

## تأثير ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) على درجة حرارة البحر الأبيض المتوسط باستخدام نموذج المناخ CMIP5

هيفاء محمد جمعة بن ميلود<sup>1</sup>، عبد الله عبد الحفيظ ميلاد على<sup>2</sup>

قسم علم الغلاف الجوي، كلية العلوم، جامعة طرابلس . طرابلس - ليبيا

Email: <sup>1</sup>[regcm00@Yahoo.com](mailto:regcm00@Yahoo.com); <sup>2</sup>[abdula.milad439@gmail.com](mailto:abdula.milad439@gmail.com)

ملخص: في هذه الورقة تم تحليل العلاقة بين غاز ثاني أكسيد الكربون ودرجة حرارة سطح البحر الأبيض المتوسط بالاستعانة بالبيانات المتوفرة لدى الأطلس الأوروبي المعلوماتي (SOCAT) الخاص ببيانات البحار والمحيطات. أظهرت النتائج علاقةً طرديةً واضحةً بين المتغيرين والذي أستخلص منه أن الزيادة المستمرة في درجة حرارة سطح البحر الأبيض المتوسط في العقود الماضية قد تحدث بسبب الزيادة في معدلات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في مياه البحر وعلى سطحه الناتج من التبادل الكيميائي بين الهواء والماء. كما تم حساب قيم الشذوذ المتوقعة لدرجة حرارة سطح البحر الأبيض المتوسط وتركيز الكربون الغير عضوي السطحي (بفعل زيادة غاز ثاني أكسيد الكربون) للفترتين 2006-2050، 2055-2099 باستخدام نموذج البرنامج العالمي لأبحاث المناخ، (النموذج المزدوج - للمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة، CMIP5 سيناريو مسار التركيز التمثيلي (RCP8.5)). بينت النتائج وجود ارتفاع في تركيز الكربون الغير عضوي السطحي مترافقاً مع ارتفاع في درجة حرارة سطح البحر الأبيض المتوسط خلال العقود القادمة وزيادة قيم الشذوذ في كلا المتغيرين. قد يكون لهذا التزايد آثار سلبية على النظام البيولوجي البحري من ناحية تغير الخصائص الحرارية والكيميائية لمياه حوض البحر الابيض المتوسط، فضلاً عن الضرر المتوقع على اعداد وانواع الكائنات البحرية التي تعتبر مصدر رزق وغذاء أساسي لصيادي الأسماك والمستهلكين.

## Impact of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) on Mediterranean temperature using CMIP5 climate model

Haifa M. Ben Meiloud\* and Abdalla Abdulhafid M. Ali

Department of Atmospheric Science, Faculty of Science, University of Tripoli

\* Corresponding author

**Abstract:** In this paper, the relationship between Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and the Mediterranean Sea surface temperature has been analyzed using reliable data series available at the Surface Ocean CO<sub>2</sub> Atlas (SOCAT). The results revealed direct relationship between the above two variables which means that the widely documented increase in the sea surface temperature might be due to the continuous increase CO<sub>2</sub> concentration in the Mediterranean sea water and on its surface resulting from chemical exchange between air and water. The predicted anomalies of sea surface temperature and inorganic carbon for the periods 2006-2055 and 2050-2099 have been calculated using the Coupled Model Inter-comparison Project Phase five (CMIP5) for the Representative Concentration Pathways Scenario (RCP8.5). The results showed a dramatic future increase in the concentration of inorganic carbon as well as sea surface temperature in the Mediterranean Sea. This increase in fact, will affect negatively the marine biological system as a result of the varied thermal and chemical characteristics of the Mediterranean sea and also will harm and reduce many types of marine organisms that are a source of livelihood and food for fishermen and consumers.

**كلمات الاستدلالية:** - غاز ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>)، الكربون الغير عضوي، درجة حرارة سطح البحر، شذوذ درجة الحرارة، شذوذ الكربون الغير عضوي، النظام البيولوجي البحري.

## 1. المقدمة

تعد منطقة البحر الأبيض المتوسط أحد «النقاط الساخنة» الأكثر بروزاً وتعرضاً للتأثر بتغير المناخ فضلاً عن استجابته السريعة لتأثيرات الغلاف الجوي ونتيجة لذلك شهدت المنطقة في كثير من الأحيان ظواهر مناخية متطرفة من المتوقع أن تزداد في المستقبل. [1]

وبالرغم من أن الآثار الكاملة لتغير المناخ على المحيطات لازالت تحتاج إلى المزيد من البحث والتحليل إلا إن بعض الدراسات تتوقع حدوث زيادة في درجات الحرارة، وارتفاع في منسوب مستويات سطح البحر، وتغيرات في كيمياء المحيطات، مثل تحمض المحيطات وغيرها من التغيرات، وتحدث بالفعل تغيرات في كيمياء مياه البحر لأن المحيطات تمتص قرابة ربع ثاني أكسيد الكربون الذي يُطلق في الغلاف الجوي كل عام [2]، وبالتالي يؤثر هذا الارتفاع في درجة حرارة الأرض تأثير كبير على البيئة والأحياء البحرية [3] إذ أوضحت بعض الدراسات أن المستويات المتزايدة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي المنبعثة من حرق الوقود الأحفوري وصناعة الإسمنت جزء هام من هذه المستويات بتم امتصاصها بواسطة المحيطات والأنظمة الأرضية؛ يقدر الامتصاص المحيطي لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بمدى يتراوح بين 17-39 % من الانبعاثات الناتجة عن استهلاك الوقود الأحفوري. [4]

يعد تغير المناخ الناتج عن الأنشطة البشرية أحد أخطر التهديدات للتنوع البيولوجي وتؤدي انبعاثات غازات الدفيئة والأنشطة البشرية الأخرى بالفعل إلى تغير سريع في نظام مناخ الأرض، ومن المرجح أن يكون أهم تغيرين هما ارتفاع درجة حرارة الماء وزيادة نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون حيث ارتفع متوسط درجة حرارة سطح الأرض خلال الـ 150 عاماً الماضية ومن المتوقع استمرار هذه الزيادة خلال العقود القادمة. [5]

يؤدي الامتصاص المستمر لثاني أكسيد الكربون بواسطة المحيطات إلى زيادة مستويات زوال ثاني أكسيد الكربون (fCO<sub>2</sub>) على سطح المحيط بمعدلات تتراوح بين 1.5-1.9 ميكرومتر سنوياً، وتعتبر دراسة الاتجاه الزمني لخصائص مياه fCO<sub>2</sub> أمر بالغ الأهمية لفهم كيفية تطور بالوعة ثاني أكسيد الكربون المحيطية في ظل ظروف تغير المناخ، حيث يمكن تحديد اتجاه وقوة تدفق ثاني أكسيد الكربون بواسطة التدرج الديناميكي الحراري بين fCO<sub>2</sub> في الغلاف الجوي وسطح البحر [6] fCO<sub>2</sub>، على مدى السنوات العشرين الماضية، تم توسيع برنامج سريع لقياسات الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون على المياه السطحية (PCO<sub>2</sub>W)، وقياسات زوال ثاني أكسيد الكربون (fCO<sub>2</sub>W) تمكن هذا البرنامج من توفير بيانات لتحديد تدفقات ثاني أكسيد الكربون في الجو والبحر، ومعدلات تحمض المحيطات على المستويات المحلية والعالمية [7].

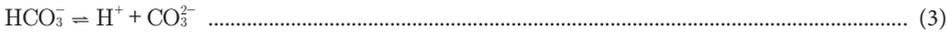
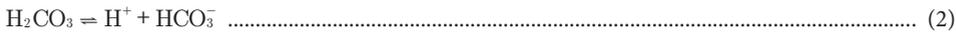
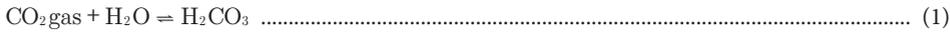
اعتمد رصد تدفق ثاني أكسيد الكربون في المحيطات بشكل أساسي على القياسات الجارية على متن السفن للضغط

الجزئي لثاني أكسيد الكربون (PCO2w). خلال العقود الثلاثة الماضية، سهلت هذه الرصدات إمكانية القيام بتحديد التباين الموسمي في تدفق ثاني أكسيد الكربون المحيطي العالمي وساهمت في تقليل عدم اليقين وهامش الشك بشأن تقدير صافي التدفق السنوي لثاني أكسيد الكربون في المحيطات بنسبة 50% [8].

تبادل الغاز بين الهواء والبحر هو عملية فيزيائية كيميائية، تتأثر بشكل أساسي بمعامل الاختلاف بين تركيزات الغاز بالهواء والبحر ومعامل تبادل الغاز بين الهواء والبحر، والذي يحدد مدى سرعة تحرك جزيء الغاز عبر حدود المحيط والغلاف الجوي. ويستغرق الأمر حوالي عام لموازنة ثاني أكسيد الكربون في سطح المحيط مع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. لذلك من المعتاد ملاحظة الاختلافات الكبيرة بين الهواء والبحر في تركيزات ثاني أكسيد الكربون وتحدث معظم الاختلافات في المحيطات بسبب البيولوجيا ودوران المحيطات. تحتوي المحيطات على مخزون كبير جداً من الكربون يمكن تبادله مع الغلاف الجوي لأن ثاني أكسيد الكربون يتفاعل مع الماء لتكوين حمض الكربونيك ونواتج تفككه. مع زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، سيؤدي التفاعل مع سطح المحيط إلى تغيير كيمياء مياه البحر مما يؤدي إلى تحمض المحيطات [9].

### تحليل كيمياء CO<sub>2</sub> في ماء البحر:

عند انتقال ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) في حالته الغازية من الجو إلى الماء (البحر أو المحيط) يتفاعل سريعاً مع الماء مكوناً حمض الكربونيك (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) الذي بدوره يتفكك إلى بيكربونات (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) وأيونات كربونات (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)، [10]. هذه التفاعلات الكيميائية يمكن تلخيصها وفق المعادلات التالية:



### أهداف الورقة:

تهدف هذه الورقة الى الآتي:

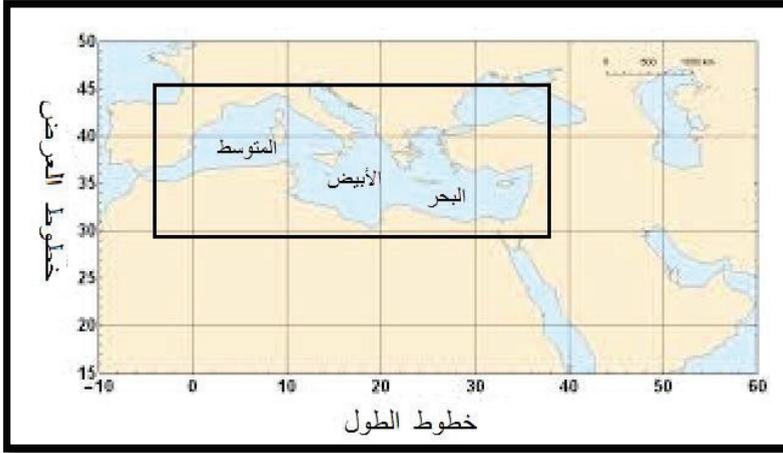
أولاً- تحليل مقدار الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون داخل الماء (PCO2W) والضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون المزال على سطح الماء (fCO2W) وتحديد علاقتهما بتغير درجة حرارة سطح البحر الأبيض المتوسط بالمنطقة المستهدفة الواقعة بين الاحداثيات التالية، من 300 إلى 450 شمالاً و من 60 غرباً الى 380 شرقاً خلال الفترة 1994-2020.

ثانياً- حساب قيمة الشذوذ المتوقع لعنصري درجة حرارة والكربون غير العضوي على سطح البحر وذلك للفترة (2006-2055)، والفترة (2050-2099) مقارنة بالمعدلات العامة المرصودة خلال الفترة المناخية المرجعية (1956-2005).

### البيانات المستخدمة وطريقة التحليل:

اعتمدت الورقة على البيانات المتوفرة بأطلس ثاني أكسيد الكربون لأسطح المحيطات والبحار (The Surface Ocean CO<sub>2</sub> Atlas) أو (SOCAT) وهو مصدر معلوماتي يحتوي على قاعدة بيانات لغاز ثاني أكسيد الكربون الموجود على أسطح المحيطات، بمناطق القطب الشمالي والبحار الساحلية ومن ضمنها منطقة البحر الأبيض المتوسط. تركز قاعدة بيانات الأطلس بشكل أساسي على الرصدات واسعة النطاق للكربون الداخلي والسطحي للمحيطات من خلال الرحلات الملاحية التي يتم إجراؤها على متن سفن المراقبة التطوعية والعوامات والأنظمة المستقلة الأخرى وذلك لقياس الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (PCO2w) وزوال ثاني أكسيد الكربون (fCO2w) على سطح الماء إضافة الى قياس نسبة تركيز الكربون الغير عضوي. وتم الحصول على بيانات درجة حرارة سطح البحر من موقع الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي -National Oceanic and Atmospheric Administration

أو (NOAA). جميع هذه البيانات تغطي النطاق المساحي للمنطقة المستهدفة المبينة في الشكل (1). وفقا للدراسات التي تم الرجوع إليها والاستعانة بها تم حساب قيم الشذوذ المستقبلية أو المتوقعة لدرجة حرارة سطح البحر وتركيز الكربون الغير عضوي للفترتين 2006-2050 , 2055-2099 باستخدام نموذج التنبؤ- Coupled Model Inter Comparison Project (CMIP5) وذلك لسيناريو مسار التركيز التمثيلي 8.5 (RCP8.5)، الذي يطلق عليه اسم سيناريو الانبعاثات المرتفعة، يفترض هذا السيناريو بقاء الامور على حالها وعدم اتخاذ إجراءات للتخفيف من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى، تم تطوير هذا السيناريو من قبل المعهد الدولي لتحليل النظم التطبيقية في النمسا، وهو يتميز بزيادة الانبعاثات التي تؤدي الى زيادة عالية في تراكيز غازات الدفيئة مع الزمن، ووفقا لهذا السيناريو فإنه بحلول عام 2100 سيصل التأثير الاشعاعي الى 8.5 واط/م<sup>2</sup>، وتتضاعف انبعاثات CO<sub>2</sub> ثلاث مرات على المستوى الحالي، وستصل درجة احتراق كوكب الارض الى مستويات قياسية.



شكل (1). المنطقة المستهدفة الواقعة بين الاحداثيات، 45°-30° شمالا و 6° غربا الى 38° شرقا.

لحساب العلاقة بين درجة حرارة سطح البحر وكلا من (FCO2W)، (PCO2W) خلال الفترة 1994-2020 : تم القيام بتحديد دالة خطية لها خلال الفترة 1994-2020 داخل كل خلية شبكية، وتم تشغيل نموذج الانحدار الخطي في جميع الخلايا الشبكية باستخدام معادلات معامل الانحدار الخطي التالية:

$$Y = q + bX \dots\dots\dots (4)$$

$$a = \frac{\sum y - \sum x}{N} \dots\dots\dots (5)$$

$$b = \frac{N \sum xy - (\sum x \sum y)}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (6)$$

حيث أن:

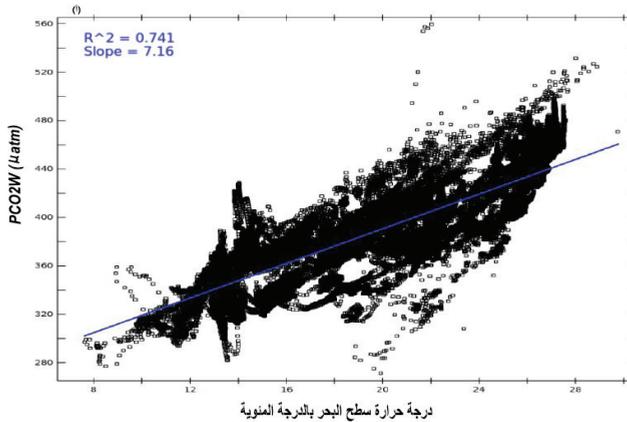
(N) ، تمثل عدد الرصدات، (X) ، تمثل مؤشر قياسات درجة حرارة سطح البحر، (Y) ، تمثل مؤشر قياسات زوال ثاني أكسيد الكربون (FCO2W) وقياسات الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (PCO2W).

## النتائج والمناقشة:

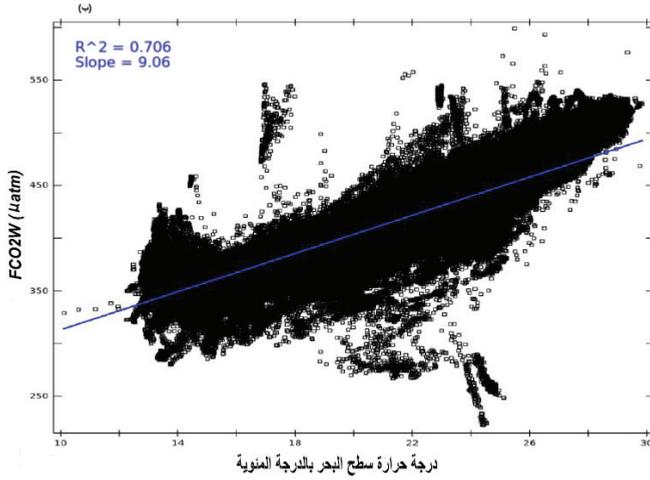
من خلال الاشكال البيانية (2، 3، 4، 5، 6، 7)، يمكن تلخيص نتائج التحاليل التي تم إجرائها للعناصر التالية:  
 أ- نوع التغير في درجة حرارة سطح البحر الذي يتزامن مع نوع التغير في الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون داخل الماء (PCO<sub>2W</sub>) و نوع التغير في الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون المزال على سطح الماء (fCO<sub>2W</sub>) للفترة المناخية-1994 2020.

ب- مقدار التغير في النسبة لخطوط العرض للعنصرين، PCO<sub>2W</sub>، fCO<sub>2W</sub>.

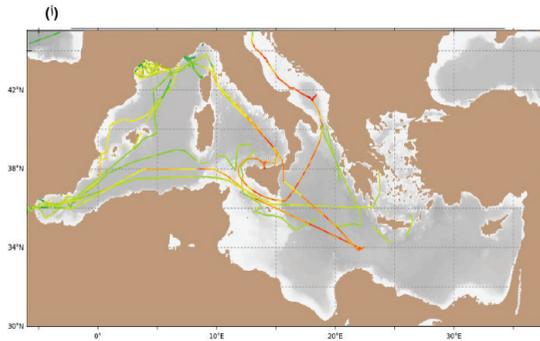
ج- مقدار الشدوذ المتوقع لدرجة حرارة سطح البحر والكربون الغير عضوي للفترتين 2006-2050، 2055-2099.  
 الشكل (2-، ب) يبين العلاقة بين درجة حرارة سطح البحر بالدرجة المئوية (°C) و كلاً من (PCO<sub>2W</sub>) (fCO<sub>2W</sub>) على التوالي وذلك للفترة 1994 2020. يبدو من الشكل بوضوح أن زيادة نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون تصاحبها زيادة في درجة حرارة سطح البحر أو بالأحرى التزايد في ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون داخل الماء وعلى سطحه يقابله تزايد في درجة حرارة سطح البحر. هذا يعني أن العلاقة الظاهرة بين هذين العنصرين ودرجة الحرارة هي في الواقع علاقة طردية أي ببساطة زيادة بزيادة وتناقص بتناقص. بالنظر إلى عديد الدراسات التي أجريت مؤخراً على تغير درجة حرارة مياه البحر الأبيض المتوسط خلال العقود الأخيرة، أثبتت النتائج ازدياداً ملحوظاً ومستمر في درجة حرارة سطح البحر. على سبيل المثال، أكدت الدراسة التي قام بها شلتوت [11] على حدوث زيادة في درجة حرارة سطح البحر بمقدار 0.24 °C لكل عقد خلال الفترة (1986 - 2015) اعتماداً على تحليل بيانات مرصودة بواسطة أجهزة استشعار عن بعد. أيضاً ولنفس الفترة ولكن اعتماداً على بيانات حرارية مرصودة بواسطة أجهزة قياس مباشر، [12] أثبت التحاليل حدوث زيادة مقدارها 0.4 °C لكل عقد أي في المجمل ارتفاع درجة حرارة سطح البحر المتوسط خلال الثلاثين سنة من 1986 إلى 2015 بمقدار (1.2 °C) إذا ورجوعاً إلى العلاقة الإيجابية (الطردية) بين غاز ثاني أكسيد الكربون و درجة حرارة سطح البحر المشار إليها أعلاه، فإنه بالإمكان استنتاج أن ارتفاع حرارة سطح البحر ربما ناتج عن زيادة الخصائص الكمية والنسبية لغاز ثاني أكسيد الكربون متمثلة في العنصرين (PCO<sub>2W</sub>، fCO<sub>2W</sub>).



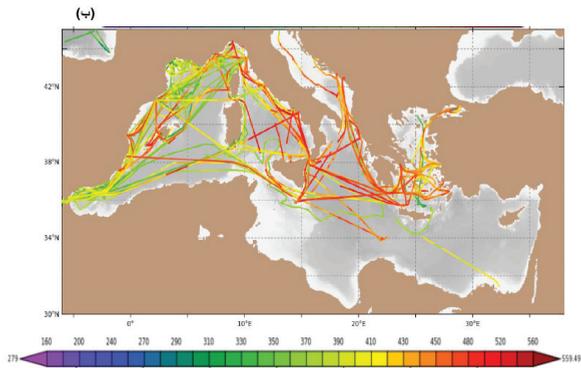
شكل (2- أ) : العلاقة بين درجة الحرارة سطح البحر بـ (C<sup>0</sup>) و PCO<sub>2W</sub> بـ (µ atm) خلال الفترة 1994-2020 [9].



شكل (2 ب): العلاقة بين درجة الحرارة سطح البحر بـ (C0) و FCO<sub>2W</sub> بـ (μ atm) خلال الفترة 1994-2020 [9].  
في سياق آخر ومن خلال (شكل -13، ب) الذي يبين مسارات السفن التي قامت برصد كل من (PCO<sub>2W</sub>)، (FCO<sub>2W</sub>).



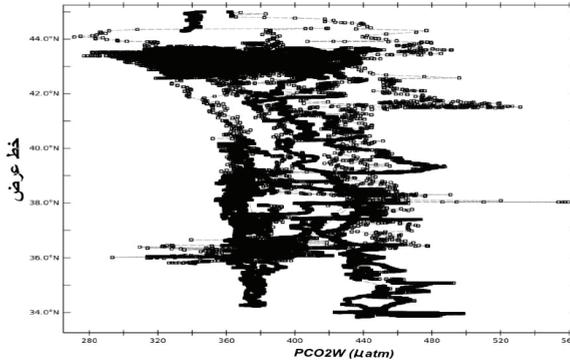
شكل (3-أ) : مسارات السفن التي قامت برصد القياسات PCO<sub>2W</sub> بـ (μ atm) خلال الفترة 1994-2020، الباحث.



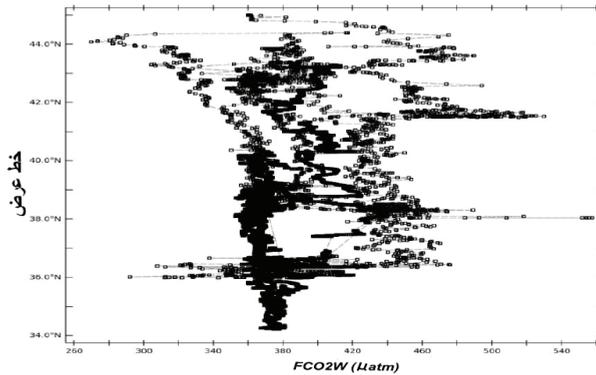
شكل (3-ب) : مسارات السفن التي قامت برصد القياسات FCO<sub>2W</sub> بـ (μ atm) خلال الفترة 1994-2020.

ومن الشكل (-4، أ، ب) الذي يبين التحليل بالنسبة لخطوط العرض للفترة 1994-2020 يمكن ملاحظة أن أعلى قيمة للعنصر FCO<sub>2W</sub> كانت عند خط عرض 380 شمالا ومقدارها 560 μ atm)) جنوب شرق إيطاليا تزامن مع ارتفاع

درجة الحرارة شرق البحر المتوسط بينما كانت أدنى قيمة عند خط عرض 440 شمالاً ومقدارها حوالي  $370 (\mu \text{ atm})$  شمال غرب المتوسط حيث الحرارة المنخفضة. بالنسبة للعنصر  $\text{PCO}_{2W}$  لوحظت أكبر قيمة أيضاً عند خط عرض 380 شمالاً ومقدارها  $560 (\mu \text{ atm})$  وأدنى قيمة كانت عند خط عرض 440 شمالاً ومقدارها حوالي  $370 (\mu \text{ atm})$  تجدر الإشارة هنا إلى التماثل الواضح في تركيز كل من  $\text{PCO}_{2W}$  و  $\text{FCO}_{2W}$  بالنسبة لخطوط العرض بينما من ناحية أخرى يزداد التركيز مع الاتجاه شرقاً.

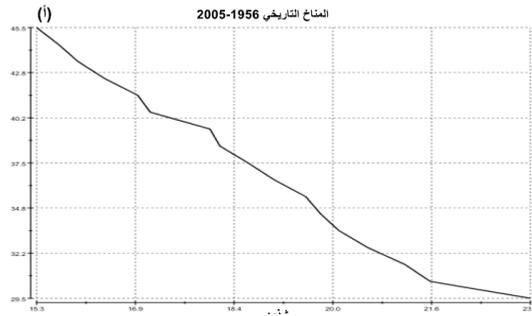


شكل (4-أ): التحليل العمودي لعنصر  $\text{PCO}_{2W}$  بـ  $(\mu \text{ atm})$  للفترة 1994-2020، [9].



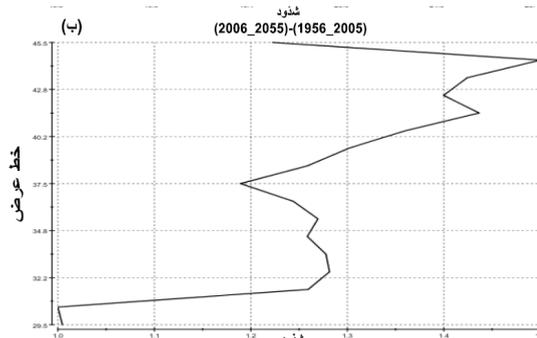
شكل (4-ب): التحليل العمودي لعنصر  $\text{FCO}_{2W}$  بـ  $(\mu \text{ atm})$  للفترة 1994-2020، [9].

شكل (5-أ) الناتج من التحليل الزوالي Meridional لمتوسط درجة حرارة البحر بـ (C0) للفترة المناخية 1956-2006 نلاحظ من الشكل أن درجة الحرارة تكون منخفضة على غرب المتوسط ومرتفعة شرقه. كما نلاحظ أن درجة الحرارة تزداد تدريجياً من شمال البحر المتوسط إلى جنوبه أي مع انخفاض خطوط العرض، مثلاً درجة الحرارة عند خط عرض 45.50 شمالاً كانت  $(\text{C}015.3)$  ، عند 40.20 شمالاً  $(\text{C}017.3)$  ، وعند 34.80 شمالاً  $(\text{C}019.4)$  لتصبح عند خط عرض 29.50 شمالاً  $(\text{C}023.1)$ .

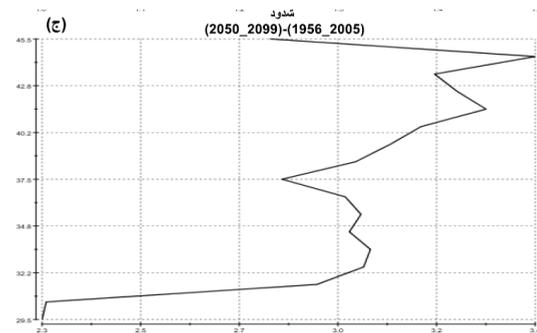


شكل (5-أ) : المناخ التاريخي لدرجة حرارة سطح البحر المتوسط بالدرجة المئوية للفترة (1956-2005).

مقدار الشذوذ الحراري المتوقع لمياه البحر الأبيض المتوسط للفترتين المستقبليتين 2050-2006، 2055-2009 والذي تم حسابه بواسطة نموذج التنبؤ (CMIP5) للسيناريو 8.5RCP كما هو مبين بالشكل (5 ب) والشكل (5 ج) على التوالي. من الملفت للنظر أنه بالرغم من ايجابية قيم الشذوذ الحراري شمالاً-جنوباً وغرباً-شرقاً إلا أنه لوحظ من الشكل (5 ب) والشكل (5 ج) أن قيم الشذوذ المتوقعة للفترتين المستقبليتين (2055-2006, 2099-2055) تزداد بزيادة خطوط العرض ناحية شرق المتوسط وتقل بانخفاضها غرب المتوسط. بالنسبة للفترة 2055-2006 أعلى قيمة شذوذ متوقعة لدرجة حرارة سطح البحر لوحظت عند خط عرض حوالي 440 شمالاً في أقصى الشرق ومقدارها (1.5 م<sup>0</sup>) بينما أقل قيمة شذوذ كانت (1.0 م<sup>0</sup>) عند خط عرض حوالي 300 شمالاً في أقصى الغرب، بينما للفترة 2099-2050 وكما هو متوقع، زادت قيم الشذوذ بمقدار أكبر قليلاً من ضعف قيم الشذوذ للفترة 2055-2006 في كامل منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط فمثلاً مقدار الشذوذ الحراري عند خط 440 شمالاً أصبح (3.4 م<sup>0</sup>) وعند خط عرض 300 شمالاً أصبح (2.3 م<sup>0</sup>).

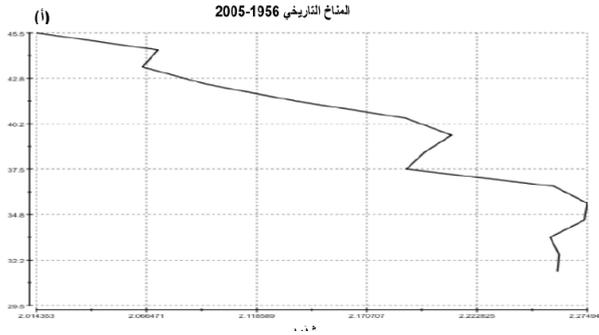


شكل (5-ب): الشذوذ المتوقع لدرجة حرارة سطح البحر المتوسط بالدرجة المئوية للفترة (2006\_2055). [الباحث].

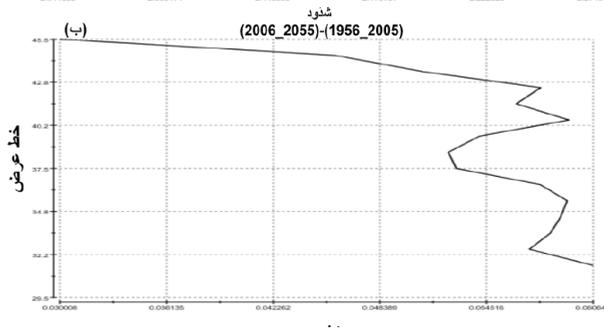


شكل (5-ج) : الشذوذ المتوقع لدرجة حرارة سطح البحر المتوسط بالدرجة المئوية للفترة (2099\_2050). [الباحث].

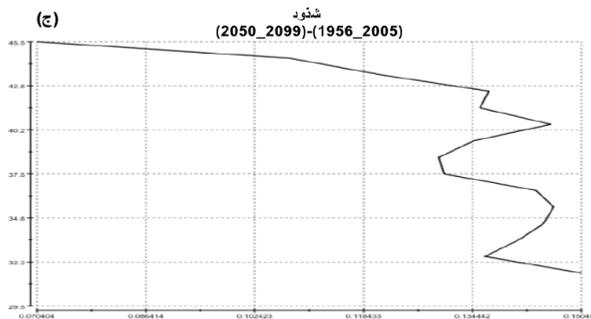
الشكل (6، أ-ج)، يوضح متوسط كمية الكربون الغير عضوي الموجود على سطح البحر بالنسبة لخطوط العرض مقاساً بـ  $(\text{mol.m}^{-3})$  للفترة 2005-1956، الشذوذ الكربوني المتوقع عن المتوسط للفترة 2006-2055 والشذوذ الكربوني المتوقع عن المتوسط للفترة 2099-2050، على التوالي. يبدو واضحاً من شكل 6 (أ) أن تركيز الكربون الغير عضوي يتزايد تدريجياً في اتجاه خطوط العرض الجنوبية الشرقية. هذا التزايد يبدأ من أقل قيمة للكربون الغير عضوي عند خط عرض 45.50 شمالاً بمقدار  $(\text{mol.m}^{-3} 32.014)$  وينتهي  $(\text{mol.m}^{-3} 2.275)$  عند خط عرض 310 شمالاً، وهذا مبين في الخرائط الكنتورية لتركيز شذوذ الكربون الغير العضوي شرقاً وتناقصه غرباً.



شكل (6-أ) : المناخ التاريخي للكربون الغير عضوي مقاساً بـ  $(\text{mol.m}^{-3})$  للفترة (2005.1956)، [الباحث].

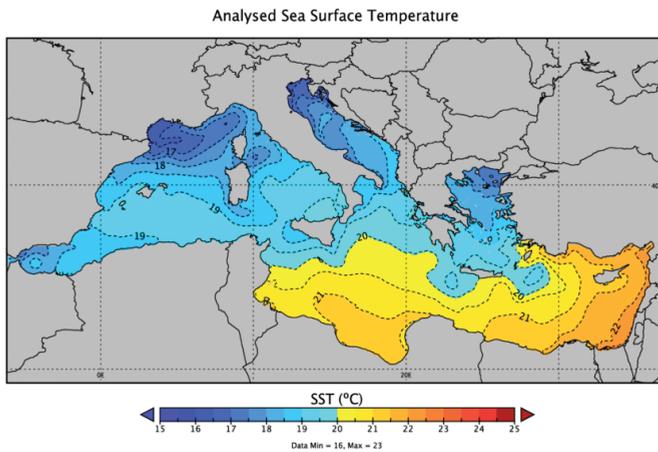


شكل (6.ب) : الشذوذ المتوقع للكربون الغير عضوي مقاساً بـ  $(\text{mol.m}^{-3})$  (2055.2006)، [الباحث].



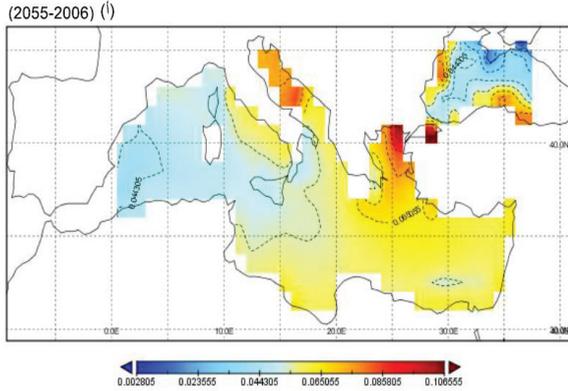
شكل (6-ج) : الشذوذ المتوقع للكربون الغير عضوي مقاساً بـ  $(\text{mol.m}^{-3})$  للفترة (2099-2050)، [الباحث].

من خلال الشكل (7)، نلاحظ أن درجة حرارة سطح البحر المتوسط تزداد شرقاً وتتناقص ناحية الغرب [11]، وذلك بسبب عدة ظواهر من بينها أن نسبة تركيز الهباء الجوي في شرقي المتوسط أعلى من غربي المتوسط إضافة إلى تأثير الأشعاع الشمسي، وبالرغم من ذلك تتزايد غرباً تحت تأثير بعض الظروف الشاذة وهذا يحدث نادراً خلال فصل الخريف أثناء نشاط ظاهرة التذبذب الاطلسي المتعدد فقط. (وبالتالي يمكننا القول بأنه في شرقي، وجنوبي حوض البحر الابيض المتوسط ترتفع حرارة المياه السطحية للبحر نتيجة تفاعلها مع زيادة نسبة تركيز غاز ثاني اكسيد الكربون، أما في شمالي، وغربي حوض البحر الابيض المتوسط تنخفض حرارة المياه السطحية تدريجياً نظراً لانخفاض نسبة تركيز ثاني اكسيد الكربون، وبالإمكان تصنيف البحر المتوسط الى ثلاث مساحات جنوب شرق ووسط وشمال غرب)، [13]، [14]، [15]، نظر لتأثر البحر المتوسط بأوروبا شمالاً، وشمال افريقيا جنوباً. وتأثره بغرب آسيا شرقاً التي تحدث فيها العديد من الظواهر المناخية المسيطرة على المحيط الهادي وامتداد تأثيرها إلى البحر المتوسط ومن ناحية الغرب يتأثر حوض المتوسط بالمحيط الاطلسي ببرودة ودفع مياه المحيط، إضافة إلى تأثير اتجاه حركة الرياح التي تلعب دوراً كبيراً في تغييرات ثاني اكسيد الكربون ودرجة حرارة المحيطات [16-18].

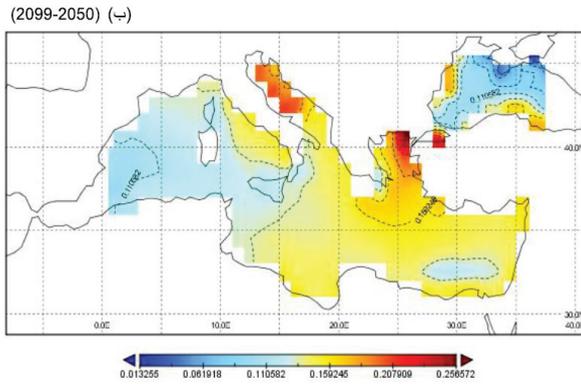


شكل (7): التوزيع المكاني لمتوسط درجة حرارة سطح البحر الأبيض المتوسط لمدة 30 عاماً بدرجة استبانة عالية جداً (4 4 كم). [11].

الشكل (8 - أ)، والشكل (8 - ب) يبينان الشذوذ المتوقع للكربون الغير عضوي للفترة 2006-2055 وأيضاً للفترة 2050-2099 ومن الشكلين يمكن ملاحظة إيجابية قيم الشذوذ على كل خطوط العرض مما يعني احتمال زيادة مقدار الكربون الغير عضوي على سطح مياه البحر خلال العقود القادمة. يلاحظ أيضاً التشابه الكبير في نمط تغير الشذوذ مع خطوط العرض بالنسبة للفترتين المذكورتين فمثلاً في كلتا الفترتين يوجد ارتفاعاً حاداً بين خطي العرض 45.50 و 40.20 شمالاً يليه انخفاضاً متوسطاً ينتهي عند خط عرض 38.50. بالرغم من أن أقل شذوذ لفترتي التوقع لوحظ عند خط عرض 45.50 شمالاً في أقصى شمال غرب البحر الأبيض المتوسط بينما أكبر شذوذ عند خط عرض 310 في جنوب البحر الأبيض إلا أن الزيادة الكبيرة والحادية في مقدار شذوذ الكربون الغير عضوي هي التي يتوقع أن تحدث في شمال شرق البحر الأبيض بين خطي عرض 45.50 و 42.80 شمالاً والتي يمكن أن تفسر الشذوذ الكبير المتوقع في درجة حرارة سطح البحر عند نفس المكان ويمكن ملاحظة ذلك من خلال الشكل 5 - ب والشكل 5 - ج. تجدر الإشارة إلى أن الزيادة في تركيز الكربون الغير عضوي بكل صوره له تأثيرات معقدة مباشرة وغير مباشرة على الكائنات الحية البحرية وأيضاً على النظام البيئي الحيوي البحري [19].



شكل (8-أ): الشذوذ المتوقع للكربون مقاساً بـ (mol.m<sup>-3</sup>) للفترة (2055.2006). [الباحث].



شكل (8-ب): الشذوذ المتوقع للكربون مقاساً بـ (mol.m<sup>-3</sup>) للفترة (2099.2050). [الباحث].

## الخلاصة:

توصلت الورقة الى نتيجة مفادها أن التبادل الكيميائي بين الغلاف الجوي والبحر يؤدي إلى حدوث تغيرات في درجة حرارة المياه السطحية لحوض البحر المتوسط ويرجع أن هذه التغيرات الحرارية ناتجة عن انتقال غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو الى البحر وذلك بناء على العلاقة الطردية الواضحة بين درجة حرارة سطح البحر وكل من (الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون داخل الماء PCO2W والضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون المزال على سطح الماء FCO2W للفترة المناخية 1994-2020. أوضحت النتائج أيضا وجود شذوذ إيجابي في درجة حرارة سطح البحر المتوسط خلال الفترة (1956-2005)، وأشارت التوقعات إلى استمرار الشذوذ الحراري الإيجابي خلال الفترة (2006-2055)، مع تضاعف الشذوذ خلال الفترة (2050-2099). وهو ما يعني ارتفاعا تدريجيا متوقعا في درجة حرارة سطح البحر خلال العقود القادمة في حالة استمرار التزايد التدريجي لكمية الكربون الغير عضوي الموجود على سطح البحر. كما لوحظ أن مقدار الشذوذ الحراري المتوقع على سطح المياه الشرقية والشمالية الشرقية للبحر الأبيض المتوسط أكبر من مقدار الشذوذ الحراري المتوقع في المياه الغربية والجنوبية الغربية ويحتمل أن يشير هذا التباين الى وجود تغير في اتجاه الانحدار الحراري بين شمال شرق حوض المتوسط وجنوب غربه. وأشارت التوقعات أيضا الى استمرار الشذوذ الإيجابي لتركيز الكربون الغير عضوي (كربونات، بيكربونات، حمض الكربونيك) في مياه البحر الأبيض المتوسط خلال الفترة (2006-2055) مع استمرار مقدار الشذوذ في التزايد خلال الفترة (2050-2099) في حالة عدم تطبيق التدابير اللازمة لخفض الكربون. ويرجح أن تكون

الزيادة الحادة المتوقعة للكربون الغير عضوي مرتبطة بالزيادة الكبيرة في درجة حرارة سطح البحر بمنطقة شمال شرق حوض البحر المتوسط.

## المراجع:

- [1]. Go-Un, K., K. H. Seo, D. Chen. "Climate change over the Mediterranean and current destruction of marine ecosystem", (2019), *Scientific Reports* . 9, 18813.
- [2]. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org>.
- [3]. Lasram, F. B. R., F. Guilhaumon, S. Somot, W. Thuiller, and D. Mouillot. "The Mediterranean Sea as a 'cul-de-sac' for endemic fishes facing climate change", (2010), *Global Change Biology*,16, 3233–3245.
- [4]. Gago, J. M. Gilcoto, F. F. Pérez, A. F. Ríos. "Short-term variability of fCO<sub>2</sub> in seawater and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in a coastal upwelling system (Ria de Vigo, NW Spain)", (2003), *Elsevier- Marine Chemistry*. (P):247-264.
- [5]. Rebecca A. Gooding, Christopher D. G. Harley, and Emily Tang. "Elevated water temperature and carbon dioxide concentration increase the growth of a keystone echinoderm", (2009), (23): 9316–9321.
- [6]. Hongjie, W., J. Cai, B. S. Boatwright. "Decadal fCO<sub>2</sub> trends in global ocean", (2017).
- [7]. Wanninkhof, R. D. Pierrot, K. Sullivan, L. Barbero and J. Triñanes. "A 17-year dataset of surface water fugacity of CO<sub>2</sub>, along with calculated pH, Aragonite saturation state, and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the Northern Caribbean Sea", (2020), (12): 1489–1509.
- [8]. Sutton, A. J., R. Wanninkhof, C. L. Sabine, R. A. Feely, M. F. Cronin, R. A. Weller. "Variability and trends in surface seawater pCO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> flux in the Pacific Ocean", (2017), (P): 5627-5636.
- [9]. OAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). <https://www.data.pmel.noaa.gov>.
- [10]. Andrew, G., C. L. Dickson, J. R. Sabine. "Guide to Best Practices for Ocean CO<sub>2</sub> Measurement", (2007), *Pices Special Publication 3, Ioccp Report No. 8, October*.
- [11]. Schallout, M., A. Omstedt. "Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea", (2014), *Oceanologia* 56 (3): 411-443.
- [12]. Sakalli, A. "Sea surface temperature change in the Mediterranean Sea under climate change: A linear model for simulation of the sea surface temperature up to 2100", (2017), *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1): 707-716.
- [13]. Amato T, Evandaniel J, Vimontandrew K, Heidingerjames P, Kossin and Ralf Bennartz. *The Role of Aerosols in the Evolution of Tropical North Atlantic Ocean Temperature Anomalies*, (2009), *SCIENCE*, Vol 324, Issue 5928 , pp. 778-781.
- [14]. Nikolaos Skliris, Sarantis Sofianos, Athanasios Gkanasos, Anneta Mantziafou, Vasilis Vervatis, Panagiotis Axaopoulos, Alex Lascaratos. "Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability", (2011), *Springer, Ocean Dynamics*.
- [15]. N. Hatzianastassiou, A. Gkikas, N. Mihalopoulos, O. Torres, and B. D. Katsoulis, "Natural versus anthropogenic aerosols in the eastern Mediterranean basin derived from multiyear TOMS and MODIS satellite data", (2009), *Geophysical Research*, Vol. 114.
- [16]. Haifa Bin Miloud. "The Effect of teleconnection on the Temperature and Precipitation over the Mediterranean and the northern part of Libya", (2019), *Middle East Journal of Applied Sciences*, Vol 09, PP. 267-273.
- [17]. Mariana Ribas-Ribas, Frank Helleis, Janina Rahlffl, and Oliver Wurl. "Air-Sea CO<sub>2</sub>-Exchange in a Large Annular Wind- Wave Tank and the Effects of Surfactants", (2018), *Frontiers in Marine Science*. November 2018, volume5.
- [18]. Yuanyuan Gu, Gabriel G. Katul, Nicolas Cassar. "The Intensifying Role of High Wind Speeds on Air-Sea Carbon Dioxide Exchange", (2021), 19 February.
- [19]. Gattuso, J. P. L., Hansson. "Ocean acidification background and history", (2011), *Oxford University Press, Oxford p. 1-20*.