التغيرات البيولوجية في الحشرات ومؤشر الاحترار المناخي العالمي (اتجاهات الاستجابة والعواقب البيئية المحتملة) في ليبيا

أ. عادل يوسف مسعود الرني
قسم علوم الحياة – كلية التربية نالوت– جامعة نالوت– ليبيا
a.alrani@nu.edu.ly

الملخص:

يهدف البحث إلى تسليط الضوء على تأثير الاحترار المناخي العالمي في ليبيا على الجوانب المختلفة من حياة الحشرات، وقد تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي لتحقيق أهداف البحث، كما تم استخدام الرسوم البيانية والإحصائية لتحليل البيانات المناخية التاريخية المحلية والعالمية وكذلك البيانات التوضيحية لاتجاهات الاستجابة في الحشرات نحو ارتفاع درجات الحرارة وذلك لتقييم مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا وأثره على الجوانب الرئيسة من حياة الحشرات (التكاثر ودورات الحياة، وظائف الأعضاء، التوزيع الجغرافي، التنوع البيولوجي وسلوك الاستجابة). وتشير النتائج أن مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا باتاً جلياً مما ينذر بتغيرات بيولوجية جوهرية في جميع جوانب حياة الحشرات. حيث أظهرت النتائج أن للحشرات استجابات غير مُرضية نحو تزايد مؤشر ارتفاع درجات الحرارة مما ينذر بأثار بيئية سلبية وتهديدات خطيرة محتملة على النُظم البيئية والإنتاجية الزراعية والصحة العامة في ليبيا. وتم اقتراح مجموعة من الاستراتيجيات الاحترازية للحد من الآثار البيئية والتهديدات ولتعزيز الاستدامة البيئية في ليبيا.

الكلمات المفتاحية :الاحترار المناخي العالمي، التغيرات البيولوجية، الحشرات، ليبيا، الآثار البيئية.

Abstract:
The research aims to shed light on the impact of global climate warming in Libya on various aspects of Insect life. the descriptive analytical approach was adopted to achieve the research objectives. graphs and statistics were also used to analyze local and global historical climate data as well as illustrative data on insect response trends towards higher temperatures in order to assess the climate warming index in Libya and its impact on the main aspects of insect life (reproduction and life cycles, organ functions, geographical distribution, biodiversity and response behavior). the results indicate that the climate warming index in Libya has become clear, which foreshadows fundamental biological changes in all aspects of insect life. the results showed that insects have unsatisfactory responses to the increasing temperature index, which portends negative environmental effects and potential serious threats to environmental systems, agricultural productivity and public health in Libya. a set of precautionary strategies have been proposed to reduce these impacts and threats to enhance environmental sustainability in Libya.

Keywords: Global Climate Warming, Biological Changes, Insects, Libya, Environmental Impacts.

المقدمة:

يشير مفهوم الاحترار المناخي العالمي إلى جانب من جوانب تغير المناخ، في إشارة إلى الارتفاع طويل الأجل في درجة حرارة الكوكب. لقد أصبحت الأدلة على تغير المناخ ساحقة، حيث تسلط العديد من الدراسات العلمية الضوء على ارتفاع درجات الحرارة والظواهر الجوية القاسية التي حدثت في جميع أنحاء العالم هذه الظاهرة مدفوعة في المقام الأول بالأنشطة البشرية، ولا سيما حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات، مما أدى إلى إطلاق الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي. ووفقاً للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [1] فقد ارتفع متوسط درجة الحرارة العالمية بنحو 1.0 درجة مئوية منذ عصر ما قبل الصناعة وقد أدى هذا الارتفاع إلى العديد

من الآثار الملحوظة. لقد حظيت العلاقة المعقدة بين تغير المناخ والأنظمة البيولوجية باهتمام متزايد في السنوات الأخيرة، لا سيما مع تزايد تأثيرات الاحترار المناخي العالمي على مختلف النُظم البيئية. أن هذه التغيرات المناخية لا تؤثر فقط على النظام البيئي بشكل عام، بل تمتد آثارها لتشمل التنوع البيولوجي. فمنذ سنوات عديدة ماضية كان علماء البيئة قلقين بشأن فقدان التنوع للعديد من الفقاريات الأرضية والمائية [2] ومع ذلك، لم يتم التأكيد على مخاوف مماثلة بشأن حالة أصناف اللافقاريات، وخاصة الحشرات، إلا مؤخرا بدأت أعداد الحشرات وتوزيعها الجغرافي في الانخفاض، والتي يعتقد أنها الخطوة الأولى نحو انقراضها [3]. اعتبر المجتمع العلمي انخفاضاً بنسبة 75٪ من الكتلة الحيوية للحشرات في بعض المناطق المحمية في ألمانيا على مدى 27 عاماً حقيقة صادمة [4]. يرتبط فقدان التنوع البيولوجي العالمي ارتباطاً وثيقاً بحالة النُظم البيئية على هذا الكوكب، والتي توفر للبشرية الغذاء والمياه العذبة والهواء النقي والطاقة وما إلى ذلك. كما تعتبر الحشرات، كعناصر رئيسة في العديد من الشبكات البيئية، مؤشرات حيوية على صحة البيئة والقدرة على التعافي. يمكن أن توفر استجابتها للتغيرات المناخية رؤى حاسمة حول التغيرات البيئية الأوسع، مما يجعلها موضوعات بحثية ضرورية في سياق الاحترار المناخي في أنحاء العالم. وتعتبر ليبيا، شأنها شأن العديد من دول العالم، معرضة بشكل كبير لتأثير التغيرات المناخية المتسارعة والغير مسبوقة. تتجلى هذه التأثيرات في ارتفاع درجات الحرارة، وتغيرات أنماط هطول الأمطار، وزيادة وتيرة الظواهر الجوية المتطرفة، مثل الجفاف والعواصف الترابية. خصوصاً وأن البيئات الصحراوية من بين أكثر النُظم البيئية هشاشةً في مواجهة التغيرات المناخية، نظراً لندرة الموارد المائية. تقع ليبيا وسط ساحل أفريقيا الشمالي على البحرالأبيض المتوسط، وتمتد

رقعتها الشاسعة حتى مرتفعات شمال وسط القارة الأفريقية، وتتميز بالاتساع المكاني حيث تصل مساحتها في حدود 1,774,440 كم^2، وتتميز بأنظمتها البيئية المتنوعة، التي تتراوح بين بيئات المناطق الساحلية والبيئات الجبلية وبيئات المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية، والتي تشكل حوالي 80% من مناظرها الطبيعية [5]. شهدت ليبيا زيادة غير مسبوقة في متوسط درجات الحرارة خلال العقود القليلة الماضية بناء على نتائج العديد من الدراسات المحلية، وهو اتجاه يتماشى مع الأنماط العالمية لتغير المناخ. وفقًا للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، ومن المتوقع أن تواجه منطقة البحر الأبيض المتوسط أكثر تأثيرات تغير المناخ حدة، بما في ذلك تغير أنماط هطول الأمطار، وزيادة الجفاف، وارتفاع درجة الحرارة. وتشكل هذه التغيرات تهديدات كبيرة للبيئة الطبيعية، وتعتبر الحشرات أكثر الكائنات حساسية للتغيرات في بيئتها، وبالتالي فإن تحليل الآثار المحتملة للتغيرات المناخية على النُظم البيئية المختلفة وتحديداً على الجوانب المختلفة من حياة الحشرات أصبح أمراً بالغ الأهمية.

مشكلة البحث:

شهدت ليبيا ارتفاعاً تصاعدياً غير مسبوق في متوسط درجات الحرارة خلال العقود القليلة الماضية نتيجة التغير المناخي حسب ما أكدته العديد من الدراسات المحلية، مما يؤثر بشكل كبير على الحشرات ككائنات حية حساسة للتغيرات البيئية، وأن فهم كيفية استجابة هذه الكائنات لهذه التغيرات أصبح أمراً بالغ الأهمية لما له من تأثيرات مستقبلية على النُظم البيئية والزراعية والصحة العامة والتنوع البيولوجي بشكل عام في ليبيا، وبالتالي تتمحور مشكلة البحث في التساؤل الرئيس التالي وهو كيف سيؤثر مؤشر الاحترار المناخي العالمي في ليبيا على حياة الحشرات؟

تساؤلات البحث:

1. كيف سيؤثر الاحترار المناخي في ليبيا على التوزيع الجغرافي للحشرات؟
2. كيف سيؤثر الاحترار المناخي في ليبيا على العلاقة بين الغطاء النباتي والحشرات؟
3. كيف سيؤثر الاحترار المناخي في ليبيا على معدلات النمو ودورة حياة الحشرات؟
4. ما هي العواقب البيئية المحتملة للتغيرات البيولوجية في الحشرات استجابة لمؤشر الاحترار المناخي في ليبيا على النُظم البيئية والزراعية والصحة العامة في ليبيا؟

فرضيات البحث:

يسعى البحث الى اختبار الفرضيات الصفرية (HO) التالية:

- **الفرضية الأولى: العلاقة بين درجة الحرارة والتوزيع الجغرافي للحشرات:**
  لا توجد علاقة بين مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا والتوزيع الجغرافي للمجموعات المختلفة من الحشرات.
- **الفرضية الثانية: العلاقة بين درجة الحرارة وعلاقة الحشرات بالغطاء النباتي:**
  لا توجد علاقة بين مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا وعلاقة الحشرات بالغطاء النباتي.
- **الفرضية الثالثة: العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل النمو ودورة حياة الحشرات:**
  لا توجد علاقة بين مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا ومعدل النمو ومدة دورة الحياة وزيادة مواسم التكاثر في أنواع الحشرات.

الفرضية الرابعة: تأثير التغيرات البيولوجية في الحشرات على الُنظم البيئية:
لا توجد علاقة بين مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا واختلالات التوازن البيئي

والتأثير السلبي على النُظم الزراعية والصحية في ليبيا نتيجة التغيرات البيولوجية في الحشرات.

أهداف البحث:

يمكن تحديد الهدف البحثي على النحو التالي:

تسليط الضوء على التغيرات البيولوجية التي تطرأ على الحشرات استجابة لمؤشر الاحترار المناخي العالمي في ليبيا وتقييم العواقب البيئية المحتملة لهذه التغيرات.

أهمية البحث:

يكتسب هذا البحث أهمية بالغة نظراً لما يلي:

- **الأهمية البيئية:** تلعب الحشرات دوراً حيوياً في النُظم البيئية، وفقدانها أو ظهور أنواع أخرى من نواقل الأمراض النباتية أو الحيوانية يشكل خطورة كبيرة ويؤثر سلباً على التوازن البيئي.
- **الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية:** تعتمد الزراعة والرعي في ليبيا بشكل كبير على المُلقحات الحشرية، لذا فإن أي تغييرات في سلوكها وتوزيعها الجغرافي سيؤثر سلباً على الإنتاجية الزراعية والأمن الغذائي في ليبيا.
- **تقديم التوصيات والحلول:** من خلال تحليل آليات الاستجابة وأنماط التكيف في الحشرات مع مؤشر الاحترار المناخي في ليبيا، يمكن أن تساعد نتائج البحث في تطوير استراتيجيات احترازية لإدارة مستدامة للبيئة الزراعية والصحة العامة في ليبيا.

حدود البحث:

- **حدود فلكية:** الموقع الفلكي والإحداثيات الجغرافية لدولة ليبيا تمتد بين دائرتي عرض (25 18°) و (33°) درجة شمالاً وخطي الطول (9°) و (25°) شرقاً.

- **حدود زمنية:** 2023–2024م.
- **حدود موضوعية:** دراسة التغيرات البيولوجية التي تطرأ على الحشرات استجابة لمؤشر الاحترار المناخي العالمي في ليبيا وتقييم العواقب البيئية المحتملة لهذه التغيرات.

تعريف مصطلحات ومفاهيم البحث:

1. **الاحترار المناخي العالمي:** Global Climate Warming ويُعرف بأنه الزيادة المُقدرة في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية على مدى 30 سنة، أو على مدى فترة 30سنة متمركزة على سنة معينة أو عقد مُعين، ويعبّر عنه قياساً بمستويات ما قبل الثورة الصناعية، إلا إذا حُدد خلاف ذلك، وبالنسبة إلى فترات الثلاثين سنة التي تشمل سنوات ماضية ومُقبلة، يفترض أن الاتجاه الحراري متعدد العقود مستمر [1a].
2. **التنوع البيولوجي:** Biodiversity ويشير إلى تنوع الحياة على كوكب الأرض بشكل عام، ويشمل تنوع الأنواع (تنوع الحشرات، التنوع الجيني، وتنوع النُظم البيئية للحشرات). يعد التنوع البيولوجي للحشرات مهماً للحفاظ على توازن الأنظمة البيئية وتوفير خدماتها الأساسية مثل التلقيح، والتحكم في الأمراض المنقولة [1b].
3. **سلوك الحشرات:** Insect behavior يشير سلوك الحشرات إلى الإجراءات والتصرفات التكيفية المتنوعة التي تظهرها الحشرات استجابة للمنبهات البيئية، والتي تتشكل من خلال العمليات التطورية وغالباً ما تحدث بشكل غريزي بدون ذاكرة أو تعلم [6].
4. **الاستجابة والتكيف:** Response and Adaptation تشير الاستجابة في الحشرات

إلى التغيرات الوظيفية الفورية للمنبهات، بينما يتضمن التكيف تغييرات تطورية طويلة الأجل لتعزيز أنماط النشاط، التزاوج، والتغذية والهجرة، الى بيئات مختلفة لمواجهة التغيرات المناخية [7].

5. **أليات الاستجابة:** Response Mechanism تشير آليات الاستجابة في الحشرات الى التكيفات الفسيولوجية، بما في ذلك الاستجابات المناعية والسلوكية، التي تُمكن الحشرات من الاستجابة للتحديات البيئية المفاجئة والقاسية، وتحسين الدفاع، والحفاظ على التوازن [7a].

6. **التغيرات البيولوجية:** Biological Changes تشير التغيرات البيولوجية في الحشرات إلى التغيرات في عمليات حياتها الوظيفية، بما في ذلك التكاثر والنمو والتطور والبقاء، متأثرة بالعوامل البيئية مثل درجة الحرارة وغيرها من الظروف المناخية [8].

الدراسات السابقة:

أولاً: دراسات محلية تناولت ارتفاع درجات الحرارة كمؤشر للاحترار المناخي العالمي في ليبيا.

1. **دراسة** [9] **بعنوان تباين درجات الحرارة القصوى والمتوسطة في ليبيا خلال الفترة (1945–2009).** حيث ركزت الدراسة على تحليل التباين المكاني والزماني في بيانات درجات الحرارة في جميع أنحاء ليبيا، وتحديداً فحص الحد الأقصى اليومي ومتوسط درجات الحرارة اليومية، بالإضافة إلى مقاييس درجة الحرارة الشهرية والسنوية. تم جمع البيانات من تسع محطات ساحلية لمدة 54 عاماً (1956– 2009) ومن كل المحطات الساحلية والداخلية على مدى فترة أطول من 65 عاما، حيث تم تحديد زيادات كبيرة في درجة الحرارة القصوى (0.017 درجة مئوية/سنة) ومتوسط

درجة الحرارة (0.021 درجة مئوية/سنة) في معظم المحطات خلال فترة الدراسة بأكملها (1945–2009). كما لوحظ اتجاه ملحوظ للاحترار في السنوات الـ 32 الماضية (1978–2009)، حيث ارتفعت درجات الحرارة القصوى السنوية بمعدل 0.038°م/سنة ومتوسط درجات الحرارة السنوية يرتفع عند 0.049°م /سنة. وأشارت النتائج إلى أن ليبيا شهدت ارتفاعاً كبيراً في درجات الحرارة منذ منتصف القرن العشرين، مما قد يكون له تأثيرات كبيرة على المجتمع والبيئة.

2. **دراسة** [10] **بعنوان درجة الحرارة كمؤشر للتغير المناخي والبخر نتح المرجعي في المنطقة الغربية من ليبيا.** هدفت الدراسة الى تقييم درجة الحرارة كمؤشر للتغير المناخي وأثره على البخر نتح النباتي حيث تم الحصول على بيانات درجة الحرارة لفترات طويلة من محطات الرصد الجوي في المنطقة الغربية من المركز الوطني الليبي للأرصاد الجوية. وأظهر تحليل الانحدار لمتوسط درجة الحرارة للمنطقة للفترة من 1960 – 2003 اتجاه تزايدي، كما أظهر اتجاه تزايدي لدرجة الحرارة في متوسط كل محطات المنطقة، وكان ضمن التزايد المتوقع على مستوى العالم من 1.4 °م و5.5 °م بنهاية القرن الحادي والعشرين. كما أظهرت نتائج تحليل الانحدار للبخر نتح المرجعي للنباتات اتجاهاً متزايداً مع الزمن.

3. **دراسة**[11] **بعنوان التحليل الإحصائي والمكاني لدرجات الحرارة القصوى في ليبيا(1961-2020)** ركزت الدراسة على تحليل الظواهر المناخية المتطرفة في ليبيا، وخاصة التغيرات في درجات الحرارة للفترة من 1961 إلى 2020، باستخدام مؤشرات إحصائية مختلفة ،حيث تم تجميع بيانات درجة الحرارة من 16 محطة أرصاد جوية في ليبيا، تغطي الفترة من 1961 إلى 2020، تم الحصول عليها من المركز الوطني الليبي للأرصاد الجوية وتم استخدام اختبار Mann-Kendall لتحليل الاتجاهات في

درجات الحرارة القصوى الدافئة والباردة، باستخدام مؤشرات المناخ المعمول بها ،وخلصت نتائج الدراسة أن المناطق الساحلية في ليبيا أكثر تأثراً بالاحترار مقارنة بالمناطق الداخلية، على الرغم من أن المناطق الداخلية تظهر أيضًا اتجاهات احترار كبيرة. هذا التمييز الجغرافي مهم لفهم أثر التغير المناخ في المنطقة وتؤكد النتائج الطبيعة المعقدة للتغيرات في درجات الحرارة في ليبيا، عن اتجاهات الاحترار الكبيرة والتقلبات الإقليمية التي تتطلب مزيداً من التحقيق والمراقبة لمعالجة الأثار وتطوير استجابات فعالة لتأثيرات تغير المناخ.

ثانياً: دراسات عالمية تناولت أثر ارتفاع درجات الحرارة على بعض أنواع الحشرات.

.دراسة [12] بعنوان آثار تقلبات درجة الحرارة على دورة حياة حشرة المن: أربعة أنواع من الحالات. حيث بحثت الدراسة في كيفية تأثير الاحتباس الحراري على أربعة أنواع من حشرات المن: Cinara cedri, Cinara tujafilina, Metopolophium dirhodum, Pterochloroides persicae,. تمت متابعة هذه الأنواع في مقاطعتي Niğde وArtvin في تركيا خلال فصل الشتاء، حيث حافظت الأجيال على التوالد العذري، على عكس دورات الحياة النموذجية التي تفضل الظروف الأكثر برودة وكان من المتوقع أن تقضي حشرات المن الشتاء كبيض شتوي، لأنها عادة ما تظهر دورات حياة ثلاثية الحلقات في هذه المناطق. ومع ذلك، فإن التقلبات في درجات الحرارة الشتوية على مدى العامين الماضيين سمحت لهم بإنتاج المزيد من الأجيال العذرية، مما يدعم الفرضية القائلة بأن ارتفاع درجات الحرارة يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع معدلات التكاثر في حشرات المن، مما يجعلها آفات زراعية أكثر أهمية في المستقبل. وتتوافق النتائج مع الفهم العام بأن ارتفاع درجات الحرارة من المحتمل أن يؤدي إلى زيادة الأجيال في أنواع المن، مما يجعلها آفات أكثر خطورة، كما تؤكد الدراسة لمزيد

من الدراسات حول كيفية تأثير الاحتباس الحراري بوجه التحديد على مجموعات حشرات المن، خاصة تلك ذات الأهمية الزراعية، حيث من المتوقع أن تتأثر تركيا سلباً بتغير المناخ.

.دراسة [13] **بعنوان ما مقدار الاحترار الذي يمكن أن يتحمله البعوض الناقل للأمراض؟** هدفت الدراسة الى تقدير هوامش السلامة الحرارية لـ 12 نوع من البعوض، بما في ذلك:Aedes Egypt, Anopheles, gambiae وهي الناقلات الرئيسة للملاريا وحمى الضنك وأنواع أخرى من الفيروسات، عبر بيئاتها المعروفة. شارك في هذه الدراسة عدد من الباحثين من جامعة كاليفورنيا وجامعة ستانفورد، حيث وجدو أن معظم أنواع ناقلات الأمراض من البعوض لها هوامش أمان حرارية إيجابية كبيرة عبر نطاقها الحراري، عندما تم دمج افتراضات واقعية للتنظيم الحراري السلوكي للبعوض. بالنسبة للأنواع التي تغطي نصفي الكرة الأرضية، وجد أقل قابلية للتأثر بالمناخ، من حيث حجم ومدة السلامة الحرارية، وجنوب خط الاستواء مباشرة، وأعلى قابلية للتأثر بالمناخ في المناطق شبه الاستوائية. ووجد أيضا اختلافات بيولوجية جغرافية واضحة في السلامة الحرارية في مناطق مختلفة مثل الشرق الأوسط والهند وشمال غرب إفريقيا وجنوب شرق أستراليا وجنوب غرب الولايات المتحدة، والمناطق الصحراوية والقاحلة، حيث تم حساب الفرق بين الحد الحراري الأعلى لكل نوع ودرجات الحرارة التي يمر بها في نطاقه البيئي، أظهرت النتائج أن معظم أنواع البعوض تتمتع بهوامش أمان حرارية إيجابية كبيرة في بيئاتها، مما يشير إلى قدرتها على تحمل درجات حرارة أعلى من تلك الموجودة حالياً. وتؤكد النتائج الحاجة الماسة إلى التدخلات الصحية الاحترازية في تلك المناطق على أنها أكثر عرضة لتأثيرات تغير المناخ مما يؤكد أهمية فهم هذه الديناميكيات للإدارة

الفعالة للأمراض.

منهجية البحث:

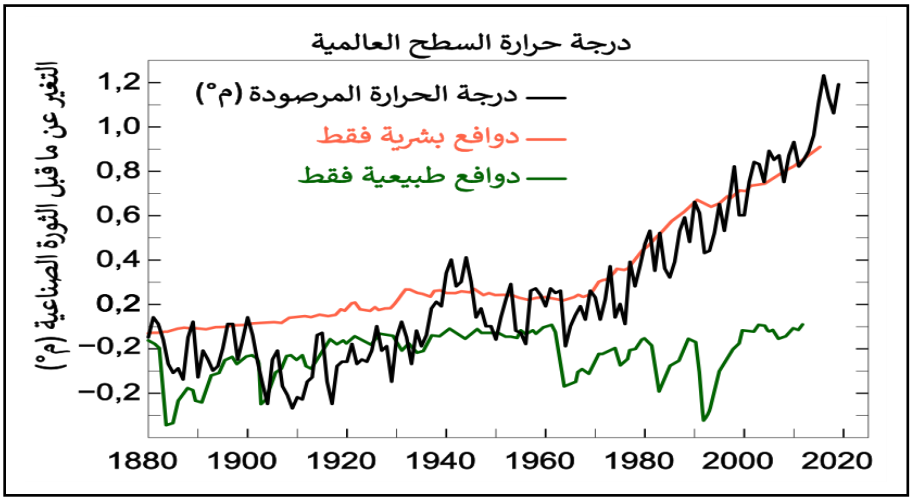
أعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي لتحقيق أهدافه، وذلك بوصف البيانات المناخية التاريخية المحلية والعالمية المتعلقة بمؤشر الاحترار المناخي العالمي في ليبيا على مدى العقود الماضية. وذلك بالرجوع الى المصادر العلمية والدراسات المحلية والإقليمية ذات الصلة بموضوع البحث. وباستخدام أدوات التحليل المكاني والإحصائي والرسوم التوضيحية لتلك البيانات المتعلقة بدرجات الحرارة ومدى تأثيرها على الحياة الوظيفية للحشرات. وذلك بتحليل أليات الاستجابة والتكيف وتداعيات التغيرات البيولوجية في الحشرات على الُنظم البيئية والزراعية والصحية في ليبيا.

تقسيم البحث:

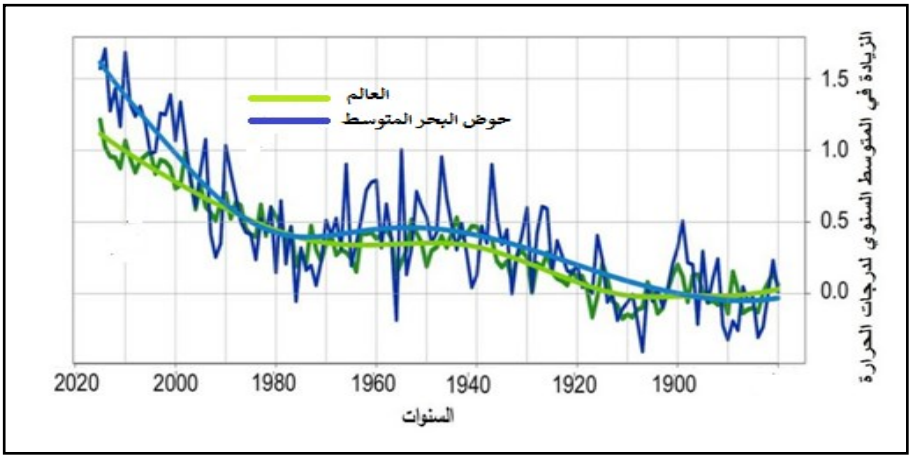
المبحث الأول: الاحترار المناخي العالمي كمؤشر لتغير المناخ في ليبيا.

أن معظم الزيادة الملحوظة في متوسط درجات الحرارة العالمية منذ منتصف القرن العشرين مرجحة جداً وبنسبة أكثر من 95% بسبب الزيادة في تركيز الغازات الدفيئة البشرية المنشأ، حسب تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [14]. حيث أدت زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بسبب حرق الوقود الأحفوري بالإضافة الى التوسع في استخدام الأراضي وانحسار الغطاء النباتي، الى زيادة درجات الحرارة العالمية بمعدل لم يسبق له مثيل في تاريخ البشرية. حيث سببت هذه الغازات في رفع حرارة الكوكب الى 1.2 درجة مئوية مقارنة بمستويات ما قبل الثورة الصناعية. كما يبين شكل (1). كما يشير التقرير أيضا، أن الزيادة الحالية في المتوسط السنوي لدرجة الحرارة في منطقة البحر المتوسط قُدرت بحوالي 1.5درجة مئوية، وذلك مقارنةً بالمستويات التي كانت عليها خلال الفترة التي سبقت الثورة

الصناعية (1880–1899)، والتي تتجاوز المعدلات العالمية لارتفاع درجات الحرارة (+1.1 درجة مئوية). كما هو مُبين في الشكل (2).



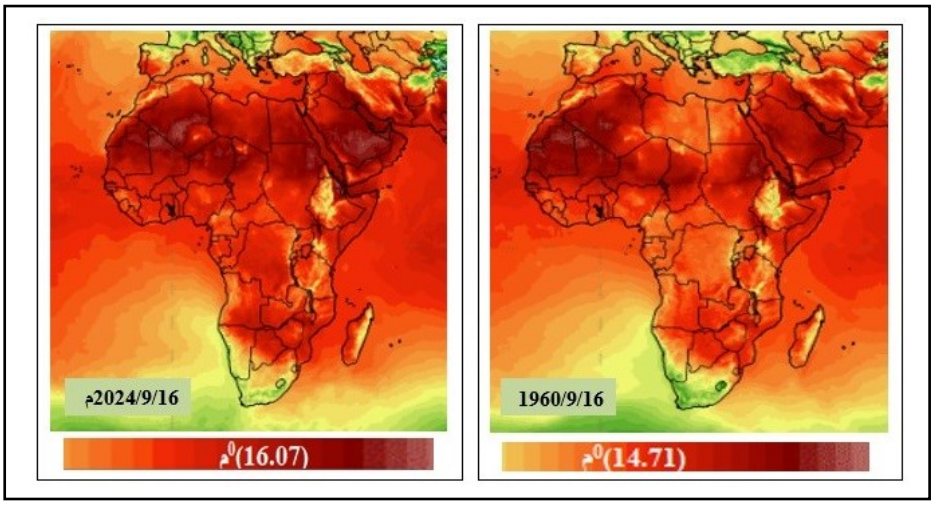
شكل (1) درجات الحرارة العالمية المرصودة والمساهم الأساسي في تغير المناخ [14a].



شكل (2) زيادة المتوسط السنوي لدرجات الحرارة في حوض البحر المتوسط والعالم [14b].

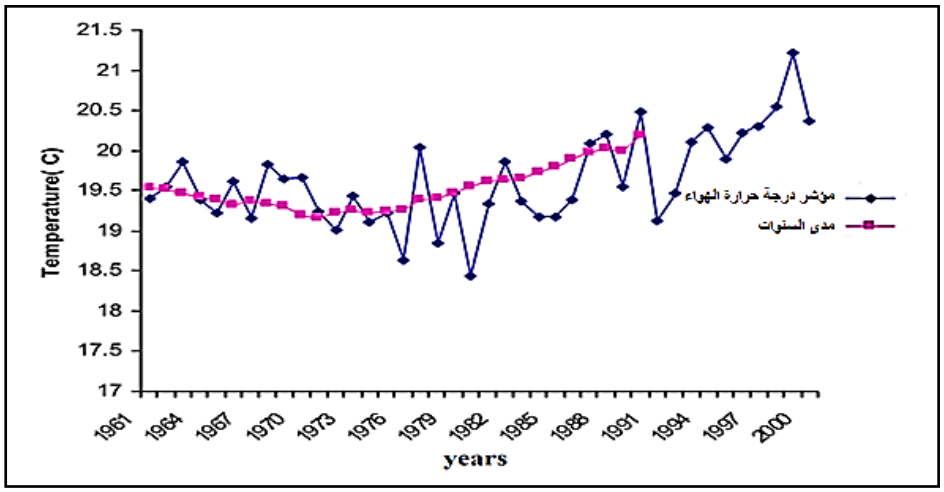
أما بالنسبة لتغير المناخ في ليبيا فلا شك أنها ستتأثر بتلك النتائج أسوة بكل دُول العالم، خاصة وأن موقعها الجغرافي بالوسط الشمالي للقارة الأفريقية يجعلها جسر عبور للموجات الحرارية من الصحراء الكبرى في جنوبها، إلى شواطئ المتوسط في

شمالها، إضافة إلى تنوع التضاريس الجغرافية الجبلية والسهلية والبيئات الصحراوية المتنوعة الجافة وشبه جافة، ويوضح شكل (3) مقارنة متوسط درجات حرارة الهواء السطحي المسجلة بنفس التاريخ للعام 1960م والعام 2024م بشمال أفريقيا حسب تقرير الجمعية العامة للاتحاد الجيوفيزيائي الأوروبي [15].

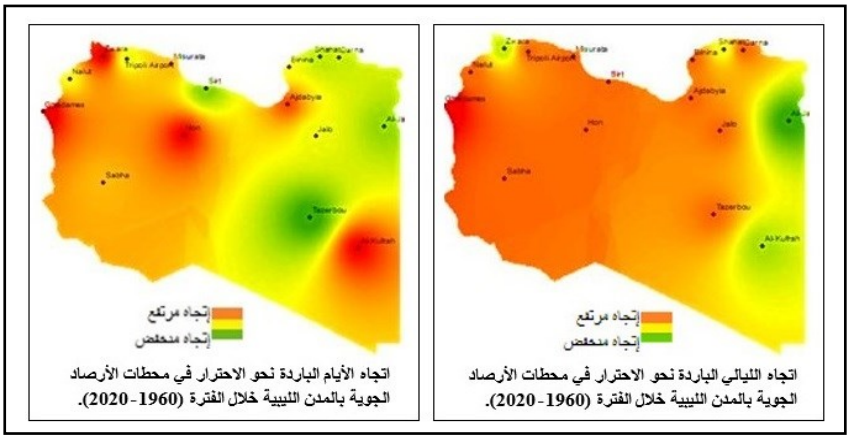


شكل (3) متوسط درجات حرارة الهواء السطحي المسجلة في العام1960م (14.71)^{0}م والعام 2024م (16.07)^{0}م بشمال أفريقيا [15a].

تبدل الجهات المعنية المتخصصة مثل: المركز الوطني للأرصاد الجوية والهيئة العامة للبيئة واللجنة الوطنية للتغير المناخي والمركز الليبي للتغيرات المناخية، مجهودات مشتركة لتوفير التقارير العلمية المناخية على مدى العقود الماضية، وأضافت الكثير من المعلومات والنتائج الهامة والتي يمكن تطبيقها في مجالات التنمية والبحث، فقد توصلت نتائج العديد من الدراسات المحلية بناء على تلك البيانات و التقارير الى وجود مؤشرات واضحة لارتفاع درجات الحرارة وأثار ملحوظة لظاهرة الاحترار المناخي العالمي في ليبيا كما يوضح الشكل [4– 5].



شكل (4) متوسط المؤشر السنوي لدرجات حرارة الهواء السطحي في المنطقة الغربية من ليبيا خلال الفترة (1961–2003) [10a].



شكل (5) الاتجاه الإيجابي للأيام والليالي الباردة نحو الاحترار لدرجات الحرارة المسجلة بمحطات الأرصاد الجوية بالمدن الليبية خلال الفترة (1960– 2020) [11a].

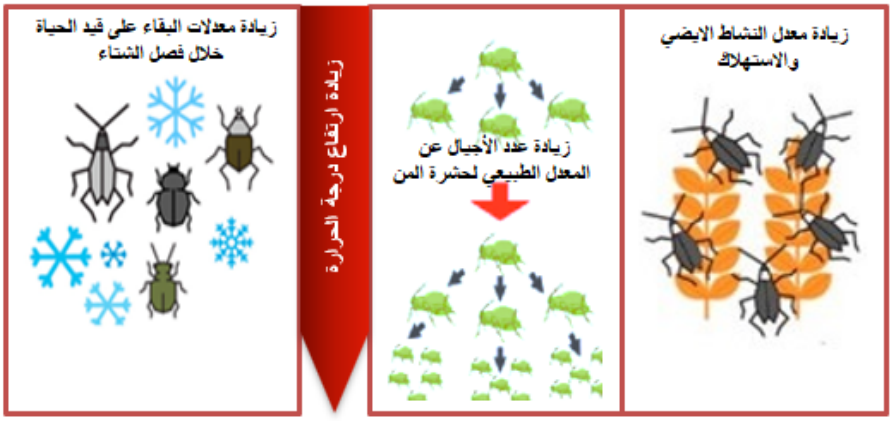
المبحث الثاني: أثر الاحترار المناخي على جوانب الحياة الوظيفية في الحشرات.

تنتمي الحشرات الى شعبة مفصليات الأرجل من ذوات الدم البارد، بمعني أن درجة حرارة أجسامها تتأثر بدرجة حرارة المحيط الذي تعيش فيه مما يؤثر على تطورها وسلوكها وتفاعلاتها البيئية، وتشمل الأثار العامة للاحترار المناخي على جوانب

الحياة الوظيفية في الحشرات ما يلي: (معدل الأيض، التكاثر ودورات الحياة، وظائف الأعضاء، التوزيع الجغرافي، التنوع البيولوجي وسلوك الاستجابة).

1- تأثير ارتفاع درجات الحرارة على معدل الأيض والتكاثر والبقاء على قيد الحياة في الحشرات.

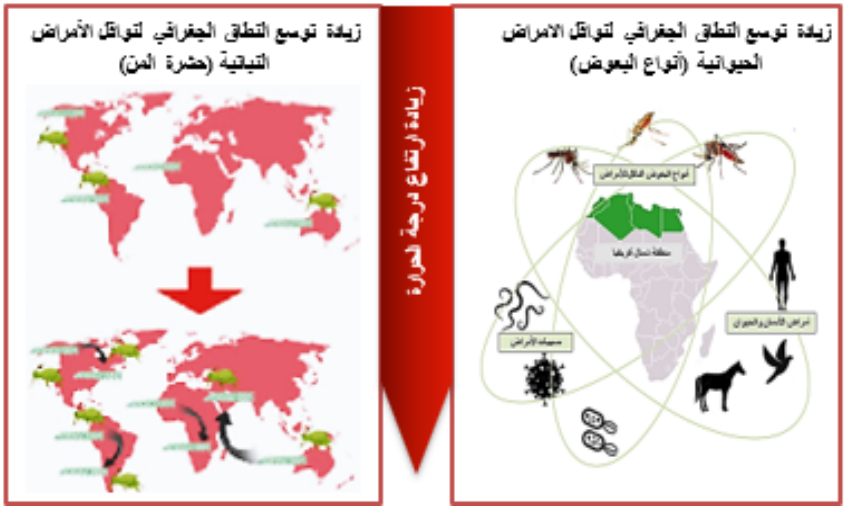
يسبب الاحترار المناخي حالة من عدم الاستقرار على مجتمعات الحشرات في نشاطها السلوكي الطبيعي وتتفاوت حالة عدم الاستقرار، باختلاف الأنواع والبيئة، وطول الفترة الزمنية، فيكون الأثر على سبيل المثال بزيادة معدل البقاء على قيد الحياة في فصل الشتاء الدافئ واستمرار عمليات النشاط الأيضي والتكاثر، مما يؤدي إلى زيادة عدد الأجيال عن المعدل الطبيعي. حيث تتراوح دورة حياة حشرة المن Aphis gossypii Glover من 20- 22 يوماً عند 10- 25 درجة م^0، ولكن عند 30 درجة م^0 سيستغرق الأمر من 6-9 أيام فقط لإكمال دورة الحياة كما في شكل (6)، كما أدت 6 أيام من درجات الحرارة المرتفعة إلى زيادة وضع البيض، وتطور أسرع للبيض وزيادة كتلة الجسم ومعدل النشاط لصرصور الحقل [12a].



شكل (6) أثر ارتفاع درجات الحرارة على معدل الأيض والتكاثر في حشرة المن والبقاء على قيد الحياة في الحشرات [12a].

2- أثر ارتفاع درجات الحرارة على إعادة توزيع النطاق الجغرافي للحشرات.

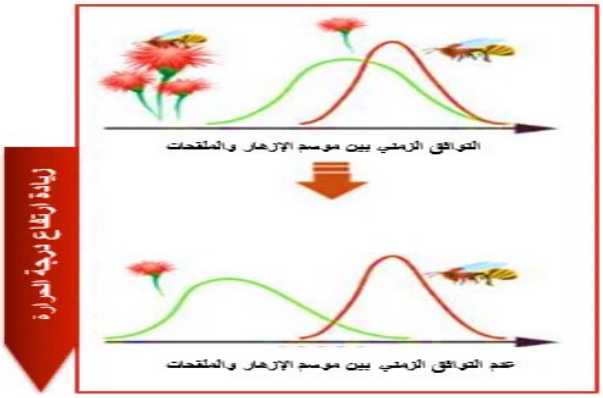
يوفر التغير المناخ الناجم عن ارتفاع درجات الحرارة منافذ بيئية جديدة وفرصاً لأنواع الحشرات وخاصة نواقل الأمراض النباتية والحيوانية لانتشارها في مناطق جغرافية جديدة والانتقال من منطقة إلى أخرى، كما تدفع آليات مختلفة هذه التغييرات، مما يؤدي إلى توسع النطاق أو الانكماش. مثل التفاعلات بين المحاصيل الزراعية والآفات الحشرية، فيمكن للمزارعين أن يتوقعوا مواجهة آفات جديدة ومكثفة في السنوات القادمة بسبب تغير المناخ. حيث يهدد انتشار آفات المحاصيل عبر الحدود الأمن الغذائي وأصبح مشكلة عالمية مشتركة بين جميع البلدان [12b]. كما أن ارتفاع درجات الحرارة يساهم في انتشار وتوسع النطاق الجغرافي لبعض نواقل الأمراض الحيوانية مثل أنواع البعوض الاستوائي حيث يسبب ارتفاع درجات الحرارة في المناطق الاستوائية من توسيع نطاقها الجغرافي إلى خطوط العرض الأعلى مما يعرض مناطق جديدة للأمراض المرتبطة بها كما يبين شكل (7) [13a].



شكل (7) أثر ارتفاع درجات الحرارة على توسع النطاق الجغرافي لنواقل الأمراض الحيوانية والنباتية (حشرة المن وأنواع البعوض) [12a]، [13a].

3- أثر ارتفاع درجات الحرارة على التفاعلات بين الحشرات كمُلقحات والنباتات.

تؤثر تقلبات درجات الحرارة بشكل كبير على توقيت وتزامن أحداث التلقيح بين النباتات والملقحات، مع عواقب عميقة على تكاثر النبات وتوازن النظام البيئي. تتفاعل النباتات المُلقحة بالحشرات بشكل عام بشكل أقوى مع زيادة الاحترار مقارنة بالنباتات المُلقحة بالرياح ويبدو أن الأنواع المزهرة في وقت مبكر من الموسم هي الأكثر حساسية، حيث يرتبط ظهور الإزهار بمتوسط درجة الحرارة في شهر الإزهار أو في الأشهر السابقة للإزهار [16]، كما أن الفترة الضوئية ورطوبة التربة و ثاني أكسيد الكربون لها تأثير على الإزهار والتلقيح ، تؤدي درجات الحرارة الأكثر دفئاً إلى الإزهار المبكر للنباتات والظهور المبكر للملقحات، ولكن لا يحدث ذلك بنفس المعدل، مما يؤدي إلى عدم التطابق الزمني بينهما. حيث أشارت إحدى الدراسات، أن ظهور ملكة النحل قبل 10 أيام من تاريخ الإزهار خلال فصل الربيع الدافئ، أدى إلى تعطيل التزامن وتقليل فُرص نجاح عملية التلقيح، كما أن درجات الحرارة المرتفعة والإجهاد المائي تقلل من كمية الرحيق وحبوب اللقاح بنسبة 60٪، وانخفاض المساحة الزهرية شكل (8) وهو أمر بالغ الأهمية لجذب المُلقحات [16a].



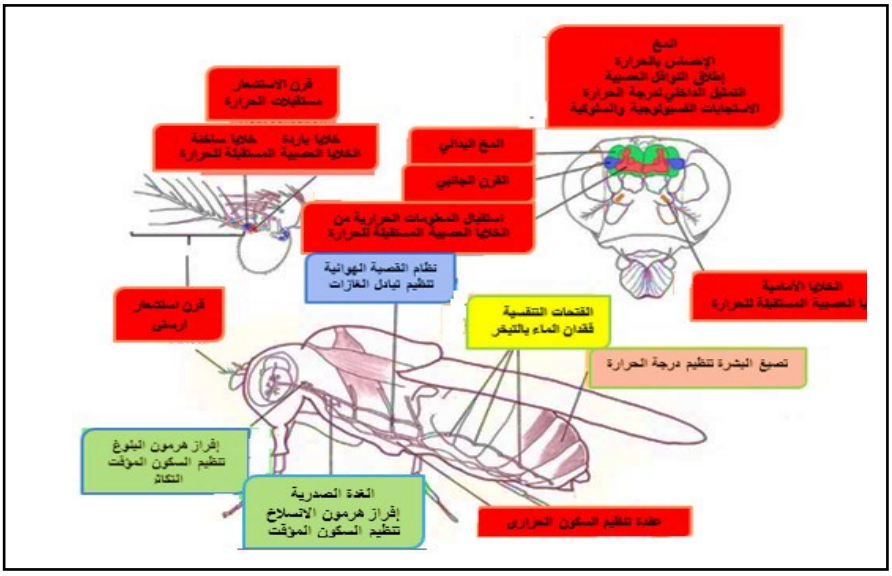
شكل (8) أثر ارتفاع درجات الحرارة على التوافق الزمني بين الحشرات كمُلقحات والنباتات [16a].

المبحث الثالث: أليات الاستجابة والأثار البيئية المحتملة عن الاحترار المناخي على الحشرات.

1- أليات الاستجابة التي تسمح للحشرات بالتكيف مع درجات الحرارة المرتفعة.

يعتمد تحمل الحرارة لدى الحشرات على مجموعة من الآليات المعقدة لوظائف الأعضاء. من بين هذه الآليات، يمكن تحديد الأكثر أهمية كما يلي:

- **الآليات العصبية** تستخدم الحشرات الأعصاب للتعرف على درجة الحرارة وتنفيذ استجابات وظيفية وسلوكية مناسبة. تشمل الاستجابة للحرارة من خلال خلايا عصبية حسيّة مثل مستقبلات الحرارة في قرون الاستشعار.
- **الاستجابات الأيضية:** تتفاعل الحشرات مع الحرارة من خلال تغيير معدلات الأيض، مما يساعد على معالجة الضغوط الناتجة عن درجات الحرارة المرتفعة.
- **تنظيم درجة الحرارة:** على الرغم من أن الحشرات حيوانات متغيرة الحرارة، إلا أن بعضها قادر على تنظيم درجة حرارة أجسامها بطرق وظيفية وسلوكية، تحسن أداءها في الظروف الحارة.
- **تأثيرات الهرمونات:** تلعب الهرمونات دوراً في تعديل الاستجابة لدرجات الحرارة، وتنظم وظائف الأعضاء والنمو والسلوك. حيث تتفاعل هذه الآليات مع بعضها البعض، كما أن تكاملها هو الذي يُحدد قدرة الحشرات على البقاء في بيئات ذات درجات حرارة مرتفعة. ويوضح شكل (9) الاستجابة المتكاملة للحرارة في ذبابة الفاكهة، وتمثل الألوان على الرسم استجابات الأجهزة الوظيفية المختلفة للحرارة: الجهاز العصبي، الأيض، الهرمونات، تنظيم درجة الحرارة [17].



شكل (9) أليات الاستجابة المتكاملة لدرجات الحرارة في ذبابة الفاكهة حسب الأجهزة الوظيفية المختلفة[17a].

2- الأثار البيئية للاحترار المناخي على الحشرات وتوازن النظام البيئي.

يشكل ارتفاع درجة حرارة المناخ تهديدات كبيرة لاهم مجموعة من الكائنات الحية على كوكب الأرض وهي مجموعة الحشرات لما لها من دور بارز في توازن النظام البيئي، والمحافظة على التنوع البيولوجي والتفاعلات البيئية. ويمكن تلخيص الآثار البيئية المحتملة في النقاط التالية:

- **انخفاض التنوع البيولوجي للحشرات.**

تشير الدارسات إلى انخفاض كبير في التنوع البيولوجي للحشرات المختلفة، مثل الفراشات والجنادب والنحل خاصة في المناطق الاستوائية حيث يتم استبدال الموائل الطبيعية والهجرة الى بيئات أكثر اعتدالاً أو الانقراض [18].

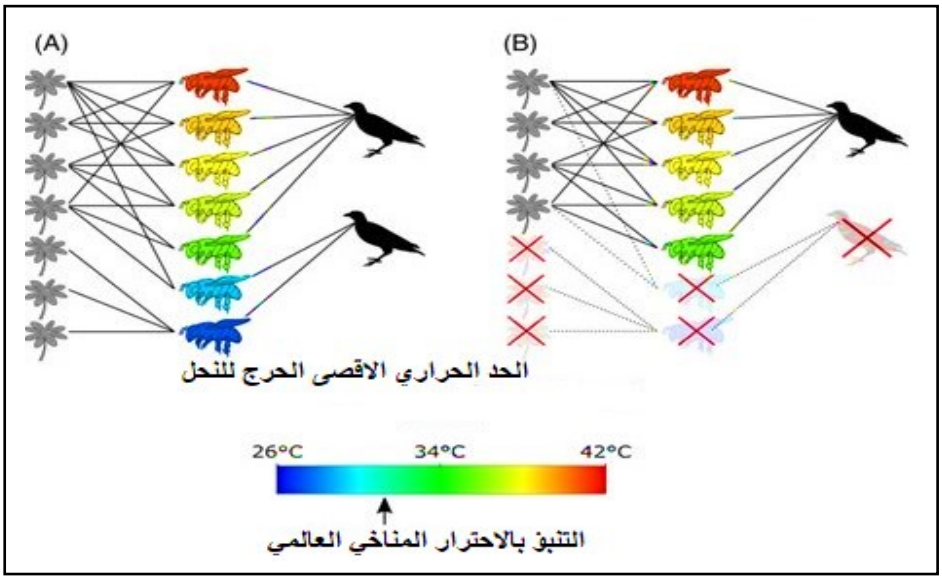
- **اضطراب وظيفة النظام البيئي.**

تلعب الحشرات أدواراً مهمة في دورة المغذيات والتلقيح ومكافحة الآفات. يمكن أن

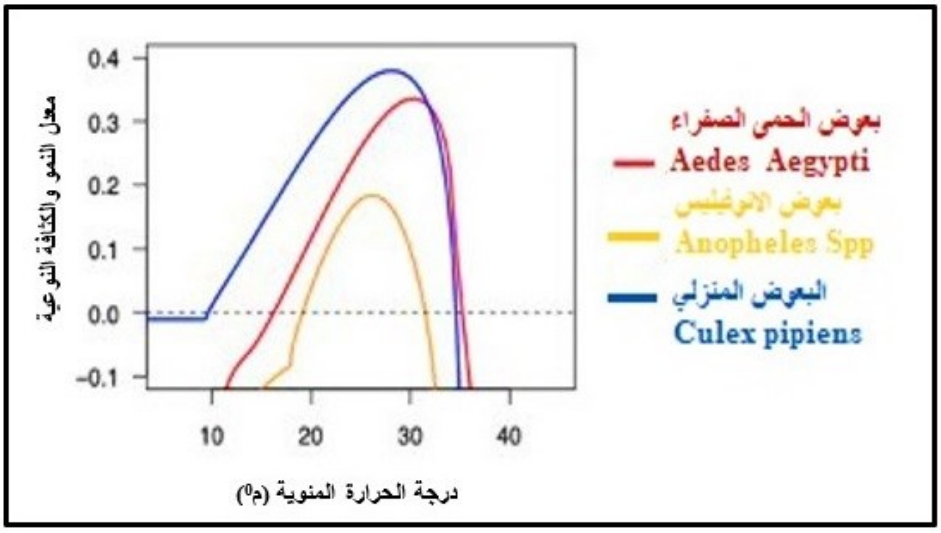
يؤدي انخفاضها إلى تعطيل هذه الوظائف مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية النبات وتغيير شبكات الغذاء، فيمكن أن يؤثر فقدان الملقحات بشكل مباشر على المحاصيل الزراعية، في حين أن انخفاض الحشرات المفترسة يمكن أن يؤدي إلى تفشي الآفات، مما يزيد من زعزعة استقرار النُظم البيئية [18a].

- **تحديات التكيف.**

الحشرات، كونها خارجية الحرارة، معرضة بشكل خاص للتغيرات في درجات الحرارة، والتي يمكن أن تتجاوز حدودها الوظيفية، مما يؤدي إلى انخفاض أعدادها، تُظهر المراقبة طويلة المدى أن العديد من مجموعات الحشرات تعاني بالفعل من انخفاض حاد بسبب تغيرات بيئية ناجمة عن التغير المناخ وتداعياته المتمثلة في ارتفاع درجات الحرارة ويبين شكل (10) إطار نظري لانقراض نوعين من النحل في سلسلة التفاعل التي تشمل ثلاثة مستويات غذائية (النباتات، النحل، الطيور) ويمثل(A) قبل و (B) بعد، تحت تأثير سيناريو الاحترار المناخي واستناداً إلى الحد الأقصى لتحملها الحراري. في هذه الحالة، عند انقرض نوعا النحل المميزان بالون الأزرق اللذان تجاوزا الحد الأقصى لتحملها الحراري الخاص بهما، سيتأثر ثلاثة أنواع من النباتات ونوع واحد من الطيور في السلسلة الغذائية، يمثل كل مستوى نوعاً من النباتات أو النحل أو الطيور، وتمثل الخطوط تفاعلات السلسلة الغذائية التي تربط بينها، ومن المتوقع حدوث تحولات جغرافية في أعداد نواقل الأمراض الحيوانية أيضا مثل البعوض، حيث أصبحت مناطق مثل شمال أفريقيا أكثر ملاءمة للمدى الحراري لبقاء بيض البعوض شكل (11) مما يؤثر على تكاثر وسلوك البعوض وتغير الديناميكيات البيئية للأمراض المنقولة بالنواقل و زيادة انتشارها [18b].



شكل (10) مدى التحمل الحراري لأنواع مختلفة من النحل وأثره على توازن النظام البيئي[18a].



شكل (11) التحمل الحراري لثلاثة أنواع مختلفة من البعوض الناقل للأمراض الحيوانية [18b].

المناقشة والنتائج:

أصبح التغير المناخي القضية البيئية الرئيسة في جميع أنحاء العالم، وبالتالي يجب أن تكون أبحاث التغير المناخي وتداعياته البيئية هي القضية البحثية الأولى، ويمثل الاحترار السمة الرئيسة لهذا التغير، ويبدو أن الاتجاه قد تسارع في العقود الثلاثة الماضية. تقع ليبيا في أكثر المناطق الصحراوية والأكثر جفافاً في العالم، ولقد وجدنا من خلال نتائج بحثنا هذا أن متوسط درجة الحرارة السنوية يظهر اتجاهاً متزايداً في ليبيا لاسيما خلال العام 2024، كما تُظهر معادلة الانحدار اتجاهات متزايدة لمتوسط درجة الحرارة المتوقعة على المدى القصير والمتوسط والطويل، والتي تقع ضمن مؤشر الاحترار المناخي العالمي ،هناك زيادة غير مسبوقة في متوسط درجات حرارة الهواء السطحي، وبالتالي فان درجة الحرارة هي العامل الحيوي الأكثر أهمية للكائنات الحية، بما فيها الحشرات والتي تمثل قاعدة أساسية في النظام البيئي، وباعتبارها من أكثر الكائنات الحية حساسية واستجابة لدرجات الحرارة المتغيرة ،مما يؤدي الى حدوث تغيرات جوهرية في أنماط حياتها المختلفة (التكاثر ودورات الحياة، وظائف الأعضاء، التوزيع الجغرافي، التنوع البيولوجي، السلوك)، في ظل الاحترار المناخي الحالي في ليبيا وبالتالي يمكن أن يؤدي تجاهل تلك التغيرات إلى عواقب بيئية وزراعية وصحية خطيرة. مثل فقدان الحشرات النافعة كمُلقحات، وأثرها البالغ على الإنتاج الزراعي والأمن الغذائي وتوسع النطاق الجغرافي للآفات الغازية ومسببات الأمراض للإنسان والحيوان مثل البعوض الناقل للملاريا وحمى الضنك، وعليه تُرفض الفرضيات الصفرية (HO) للبحث وتُقبل الفرضيات البديلة(H1) .

التوصيات:

- إنشاء محميات طبيعية تُعنى بالحفاظ على التنوع البيولوجي للحشرات.
- تفعيل الاتفاقيات الدولية المشتركة المعنية بالتغير المناخي لتصدي لانتقال الآفات الحشرية عبر الحدود بسبب الاحترار المناخي.
- تطوير خطط لإدارة المخاطر المرتبطة بظهور وانتقال الأمراض بسبب الاحترار المناخي لمراقبة التغيرات والتنبؤ بالآفات الحشرية المسؤولة.
- إجراء دراسات ميدانية مكثفة لمراقبة التفاعلات بين الحشرات والنباتات لضمان الإنتاجية الزراعية والأمن الغذائي.
- دعم البحث العلمي في مجال تأثير الاحترار المناخي على النُظم البيئية بشكل عام والتنوع البيولوجي للحشرات تحديداً.

المراجع:

1. Intergovernmental Panel on Climate Change, “Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty,” 2018. Available: https://www.ipcc.ch/sr15.

2. G. Ceballos and P. R. Ehrlich, "Mammal population losses and the extinction crisis," *Science*, vol. 296, no. 5569, pp. 904-907, 2002. doi: https://doi.org/10.1126/science.1069349.

3. J. M. Diamond, "The present, past and future of human-caused extinctions," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, vol. 325, no. 1228, pp. 469-477, 1989.

4. C. A. Hallmann et al., "More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas," *PloS One*, vol. 12, no.

10, e0185809, 2017. doi: https://doi.org/10.1371/.

5. K. Braun and J. Passon, Eds., *Across the Sahara: Tracks, Trade and Cross-cultural Exchange in Libya*, Springer Nature, 2020.

6. R. Kanzaki, S. Nagasawa, and I. Shimoyama, "Neural Basis of Odor-source Searching Behavior in Insect Brain Systems Evaluated with a Mobile Robot," *Chemical Senses*, 2005.

doi: 10.1093/CHEMSE/BJH226.

7. S. A. Adamo, "Stress responses sculpt the insect immune system, optimizing defense in an ever-changing world," *Developmental and Comparative Immunology*, 2017.

doi: 10.1016/J.DCI.2016.06.005.

8. K. Chandrakumara, A. K. Sau, and N. Basavaraj, "Variations in the Biological and Ecological Attributes of Insects Due to Climate Change: A Review," *Indian Journal of Entomology*, 2023.

doi: 10.55446/ije.2023.899.

9. Ageena, I., Macdonald, N., & Morse, A. P. (2014). Variability of maximum and mean average temperature across Libya (1945–2009). *Theoretical and applied climatology*, *117*, 549-563.

10. Aboufayed, A. F., & Hamid, H. M. (2021). Temperature as climate change indicators and reference evapotranspiration in the western region of Libya. *Libyan Journal of Agriculture, 25(3).*

11. Froja, N., & Ageena, I. (2023). Statistical and Spatial Analysis of Extreme Temperatures in Libya (1961-2020). *Journal of Pure & Applied Sciences*, *22*(2), 28-32.

12. Görür, G., Başer, G., Beğen, H. A., Şenol, Ö., & Akyürek, B. (2023). Effects of temperature fluctuations on aphids life cycle: Four case species. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *6*(1), 68-77.

13. Couper, L., Desire Uwera Nalukwago, D., Lyberger, K., Farner, J., & Mordecai, E. A. (2024). How much warming can mosquito vectors tolerate? *bioRxiv*, 2024-01.

14. IPCC, "Climate Change and Land, a special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land

management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems," Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

15. H. Hersbach et al., "The ERA5 Global Reanalysis: achieving a detailed record of the climate and weather for the past 70 years," *European Geophysical Union General Assembly*, 2020, pp. 3-8.

16. M. G. Sable and D. K. Rana, "Impact of global warming on insect behavior-A review," *Agricultural Reviews*, vol. 37, no. 1, pp. 81-84, 2016.

17. Bhagarathi, L. K., & Maharaj, G. (2023). Impact of climate change on insect biology, ecology, population dynamics, and pest management: A critical review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *19*(3), 541-568.

18. A. Molumby, "Range Expansion of Insect Vectors due to Climate Change," *American Journal of Biomedical Science & Research*, vol. 6, no. 5, 2019. doi: 10.34297/AJBSR.2019.06.001078.