



## الملامح السينوبتيكية للقبة الحرارية المؤثرة على شمال غرب ليبيا وطريقة تقييم آثارها البيئية

عبدالفتاح الهادي الشيباني \*

الهيئة الليبية للبحث العلمي . طرابلس - ليبيا

Email: [afshibani@gmail.com](mailto:afshibani@gmail.com)

ملخص: خلال الفترة من 19 يونيو إلى 4 يوليو 2021، تأثرت مناطق شمال غرب ليبيا بأجواء حرارية لاهبة ومرهقة نتيجة تأثرها بظاهرة جوية صيفية تسمى القبة الحرارية. تستهدف هذه الورقة تشخيص أسباب حدوثها وكيفية تقييم آثارها البيئية باتباع منهجيات التشخيص السينوبتيكي والتقييم البيئي المتكامل. بينت نتائج التشخيص أن حدوث الظاهرة يرجع إلى تكون نظام من الضغط الجوي العالي المعروف بنمط حاجز اوميغا ( $\Omega$ )، يتمركز على المستوى الضغطي 500 هكتوبسكال، تتسبب هذه الوضعية في تنشيط بعض العوامل المؤثرة مثل، انبعاث التيارات الهوائية الهابطة المحفزة لانضغاط الهواء وارتفاع حرارته، انخفاض نسبة تركيز غاز الأوزون الاستراتوسفيري، وصول كمية كبيرة من الإشعاع الفوق بنفسجي إلى سطح الأرض، وزيادة نسبة الأوزون التروبوسفيري. تؤثر التغيرات المناخية على الظاهرة وتجعلها أكثر تكراراً وأطول عمراً وأشد سخونة، ونظراً لارتباط الظاهرة بجملة من الآثار البيئية والتداعيات السلبية، تؤكد الورقة على أهمية استخدام نموذج إطار التقييم البيئي المتكامل (نموذج - DPSIR)، لأجل ترتيب سلسلة مراحل تطور خطورة الظاهرة إلى جانب تحديد أنماط الاستجابة الموجهة نحو مراحل الخطورة لتفادي آثارها وتداعياتها السلبية والتقليل من أضرارها. توصي الورقة بإجراء دراسة تفصيلية موسعة للظاهرة، وتقييم آثارها البيئية، وتحديد المسار الفعال لتوجيه تدابير التخفيف من حدتها، والعمل على إصدار النشرات اليومية لمؤشر الأشعة فوق البنفسجية خلال فترة الصيف.

## Synoptic features of the thermal dome affecting northwest Libya and how to assess its environmental effects

Abdelfatah Hadi Shibani

Libyan Authority for Scientific Research. Tripoli-Libya

\* Corresponding author

DOI: [10.51646/jesed.v11i1.117](https://doi.org/10.51646/jesed.v11i1.117)

This is an open access article under the CC BY-NC license ([http://Attribution-NonCommercial 4.0 \(CC BY-NC 4.0\)](http://Attribution-NonCommercial 4.0 (CC BY-NC 4.0))).

**Abstract:** During the period from June 19 to July 4, 2021, the regions of northwestern and central Libya were affected by a hot and exhausting heat atmosphere as a result of being affected by a summer weather phenomenon called the Heat Dome. This paper aims to diagnose the causes of its occurrence and how to assess its environmental effects, by following the methodology of Synoptic diagnosis and Integrated Environmental assessment. The results of the diagnosis showed that the occurrence of the phenomenon is due to the formation of high atmospheric pressure system known as the Omega Block pattern ( $\Omega$ ), centred at the level of 500 hectopascals, This situation causes the activation of some influencing factors such as the emission of downdraft air currents that stimulate air compression and high temperature, a decrease in the stratospheric ozone concentration, the arrival of a large amount of ultraviolet radiation to the surface of the Earth, and increase of tropospheric ozone concentration. Climate changes affect the phenomenon and make it more frequent, longer visible and hotter. Because the phenomenon is linked to a number of environmental impacts and negative consequences, the paper assures the importance of using the Integrated Environmental Assessment Framework model (DPSIR-Model), In order to arrange a series of stages of the development of the severity of the phenomenon, in addition to identifying risk-oriented response patterns to mitigate negative Impacts. The paper recommends Conducting a detailed study of the phenomenon, evaluate its environmental impacts, determine the effective path to guide mitigation measures, and work on issuing daily bulletins of the ultraviolet radiation intensity index during the summer period..

**كلمات الاستدلالية:** - ظاهرة القبة الحرارية؛ المرتفع الجوي؛ نمط حاجز أوميغا؛ التيارات الهوائية الهابطة

**Keywords:** Heat Dome Phenomenon, atmospheric height omega block pattern, downdraft air currents.

## 1. المقدمة

لا يوجد في الوقت الراهن تعريف عالمي موحد وشامل لموجّة الحر، فهي تختلف من بلد لآخر نظراً لارتباطها بنماذج حرارية مختلفة يتحكم فيها نمط المناخ المحلي السائد في كل بلد. تعتبر ليبيا من البلدان المتأثرة كثيراً بموجات الحر التي تتشكل على هيئة قبة حرارية تحت ظروف جوية محددة ترتفع فيها درجات الحرارة إلى حد يفوق المعدل الشهري العام بعشرة درجات مئوية أو أكثر ويرتفع فيها الضغط الجوي وتستمر لعدة أيام وليال متتالية تتجاوز الثمانية. تحت تأثير هذا الوضع يعمل نظام المرتفع الجوي العلوي نمط أوميغا ( $\Omega$ )، كالغطاء المثبت على قدر الطبخ يحجز الحرارة ويعزز من شدتها، ومن هنا جاء تشبيه الحالة بالقبة الحرارية. ونظراً لارتباط هذه الظاهرة بنوعية الهواء الرديئة إلى جانب ارتفاع شدة الإشعاع الشمسي الفوق بنفسجي، فإن هذا الوضع يثير قلقاً بيئياً جاداً له عدة تأثيرات سلبية. يساهم التغير المناخي في جعل هذه الظاهرة الاستثنائية أكثر تكراراً وأشد وطأة. تهدف هذه الورقة إلى تشخيص السمات والملاح السينويبتيكية للظاهرة، واقتراح منهجية مناسبة لتقييم أثارها السلبية وبيان كيفية التخفيف من شدتها. تم تنظيم وترتيب الورقة في أربعة أجزاء: الجزء 2، الذي يلي المقدمة، يتضمن ملخصاً للمنهجية وطريقة التحليل إضافة إلى منطقة مشكلة الدراسة والدراسات السابقة. الجزء 3، يناقش أهم النتائج والاستنتاجات. وأخيراً تم استعراض الخلاصة والتوصيات والأفكار المطروحة للمبحث والدراسة في المستقبل في الجزء 4.

## 2. منهجية التحليل

تعتمد منهجية التحليل على طريقة التشخيص السينويبتيك والتقييم البيئي وذلك وفق الخطوات التالية:

أولاً - تحديد الخصائص والملاح السينويبتيكية لظاهرة القبة الحرارية، والعوامل المؤثرة في تشكلها وتطورها، وذلك بناء النتائج والحقائق والنظريات العلمية المنشورة في الأدبيات العلمية ذات الصلة.

ثانياً - تحديد مسار دورة التغذية المرتدة المعززة لشدة الطاقة الحرارية الناتجة عن حدوث الظاهرة بناء على تحليل آلية التفاعل بين العمليات المشاركة في تعميق الحالة.

ثالثاً - حصر عدد حالات القبة الحرارية التي تأثرت بها مناطق شمال غرب ليبيا خلال 43 سنة متتالية.

رابعاً - تشخيص وتفسير خرائط الأوضاع الجوية للظروف الجوية التي كانت سائدة أثناء بعض الحالات النمطية التي أدت إلى اندلاع موجات الحر طويلة الأمد على شمال غرب ليبيا.

خامساً - ظهور منظومات المرتفع الجوي نمط اوميغا ( $\Omega$ ) بالأجواء العليا تسبب في اجبار الطرود الهوائية على الهبوط والانضغاط والسخونة، للتعرف على ذلك من خلال الحالات النمطية تم التركيز على درجة الحرارة الجهدية-Geo Potential Temperature بسبب افضليتها ديناميكياً وفيزيائياً على درجة الحرارة المرصودة، وتم التركيز أيضاً على الارتفاع الجهدي Geo-Potential-Height عند نفس المستوى نظراً للدور الهام الذي يلعبه كعامل مؤثر في تحريك المنظومات الضغطية [1]. لحساب درجة الحرارة الجهدية تم استخدام أفضل المستويات الضغطية المناسبة لتحليل الحالة نظراً لوقوع تلك المستويات ضمن طبقة التروبوسفير التي تحدث فيها الظواهر الجوية، المستوى الضغطي 500 هيكوتوبسكال (5400 متر) وهو يمثل منتصف طبقة التروبوسفير، والمستوى الضغطي 1000 هيكوتوبسكال (120 متر) وهو يمثل الجزء السفلي لطبقة التروبوسفير التي تحدث به ظاهرة القبة الحرارية. تم حساب درجة الحرارة الجهدية للحالات النمطية، وذلك بتطبيق معادلة بواسون Poisson's Equation، التي تعرف درجة الحرارة الجهدية بانها درجة الحرارة التي يكتسبها طرد هوائي (كتلة هوائية) إذا تم إجبارها اديباتيكياً على الهبوط من مستواها الضغطي (P) الى مستوى الضغط القياسي (P0) والذي عادة ما يكون (1000 hpa). وتم استخدام معادلة هاييسوميترك Hypsometric Equation لحساب سمك الطبقة الهوائية بين المستويين الضغطيين (1000 و 500 هـ. ب.)، هذه المعادلة تتيح التعرف على أن الفرق بين ارتفاعين جهديين عند مستويين ضغطيين يتناسب طردياً مع معدل درجة الحرارة للطبقة بين هذين المستويين، وتعطى الصيغة الرياضية للمعادلات المشار إليها على النحو التالي :

أ. معادلة بواسون Poisson's Equation،

$$\theta = T \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{R}{C_p}} \rightarrow \theta = T \left( \frac{1000}{500} \right)^{0.286}$$

ب. معادلة هاييسوميترك Hypsometric Equation،

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = \frac{R \bar{T}_v}{g_0} \ln \int_{P_2}^{P_1} d \ln p \Rightarrow Z_2 - Z_1 = \frac{R \bar{T}_v}{g_0} \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

$$\Delta Z = Z_{500\text{hpa}} - Z_{1000\text{hpa}} = \frac{R \bar{T}_v}{g_0} \left( \frac{1000}{500} \right) \Rightarrow \Delta Z = 20.3 (\bar{T}_v)$$

حيث ان : تمثل درجة الحرارة الجهدية. و ( $\Delta Z$ ) تمثل سمك الطبقة الهوائية بين المستويين الضغطيين.  
 (T) - تمثل درجة حرارة الطرود الهوائية الهابطة من المستوى الضغطي 500 هـ. ب إلى 1000 هـ. ب.  
 (P) - تمثل المستوى الضغطي 500 هيكوتوبسكال. (P0) - تمثل الضغط القياسي 1000 هيكوتوبسكال.  
 (R) - تمثل ثابت الغاز للهواء (CP)، ( $R = 287 \text{ J deg}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ) - تمثل السعة الحرارية النوعية للهواء عند ثبوت الضغط ( $R = 1004 \text{ J deg}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ ). - تمثل ثابت الغاز للهواء الجاف وتساوي (0.286).  
 ( $Z_1$ ) - تمثل ارتفاع المستوى الضغطي 1000 هـ. ب. ( $Z_2$ ) - تمثل ارتفاع المستوى الضغطي 1000 هـ. ب.  
 ( $\bar{T}_v$ ) - تمثل متوسط درجة الحرارة الافتراضية بين المستويين الضغطيين. ( $g_0$ ) - تمثل عجلة الجاذبية الأرضية وتساوي، ( $g_0 = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ ).

سادساً - لتسهيل إجراء دراسة موسعة ومفصلة لتقييم الآثار والتداعيات السلبية للقبة الحرارية تم استخدام نموذج إطار DPSIR للتقييم البيئي المتكامل الذي يساعد على ترتيب سلسلة الأسباب والآثار وكيفية توجيه الاستجابات الممكنة، والرمز DPSIR يشير إلى مجموعة المؤشرات التالية، (الدوافع، الضغوط، الحالة الراهنة، الأثر، الاستجابة).  
 DPSIR = Drivers + Pressures + State + Impact + Response [8].

## 1.2 منطقة الدراسة

تم تحديد منطقة حوض البحر المتوسط كإطار عام لحركة الأوضاع السينوبتيكية المؤثرة في نشأة وتطور حالة القبة الحرارية، وكإطار مصغر لتشخيص بعض الحالات النمطية تم تحديد منطقة شمال غرب ليبيا الواقعة بين خطي طول (10:00 و 15:00 شرقاً)، وخطي عرض (32:00 و 34:00 شمالاً)، كما هو مبين بالشكل 1.



الشكل (1) : منطقة شمال غرب ليبيا ضمن إطار حوض البحر الأبيض المتوسط.

## 2.2. مشكلة الدراسة

مناخياً تقع ليبيا في المنطقة الانتقالية بين حزام الضغط العالي شبه الاستوائي وغربيات العروض الوسطى، لذلك، فإن العديد من خصائصها المناخية ترتبط بتقلبات دوران الهواء بالطبقة الوسطى من الأجواء العليا. خاصة خلال فصل الصيف، عندما يتم إزاحة محور التيارات النفاثة شبه الاستوائية إلى الأجزاء الشمالية من حوض البحر الأبيض المتوسط وتضمحل الأنظمة الضغطية واسعة النطاق، ويتميز النظام البيئي في ليبيا بالهشاشة والحساسية نظراً لتعرضه لضغوطات متعددة، مثل زيادة السكان، استهلاك الموارد الطبيعية بطرق غير مستدامة، تلوث الهواء، نذره المياه، الجفاف، التصحر إضافة إلى تأثير ليبيا بظاهرة الاحتباس الحراري، وتآكل طبقة الأوزون، وارتفاع شدة الإشعاع الشمسي. تساهم هذه الضغوطات في تكوين ظاهرة القبة الحرارية، لخطورة هذه الظاهرة، يجب الاهتمام بها كمشكلت بيئية تحتاج للتشخيص والتحليل والتقييم حتى يسهل فهمها ووضع الاستراتيجيات البيئية المناسبة للتعامل معها بهدف التقليل من أثارها السلبية.

## 3.2. الدراسات السابقة

في مارس 2021 قامت دورية نيتشر (Nature) بنشر دراسة حول توقّعات المناخ العالمي، تُشير الدراسة إلى حدوث تكثف كبير لارتفاع درجات الحرارة خلال فصل الصيف بمنطقة شمال افريقيا، وتتوقّع أنه في النصف الثاني من القرن الحالي، ستظهر موجات حر غاية في الشدة وغير مسبوقّة تتضمّن درجات حرارة تصل إلى 56 درجة مئوية أو أعلى وتستمر لفترات طويلة، وتظهر بشكل متكرر [3]. وفي نوفمبر 2020، تأكّدت تلك النتائج بدراسة أخرى نشرتها دورية بلوس ونّ (PLOS ONE) [4]. تقول الدراسة إن 80% من مدن شمال افريقيا والشرق الأوسط ستواجه بحلول نهاية القرن الحالي، موجات حارة في 50% على الأقل من أيام السنة، تتوقّع الدراسة أيضاً، بافتراض عدم التدخّل من خلال استراتيجيات التكيف والتخفيف المناخي، أن هذه النتائج، إلى جانب خصائص مناطق شمال أفريقيا والشرق الأوسط، مثل الجفاف ونقص هطول الأمطار، ستزيد من احتمال تعرّض المنطقة لأوبئة أو مجاعات. لفهم الظاهرة نُشرت الاكاديمية الوطنية للعلوم بأمريكا ورقة بحثية تُشير إلى ارتباط واضح بين التغيّر المناخي وارتفاع قسوة الموجات الحارة، واضطراب الموارد الأساسية التي يعتمد عليها الإنسان، كالمحاصيل الزراعية أو كميات الأسماك أو المياه المتاحة، وتتوقع الورقة أن يتسبّب ذلك في نشوب صراعات محلية ودولية حول الموارد التي ستصبح أكثر ندرة يوماً بعد يوم [5]. بالإضافة إلى ذلك هناك عنصر مناخي آخر يشهد تأثيره أيضاً أثناء الموجات الحرارية، وهو الرطوبة، التي ترتفع مستوياتها بمعدلات متسارعة [6]، ما دعا العلماء إلى توقّع وصول عدد أيام الرطوبة العالية بحلول العام 2070 إلى مدى يتراوح بين 100 - 250 يوماً في السنة، مع توقّعات أن تصل حدود الرطوبة في أميركا الجنوبية وأفريقيا والهند والصين إلى مستويات تؤثر بالفعل على صحة البشر مباشرة وتمنعهم من أداء وظائفهم [6]. في سنة 2011 قدمت مجلة العلوم دراسة حول موجة الحر الشديدة التي ضربت روسيا في صيف 2010 وتم تسميتها بـ «موجة الحرارة الروسية»، تسببت تلك الموجة في حدوث وفيات تجاوزت 55000 حالة وفاة بأوروبا الشرقية وغرب روسيا، وبينت الدراسة أن صيف النصف الشمالي من الكرة الأرضية 2010 شهد

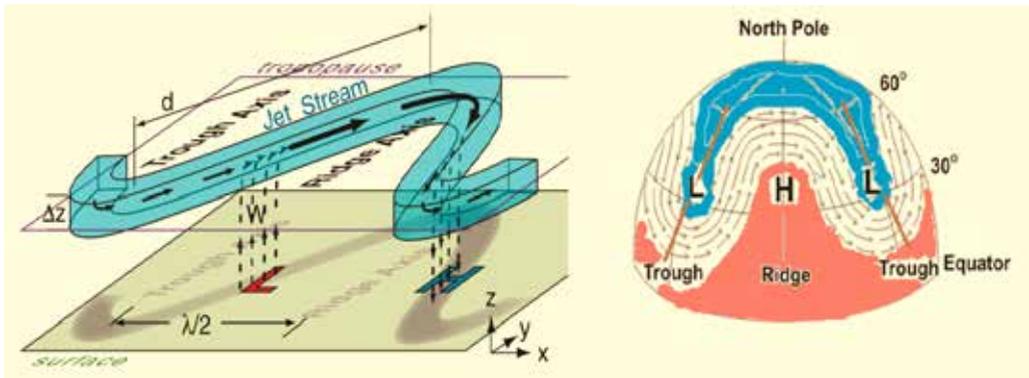
ارتفاعاً قوياً ومستمراً وملحوظاً في أنظمة المرتفعات الجوية الحاجزة عند مستوى 500 هيكوتوباسكال فوق الشرق الأوسط وأوروبا الشرقية ما أدى إلى درجات حرارة غير مسبوقّة بالعديد من المواقع [7].

### 3. النتائج والاستنتاجات

بناء على خطوات التشخيص التي تم تطبيقها على البيانات والخرائط والنماذج التي تم استخدامها لتحليل الحالة، أسفرت النتائج والاستنتاجات عن وجود مجموعة من الأسباب والملاحم والسّمات السيونوتيكية لظاهرة القبة الحرارية الصيفية المؤثرة على شمال غرب ليبيا وذلك على النحو التالي :

#### 1.3. السّمات الديناميكية الأساسية للقبة الحرارية

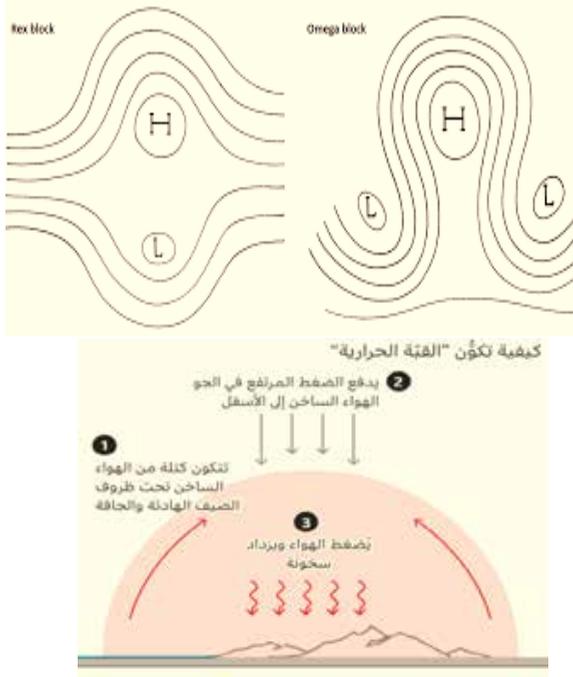
القبة الحرارية هي في الأساس كتلة من الهواء الدافئ (شبيهة بالفقاعة الكبيرة)، ذات ضغط جوي مرتفع مدمج مع تيار هوائي نفاث متموج وهو عبارة عن نطاق من الرياح القوية بطبقات الجو العليا، يلعب التيار النفاث دور المنشط لحركة وتزحزح أنظمة الضغط الجوي من مكان إلى مكان آخر في حالة خلوه من التموج، وعندما يصبح التيار النفاث متموجاً يضعف وبالتالي تتعطل أنظمة الضغط الجوي عن الحركة وتصبح عالقة في أماكن لا تتواجد فيها في العادة، فعندما يتعرّج التيار النفاث شبه الاستوائي وينزاح إلى شمال موقعه الطبيعي تصبح منطقة شمال غرب ليبيا واقعة على الجانب الأيمن منه، ووفقاً لعلاقة التباعد الدوراني Divergence-Vorticity [8] على الجانب الأيمن من نطاق الرياح القصوى للتيار النفاث يؤدي التقارب القوي للهواء العلوي إلى حدوث حركة رأسية هابطة والتي بدورها تساهم في اندلاع موجة الحر، فالتيار النفاث الأكثر تموجاً يساعد على اندلاع موجات الحرارة الشديدة لأنه يجبر المزيد من الهواء الجنوبي الساخن على التحرك شمالاً، كما أنه يبطئ من وتيرة الازاحة الأفقية للأنظمة الضغطية، وهذا يضيف المزيد من التأثيرات الحرارية المتطرفّة [9]. تتمدد القبة الحرارية لأعلى حول الجانب الأيسر من التيار النفاث وتلتف لأعلى منه ثم تنحني لأسفل حول جانبه الأيمن، وبالتالي تظهر على شكل حرف اوميغا ( $\Omega$ ). يعمل الضغط الجوي المرتفع بشكل أساسي كغطاء فوق منطقة اوميغا مكوناً قبة حرارية تؤدي إلى تسخين كل شيء بالمنطقة المتأثرة بها. وبناء على التأثير الناشئ بواسطة أنظمة الضغط الجوي العليا نمط اوميغا والتيار النفاث المتموج تتشكل القبة الحرارية بفعل موجات التيارات الهابطة للهواء الساخن. ومع استمرار هبوط الهواء وانضغاطه ترتفع درجة حرارته، لذلك تمتاز هذه الحالة بالحرارة اللاذعة وانقشاع السحب وشدة الإشعاع الشمسي وهدهد الرياح، إضافة إلى استمرار بقاء الموجة لفترات طويلة، ورأسياً يصل تأثيرها إلى الأماكن العالية كالتلال والجبال قبل المناطق السهلية أو المنخفضة. يعتمد ظهور موجات التيارات الهابطة للهواء الساخن، في الأساس على عدة عوامل مثل، طبيعة الأنظمة الضغطية العالية، إضافة إلى عوامل فيزيائية مثل، العمليات الإشعاعية المتنوعة، الأثر الكيميائي الضوئي، التيارات الهوائية النفاثة، التغذية المرتدة، والتغيرات المناخية.



الشكل (2): مظهر التيار الهوائي النفاث المتموج المترافق مع المرتفع الجوي نمط حاجز اوميغا.

### 1.1.3. بنية الهيكل الرأسي والأفقى للقبعة الحرارية

بسبب موقع ليبيا بين دائرتي عرض (29.50 و 31.20) شمالاً، فهي تخضع خلال فصل الصيف إلى تأثير نظام الضغط الجوي المرتفع السطحي شبه المداري، الذي يعيق عمليات التصعيد والتكاثف ما يجعل السماء خالية من السحب الأمر الذي يساعد على وصول أكبر كمية من الإشعاع الشمسي إلى سطح الأرض وبالتالي ارتفاع درجات الحرارة. وعندما يكون المرتفع المداري السطحي مدعوماً بمرتفع جوي علوي على مستوى 500 هيكوتيسكال (18000 قدم، 5400 متر)، يعمل هذا الوضع على تحفيز عملية التدفق الرأسي للتيارات الهوائية الهابطة من طبقات الجو العليا إلى السطح، ويتوالي عملية الهبوط يتضاغط الهواء فترتفع حرارته، الأمر الذي يعزز من شدة الحرارة طوال أيام الموجة [10]، [11].



الشكل (3): على اليمين، مقطع أفقي لأنظمة الضغط الجوي الحاجزة نمط اوميگا Omega Block، ونمط ريكس Rex Block، على اليسار، مخطط لمقطع رأسي في ظاهرة القبعة الحرارية.

فوق مناطق شمال أفريقيا تكون خلايا حواجز الضغط العالي شائعة في فصل الصيف وهي تعتبر امتداد للضغط العالي الأزوري، وتبقى ثابتة في مكانها لعدة أيام، خاصة إذا كان التيار النفاث متموجاً. ويكون الهواء مستقراً بوسط منطقة الضغط المرتفع لكنه يكون أقل استقراراً عند الحافات فيسمح بحدوث تيارات الحمل عند الظهر حيث يشتد التسخين. وبالمناطق الواقعة تحت خلية الضغط المرتفع تكون الحالة الجوية حارة وهادئة، وعند مركز الحاجز تحدث حركة هبوط رأسي للهواء وحركة تفرق أفقي بالقرب من السطح بسبب قوة الطرد المركزي.

في المستويات الوسطى من الغلاف الجوي يمكن ان تغوص أو تهبط طبقات بأكملها من الهواء يبلغ سمكها عدة مئات من الأمتار، ويكون هذا التأثير مصحوباً بتجمع وتفرق أفقي للكتلة وغالباً ما يحدث التجمع في الجزء العلوي من التروبوسفير في نفس الوقت الذي يحدث فيه التفرق قرب سطح الأرض الشكل (4)، يوضح كيف يمكن أن ينتج الهبوط من هذه العملية، عندما يسري الهواء قرب سطح الأرض متجهاً إلى الخارج يحل محله هواء آخر هابط إلى أسفل من الطبقات العليا، وتكون السرعة الرأسية إلى أسفل أكبر ما يمكن عند منتصف طبقة التروبوسفير تقريباً، أما عند المستويات الأعلى من ذلك تحت التروبوز فإن الهواء يسري متجهاً إلى الداخل وذلك قبل أن يأخذ طريقه في الهبوط إلى أسفل نحو المستويات الدنيا.

عندما ينتشر الهواء قرب سطح الأرض متجهاً إلى الخارج فإن سمك طبقة الهواء الهابط تقل على وجه العموم، وفي هذه

الحالة تفوق قمة الطبقة أكثر من القاعدة وحينئذ يسخن الهواء الهابط نتيجة لما يعانيه من انضغاط ذاتي وذلك عندما يصل إلى مناطق الضغوط الأعلى قرب سطح الأرض. وإذا هبطت قمة الطبقة بمقدار أكبر من قاعدتها فإنها سوف تسخن بدرجة أكبر من القاعدة فإذا وصلت قمة الطبقة الهابطة إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة قاعدتها فإنه يتكون انقلاب حراري مؤثر.



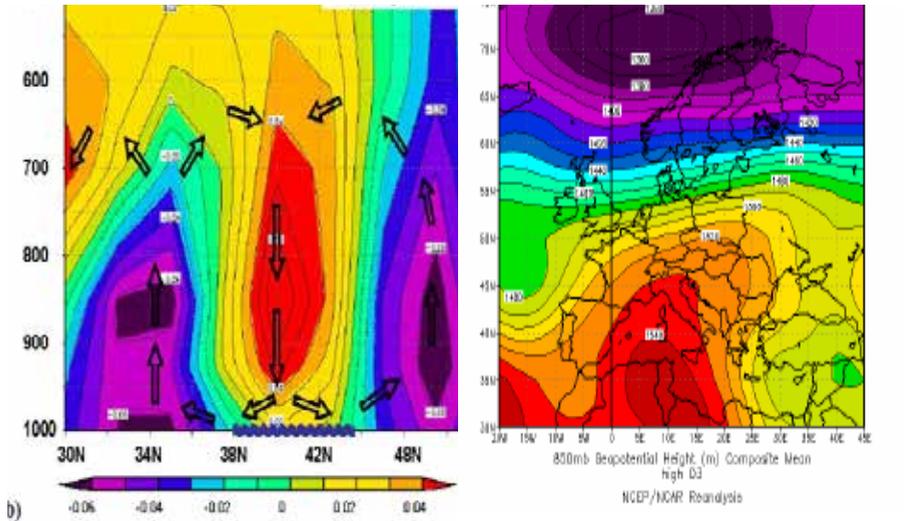
شكل (4): دوران الحركة الرأسية للهواء داخل فقاعة القبة الحرارية.

### 2.1.3. العلاقة المتبادلة بين أنظمة الضغط الجوي والتيارات النفاثة ومستويات الأوزون

هناك علاقة واضحة بين سرعة وأبعاد تموجات التيارات الهوائية النفاثة (الطول والسعة)، فعندما تكون التموجات شديدة أي ذات طول موجي صغير وسعة موجية كبيرة فإن التيارات تتحرك ببطء وتبتعد مساراتها عن نطاقها الاعتيادي وتصبح أمواج طولية بطيئة الحركة وتشكل على هيئة نمط طولي Meridional Pattern. وبالتالي يكون شكل مساراتها شمالي - جنوبي، قد تمتد من خط عرض 30 درجة إلى خط عرض 60 درجة ويزداد معدل انتقال الطاقة الحرارية بين المناطق المدارية والقطبية وتزداد التموجات امتدادا إلى أن يحدث بداخلها حدوث انفصال أو قطع لخليية مرتفع جوي Cut-of High وتؤدي إلى تكوين أنظمة الضغط العالي المعروفة بالأنظمة الجوية الحاجزة التي تعمل على ركود أحوال الطقس لعدة أيام أو أسابيع. يمكن أن تتشكل الحواجز الجوية على هيئة نمط حاجز أوميگا Omega Block، وهو يشبه الحرف اليوناني  $\Omega$  لذلك سمي باسمه. ويمكن رصده وتحليله على خارطة المستوى الضغطي 500 hpa. تعتبر كتلة أوميگا نسخة متطرفة ذات ضغط وبارد على جانبيها، مرتفع ينحني بها التيار النفاث، وعادة ما يكون لها نمط (منخفض-مرتفع-منخفض)، يكن الهواء دافئ بداخلها كما يبدو بالشكل (3)، وتطغى فيها الحركة الهوائية الرأسية الهابطة على الحركة الأفقية.

تترافق الأنظمة العليا للضغط الجوي المرتفع مع انخفاض حرارة طبقة الستراتوسفير وارتفاع الحرارة السطحية بشكل كبير، هذا التأثير يتلخص فيما يعرف بالأثر الكيميائي الضوئي وهو يعتبر أحد أكثر مظاهر موجات الحر شدة وخطورة، حيث تتنامى فيه كمية الأشعة فوق البنفسجية الخطرة ويقابلها هبوط في مجموع وإجمالي كمية الأوزون العلوي كعلاقة عكسية متبادلة بينهما، فالمرتفعات الجوية العلوية هي بيئة معروفة بانهايار مستويات غاز الأوزون الستراتوسفيري لأنها تمثل أحد أهم أسباب تفاقم شدة الموجات الحارة المرافقة لموجات الضغط العالية [12]. كما تساعد حركة التيارات الهوائية الهابطة على تنشيط عمليات تبادل الأوزون بين طبقتي الستراتوسفير والتروبوسفير وبالتالي يزداد معدل إنتاج الأوزون السفلي، وكل هذه العوامل تعتبر من مقومات بناء موجات القبة الحرارية وتساهم في تفعيلها وهي رأسياً تعتبر ظاهرة ديناميكية حرارية تجمع بين الحركة والحرارة، لكنها أفقياً تعتبر ظاهرة ساكنة تجمع بين السكون وبطء الحركة أي أنها تبقى ثابتة على نفس الموقع، وهو نمط جوي يتكون على هيئة مرتفع جوي علوي أسفله موجة حر تسمى القبة الحرارية. غالباً ما توجد تركيزات عالية من الأوزون في الكتل الهوائية الهابطة من الطبقات الجوية العليا، وبالتالي فإن الهبوط في نظام حاجز أوميغا الصيفي هو السبب الرئيسي لارتفاع مستويات الأوزون [12].

الشكل (5 - أ)، يبين خلاصة تحليل مجموعة من الخرائط المركبة للارتفاعات الجهدية بالقرب من السطح (1000 hPa) وعلى مستوى (850 hPa) التي سادت فيها أنظمة الضغط المرتفع بطبقات الجو العليا، حيث تميزت الخرائط السينوبتيكية بظهور سلسلة من القباب ذات الضغط الجوي العالي الممتدة من شمال إفريقيا إلى وسط أوروبا، ومن الشكل يمكن ملاحظة أن سلسلة القباب ذات الضغط العالي كانت مترافقة بارتفاع في مستويات الأوزون السطحي (الشكل 5 يبين مقطع أفقي ومقطع رأسي لحركة الهواء ومستوى الأوزون). ونستنتج من ذلك أن زيادة مستويات الأوزون السطحي ترجع إلى تأثير المرتفع الجوي العلوي. تعتبر الخرائط المركبة للسرعة الرأسية ذات أهمية خاصة، حيث يرتبط الانتقال الراسي للأوزون العلوي بالهبوط الهوائي الناتج بسبب تأثير المرتفع الجوي العلوي الصيفي نمط حاجز أوميغا، من الشكل (5 - ب)، يمكن ملاحظة أن الهبوط الهوائي يؤدي إلى تعزيز مستويات الأوزون السطحي (الأوزون التروبوسفيري) عن طريق خفض مستويات الأوزون الأعلى (الأوزون الستراتوسفيري)، يبين الشكل 5 كيف تبدو منطقة شمال غرب ليبيا متأثرة بشكل ملحوظ على حد سواء التيارات الهوائية الهابطة والارتفاع في مستويات الأوزون السطحي.



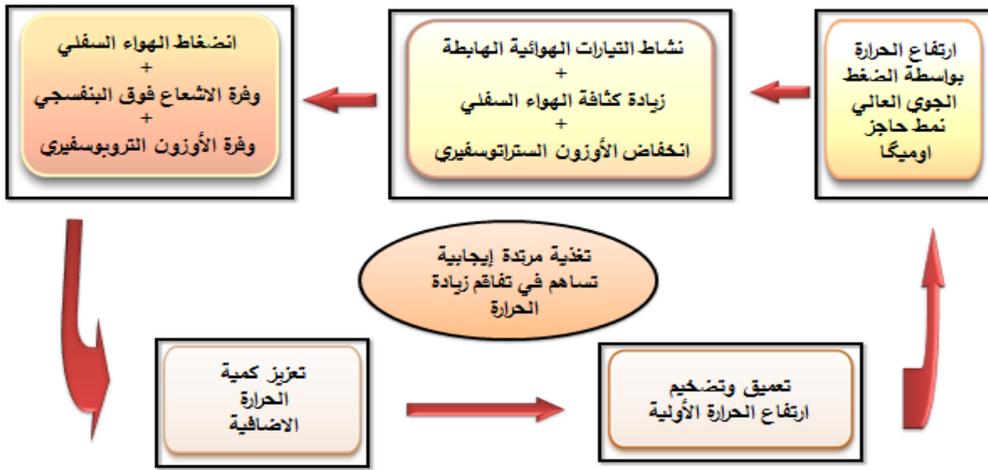
الشكل (5) : (أ. على اليمين)، خرائط مركبة للارتفاعات الجهدية عند مستوى 850 هيكوتوباسكال خلال الفترات المترافقة بزيادة مستويات الأوزون السطحي. (ب. على اليسار)، خرائط مركبة للسرعة الرأسية للمرتفع الجوي نمط حاجز أوميغا خلال الفترات المترافقة بزيادة مستويات الأوزون السطحي. الخط الأزرق السميك يشير إلى البحر، تشير الأسهم إلى اتجاه حركات الهواء [12].

## 2.1.3. التغذية المرتدة

بالنسبة لحالة القبة الحرارية التي تتأثر بها ليبيبا يهيمن عليها تأثير دورة التغذية المرتدة الايجابية التي تعمل على تعميق حالة ارتفاع درجة الحرارة حيث يبدأ مسار الدورة بزيادة الحرارة وينتهي مسار الدورة بزيادة حرارة إضافية تزيد من الحرارة الأولية وفق المسار التالي :

مسار دورة التغذية المرتدة لحالة القبة الحرارية  $\leftarrow$  ارتفاع الحرارة بواسطة حاجز الضغط الجوي المرتفع نمط اوميغا  $\leftarrow$  (زيادة نشاط التيارات الهوائية الهابطة + زيادة كثافة الهواء السفلي + انخفاض الأوزون الستراتوسفيري)  $\leftarrow$  (زيادة انضغاط الهواء السفلي وارتفاع حرارته + زيادة الأوزون التروبوسفيري + زيادة شدة الاشعاع فوق البنفسجي)  $\leftarrow$  تعزيز كمية الحرارة الاضافية  $\leftarrow$  تعميق وتضخيم ارتفاع الحرارة الأولية.

الشكل التالي يمثل تصميم لمخطط مسار دورة التغذية المرتدة التي تجري داخل حلقة منظومة القبة الحرارية.



الشكل (6) : مخطط تمثيلي لحلقة التغذية المرتدة الموجبة ضمن إطار منظومة القبة الحرارية. المصدر الباحث.

## 3.1.3. العوامل الإشعاعية

تساهم عمليات الأثر الكيميائي الضوئي، في تكون وتطور موجات الحر وذلك على النحو التالي : أولاً - العمليات الإشعاعية المتنوعة، أثناء فصل الصيف يزداد طول ساعات النهار وتعامد الشمس على مدار السرطان وذلك يؤدي إلى تنامي كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض مروراً بطبقات الغلاف الجوي وهذا يحفز من العمليات الإشعاعية التي تعتبر المزود الحراري الأول للهواء الجوي، وهي المنظم الرئيسي لموجات الحر، لأن الغلاف الجوي وسطح الأرض يمتصان ويعكسان هذه الأشعة بنسب مختلفة، وبالتالي لديهما وسيلة احتفاظ بجزء من الحرارة الناتجة عن أشعة الشمس، وهما يشاركان في بناء وتكوين موجات الحر.

ثانياً - الأثر الكيميائي الضوئي، أحياناً يحدث حمل للنشاط الشمسي وهذا يُضعف من تكوّن غاز الأوزون الاستراتوسفيري ويؤدي إلى تناقص نسبة تركيزه وينتج عن ذلك انخفاض درجة حرارة طبقة الستراتوسفير وهذا يساهم في بناء المرتفعات الجوية العليا التي تتسبب هي أيضاً في تناقص الأوزون الستراتوسفيري وبالتالي يتمكن الإشعاع فوق البنفسجي من عبور طبقة الستراتوسفير والوصول إلى سطح الأرض، فيكون الهواء شديد الحرارة صيفاً وتشتد فترات نشاط المرتفعات الجوية العلوية التي تتشكل فوق شمال إفريقيا كموجة قصور ذاتي في الغلاف الجوي. موجات الضغط الجوي المرتفع العليا هي بيئة معروفة بانتهاء مستويات غاز الأوزون الستراتوسفيري وهذا يؤدي إلى تنامي كمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصل سطح الأرض [12]. وتعمل الطاقة الحرارية العالية التي تحملها الأشعة فوق البنفسجية على حدوث تسخين إضافي

لاذع يحرق أوراق وأغصان النبات الطرية، ويضر بالإنسان والحيوان والطيور، وهذه الحرارة شبيهة بحرارة فرن الميكروويف الذي يستخدم لتسخين الوجبات الغذائية.

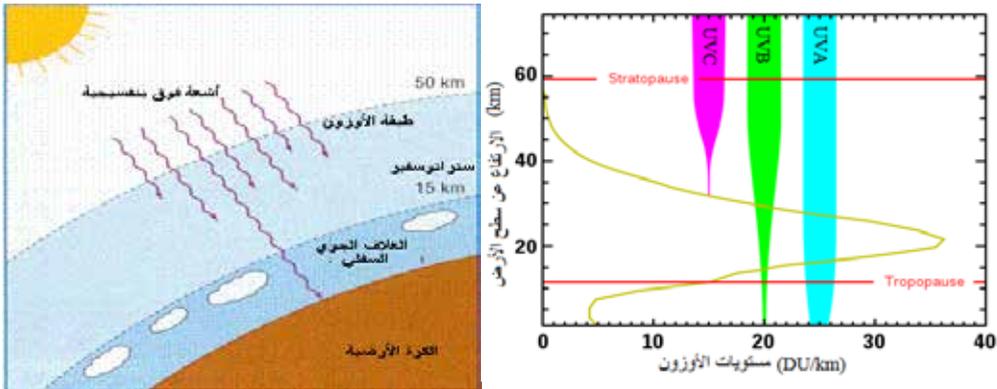
تشكل الأشعة فوق البنفسجية (UVR)، حوالي العُشر من مُجمل كثافة الأشعة القادمة من الشمس. ويتم حجبتها جزئياً بواسطة ذرع غاز الأوزون الستراتوسفيري، ومن الشائع تقسيمها إلى ثلاثة أصناف رئيسية :

الصف الأول، الأشعة فوق البنفسجية الطويلة (UV-A)، يتراوح طولها الموجي بين 315-400 نانومتر، وهي تمر بسهولة عبر الغلاف الجوي وتصل الأرض ولا خوف منها، لكنها تشكل خطراً منخفضاً على أنسجة الجلد.

الصف الثاني، الأشعة فوق البنفسجية المتوسطة (UV-B)، يتراوح طولها الموجي بين 280-315 نانومتر، ويصل جزء منها إلى سطح الأرض لأن الغلاف الجوي يحجبها جزئياً، وهي تشكل خطراً على أنسجة الجلد.

الصف الثالث، الأشعة فوق البنفسجية القصيرة (UV-C)، يتراوح طولها الموجي بين 100-280 نانومتر، وهي لا تصل إلى سطح الأرض لأن الغلاف الجوي يحجبها تماماً إلا في حالة نضوب غاز الأوزون الستراتوسفيري يحدث في حالة القبة

الحرارية، وهذا الصف يشكل خطراً كبيراً على الأنسجة الحية.



الشكل (7) : مقطع رأسي للتغير في مستوى نسبة تركيز الأوزون بطبقات الغلاف الجوي. ومدى قدرة أطيف الاشعاع فوق البنفسجي على اختراق طبقات الغلاف الجوي [13]، [14].

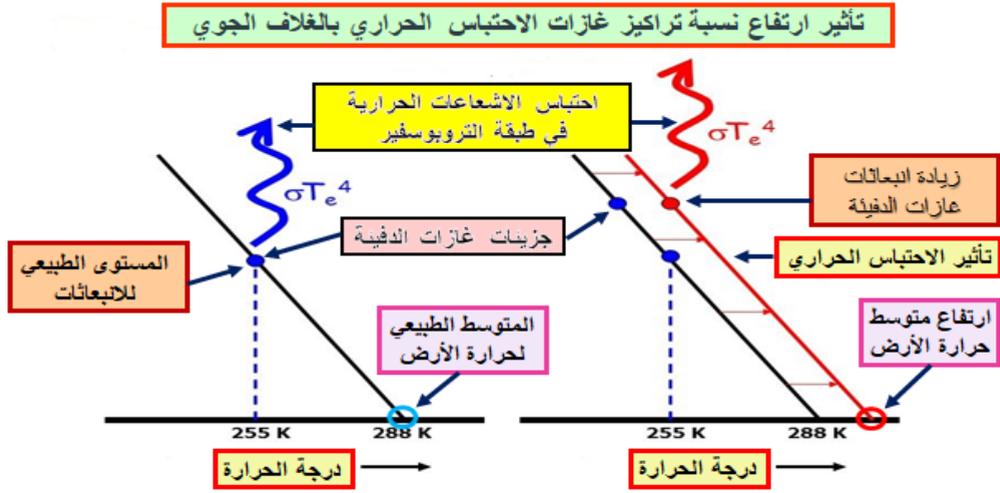
#### 4.1.3 مستجبات التغيرات المناخية

أ. الوضع الحالي لمستويات انبعاثات غازات الدفيئة :

وفقاً للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، استمرت تركيزات غازات الدفيئة المختلطة جيداً في الزيادة والتراكم بالغلاف الجوي خلال السنوات الأخيرة بشكل غير مسبوق، وبحلول نهاية عام 2019 تخطت حاجز 410 جزء في المليون لثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ )، و 1866 جزء في المليون للميثان ( $CH_4$ )، و 332 جزء في المليون لأكسيد النيتروز ( $N_2O$ ). نسبياً منذ عام 1750، تجاوزت الزيادات في تركيزات ثاني أكسيد الكربون (47%)، والميثان (156%)، والزيادات في أكسيد النيتروز (23%)، [15].

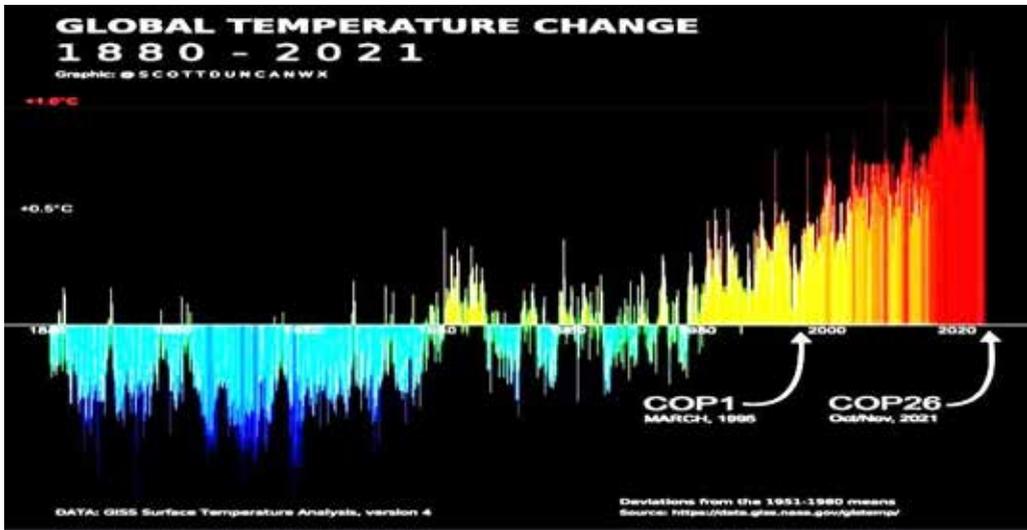
ويخشى علماء المناخ من زيادة تكرار ظاهرة القبة الحرارية نتيجة تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري التي بدأت تتفاقم بسبب وجود بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز والأوزون في الغلاف الجوي التي تمتص الأشعة تحت الحمراء وتعيد انبعاثها، لذا فإن احتمال هروب الإشعاعات من السطح والجو السفلي إلى الفضاء أقل من احتمال هروب الإشعاعات الحرارية من الغلاف الجوي العلوي، ويترتب على ذلك حدوث تعزيز للاحتباس الحراري بشكل يفوق المعدل الطبيعي ويساهم ذلك في حدوث المزيد من الدفاء الذي قد يؤدي إلى المزيد من حالات القبة الحرارية ومن خلال الشكل (8).

يمكن تصور تأثير غازات الدفيئة على حبس الاشعاعات الحرارية بالجزء السفلي من طبقة التروبوسفير وتأثيرها على ارتفاع متوسط حرارة الأرض.



الشكل (8) : ارتفاع متوسط حرارة الأرض بسبب تراكم غازات الدفيئة بالغلاف الجوي، الباحث.

الشكل التالي يبين انحراف المقدار السنوي لمتوسط حرارة كوكب الأرض المرصود خلال الفترة الممتدة من سنة 1880 إلى سنة 2021، مقارنة بمقدار المتوسط العام المرصود خلال الفترة 1951-1980. يبين الشكل أيضاً كيف كان مقدار متوسط حرارة الأرض أثناء الدورة الأولى لمؤتمر أطراف اتفاقية الأمم المتحدة بشأن تغير المناخ (COP1)، التي انعقدت خلال شهر مارس من العام 1995 مقارنة بمقدار متوسط حرارة الأرض أثناء الدورة السادسة والعشرين لمؤتمر أطراف اتفاقية الأمم المتحدة بشأن تغير المناخ (COP26)، التي انعقدت خلال شهري أكتوبر ونوفمبر 2021، [16].



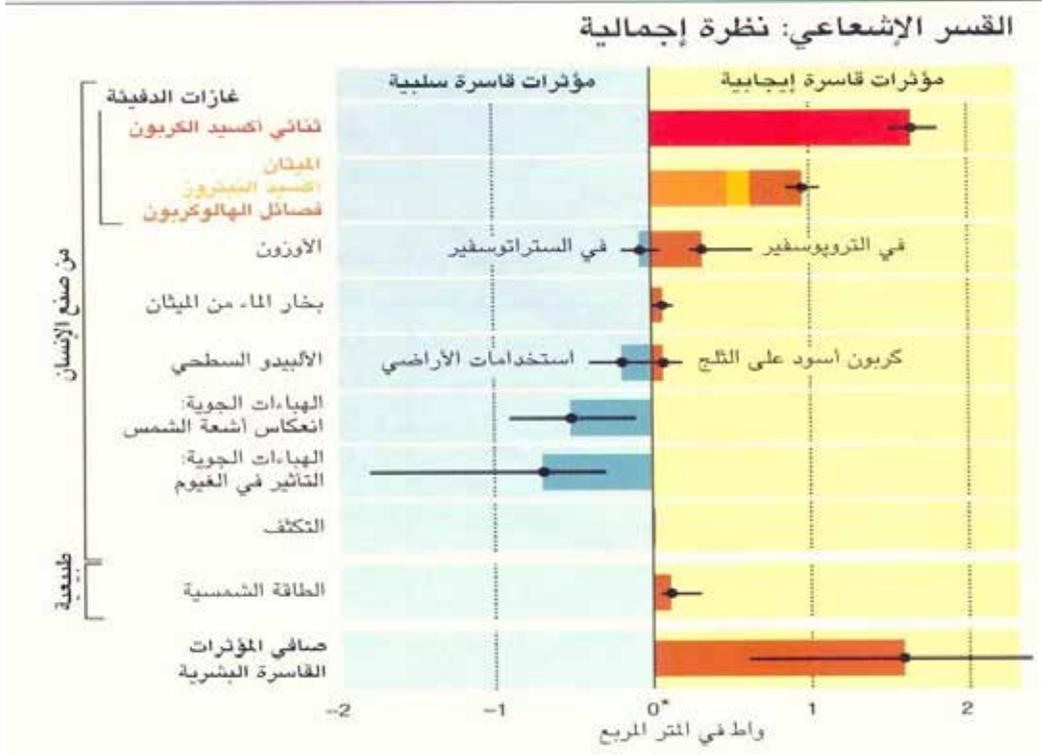
الشكل (9) : درجة حرارة كوكب الأرض خلال الفترة 1880 - 2021.

ب. الوضع الحالي لمستويات التأثير الإشعاعي :

التأثير الإشعاعي (Radiative forcing)، هو الاسم الذي تم إطلاقه على تأثير غازات الدفيئة في تغيير ميزان الطاقة

للنظام المناخي الأرضي.

التأثير الإشعاعي هو التغيير الطارئ في الإشعاع الرأسي، أي التغيير في الدفق الإشعاعي الهابط ناقصاً الدفق الإشعاعي الصاعد (معبراً عنه بوحدات واط/ م<sup>2</sup>)، في طبقة التروبوز أو عند قمة الغلاف الجوي بسبب تغير في القوة الخارجية الدافعة للتغير المناخي، مثل التغيير في تركيز ثاني أكسيد الكربون أو في إجمالي الإشعاع الشمسي. ويعرف التأثير الإشعاعي أيضاً بأنه التغير المرتبط بعام 1750، التأثير الإشعاعي، هو التغير في متوسط صافي الإشعاع عند أعلى التروبوسفير، الذي ينشأ بسبب حدوث تغير في الإشعاع الشمسي (الإشعاع قصير الموجة)، أو في الإشعاع الأرضي (الإشعاع تحت الأحمر). أدى التأثير الإشعاعي الذي يسببه الإنسان بمقدار 2.72 واط/ م<sup>2</sup> في عام 2019 مقارنةً بـ 1750 إلى ارتفاع درجة حرارة النظام المناخي. [15].



الشكل (10) : تأثير عوامل القسر الإشعاعي الطبيعي والبشري المنشأ، [17].

### 2.3. التوزيع السنوي لتكرار موجات الحر

أوضحت التصنيفات التي أجريت على سلسلة البيانات المناخية لدرجة الحرارة القصوى [18]، أن مناطق شمال غرب ليبيا تأثرت بعدد ثمانية عشر موجة حرارية طويلة الأمد تشكلت كحالات نمطية لظاهرة القبة الحرارية خلال الفترة من 1978/1/1 إلى 2021/12/31، مع وجود تباين من سنة لأخرى [19]. يتضمن الجدول (1)، موجات القبة الحرارية طويلة الأمد التي تجاوزت مدتها ثمانية أيام متتالية ولم يتضمن الجدول الموجات الحرارية قصيرة ومتوسطة الأمد التي تقل مدتها عن ثمانية أيام متتالية نظراً لأن الدراسة ركزت على الموجات الطويلة التي تتميز بشدة تأثيراتها البيئية.

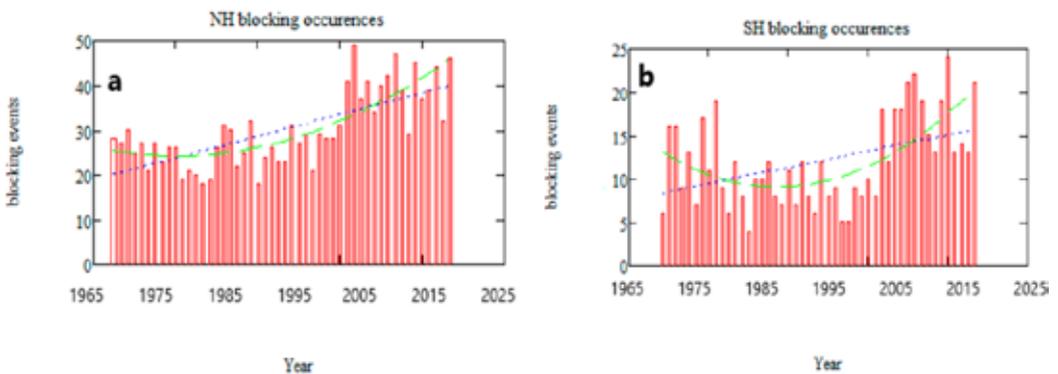
الجدول (1) : عدد موجات القبة الحرارية على مناطق وسط وشمال غرب ليبيا، الباحث،

لفترات الزمنية لحالات القبة الحرارية المؤثرة على شمال غرب ليبيا خلال الفترة 1978 - 2021					
تاريخ الموجة	عدد الأيام	$-\Delta T = T$	تاريخ الموجة	عدد الأيام	$-\Delta T = T$
4/7/1981 - 25/6	10	12 درجة مئوية	28/6 - 10/7/2002	13	12 درجة مئوية
27/6/1982 - 18	10	11 درجة مئوية	26/6 - 4/7/2003	9	13 درجة مئوية
8/8/1982 - 20/7	10	10 درجة مئوية	25/7 - 3/8/2005	10	10 درجة مئوية
31/8/1983 - 13/7	50	13 درجة مئوية	20/6 - 1/7/2006	12	10 درجة مئوية
26/7/1987 - 17	10	10 درجة مئوية	13 - 27/6/2007	15	13 درجة مئوية
13/7/1988 - 30/6	12	13 درجة مئوية	4 - 15/7/2008	12	13 درجة مئوية
14/9/1989 - 4	11	11 درجة مئوية	5 - 13/7/2012	10	10 درجة مئوية
19/6/1997 - 11	9	12 درجة مئوية	19/6 - 4/7/2021	16	16 درجة مئوية
12/6/1999 - 31/5	13	13 درجة مئوية	31/7 - 14/8/2021	15	10 درجة مئوية

وهنا تجدر الإشارة إلى بعض الاستنتاجات التي توصلت إليها بعض الدراسات المناخية التي غطت جوانب عديد لحالات القبة الحرارية بالنظام المناخي الشامل للكرة الأرضية :

منذ أواخر القرن العشرين تناولت العديد من الدراسات المناخية السلوك المناخي لأنظمة الضغط الجوي الحاجزة على المدى الزمني الطويل والنطاق المساحي الواسع الشامل للكرة الأرضية، في كل من نصفي الكرة الأرضية الشمالي (NH) والجنوبي (SH)، كما يبدو بالشكل (11)، دلت النتائج على وجود اتجاه عام طويل الأمد لسلسلة التكرار السنوي لأنظمة الضغطية الحاجزة وهو اتجاهاً تصاعدياً ذو دلالة إحصائية ومتوافقاً مع الاتجاه العام للاحتراق، مع وجود اختلافاً وتبايناً بين العقود في عدد الحالات [20].

ووفقاً لنتائج المحاكاة العديدة للدورة العامة للغلاف الجوي، تم تفسير الاتجاهات الملحوظة فيزيائياً باستخدام النموذج المفاهيمي لأنظمة الضغط الجوي الحاجزة [21]، اقترح النموذج حدوث زيادة في فترة حياة الحواجز الضغطية الجوية بطبقة التروبوسفير حيث أدى الاحتراق العالمي بسبب تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى زيادة عمر المدة الإجمالية لعمليات الحجز الضغطية سنوياً. وقامت بعض الدراسات أيضاً بفحص التوقعات الخاصة بالحدوث المستقبلي لأنظمة الضغط الجوي الحاجزة، وتوصلت إلى نتائج تفيد بأن أحداث الحجز الضغطية قد تزداد في عالم أكثر دفئاً [22].

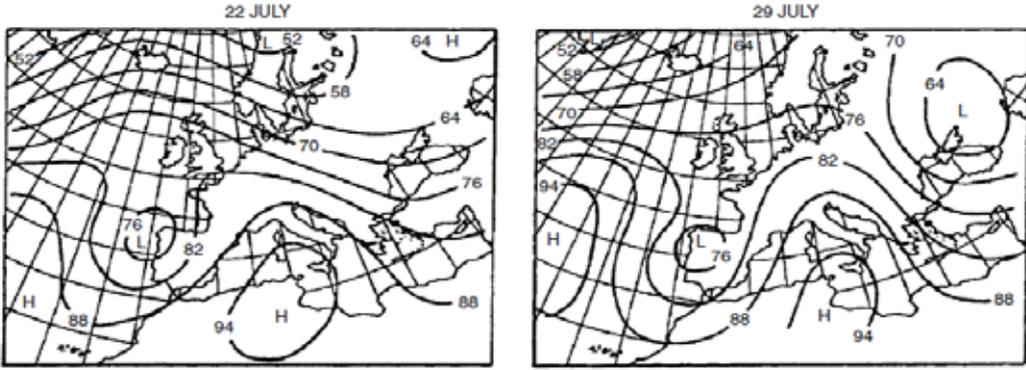


الشكل (11) : يوضح الشكل الاتجاه العام لأنظمة الضغط الجوي العالي الحاجزة (نمط حاجز أوميغا  $(\Omega)$ ) في نصفي الكرة الأرضية الشمالي (أ) NH، والجنوبي (ب) SH، الخط الأزرق المتقطع يمثل الاتجاه العام، في حين أن الخط الأخضر المتقطع يمثل ملاءمة تربيعية، بشكل عام. يظهر الشكل اتجاهاً تصاعدياً، مع وجود تباين بين سنة وأخرى [23].

## 1.2.3. بعض الحالات النمطية

للتعرف على حالة الوضع الجوي التي كانت سائدة أثناء تأثر منطقة شمال غرب ليبيا بظاهرة القبّة الحرارية، تم اختيار بعض الحالات النمطية التي أدت إلى اندلاع موجة حر طويلة الأمد :

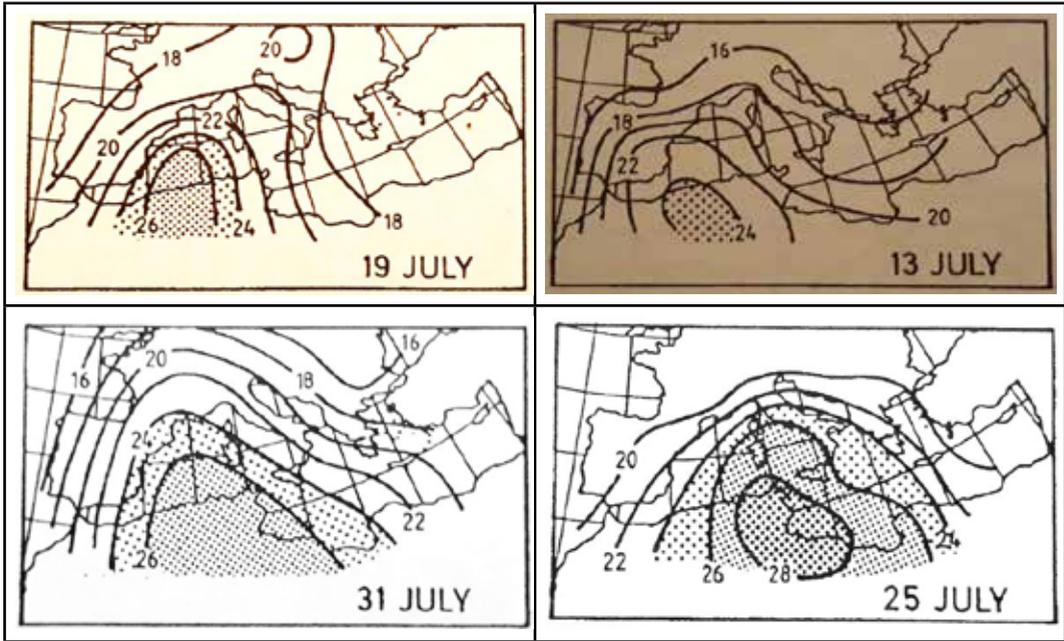
الحالة الأولى : موجة نمطية مرتبطة بظاهرة القبّة الحرارية. حدثت هذه الموجة خلال الفترة من 7/13 إلى 1983/8/31، وهي ليست الأطول والأكثر دفناً فقط، بل أيضاً كانت الأكثر ضرراً وتكلفة. مع ملاحظة حدوث انخفاض مؤقت قصير في بعض الأحيان نتيجة تأثير نسيم البحر إلا إن الحرارة سرعان ما ترتفع بشكل ملحوظ، للتأكد من الآليات التي أدت إلى بداية نشأة وتكون وتطور الموجة تم إعادة تحليل الخرائط الصادرة عن أريشف المركز الوطني الأمريكي لأبحاث الغلاف الجوي (NCAR)، وشبكة المراكز الوطنية الأمريكية للتوقعات البيئية (NCEP)، الشكل رقم (12) يبين وقوع الأجواء الليبية تحت تأثير حاجز الضغط الجوي العالي نمط أوميغا الذي ظهر على المستوى الضغطي 500 هـ. ب، وكان يتحرك ببطء شديد من الغرب إلى الشرق، عادةً يرتبط الهواء الحار بالتدفق الأفقي للكتل الهوائية الساخنة القادمة من وسط الصحراء الكبرى، مدعومة بالتدفق الرأسي للتيارات الهوائية الهابطة من أعلى، تسبب هذا الوضع في تشكل حالة القبّة الحرارية.



الشكل (12) : تمركز حاجز الضغط العالي نمط أوميغا على شمال أفريقيا عند مستوى 500 هـ بسكال، أدى هذا الوضع إلى اندلاع موجة حر طويلة الأمد خلال شهر يوليو 1983، [23].

في هذا التكوين، نلاحظ أن تمركز الحد الأقصى للضغط الجوي العلوي على وسط وغرب ليبيا عزز من تفاقم حالة الهواء الساخن وذلك من خلال الجمع بين التأثير المشترك لحاجز الضغط العالي نمط أوميغا على المستوى الضغطي 500 هـ. ب. واندماج مع النظام الأوسع للضغط العالي الأزوري السطحي. ووفقاً لرأي لكولاسينو، وكونتي، [23]، يمكن استنتاج أن هذه الموجة الحرارية تشكلت بسبب التدفق الهوائي الهابط، المرتبط بتذبذبات خطية من التيار الهوائي النفاث شبه مداري (Subtropical Jet Stream). يبين الشكل (12) تحليل لآلية تطور الموجة طويلة الأمد لحالة يوليو 1983، في هذا النوع من الأحداث، على أقصى شمال غرب ليبيا وعند المستوى الضغطي 850 هـ. ب.

تميز دوران الهواء الجوي بنمط أوميكا، ساعد هذا الوضع في استمرار تدفق الهواء الهابط إلى السطح حتى غطى المنطقة بالكامل، التدفق الرأسي على هذا المستوى كان مدعوماً بالتدفق الرأسي للهوائية الدافئة الهابط من مستوى 500 هـ. ب. ما أدى إلى زيادة في درجة حرارة الهواء. إذ وبشكل متسارع بدأ المرتفع الجوي العلوي بالتشكل على جنوب تونس ثم وبتدريج تحرك شرقاً ليتمركز فوق شمال غرب ليبيا، عمل هذا الوضع على تسخين الهواء في طبقات الجو السفلى مؤدياً إلى اندلاع موجة القبّة الحرارية بسبب عملية ديناميكية مسمات بالتسخين تحت الضغط، عن طريق ارتداد التيارات الهوائية الصاعدة من سطح الأرض بالحواف الخارجية للقبّة، وانبعثت «تيارات هابطة» بوسط القبّة مسببة ارتفاع حاد وكبير في درجات الحرارة. ونظراً لكون الكتلة جافة الخصائص في ظل الظروف الموجودة مسبقاً، فقد زاد ذلك من خطر بقاء مناطق شمال غرب ليبيا تحت حصار هذه الكتلة الحارة لفترة طويلة جداً، لتحل موجة جفاف شديدة بالمنطقة.



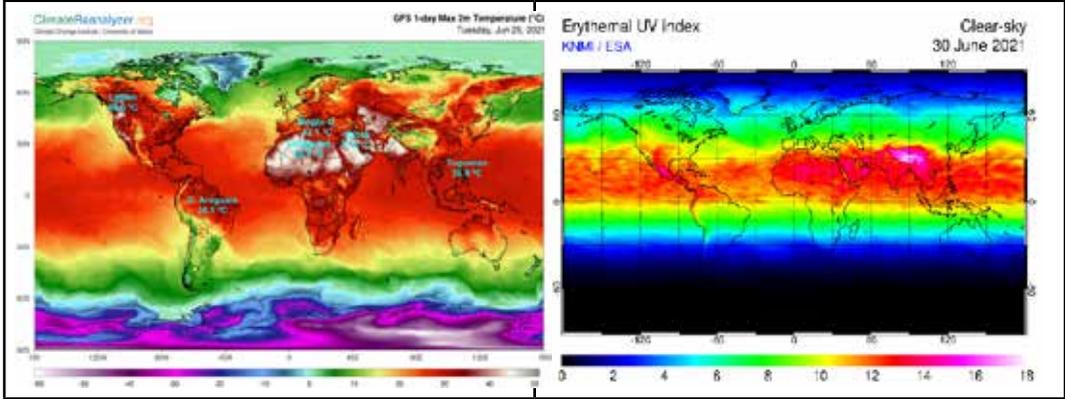
الشكل (13): آلية تطور الموجة طويلة الأمد للحالة التي حدثت في يوليو 1983 على شمال غرب ليبيا. يبين الشكل خطوط تساوي درجات الحرارة بالدرجة المئوية على المستوى الضغطي 850 هـ ب. [23].

من الشكل (13) على المستوى الضغطي 850 هـ ب. (5000 قدم، 1500 متر فوق مستوى سطح البحر)، نلاحظ كيف بدأ نظام حاجز أوميغا ( $\Omega$ ) يتشكل على شمال غرب ليبيا وكيف بدأت درجة الحرارة ترتفع تدريجياً من يوم 13 إلى يوم 31 يوليو، وذلك بسبب استمرار هبوط الهواء وانضغاطه على المنطقة ثم استمرت الموجة إلى نهاية شهر أغسطس. يهبط الهواء الحار من مستوى 500 هـ ب. إلى مستوى 850 هـ ب. ثم إلى سطح الأرض وهنا تصل الموجة الحارة إلى قمة تأثيرها، هذه الموجات الطويلة تنتظم دائماً على شكل طرود هوائية متتالية في حال النشاط الكبير لحاجز أوميغا بمعنى أنه كلما ازداد تدفق التيارات الهابطة كلما تم إجبار المزيد من تلك الطرود على النزول للسطح وبالتالي بناء موجات حر. حيث أن هبوط الهواء ذاتياً إلى أسفل إلى ضغوط أعلى يؤدي إلى انضغاطه ويسبب تأثير حاجز أوميغا والقبّة لا يحدث اختلاط بين الهواء الهابط والوسط المحيط، في هذا الوضع الهواء الهابط لا يكتسب أو يفقد حرارة أثناء العملية الناتجة لأنه يستمد الطاقة من طاقته الداخلية وبذلك تزداد درجة حرارته. وبواسطة تطبيق معادلة بواسون كانت درجة الحرارة الجهدية خلال يوم 30 أغسطس لهذه الحالة على النحو التالي، على المستوى الضغطي (500 hpa)، فوق منطقة شمال غرب ليبيا كانت درجة الحرارة ( $268 \text{ }^\circ\text{K}$ )، وبالقرب من السطح على المستوى الضغطي (1000 hpa) كانت درجة الحرارة الجهدية ( $327 \text{ }^\circ\text{K} = 54 \text{ }^\circ\text{C}$ ). وهذا يبين درجة الحرارة التي تكتسبها الطرود الهوائية حينما يتم إجبارها اديباتيكياً (أي بدون ان تبادل الحرارة مع محيطها) إلى الهبوط إلى مستوى الضغط الجوي المرجعي القياسي الذي هو عادة (1000 hpa)، وذلك تحت تأثير حاجز أوميكا.

وبواسطة معادلة هاييسوميترك تم حسب سمك الطبقة الهوائية بين المستويين الضغطين 1000 هـ ب. و500 هـ ب. تحت تأثير الحالة السائدة كانت متوسط درجة حرارة هذه الطبقة يساوي ( $295 \text{ }^\circ\text{K}$ )، وبالتالي كان سمك الطبقة يساوي  $Z\Delta 5988.5 \text{ (m)}$ ، وهذا التباين بين الارتفاعين الجديين للمستويين الضغطين يتناسب مع معدل درجة الحرارة للطبقة المحصورة بينهم بشكل طردي مع درجة الحرارة الجهدية، الأمر الذي يؤكد دور التأثير الحراري الكامن داخل فقاعة القبّة الحرارية المهيمنة على المنطقة خلال فترة الموجة، حيث تسود الحركة الهابطة بسبب الهبوط الجبري Forced

down lift. تحت تأثير حاجز أوميكا ي كانت الحركة الرأسية الهابطة للطروود الهوائية تتسم بسرعة كافية لعدم حدوث تبادل الطاقة بين القبّة الحرارية والجو المحيط بها، وتتعاقب وتواصل الحركة الهابطة تزداد سخونة الأجواء الواقعة داخل حاجز القبّة الحرارية.

الحالة الثانية: خلال الفترة من 19 يونيو إلى 4 يوليو 2021، تأثرت مناطق شمال غرب ليبيا بأجواء حرارية لاهبية ومرهقة نتيجة تأثرها بظاهرة القبّة الحرارية. من خلال الشكل (14)، يمكن ملاحظة ارتفاع شدة الحرارة إلى جانب شدة الأشعاع فوق البنفسجي أثناء الموجة.



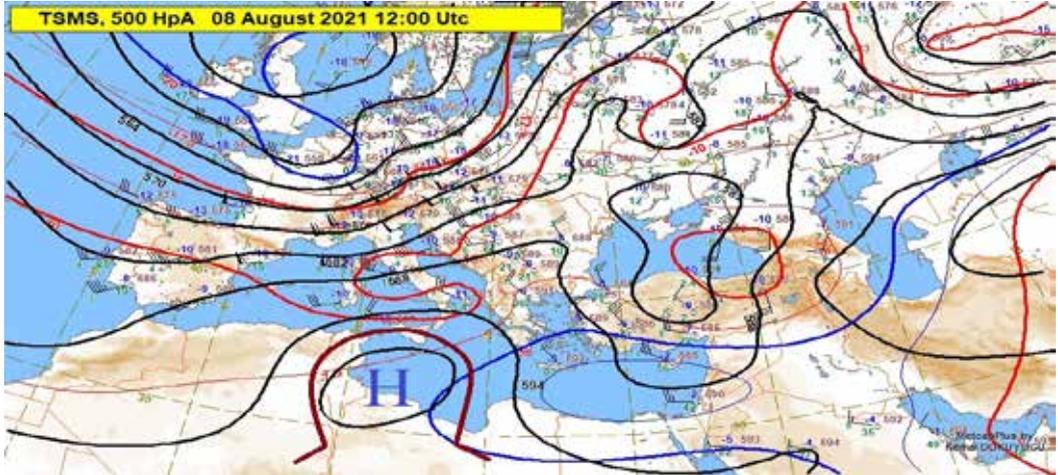
الشكل (14) : على اليمين التوزيع المكاني لدرجة الحرارة القصوى خلال يوم 29 يونيو 2021، على اليسار مؤشر شدة الأشعاع الفوق بنفسجي ليوم 30 يونيو 2021، 25.

تحت تأثير هذه الظروف تكونت كتلة من الضغط الجوي العالي نمط أوميغا على شمال افريقيا نظراً لتموج نطاق التيار الهوائي النفاث وكبر سعته الموجية ابتعاد مساره عن نطاقه الاعتيادي وازاحة نطاقه شمالاً وأصبح بطي الحركة على هيئة نمط طولي Meridional Pattern، سمح هذا الوضع للقبّة الحرارية بالتشكل والبقاء في مكانها لمدة 16 يوماً متتالياً، ونتج عن ذلك تعزيز لتأثير ظاهرة القبّة الحرارية، تسببت هذه الموجة في تضرر المحاصيل الزراعية وحدوث عجز في إمدادات الطاقة الكهربائية بسبب مستويات الاستهلاك العالية لأغراض توفير التكييف وغيرها، ناهيك عن الأضرار الصحية والبيئية والاقتصادية التي تحتاج للحصر والتحليل ووضع الخطط اللازمة لتفادي تداعياتها والتقليل منها أضرارها.

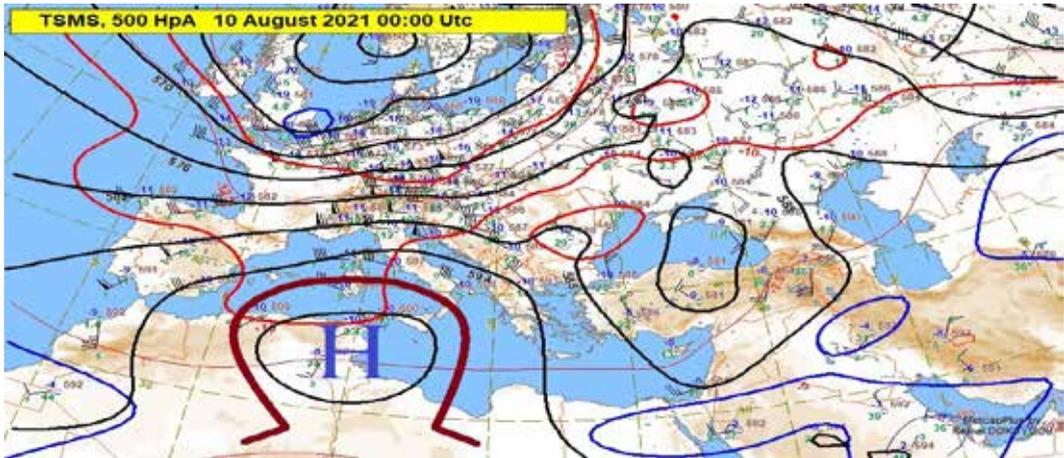
الحالة الثالث: خلال الفترة من 31 يوليو إلى 14 أغسطس 2021، تأثرت مناطق شمال غرب ليبيا بظاهرة القبّة الحرارية نتيجة لوقوعها تحت تأثير النظام الحاجز للضغط الجوي المرتفع (نمط حاجز أوميغا ( $\Omega$ )) على المستوى الضغطي 500 هـ. ب. عزز هذا الوضع من آلية التدفق الرأسي للتيارات الهوائية الهابطة التي استمرت لعدة أيام وتسببت في انضغاط الهواء السفلي الأمر الذي ساعد في تفاقم سخونة الهواء، ترافق ذلك مع حدوث انخفاض في نسبة تركيز غاز الأوزون الستراتوسفيري وفقاً لما تم التطرق إليه بالفقرة (3. 1. 2)، الأمر الذي نتج عنه وصول كمية كبيرة من الأشعاع الشمسي فوق البنفسجي الذي عزز من شعور الناس بشدة الحر اللاذع نتيجة لاقتران الاحساس بالضربات القصير الموجة للأشعاع الفوق بنفسجي، وكل ذلك كان سبباً في الشعور بشدة درجة الحرارة الحسية التي تفوق درجة الحرارة المرصودة. وبسبب حاجز أوميغا  $\Omega$  الذي غطى سماء المنطقة حدث انحباس للهواء داخل القبّة الحرارية طول فترة الموجة وقد زراد ذلك من تردي جودة الهواء بسبب عدم تجده، وكان لهذا الوضع تأثيرات وأضرار صحية وبيئية واقتصادية.

على المستوى الضغطي (500 hpa)، خلال يوم 10 أغسطس 2021 فوق منطقة شمال غرب ليبيا كانت درجة الحرارة ( $266^{\circ}\text{K}$ )، وبواسطة تطبيق معادلة بواسون كانت درجة الحرارة الجهدية على النحو التالي، على المستوى الضغطي (1000 hpa) كانت درجة الحرارة الجهدية ( $324^{\circ}\text{K} = 51^{\circ}\text{C}$ ). وبناء على درجات الحرارة الجهدية التي تم حسابها للحالات السابقة نستخلص أن تمركز حاجز أوميغا على المستوى الضغطي (500 hpa)، ساهم في عملية إجبار الكتل الهوائية على الهبوط والانضغاط وارتفاع درجة حرارته الجهدية، ومع استمرار تمركز حاجز أوميكا على المنطقة لمدة

تجاوزت 8 أيام متتالية أستمريت عملية هبوط الهواء وانضغاطه وارتفاع طاقته الحرارية. تحت تأثير الوضع الجوي السائد حالة القبة الحرارية كان متوسط درجة حرارة هذه الطبقة يساوي ( $293\text{K}^\circ$ ) ، وبالتالي كان سمك الطبقة الهوائية بين المستويين الضغطين 1000 هـ. ب. و500 هـ. ب. يساوي ( $\Delta Z = m5948$ ). وهذا التباين بين الارتفاعين الجديين للمستويين الضغطين يتناسب مع معدل درجة الحرارة للطبقة المحصورة بينهم بشكل طردي مع درجة الحرارة الجهدية، الأمر الذي يؤكد دور التأثير الحراري الكامن داخل فقاعة القبة الحرارية المهيمنة على المنطقة خلال فترة الموجة.



الشكل (15 أ) : وقوع مناطق شمال غرب ليبيا تحت تأثير الضغط الجوي المرتفع (نمط حاجز أوميغا  $(\Omega)$ ) على المستوى الضغطي 500 هـ. ب. خلال يوم 2021/8/8، [26].



الشكل (15 ب) : وقوع مناطق شمال غرب ليبيا تحت تأثير الضغط الجوي المرتفع (نمط حاجز أوميغا  $(\Omega)$ ) على المستوى الضغطي 500 هـ. ب. خلال يوم 2021/8/10، [26].

### 3.3. التأثيرات البيئية

تؤثر شدة وتكرار ظاهرة القباب الحرارية على اقتصاد الدول بصورة فجائية ومتعددة، بداية من الآثار الرئيسية المتعلقة بالأمن البيئي، وصولاً إلى التأثيرات المباشرة على الصحة والمياه والطاقة والزراعة والاقتصاد، لو تأملنا ارتفاع درجات الحرارة الذي تعرضت له ليبيا خلال شهري يونيو ويوليو 2021، وكيف أثر ذلك على معدل استهلاك الكهرباء وأدى إلى

تكرار انقطاعها، حيث يتسبب الارتفاع الحراري الشديد في زيادة استهلاك الطاقة الكهربائية بمعدل يتراوح بين 150-200 ميغاوات عندما ترتفع الحرارة درجة مئوية واحدة [27]. من أهم تأثيرات القبة الحرارية على صحة الانسان، التسبب في وصول الأشعة فوق البنفسجية إلى سطح الأرض، طيباً يتسبب التعرض المتواصل لهذه الأشعة في حدوث عطب بالششرة الوراثية ويؤدي إلى الإصابة بسرطان الجلد. وإعتام عدسة العين، لأهمية هذا الأمر، اعتمدت منظمة الصحة العالمية مقياس للإشعاع الشمسي فوق البنفسجي (UV-Index)، وهو مؤشر عديم الوحدات يعبر عن مستوى خطورة التعرض للأشعة فوق البنفسجية، يصنف هذا المقياس درجة خطورة التعرض إلى ثلاثة مستويات :

المستوى (2-1): لا خوف من التعرض لأشعة الشمس. المستوى (3-7): يجب محاولة البقاء في الظل خلال فترة الظهيرة. ارتداء ملابس كاملة قدر الإمكان. استخدام مرهم واقي. وضع نظارات شمسية على العينين وقبعة على الرأس. المستوى (8 - 11): الالتزام التام والصارم بالوقاية الخاصة، لا يجب التعرض لأشعة الشمس إطلاقاً بدون وسائل الوقاية الموضحة أعلاه. كما يجب الامتناع عن البقاء خارجاً أثناء ساعات الظهيرة.

ومن أهم تأثيرات القبة الحرارية على الزراعة، احتراق أغصان وأوراق الأشجار والخضروات وفساد الغلال والثمار قبل نضجها بسبب الأشعة فوق البنفسجية. أثبتت التجارب أن زيادة تعرض المحاصيل الزراعية لهذه الأشعة، يستتبعها تديناً في كمية وجودة المحصول بسبب حساسية الفصائل النباتية للأشعة فوق البنفسجية.

تأثيرات على الأحياء البحرية والمائية، زيادة الأشعة فوق البنفسجية تضر بالهائمات (العوالق) البحرية النباتية والحيوانية وصغار الأسماك ويرقات سرطان البحر والجمبري.

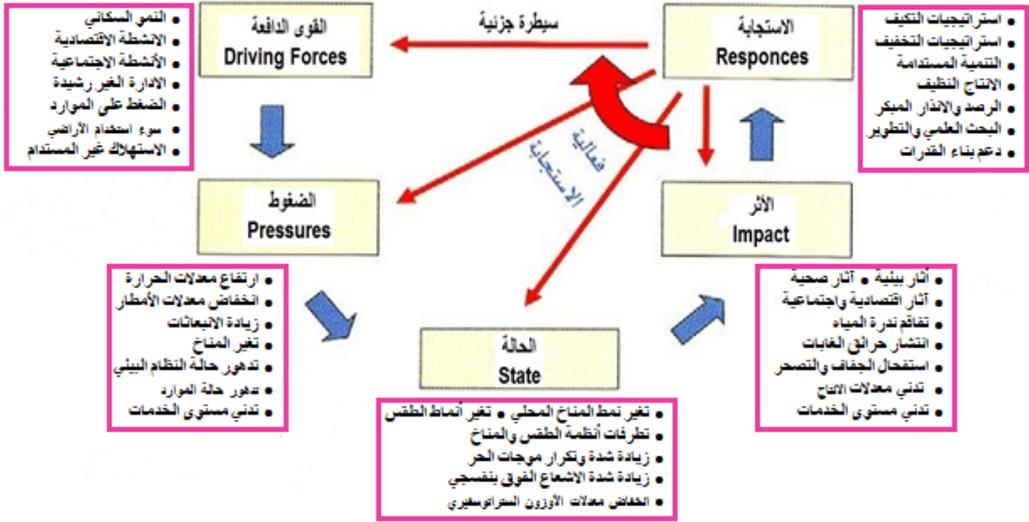
تأثير القبة الحرارية على جودة الهواء، تلوث الهواء هو خامس عامل مسبب للوفيات في جميع أنحاء العالم، وهو المسؤول عن المزيد من الأمراض التنفسية، والحمول البدني، والعديد من الإصابات بمرض السرطان. وفي كل عام يموت المزيد من الناس بسبب تلوث الهواء [28]، ووفقاً لدراسات منظمة الصحة العالمية، يبقى الهواء محبوس تحت القبة الحرارية طوال فترة الموجة وبالتالي تصبح المخلوقات والكائنات التي تعيش بالمنطقة المتأثرة تتنفس الهواء الغير متجدد أي تجتر الهواء المستهلك، وذلك يتسبب في العديد من الأضرار الصحية.

#### 4.3.4 الاستنتاجات

نظراً لارتباط ظاهرة القبة الحرارية بجملة من الآثار السلبية بيئياً وصحياً واقتصادياً، تتمثل أهم الاستنتاجات التي تؤكد عليها الورقة في أهمية دراسة وتحليل الظاهرة وتقييم التداعيات والآثار السلبية التي تتسبب فيها وذلك وفق منهجية تتناسب مع ترتيب سلسلة مراحل تطور خطورة الظاهرة إلى جانب ترتيب مراحل التدخل العلاجية للتقليل من حدة تلك التداعيات والآثار وتجنب تفاقمها.

وعلى هذا الأساس تقترح الورقة تطبيق نموذج إطار التقييم المتكامل للأثر البيئي (DPSIR-Framework)، بناء على تحليل العلاقات المتبادلة بين الأنشطة البشرية، والظواهر البيئية، والاستجابات المجتمعية، ووفقاً للوكالة الأوروبية للبيئة فإن التقييم البيئي المتكامل، يعني مجموعة من العمليات المتداخلة المتعددة (Interdisciplinary)، تستخدم للتعرف على، وتحليل، وتقييم العمليات الطبيعية والنشاطات البشرية وما يتم بينهما من تفاعل يحدد نوعية وحالة البيئة الأتية والمستقبلية وحالة الموارد زمانياً ومكانياً ويؤدي إلى بلورة السياسات والاستراتيجيات البيئية وسبل تطبيقها [29]. الضغوط، والحالة الراهنة، والأثر، والاستجابة، هي مؤشرات يمثل كل منها طور مرحلي من مراحل تطور الدورة الكاملة للمشكلة البيئية، ويتم التعامل معها وفقاً للترتيب الذي ينص عليه نموذج إطار DPSIR، الشكل التالي يحدد نموذج مؤشرات تطور حالة القبة الحرارية بناءً على التشخيص الذي تناولته الورقة.

بشكل عام كلما كانت الاستجابة في اتجاه القوى الدافعة كلما كانت أكثر فعالية. مثلاً عندما تكون الاستجابة موجّهة نحو الجزء الخاص بالتأثيرات ستكون أقل فعالية وأقل استدامة من الاستجابة الموجهة نحو الجزء الخاص بالضغوط، وستكون في الحالة الأولى بمثابة حل لظواهر المشكلة بدلاً من حل لجذور المشكلة. الشكل (17)، يبين ترتيب مراحل التدخل العلاجية للتقليل من حدة تلك التداعيات والآثار، ويبين الشكل أيضاً أن أنماط الاستجابة التي يتم إقرارها يجب ان يتم توجيهها وفق النسق التالي، المنع والتصدي لمعالجة القوى الدافعة، التخفيف لمعالجة الضغوط، الاستصلاح لمعالجة الحالة، والتكيف لمعالجة الآثار.



الشكل (16) : ملخص مؤشرات تطور حالة القبة الحرارية ضمن سلسلة الأسباب والآثار والاستجابات الممكنة استناداً إلى مخرجات نموذج إطار التقييم المتكامل للأثر البيئي DPSIR، المصدر: الباحث.

وفيما يلي ملخص التقييم المبني لحالات القبة الحرارية التي تعرضت لها مناطق شمال غرب ليبيا :

### 1.4.3.1 أولاً - الدوافع (Derivers) ،

أدى النمو الاقتصادي بليبيا إلى حدوث زيادة في الكثافة السكانية، وعلى الرغم من أن الزيادة السكانية يفترض أن تعود بفوائد اقتصادية، إلا أنها وضعت أيضاً ضغوطاً على الموارد الطبيعية والبيئية التي تتسم بالهشاشة والحساسية أصلاً، نشأت تلك الدوافع بسبب زيادة الطلب على الغذاء والمياه والطاقة واستخدامات الأراضي والمباني ووسائل النقل وغيرها، ما أدى إلى زيادة انبعاثات غازات الدفيئة السبب الرئيسي في ظاهرة الاحتباس الحراري وما نتج عنها من آثار سلبية. هذه العوامل مثلت جذور المشكلة، وتسببت في تولد ضغوطاً على النظام البيئي المحلي ونمط المناخ السائد.

### 2.4.3. ثانياً - الضغوط (Pressures) ،

تُفسر الضغوطات على أنها الأنشطة البشرية التي تؤدي إلى حدوث إجهاد مباشر ناتج عن كل ما له علاقة بالأنشطة البشرية. يؤدي تغير المناخ إلى تفاقم موجات الحر التي تساهم في تعزيز تأثير الاحتباس الحراري، انخفاض معدلات الأمطار، زيادة موجات الجفاف، انخفاض توفر موارد المياه العذبة وزيادة مخاطر تطرفات الطقس، زيادة الانبعاثات، تدهور حالة النظام البيئي وحالة الموارد، وتدني مستوى الخدمات.

### 3.4.3. ثالثاً - الوضع القائم، الحالة (State) ،

تؤدي الضغوط التي تتسبب فيها نشاطات السكان إلى حدوث تغيير حتمي في جودة الهواء وهذا التغيير يتسبب في تدهور نوعية المناخ المحلي، وتغيير أنماط الطقس السائدة، زيادة حدة تطرفات الطقس، زيادة شدة وتكرار موجات الحر، ظهور حالة حاجز الضغط العالي نمط أوميغا، زيادة كمية وشدة الإشعاع فوق بنفسجي الواصل إلى سطح الأرض، انخفاض معدلات الأوزون الستراتوسفيري، وزيادة الأوزون التروبوسفيري، تضرر الغطاء النباتي والمحاصيل الزراعية.

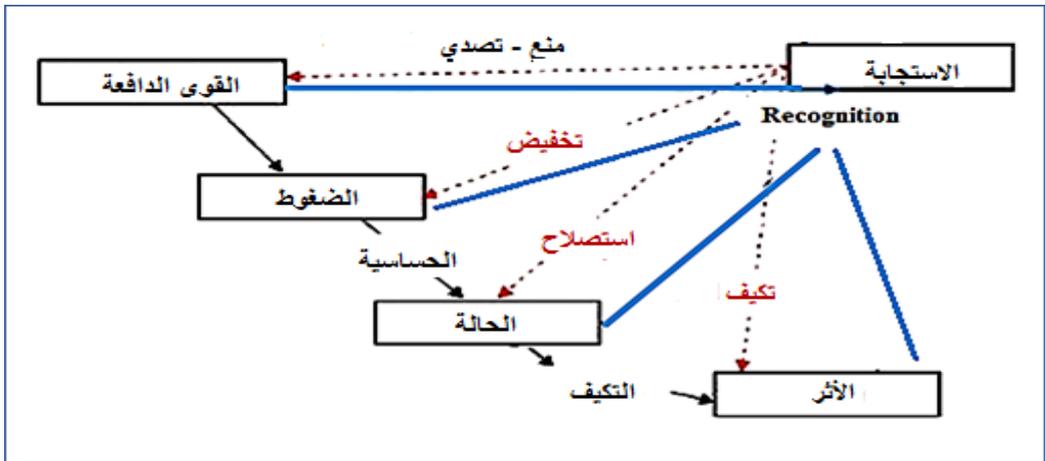
#### 4.4.3. رابعاً - الوقع : الأثر (Impact)

وهو ما يعبر عنه بشكل نوعي بالأثار المتوقع حدوثها مثل، تضرر النظام البيئي، تأثر صحة الانسان، انتشار ناقلات الأمراض، تفاقم ندرة المياه، فقدان المحاصيل، انتشار حرائق الغابات، آثار اقتصادية، استفحال الجفاف والتصحر، تدني معدلات الانتاج، تدهور كفاءة البنية التحتية.

#### 5.4.3. خامساً - الاستجابة (Response)

تتمثل في ما يجب فعله من إجراءات رسمية وغير رسمية للتخفيف من التأثير الحاصل عن طريق تغيير الأنشطة البشرية وأنماط التنمية للسيطرة على الروابط داخل وبين القوى الدافعة والضغط والآثار، مثل الاستجابات، السياسية، والاقتصادية، والقانونية، المؤسساتية، والتقنية.

تتمثل خطط وبرامج ومشاريع الاستجابة في تبني استراتيجيات التكيف والتخفيف المناخي، التنمية المستدامة، أنظمة الرصد والانداز المبكر، الاستثمار في البحث العلمي وبناء القدرات، الانضمام إلى الاتفاقيات الاقليمية والدولية والالتزام بها، وغيرها. هذه هي الخطوط العريضة للتدخلات التي يجب القيام بها كاستجابة للتخفيف من آثار ظاهرة القبة الحرارية، وهي تختلف بحسب تطبيقها على الأجزاء المختلفة من مخرجات الاطار.



الشكل (17): أنماط الاستجابة الموجهة نحو الأجزاء المختلفة من سلسلة الأحداث استناداً إلى قواعد نموذج اطار تقييم الأثر البيئي DPSIR، المصدر: الباحث.

بشكل عام كلما كانت الاستجابة في اتجاه القوى الدافعة كلما كانت أكثر فعالية. مثلاً، عندما تكون الاستجابة موجهة نحو الجزء الخاص بالتأثيرات ستكون أقل فعالية وأقل استدامة من الاستجابة الموجهة نحو الجزء الخاص بالضغط، وستكون في الحالة الأولى بمثابة حل لظواهر المشكلة بدلاً من حل لجذور المشكلة. الشكل (17)، يبين ترتيب مراحل التدخل العلاجية للتقليل من حدة تلك التداعيات والآثار، ويبين الشكل أيضاً أن أنماط الاستجابة التي يتم إقرارها يجب ان يتم توجيهها وفق النسق التالي، المنع والتصدي لمعالجة القوى الدافعة، التخفيف لمعالجة الضغوط، الاستصلاح لمعالجة الحالة، والتكيف لمعالجة الآثار.

#### 4. الخلاصة

خلال فصل الصيف تجتاح مناطق شمال غرب ليبيا موجات حرارية شديدة تتشكل على هيئة ظاهرة تُسمى «القبة الحرارية» (Heat Dome)، وهي ظاهرة جوية مناخية بيئية تمنع أنظمة الطقس من التحرك وتحجز الهواء الدافئ وتضغطه فترتفع درجة حرارة الجو. تتشكل تلك الموجات الحرارية بسبب تمركز مرتفع جوي علوي معروف بنمط حاجز اومي ( $\Omega$ ) عند مستوى 500 هيكيتوبسال يتسبب هذا الحاجز في تعرض المناطق المتأثرة لعدة عوامل مثل، انبعاث التيارات

الهوائية الهابطة المحفزة لانضغاط الهواء وارتفاع حرارته، انخفاض نسبة تركيز غاز الأوزون الاستراتوسفيري، زيادة نسبة تركيز غاز الأوزون التروبوسفيري، وصول كمية كبيرة من الإشعاع الفوق بنفسجي إلى سطح الأرض. تحت تأثير هذا الوضع يصبح حاجز اومي ( $\Omega$ ) كالغطاء المثبت على قدر الطبخ يحجز الحرارة بداخله ويعزز من شدتها ومن هنا جاء تشبيه الحالة بالقبة الحرارية، وهي عبارة عن فقاعة هوائية كبيرة تضغط الهواء وتزيد من كثافته وتقلل من جودته وتحبس الحرارة بداخلها. ونظراً لظروف الجفاف التي تعاني منها ليبيا فقد يساهم ذلك في تكثيف تكرار القبة الحرارية. يؤثر التغير المناخي على الظاهرة ويجعلها أحداثاً شائعة بدلاً من أحداثاً نادرة. ونظراً لارتباط ظاهرة القبة الحرارية بجملة من الآثار والتداعيات السلبية، تؤكد الورقة على أهمية دراستها وتحليلها وتقييم تداعياتها وآثارها السلبية، قدمت الورقة تقييم بيئي مبدئي للاستئناس به كلبنة أساسية لمشروع تقييمي موسع تتبناه المؤسسات المعنية وينفيذه بواسطة فريق متعدد التخصصات.

## 5. التوصيات

بناء على ما تم تناوله عبر صفحات هذه الورقة نقترح التوصيات التالية :

- 1 - إجراء دراسة تفصيلية موسعة لتحليل كافة الجوانب المتعلقة بالظاهرة.
- 2 - تطبيق نموذج إطار DPSIR لتقييم الأثر البيئي للظاهرة وتحديد المسار الفعال لتوجيه التدابير العلاجية.
- 3 - إصدار النشرات اليومية لمؤشر الإشعاع فوق البنفسجي (UVI) خلال فترة الصيف والاصطياف.
- 4 - تركيب محطات بيئية لقياس نسبة تركيز الأوزون التروبوسفيري، ومحطات بيئية لقياس شدة أطراف الأشعة فوق البنفسجية (UV-C, UV-B, UV-A).

## المراجع

- [1]. Wallace, John M. and Peter V. Hobbs, (1977) : *Atmospheric Science, An Introductory Survey*, Academic Press INC, New York, pp. 55 – 58, 68 – 69.
- [2]. Walmsley, J. J., (2002) : *Framework for measuring sustainable development in Catchment systems*, *Environmental Management*, 29 (2), pp 195-206.
- [3]. George Zittis, and Others, (2021) : *Business-as-usual will lead to super and ultra-extreme heat waves in the Middle East and North Africa*, *Nature npj Climate and Atmospheric Science*, 4:20; <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00178-7>.
- [4]. R. Varela, L. Rodrigo-Díaz, and M. deCastro, (2020) : *Persistent heat waves projected for Middle East and North Africa by the end of the 21st century*, *PLOS ONE, Environmental Physics Laboratory (Ephyslab)- CIM-UVIGO, Universidade de vigo, Ourense, Spain, Journal. Pone. 0242477*, pp. 4-8.
- [5]. Tom K. R. Matthews, Robert L. Wilby, and Conor Murphy, (2017) : *Communicating the deadly consequences of global warming for human heat stress*, *Geography, Meedicine, Proceeding of the National Academy of Sciences of the USA*, 114 (15) 381, 1617526114.
- [6]. Kate Latimer, (2017) : *Humidity may prove breaking point some areas as temp. rise, says study*, *The Earth Institute at Columbia University, Science News*.
- [7]. Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M., and García-Herrera, R. (2011) : *The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe*, *Science*, 332, 220–224.
- [8]. Palmen E. and Newton C. W., (1969) : *Atmospheric Circulation System*. Academic Press. New York, NY.
- [9]. Julian Kruger, (2020) : *Characteristic Jet Stream patterns related to European Heat Waves*, *Christian-Albrechts-Universitat Zu Kiel, GEOMAR, Helmholtz-Zentrum Fur Ozeanforshung, Master Thesis*, pp. 15-26. Kiel.
- [10]. Metaxas D. A. and Kallos G., (1980) : *Heat waves from a synoptic point of view*. *Riv. Met. Aeron. XL*, pp. 107-119.
- [11]. Conte M. , *Short Lasting Heat wave in the central Mediterranean*. *WMO Long - Range Forecasting, Research Report*, n. 6, vol. 1. WMO/TD n. 87, pp. 146-152.
- [12]. K. Velchev, F. Cavalli, J. Hjorth, E. Marmer, E. Vignati, F. Dentener, and F. Raes, (2011) : *Ozone over the Western Mediterranean Sea – results from two years of shipborne measurements*, *J. of Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, pp. 681- 683.
- [13]. Peter L. W., (2021) : <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00178-7>: *The Ozone Depletion Theory of Global Warming*.

- [14]. <https://www.startimes.com/?t=29338598>
- [15]. IPCC (2021) : *Climate Change 2021, The Physical Science Basis, Sixth Assessment Report of the IPCC, AR6, Summary for Policymakers*, pp. 4-11.
- [16]. Robert Iris, INSEAD (2017) : *CO<sub>2</sub> and its relation to climate change, The Business School for the World*.
- [17]. William Collins, and others, (2008) : *Natural Science Assessment of the Drivers of Climate Change, Scientific American, Volume 24, No. 1/2 pp. 36-42*.
- [18]. LNMC, (2013) : *Climate Data Archive*.
- [19]. A. H. Mohamed, (2018) : *Synoptic features and characteristics of heat waves affecting the Tripoli region during the period (1978-2013), LNMC, First Conference on Weather and Climate Extremes*.
- [20]. Anthony R. Lupu, and others, (2019) : *Changes in Global Blocking Character in Recent Decades, MDPI, Atmosphere, 10, 92, doi. 10.3390/atmos 10020092*.
- [21]. I. Mokhova, and others, (2013) : *Blockings in the Northern Hemisphere and Euro-Atlantic Region: Estimates of Changes from Reanalysis Data and Model Simulations, ISSN 1028334X, Doklady Earth Sciences, 2013, Vol. 449, Part 2, pp. 430-433. Pleiades Publishing, Ltd., DOI: 10.1134/S1028334X13040144*.
- [22]. Häkkinen, S.; Rhines, P.B.; Worthen, D.L. (2011) : *Atmospheric Blocking and Atlantic Multidecadal Ocean Variability. Science pp. 334, 655-659*.
- [23]. M. Colacino, M. Conte and E. Pievitali, (1997) : *Heat Wave in the Central Mediterranean Basin, International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean, Spain, 14-17 April, pp. 563*.
- [24]. WMO, (2021) : *June Ends With Exceptional Heat, Public WMO INT, Climate Reanalyzer.Org, Climate Change Institute, University of Maine, USA*.
- [25]. KNMI and ESA, (2021) : *Erythema UV Index, Clear Sky, 2021*.
- [26]. TMS (2021) : *Synoptic weather Charts, Turkish Meteorological Services*.
- [27]. RFE/RL, (2018) : *53 And Counting Heat Wave Breaks Records Iran causing power-shortages, RFERL, Khouznews.Ir, (https://www.rferl.org/29346342.html)*,
- [28]. Health Effects Institute, (2019) : *State of Global Air, Special Report, Boston: MA, https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga\_2019\_report*.
- [29]. EEA (European Environmental Agency), (1995) : *A Strategy for Integrated Environmental Assessment at the European Environmental Agency, Discussion Paper. EEA/064195. Copenhagen*.