التجاذبات البيئية والاقتصادية المؤثرة على قطاع النفط والغاز : دراسة حالة (للتحديات والفرص التي يفرضها اتفاق باريس بشأن تغير المناخ)

عبدالفتاح الهادي الشيباني (*)

مشروع التغيرات المناخية ، الهيئة الليبية للبحث العلمي، طرابلس ، ليبيا

ملخص البحث:

يعتبر قطاع النفط قطاعا حيوياً رئيسياً بالنسبة للبلدان النفطية كدولة ليبيا، لكنه يعد قطاعا ثانويا بالنسبة للبلدان الغير نفطية، لمعادلة هذا التباين الاقتصادي بين بلدان العالم تم إبرام اتفاقية الأمم المتحدة الاطارية المعنية بتغير المناخ التي انبثق عنها اتفاق باريس الذي يهدف إلى تخفيض انبعاثات الغازات الدفيئة عن طريق الحد من اعتماد العالم على استهلاك النفط وذلك عبر تشجيع التوجه نحو استهلاك الطاقات البديلة. تم التركيز في هذه الورقة على

(*) Email: afshibani@gmail.com

تقديم قراءة للروابط الاقتصادية والقانونية والبيئية التي ترتكز عليها المفاوضات الدولية الجارية بشأن قضية التغيرات المناخية. تناولت الورقة الجوانب التالية، I – تشخيص مدى تأثير تطبيق اتفاق باريس على الطلب العالمي للنفط. II – إبراز التحديات والتداعيات والعواقب التي تواجه قطاع النفط إذعانا للضغوطات التي تطالب بتطبيق التزامات إضافية للحد من استهلاك النفط والغاز أكثر من تلك التي حددها الاتفاق. III– اقتراح الحلول الممكنة لمواجهة التحديات التي قد تقوض مستقبل العوائد الاقتصادية النفطية. تلخصت نتائج الورقة في الآتي : التأكيد على أن تطبيق العالم لالتزامات اتفاق باريس سيؤثر سلبا على الاقتصاد الليبي. وحتى تتمكن الدولة الليبية من مواجهة هذا التحدي تقترح الورقة اتخاذ نهجاً اقتصادياً يختلف استراتيجياً وجذرياً عن النهج القائم حاليا، يتمثل هذا النهج في التخلي عن نمط الاقتصاد الخطي والتوجه نحو نمط الاقتصاد الدائري مُنخفض الكربون الذي يستهدف الحد من الانبعاثات الكربونية من خلال اتباع استراتيجية ثلاثية الابعاد. إلى جانب الاهتمام بمتابعة الجلسات التفاوضية الجارية بشان المراجعات والتعديلات التي يخضع لها اتفاق باريس، باعتبارها فرصة تتيح المجال للاستفادة من المرونة التي يوفرها الاتفاق لوضع سياسات وطنية تساعد في التقليل من درجة العلاقة الخطية الرابطة بين الوقود الاحفوري وغازات الدفيئة، حفاضاً على استدامة استهلاك النفط.

الكلمات الدالة : *اتفاق باريس، المُساهمات المحددة وطنياً، تقنيات التقاط وتخزين الكربون.*

1. المقدمة

بعد سلسلة من المفاوضات والمباحثات الشاقة توصلت بلدان العالم في عام 2015 إلى إبرام اتفاق باريس بشأن تغير المناخ **(Paris Climate Agreement)**، يُعد هذا الاتفاق من

أهم الخطوات التي اتخذها المجتمع الدولي تجاه ما يشهده العالم من تغيرات مناخية **[1]**. تَميَّز هذا الاتفاق بإجماع أطرافه على العمل بشكل جماعي مُتناغم لربط أهدافهم الوطنية المنفردة **(NDCs-National Determined Contributions)**، ضمن إطار عالمي موحد يصب في مصلحة مشتركة، وهي الإبقاء على ارتفاع معدلات درجات الحرارة العالمية تحت سقف درجتين مئويتين فوق المستويات السائدة قبل عصر الصناعة. لكن الالتزام التام بتنفيذ الاتفاق بات يثير القلق بشأن المستقبل الاقتصادي لقطاع النفط والغاز، حيث ظهرت اختلافات بين المساعي الاقتصادية التي تطمح أطراف الاتفاق إلى تحقيقها. إذ، تسعى أطراف اتفاق باريس من البلدان الغير منتجة للنفط إلى وقف استخدام الوقود الأحفوري واستبداله بالطاقات البديلة، وذلك من خلال مسار الخفض الكلي لغازات الدفيئة أو إزالة الكربون العميق بإتباع التصور **(**سيناريو **)** 1.5 ºم أو أقل، يقوم نموذج العمل الذي تتبناه تلك البلدان على قطع الارتباط بين النماذج الاقتصادية والوقود الأحفوري عن طريق استخدام عوائد ضرائب الكربون العميقة لجعل الطاقات المتجددة كحل بديل عن الوقود الأحفوري. بينما ترى الأطراف المنتجة للنفط أن مسار إزالة الكربون العميق هو طريق يؤدي إلى تنمية غير مستدامة، اقتصادياً أو اجتماعياً، ويقترحون اعتماد مسار متدرج للتخفيف من الغازات الدفيئة باتباع "تصور الدرجتين المئويتين" عن طريق برمجة خفض الانبعاثات المسموح بها عالمياً. ولضمان نجاح هذا المسار، يتطلب الأمر اعتماد استراتيجية اقتصادية وطنية تأخذ في الاعتبار كافة التطورات والمستجدات القانونية والاقتصادية والتقنية ذات الصلة بقضية التغيرات المناخية.

2. الفرضيات :

تستند هذه الورقة على الفرضيات التالية : I – يهدف اتفاق باريس إلى الحد من زيادة درجة حرارة الأرض لتكون ضمن حدود درجتين مئويتين فوق المستويات السائدة قبل العصر الصناعي، ومتابعة الجهود المبذولة لجعلها ضمن حدود 1.5 °م، بنهاية القرن الحالي. ويرى المحللين إنه بموجب هذا الاتفاق، فإن حوالي ثلث الاحتياطات العالمية المثبتة من النفط، ستقع خارج المسموح باستهلاكه لتجنب مخاطر الاحتباس الحراري الذي يستهدفه الاتفاق أخداً في الاعتبار هدف المادة الثانية من الاتفاق **[2]**. II – تشير المادة الرابعة من الاتفاق إلى قيام جميع الأطراف بالعمل على تحقيق توازن بين انبعاثات الغازات الدفيئة البشرية المنشأ وحجم عمليات الإزالة بواسطة المصارف في النصف الثاني من هذا القرن، (يشار إلى التوازن غالباً باسم صافي الانبعاثات الصفري)، ويتضح جلياً إن قرار التوجه إلى جعل سقف الاحترار العالمي عند الـ 1.5 °م، مرتبط ارتباطاً خطياً بتقليل الاستهلاك العالمي للوقود الأحفوري، وتباعاً سيترتب على ذلك تقليل الطلب على المشتقات النفطية **[3]**. III – يرى العديد من المحللين أنه لا يمكن للعالم تحقيق هدف اتفاق باريس بالاعتماد على قدرة الطاقة المتجددة وحدها. ولا محالة إذن من أنّ المسار العالمي الهادف لتحقيق تحقيق توازن بين مصادر ومصارف غازات الدفيئة سيتضمن الوقود الأحفوري إلى جانب إدارة انبعاثاته الكربونية. ويعد مفهوم الاقتصاد الدائري مُنخفض الانبعاثات الكربونية إطارٌ مفيد لفهم الكيفية التي يمكن بها ربط جميع خيارات تخفيف الانبعاثات الكربونية معاً في نظامٍ يُحقق الأهداف المناخية المنصوص عليها في اتفاق باريس**[4]**.

2. المنهجية :

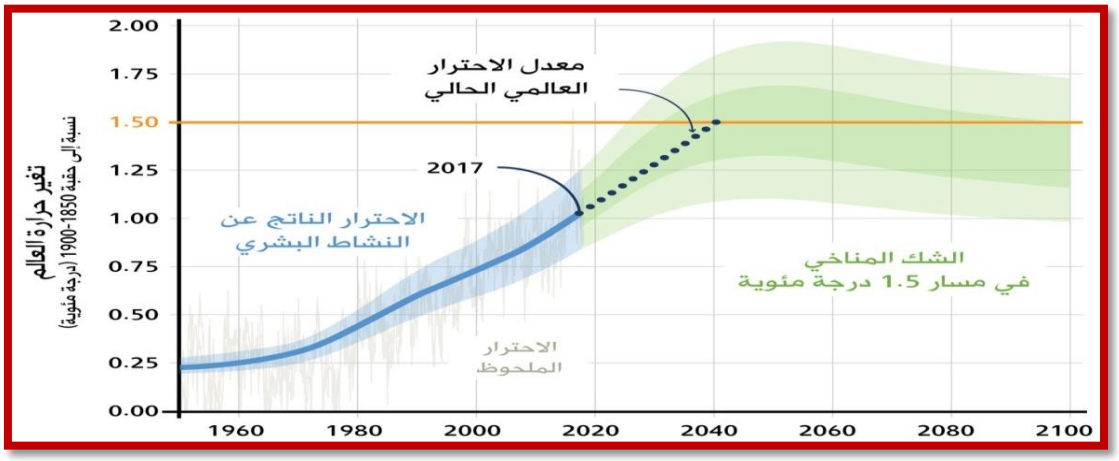
هيكلياً استندت منهجية الورقة على مراجعة أدبيات التحليل والتقييم العلمي للمؤلفات الجديدة المهتمة بشؤون قضية التغيرات المناخية وآثارها البيئية والاقتصادية. وذلك بهدف التوصل إلى تقديم قراءة لأهم الوقائع المرتبطة بالعوامل المؤثرة في مستقبل نمو الاقتصاد الليبي المرتكز بشكل أساسي على موارد النفط والغاز، ووضعها في صورة ورقة اقتصادية تقنية قانونية بيئية موجهة لصناع ومتخذي القرار والباحثين الاكاديميين المتابعين لمستجدات وتطورات قضية التغيرات المناخية، وذلك لرفع درجة الوعي حول أهمية وحساسية دور الاهتمام المبكر بشأن السياسات والاستراتيجيات الاقتصادية الفعالة التي يجب انتهاجها وإقرارها والالتزام بها لمواجهة التحديات والتداعيات والعواقب المحتملة نتيجة التزام العالم بتطبيق اتفاق باريس المناخي.

3. المناقشة :

شكل التوجه الدولي نحو جعل سقف الاحترار العالمي عند 1.5 °م، مصدر قلق بالنسبة للبلدان التي يعتمد اقتصادها في المقام الأول على النفط، نظراً لارتباط هذا التوجه بتقليل اعتماد العالم على استهلاك الوقود الأحفوري، وبناءً عليه، عملت البلدان النفطية على تكثيف ضغوطها التفاوضية أثناء جلسات صياغة وإقرار اتفاق باريس وذلك باتخاذ موقف توافقي يشترط شقين اساسيين، الشق الأول، الاتفاق على أن يكون الهدف من اتفاق باريس هو الحفاظ على الاحترار العالمي دون 2 °م، فوق مستويات ما قبل الثورة الصناعية مع مواصلة الجهود لجعلها 1.5 °م. الشق الثاني، دعوة الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ **(IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change)**، بإعداد تقرير علمي تقييمي للآثار المحتملة الناتجة عن الاحترار العالمي تحت سقف 1.5 °م، ومسارات انبعاث غازات دفيئة المرتبطة بها.

1.3. النماذج الاقتصادية المقترحة لقصر الاحترار العالمي تحت سقف 1.5 ^{o}م :

أشار تقرير التقييم الخامس الصادر عن الهيئة **(IPCC)**، إلى أن معدل نسبة تركيز ثاني اكسيد الكربون **(CO_2)** بالغلاف الجوي قد وصل إلى مستويات قياسية تقدر بنحو 497.8 جزء في المليون في عام 2018 بزيادة قدرها 147 % قياساً بالمستويات السائدة قبل العصر الصناعي، وفي عام 2017 بلغ الاحترار العالمي البشري المنشأ درجة مئوية واحدة تقريباً فوق مستويات ما قبل العصر الصناعي **[5]**، وهذا المؤشر يبين مدى قرب العالم من بلوغ الاحترار 1.5 ^{0}م، وتنذر هذه الطفرة المناخية السلبية بتداعيات اقتصادية وبيئية كارثية مستقبلية في حالة عدم كبح جماح تراكم الانبعاثات. لأهمية ذلك قامت الهيئة **(IPCC)**، في عام 2018 بإصدار تقرير خاص بشأن آثار قصر الاحترار العالمي تحت سقف لا يتجاوز مقداره 1.5 ^{o}م، والمسارات العالمية المتاحة ذات الصلة بانبعاثات غازات الدفيئة والوقت اللازم لتحقيقها، والعواقب الممكنة**[2]**.



شكل رقم (1) : الإطار الزمني للتواريخ الهامة في التقرير الخاص الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ بشأن الاحترار العالمي البالغ 1.5 ^{o}م، (اللون الأزرق) في إطار عمليات اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ (اللون الرمادي) ومعالمها البارزة، بما في ذلك الأحداث التي قد تكون هامة لمناقشة حدود درجات الحرارة [2].

خلص هذا التقرير إلى أن ذلك سيتطلب إجراء تحولات سريعة وبعيدة المدى في كافة القطاعات، وسيلزم هذا الخيار تخفيض صافي انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ بنسبة 45 % تقريبا بحلول عام 2030، قياساً بمستويات 2010، لتصل إلى معدل صفري صافي زهاء عام 2050. حدد التقرير الإجراءات العاجلة الواجب اتخاذها، والتي من أهمها تسريع التحول باتجاه الاقتصادات منخفضة الكربون. ويُعد تثبيت تراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون عند 550 جزءا في المليون وهو ضعف المستوى الذي كان سائدا قبل عصر الصناعة هدفا طموحا للتحكم في الانبعاثات **[2]**، وتفترض التقييمات الحالية لانبعاثات غازات الاحتباس الحراري أن الوصول إلى تلك التخفيضات سيتطلب إعادة تنظيم جوهري لنظم الطاقة في العالم عن طريق خليط من زيادة كفاءة الطاقة والتحول إلى مصادر بديلة لا تستخدم الوقود الاحفوري **[6]**. لتثبيت درجة الحرارة العالمية عند أي مستوى، سيلزم خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصافي إلى صفر، وهذا يعني أن كمية ثاني أكسيد الكربون التي تدخل الغلاف الجوي يجب أن تكون مساوية لكمية ثاني أكسيد الكربون التي تُزال منه. وكثيراً ما يشار إلى تحقيق توازن بين 'مصادر' ثاني أكسيد الكربون و 'مصارفه' على أنه الانبعاثات 'الصفرية الصافية' أو 'الحياد الكربوني'. وتعني الانبعاثات الصفرية الصافية أن تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سينخفض ببطء بمرور الوقت إلى أن يتحقق توازن جديد، مع إعادة توزُّع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الأنشطة البشرية وامتصاصها بواسطة المحيطات والنظام الحيوي، وهذا سيجعل درجة حرارة الأرض شبه ثابتة على مدى قرون عديدة.

وفي هذا السياق يجب ان تقوم الدولة الليبية باتخاذ جملة من الاجراءات مثل : أ. جرد الانبعاثات القطاعية بأراضيها وإدراجها بتقرير البلاغ الوطني. ب. تخصيص بند أو ملحق خاص بلائحة العقود الادارية يتضمن بنود ومواد وفقرات اتفاق باريس المتعلقة بتخفيض الانبعاثات وذلك لتفادي الوقوع في أخطاء تعاقدية قد تؤدي إلى تكبد خسائر اقتصادية. ج. تفعيل دور اللجنة الوطنية لآلية التنمية النظيفة للاستفادة من آليات تبادل الانبعاثات مع الأطراف الأخرى. د. تفعيل دور المؤسسة المعنية بالتمويل الأخضر من خلال تنفيذ برنامج جهازية ليبيا **(Readiness-Libya)** للنفاذ إلى مصادر التمويل من الصندوق الأخضر للمناخ. وكل ذلك يجنب ان ينضوي تحت مضلة نظام الاقتصاد الدائري منخفض الكربون.

2.3. تصور الوضع الحالي :

إن السياسات المتبعة في ليبيا حالياً تسير وفق تصور (سيناريو) السير كالمعتاد، **As (Usual Scenario)**، وهي تدعم هيمنة آليات العرض والطلب على موارد الوقود الاحفوري. ضمن هذا التصور يتم التراخي في متابعة ما ينص عليه اتفاق باريس وما قد ينتج عن هذا التراخي من عواقب تهدد العائد الاقتصادي للموارد النفطية. وتعتبر ليبيا طرف في اتفاق باريس، إلا إنه إلى حد الآن لم تتمكن من إعداد تقرير الاتصال الوطني الخاص بجرد الانبعاثات القطاعية، **(NCR-National Communication Report)**، كما إن ليبيا لم تقوم بتحديد لائحة المُساهمات الليبية المحددة وطنياً بموجب اتفاق باريس **(NDCs)**. ويرى الباحث أن عدم الإيفاء بهذه الالتزامات، يعتبر من أبرز المؤشرات السلبية الدالة على التراخي في إدراك التداعيات والعواقب التي قد يتعرض لها الاقتصاد الوطني نتيجة لذلك، وتعتبر هذه الالتزامات شرط أساسي لتمكين ليبيا من الاستفادة من الموارد المالية المتاحة بمصادر وصناديق تمويل

السياسات المناخية المخصصة لدعم مشاريع التكيف مع التغيرات المناخية ومشاريع التخفيف من الانبعاثات. ولمعالجة هذا القصور تأتي في مقدمة الأمور التي يفضل الرهان عليها تبني تصور قائم على استخدام الابتكار التقني ضمن الاقتصاد الدائري المنخفض الكربون.

4. التداعيات المؤثرة سلباً على موارد النفط بسبب إجراءات قصر الاحترار تحت سقف 1.5 °م:

1.4. ضريبة الكربون : ضريبة الكربون المرشح استخدامها كأداة لقصر الاحترار تحت سقف 1.5 م، هي أحد الأدوات المالية التي لها علاقة مباشرة بالسوق، إذ أنه عندما يتم فرض الضريبة فإن السلع التي يحتاج إنتاجها لاستهلاك كثيف من الطاقة وبالتالي إنتاج كثيف من الانبعاثات سيرتفع سعرها ويقل ربحها، ونتيجة لذلك فإن قوى السوق ستعمل بصورة فعالة للحد من استعمال تلك السلع (موارد النفط)، ويترتب عن ذلك انخفاض الانبعاثات **[7 ، 8]**. ولهذه الضريبة تأثيران أحدهما مباشر ناتج من زيادة الأسعار ما يؤدي إلى تحقيق استثمارات تتميز بكفاءة الطاقة، والتأثير الآخر غير مباشر ينتج عن طريق إعادة تدوير حصيلة الضرائب المقتطعة ما يؤدي إلى تغيرات في هيكلية الاستثمار والاستهلاك وفوائد أفضل للزبائن.

بالنسبة لصناع السياسات، لضرائب الكربون مزايا وعيوب. على المدى القصير ستكون العائدات المحصلة أعلى من مزيج الضرائب المثالي على مختلف أنواع الوقود الأحفوري، ولكن على المدى الأطول، ومن منظور السياسة البيئية البحتة، قد يكون لهذه الميزة المحتملة نواح سلبية. قد يرى دافعو الضرائب أن فرض الضرائب المرتفعة أمراً غير معقول وقد يؤدي إلى خسارة الدعم للسياسات البيئية التي ارتكزت عليها. إذ يمكن النظر إلى ضرائب الكربون على أنها تتمتع بميزة قصيرة الأجل بالنسبة لصناع السياسات، فالإيرادات المتأتية من مزيج الضرائب الأمثل هي دائمًا أقل من تلك الناجمة عن ضريبة الكربون، وقد يخلق ذلك معضلة محتملة

لصناع السياسات، حيث إن الضرائب البيئية قد تمثل أيضاً وسيلة لتمويل النفقات العامة. ويشكل فقدان الرفاهية الاجتماعية أحد أكبر المخاطر التي تواجه التنفيذ الناجح للسياسات البيئية السليمة لتغير المناخ التي تتطلب بطبيعتها التزاماً ودعماً طويلي الأمد.

2.4. التوجه نحو البدائل : تبنّى المجتمع الدولي جملة سياسات تهدف إلى تدريجياً إلى قطع العلاقة بين الوقود الأحفوري والاقتصاد العالمي. فقد تبنّى، مثلاً، سياسات كفاءة استخدام الطاقة، وسياسات أخرى تهدف إلى تبني بدائل عن الوقود الأحفوري لتحويل أنظمتهم الاقتصادية نحو مسار قليل أو منعدم الكربون. إجمالاً، وعلى الرغم من النجاحات المحدودة والمتفاوتة لهذه السياسات، فإنها لم تتمكن من خفض الانبعاثات إلى المستوى المستهدف في سيناريو الدرجتين. وهذه الحلول لم تكن كافية لإيقاف نمو استهلاك الوقود الاحفوري. وبالرغم من نموها المتسارع لن تتمكن مصادر الطاقة المتجدِّدة من أن تكون بديلاً مطلقاً عن النفط أما الحلول الأخرى، كزيادة كفاءة استخدام الطاقة في قطاع النقل وفرض أدوات السوق لتسعير الكربون، فهي تحد من نمو الطلب على الوقود الأحفوري، ولكنها حتماً لن تكون قادرة على قطع العلاقة بينه وبين والاقتصاد العالمي.

5. الحلول المقترحة :

لتجنب التداعيات تقترح الورقة تبني استراتيجية ثلاثية الأبعاد، بعد قانوني، بعد تقني، وبعد اقتصادي.

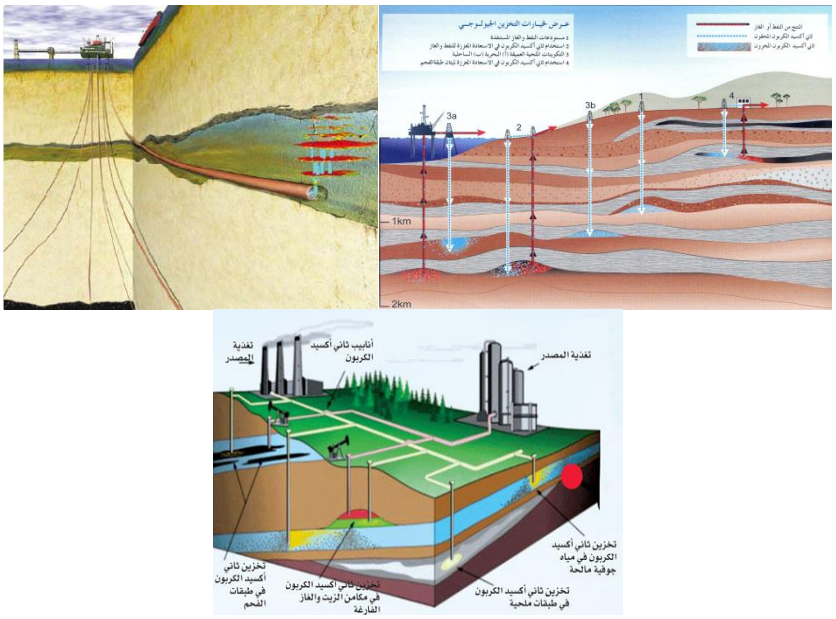
1.5. استراتيجية البعد القانوني : لتجنب التداعيات والعواقب القانونية المحتملة يتطلب الأمر تبني موقف تفاوضي يرتكز على تكثيف العمل لأجل تفادي الوقوع تحت طائلة الصكوك القانونية الدولية بسبب التزام العالم بتطبيق اتفاق باريس، وبهذا الشأن يمكن الاستفادة من الفرص

والآليات التي يوفرها الاتفاق الذي يتيحُ للدول الأطراف انتهاج استراتيجيات تعاونية مع بلدان أخرى من أجل تلبية أو تجاوز مستوى طموح مساهماتها المحددة وطنياً **(NDCs)**، بالاستناد إلى مجموعة الآليات التي تنص عليها المادة السادسة من الاتفاق لا سيما عندما تتماشى النتائج المرجوة مع المصالح المشتركة للبلدان المتعاونة **[1 ، 9]**.

2.5. استراتيجية البعد التقني : بالنظر إلى أن الوقود الأحفوري ما زال يشكِّل عنصراً أساسياً للتنمية الاقتصادية في العالم، فلا بد من الاتفاق أولا على أنه في حد ذاته، ليس هو المتسبِّب في خلل الدورة الطبيعية للكربون، وبدلاً عن ذلك، يجب الاعتراف بأن المتسبب هو نموذج عمل استهلاك الوقود الاحفوري، وهذا يتطلب استحداث نموذج عمل جديد يهدف إلى مواءمة كيفية استخدام الوقود الاحفوري بين قطبي الاقتصاد والتغير المناخي. من بين الحلول المقترحة للحفاظ على النفط، ولتحسين موقعه، كمصدر رئيس للطاقة وسلعة ذات مردود اقتصادي جيوسياسي متصاعد، هو تبني استراتيجية تعزيز أواصر العلاقة بين الطلب على النفط والاقتصاد العالمي عن طريق توظيف الابتكار التقني للوفاء بسياسات التغير المناخي، الفكرة الرئيسية لهذه الاستراتيجية تكمن في تكامل حزمة من التقنيات اللازمة لإقفال دائرة الكربون، بحيث تشمل التقنيات التالية : أ – تقنيات التقاط ثاني أكسيد الكربون. ب – تقنيات استغلال ثاني أكسيد الكربون وخزنه. ج – الاشتقاق المباشر للبتروكيميائيات من النفط. د – استخراج الهيدروجين من النفط ومنعه من دخول الغلاف الجوي. هـ – تطوير البنية التحتية وبناء القدرات البشرية.

1.2.5. تقنية التقاط ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتخزينه في باطن الأرض :

قام فريق العمل الثالث التابع للهيئة **(IPCC)**، بإعداد تقرير خاص حول تقنيات التقاط ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، **(CCS-Carbon Capture & Storage)**، قدم هذا التقرير معلومات هامه موجهه إلى الباحثين في مجال تغير المناخ وعلوم البيئة والجيولوجيا والهندسة وقطاع النفط وواضعي السياسات، لخص التقرير مصادر انبعاث ثاني أكسيد الكربون واحتجازه ونقله وتخزينه وبحث أيضاً التكاليف والامكانات الاقتصادية والقضايا المتعلقة بالتكنولوجيا **[10].**



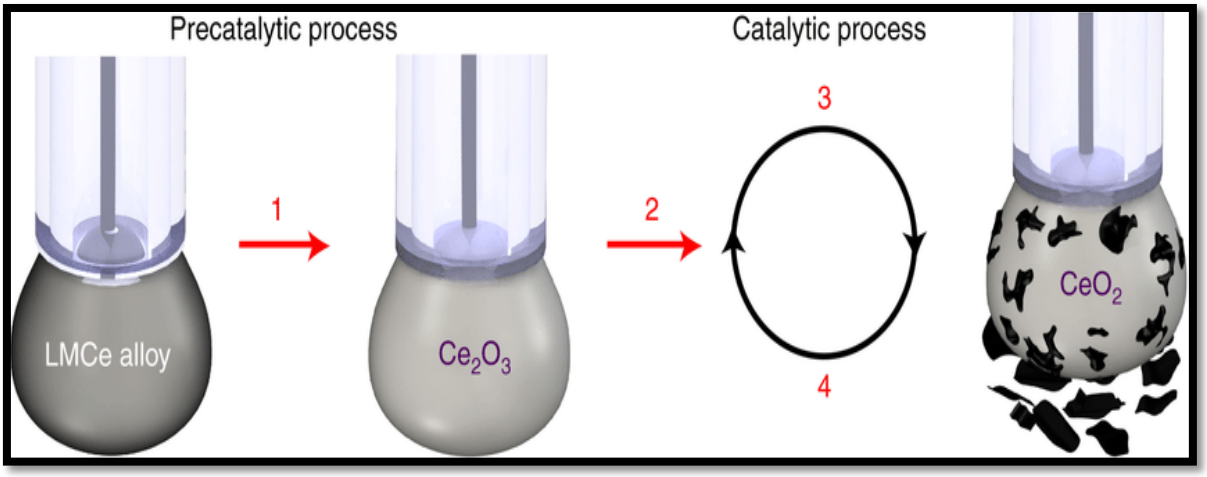
شكل رقم (2) : مخطط مقطعي للخيارات التقنية الخاصة بالتقاط الكربون وتخزينه بالطبقات والتكوينات الجيولوجية [10].

تعتمد تقنية الالتقاط المباشر لغاز ثاني أكسيد الكربون على تمرير الغازات المنبعثة من محطات توليد الطاقة التي تعمل بالوقود الاحفوري في أبراج امتصاص خاصة توجد فيها مواد كيميائية تمتص ثاني أكسيد الكربون من الدخان المنبعث من تلك المحطات، حيث يتم نزعه

وتحويله إلى سائل يتم ينقله في أنابيب خاصة تحت ضغط مرتفع ليدفن في باطن الأرض. تتعدد التكوينات الصخرية والجيولوجية التي يمكن تخزين ثاني أكسيد الكربون فيها، ومن أهمها جيوب طبقات الفحم وأبار النفط والغاز الطبيعي المستنفذة، وفي الطبقات الصخرية المسامية العميقة بالطبقات البازلتية. ووفقاً لرأي خبراء الهندسة الجيولوجية تعد التكوينات الجيولوجية من المواقع الواعدة لعمليات تخزين الكربون ولا تنضوي على مخاطر بيئية جسيمة.

وفي دراسة علمية حديثة، توصل العلماء بالمعهد الملكي للتكنولوجيا بأستراليا، إلى تقنية جديدة يمكن أن تساعد مستقبلا في إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، عن طريق امتصاصه وتحويله إلى فحم صخري **[11]**. تمكن الفريق الاسترالي من الوصول إلى هذه التقنية باستخدام طريقة التحليل الكهربائي المعدني للسائل الذي يحول ثاني أكسيد الكربون من غاز إلى جزيئات فحم صلبة. ولهذا الغرض استخدموا جهاز كهرو كيميائي يحتوي على مادة كيميائية محفزة لعملية التحليل الكهربائي وهي عبارة عن عنصر فلزي من جزيئات السيريوم المعدنية النانونية، التي تعمل على تسهيل الاختزال الكهرو كيميائي لثاني أكسيد الكربون وتحويله إلى جزيئات كربون صلبة، حيث يذاب ثاني أكسيد الكربون فيها فتعمل المادة الكيميائية المحفزة على ترسيب الكربون ثم يتم تحويله إلى دقائق كربونية صلبة. تم صهر المحفز في حمام ماء دافئ (تحت درجة حرارة 30 °م)، ثم تم وضعه على لوح من الزجاج المطلي بأكسيد القصدير المشبع بالفلور، للسماح له ليبرد إلى درجة حرارة الغرفة ويتجمد، وحدث التصلب الكامل بشكل نموذجي بعد 30 دقيقة من التبريد **[11]**. تعتبر هذه الطريقة قليلة التكلفة كما أن بوسعها تقديم حل أكثر استدامة مستقبلا حيث يمكن أن تتم في درجة حرارة الغرفة، أي بأقل استهلاك للطاقة، إضافة إلى أن هذه التقنية يمكن انجازها باستخدام معدات رخيصة الثمن، ومن ناحية أخرى فإن الفحم

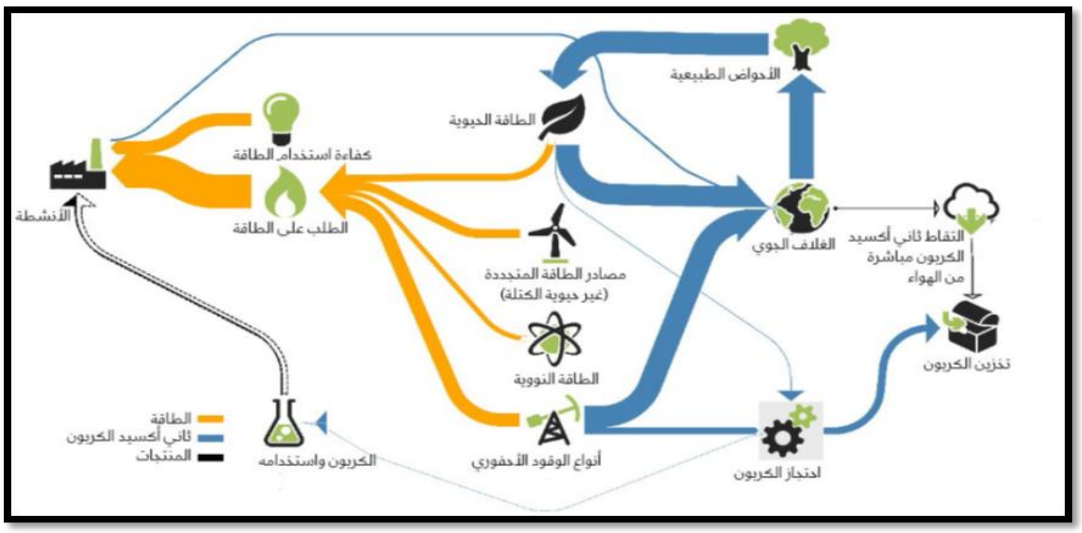
الـذي تنتجـه يمكـن اسـتخدامه قطبـا كهربائيـا يتحمـل الشـحنات الكهربائيـة ليصـبح مكثفـا فائقـاً، وبإمكان هذه العملية أن تنتج وقوداً اصطناعياً كمنتج ثانوي الأمر الذي يدخل في عدة تطبيقات صناعية، وبالتالي يمكن إدخال هذه التقنية ضمن حلقة الاقتصاد الدائري المنخفض الكربون.



شكل رقم (3) : مراحل العملية التحضيرية المقترحة اعتماداً على قياسات أوندرو رامان، تشمل تفاعلات ما قبل التحضير والدورة التحضيرية لتقليل ثاني أكسيد الكربون غير متبلورة [11].

3.5. إستراتيجية البعد الاقتصادي الدائري : تهدف هذه الاستراتيجية إلى التخلي عن نظام الاقتصاد الخطي والتوجه نحو نظام الاقتصاد الدائري مُنخفض الكربون، يسعى مفهوم الاقتصاد الدائري إلى تغيير نموذج عمل استخدام الوقود الأحفوري الحالي للإسهام في تقليل مخاطر التغير المناخي ومنع وصول تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى نقطة اللاعودة **(Tipping Point)**. إلى جانب الإبقاء على الوقود الاحفوري كمصدر رئيسي للطاقة الموثوقة للاقتصاد العالمي، حيث تُعدُّ تصورات (سيناريوهات) الـ 1.5 °م، والدرجتين المئويتين لتخفيض غازات الدفيئة مقيدة جداً لنموذج عمل استخدام الوقود الأحفوري القائم حالياً (النموذج الخطي)، في حين يشكِّل استهلاك الوقود الأحفوري جزءاً مهماً لاستدامة نمو الاقتصاد

العالمي. يتعارض الاقتصاد الدائري مع المفهوم التقليدي للاقتصاد الخطي باعتبار الثاني نظاماً آنياً (ذو اتجاه واحد) لموارد نفطية مفترضة غير محدودة وقدرة غير محدودة لامتصاص المُخلفات. ويدور الاقتصاد الدائري في جوهره حول إغلاق حلقة استخدام الموارد وحماية البيئة، ويمكنه أن يشمل الإيكولوجيا الصناعية حيث تأخذ إحدى العمليات مدخلاتها من تيار مخلفات عملية أخرى. ويمكنه كذلك أن يشمل التصميم الإيكولوجي لتقليل الاحتياجات من الموارد من خلال تصنيع منتجات تدوم لفترة أطول، بالإضافة إلى تحويل نماذج الملكية واقتصاد المشاركة بهدف زيادة استخدام المنتجات المصنعة **[12]**. يمكن تمثيل فكرة الاقتصاد الدائري من خلال أربعة استراتيجيات (**4Rs**) وهي : الخفض، إعادة الاستخدام، إعادة التدوير، والإزالة. يركز تصور (سيناريو) الاقتصاد الدائري، على استعراض الاتجاهات والسياسات الاقتصادية الحالية المرتبطة باتفاق باريس، وفي نفس الوقت يركز على الحد من انبعاثات غازات الدفيئة للحفاظ على الاحتباس الحراري بأقل من درجتين مئويتين، ويعد (سيناريو) الاقتصاد الدائري تصورا (سيناريو) معيارياً ويتضمن الإجراءات اللازمة لتحقيق أهداف اتفاق باريس، والوصول الشامل إلى الموارد وتحسين جودتها، ويفترض التخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معها كأولويات رئيسية.



شكل رقم (4) : نموذج مكونات الاقتصاد الدائري الخالي من الكربون [13].

تعتبر الاستراتيجيات الأربعة أحد المبادئ التنظيمية للاقتصاد الدائري مُنخفض الانبعاثات الكربونية، كما تشكل أساس إدارة الكربون في نظام الاقتصاد الدائري مُنخفض الكربون، فكلما زاد الطلب على المنتجات قل عدد الموارد اللازمة للاستهلاك، وكلما ارتفعت إمكانية إعادة استخدام المنتجات المصنَّعة، كان الاقتصاد أكثر كفاءة في استخدام الموارد. وكلما زاد عدد المنتجات التي يتم إعادة تدويرها في نهاية عمرها الافتراضي، قلت الحاجة إلى الموارد الخام وتضاءل حجم مجارى النفايات. بينما يعد المعنى الضمني للاستراتيجيات الأربعة = **(4Rs RRRR = Reduce , Reuse , Recycle , Remove)**، تسلسلاً هرمياً وأولوية، وينبغي تركيز الجهود على التخفيف في بادئ الأمر، ثم على إعادة استخدام ما لا يمكن تخفيضه وانتهاءً بإعادة تدوير المخلفات. ويمكن تلخيص الاستراتيجيات الأربع للاقتصاد الدائري منخفض الكربون على النحو التالي **[13]** :

I – **استراتيجية الخفض، Reduce**: يمثل "الخفض" كافة خيارات التخفيف من تدفق انبعاثات الكربون التي تقلل من كمية الكربون الداخلة إلى النظام. وتخفيض كفاءة استخدام الطاقة على جانبي العرض والطلب من استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون المرتبطة بها. وبالمثل فإنّ الخيارات المتعلقة بإمدادات الطاقة التي لا تُطلق ثاني اكسيد الكربون مثل مصادر الطاقة غير المتجددة للكتلة الأحيائية والطاقة النووية، على الرغم من أنها يمكن أن تؤدي بشكل غير مباشر إلى انبعاثات الكربون أثناء تصنيعها وبنائها وتركيبها.

II – **استراتيجية إعادة الاستخدام، Reuse** في سياق الاقتصاد الدائري مُنخفض الكربون تشير هذه الاستراتيجية إلى احتجاز الكربون وتخزينه واستخدامه كمدخلاتٍ في عملية كيميائية أو صناعية تحوّل الكربون إلى مادةٍ خام أخرى مفيدة للصناعة، ويتناسب الكربون واستخدامه تماماً مع تقاليد البيئة الصناعية من خلال "استقلاب" الكربون من النفايات إلى المدخلات القيمة.

III – **استراتيجية إعادة التدوير، Recycle**: تمثل "إعادة التدوير" الدورة الطبيعية للكربون، حيث تقوم البواليع الطبيعية (مثل النباتات والتربة والمحيطات)، بسحب الكربون من الغلاف الجوي ثم إطلاقه مرة أخُرى من خلال التحلل والاحتراق. ويتم إعادة تدوير الكربون بنحوٍ فعّال بل ويمكن اعتبار النظام الفرعي للطاقة الحيوية عديم الانبعاثات الكربونية (محايدًا كربونياً)، طالما أن كمية مساوية من الكتلة الحيوية تنمو لتحل محل ما يتم حصاده كمواد خام إحيائية (مثل: الخشب ومحاصيل الوقود والطحالب وخلافها)، من أجل الطاقة الحيوية.

IV– **استراتيجية الإزالة، Remove**: تمثل الاستراتيجية الأخيرة لاقتصاد الكربون الدائري مُنخفض الانبعاثات الكربونية إزالة الكربون من النظام، ويمكن تحويل الكربون المحتجز

إما إلى موادٍ خام كما تمت الاشارة إليه في "إعادة الاستخدام"، أو إزالته عن طريق تخزينه بالطرق الكيمائية أو الجيولوجية. ويمكن احتجاز ثاني أكسيد الكربون بصورة مباشرة ناجمة عن العمليات الصناعية ونقاط الاحتراق، كما يمكن احتجازه أيضاً من الهواء بصورة مباشرة باستخدام تقنيات الجمع المباشر للهواء. ينتج الكربون الذي يتم احتجازه عن طريق احتراق الطاقة الحيوية في صافي انبعاثات الكربون السلبية ضمن النظام الفرعي للطاقة الحيوية. ويمكن كذلك إدارة الأراضي بطريقةٍ تمكنها من أن تصبح بالوعة طبيعية صافية للكربون الموجود في الغلاف الجوي. ومن ناحية أخرى يُمكن للبواليع الطبيعية واحتجاز وتخزين الكربون والطاقة الحيوية والجمع المباشر للهواء جميعها أن تغلق الحلقة الخاصة بالانبعاثات في أماكن أخرى والتي قد تكون صعبة أو مكلفة للغاية بحيث لا يمكن احتجازها بصورة مباشرة مثل الانبعاثات الناتجة عن احتراق وقود الطائرات.

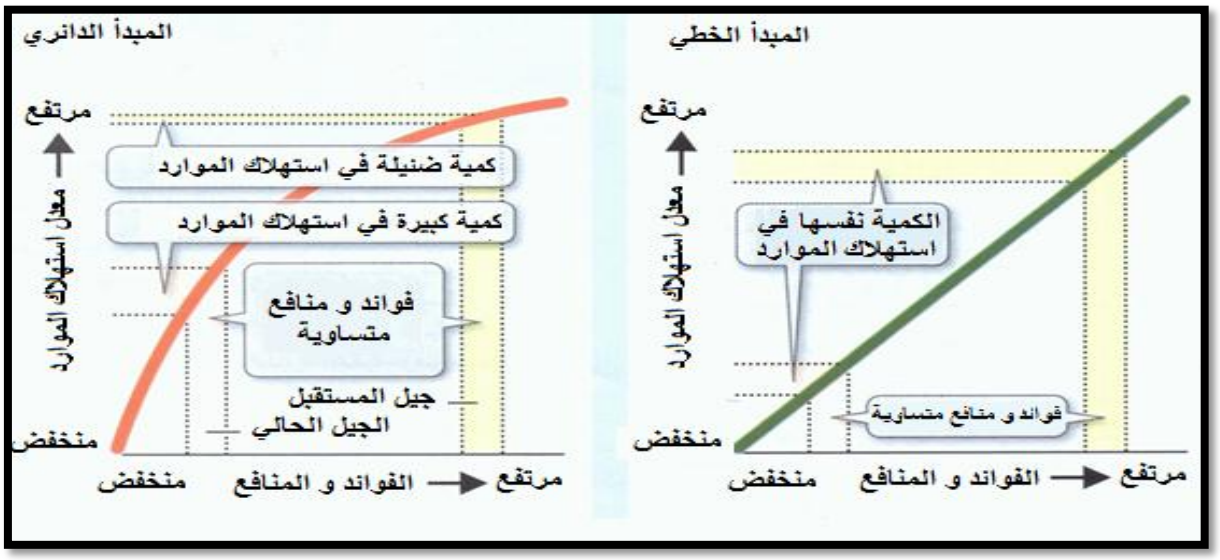
ويعتمد مقدار مساهمة كل من [الاستراتيجيات الأربع = الخفض ، إعادة الاستخدام ، إعادة التدوير ، الإزالة]، على العديد من العوامل مثل تكاليف وأداء التقنيات وتوافر الموارد على أساس الجغرافيا والجيولوجيا والقبول العام والسياسات التمكينية. للحد من متوسط الزيادة في درجات الحرارة العالمية بما لا يتجاوز 1.5 درجة مئوية.

بناء على مقارنة التكاليف بالمنافع، يمكن استخلاص أن الفائدة التي تتحقق من تخفيض انبعاث غازات الدفيئة عبر الاقتصاد الدائري ستكون أكبر بكثير من تكلفة هذا التخفيض عبر الاقتصاد الخطي. ثمة علاقة تربط بين هاتين المسألتين. فمعدل الخفض هو قياس لمدى تناقص قيمة معدل استهلاك الموارد بدلالة الزمن. ومفعول ذلك على سبيل المثال، هو أن يكون معدل الاستهلاك الحالي كقيمة حالية لتحقيق فوائد ومنافع ذات معدل استهلاك يساوي ربع قيمة المعدل

الحالي بعد ثلاثة عقود زمنية من الآن. أي بمعنى أنه، بعد مضي ثلاثة عقود سيتم الحصول على الفوائد والمنافع نفسها التي يتم الحصول عليها الآن بحيث لا تزيد كلفتها آنذاك عن ربع قيمة معدل الاستهلاك الحالي. للتحكم في التغير المناخي في المستقبل القريب يجب أن يُلْزَمُ الجيل الحالي بالتحكم في نمط استهلاك الموارد عبر الانتقال من نمط الاقتصاد الخطي إلى نمط الاقتصاد الدائري. وعلى الأغلب. ثمة خلاف بين نظريتي التقييم الدائري والخطي حول قيمة استهلاك الموارد لتوزيع فوائد متساوية للأجيال. فمبدأ الاقتصاد الدائري يعطي قيمة استهلاكية عُليا للفوائد التي يتحصل عليها شخص من الجيل الحالي ويعطي قيمة استهلاكية دُنيا لنفس الفوائد التي سيتحصل حصل عليها شخص مستقبلي، في حين يمنح مبدأ الاقتصاد الخطي القيمة الاستهلاكية نفسها بصرف النظر عن طريقة توزيع الفوائد والمنافع الحالية والمستقبلية.

وفقا لنظرية المبدأ الدائري عندما يحصل جيل المستقبل على فوائد ومنافع اقتصادية- يجب اعتبارها ذات قيمة استهلاكية أدنى من قيمتها عندما يحصل عليها الجيل الحالي. ويأتي هذا الفارق من خلال الوفر الناتج وتضمينه لسلة الموارد الاحتياطية من خلال تقليل معدلات استهلاك الموارد المتاحة بشكل تدريجي عبر الزمن وذلك بتطبيق الآليات أو الاستراتيجيات الأربعة التي يرتكز عليها نظام الاقتصاد الدائري منخفض الكربون، فالمبدأ الدائري يعطي الأولوية إلى التقليل من معدل الاستهلاك والتقليل من كمية المخلفات والنفايات بإعادة تدويرها اقتصاديا وتحويلها إلى موارد. وبالتالي فإن قيمة استهلاك الموارد التي تقدر لفوائد اجيال المستقبل يجب أن تكون أقل من قيمة فوائد الجيل الحالي، كما ان المخلفات الكربونية ستتحول إلى موارد اقتصادية يتم استثمارها صناعيا والمتاجرة بها في أسواق الكربون. إذن، فالمبدأ الدائري

يقود إلى معدل خفض استهلاكي مرتفع، جنباً إلى جنب مع رفد ودعم رصيد الموارد الاحتياطية.



شكل رقم (5) : مقارنة بين سمات وملامح المحاور الأساسية التي يرتكز عليها مبدا الاقتصاد الدائري ومبدأ الاقتصاد الخطي.

6. الخاتمة والتوصيات :

تناولت الورقة تحليلاً مستقبلياً لانعكاسات التغير المناخي على الواقع المحلي والدولي من منظور اقتصادي وجيوسياسي، وتوصي الورقة بأن تعمل قطاعات النفط والطاقة والاقتصاد بدولة ليبيا على الاهتمام بتحديد لائحة المُساهمات الليبية المحددة وطنياً بموجب اتفاق باريس **NDCs** المتوقع تحقيقها كُل خمس سنوات، وإخطار أمانة اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المعنية بالتغيرات المناخية بهذه المساهمات، بحيث تستند لائحة المساهمات على المحاور التالية :

I – تخفيض انبعاثات الكربون البشري المنشأ عبر تدويره ضمن نظام حلقة الاقتصاد الدائري مُنخفض الانبعاثات الكربونية.

II – الاستفادة من مرونة المادة السادسة باتفاق باريس، والاستفادة من مصادر وصناديق تمويل السياسات المناخية.

III – المطالبة بإجازة وتقنين تطبيق تقنيات التقاط وتخزين الكربون ضمن المُساهمات المحددة وطنياً بموجب اتفاق باريس.

IV– تحديد حزمة من المشاريع الخاصة بالتكيف مع التغيرات المناخية والتخفيف من آثارها السلبية.

إضافة إلى ذلك توصي الورقة بالآتي : ضرورة الاسراع بإعداد تقرير البلاغ الوطني الليبي الأول بشأن تغير المناخ وتقديمه إلى هيئة اتفاقية الأمم المتحدة الاطارية المعنية بتغير المناخ. تنظيم ملتقى علمي تقني اقتصادي يتناول كافة الجوانب المتعلقة بالاقتصاد الدائري منخفض الكربون، وتقنيات التقاط انبعاثات الكربون وتخزينها.

المراجـــــع :

[1] UNFCCC. ; UNFCCC, Paris Agreement - Status of Ratification. 2015.

[2] IPCC. ; Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development." In Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.

[3] Z. Powell, and W. Hedge. ; Polices and Mechanism's for Capturing and Storing Carbon Dioxide after the Paris Agreement, KAPSARC, 2019.

[4] Williams E. ; Achieving Climate Goals by closing the loop in a Circular Carbon Economy, KAPSARC. 2019, pp. 4-9.

[5] Thomas F. Stocker. ; Climate Change 3013, The Physical Science Basis, WGI, Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC. 2013 pp. 3-39.

[6] IPCC. ; Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the IPCC. 2012, pp. 798-857.

[7] William D. R. ; Towards Sustainable World, Majalat AlOloom, Sci. Amer. 1990, Volume 7, No. 3. PP. 110-119.

[8] Pearce D. ; The role of Carbon Taxes in adjusting to global warming. The Economic J. 1991, 101(407), 938-948.

[9] Pawell Mullett, and Others. ; Carbon Isolation Tools, New Carbon Emission Reduction, KAPSARC. 2020.

[10] IPCC. ; Carbon Dioxide Capture And Storage, WG Ⅲ, Special Report, Summary for Policymakers. 2005. PP. 2-14.

[11] Esrafilzadeh, D., and others. ; Room temperature CO2 reduction to solid carbon species on liquid metals featuring atomically thin ceria interfaces. Nature Communications. 2019, 10 (1), 865-1-865-8.

[12] Murray et al. ; The Circular Economy : An Interdisciplinary Exploration of the concept and Application in Global Context, J. Bus. Ethies. 2017, 140, pp. 369-380.

[13] Willaims Erc. ; Achieving Climate Goals by closing the loop in a Circular Carbon Economy. 2019, KAPSARC, pp .5.