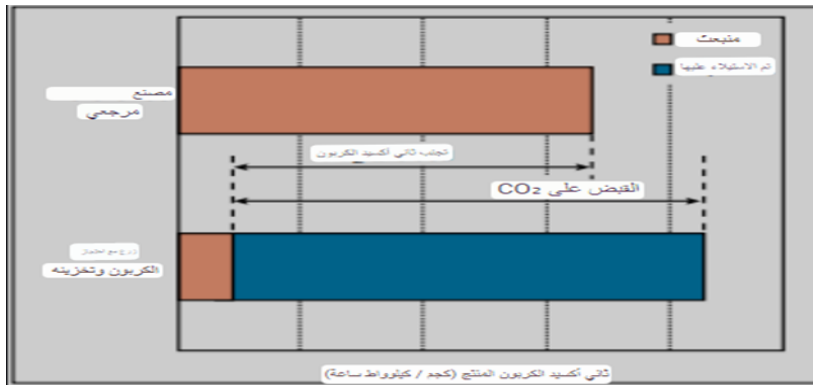
الصورة 8 : توضح رسم تخطيطي لأنظمة احتجاز الكربون وتخزينه المحتملة [37]

9- التقاط غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من محطات توليد الطاقة:

في محطات توليد الطاقة التقليدية، يتم حرق الوقود مثل الفحم أو الغاز الطبيعي لتوليد الكهرباء. ومع ذلك، فإن هذه العملية تنتج كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون الذي يساهم في زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ [38].

مع تطبيق تقنية CCS، يتم تجاوز هذا التحدي من خلال التقاط ثاني أكسيد الكربون من غازات العادم قبل أن يتم إطلاقه إلى الجو [39]. يتم استخدام مذيبات كيميائية أو عمليات الامتصاص للفصل بين غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات العادم الأخرى، مما يسمح بتجميع الكربون وتخزينه في مكان مناسب [40].

بعد التقاط ثاني أكسيد الكربون، يتم نقله عبر وسائل النقل المناسبة إلى مواقع التخزين الجيولوجي المناسبة، مثل الأحواض الصخرية أو حقول النفط والغاز القديمة [33]. تتم مراقبة ومراجعة العملية بدقة لضمان سلامة التخزين ومنع تسرب ثاني أكسيد الكربون إلى البيئة [41].



الصورة 9: توضح التقاط غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه من محطات توليد الطاقة [42]

10- سحب غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء الطلق وتخزينه تحت الأرض :

هو عملية تخزين ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الانبعاثات الصناعية في طبقات الصخور والتربة العميقة تحت سطح الأرض [43].

يتم ضخ ثاني أكسيد الكربون تحت ضغط عالٍ في طبقات محددة من الصخور القابلة لاحتجازها وعزلها بواسطة طبقات طينية أو صخور محاطة بطبقات صخرية غير نافذة للماء [44]. يتم تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى حالة سائلة أو كثافة عالية لتسهيل عملية الحقن وتقليل حجم المساحة المطلوبة للتخزين [33]. و يعتبر أحد الطرق المحتملة للحد من ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ومكافحة تغير المناخ. ومع ذلك [45]، يجب أن يتم اختيار مواقع التخزين بعناية لضمان عدم تسرب ثاني

أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي أو مصادر المياه الجوفية[33]. كما يجب مراعاة العوامل البيئية والاقتصادية والاجتماعية عند تنفيذ مشاريع تخزين ثاني أكسيد الكربون في طبقات الجيولوجيا[46]. يتم تحديد مواقع التخزين بناءً على خصائص الصخور والتربة والطبقات الجيولوجية[47]. تُضخ كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون تحت الأرض إلى أعماق تصل إلى آلاف الأمتار، حيث يتم احتجازه وتثبيتته في المسام والمسافات الفجوية بين حبيبات الصخور[48]. تعتبر طبقات الصخور المثقوبة، مثل الحجر الجيري وحقول النفط والغاز الطبيعي المنضغطة، مواقع تخزين محتملة. تتضمن أمثلة على تقنيات تخزين ثاني أكسيد الكربون في طبقات الجيولوجيا [49]. العمليات المعروفة بالتكثيف والامتصاص والامتزاز والتخزين الجاف. وتتطلب عملية التخزين تقييم دقيق للمواقع المحتملة واختبارها لضمان السلامة البيئية وعدم تسرب ثاني أكسيد الكربون[49]. نظرية سحب ثاني أكسيد الكربون من الهواء الطلق وتخزينه تحت الأرض تُعرف بتقنية الاحتجاز والتخزين الجغرافي للكربون (Carbon Capture and Storage - CCS)[50]. تعمل هذه التقنية على امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتخزينه في مواقع تحت الأرض للحد من انبعاثات الكربون والتأثير البيئي[51].



الصورة 10 : أخذ ثاني أكسيد الكربون من الهواء الطلق وتخزينه تحت الأرض [52]

### 11- تخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيطات:

هو موضوع هام يتعلق بمكافحة تغير المناخ وتقليل ارتفاع مستويات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي[2]. يهدف هذا العمل إلى إزالة ثاني أكسيد الكربون من الهواء وتخزينه في المحيطات للحد من تأثيره الضار على المناخ العالمي[53].

يتم عن طريق عدة آليات. واحدة منها هي الصناعة البحرية للاستفادة من العمليات الطبيعية في المحيطات التي تعمل على امتصاص الكربون، مثل التنوع البيولوجي وتكوين الرواسب الكربونية[54]. يتم تعزيز هذه العمليات بواسطة إدخال الكربون الناتج عن أنشطة الإنسان، مثل الصناعة والحرق، إلى المحيطات[55]. يمكن أن يشمل ذلك حقن ثاني أكسيد الكربون تحت سطح الماء أو تفرغته من المحطات الكهربائية التي تستخدم الوقود الأحفوري[56].

تخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيطات له العديد من الفوائد المحتملة. فبالإضافة إلى تخزين الكربون، يمكن أن يؤدي إلى زيادة تنوع الأحياء المائية وزيادة إنتاجية الأسماك [57]. كما يمكن أن يؤثر على الحموضة البحرية بتقليل حموضة المحيطات نتيجة لامتصاص الكربون [58]. ومع ذلك، توجد بعض التحديات والمخاوف المتعلقة بتخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيطات، مثل الآثار البيئية المحتملة وتأثيره على النظم البيولوجية البحرية [33].



الصورة 11: تخزين ثاني أكسيد الكربون في المحيط. [59]

## 12- تخزين ثاني أكسيد الكربون في المعادن :

تخزين ثاني أكسيد الكربون في المعادن هو عملية تتضمن امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) وتخزينه في هياكل المعادن [60]. تُعتبر هذه التقنية واحدة من السبل المحتملة للتخفيف من التأثيرات السلبية لانبعاثات الكربون على المناخ والبيئة [61]. ويتم عن طريق تحويل الغاز إلى مركبات ثابتة في بنية الشبكة البلورية للمعدن. تتضمن العمليات الأساسية لتخزين ثاني أكسيد الكربون في المعادن مجموعة من الخطوات [62]، بما في ذلك امتصاص الغاز في المعدن و ثم تحويله إلى مركب ثابت وثباته في الهيكل البلوري [63].

تعتمد فعالية هذه التقنية على اختيار المعادن المناسبة لتخزين ثاني أكسيد الكربون وتصميم المواد الكيميائية المستخدمة في العملية [64]. تتنوع المعادن المستخدمة في هذا السياق وتشمل الزيوليت (Zeolites)، والبيريت (Pyrite)، والمعادن الكربوناتية (Carbonates)، والمعادن السيليكاتية (Silicates)، والهيدروكسيدات (Hydroxides)، وغيرها [65].

### 13- التقنيات الكهروكيميائية :

تستخدم التقنيات الكهروكيميائية في توليد الطاقة النظيفة، من خلال استخدام التفاعلات الكيميائية لتوليد الكهرباء. وتتمثل هذه التقنية في استخدام الخلايا الوقودية والتي تعمل على تحويل الوقود الكيميائي [66]، مثل الهيدروجين والأكسجين، إلى كهرباء وماء نظيف [67]. وتتميز هذه التقنية بأنها تحقق توليد الطاقة بكفاءة عالية وبتكلفة منخفضة، كما أنها تحقق تخفيضاً كبيراً في انبعاثات الكربون [68].

### 14- التقنيات الفضائية:

تستخدم التقنيات الفضائية في توليد الطاقة النظيفة، من خلال استخدام الطاقة الشمسية المتوفرة في الفضاء وتحويلها إلى تيار كهربائي يمكن نقله إلى الأرض [69]، وتتمثل هذه التقنية في استخدام أقمار اصطناعية تعمل على جمع الطاقة الشمسية في الفضاء وتحويلها إلى تيار كهربائي، ونقل هذا التيار الكهربائي إلى الأرض باستخدام الأقمار الاصطناعية أو الكوابل الكهربائية [70]. وتتميز هذه التقنية بأنها تحقق توليد الطاقة بكفاءة عالية وتستخدم مصدر طبيعي متجدد، وتقلل من انبعاثات الكربون [71].

### 15- الطاقات المتجددة:

تلعب الطاقة المتجددة دوراً حاسماً في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. تعتمد الطاقة المتجددة على مصادر طبيعية متجددة مثل الشمس والرياح والماء والحرارة الأرضية [72]، وهذا يعني أنها لا تنفذ وتتجدد باستمرار. بالإضافة إلى ذلك [73]، فإن استخدام الطاقة المتجددة لا يترتب عليه انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو تلوث آخر، مما يقلل من الأثر البيئي السلبي [74].  
من أبرز طرق الطاقة المتجددة:

#### 1-15 الطاقة الشمسية:

تستخدم الألواح الشمسية لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. هذه الطاقة يمكن استخدامها لتشغيل المنازل والمباني وتوليد الكهرباء [75].

#### 2-15 الطاقة الريحية:

تستخدم الأجنحة لتحويل حركة الرياح إلى طاقة كهربائية. تعد مزارع الرياح مصدراً مهماً لتوليد الكهرباء بكفاءة عالية [76].

#### 3-15 الطاقة المائية:

استخدام القوة الحركية للمياه لتوليد الكهرباء، سواء عبر سدود المياه أو التيارات النهرية أو المد والجزر. تُعتبر القوة الهيدروليكية واحدة من أكثر أشكال الطاقة المتجددة انتشارًا في العالم [77].

#### 4-15 الطاقة الحرارية الأرضية:

تستخدم حرارة الأرض المتواجدة في الطبقات العميقة من الأرض لتوليد الكهرباء أو تدفئة المباني. تعتمد هذه التقنية على المبادئ الجيوتيرمالية [78].

#### خاتمة الفصل الرابع:

في ختام هذه المذكرة، تمت مناقشة عدد من الطرق المعتمدة لمعالجة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ )، والتي تعد أمرًا حاسمًا في الجهود العالمية لمكافحة تغير المناخ. توصلت الدراسة إلى أن هناك حاجة ملحة للتحرك السريع والقوي للحد من انبعاثات  $CO_2$  والتخفيف من تأثيره الضار على البيئة.

تشمل الطرق التي تم استعراضها ومناقشتها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وزيادة استخدام مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية والرياح والهيدروجين الأخضر وتخزينه في المحيطات. أيضًا، تم استعراض أهمية تطوير وتعزيز تقنيات الحفز الحيوي وتخزين الكربون، والتي تساعد في الحفاظ على الكربون المنبعث من الوصول إلى الغلاف الجوي وتخزينه في المكان المناسب.

1. Field, C.D., Impact of expected climate change on mangroves. *Hydrobiologia*, 1995. **295**(1-3): p. 75-81.
2. Ramanathan, V. and Y. Feng, Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmospheric environment*, 2009. **43**(1): p. 37-50.
3. Vidali, M., Bioremediation. an overview. *Pure and applied chemistry*, 2001. **73**(7): p. 1163-1172.
4. López, J.C., et al., Biotechnologies for greenhouse gases (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and CO<sub>2</sub>) abatement: state of the art and challenges. *Applied microbiology and biotechnology*, 2013. **97**: p. 2277-2303.
5. Razzak, S.A., et al., Integrated CO<sub>2</sub> capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2013. **27**: p. 622-653.
6. Prentice, I.C., et al., The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. 2001.
7. Bandehali, S., et al., Current state of indoor air phytoremediation using potted plants and green walls. *Atmosphere*, 2021. **12**(4): p. 473.
8. Gupta, R.B. and A. Demirbas, Gasoline, diesel, and ethanol biofuels from grasses and plants. 2010: Cambridge University Press.
9. Banos, R., et al., Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011. **15**(4): p. 1753-1766.
10. Pardossi, A., F. Tognoni, and L. Incrocci, Mediterranean greenhouse technology. *Chronica horticultrae*, 2004. **44**(2): p. 28-34.
11. Gomiero, T., D. Pimentel, and M.G. Paoletti, Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. *Critical reviews in plant sciences*, 2011. **30**(1-2): p. 95-124.
12. Rastogi, M., S. Singh, and H. Pathak, Emission of carbon dioxide from soil. *Current science*, 2002. **82**(5): p. 510-517.
13. Ramakrishna, A., et al., Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field crops research*, 2006. **95**(2-3): p. 115-125.
14. Bot, A. and J. Benites, The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production. 2005: Food & Agriculture Org.
15. Snyder, C.S., et al., Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009. **133**(3-4): p. 247-266.

16. Gielen, D., et al., The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy strategy reviews*, 2019. **24**: p. 38-50.
17. Zhang, Z., et al., Recent advances in carbon dioxide utilization. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2020. **125**: p. 109799.
18. Whipple, D.T. and P.J. Kenis, Prospects of CO<sub>2</sub> utilization via direct heterogeneous electrochemical reduction. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2010. **1**(24): p. 3451-3458.
19. Staffell, I., et al., The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 2019. **12**(2): p. 463-491.
20. Worrell, E., et al., Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual review of energy and the environment*, 2001. **26**(1): p. 303-329.
21. Akadiri, P.O., E.A. Chinyio, and P.O. Olomolaiye, Design of a sustainable building: A conceptual framework for implementing sustainability in the building sector. *Buildings*, 2012. **2**(2): p. 126-152.
22. Zhang, Z. and A. Baranzini, What do we know about carbon taxes? An inquiry into their impacts on competitiveness and distribution of income. *Energy policy*, 2004. **32**(4): p. 507-518.
23. Grubb, M. and K. Neuhoff, Allocation and competitiveness in the EU emissions trading scheme: policy overview. *Climate Policy*, 2006. **6**(1): p. 7-30.
24. Hasanbeigi, A., L. Price, and E. Lin, Emerging energy-efficiency and CO<sub>2</sub> emission-reduction technologies for cement and concrete production: A technical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. **16**(8): p. 6220-6238.
25. Thomas, C.S., Transportation options in a carbon-constrained world: Hybrids, plug-in hybrids, biofuels, fuel cell electric vehicles, and battery electric vehicles. *International Journal of hydrogen energy*, 2009. **34**(23): p. 9279-9296.
26. Jacobson, M.Z. and M.A. Delucchi, A path to sustainable energy by 2030. *Scientific American*, 2009. **301**(5): p. 58-65.
27. Lin, L., et al., Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied energy*, 2011. **88**(4): p. 1020-1031.
28. Mathews, J.A., Carbon-negative biofuels. *Energy policy*, 2008. **36**(3): p. 940-945.
29. Edwards, P.P., et al., Hydrogen and fuel cells: towards a sustainable energy future. *Energy policy*, 2008. **36**(12): p. 4356-4362.
30. Romm, J., The car and fuel of the future. *Energy policy*, 2006. **34**(17): p. 2609-2614.

31. Rojas-Rueda, D., et al., The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: health impact assessment study. *Bmj*, 2011. **343**.
32. Cervero, R., B. Caldwell, and J. Cuellar, Bike-and-ride: build it and they will come. *Journal of Public Transportation*, 2013. **16**(4): p. 83-105.
33. Leung, D.Y., G. Caramanna, and M.M. Maroto-Valer, An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. **39**: p. 426-443.
34. Zhao, X., et al., Challenges toward carbon neutrality in China: Strategies and countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022. **176**: p. 105959.
35. Uzoejinwa, B.B., et al., Co-pyrolysis of biomass and waste plastics as a thermochemical conversion technology for high-grade biofuel production: Recent progress and future directions elsewhere worldwide. *Energy conversion and management*, 2018. **163**: p. 468-492.
36. Al-Mamoori, A., et al., Carbon capture and utilization update. *Energy Technology*, 2017. **5**(6): p. 834-849.
37. Azar, C., et al., Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass—costs and potential role in stabilizing the atmosphere. *Climatic change*, 2006. **74**(1-3): p. 47-79.
38. Merkel, T.C., et al., Power plant post-combustion carbon dioxide capture: An opportunity for membranes. *Journal of membrane science*, 2010. **359**(1-2): p. 126-139.
39. Haszeldine, R.S., Carbon capture and storage: how green can black be? *Science*, 2009. **325**(5948): p. 1647-1652.
40. Aaron, D. and C. Tsouris, Separation of CO<sub>2</sub> from flue gas: a review. *Separation science and technology*, 2005. **40**(1-3): p. 321-348.
41. Misra, V. and S. Pandey, Hazardous waste, impact on health and environment for development of better waste management strategies in future in India. *Environment international*, 2005. **31**(3): p. 417-431.
42. Petrakopoulou, F. and G. Tsatsaronis, Can carbon dioxide capture and storage from power plants reduce the environmental impact of electricity generation? *Energy & fuels*, 2014. **28**(8): p. 5327-5338.
43. Oelkers, E.H. and D.R. Cole, Carbon dioxide sequestration a solution to a global problem. *Elements*, 2008. **4**(5): p. 305-310.
44. Olajire, A.A., A review of mineral carbonation technology in sequestration of CO<sub>2</sub>. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2013. **109**: p. 364-392.

45. Solomon, S., et al., Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. Proceedings of the national academy of sciences, 2009. **106**(6): p. 1704-1709.
46. Aminu, M.D., et al., A review of developments in carbon dioxide storage. Applied Energy, 2017. **208**: p. 1389-1419.
47. Börner, F., J. Schopper, and A. Weller, Evaluation of transport and storage properties in the soil and groundwater zone from induced polarization measurements<sup>1</sup>. Geophysical prospecting, 1996. **44**(4): p. 583-601.
48. Dandekar, A.Y., Petroleum reservoir rock and fluid properties. 2013: CRC press.
49. White, C.M., et al., Sequestration of carbon dioxide in coal with enhanced coalbed methane recovery a review. Energy & Fuels, 2005. **19**(3): p. 659-724.
50. Lackner, K.S. and S. Brennan, Envisioning carbon capture and storage: expanded possibilities due to air capture, leakage insurance, and C-14 monitoring. Climatic change, 2009. **96**(3): p. 357-378.
51. Herzog, H., B. Eliasson, and O. Kaarstad, Capturing greenhouse gases. Scientific American, 2000. **282**(2): p. 72-79.
52. Hungate, R., Chapter IV A roll tube method for cultivation of strict anaerobes, in Methods in microbiology. 1969, Elsevier. p. 117-132.
53. Robock, A., 20 reasons why geoengineering may be a bad idea. Bulletin of the Atomic Scientists, 2008. **64**(2): p. 14-18.
54. Singh, A., P.S. Nigam, and J.D. Murphy, Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels. Bioresource technology, 2011. **102**(1): p. 26-34.
55. Falkowski, P., et al., The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. science, 2000. **290**(5490): p. 291-296.
56. Herzog, H. and D. Golomb, Carbon capture and storage from fossil fuel use. Encyclopedia of energy, 2004. **1**(6562): p. 277-287.
57. Roberts, C.M., et al., Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017. **114**(24): p. 6167-6175.
58. Hofmann, M. and H.-J. Schellnhuber, Oceanic acidification affects marine carbon pump and triggers extended marine oxygen holes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009. **106**(9): p. 3017-3022.
59. Kheshgi, H.S., Sequestering atmospheric carbon dioxide by increasing ocean alkalinity. Energy, 1995. **20**(9): p. 915-922.

60. Metz, B., et al., IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. 2005: Cambridge: Cambridge University Press.
61. Grimston, M., et al., The European and global potential of carbon dioxide sequestration in tackling climate change. *Climate policy*, 2001. **1**(2): p. 155-171.
62. Yang, H., et al., Progress in carbon dioxide separation and capture: A review. *Journal of environmental sciences*, 2008. **20**(1): p. 14-27.
63. Colombo, V., et al., High thermal and chemical stability in pyrazolate-bridged metal-organic frameworks with exposed metal sites. *Chemical Science*, 2011. **2**(7): p. 1311-1319.
64. Berglund, L.A. and I. Burgert, Bioinspired wood nanotechnology for functional materials. *Advanced Materials*, 2018. **30**(19): p. 1704285.
65. Vassilev, S.V., et al., Influence of mineral and chemical composition of coal ashes on their fusibility. *Fuel Processing Technology*, 1995. **45**(1): p. 27-51.
66. Kirubakaran, A., S. Jain, and R. Nema, A review on fuel cell technologies and power electronic interface. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2009. **13**(9): p. 2430-2440.
67. Bard, A.J. and M.A. Fox, Artificial photosynthesis: solar splitting of water to hydrogen and oxygen. *Accounts of Chemical Research*, 1995. **28**(3): p. 141-145.
68. Hart, E.K. and M.Z. Jacobson, A Monte Carlo approach to generator portfolio planning and carbon emissions assessments of systems with large penetrations of variable renewables. *Renewable Energy*, 2011. **36**(8): p. 2278-2286.
69. Kannan, N. and D. Vakeesan, Solar energy for future world:-A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2016. **62**: p. 1092-1105.
70. Rauschenbach, H.S., *Solar cell array design handbook: the principles and technology of photovoltaic energy conversion*. 2012: Springer Science & Business Media.
71. Schandl, H., et al., Decoupling global environmental pressure and economic growth: scenarios for energy use, materials use and carbon emissions. *Journal of cleaner production*, 2016. **132**: p. 45-56.
72. Omer, A.M., *Energy, environment and sustainable development*. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2008. **12**(9): p. 2265-2300.
73. Leblond, C. and B.E. Walker, Renewal of cell populations. *Physiological reviews*, 1956. **36**(2): p. 255-276.
74. Saidur, R., et al., Environmental impact of wind energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011. **15**(5): p. 2423-2430.

75. Mekhilef, S., R. Saidur, and A. Safari, A review on solar energy use in industries. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2011. **15**(4): p. 1777-1790.
76. Igra, O., Research and development for shrouded wind turbines. *Energy Conversion and Management*, 1981. **21**(1): p. 13-48.
77. Yuce, M.I. and A. Muratoglu, Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015. **43**: p. 72-82.
78. DiPippo, R., *Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact*. 2012: Butterworth-Heinemann.
79. Naik, S.N., et al., Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2010. **14**(2): p. 578-597.

خاتمة عامة

خاتمة عامة

يتركز اهتمامنا في هذا البحث حول غاز ثاني أكسيد الكربون والدراسة الكرونولوجية حيث يعتبر قضية معقدة ومتعددة الأوجه [1]. منذ ظهور الثورة الصناعية، زادت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمعدل متسارع، مما أدى إلى تغير المناخ وتأثيراته الضارة على البيئة والكائنات الحية [2]. على مدى العقود الماضية، بُذلت جهود للحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من خلال السياسات العامة والابتكار التكنولوجي، لكن التقدم كان متفاوتًا وغالبًا ما كان غير كافٍ [3].

اليوم، من الواضح أن الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يمثل أولوية للبشرية إذا أردنا تجنب العواقب الوخيمة على كوكب الأرض وسكانه [4]. وهذا يتطلب إجراءات طموحة ومتضافرة على جميع المستويات، من التنظيم الحكومي إلى الالتزام الفردي [5]. إن التقنيات النظيفة والطاقة المتجددة وتقليل استهلاك الطاقة كلها حلول يمكن أن تساعد في تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون [6]، ولكن من الضروري أيضًا أن يتخذ كل منا إجراءات لتقليل بصمتنا الكربونية [7].

في نهاية المطاف، يجب أن تكون قصة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمثابة تذكير بأهمية الاستدامة والمسؤولية البيئية [8]. نحن جميعًا مسؤولون عن حماية كوكبنا ويجب أن نعمل معًا لضمان مستقبل مستدام لأنفسنا وللأجيال القادمة. والكائنات الحية. على مدى العقود الماضية [9].

- Koteyko, N., M. Thelwall, and B. Nerlich, From carbon markets to carbon morality: .1  
Creative compounds as framing devices in online discourses on climate change  
.mitigation. Science Communication, 2010. **32**(1): p. 25-54
- McNeill, J.R. and P. Engelke, The great acceleration: An environmental history of the .2  
.Anthropocene since 1945. 2016: Harvard University Press
- Gibbins, J. and H. Chalmers, Carbon capture and storage. Energy policy, 2008. **36**(12): p. .3  
.4317-4322
- Hansen, J., et al., Assessing “dangerous climate change”: Required reduction of carbon .4  
emissions to protect young people, future generations and nature. PloS one, 2013. **8**(12):  
.p. e81648
- Leitch, S., Prosperity for all in the global economy-world class skills. 2006: The Stationery .5  
.Office
- Omer, A.M., Energy, environment and sustainable development. Renewable and sustainable .6  
.energy reviews, 2008. **12**(9): p. 2265-2300
- Wackernagel, M. and W. Rees, Our ecological footprint: reducing human impact on the .7  
.earth. Vol. 9. 1998: New society publishers
- Kibert, C.J., Sustainable construction: green building design and delivery. 2016: John Wiley .8  
& Sons
- Mebratu, D., Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. .9  
p. 493-520 :(6)Environmental impact assessment review, 1998. **18**

## ملخص

يتمحور بحثنا حول انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO2) والدراسة الكرونولوجية، ودراسة اتجاهاتها وأسبابها وأثارها.

ثاني أكسيد الكربون هو أحد غازات الدفيئة الناتجة بشكل أساسي عن الأنشطة البشرية، مثل حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات. تصاعدت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بسبب الزيادة السريعة في النشاط الصناعي واستهلاك الطاقة، خاصة بعد الحرب العالمية الثانية. أدى تراكمه في الغلاف الجوي إلى الاحتباس الحراري وتغير المناخ. يعد فهم السياق التاريخي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون أمرًا بالغ الأهمية لفهم حجم المشكلة وصياغة استراتيجيات تخفيف فعالة. تؤكد النتائج على الحاجة إلى اتخاذ إجراءات عاجلة للتخفيف من الانبعاثات، والانتقال إلى مصادر الطاقة المستدامة، وتعزيز التعاون العالمي لمواجهة هذا التحدي بشكل فعال. لتقليل من الانبعاثات، يعمل المهندسون على تطوير تقنيات للحد من انبعاثات CO2 من المصادر الرئيسية مثل محطات الطاقة ومصانع الأسمدة ومصانع الصلب. يتم ذلك من خلال تحسين العمليات وتبني تكنولوجيا أكثر كفاءة. مثل الطاقة الشمسية والرياح والتحويل من الوقود الأحفوري إلى وقود أقل كربونًا مثل الغاز الطبيعي. كما يتم استخدام التقنيات المتقدمة مثل الأنظمة الكهربائية والتبريد بالامتصاص وتكنولوجيا الأغشية لتقليل الانبعاثات.

### الكلمات المفتاحية:

الدراسة الكرونولوجية، الاحتباس الحراري، الوقود الاحفور، الغلاف الجوي، الانظمة الكهربائية، تكنولوجيا الاغشية.

## Abstract

Our research focuses on carbon dioxide emissions (CO2) and chronological study, studying their trends, causes and effects. Carbon dioxide is a greenhouse gas caused primarily by human activities, such as burning fossil fuels and deforestation. Carbon dioxide emissions escalated due to the rapid increase in industrial activity and energy consumption, especially after World War II. Its accumulation in the atmosphere has led to global warming and climate change. Und Carbon dioxide is critical to understanding the scale of the problem and formulating effective mitigation strategies.

The findings underscore the need for urgent action to reduce emissions, transition to sustainable energy sources, and strengthen global cooperation to effectively address this challenge. To reduce emissions, engineers are developing technologies to reduce CO2 emissions from major sources such as power plants, fertilizer plants, and steel mills. This is done by improving processes and adopting more efficient technology. Such as solar, wind and conversion from fossil fuels to lower carbon fuels such as natural gas. Advanced technologies such as electrical systems, absorption refrigeration and membrane technology are also used to reduce emissions. standing the historical context of the emissions

**key words:** Chronological study, global warming, fossil fuels, atmosphere, electrical systems, membrane technology