

اتجاهات التغير المناخي لدرجات الحرارة في ألاسكا وعلاقتها بتركيز ثاني أكسيد الكربون

Climate change trends in Alaskan temperatures and their relationship to carbon dioxide concentration

مؤمن "محمد ديب" رباح نصر¹

Momin M Naser

¹مشراف مبحث الدراسات الجغرافية ووزارة التربية والتعليم-غزة، mmnassr1000@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2026/04/01 تاريخ القبول: 2026/04/14 تاريخ النشر: 2026/07/04

ملخص:

استهدفت الدراسة الحالية اتجاهات التغير المناخي لدرجات الحرارة في ألاسكا وعلاقتها بتركيز ثاني أكسيد الكربون، وتم استخدام المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التاريخي واستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS) وبرنامج لغة (R) في التنبؤ بدرجات الحرارة من خلال استخدام السلاسل الزمنية نموذج (بوكس-جنكز)، وخلصت الدراسة إلى مجموعة من النتائج التالية:

- تشهد ألاسكا تزايداً في درجات الحرارة بين (0.01-0.06م) ولم يتم تسجيل اتجاه للتغير في شهر نوفمبر.
- تعاني ألاسكا من تزايد نسبة ثاني أكسيد الكربون لجميع الشهور والتي تزايدت بين (1.6-1.7).
- تم ربط العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة والتي تبين من خلالها وجود علاقة طردية بينهما لجميع شهور السنة.
- بناء نموذج لتوقع درجات الحرارة خلال الفترة (2026-2040) والتي يتوقع أن تتزايد بحدود (0.1-0.5م).

كلمات مفتاحية: التغير المناخي، درجات الحرارة، ثاني أكسيد الكربون، ألاسكا.

تصنيفات JEL : Q150، Q540

Abstract:

This study investigated climate change trends in Alaska's temperature and their relationship to carbon dioxide concentration. A descriptive-analytical approach, a historical approach, and the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) were used, along with the (R) programming language for temperature forecasting using the (Box-Jenkins) time series model. The study concluded with the following findings:

- Alaska is experiencing a temperature increase of (0.01–0.06°C), with no trend observed in November.
- Alaska is experiencing an increase in carbon dioxide levels throughout the year, with increases ranging from (1.6 to 1.7).
- The relationship between carbon dioxide and temperature was established, revealing a direct correlation across all months.

¹ المؤلف المراسل: د. مؤمن "محمد ديب" رباح نصر، الإيميل: mmnassr1000@gmail.com

• A model was developed to predict temperature fluctuations during the period 2026–2040, projecting an increase of (0.1–0.5°C).

Keywords: Climate change, temperature, carbon dioxide, Alaska.

JEL Classification Codes: Q540, Q150

1. مقدمة :

إن للأنشطة البشرية أثر كبير على حدوث التغيرات المناخية، وهي تعد أحد الأسباب الرئيسية المسؤولة عن حدوثها، ويتمثل أثر الأنشطة البشرية فيما يصدر عنها من غازات وملوثات والتي من أهمها غاز ثاني أكسيد الكربون والذي يعد أعظم الغازات تأثيراً على المناخ.

إن الطبيعة في حالة توازن فكمية الحرارة التي تستقبلها الأرض من الشمس وتشتعها مرة أخرى إلى الفضاء متساوية تقريباً، حيث تعمل زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون كغطاء يمنع الأرض من فقدان الحرارة. وتحافظ هذه العملية على درجة حرارة الأرض عند (33 م°) أعلى مما كانت ستكون عليه لولا ذلك، مما يسمح بوجود الحياة على الأرض، أما غازات الدفيئة الرئيسية الناتجة عن النشاط البشري فهي ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز ومركبات الكلوروفلوروكربون (National

Environment Commission, 2011) ومن خلال ضغط الإنسان على النظام البيئي والموارد الطبيعية، وزيادته في الإسراف في استغلالها وما يصدره من تلوث، أدى ذلك إلى زيادة الخطر على الغلاف الجوي والمناخ، والذي أفاق عليه متأخراً فوجد ما حل بالبيئة والمناخ من تغير، والتي أصبحت تهدد حياته ومستقبله على كوكب الأرض.

يعد حرق الفحم في محطات الطاقة الحرارية ومصانع إنتاج الورق المصدر الرئيسي لغاز ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى تحلل المواد العضوية والأسمدة، وقد شهد هذا الغاز زيادة متسارعة منذ بداية الثورة الصناعية نتيجة الفعاليات الاقتصادية المختلفة مثل إزالة الغابات والطاقة المستخدمة من الوقود الأحفوري، ويساهم غاز ثاني أكسيد الكربون في التأثير على الاحتباس الحراري، كما إن السياسات الحالية للدول والهيئات العالمية تعمل على تخفيض مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون (لطيفة، 2019). ويساهم غاز ثاني أكسيد الكربون بحوالي (61%) من ظاهرة الاحتباس الحراري،

وبحوالي (72%) من إمكانية الاحترار العالمي الناتج عن النشاطات البشرية، وحرق الوقود الأحفوري يتسبب بحوالي (90%) من انبعاث هذا الغاز عالمياً مع اختلاف النسب بين (97%) للدول الصناعية و(75%) للدول النامية وتختلف نسب انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون من كل وحدة من البترول والغاز والفحم لاختلاف الخصائص الكيميائية والمحتوي الحراري لكل منها، وتختلف نسب الانبعاث في العالم باختلاف نسب الاستهلاك (Ecimovic, et al., 2011)، وفي عام (2019) كانت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أعلى من أي وقت مضى في مليوني سنة على الأقل، ومنذ عام (1750) تجاوزت الزيادة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون (47%). (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2021) وبذلك فإن غاز ثاني أكسيد الكربون يعتبر من أخطر غازات الدفيئة التي تؤثر على اتجاه التغير في درجات الحرارة، وألاسكا تعد من المناطق التي تعاني من ارتفاع نسبة انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون فيها.

وللأنشطة البشرية إثر كبير على حدوث التغيرات البيئية في العروض العليا والتي أدت الى زيادة الدفء والذي كان واضحاً خلال العقود الأخيرة والذي سيزيد اتجاه الدفء خلال العقود والقرون القادمة (Johnston, et al., 2010)، وهذا كان واضحاً في العديد من محطات الرصد في ألاسكا، وهذا له تأثير كبير في تغير الموازنة المائية والغطاء الجليدي وأوقات ذوبان وتجمد الثلوج والتي لها تأثير كبير على النظام البيئي الشمالي (Maanavilija, et al., 2011).

إن درجات الحرارة تتزايد بسرعة في المناطق القطبية وشبه القطبية خلال المائة سنة الماضية حيث ارتفعت درجة حرارتها بمحدود (1.4م) وهذا المعدل ضعف معدل التغير العالمي (0.7م) وذلك وفق تقرير عام (2007) للهيئة الدولية للتغيرات المناخية، وكان أكبر تزايد لدرجات الحرارة خلال المائة سنة الماضية سجل في عام (1976). بمعدلات أعلى من أي وقت آخر خلال مائة عام الماضية، وتزايد المعدل اليومي لدرجات حرارة فصل الشتاء خلال الفترة (1963-2004). بمعدل (1م)، وأدي ذلك لتناقص في الغطاء الجليدي (Ward, et al., 2009). وأثبتت نماذج التشابه المناخي أن المناطق

القطبية الشمالية ستكون أكثر المناطق تأثراً بالتغيرات المناخية من مناطق كثيرة أخرى خلال القرن القادم (Walsh, et al., 2008).

من أبرز ما تم رصدته من المناخ القديم التطابق القوي بين درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، والذي لوحظ خلال الدورات الجليدية لمئات الآلاف من السنين الماضية. فعندما يرتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون، ترتفع درجة الحرارة وعندما ينخفض تركيزه تنخفض درجة الحرارة. ويعود جزء صغير من هذا التطابق إلى العلاقة بين درجة الحرارة وذوبان ثاني أكسيد الكربون في سطح المحيط، إلا أن معظم هذا التطابق يتوافق مع التغذية الراجعة بين ثاني أكسيد الكربون والمناخ. ومن المتوقع حدوث هذه التغيرات إذا كانت الأرض في حالة توازن إشعاعي، وهي تتوافق مع دور غازات الدفيئة في تغير المناخ. (NOAA, 2021)، وألاسكا من المناطق التي ستشهد تأثراً كبيراً بالتغيرات المناخية والذي سيؤدي إلى إحداث تغيير كبير في النظام الحيوي فيها، وفي هذه الدراسة سنتناول اتجاهات التغير المناخي لدرجات الحرارة في ألاسكا وعلاقتها بتركيز ثاني أكسيد الكربون.

1.1 مشكلة الدراسة:

تتمثل مشكلة الدراسة في تصاعد مظاهر التغير المناخي عالمياً، وبشكل خاص في المناطق الحساسة بيئياً مثل ألاسكا، حيث لوحظت تغيرات ملحوظة في اتجاهات درجات الحرارة خلال الفترات الزمنية السابقة. ويتزامن ذلك مع الارتفاع المستمر في تركيزات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، مما يثير تساؤلات علمية حول طبيعة العلاقة بين هذين المتغيرين. ومن هنا تنبع المشكلة في الحاجة إلى تحليل اتجاهات التغير في درجات الحرارة في ألاسكا، والكشف عن مدى ارتباطها بتغير تركيز ثاني أكسيد الكربون، وإمكانية التنبؤ باتجاهات الحرارة المستقبلية، من خلال الإجابة عن السؤال الرئيس والذي يتمثل في: ما اتجاهات التغير في درجات الحرارة في ألاسكا، وما طبيعة العلاقة بينها وبين تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون؟ وللتحقق من ذلك تم صياغة الأسئلة التالية:

- ما اتجاهات التغير المناخي في درجات الحرارة في ألاسكا خلال فترة الدراسة؟
- ما اتجاهات التغير في تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا خلال فترة الدراسة؟

- ما طبيعة العلاقة بين تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة في ألاسكا؟
- ما الاتجاهات المستقبلية المتوقعة لدرجات الحرارة في ألاسكا خلال الخمسة عشر عاماً القادمة؟

2.1 أهمية الدراسة:

تتمثل أهمية الدراسة في التوسع في الدراسات والأبحاث التي تتناول موضوع التغير المناخي في درجات الحرارة وثاني أكسيد الكربون وتشجيع إجراء دراسات مشابهة على حوض البحر المتوسط والمنطقة العربية.

3.1 أهداف الدراسة:

- 1- دراسة اتجاه التغير المناخي لدرجات الحرارة في ألاسكا.
- 2- دراسة اتجاه التغير في نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا.
- 3- دراسة العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة في ألاسكا.
- 4- بناء نموذج لتوقع درجات الحرارة في ألاسكا.

4.1 فروض الدراسة:

- 1- يوجد اتجاه نحو تزايد درجات الحرارة في ألاسكا.
- 2- يوجد اتجاه نحو تزايد نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا.
- 3- توجد علاقة بين ارتفاع نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة في ألاسكا.
- 4- يتوقع تزايد درجات الحرارة في ألاسكا خلال الخمسة عشر سنة القادمة.

5.1 منهجية الدراسة:

تم استخدام المنهج الوصفي التحليلي والمنهج التاريخي في دراسة اتجاه التغير المناخي لدرجات الحرارة وثاني أكسيد الكربون، واستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS) لمعرفة اتجاه التغير المناخي لدرجات الحرارة وثاني أكسيد الكربون والعلاقة بينهما خلال فترة الدراسة، وبرنامج لغة (R) واستخدام السلاسل الزمنية نموذج (بوكس-جنكتر) في التنبؤ بدرجات الحرارة.

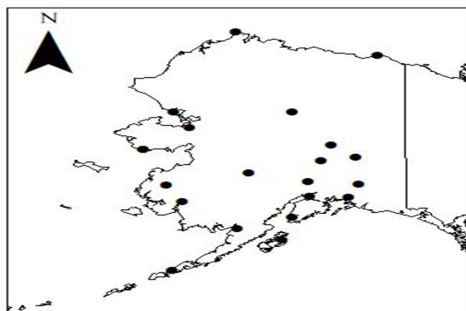
6.1 الدراسات السابقة:

تناولت العديد من الدراسات موضوع التغير المناخي في ألاسكا وثاني أكسيد الكربون ومن هذه الدراسات دراسة Ballinger et al. (2023) والتي حللت التغيرات المناخية في ألاسكا خلال الفترة (1957-2021) وتوصلت إلى أن درجات الحرارة ارتفعت بشكل واضح في معظم مناطق ألاسكا، بمعدل يتجاوز (0.5م°) لكل عقد في بعض المناطق، كما أن ألاسكا تشهد ارتفاعاً في درجات الحرارة بشكل أسرع من بقية الولايات المتحدة الأمريكية، ودراسة Parazoo et al. (2016) التي تناولت ديناميكية تدفق ثاني أكسيد الكربون، وأكدت على أن التغيرات المناخية تؤثر على دورة الكربون وتزيد من انبعاثاته في بعض فصول السنة، مما يعزز ظاهرة الاحتباس الحراري، ودراسة Roisin et al. (2017) التي توصلت إلى أن معدلات انبعاث ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا قد زادت خلال الفترة من أكتوبر إلى ديسمبر منذ عام (1975) ويرتبط بذلك ارتفاع درجات حرارة الصيف. وبذلك تتفق هذه الدراسات على ارتفاع درجات الحرارة وزيادة نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون ووجود علاقة بينهما.

7.1 البيانات المستخدمة في الدراسة:

سيتم استخدام البيانات المناخية لدرجات الحرارة ل (21) محطة مناخية موزعة على منطقة الدراسة وهي المحطات التي تتوفر فيها البيانات المناخية للفترة (1961-2024م)، وبيانات ثاني أكسيد الكربون للفترة (1985-2024م) ويبين جدول (1) المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة.

خريطة (1): المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة



جدول (1): المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة

Station	Latitude	Longitude
Bethel/Bethel	60.8	161.8
Cold Bay	55.2	162.7
Mys Uelen	66.2	169.8
Talkeetna	62.3	150.1
Bettles	66.9	151.5
Fairbanks/Int	64.8	147.9
Kotzebue, Ral	66.9	162.6
Nome	64.5	165.4
Homer/Municip	59.6	151.5
Anchorage/Int	61.2	150.0
Buck land	65.9	161.1
: Fort Greely/A	64.0	145.7
King Salmon	58.7	156.7
Nome	64.5	165.4
Valdez city	61.1	146.3
Barter island	70.1	143.6
Barrow/W. Pos	71.3	156.8
Gulkana/Intl	62.1	145.4
Kodiak	57.8	152.5
Mckinley park	63.7	148.9
St. Marys	62.0	163.3

المصدر: National Weather Service, Alaska

8.1 منطقة الدراسة:

الموقع: تقع ألاسكا في شمال غرب قارة أمريكا الشمالية، يحدها من الشرق كندا ومن الشمال المحيط المتجمد الشمالي ومن الجنوب والغرب المحيط الهادي ومن الغرب روسيا ويفصلهما مضيق بيرنج (National Geographic, 2009) ويمتد طولها من الشرق إلى الغرب لمسافة (2000) ميل، ومن الشمال إلى الجنوب لمسافة (1100) ميل، ويبلغ طول ساحل الولاية (3300) ميل (National Geographic, 2009).

Climate Data Center, n.d)

التضاريس: أهم السلاسل الجبلية في ألاسكا سلسلة جبال بروكس التي تفصل المنطقة القطبية عن المناطق الداخلية، وسلسلة ألاسكا-ألوشيان التي تمتد غرباً على طول شبه جزيرة ألاسكا وجزر ألوشيان، ويوجد بها (12) نهرًا رئيسيًا، بالإضافة إلى العديد من روافد الأنهار. (Bronen, 2013) أما من حيث التربة فتعد التربة الصقيعية من أهم أنواع التربة بها حيث تغطي معظم الثلث الشمالي من الولاية (National Climate Data Center, n.d).

المناخ: تتراوح درجات الحرارة السنوية في ألاسكا بين (40°ف) تحت تأثير المناخ البحري في الجنوب، و(10°ف) على طول المنحدر القطبي شمال سلسلة جبال بروكس، وينقسم مناخ ألاسكا إلى خمس مناطق رئيسية: 1- المنطقة البحرية التي تشمل جنوب شرق ألاسكا والساحل الجنوبي والجزر الجنوبية الغربية، 2- المنطقة البحرية القارية التي تشمل الأجزاء الغربية من خليج بريستول والمناطق الغربية الوسطى في هذه المنطقة تلطف مياه بحر بيرينغ المفتوحة درجات الحرارة الصيفية، بينما تنسم درجات الحرارة الشتوية بطابع قاري أكثر بسبب وجود الجليد البحري خلال أبرد شهور السنة، 3- منطقة انتقالية بين المناطق البحرية والقارية في الجزء الجنوبي من منطقة نهر كوبر، ومنطقة خليج كوك، والحدود الشمالية لمنطقة الساحل الجنوبي، 4- منطقة قارية تتكون من بقايا نهر كوبر والأقسام الغربية الوسطى، والحوض الداخلي، 5- منطقة قطبية. (National Climate Data Center, n.d)

2. نتائج الدراسة:

1.2 اتجاه التغير في درجات الحرارة.

شكلت التغيرات المناخية جزءاً من تاريخ الأرض الممتد على مدار (4.6) مليار سنة، فمن العصر الجليدي إلى فترات الدفء الطويلة، أثرت عوامل طبيعية مثل الانفجارات البركانية وكمية الطاقة المنبعثة من الشمس على مناخ الأرض. ومع ذلك شهد القرنان الماضيان تغيرات في تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي بمعدلات غير مسبقة نتيجة للأنشطة البشرية، وينشأ معظمها من احتراق الوقود الأحفوري في السيارات والمصانع وإنتاج الكهرباء. (National Environment Commission, 2011) ووفقاً لتقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، أظهرت بيانات درجة حرارة سطح الأرض العالمية المحسوبة باستخدام الاتجاه الخطي، ارتفاعاً في درجة الحرارة بمقدار (0.85م°) بين عامي (1880 و 2012) (El-Geziry, 2022) ويشهد مناخ ألاسكا تغيراً ملحوظاً فعلى مدى الستين عاماً الماضية، ارتفعت درجة حرارة معظم أنحاء الولاية بمعدل (3 ف°)، و(6 ف°) خلال فصل الشتاء. ونتيجة لذلك يتراجع الجليد البحري في القطب الشمالي، وتناقص الشواطئ، وتنقص الأنهار الجليدية، ويزداد تفشي الحشرات وحرائق الغابات. ومن المرجح أن تتسارع هذه الآثار في العقود القادمة (EPA, 2016).

ومن خلال الاطلاع على البيانات المناخية لعشرون محطة أرصاد جوية تتوزع على ألاسكا للفترة الزمنية (1961-2024م) والتي يبينها جدول (2) والتي يلاحظ منها أن هناك اتجاه للتغير في درجات الحرارة ولكن هذا التغير بسيط، ويختلف من شهر إلى آخر حيث سجل اتجاه للتغير بين (0.01-0.06) أي أن جميع شهور السنة سجلت اتجاهًا نحو التغير في درجات الحرارة ولكن هذا التغير ليس بنفس الدرجة لجميع الشهور، وهذا يعود إلى طبيعة الظروف الجوية السائدة في تلك المنطقة وما تتعرض له من كتل هوائية تؤثر على مناخها خاصة أن أعلى اتجاه للتغير سجل بين (0.06-0.05) في شهور (فبراير، نوفمبر، ديسمبر)، بينما سجل أدنى اتجاه للتغير (0.01) في شهور (يناير، يوليو، أغسطس)، أي أن درجات الحرارة في تلك المنطقة تتأثر بالمؤثرات الجوية السائدة والتي يختلف

تأثيرها من شهر إلى آخر، أما باقي الشهور فسجلت اتجاه للتغير المناخي قدرة (0.02) وهذا يبين أن درجات الحرارة في ألاسكا تتجه نحو الدفء وهذا يتفق مع الاتجاه العام لدرجة حرارة الأرض والذي يتجه نحو الدفء، وتشير الدراسات إلى:

إن هذا التغير في درجات الحرارة في ألاسكا يعود إلى مجموعة من العوامل والتي يعظم تأثيرها خلال فصل الشتاء ومن هذه العوامل: النينو، الذبذبة الجنوبية (ENSO) والتي لهما تأثير على درجات الحرارة الاعتيادية وتكسر مياه الأنهار داخل ألاسكا (Bieniek, et al., 2012). وتتشرك معهما مجموعة من العوامل التي تؤثر على أجزاء واسعة من مناخ ألاسكا وهذه العوامل تعد من أنماط المناخ ذات المقياس الكبير التي تتمثل في الذبذبة الشمالية للمحيط الأطلسي (NAO) والذبذبة القطبية (AO) وذبذبة المحيط الهادي (PDO) وجميع هذه المؤشرات تؤثر في مناخ المنطقة القطبية (Joly, et al., 2011) ونشاط هذه التيارات خلال فصل الشتاء أثر على درجات الحرارة والتي سجل خلال شهرين من أشهر الشتاء (ديسمبر، فبراير) أعلى اتجاه نحو تزايد درجات الحرارة في ألاسكا.

ولتيارات (PDO، AO، NAO)، تأثير مختلف على درجات الحرارة، حيث للذبذبة الشمالية للمحيط الأطلسي (NAO) تأثير كبير على أوروبا وشمال شرق أمريكا، بينما الذبذبة القطبية (AO) لها تأثير كبير على المناطق القطبية خاصة في شمال شرق كندا والمناطق الدنيا من شمال شرق كندا، وأيضا لذبذبة المحيط الهادي (PDO) تأثير كبير في مناطق شمال غرب المحيط الهادي وأيضا يؤثر على المناطق الداخلية في ألاسكا وله تأثير ثانوي في المنطقة المدارية، على أي حال هناك اختلاف بين المناطق والفصول على سبيل المثال تميزت فترة (1976م) لـ (PDO) بالدفء في غرب وداخل ألاسكا لكن إجمالي التساقط وتساقط الثلوج انخفض في المناطق القطبية من ألاسكا، وتأثير (AO) كان الشتاء أدفأ وأشهر الصيف اتجهت للبرد (Joly, et al., 2011). إن هذه العوامل تؤثر كثيراً على مناخ ألاسكا والتي تسهم كثيراً بالاشتراك مع العوامل البشرية في إحداث تغير في اتجاه درجات الحرارة في ألاسكا، لذلك ظهر اتجاه التغير في درجات الحرارة بسيط وغير كبير وكان مختلفاً من شهر لآخر .

ولقد سجل العام (2023) في ألاسكا دفئاً أكثر من المعدل المناخي الطبيعي للفترة (1991-2020)، وكان شهر (يوليو) هو الشهر الأكثر دفئاً في عام (2023)، يليه (يونيو وأغسطس). وسجلت أكبر انحرافات إيجابية عن المعدل الطبيعي في (نوفمبر) (+6.2°ف) ويناير (+5.4°ف). كما كانت أشهر (مارس ويوليو وأغسطس وأكتوبر) أكثر دفئاً من المتوسط. وكان (أبريل) بارداً بشكل استثنائي بانحراف قدره (-7.2°ف). وجاء (فبراير وديسمبر) في المرتبة التالية من حيث البرودة النسبية، حيث انخفضت درجات الحرارة عن المعدل الطبيعي بمقدار (-2°ف) و(-1°ف) على التوالي (Alaska Climate Research Center, 2023). ومن خلال الرجوع إلي جدول (2) تبين أن نتائج هذه الدراسة تتفق لشهور يناير، فبراير، يونيو، يوليو، أغسطس، أكتوبر مع ما توصلت له نتائج هذه الدراسة

ومن خلال الدراسات تبين أن عدد الأيام التي تنخفض فيها درجات الحرارة عن (-40°م) تناقصت من (14) يوم إلى (8) أيام سنوياً، وتزايد حدوث ضباب الجليد في فصل الشتاء الذي يعيق الرؤيا وحركة المواصلات، وأيضاً تزايدت عدد الأيام ذات درجات الحرارة الدافئة التي تزيد عن (26.7°م) وهذا التزايد أقل من الانخفاض في عدد الأيام الباردة (Wendler and Shulski, 2009). وهذا يدل على أن ألاسكا شهدت اتجاه نحو تغير درجات الحرارة الذي أدى إلي تناقص عدد أيام البرودة بها.

ولقد تزايدت درجات الحرارة في دوائر العرض الشمالية بين (2-3°م) خلال الخمسون سنة الماضية وكان هذا التغير أعظم من المتوسط العالمي (Euskirchen, et al., 2010)، وأيضاً تزايدت درجات حرارة فصل الشتاء في ألاسكا بـ (3.5°م) منذ عام (1950م)، وتناقص الجليد البحري والقطبي في الحجم والسمك وحدوث ذوبان في الجليد الدائم. (Bronen, 2013) وتناقص فصل الثلوج بحدود (2.5 يوم /العقد)، وفصل النمو عموماً تزايد بحدود نفس المدة، هذا التغير في طول فصل الثلوج وفصل النمو يمكن أن يؤثر على المناخ، وإحداث تغير في الجغرافية الطبيعية الحيوية (تغير في الطاقة - تبادل المياه - الغبار) وتغير في الغازات (Euskirchen, et al., 2010). (co2- ch4)

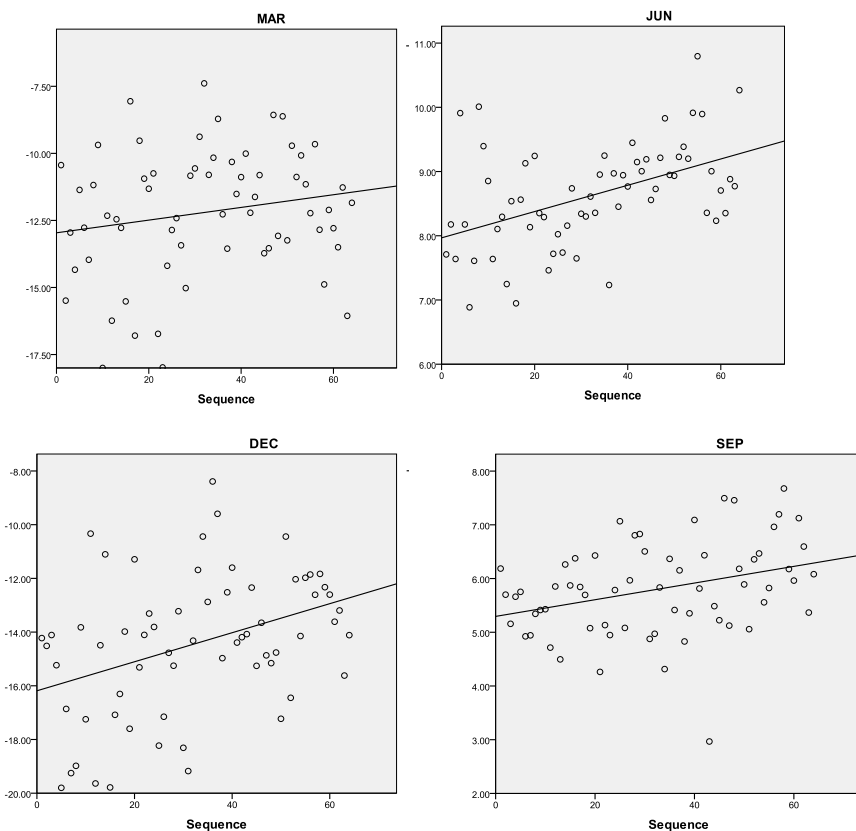
وتشير تقارير وكالة حماية البيئة الأمريكية إلى أن ألاسكا شهدت على مدار الستين عاماً الماضية ارتفاعاً في درجات الحرارة بمعدل يزيد عن ضعف معدل معظم الولايات المتحدة، حيث ارتفع متوسط درجات الحرارة السنوية بمقدار (3.4 ف°) وارتفعت درجات الحرارة الشتوية بمقدار (6.2 ف°) وأن معظم الاحترار حدث في عام (1976). (Johnson, 2016) مما سبق يتبين أن ألاسكا حدث بها تغير في المناخ والذي كان نتيجة اشتراك مجموعة من العوامل التي أثرت على مناخها حيث أثبتت هذه الدراسة وجود اتجاه نحو الدفء في ألاسكا والتي بينته الدراسات الأخرى والذي أثر على النظام الحيوي في ألاسكا.

جدول (2): اتجاه تغير درجات الحرارة في ألاسكا للفترة (1961-2024)

Month	R.Square	F	Df1	Df2	sig	Constant	B1
January	.010	.605	1	62	.440	-16.13	.01
February	.14	10.4	1	62	.00	-16.9	.06
march	.03	2.2	1	62	.14	-12.9	.02
April	.07	4.7	1	62	.03	-6.1	.02
may	.10	7.4	1	62	.00	2.2	.02
June	.22	17.8	1	62	.00	7.9	.02
July	.17	13.1	1	62	.00	10.5	.01
August	.06	4.1	1	62	.04	9.6	.01
September	.10	7.5	1	62	.00	5.2	.01
October	.06	4.5	1	62	.03	-2.8	.02
November	.00	.00	1	62	.99	-9.7	2.420e-5
December	.14	10.5	1	62	.00	-16.1	.05

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على البيانات المناخية لـ National Weather Service, Alaska

أشكال رقم (1) تبين اتجاه التغير في درجات الحرارة خلال فترة الدراسة



2.2 اتجاه التغير في ثاني أكسيد الكربون:

منذ بداية الثورة الصناعية شهد العالم إفراطاً في حرق الوقود الأحفوري، كالفحم والنفط والغاز الطبيعي، لتشغيل المصانع والسيارات وإنتاج الكهرباء، وتسهم هذه الصناعات في زيادة انبعاث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي لذلك تعد الثورة الصناعية بداية الفترة التي بدأ فيها الإنسان بتغيير تركيب وتركيز غازات الغلاف الجوي.

يتحكم في كمية ثاني أكسيد الكربون في الجو دورة التبادل الغازي ما بين الهواء والغلاف الجوي، وتدعى تلك الكمية الدائرة من ثاني أكسيد الكربون المتبادلة بين الجو والغلاف الجوي بدورة ثاني أكسيد الكربون، وتشكل عملية التمثيل الضوئي الأساس في دورة ثاني أكسيد الكربون، حيث يتم بواسطتها تثبيت بلايين الأطنان من غاز ثاني أكسيد الكربون في أجسام الكائنات الحية البرية والبحرية

متحولة بذلك إلى مركبات عضوية مختزنة تستخدمها كائنات أخرى مستهلكة لها، ويتم تحرير جزء من ثاني أكسيد الكربون من خلال عملية التنفس المعاكسة لعملية التمثيل الضوئي (نصر ، 2009). وتسهم الغابات بنسبة كبيرة من انبعاث ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا.

ومن خلال بيانات ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا خلال الفترة (1985-2024) تبين أنها سجلت تزايداً واضحاً لجميع شهور السنة نحو اتجاه تزايد نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بين (1.6-1.7) وبدرجة معنوية (0.05)، حيث سجل شهري (مايو، ديسمبر) زيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون بمقدار (1.7) وبدرجة معنوية (0.05)، وباقي شهور السنة الأخرى سجلت تزايداً بمقدار (1.6) ويظهر ذلك واضحاً من خلال الجدول (3) والشكل (2) اللذان يبينان وجود اتجاه واضح نحو تزايد نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون الجوي في ألاسكا، وهذا يبين أنها تشهد اتجاهاً نحو تغيير تركيب الغازات فيها نتيجة وجود اتجاه واضح لانبعاث الغازات نتيجة لتغير الأنشطة البشرية فيها والتي أثرت سلباً على البيئة الطبيعية وبالتالي على زيادة انبعاث الغازات والتي سيكون لها أثر على حدوث تغير مناخي فيها. وتشير دراسة (Goodfellow and Birnbaum, 2023) إلى أنه في العام (2020) ساهمت الأنشطة الاقتصادية ومصافي النفط والغاز بحوالي (67.3%) من إجمالي انبعاثات الغازات الدفينة في ألاسكا، ويعد قطاع محطات الطاقة ثاني أكبر قطاع من حيث الانبعاثات، مسؤولاً عن (21.3%) من إجمالي الغازات الدفينة خلال العام.

وتساهم مجموعة من العوامل إلى جانب الأنشطة البشرية في تزايد نسبة ثاني أكسيد الكربون الموجود في ألاسكا وإن كانت العوامل البشرية هي التي تؤدي إلى وجود خلل كبير في أنظمة المناخ نتيجة التزايد الكبير لثاني أكسيد الكربون، وسنبين بعض العوامل التي تشترك في انبعاث ثاني أكسيد الكربون كالتالي:

تمثل المصادر الثابتة لغازات الاحتباس الحراري (GHG) ما يقارب (21) مليون طن متري من إجمالي انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من مكافئ ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا، والبالغة (52) مليون طن متري، ساهم إنتاج النفط والغاز الطبيعي منها بحوالي (15) مليون طن متري، ويعود ذلك أساساً

إلى احتراق الغاز الطبيعي في توليد الطاقة اللازمة لاستخراج الهيدروكربونات ونقلها وتكريرها. وينتج عن احتراق الفحم والديزل في المناطق الداخلية من الولاية بحوالي (2) مليون طن متري . (Shellenbaum, 2011)

ولقد لاحظ (Aurela) من خلال دراسته في (kaamanen) على فترات ذوبان الثلوج أنه يوجد لها علاقة مع الموازنة السنوية لثاني أكسيد الكربون، ومن خلال العلاقة بينهما تبين أن ثاني أكسيد الكربون في شهر يونيو أثر على ذوبان الثلوج خلال دورة (أبريل - مايو) وبالتالي فإن هناك تأثير بينهما خلال الفترات الزمنية المختلفة (Maanavilija, et al., 2011). وهذا يرجع إلى الأثر الكبير لثاني أكسيد الكربون في تزايد درجات الحرارة والذي يؤثر سلباً على ذوبان الجليد، وللنباتات أثر على دورة الكربون حيث لها مقدرة على إحداث تغيير في البيئة من خلال التأثير على دورة الكربون.

حيث تحتوي غابات العروص العليا على (49%) من الكربون المخزون في غابات النظام البيئي، وزيادة نمو الأشجار وزيادة مساحة الغابات نتيجة الدفء سيزيد امتصاص ثاني أكسيد الكربون، ويؤدي إلى تناقص الألبيدو والذي يعمل على زيادة الدفء (Wilmking, et al., 2004). وتعد حرائق الغابات أيضاً عامل رئيسي لتغير النظام البيئي في معظم أنحاء ألاسكا، وخاصة المنطقة الشمالية، وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالمناخ، وقد ازدادت مساحة المناطق التي تشرق في ألاسكا بشكل ملحوظ في العقود الأخيرة مما يشير إلى أهمية مراعاة التغيرات المحتملة في نظام حرائق ألاسكا فيما يتعلق بتخزين الكربون وتدفقاته، حيث ساهمت الحرائق الكبيرة الأخيرة في ألاسكا فيما يقرب من نصف انبعاثات الكربون الناجمة عن حرائق الولايات المتحدة في سنوات معينة (Vynne, et al., 2021).

وللمحيطات أيضاً دوراً هاماً في التغيرات المناخية حيث تمتلك من الكربون (60) ضعفاً عن الغلاف الجوي، وبالرغم من تزامن التغيرات في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مع التغيرات في المحيط على مدى مئات الآلاف من السنين إلا أن التغير في المحيطات يحدث ببطء أكبر من التغير في الغلاف الجوي، وبالرغم من ذلك إلا أنه لعب دوراً أساسياً في التغيرات في ثاني أكسيد الكربون وسيلعب دوراً في المستقبل على مدى آلاف السنين (NOAA, 2021).

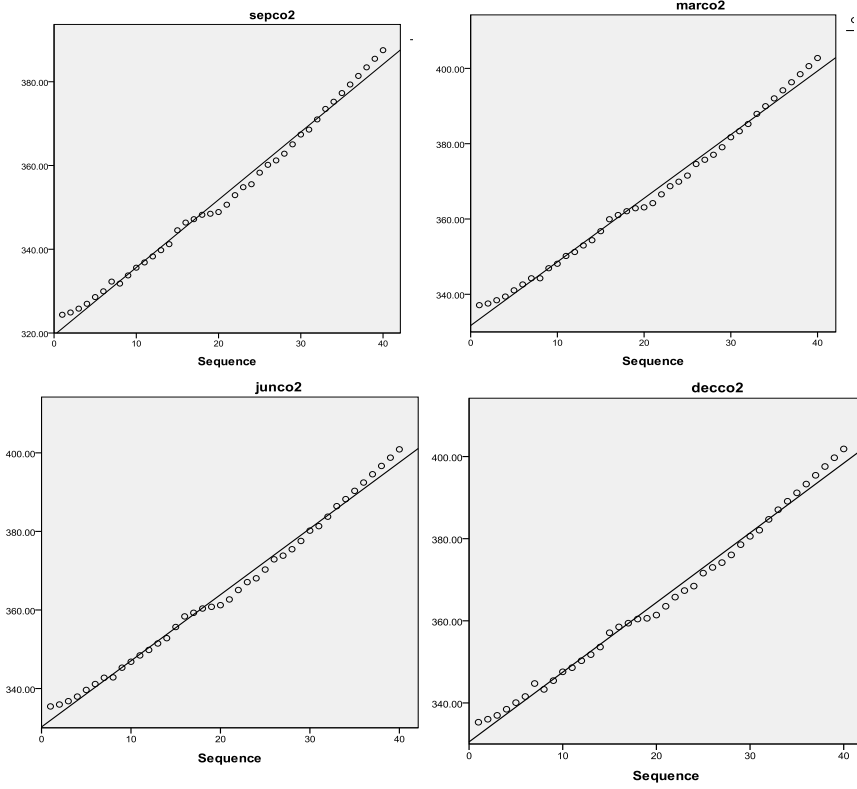
ويشير تقرير غازات الدفيئة لألاسكا عام (2015)، إلى انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من إنتاج النفط بمقدار (0.49) طن متري بينما بقيت الانبعاثات من إنتاج ونقل وتوزيع الغاز الطبيعي ثابتة مع زيادة طفيفة في إنتاج الغاز من عام (2017) إلى عام (2019)، تلاها انخفاض في عام (2020) بلغ إجمالي (0.12) طن متري من ثاني أكسيد الكربون (Goodfellow and Birnbaum, 2023) مما سبق يتضح إن الأنشطة البشرية والغابات لها مسؤولية كبيرة عن ارتفاع نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا، والتي تحتزن كميات كبيرة منه داخل النظام الحيوي لألاسكا المتمثل في التربة والغطاء الجليدي.

جدول (3): اتجاه تغير ثاني أكسيد الكربون في ألاسكا للفترة (1985-2024)

Month	R.Square	F	Df1	Df2	Sig	Constant	B1
January	.99	10326.1	1	38	.000	331.5	1.6
February	.99	9661.1	1	38	.000	332.4	1.6
march	.99	5043.0	1	38	.00	331.6	1.6
April	.99	5116.1	1	38	.00	331.6	1.6
may	.99	4371.5	1	38	.00	331.8	1.7
June	.99	5180.9	1	38	.00	330.2	1.6
July	.99	4746	1	38	.00	323.6	1.6
August	.99	4402.1	1	38	.00	318.0	1.6
September	.99	4697.5	1	38	.00	319.4	1.6
October	.99	4767.2	1	38	.00	324.1	1.6
November	.99	4867.2	1	38	.00	327.9	1.6
December	.99	4812.7	1	38	.00	330.5	1.7

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات Global Monitoring Laboratory

أشكال رقم (2): اتجاه التغير في نسبة ثاني أكسيد الكربون



3.2 العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة:

يمكن لثاني أكسيد الكربون أن يغير التوازن الحراري للغلاف الجوي فهو يمتص الأشعة تحت الحمراء من الأرض، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي القريب من سطح الأرض، ويؤدي ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي القريب من سطح الأرض إلى زيادة التبخر من الأرض، مما ينتج عنه زيادة في بخار الماء في الغلاف الجوي وتؤدي إلى زيادة امتصاص الأشعة تحت الحمراء من الأرض بواسطة الغلاف الجوي القريب من سطح الأرض، ونتيجة لهذا التفاعل، يؤدي زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى تغيير التوازن الحراري الأصلي للغلاف الجوي، مما يسبب ظاهرة الاحتباس الحراري (lin, et al., 2023).

شهد مناخ وسط ألاسكا تأثره بارتفاع تركيزات ثاني أكسيد الكربون منذ منتصف عام (1970)، ولقد نتج عن التغير المناخي زيادة طول فصل النمو وتزايد معدل درجات الحرارة السنوية مع عدم التغير في المتوسط السنوي للتساقط (Yarie and Parton, 2005) ويؤكد (97%) من علماء المناخ على أن الاحتباس الحراري ناتج عن أنشطة الإنسان، وأن غاز ثاني أكسيد الكربون هو العامل الرئيسي المتحكم في التقلبات الجوية والمناخية وأنه عامل خطر رئيسي (Corbyn, 2019).

إن لثاني أكسيد الكربون أثر واضح عالمياً على مدي أثرة في إحداث تغيير واضح في درجات الحرارة نحو الدفء لذلك تم ربط العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة في ألاسكا للفترة (1985-2024م) لمعرفة أثر ثاني أكسيد الكربون على اتجاه درجات الحرارة في ألاسكا ومن خلال جدول (4) تبين أنه توجد علاقة طردية بين زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون وارتفاع درجات الحرارة وذلك لشهور السنة حيث يلاحظ زيادة قوة الارتباط بينهما بدءاً من شهر (مايو) وصولاً إلى شهر (ديسمبر)، وتتوافق العلاقة الطردية بينهما مع تسجيل اتجاه واضح نحو تزايد درجات الحرارة وتركيز نسبة ثاني أكسيد الكربون، أي أنه يوجد ارتباط واضح بين زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون وارتفاع درجات الحرارة في ألاسكا، ولتزايد نسبة ثاني أكسيد الكربون أثر كبير على درجات الحرارة ويتضح ذلك مما سبق حيث تعمل زيادته على ارتفاع درجات الحرارة، ومؤخراً شهدت ألاسكا والعالم أجمع ارتفاع في نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون نتيجة للنشاط البشري الكبير وما ينتج عنه انبعاث غازات تؤثر على ظروف المناخ في ألاسكا، وقد توجد عوامل أخرى تؤثر على اتجاه التغير في درجات الحرارة في ألاسكا غير ثاني أكسيد الكربون ويعود ذلك إلى أن أعلى وأدنى الشهور التي سجلت زيادة في اتجاه درجات الحرارة سجلت أيضاً نفس درجة الاتجاه في نسبة التغير في ثاني أكسيد الكربون.

ولقد أثبتت دراسة (Wendler and Shulski, 2009). أن (24%) من التغير في درجات الحرارة الذي تم ملاحظته في ألاسكا كان نتيجة زيادة نسبة (CO_2) والتي لها تأثير آخر على التغير في كمية السحب، ومن خلال ربط العلاقة بين (CO_2 و PDO) كانت العلاقة (0.45) وبعبارة أخرى

فإن زيادة تركيز (Co2) والتغير في دورة (PDO) يعود لها (45%) من التغير في درجات الحرارة الذي تم ملاحظته في Fairbanks.

ووفقاً لتقرير التقييم السادس الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لعام (2023)، فإن انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية مسؤولة عن ارتفاع درجة حرارة الأرض بنحو (1.1م) منذ بداية القرن العشرين. وتشمل هذه الأنشطة، على سبيل المثال، حرق الفحم والنفط والغاز، وإزالة الغابات، والزراعة. (European Parliament, 2024)

جدول (4): العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجات الحرارة في ألاسكا

Month	Pearson	Sig	N
January	.150	.300	40
February	.050	.700	40
march	.120	.450	40
April	.280	.080	40
may	.420*	.010	40
June	.600**	.000	40
July	.720**	.000	40
August	.680**	.000	40
September	.550**	.001	40
October	.470**	.004	40
November	.420*	.012	40
December	.500**	.002	40

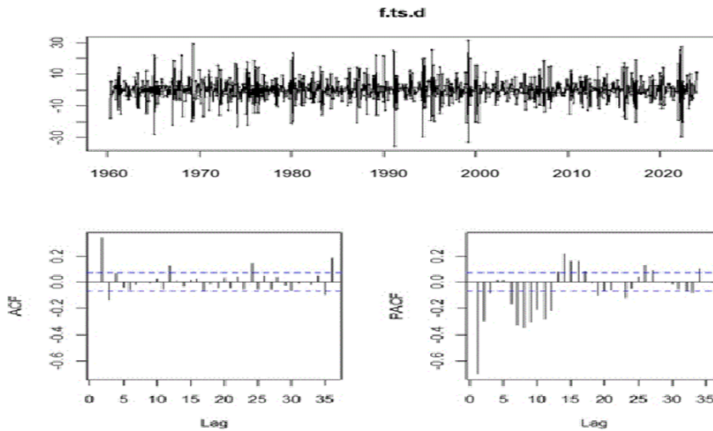
المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات National Weather Service, Alaska, Global Monitoring Laboratory

4.2 توقع درجات الحرارة في ألاسكا لـ خمسة عشر سنة:

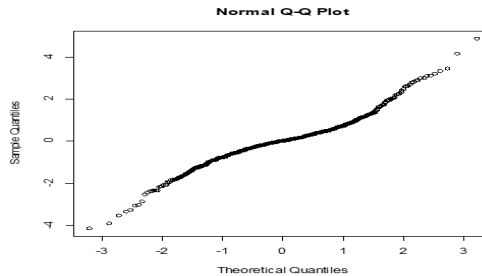
لقد سجلت أشد ثلاثة أيام من حيث ارتفاع درجات الحرارة في (يوليو/تموز 2024) وتشير السياسات الحالية إلى أن الأرض تسير نحو ارتفاع درجة حرارتها بنحو (2.7 م) بحلول عام (2100). أي أننا نشهد توقعاً نحو تزايد درجات الحرارة وتغير في المناخ، وهذا التزايد قد يؤدي إلى كوارث غير مسبوقة في جميع أنحاء العالم ومعاناة بشرية، وتعد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وغيرها من غازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة البشرية المحرك الرئيسي لتغير المناخ. ومنذ عام (2022)، يمثل احتراق

الوقود الأحفوري والعمليات الصناعية على مستوى العالم حوالي (90%) من الانبعاثات، بينما يمثل تغيير استخدام الأراضي، وخاصة إزالة الغابات حوالي (10%) (Ripple, et al., 2024) لقد تم استخدام برنامج الإحصاء لغة (R) ونموذج (بوكس-جنكتر) في بناء نموذج لتوقع درجات الحرارة للفترة (2026-2040م) باستخدام السلاسل الزمنية، وفي بداية النموذج تم معالجة البيانات بحيث أصبحت مستقرة وجاهزة لبناء نموذج التوقع، ويبين الشكل (3) المراحل التي تم من خلالها معالجة البيانات بحيث أصبحت جاهزة لبناء نموذج التوقع المستقبلي لدرجات الحرارة في ألاسكا، ويبين الشكل (4) أن البيانات تتبع في توزيعها النمط الطبيعي وبذلك فإن البيانات أصبحت جاهزة لبناء نموذج توقع درجات الحرارة في ألاسكا لخمس عشرة سنة.

شكل (3): استقرار درجات الحرارة في ألاسكا



شكل (4): أن البيانات تتبع في توزيعها النمط الطبيعي



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات National Weather Service, Alaska

جدول (5) يبين درجات الحرارة المتوقعة في ألاسكا للفترة (2026-2041)

السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
2026	-15.7	-14.4	-12.1	-5.4	2.8	8.6	11.0	10.0	5.9	-1.6	-9.8	-13.8
2027	-15.7	-14.4	-12.1	-5.4	2.8	8.6	10.9	9.9	5.9	-1.6	-9.8	-13.0
2028	-15.7	-14.4	-12.2	-5.4	2.8	8.6	10.9	9.9	5.9	-1.6	-9.8	-13.8
2029	-15.8	-14.4	-12.2	-5.4	2.8	8.5	10.9	9.9	5.9	-1.6	-9.8	-13.8
2030	-15.8	-14.4	-12.2	-5.4	2.8	8.5	10.9	9.9	5.9	-1.6	-9.8	-13.8
2031	-15.8	-14.4	-12.2	-5.4	2.7	8.5	10.9	9.9	5.9	-1.6	-9.8	-13.8
2032	-15.8	-14.4	-12.2	-5.4	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.6	-9.8	-13.8
2033	-15.8	-14.4	-12.2	-5.4	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.6	-9.8	-13.8
2034	-15.8	-14.4	-12.2	-5.4	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.6	-9.8	-13.8
2035	-15.8	-14.4	-12.2	-5.5	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.6	-9.9	-13.8
2036	-15.8	-14.5	-12.2	-5.5	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.6	-9.9	-13.8
2037	-15.8	-14.5	-12.2	-5.5	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.7	-9.9	-13.8
2038	-15.8	-14.5	-12.2	-5.5	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.7	-9.9	-13.9
2039	-15.8	-14.5	-12.2	-5.5	2.7	8.5	10.9	9.9	5.8	-1.7	-9.9	-13.9
2040	-15.8	-14.5	-12.3	-5.5	2.7	8.5	10.8	9.8	5.8	-1.7	-9.9	-13.9

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات National Weather Service, Alaska

بالاعتماد على البيانات المناخية السابقة لدرجات الحرارة في ألاسكا للفترة (1961-

2024م) تم بناء نموذج لتوقع درجات الحرارة باستخدام السلاسل الزمنية لفترة خمسة عشر سنة، ومن

خلال جدول (5) يتبين أنه يتوقع أن تكون درجات الحرارة في ألاسكا كالآتي:

1- خلال شهر يناير سجل اتجاه نحو تناقص درجات الحرارة عن متوسطها العام (-15.6م) ومن

المتوقع أن تكون درجة الحرارة خلال الفترة (2028-2026) بحدود (-15.7م) وخلال الفترة

(2040-2029) من المتوقع أن تكون بحدود (-15.8م) أي أن درجة الحرارة تتناقص عن المتوسط

العام لدرجة حرارة هذا الشهر بحدود (0.1-0.2م).

2- وفي شهر فبراير كان متوسط درجة الحرارة (-14.9م) ويتوقع أن تتزايد درجات الحرارة عن

المتوسط خلال الفترة (2035-2024) بحدود (0.5م) وخلال (2040-2036) تزايدت بحدود

(0.4م).

- 3- وفي شهر مارس من المتوقع أن تتزايد درجة الحرارة خلال (2026-2027) بحدود (0.2م) عن متوسط درجة حرارة ألاسكا في هذا الشهر (-12.3) وأن تتزايد بحدود (0.1م) حتى عام (2039) وأن تبقى مستقرة في عام (2040).
- 4- يتوقع أن تتزايد درجات الحرارة في شهر أبريل بحدود (0.1-0.2م) عن متوسطها العام في هذا الشهر (-5.6م).
- 5- في شهر مايو يتوقع أن تتناقص درجات الحرارة عن متوسطها العام (2.9م) بحدود (0.1-0.2م).
- 6- أما في شهر يونيو فإن درجة الحرارة سوف تتزايد بحدود (0.1م) خلال الفترة (2026-2028) وستبقى نفس متوسطها العام (8.5م) حتى عام (2040).
- 7- وسيشهد شهر يوليو تزايداً في درجات الحرارة عن متوسطها العام (10.8م) بحدود (0.1-0.2م) بينما ستبقى نفس معدلها العام في عام (2040).
- 8- وفي أشهر أغسطس يتوقع أن تتزايد درجات الحرارة عن متوسطها العام (9.8م) بحدود (0.1-0.2م) وأن تبقى مستقرة في عام (2040).
- 9- بينما في شهر سبتمبر ستشهد ألاسكا تزايداً في درجات الحرارة عن متوسطها العام (5.8م) بحدود (0.1م) خلال الفترة (2026-2031) ثم تبقى مستقرة حتى عام (2040).
- 10- يتوقع في شهر أكتوبر أن تتزايد درجات الحرارة عن متوسطها العام (-2.0م) بحدود (0.4-0.3م) وهو من أكثر الأشهر التي سوف تشهد تغيراً متوقعاً عن المتوسط العام لدرجة الحرارة بعد شهري ديسمبر وفبراير.
- 11- أن شهر نوفمبر من الأشهر التي يتوقع أن تتزايد فيها درجات الحرارة عن متوسطها العام (-10م) والتي يتوقع أن تتزايد بحدود (0.1-0.2م).
- 12- وأخيراً في شهر ديسمبر يتوقع أن تتزايد درجات الحرارة عن متوسطها العام (-14.4م) والتي يتوقع أن تتزايد بحدود (0.5-0.6م) خلال فترة التوقع دون عام (2027) الذي يتوقع أن تتزايد

بحدود (1.4م) وهو أكثر السنوات التي ستشهد توقعاً نحو تزايد درجات الحرارة وأيضاً هذا الشهر أكثر الشهور في ألاسكا التي يتوقع لها تزايد في درجات الحرارة عن متوسطها العام. مما سبق ومن خلال تحليل جدول (5) يتبين أن درجات الحرارة ستشهد تزايداً في درجات الحرارة خلال شهور السنة وأن تزايد درجة الحرارة يتراوح بين (0.1-0.5م)، بينما ستشهد بعض الأشهر والسنوات استقراراً في درجات الحرارة أي أنها لن تشهد تغيراً يذكر في درجات الحرارة وأكثر السنوات التي سجلت استقراراً في درجات الحرارة كان العام (2040)، بينما سجل اتجاه نحو تناقص درجات الحرارة في شهري (يناير، مايو)، ويظهر من خلال التحليل أن ألاسكا تتجه نحو تزايد درجات الحرارة ولكن هذا التزايد بسيط، وإن الاستقرار الذي تشهده بعض الفترات قد يكون ناتج عن السياسات التي تتبعها الولاية في الحد من انبعاث الغازات، وأيضاً نؤكد على أن ألاسكا تتأثر بالنظام المناخي العالمي وبالمؤثرات المحيطة والتي تم الحديث عنها سابقاً .

3. الخاتمة

ومن خلال الإجابة على فرضيات الدراسة الأربعة تم التوصل إلى:

- وجود اتجاه تصاعدي واضح نحو تزايد درجات الحرارة في ألاسكا بين (0.01-0.06)، وهو ما يعكس تحولات مناخية ملحوظة خلال فترة الدراسة.
- وجود زيادة مستمرة في نسبة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون بين (1.6-1.7)، مما يؤكد تنامي العوامل المرتبطة بظاهرة التغير المناخي في المنطقة.
- وجود علاقة طردية بين ارتفاع درجات الحرارة وزيادة نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون، مما يعزز الفهم العلمي للترابط بينهما.
- أظهر النموذج المستخدم لتوقع درجات الحرارة استمرار الاتجاه التصاعدي لدرجات الحرارة خلال الخمسة عشر عاماً القادمة وذلك لغالبية شهور السنة بين (0.1-0.5م). وعليه، فإن نتائج الدراسة تؤكد مجتمعة صحة فرضياتها، وتبرز أهمية التعامل مع هذه المؤثرات المناخية، نظراً لما تحمله من انعكاسات بيئية تمتد آثارها على المستويين المحلي والعالمي.

وتعد ألاسكا في طليعة المتضررين من التغير المناخي فقد ارتفعت درجة الحرارة فيها بأكثر من ضعف سرعة ارتفاعها في بقية الولايات المتحدة، وارتفع متوسط درجات الحرارة الشتوية بمقدار (5.5ف) منذ خمسينيات القرن الماضي، وتشهد تزايداً في شدة وتواتر أحداث مثل حرائق الغابات والانفجارات الأرضية والفيضانات، ورغم خطورة هذه التهديدات، إلا أنها تمتلك أيضاً موارد وفرصاً فريدة في مكافحة التغير المناخي العالمي فعلى سبيل المثال: تمتلك موارد وفيرة من الطاقة المتجددة التي سيصبح تطويرها محدياً اقتصادياً وتقنياً بشكل متزايد، وتحظى مخازن الكربون الهائلة في ألاسكا وأنظمتها الطبيعية السليمة باعتراف متزايد بقيمتها في استقرار المناخ والتخفيف من آثاره . (Mckinley, 2021) وتعد ألاسكا من أكثر الأقاليم عالمياً التي تعاني من وجود اتجاه واضح نحو تغير درجات الحرارة فيها والذي له تأثير كبير على الحياة النباتية والجليد وحياء السكان وهذا التغير يهدد الحياة البرية بها لذلك اهتمت الولاية بوضع حلول عديدة للحد من اتجاه التغير المناخي بها والحفاظ على الحياة البرية والحيوية.

4. التوصيات:

- 1- التوجه نحو استخدام الطاقة البديلة النظيفة التي لا يصدر عنها تلوث .
- 2-التوسع في إنشاء الصناعات الصديقة للبيئة والتي لا يصدر عنها انبعاث الغازات المسببة للاحتراق العالمي .
- 3-التوسع في إنشاء وزراعة المساحات الخضراء.
- 4-سن التشريعات والقوانين التي يمكن أن تحد من استخدام المواد والصناعات التي ينتج عنها انبعاث ملوثات وغازات الاحتباس الحراري.

5. المقترحات :

- 1 -إجراء دراسات عن العلاقة بين زيادة انبعاث غازات الاحتباس الحراري واتجاه التغير في درجات الحرارة في الوطن العربي .
- 2-إجراء دراسات عن اتجاهات التغير المناخي في منطقة حوض البحر المتوسط وشبة الجزيرة العربية.

6. قائمة المراجع:

- لطيفة، لونيسي (2019). دراسة قياسية لأثر غاز ثاني أكسيد الكربون الإجمالي على الناتج الداخلي في الجزائر 1980-2014. مجلة أفاق علمية، 11. (3).
- نصر، مؤمن (2009). الذبذبات المناخية في شرقي البحر المتوسط مع التطبيق على دولة فلسطين. (رسالة ماجستير غير منشورة). معهد البحوث والدراسات العربية، مصر.
- الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2021). تغير المناخ، سويسرا.
- Alaska Climate Research Center (2023). Annual Report. The Alaska State Climate Center.
 - Bieniek, Peter A, et al. (2012). Climate Divisions for Alaska Based on Objective Methods, Journal of Applied Meteorology and Climatology, Volume 51, doi: 10.1175/JAMC-D-11-0168.1.
 - Bronen, Robin (2013). Climate – Induced Displacement of Alaska Native Communities, Alaska Immigration Justice Project, Brookings-lse.
 - Corbyn, Piers (2019). Man-Made Climate Change Does Not Exist, Debating Journal, Reading University.
 - Ecimovic, Timi, et al. (2011). The Climate Chang System Introduction, SEM Institute for Climate Change, Slovenia.
 - El-Geziry, Tarek (2022). Analysis of Air Temperature Trends as a Climate Change Indicator for Alexandria, Athens Journal of science, Volume 9, Issue 4.
 - EPA (2016) What Climate Change Mean for Alaska, United State Environmental Protection Agency, EPA 430-F-16-004.
 - European Parliament (2024). Greenhouse gas emission by country and sector, article.
 - Euskirchen, E. S, et al. (2010). The changing effects of Alaska's boreal forests on the climate system, Can. J. For. Res. 40, doi: 10.1139/× 09-209.
 - Goodfellow, Paul and Birnbaum, Molly (2023). Alaska Greenhouse Gas Emissions Inventory 1990-2020, Alaska Department of Environmental Conservation Division of Air Quality.
 - Johnson, Terry (2016). Climate Change and Alaska Fishers, Sea Grant University of Alaska.

- Johnstone, Jill F, et al. (2010). Fire, climate change, and forest resilience in interior Alaska, Can. J. For. Res. 40, doi: 10. 1139/×10-061.
- Joly, Kyle, et al. (2011). Linkages between large –scale climate pattern and the dynamics of Arctic carbon population, Ecography. 34, doi: 10.1111/j.1600-0587.
- Lin, Yuyuan, et al. (2023). The Relation Between the CO2 Concentration Levels and the Temperature, ESAT, E3S Web of Conference 375, 03014.
- Maanavilija, Liisa, et al. (2011). Spatial variation in CO2 exchange at a northern aapa mire, Biogeochemistry. 104, doi: 10. 1007/s 10533-010.
- Mckinley Research Group (2021). Natural Climate Solutions in Alaska, the Nature Conservancy.
- National Climate Data Center (n.d). Climate of Alaska, North Carolina.
- National Environment Commission, (2011), Climate Change, Royal Government of Bhutan.
- NOAA National Centers for Environmental Information (2021). Temperature Change and Carbon Dioxide Change.
- Notional geographic (2009). visual atlas of the world, Washington.
- Ripple, William, et al. (2024). The 2024 Sate of the climate report: perilous times on planet earth, Bioscience, oxford.
- Shellenbaum, Diane, et al. (2011). Alaska Geologic Carbon Sequestration Potential Estimate, DOE Contract Period: October 1, 2005-May 2011.
- Vynne, Carly, et al. (2021). The Impotence of Alaska for Climate Stabilization, Resilience, and Biodiversity Conservation, Policy and Proactive Reviews.
- Walesh, John E, et al. (2008). Global Climate Model Performance over Alaska and Greenland, Journal OF Climate, Volume. 21, doi: 10.1175/2008JCLI2163.1.
- Ward, David H, et al. (2009). Change in Abundance of Pacific Brant Wintering in Alaska: evidence of a Climate warming Effect, Arctic. Vol. 62, No. 3.
- Wendler, Gerd and Shulski, Matha (2009). A Century of Climate for Fairbanks, Alaska, Arctic. Vol. 62. No. 3.
- Wilmking, Martin, et al. (2004). Global Change Biology. 10, doi: 10.1111/j. 1365-2486.

- Yarie, John and Parton, Bill (2005). Potential change in carbon dynamics due to climate change measured in the past two decades, Can. J. For. Res.35, doi: 10.1139/×05-106.
- Ballinger, T. J., et al. (2023). Alaska terrestrial and marine climate trends, 1957–2021. Journal of Climate, volume 36.
- Parazoo, Nicholas C. et al. (2016). Detecting regional patterns of changing CO₂ flux in Alaska. PNAS.
- Roisin Commane. et al. (2017). Carbon Dioxide Sources from Alaska Driven by Increasing Early Winter Respiration from Artic Tundra, PNAS.