مجـــلة

جامعة الملك خالد
KING KHALID UNIVERSITY

جامعة الملك خالد

للعلوم الإنسانية

دورية علمية نصف سنوية - محكمة

المجلد الحادي عشر- العدد الثاني (ديسمبر 2024)

عن المجلة:

مجلة جامعة الملك خالد للعلوم الإنسانية دورية علمية نصف سنوية، متخصصة في العلوم الإنسانية، محكمة في آلية قبول البحوث القابلة للنشر بها، وتهدف إلى نشر الإنتاج العلمي للباحثين في تخصصات العلوم الإنسانية، وتعنى بالبحوث الأصيلة التي لم يسبق نشرها باللغتين العربية والإنجليزية التي تتسم بالمصداقية واتباع المنهجية العلمية السليمة.

أهداف المجلة:

- الإسهام في إبراز دور الحضارة الإسلامية في إثراء العلوم الإنسانية.
- نشر البحوث العلمية المحكمة في مجال العلوم الإنسانية بفروعها المختلفة.
- الإضافة إلى مركوم المعرفة في الدراسات الإنسانية.
- إبراز جهود الباحثين في الدراسات والبحوث العلمية ذات الصلة بموضوعات الإنسانيات.

هيئة التحرير:

أ.د. عبدالرحمن حسن البارقي	رئيس التحرير
د. جميلة ناصر آل محيا	مديرة التحرير
أ.د. متعب عالي البحيري	عضو هيئة التحرير
أ.د. مفلح زابن القحطاني	عضو هيئة التحرير
أ.د. عبدالحميد سيف الحسامي	عضو هيئة التحرير
د. أحمد علي آل مريع	عضو هيئة التحرير
د. حمساء حبيش الدوسري	عضو هيئة التحرير

قواعد النشر:

1. تقديم البحث إلى المجلة هو التزام وتعهد من الباحث بعدم انتهاك الحقوق الفكرية.
2. نشر البحث في المجلة يتضمن موافقة المؤلف على نقل حقوق النشر للمجلة.
3. تُقبل الأبحاث باللغتين العربية والإنجليزية.
4. يجب أن يتصف البحث بالأصالة والابتكار والجدة واتباع المنهجية العلمية، وصحة اللغة وسلامة الأسلوب.
5. أن لا يكون قد سبق نشر البحث، أو قُدم للنشر في مكان آخر.
6. أن لا يكون البحث جزءًا من كتاب منشور أو مستلًا من رسالة علمية.
7. أن لا يزيد عدد كلمات البحث عن عشرة آلاف كلمة بما في ذلك الجداول والملاحق والمراجع.
8. في حالة الأبحاث المشتركة (الجماعية) تُرفق اتفاقية موقعة من الباحثين تتضمن نسبة إسهام كل باحث في العمل المقدم للنشر بالمجلة.
9. يلتزم الباحث بتقديم ما يفيد بمصدر تمويل الأبحاث في حالة وجود دعم لتلك الأبحاث.

10. أن يحتوي البحث على عنوان باللغتين العربية والإنجليزية، وعلى ملخصين باللغتين في حدود (250) كلمة لكل ملخص، ويتضمن الملخصان الهدف، والمشكلة، والمنهج، وأهم النتائج، والكلمات المفتاحية.
11. دفع رسوم التحكيم والنشر في المجلة بمقدار ألفي ريال.
12. إرفاق سيرة ذاتية مختصرة للباحث/ين في صفحة مستقلة.
13. إرفاق شهادة تدقيق لغوي للأبحاث المكتوبة باللغة الإنجليزية.
14. استخدام نظام جمعية علم النفس الأمريكية (APA) في التوثيق داخل النص وفي كتابة المراجع.
15. رومنة المصادر والمراجع العربية بعد كتابتها بالعربية مباشرة، وقبل الانتقال إلى المصادر والمراجع بلغة أجنبية.
16. تكتب البحوث العربية بخط Traditional Arabic حجم 16 للمتن، و 12 للهوامش.
17. تكتب البحوث الإنجليزية بخط Times New Roman حجم 12 للمتن، وحجم 10 للهوامش.
18. المسافة بين الأسطر.(1.0)
19. يوضع عنوان البحث وصفة الباحث في صفحة مستقلة على النحو الآتي: العنوان بالعربية بمقاس 20، واسم الباحث مقاس 18، وصفته مقاس 14، وباللغة الإنجليزية العنوان مقاس 16، واسم الباحث مقاس 14، وصفته مقاس 12.
20. تُراعى الشروط الفنية لنوع الخط وحجمه في الأبحاث التي تتضمن اللغتين العربية والإنجليزية.
21. على الباحث الالتزام بالتعليمات الفنية، والتدقيق اللغوي قبل إرسال بحثه إلى المجلة.

يُقدَّم البحث من خلال نظام التحرير للمجلات العلمية بجامعة الملك خالد على موقع المجلة او موقع وحدة المجلات والجمعيات العلمية بجامعة الملك خالد او على الرابط التالي (الدخول على نظام التحرير للمجلات العلمية)

الترقيم الدولي: ISSN: 1685-6727

أبحاث العدد:

م	البحث	الصفحة
1	زخارف الأبواب الخشبية في العمارة التقليدية بمنطقة عسير "دراسة تراثية فنية" د. علي عبد الله مرزوق	1- 51
2	السلمية الحجاجية في ديوان مالك بن الريب، مقاربة تداولية. د. فوزية سعد القرني	52- 72
3	تداولية العتبات في ديوان شهد الحروف للشاعر بدر عبدالمحسن د. فوزيه يحيى سعيد النجيمي عسيري	73- 106
4	الأمنُ النفسيُّ في ضوْء الاحتياجات النفسية والاجتماعية والأكاديمية لدى طالبات الجامعة. د. ثريا جبير الطلحي	107-129
5	الشخصيات في رواية الأندلسي الأخير. دراسة "سيميائية". د. هدى آل الشيخ مبارك	130- 151
6	الاستعارة في الخطاب العلميّ: قراءة في الإسقاط الخطاطي على تصوّر العلم في دلائل الإعجاز للجرجاني. د. منى بنت خالد الرويلي	152- 182
7	تحليل وتصنيف الخصائص السكانية وعلاقتها بالتنمية المستدامة في منطقة عسير بالمملكة العربية السعودية. د. ملهى على مفرح الغـزوانى	183- 216
8	سيميائية العنوان في شعر حسن صميلي. د. شيمة محمد الشمري	217- 236
9	تغير المناخ ومحاكاة تأثيره على التنمية السياحة في محافظة البدع خلال الفترة (1993 - 2050) م باستخدام الأتمتة الخلوية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. د. أمل بنت حسين آل مشيط	237-274
10	تصور مقترح لتصميم بودكاست لغوي ثقافي لتعزيز الكفاءة الثقافية السعودية لدى متعلمي اللغة العربية الناطقين بغيرها. د. عادل عبدالله الدوسري. د. محمد إبراهيم الجراح. د. أحمد علي المكرفح.	275- 296
11	التحليل المكاني للتركيب النوعي والعمري في المملكة العربية السعودية لعامي (2010-2022). د. حسن عبدالله مرعي العمري	297- 326

تغير المناخ ومحاكاة تأثيره على التنمية السياحة في محافظة البدع خلال الفترة (1993 – 2050 م) باستخدام الأتمتة الخلوية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية

د. أمل بنت حسين آل مشيط

أستاذ الجغرافيا المناخية المشارك –كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة الملك خالد

Climate change and simulation its impact On tourism development in Al- Bad Governorate between (1993 - 2050) using cellular automation in GIS

Dr. Amal Husain Saeed Al Mushayt

Associate Professor - Department of Geography Faculty of Arts and Humanities- King Khalid University

الملخص:

تهدف الدراسة لتحليل تغير عناصر المناخ خلال الفترة 1993 – 2023م، ومحاكاة تأثيراتها على التنمية السياحية بين عامي 2024 – 2050م بمحافظة البدع شمال غرب منطقة تبوك، وتسد **الدراسة مشكلة** عدم وجود أدبيات تحاكي ملاءمة المناخ للسياحة مستقبلا في محافظة البدع بصورة عامة ومدينة نيوم بصورة خاصة، ولتحقيق الهدف **أُتبعت منهجية** تدرجت من جمع بيانات المناخ من موقع ناسا، وتهيئة البيانات لاشتقاق خرائط عناصر المناخ بوساطة الاستيفاء المكاني في نظم المعلومات الجغرافية، وإعادة تصنيفها حسب حدود فئات مؤشرات مناخ السياحة، وتحليل تغيراتها بين مدتين ونمذجة الملاءمة الحرارية والمناخية، وبموجب طبقتي نمذجة ملاءمة المناخ بالماضي تمت محاكاة ملاءمته في المستقبل حتى عام 2050م باستخدام نموذج الانحدار المتعدد اللوجستي.

وتظهر نتائج تحليل آثر تغير عناصر المناخ في ملاءمته للسياحة بين 1993 – 2023م تأثيراتها بشكل إيجابي؛ حيث ظهرت تغيرات الراحة الحرارية وملاءمة مناخ العطلات والشواطئ، ونحو 99.998% من ملاءمة مناخ السياحة بصورة إيجابية، وتظهر نتائج محاكاة تأثير تغير المناخ في ممارسة الأنشطة السياحية للأعوام 2030، 2040، 2050م إيجابية تأثيراتها في ملاءمة المناخ، ومما تؤكده نتائج المحاكاة ارتفاع المتوسط المكاني لنسبة ملاءمة المناخ بمختلف مؤشرات مناخ السياحة من 90.5% عام 2030م إلى 91.23% عام 2040م إلى 92.38% عام 2050م، واستمرارية وقوع مدينة نيوم ضمن المنطقة التي تتصف بملاءمة مثالية للمناخ، وزيادة مساحة هذه المنطقة من 2383.8 كم^2، بنسبة 57.37% من مساحة المحافظة عام 2030م، إلى 2957.17 كم^2، بنسبة 71.17% من مساحة المحافظة عام 2050م.

كلمات مفتاحية: عناصر المناخ، محاكاة ملاءمة المناخ، الانحدار المتعدد اللوجستي، الأتمتة الخلوية، محافظة البدع، مدينة نيوم.

Abstract:

The study aims to analyze changes in climate elements 1993 -2023, and to simulate their impacts on tourism development 2024 - 2050 in the Al-Bad Governorate, northwest of the Tabuk region. The study fills the problem of the lack of literature that simulates the suitability of the climate for future tourism in Al-Bad Governorate in general and the city of Neom in particular. To achieve this aim, a methodology was followed that included collecting climate data from NASA's, preparing the data to derive climate element maps through spatial interpolation in GIS, reclassifying them according to boundaries of tourism climate indicators, analyzing their changes over two periods, and modelling thermal and climatic suitability. Based on two layers of past climate suitability modelling, its future suitability until 2050 was simulated using the multiple logistic regression model.

The outcomes of a review of the impact of climate change on its suitability for tourism 1993 - 2023 show its positive effects, as changes in thermal comfort and suitability of holiday climate and beaches appeared, and 99.998% of suitability of tourism climate appeared in a positive way, and results of simulating impact of climate change in practicing tourism activities for years 2030, 2040, 2050 AD have positive effects on climate suitability What is confirmed by the simulation results is increase in spatial average of climate suitability in various tourism climate indicators from 90.5% in 2030 to 91.23% in 2040 to 92.38% 2050, Neom city will continue in an area characterized by ideal climatic conditions, with area of this region increasing from 2383.8 km², 57.37% of governorate's area in 2030, to 2957.17 km², 71.17% of governorate's area in 2050.

Keywords: Climate elements, climate suitability simulation, logistic multiple regression, cellular automation, Al- Bad Governorate, Neom City.

مقدمة:

تعتبر السياحة واحدة من أكبر القطاعات الاقتصادية وأسرعها نموا في المملكة العربية السعودية، وتتأثر السياحة بتغيرات عناصر المناخ. ويعتبر تغير المناخ قضية مهمة بسبب تأثيراته على التنمية، ويعد تغير المناخ محور مهم في توطين مشاريع التنمية السياحية المستدامة، وتحقيق أهداف خطط التنمية المستدامة 2020 – 2030م. وزاد الاهتمام بفهم العلاقة بين السياحة وتغير المناخ؛ حيث إن تغير المناخ والسياحة لهما علاقة مزدوجة (Magnusson et al., 2024). وقد أظهرت قطاعات اقتصادية مختلفة مستويات متعددة من الضعف تجاه تأثيرات تغير المناخ (Steiger et al., 2023). وتؤثر تغيرات المناخ على أحجام السياحة مما يؤدي إلى تقلبات زمنية كبيرة في معدلات استخدام البنية التحتية للسياحة والدخل في صناعة السياحة (Li et al., 2007). ويتمتع قطاع السياحة بتاريخ طويل من الاهتمام بالمناخ والطقس، بسبب دورهما في تشكيل الأنشطة السياحية Verbos (& Brownlee, 2017). وتطور التركيز والانتباه مع تطور فهم تغير المناخ عبر المكان والزمان (Navarro-Drazich et al., 2023). وتعتمد العديد من الأنشطة السياحية بشكل كبير على الظروف المناخية والجوية المثالية (Dube, 2024). وعليه فقد طور قطاع السياحة مؤشرات مناخية سياحية مختلفة لفهم كيف يمكن لتغير المناخ أن يعطل الأنشطة المختلفة (Yu et al., 2022). ومن ثَمَّ فإن تغييرات المعايير المناخية في وجهات مختلفة يمكن أن تؤثر إيجابًا أو سلبًا على الأنشطة السياحية (Dube & Nhamo, 2021). وتعتبر نماذج المناخ أدوات مهمة لتحسين فهمنا وقدرتنا على التنبؤ بسلوك ملاءمة المناخ للسياحة وغيرها من الأنشطة البشرية على مختلف المستويات الزمنية؛ لذا أصبح المناخ والمحاكاة مفهومين متشابكين خلال العقود الماضية، وذلك لأن المجتمعات تريد أن تعرف كيف سيتغير المناخ في العقود القادمة. ولا يمكن تحقيق التجارب الحاسوبية لفهم أفضل للعمليات المناخية، وكذلك التنبؤات بالمستقبل المحتمل إلا باستخدام نماذج المناخ. وبذلك طورت نماذج مختلفة لتغير مناخ السياحة لمختلف الأنشطة السياحية، لفهم دور المناخ بشكل أفضل في كل نشاط خاص بالسياحة (Scott et al., 2019).

وتعتبر الأتمتة الخلوية (CA) نماذج تحاكي ديناميكية التغيرات المستقبلية المكانية الزمانية بناءً على تغيراتها خلال فترتين في الماضي، ومن ثم فهي تقنية نمذجة مكانية زمنية يتم فيها تطبيق مجموعة من القواعد لتحديد تغيرات الخلايا في المستقبل بناءً على الوضع السابق لكل خلية ووضع جيرانها في طبقات (Raster)، وتتألف من مجموعة من العناصر المتصلة بخلايا أخرى، وفي كل وحدة زمنية تتلقى كل خلية معلومات حول الحالة الحالية للخلايا التي تتصل بها، ويتم من خلالها محاكاة المستقبل وفقًا لحالاتها السابقة، وقد تم استخدام الأتمتة الخلوية على نطاق واسع في نماذج محاكاة تغيرات المناخ. ويؤدي تغير المناخ دورا مهما في التنمية الاقتصادية والإدارية والطلب السياحي في المستقبل.

وبذلك تقدم هذه الدراسة منهجية جديدة لتقييم تأثير سيناريوهات تغير المناخ على ملاءمة المناخ لممارسة الأنشطة السياحية في محافظة البدع بين عامي 2024 – 2050م؛ حيث ستعمل الدراسة في البداية على كشف تغيرات عناصر مناخ السياحة، وتأثيراتها على نموذجي ملاءمة مناخ المنطقة، كل نموذج يمثل 15 عاما بين عامي 1993 – 2023م، وبموجبهما ستتم محاكاة ملاءمة المناخ للأنشطة السياحية في محافظة البدع في المستقبل خلال الأعوام 2030، 2040، 2050م، اعتمادا على تغيراتها خلال ثلاثين عام ماضية، وسوف تتم محاكاة ملاءمة المناخ بواسطة الأتمتة الخلوية بنماذج المحاكاة الإحصائية المتوفرة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية ممثلة في نموذج الانحدار المتعدد اللوجستي.

دراسات سابقة:

تطرقت دراسة Rahman & Lateh. (2017) لتغير المناخ في بنغلاديش: تحليل مكاني زمني ومحاكاة لبيانات درجات الحرارة وهطول الأمطار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونموذج تحليل السلاسل الزمنية، تم تحليل بيانات درجات الحرارة والأمطار على مدى 40 عامًا (1971 – 2010) لتقييم حجم تغييراتهما مكانيًا باستخدام الانحدار الخطي ومعامل التباين وتقنيات الاستيفاء في أنظمة المعلومات الجغرافية لتحليل اتجاهات وتقلبات وأنماط توزيعها مكانيا، وتم استخدام نموذج السلاسل الزمنية لمحاكاة درجات الحرارة وهطول الأمطار، وتوصلت النتائج لتغير قوي للمناخ مع اتجاه تصاعدي لمتوسط درجات الحرارة بمقدار 0.20 درجة مئوية كانت أشدها في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية والشمالية الشرقية والوسطى والجنوبية الوسطى، واتجاه تصاعدي لهطول الأمطار بنحو 7.13 ملم/ عام.

واستخدم Lara et al. (2018) نموذج أتمتة خلوية لمحاكاة التأثيرات المستقبلية المحتملة لتغير المناخ على الغطاء الثلجي في جبال سييرا نيفادا جنوب إسبانيا، وذلك من خلال عدة سيناريوهات لتغير المناخ المحتمل لأجل تقييم التأثير المحتمل لتغير المناخ على الغطاء الثلجي، وتم تحليل تأثير الارتفاع على التأثير المحتمل لتغير المناخ على المنطقة، وتوصلت النتائج إلى أن حجم التغيرات المحتملة المرتبطة بتغير المناخ يتزايد مع الارتفاع في حالة درجات الحرارة، وينخفض في حالة هطول الأمطار، وتعمل هذه التغيرات المحتملة على تعديل ديناميكيات الثلوج؛ مما يتسبب في انخفاض كبير في المساحة المغطاة بالثلوج بمتوسط 60.4%.

واستخدمت دراسة Demiroglu et al. (2020) مؤشر مناخ العطلات لتحديد الوجهات السياحية الحضرية والشاطئية في المستقبل بمنطقة البحر الأبيض المتوسط، وكان هدف الدراسة تقييم أداء المؤشر من خلال حساب درجات مؤشر مناخ العطلات للفترة المرجعية (1971–2000) والمستقبلية (2021–2050، 2070–2099)، واستخدم معدل الانحدار في محاكاة نموذج المناخ في المستقبل.

وتناولت دراسة Esha & Rahman. (2021) محاكاة درجة حرارة سطح الأرض في المستقبل في ظل سيناريو تغير المناخ باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في منطقة راجشاهي الشمالية الغربية، بنغلاديش، كان هدف الدراسة تقييم النمط المكاني الزمني لدرجة حرارة سطح الأرض بين عامي 2014-2020م، ومحاكاتها في المستقبل بالاعتماد على بيانات لاندسات، وتم حساب اتجاه متوسط درجات الحرارة السنوية والموسمية وتقييم تأثير استخدام الأراضي من خلال تحليل الانحدار، والتنبؤ بدرجة حرارة سطح الأرض لعامي 2022 و 2024 باستخدام نموذج أتمتة خلوية متكامل مع الشبكة العصبية الاصطناعية، وتوصلت الدراسة إلى ارتفاع متوسط درجة حرارة السطح بمقدار $^{+}0.0195$ درجة م/ سنة.

وقامت دراسة Yu et al. (2022) بنمذجة ملاءمة مناخ الصين للسياحة في ظل تغير المناخ: تحليل متعدد المعايير باستخدام مؤشر مناخ العطلات، وعليه فقد قامت هذه الدراسة بتقييم تأثير تغير المناخ على مناخ العطلات والشاطئ بين 1981-2010، ومحاكاتها حتى منتصف أواخر القرن الحادي والعشرين باستخدام نماذج محاكاة مناخية عالمية، وتعزز النتائج من أهمية استخدام المؤشرات الخاصة بالسوق لتقييم أخطار المناخ في المستقبل، وتوفير معلومات مناخية جديدة ذات صلة بالقرار لمديري السياحة ومخططي الوجهات في جميع أنحاء الصين.

وتطرقت دراسة Steiger et al. (2022) لمحاكاة تأثير تغير المناخ على الطلب على السياحة الشتوية في النمسا، وقامت الدراسة بنمذجة تفاعل تغير المناخ الموسمي والطلب على سياحة التزلج، ومحاكاة تأثيرات ظروف الثلوج المتغيرة على الطلب على التزلج، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تغير المناخ الموسمي يؤثر في ظروف الثلوج التي تحدث في فترات موسمية مختلفة وتتسبب في انخفاض الطلب.

وبذلك لا تولي غالبية الأدبيات السياحية اهتماما كبيرا للمناخ والتغير المناخي، كما أن الدراسات التي تتناول تأثير التغير المناخي لا تولي اهتماما كبيرا للسياحة.

أهمية الدراسة:

تكمن الأهمية في وقوع مدينة نيوم ضمن محافظة البدع، وستقوم هذه الدراسة بتتبع تغيرات عناصر المناخ المؤثرة في التنمية السياحية المستدامة خلال ثلاثين عاما بين عامي 1993 - 2023م، ومحاكاة تأثيرات ذلك على ملاءمة مناخ المنطقة للسياحة حتى عام 2050م، وسيرافق ذلك تحديد مدى ملاءمة موقع مدينة نيوم للسياحة المناخية في المستقبل، وسوف تساعد نتائج هذه الدراسة المخطط وصانع القرار من اتباع السياسات والخطط المناسبة للسياحة المستدامة في محافظة البدع بصورة عامة ومدينة نيوم بصورة خاصة، وتعتبر هذه الدراسة الأولى على مستوى المملكة في محاكاة تغير المناخ وتأثيراته على السياحة المستدامة في المستقبل.

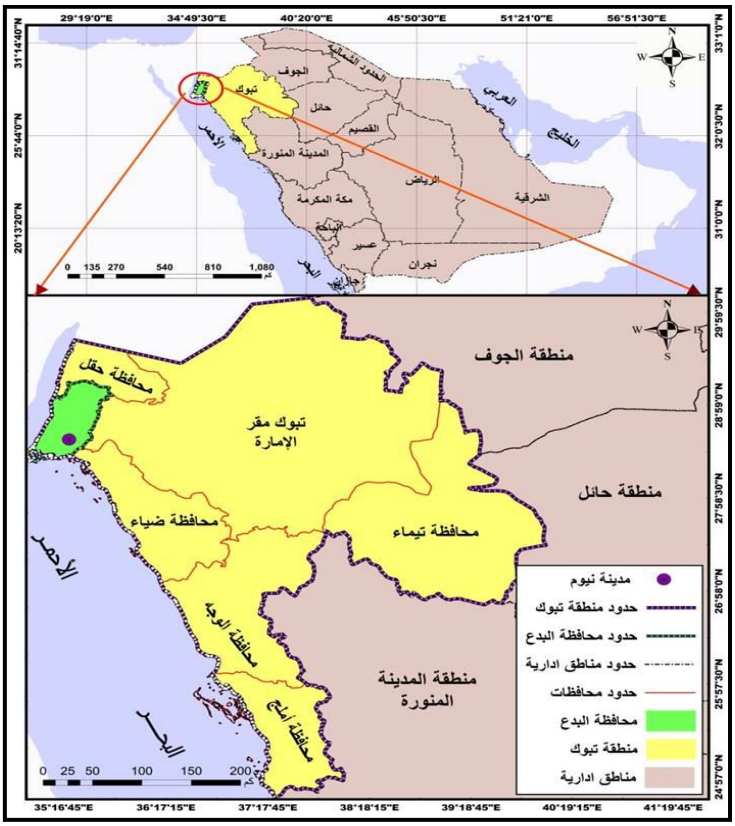
أهداف الدراسة:

- كشف التغيرات المكانية والزمانية لعناصر المناخ السياحي في محافظة البدع بين عامي 1993 - 2023م.

- تحليل أثر تغير عناصر المناخ السياحي على ملاءمة المناخ للأنشطة السياحة بين عامي 1993 - 2023م.
- محاكاة ملاءمة المناخ للأنشطة السياحة في محافظة البدع في المستقبل بالأعوام 2030، 2040، 2050م.

منطقة الدراسة:

تقع محافظة البدع على مدخل خليج العقبة شمال غرب منطقة تبوك شمال غرب المملكة العربية السعودية كما يظهر شكل (1)، وتقع فلكيا بين دائرتي عرض "30 '02 28°- "30 '54 28° شمالا، وبين خطي طول "30 '34 34° - "00 '24 - 35° شرقا، وتبلغ مساحة المحافظة 4155.2 كم^2، بنسبة 2.8% من إجمالي مساحة منطقة تبوك التي تعتبر محافظة البدع إحدى محافظاتها، وتقع مدينة نيوم جنوب محافظة البدع، وتتمتع المحافظة بالإمكانات المناخية المهمة للتنمية السياحية، وهو الأمر الذي سيتم ملاحظته في الفقرات القادمة أثناء مناقشة نتائج الدراسة التي تؤكد وقوع محافظة البدع حسب مختلف مؤشرات المناخ السياحي والعطلات والشواطئ في مكان يتمتع بإمكانات عالية جدا إلى مثالية لممارسة الأنشطة السياحية الحالية والمستقبلية.



شكل رقم (1) موقع محافظة البدع

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على طبقات (Shapfile) للمناطق الإدارية والمحافظات، الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية، (2024).

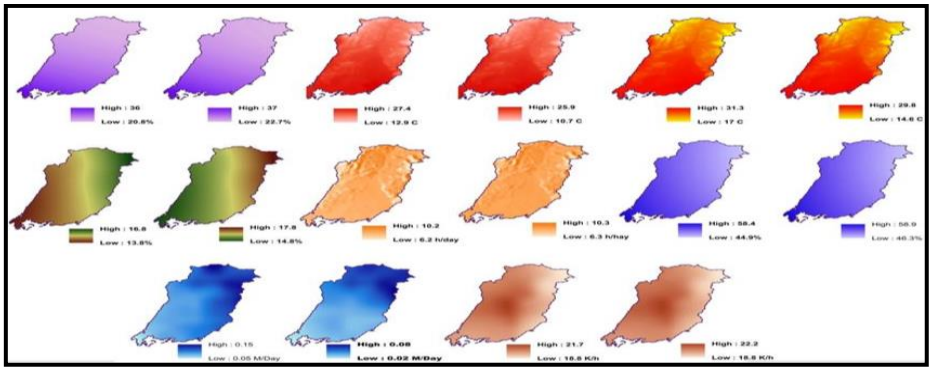
منهجية الدراسة وبياناتها:

تعتبر مراجعة الأدبيات والمنهجيات السابقة مهمة في تحديد موضوع الدراسة ومنهجيتها وتفسير ومناقشة نتائجها. واعتمدت الدراسة على منهج التحليل المكاني الكمي في نظم المعلومات الجغرافية لنمذجة ملاءمة المناخ للسياحة

في مرحلتين بالماضي: الأولى بين عامي 1993 – 2008م، والثانية بين عامي 2008 – 2023م، وبموجب هذه النتائج سوف تستخدم الدراسة المنهج الاستقرائي في محاكاة ملاءمة المناخ في المستقبل للأعوام 2030، 2040، 2050م، وتعتبر النماذج الإحصائية والجغرافية المكانية هي الطرق الأكثر شهرة لأداء هذا العمل، كما أن التقدم في ربط هذه النماذج بأساليب الذكاء الاصطناعي كالأتمتة الخلوية والشبكة العصبية والتعلم العميق، وبذلك فقد تدرجت منهجية الدراسة كما يأتي:

1) البيانات: اعتمدت الدراسة في نمذجة ملاءمة المناخ للسياحة بين عامي (1993–2050م)، ومحاكاة تغيراتها في المستقبل في محافظة البدع بين عامي (2023–2050م)، على بيانات عناصر المناخ السياحي متمثلة في درجات الحرارة والرطوبة النسبية، وعدد ساعات الإشعاع الشمسي، ونسبة تغطية السحب والأمطار، وسرعة الرياح التي تم الحصول عليها بتاريخ (2024/9/13) على شكل طبقات (Raster) بدقة مكانية تتراوح بين 1×1 – 60×60 كم/ بكسل من موقع ناسا، بيانات مناخ الارض (https://giovanni.gsfc.nasa.gov). ومن ثم فإن البيانات المستخدمة في محاكاة ملاءمة مناخ المنطقة للأنشطة السياحية المستقبلية بين عامي (2023 – 2050م) تعتمد على البيانات اليومية لعناصر المناخ لكل الأيام ذات الظروف الجوية المواتية وغير المواتية بين 1/ 1/ 1993م حتى 31/ 12/ 2023م.

2) معالجة البيانات واشتقاق الطبقات: بما أن بيانات عناصر المناخ التي جمعت سابقا بالنظام الجغرافي، وتختلف عن بعضها في الدقة المكانية والزمنية، ولأجل الحصول على نتائج دقيقة من نمذجة ومحاكاة ملاءمة المناخ في المحافظة في الماضي والمستقبل، كان لابد من تهيئة بيانات عناصر المناخ من خلال إعادة إرجاعها بالنظام المتري للمنطقة، ومعالجة الدقة الزمنية لبعض البيانات بما يتناسب مع نفس الوحدات المستخدمة في مؤشرات نمذجة ملاءمة المناخ للسياحة، وبعدها قامت الدراسة باشتقاق الطبقات المستمرة لعناصر المناخ كما تبين الصور في شكل رقم (2)، باستخدام خوارزمية الاستيفاء المكاني (Spline)، ورافق ذلك توحيد دقة طبقات عناصر المناخ عند 30 م.

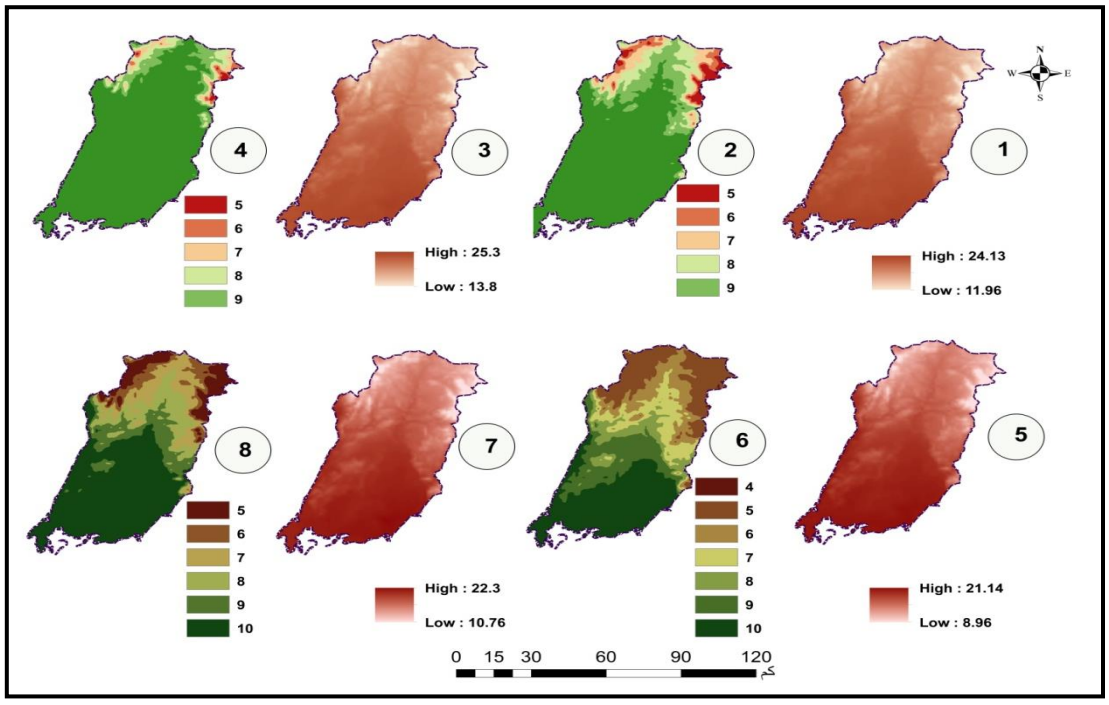


شكل (2) خرائط توزيع درجات الحرارة القصوى والمتوسطة والرطوبة النسبية الدنيا والمتوسطة والإشعاع ونسبة غطاء السحب والرياح والأمطار بين عامي 1993 – 2023م

3) نمذجة ملاءمة الراحة الحرارية: استخدمت الدراسة الحاسبة في برنامج (GIS) لنمذجة الراحة الحرارية في النهار واليوم خلال الفترتين: الأولى بين عامي 1993 – 2008م والثانية بين عامي 2009 – 2023م، وذلك من خلال تطبيق في معادلة مؤشر الحرارة الفعالة (E) المعطى بالصيغة الرياضية الآتية:

$$E = T - 0.4(T - 10)(1 - RH/100). \text{ (Gregorczuk \& Cena, 1967, p. 147).} \quad (1)$$

حيث (E) الحرارة الفاعلة، (T) درجة الحرارة العظمى اليومية مئوية في حالة الراحة الحرارية نهارا (HID) والمتوسطة في حالة الراحة اليومية (HIA)، و(RH) الرطوبة النسبية (%) الدنيا عند حساب الراحة نهارا والمتوسطة عند حساب الراحة اليومية، ومن ثم إعادة تصنيف الطبقات المستمرة إلى رتب حسب حدود التصنيف المعتمدة في مؤشر مناخ السياحة وإعطاء كل فئة وزن كما يظهر في الشكل (3) يتراوح بين 0 – 10 حسب أوزان هذا المؤشر، وتظهر نتائج تطبيق المعادلة السابقة الخريطتان (1، 2) للراحة الحرارية وفئاتها في النهار بين عامي 1993 – 2008م، والخريطتان (3، 4) للراحة الحرارية وفئاتها في النهار بين عامي 2009 – 2023م، والخريطتان (5، 6) للراحة الحرارية وفئاتها خلال اليوم بين عامي 1993 – 2008م، والخريطتان (7، 8) الراحة الحرارية وفئاتها خلال اليوم بين عامي 2009 – 2023م.



شكل (3) فئات الراحة الحرارية نهارا ويوميا في محافظة البدع بين عامي 1993 – 2023م

4) نمذجة ملاءمة المناخ للسياحة: تعتبر نماذج المناخ على مدى العقود الأخيرة استجابة للتقدم في الحوسبة، ولأجل نمذجة ملاءمة مناخ محافظة البدع خلال مرحلتين: الأولى بين عامي 1993 – 2008م، والثانية بين

عامي 2008 – 2023م، فقد استخدمت الدراسة حاسبة (GIS). في تطبيق معادلات ثلاثة نماذج بداية بمؤشر مناخ السياحة والعطلات والشواطئ كما يأتي:

$$TIC= 2 \times [4 \times HID + HIA + 2 \times P + 2 \times S + W]. \text{ (Mieczkowski,. 1985, p. 225).} \quad (2)$$

في المعادلة السابقة يمثل (Tourism Climate Index) مؤشر مناخ السياحة، (HID) الراحة الحرارية في النهار (Comfort index during the day). (HIA) الراحة الحرارية اليومية (daily comfort index)، (P) كمية الأمطار (Precipitation)، (S) ساعات الإشعاع الشمسي (Solar radiation hours)، (W) سرعة الرياح (Wind speed)، وتظهر نتائج تطبيق هذه المعادلة في المجموعة الأولى من الصور في شكل رقم (4)، وتظهر الخريطتان (1، 2) ملاءمة مناخ السياحة بين عامي 1993 – 2008م، والخريطتان (3، 4) ملاءمة مناخ السياحة بين عامي 2009 – 2023م.

ومن ثم تمت نمذجة ملاءمة المناخ للسياحة خلال المرحلتين باستخدام مؤشر مناخ العطلات (Holiday Climate Index) الذي تم تطويره بوساطة (Scott) من أجل تحديد الظروف الجوية المناسبة للأنشطة الترفيهية في الهواء الطلق بالمناطق الحضرية، وذلك من خلال تطبيق المعادلة الآتية:

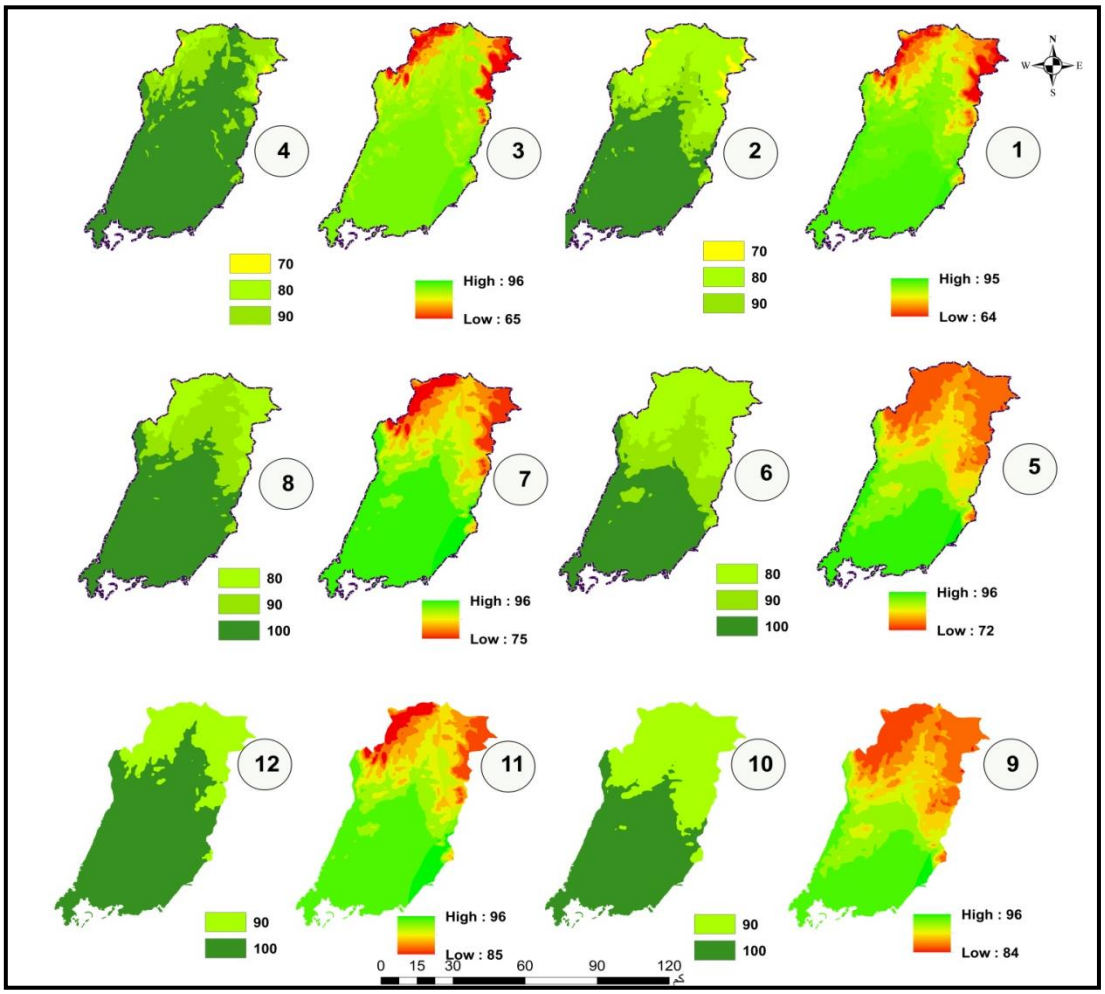
$$HCI = [4(E) + 2(A) + 3(P) + (W]. \text{ (Scott et al., 2011, p. 113).} \quad (3)$$

وتبين نتائج تطبيق المعادلة السابقة في المجموعة الثانية من الصور شكل رقم (4)؛ حيث تظهر الخريطتان (5، 6) ملاءمة مناخ العطلات بين عامي 1993 – 2008م، والخريطتان (7، 8) ملاءمة مناخ العطلات للسياحة بين عامي 2009 – 2023م.

وأخيرا حددت ملاءمة مناخ المنطقة للسياحة في المرحلتين الماضيتين بوساطة مؤشر مناخ الشاطئ (Beach Climate Index) وذلك من خلال تطبيق المعادلة الآتية:

$$BCI = 2 (E) + 4 (A) + (3 (P) + W). \text{ (Scott et al., 2016, p. 80).} \quad (4)$$

في المعادلتين يمثل (E) مؤشر الحرارة الفاعلة، (A) نسبة غطاء السحب، **(P)** كمية الأمطار ملم، (W) سرعة الرياح (كم/ساعة). ومن ثم قامت الدراسة بتصنيف نتائج تطبيق المعادلات الثلاث السابقة لتحديد ملاءمة المناخ للسياحة، وتظهر المجموعة الثالثة من صور شكل رقم (4) ملاءمة المناخ للسياحة حسب مؤشر مناخ الشواطئ في المرحلتين: الأولى بين عامي 1993 – 2008م، والثانية بين عامي 2008 – 2023م. وتبين نتائج تطبيق معادلة مناخ الشواطئ في المجموعة الثالثة من الصور شكل رقم (4)؛ حيث تظهر الخريطتان (9، 10) ملاءمة مناخ الشواطئ بين عامي 1993 – 2008م، والخريطتان (11، 12) ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة بين عامي 2009 – 2023م.



شكل (4) فئات ملاءمة المناخ للسياحة في محافظة البدع بمؤشرات مناخ السياحة والعطلات والشواطئ بين عامي 1993 – 2023م

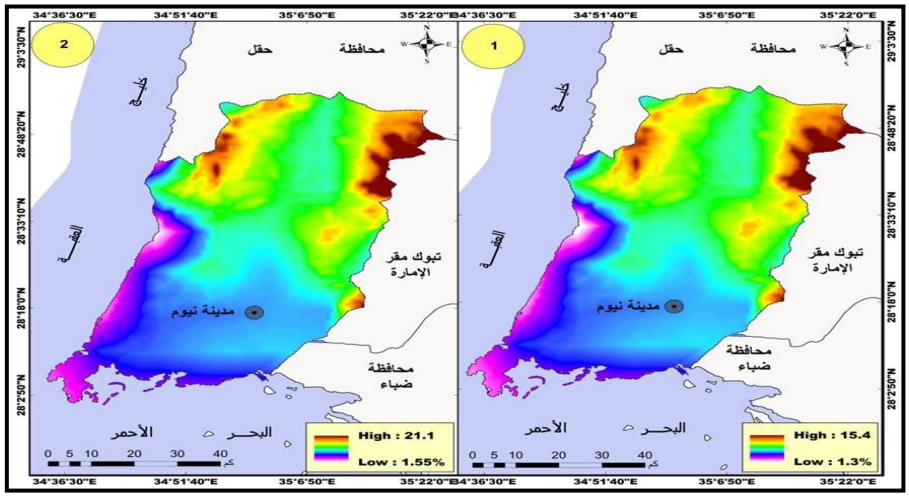
5) محاكاة ملاءمة المناخ للسياحة: بعد الانتهاء من معالجة واشتقاق طبقات عناصر المناخ التي دخلت في نمذجة ملاءمة مناخ المنطقة للسياحة خلال الثلاثين عاما الماضية مقسمة إلى مرحلتين: الأولى بين عامي 1993 – 2008م، والثانية بين عامي 2008 – 2023م، وقامت الدراسة بتحويل طبقات الخرائط المبينة في شكل (4) من (Raster to ASCII) بما يتناسب مع برنامج (IDRISI SELVA)، ومن ثم حولت من (ASCII To IDRISI) وتمت أتمتة ملاءمة المناخ في المستقبل، والأتمتة كما عرفتها ازري نماذج رياضية تتكون من شبكة من الخلايا حيث يكون لكل خلية قيمة، وتمت الأتمتة بتحليل اتجاه السلاسل الزمنية (Series Trend Analysis)، بوساطة نماذج الانحدار المتعدد اللوجستي (Multi Logistic Regression). وتُستخدم نماذج الانحدار مع بيانات المناخ لتحديد تأثير متغيرات الطقس/المناخ على مؤشرات الطلب السياحي في الماضي، وتقدير تأثيراتها المستقبلية المحتملة باستخدام بيانات نماذج المناخ (Steiger et al., 2022).

وقامت الدراسة أولا بمحاكاة ملاءمة المناخ للسياحة في المنطقة عام 2030م بمؤشرات المناخ السياحي والعطلات والشواطئ، بالاعتماد على خرائط طبقات ملاءمته كل مؤشر في المرحلتين: الأولى 1993 –

2008م، والثانية 2008 – 2023م، ومن ثم عمل محاكاة لملاءمة المناخ للسياحة عام 2040م بنفس المؤشر بالاعتماد على خرائط الملاءمة في المرحلة الثانية 2008 – 2023م، وخريطة المحاكاة بين عامي 2024 – 2030م، أعقبها عمل محاكاة لملاءمة مؤشر مناخ السياحة عام 2050م بالاعتماد على طبقتي خريطتي المحاكاة بين عامي 2024 – 2030م، والمحاكاة بين عامي 2030 – 2040م، وبنفس الخطوات تم عمل محاكاة لملاءمة المناخ للسياحة في المنطقة في الأعوام 2030، 2040، 2050م بوساطة مؤشري مناخ العطلات ومناخ الشواطئ. وتمثلت آخر خطوات الدراسة في دمج طبقات مؤشرات المناخ السياحي والعطلات والشواطئ بكل عام من الأعوام 2030، 2040، 2050م والقسمة على عددها (3)، لمعرفة المتوسط المكاني لملاءمة المناخ وفقا لنتائج ثلاثة مؤشرات سياحية.

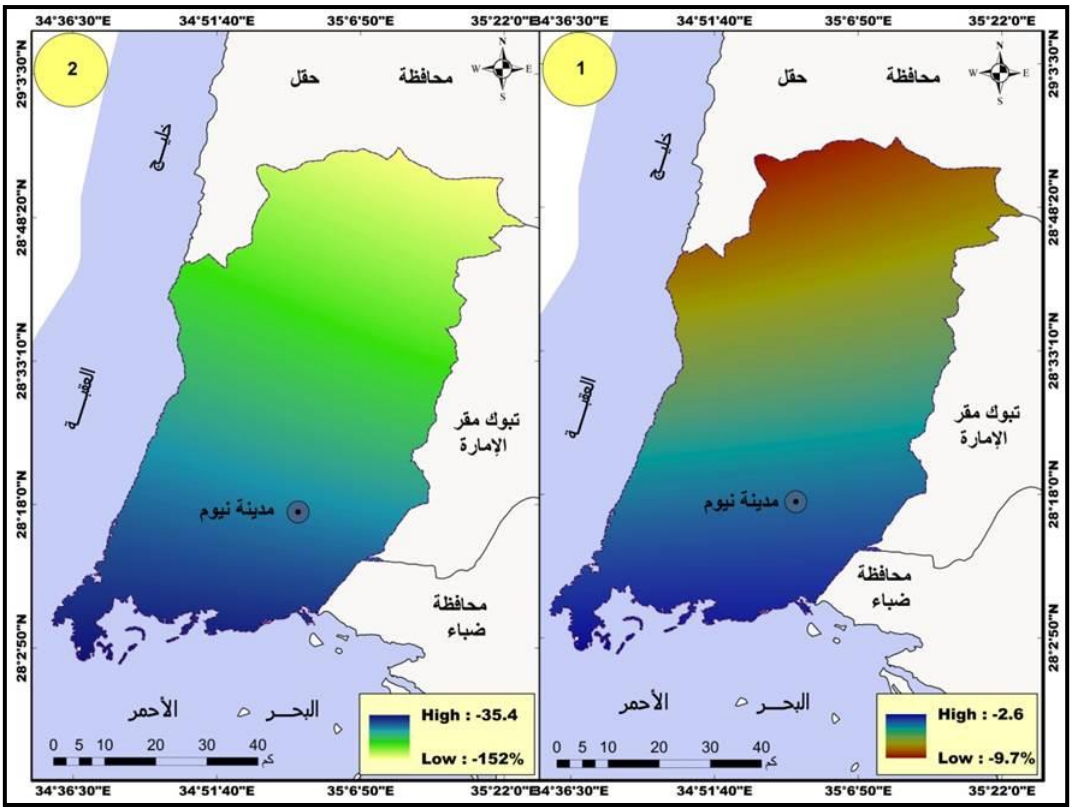
مناقشة نتائج الدراسة:

أولا: تغيرات عناصر مناخ السياحة بين (1993 – 2023) م : قامت الدراسة بتحليل تغيرات عناصر المناخ السياحي من خلال تقسيم المدة بين عامي 1993 – 2023م البيانات المناخية إلى قسمين متساويين: الأول يمتد بين 1/1/ 1993 – 12/31/ 2008م، والثاني بين عامي 1/1/ 2009 – 12/31/ 2023م، ومن ثم استخدمت الدراسة دالة نسبة التغير في (GIS) لمعرفة التغيرات المناخية بناء على طبقات عناصر المناخ بين فترتي الدراسة، وعليه تظهر نتائج تحليل نسبة تغير درجات الحرارة القصوى تغيرها بشكل إيجابي في مختلف مناطق المحافظة بين المدتين، بنسبة تغير تراوحت بين 1.3% جنوب وغرب المحافظة إلى 15.4% شمال شرق وشمال غرب المحافظة شكل رقم (5) خريطة (1). وتوضح نتائج تحليل تغير متوسط درجات الحرارة تغيرها بشكل إيجابي في محافظة البدع بين المدتين بنسبة تغير لمتوسط درجات الحرارة تراوحت بين 1.55% جنوب غرب المحافظة إلى 21.1% شرق وشمال شرق وشمال غرب المحافظة شكل (5) خريطة (2)، وتتفق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسة (Rahman & Lateh, 2017) لاتجاه تغير درجات الحرارة مستقبلا في بنجلادش.



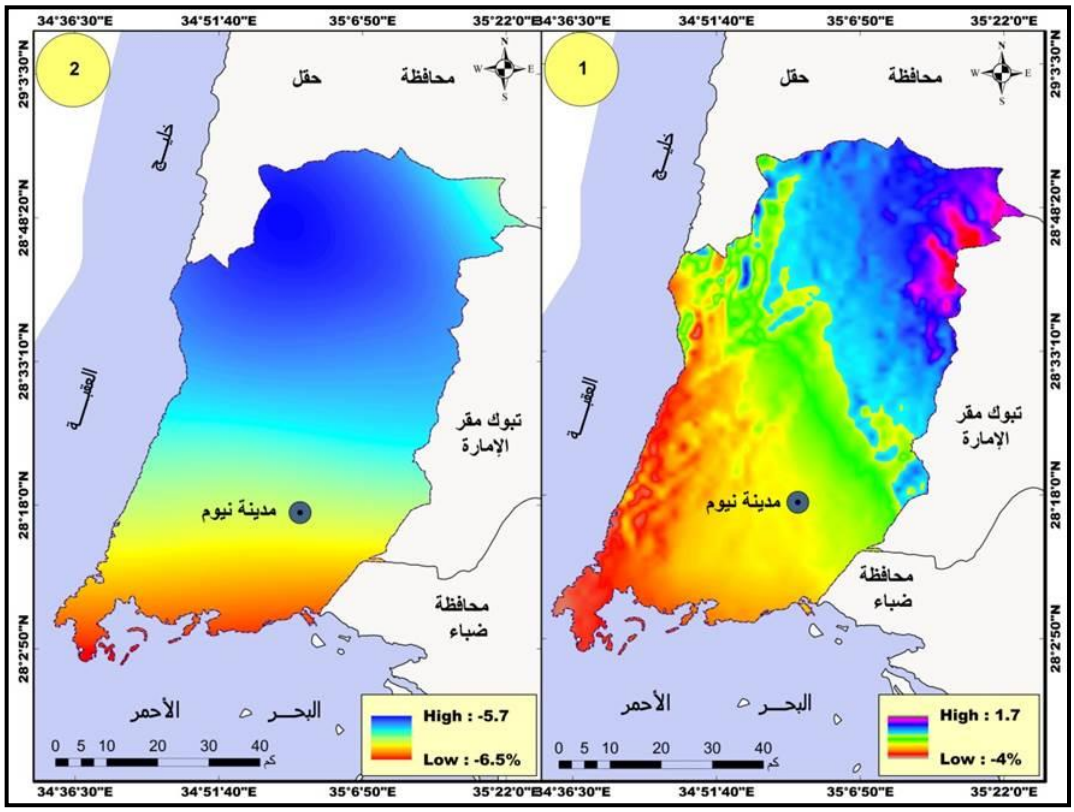
شكل (5)) تغيرات درجات الحرارة العليا والمتوسطة في محافظة البدع بين عامي 1993 – 2023م
المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات درجات الحرارة شكل رقم (2).

وتبين نتائج تحليل تغير الرطوبة النسبية الدنيا بين المرحلتين تغيرها بشكل سلبي في مختلف مناطق المحافظة بنسبة تغير مكاني بين المدتين تراوحت بين -9.7% شمال محافظة البدع، إلى -2.6% جنوب المحافظة شكل (6) خريطة (1). وتغير المتوسط المكاني للرطوبة النسبية كذلك بشكل سلبي بين المدتين بنسبة تغير مكاني لمتوسط الرطوبة النسبية بين فترتي الدراسة تراوح بين -152% شمال محافظة البدع إلى -35.4% جنوب المحافظة شكل (6) خريطة رقم (2).



شكل (6)) تغيرات الرطوبة الدنيا والمتوسطة في محافظة البدع بين عامي 1993 – 2023 م
المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقتي الرطوبة الدنيا والمتوسطة شكل رقم (2).

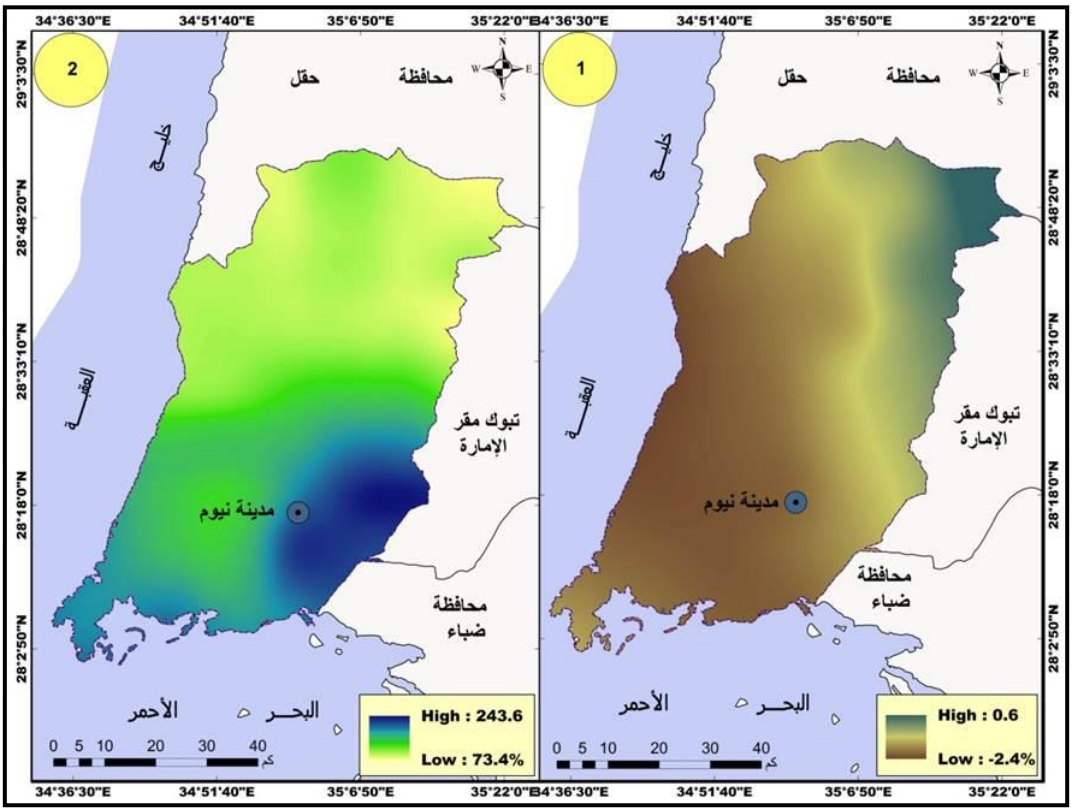
وتوصلت نتائج تحليل تغير عدد ساعات الإشعاع الشمسي بين الفترتين شكل (7) خريطة رقم (1) تغيرها ما بين السلبي في المناطق التي تراجعت فيها عدد ساعات الإشعاع الشمسي إلى الإيجابي بمناطق أخرى شهدت زيادة في عدد ساعات الإشعاع الشمسي في الفترة الثانية مقارنة بالفترة الأولى، وتراوحت نسبة تغير ساعات الإشعاع بين -4% جنوب غرب المحافظة إلى 1.7 % شمال شرق محافظة البدع. وتظهر نتائج تحليل تغير نسبة تغطية السحب شكل (7) خريطة (2) تغيرها بشكل سلبي في مختلف مناطق محافظة البدع بين المدتين بنسبة تغير لنسبة تغطية السحب تراوحت بين -6.5% جنوب المحافظة، إلى -5.7% شرق وشمال شرق وشمال غرب المحافظة.



شكل (7) تغيرات ساعات الإشعاع الشمسي ونسبة تغطية السحب في محافظة البدع بين 1993 – 2023 م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقتي الإشعاع ونسبة السحب شكل رقم (2).

وتوضح نتائج تحليل تغير سرعة الرياح بين المرحلتين شكل (8) خريطة (1) تغيرها ما بين سلبي حيث تراجعت سرعة الرياح إلى إيجابي حيث زادت سرعة الرياح في الفترة الثانية مقارنة بالفترة الأولى، وتراوح نسبة تغير سرعة الرياح بين المدتين تراوحت بين -2.4% جنوب غرب المحافظة، إلى 0.6 % شمال شرق المحافظة. وتوصلت نتائج تحليل تغيرات كمية الأمطار اليومية في محافظة البدع بين المرحلتين تغيرها بشكل إيجابي في جميع مناطق المحافظة بنسبة تغير مكاني تراوحت بين 73.4% شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى 243.5% جنوب شرق محافظة البدع، شكل رقم (8) خريطة رقم (2).

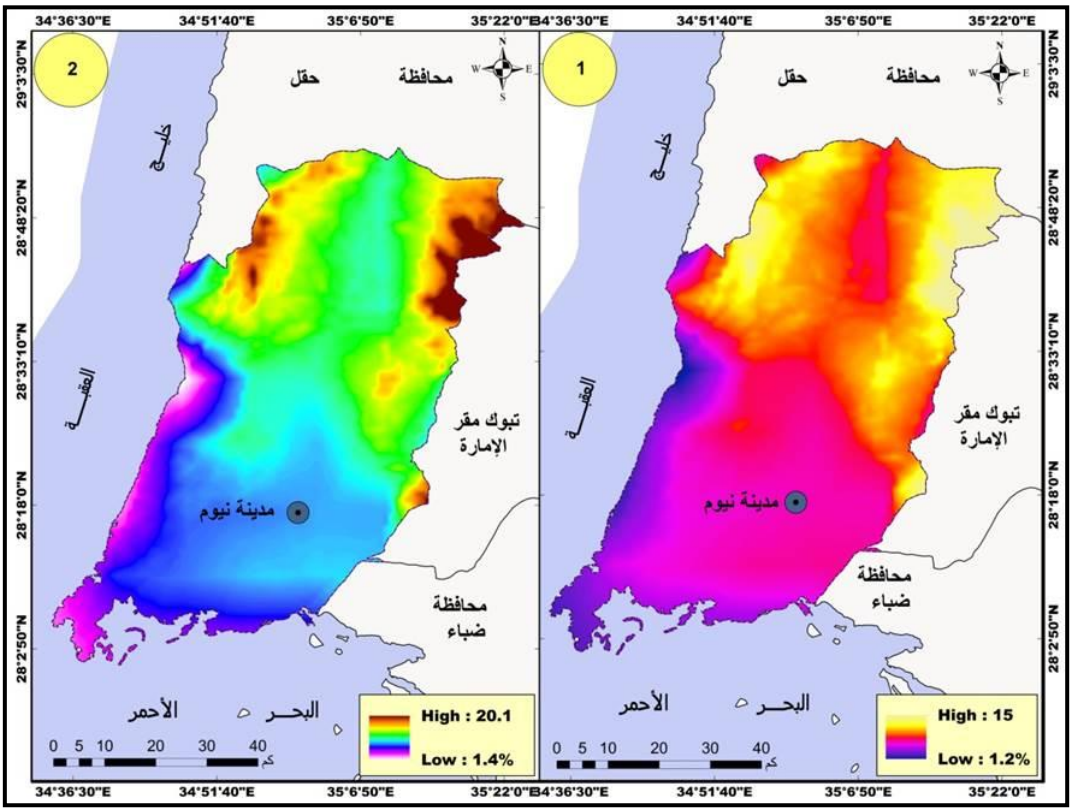


شكل (8) تغيرات سرعة الرياح وكمية الأمطار في محافظة البدع بين عامي 1993 – 2023م
المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقتي الرياح والأمطار شكل رقم (2).

ثانيا: نمذجة تغير ملاءمة المناخ للسياحة بين (1993 – 2023)م:

أ) **تغير ملاءمة الراحة الحرارية:** بعد قيام الدراسة بنمذجة ملاءمة الراحة الحرارية خلال النهار واليوم بالمعادلة رقم (1)، وتصنيف مستوياتها حسب حدود مؤشر مناخ السياحة، استخدمت الدراسة دالة نسبة التغير في (GIS) لتحديد تغيرات الراحة الحرارية بفعل التغيرات التي طرأت على متغيري درجات الحرارة والرطوبة النسبية بين المدتين، وعليه تظهر نتائج تحليل تغير الحرارة الفاعلة بمؤشر الراحة الحرارية في النهار شكل (9) الخريطة الأولى تغيرها بشكل إيجابي في جميع مناطق المحافظة بين المرحلتين بنسبة تغير مكاني بين المدتين تراوحت بين 1.2% غربا وجنوب غرب محافظة البدع إلى 15% شرقا وشمال شرق وشمال غرب المحافظة.

وتوصلت نتائج تحليل تغير الحرارة الفاعلة بمؤشر الراحة الحرارية اليومي شكل (9) خريطة رقم (2) تغيرها بشكل إيجابي بين المدتين بنسبة تغير مكاني للراحة الحرارية اليومية تراوحت بين 1.4% غرب وجنوب غرب المحافظة، إلى 20.1% شرقا وشمال شرق وشمال غرب محافظة البدع.



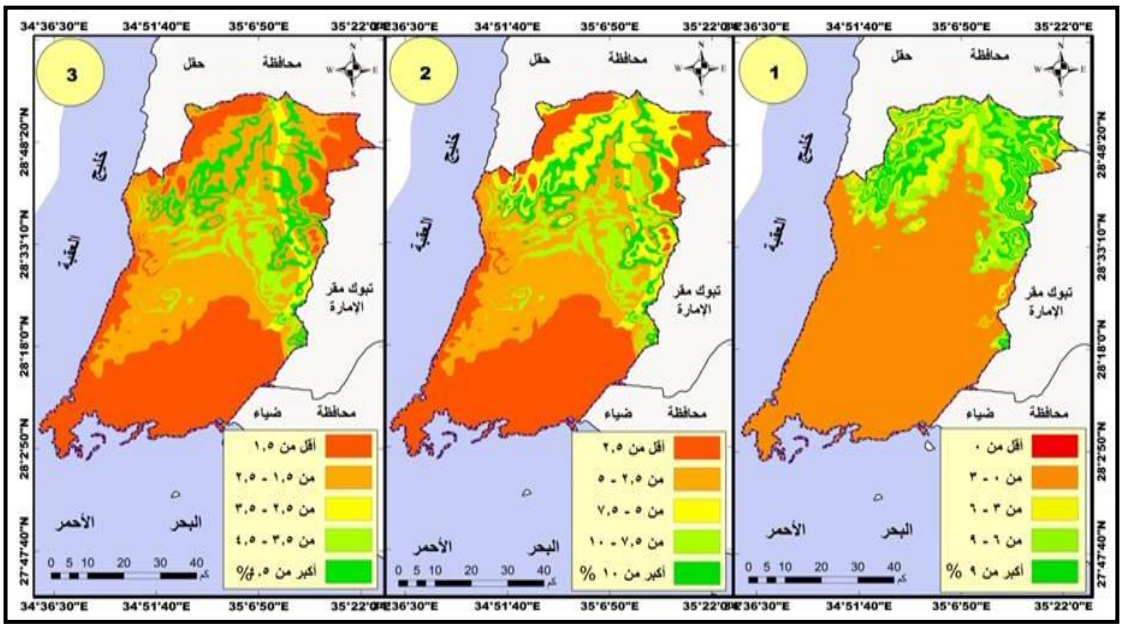
شكل (9)) تغيرات الراحة الحرارية خلال فترة النهار واليوم في محافظة البدع بين عامي 1993 – 2023م
المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات درجات الحرارة والرطوبة النسبية في الشكل رقم (2).

ب) تغير ملاءمة المناخ للسياحة: بعد القيام بمعرفة ملاءمة الراحة الحرارية وتصنيف مستوياتها على مستويي النهار واليوم، وكذلك الحال بالنسبة لبقية عناصر المناخ، قامت الدراسة بنمذجة ملاءمة المناخ لممارسة أنشطة السياحة بوساطة المعادلات (2، 3، 4)، ومن هنا تم استخدام دالة نسبة التغير في (GIS) لمعرفة تأثيرات تغير عناصر المناخ في ملاءمته للسياحة في المرحلتين بين عامي 1993 – 2023م.

وبذلك تظهر نتائج تحليل تغيرات ملاءمة المناخ للسياحة بوساطة نتائج مؤشر مناخ السياحة شكل (10) خريطة (1) تراوح نسبة تغيرها مكانيا بين المدتين تراوحا بين -2.9% في المناطق التي كانت ملاءمتها المناخية للسياحة بين عامي 1993 – 2008م أفضل مما كانت عليه خلال المدة الممتدة بين عامي 2009 – 2023م غرب محافظة البدع إلى 16.7% في المناطق التي زادت فيها ملاءمة المناخ للسياحة بين عامي 2009 – 2023م، مقارنة بالمدة الممتدة بين عامي 1993 – 2008م، وتظهر شمال شرق وشمال غرب محافظة البدع.

وتوصلت نتائج تحليل تغيرات ملاءمة المناخ للسياحة حسب نتائج مؤشر مناخ العطلات إلى تغيرها بشكل إيجابي؛ حيث تراوحت نسبة ملاءمة مناخ العطلات للسياحة شكل (10) خريطة (2) في المناطق التي لم تشهد أية تغيرات مكانية لملاءمة مناخ العطلات بين المدتين، وتظهر جنوبا وشمال شرق وجنوب غرب محافظة البدع إلى

12% في المناطق التي تحسنت فيها نسب ملاءمة المناخ للسياحة في الفترة الثانية بين عامي 2009 – 2023م، مقارنة بما كان عليه الحال بين عامي 1993 – 2008م، وتظهر شرقا ووسط شمال محافظة البدع.



شكل (10) تغيرات ملاءمة المناخ بمؤشرات مناخ السياحة والعطلات والشواطئ في محافظة البدع بين عامي 1993 – 2023م
المصدر: الباحثة بالاعتماد على طبقات مؤشرات ملاءمة المناخ للسياحة شكل رقم (4).

وتوضح نتائج تحليل تغيرات ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة بين عامي 1993 – 2023م، في الشكل (10) السابق خريطة (3) تراوحت نسبة تغير ملاءمة مناخ الشواطئ بين 0 في المناطق التي لم تشهد تغيرات مكانية بين المرحلتين فيما يتعلق بملاءمة مناخ الشواطئ، وتظهر جنوبا وشمال شرق وجنوب غرب محافظة البدع، إلى 5.9% في المناطق التي زادت فيها نسب ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة في الفترة الثانية بين عامي 2009 – 2023م مقارنة بوضعها بين عامي 1993 – 2008م، وتبرز شرقا ووسط شمال المحافظة.

ثالثا) محاكاة ملاءمة المناخ في المستقبل بين (2024 – 2050) م:

أ) محاكاة ملاءمة الراحة الحرارية للسياحة: توضح نتائج محاكاة الراحة الحرارية في النهار بمحافظة البدع عام 2030م اعتمادا على طبقتي توزيعها في المرحلتين الأولى 1993 – 2008م والثانية 2009 – 2023م، وتظهر نتائج تصنيفها حسب حدود فئات مؤشر مناخ السياحة وجود ستة نطاقات الراحة الحرارية في النهار تتراوح بين راحة منخفضة 14^{o} م شمال شرق وشمال غرب المحافظة، إلى راحة حرارية مثالية للسياحة حيث تتراوح قيمة المؤشر بين 19.99 – 26.99^{o} م، بمتوسط مكاني بلغ 22.2^{o} م؛ مما يعني أن غالبية المحافظة سوف تتسم براحة حرارية مثالية للسياحة في النهار؛ حيث تنشط حركة السياحة، ومن المتوقع أن تبلغ مساحة المنطقة ذات الراحة الحرارية المثالية جدول (1) 3508.92 كم^2، بنسبة 84.45% من إجمالي مساحة المحافظة، ويتوقع

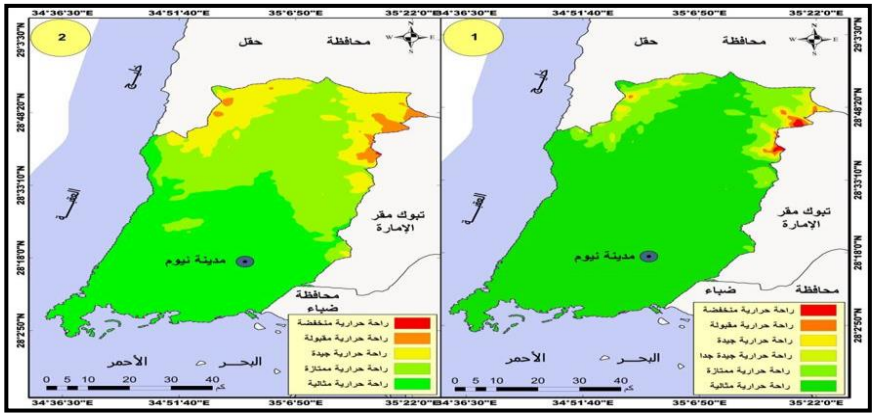
تراجع المتوسط المكاني للراحة الحرارية نهارا عن عام 2023م بنحو 0.1°، وسوف تقع مدينة نيوم كما يظهر شكل (11) خريطة (1) عام 2030م عند راحة حرارة ستبلغ 24° م، أو ضمن راحة حرارية مثالية للسياحة في النهار.

جدول (1) تصنيف الراحة الحرارية نهارا في محافظة البدع عام 2030م حسب توقعات مؤشر مناخ السياحة

مؤشر مناخ السياحة	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
15.99 –10	5	50	منخفضة	12.355	0.29
16.99 – 16	6	60	مقبولة	19.97	0.48
17.99 – 17	7	70	جيدة	47.84	1.15
18.99 – 18	8	80	جيدة جدا	108.76	2.61
19.99 – 19	9	90	ممتازة	457.35	11
26.99 – 20	10	%100	مثالية	3508.92	84.45

المصدر: من انجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج الشكل رقم (11)، خريطة (1).

وتظهر نتائج تصنيف محاكاة الراحة الحرارية في نهار محافظة البدع عام 2030م حسب فئات مؤشر مناخ العطلات شكل (11) خريطة رقم (2)، خمسة مستويات للراحة الحرارية في النهار، ومن المتوقع أن تبلغ مساحة المنطقة التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة السياحة جدول (2) نحو 2134.81 كم^2، بنسبة 81.38% من إجمالي مساحة المحافظة، وذلك لأن مؤشر مناخ العطلات يرى أن المناطق ذات الراحة الحرارية المثالية في النهار تتراوح بين 23 – 25.99° م، في حين أن مؤشر مناخ السياحة كما يبين الجدول السابق وقوعها بين 19.99 – 26.99° م.



شكل (11) محاكاة الراحة الحرارية خلال النهار بمؤشري مناخ السياحة والعطلات عام 2030م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية الانحدار اللوجستي (MLR)، وطبقتي الراحة الحرارية نهارا شكل رقم (3).

جدول (2) فئات تصنيف الراحة الحرارية في محافظة البدع عام 2030م حسب توقعات مؤشر مناخ العطلات

مؤشر مناخ العطلات	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
14.99 –11	5	50	منخفضة	4.4325	0.1
17.99 – 15	6	60	مقبولة	75.7325	1.82
19.99 – 18	7	70	جيدة	566.1125	13.62
22.99 – 20	9	90	ممتازة	1374.11	33.07
25.99 – 23	10	100	مثالية	2134.81	51.38

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج الشكل السابق رقم (11)، خريطة (2).

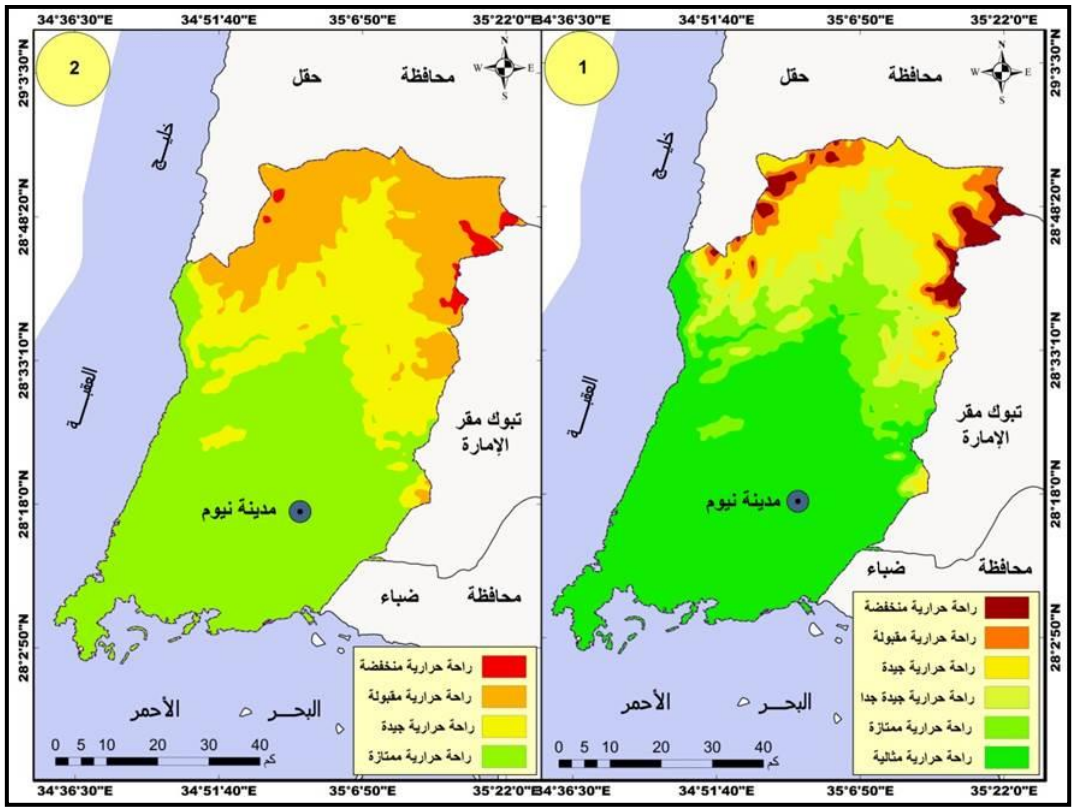
وتظهر نتائج محاكاة الراحة الحرارية في المحافظة نهارا عام 2040م بالاعتماد على طبقتي توزيعها في عامي 2023 – 2030م وتصنيفها حسب حدود فئات مؤشر مناخ السياحة جدول (3) ستة مستويات للراحة الحرارية تتراوح بين ملاءمة منخفضة (11)° م إلى ملاءمة مثالية للراحة الحرارية (22)°م، ويتوقع أن يبلغ متوسطها المكاني على مستوى المحافظة (19.5)° م، ومن ثَمَّ قد يتراجع المتوسط المكاني للراحة الحرارية عن عام 2030 م بنحو (2.7) ° م، ومع ذلك يوضح شكل (12) خريطة رقم (1) أن غالبية محافظة البدع ستقع ضمن المناطق التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة الأنشطة السياحية في النهار، ويتوقع أن تبلغ مساحة هذه المنطقة 2230.24 كم^2، بنسبة 53.68% من إجمالي مساحة المحافظة، وقد تتراجع مساحة هذه المنطقة عن عام 2030م بنحو 1278.68 كم^2، ويظهر نموذج محاكاة الراحة الحرارية في النهار عام 2040م أن تظل مدينة نيوم بموقعها ضمن المناطق التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة السياحة في النهار.

جدول (3) فئات تصنيف الراحة الحرارية نهارا في محافظة البدع عام 2040م حسب توقعات مؤشر مناخ السياحة

مؤشر مناخ السياحة	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
15.99 –10	5	50	منخفضة	116.315	2.79
16.99 – 16	6	60	مقبولة	161.71	3.89
17.99 – 17	7	70	جيدة	632.87	15.24
18.99 – 18	8	80	جيدة جدا	520.75	12.58
19.99 – 19	9	90	ممتازة	493.3	11.87
26.99 – 20	10	%100	مثالية	2230.24	53.68

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (12)، خريطة رقم (1).

وتظهر نتائج تصنيف الراحة الحرارية في نهار محافظة البدع عام 2040م بحسب حدود فئات مؤشر مناخ العطلات شكل رقم (12) خريطة رقم (2)، أربعة مستويات للراحة الحرارية تتراوح بين راحة حرارية منخفضة الملاءمة للسياحة شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى ملاءمة ممتازة للراحة الحرارية؛ حيث تقع مدينة نيوم جنوب المحافظة، وبذلك ستختفي المنطقة التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة السياحة عام 2040م ، وستأتي المنطقة التي تتصف براحة حرارية ممتازة للسياحة جدول (4) في المرتبة الأولى بمساحة 2230.24 كم^2، بنسبة 53.68% من إجمالي مساحة المحافظة.



شكل (12) محاكاة الراحة الحرارية خلال النهار بمؤشري مناخ السياحة والعطلات عام 2040م.

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقات الراحة الحرارية نهارا في الشكلين (3، 11).

جدول (4) فئات تصنيف الراحة الحرارية نهارا في محافظة البدع عام 2040م حسب توقعات مؤشر مناخ العطلات

مؤشر مناخ العطلات	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
14.99 –11	5	50	منخفضة	50.42	1.1
17.99 – 15	6	60	مقبولة	860.47	20.7
19.99 – 18	7	70	جيدة	1014.06	24.4
22.99 – 20	9	90	ممتازة	2230.24	53.68

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج الشكل (12)، خريطة رقم (2).

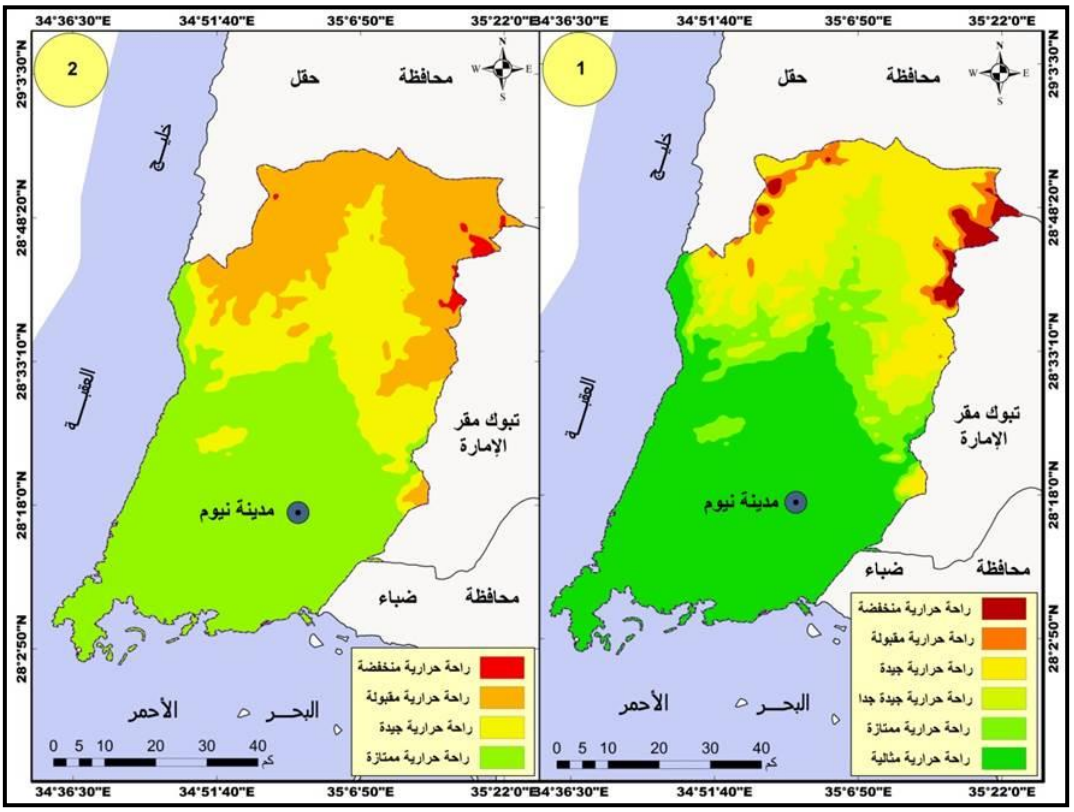
ويبين شكل رقم (13) خريطة (1) توقعات الراحة الحرارية نهارا في محافظة البدع عام 2050م، والتي تم التنبؤ بها بالاعتماد على خريطتي عامي 2030 و 2040م، استمرارية نطاقات الراحة الحرارية الستة في النهار، والتي تتراوح بين راحة حرارية ذات ملاءمة منخفضة لممارسة السياحة إلى راحة حرارية مثالية للسياحة، وسيبلغ متوسط الراحة الحرارية على مستوى المحافظة 19.37° م، ومن ثَمَّ من المتوقع أن يتراجع المتوسط المكاني للراحة الحرارية عن عام 2040م بنحو 0.13°، وعلى الرغم من هذا التراجع فما تزال المنطقة التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة الأنشطة السياحية تحتل المرتبة الأولى؛ حيث يتوقع أن تبلغ مساحتها عام 2050م كما في جدول (5) نحو 2134.82 كم^2، بنسبة 51.38% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثَمَّ قد تتراجع مساحة هذه المنطقة عن عام 2040م بنحو 95.42 كم^2، ويظهر نموذج محاكاة الراحة الحرارية عام 2050م بقاء مدينة نيوم ضمن المناطق التي تتصف براحة حرارية مثالية للأنشطة السياحية في النهار.

جدول (5) فئات تصنيف الراحة الحرارية نهارا في محافظة البدع عام 2040م حسب توقعات مؤشر مناخ السياحة

مؤشر مناخ السياحة	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
15.99 –10	5	50	منخفضة	80.16	1.92
16.99 – 16	6	60	مقبولة	108.76	2.61
17.99 – 17	7	70	جيدة	923.3	22.22
18.99 – 18	8	80	جيدة جدا	491.26	11.83
19.99 – 19	9	90	ممتازة	416.89	10.03
26.99 – 20	10	%100	مثالية	2134.82	51.38

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج الشكل (13)، خريطة (1).

وتوضح نتائج تصنيف فئات ملاءمة الراحة الحرارية بمحافظة البدع عام 2050م شكل (13) خريطة (2)، أربعة مستويات لملاءمة الراحة الحرارية لممارسة الأنشطة السياحية نهارا، تتراوح بين راحة حرارية منخفضة الملاءمة لممارسة السياحة شمال شرق محافظة البدع إلى ملاءمة ممتازة للراحة الحرارية للسياحة جنوب المحافظة حيث تقع مدينة نيوم، وبذلك من الملاحظ اختفاء المنطقة التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة السياحة نهارا حسب مؤشر مناخ العطلات عام 2050م، وستأتي المنطقة التي تتصف براحة حرارية ممتازة للسياحة في المرتبة الأولى كما يبين جدول (6) بمساحة 2134.81 كم^2، بنسبة 51.38% من اجمالي مساحة المحافظة، ومن ثَمَّ يتوقع النموذج تراجع مساحة هذه المنطقة عن عام 2040م بنحو 95.43 كم^2.



شكل (13) محاكاة الراحة الحرارية خلال النهار بمؤشري مناخ السياحة والعطلات عام 2050م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقات الراحة الحرارية في الشكلين (11، 12).

جدول (6) فئات تصنيف الراحة الحرارية نهارا في محافظة البدع عام 2040م حسب توقعات مؤشر مناخ العطلات

مؤشر مناخ العطلات	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
14.99 –11	5	50	منخفضة	32.32	0.77
17.99 – 15	6	60	مقبولة	1079.9	25.98
19.99 – 18	7	70	جيدة	908.16	21.86
22.99 – 20	9	90	ممتازة	2134.81	51.38

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (13)، خريطة (2).

في المقابل يبحث مؤشر الراحة الحرارية اليومية في تحديد ملاءمة الراحة الحرارية لممارسة الأنشطة السياحية خلال اليوم (نهار– ليل). وعليه تظهر نتائج التنبؤ بالراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع شكل (14) خريطة (1)، وتمت محاكاتها عام 2030م بالاعتماد على خريطتي المرحلتين بين عامي 1993 – 2023م – وجود ستة نطاقات لملاءمة الراحة الحرارية، تراوحت بين راحة حرارية منخفضة شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى راحة مثالية لممارسة السياحة جنوب المحافظة؛ حيث تقع مدينة نيوم بمتوسط مكاني بلغ 19.26° م، ومن المتوقع تراجع متوسط الراحة الحرارية اليومية عن عام 2023م بنحو 0.06°، وتظهر نتائج تصنيف فئات الراحة الحرارية

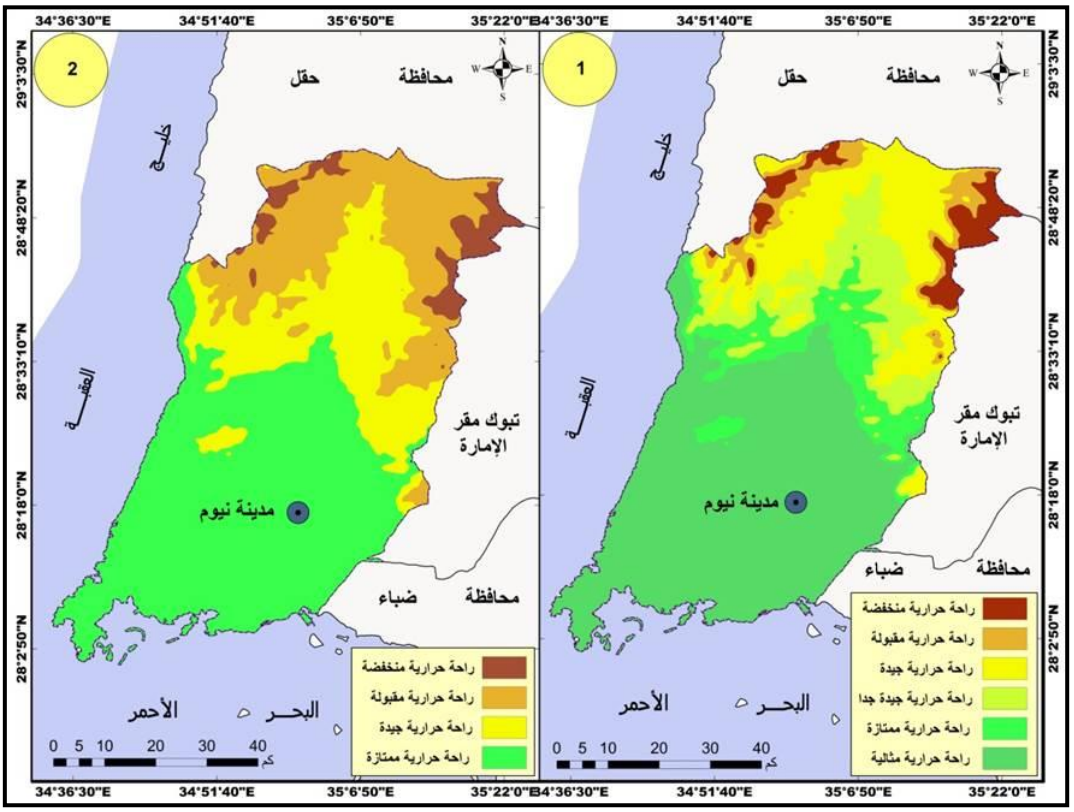
جدول (7) أن المنطقة التي تتصف براحة حرارية مثالية للسياحة اليومية تأتي في المرتبة الأولى بمساحة 2138.13 كم^2، بنسبة 51.46% من إجمالي مساحة المحافظة، وعلى الرغم من تراجع المتوسط فيظهر النموذج زيادة مساحة هذه المنطقة عن عام 2023م بنحو 60.63 كم^2.

جدول (7) فئات تصنيف الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2030م حسب توقعات مؤشر مناخ السياحة

مؤشر مناخ السياحة	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
15.99 –10	5	50	منخفضة	186.9	4.48
16.99 – 16	6	60	مقبولة	191.2	4.6
17.99 – 17	7	70	جيدة	728.2	17.53
18.99 – 18	8	80	جيدة جدا	493.13	11.87
19.99 – 19	9	90	ممتازة	417.63	10.05
26.99 – 20	10	%100	مثالية	2138.13	51.46

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (14)، خريطة (1).

وتظهر نتائج تصنيف فئات الراحة الحرارية اليومية بمحافظة البدع عام 2030م شكل (14) خريطة رقم (2)، وذلك بحسب حدود تصنيفها بمؤشر مناخ العطلات جدول (8)- سيادة أربعة مستويات لملاءمة الراحة الحرارية لممارسة الأنشطة السياحية، تتراوح بين راحة حرارية منخفضة الملاءمة للراحة الحرارية للسياحة شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى ملاءمة ممتازة للراحة الحرارية لممارسة الأنشطة السياحية جنوب محافظة البدع حيث تقع مدينة نيوم، وتظهر نتائج هذا النموذج اختفاء نطاقات الراحة الحرارية المثالية والجيدة جدا والمقبولة عام 2030م حسب مؤشر مناخ العطلات، وستأتي المنطقة التي تتصف براحة حرارية ممتازة لممارسة السياحة في المرتبة الأولى بمساحة 2138.13 كم^2، بنسبة 51.46% من إجمالي مساحة المحافظة.



شكل (14) محاكاة الراحة الحرارية اليومية بمؤشري مناخ السياحة والعطلات عام 2030م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقتي الراحة الحرارية اليومية بين عامي 1993 – 2023م شكل (3).

جدول (8) فئات تصنيف الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2030م حسب توقعات مؤشر مناخ العطلات

مؤشر مناخ العطلات	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
14.99 –11	5	50	منخفضة	186.9	4.49
17.99 – 15	6	60	مقبولة	919.4	22.12
19.99 – 18	7	70	جيدة	910.76	21.92
22.99 – 20	9	90	ممتازة	2138.13	51.46

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (14)، خريطة (2).

ويوضح شكل (15) خريطة رقم (1) توقعات الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2040م – وجود ستة نطاقات للملاءمة تتراوح بين راحة حرارية منخفضة شمال شرق وشمال غرب محافظة البدع إلى راحة مثالية لممارسة الأنشطة السياحية؛ حيث تقع مدينة نيوم جنوب المحافظة بمتوسط مكاني على مستوى المحافظة سيبلغ 19.55° م، ويتوقع زيادة المتوسط اليومي للراحة الحرارية عن عام 2030م بنحو 0.29°، ومن ثَمَّ فان غالبية المحافظة ستقع في منطقة تتصف براحة حرارية مثالية للسياحة جدول رقم (9)؛ حيث يتوقع أن تبلغ مساحتها

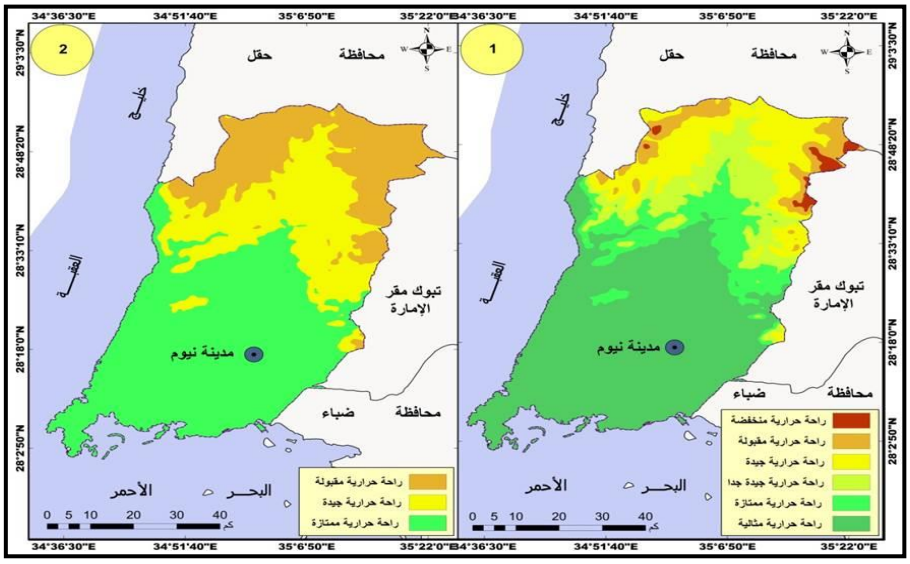
عام 2040م حوالي 2236.03 كم^2، بنسبة 53.82% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثَمَّ يتوقع النموذج زيادة مساحة هذه المنطقة عن عام 2030م بحوالي 97.9 كم^2.

جدول (9) فئات تصنيف الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2040م حسب توقعات مؤشر مناخ السياحة

مؤشر مناخ السياحة	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
15.99 –10	5	50	منخفضة	46.5	1.11
16.99 – 16	6	60	مقبولة	224.6	5.4
17.99 – 17	7	70	جيدة	632.83	15.23
18.99 – 18	8	80	جيدة جدا	521.81	12.55
19.99 – 19	9	90	ممتازة	493.43	11.87
26.99 – 20	10	%100	مثالية	2236.03	53.82

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (15)، خريطة رقم (1).

وتوضح نتائج محاكاة الراحة الحرارية اليومية في المحافظة عام 2040م، حسب مؤشر مناخ العطلات شكل رقم (15) خريطة (2) – تراجع مستويات الراحة من أربعة مستويات إلى ثلاثة؛ حيث سيختفي نطاق الملاءمة المنخفضة، ومن ثَمَّ سوف تتراوح مستويات ملاءمة الراحة الحرارية بين ملاءمة مقبولة للراحة الحرارية لممارسة السياحة شمالا وشمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى ملاءمة ممتازة للراحة الحرارية للسياحة جنوب محافظة البدع؛ حيث مدينة نيوم، وعليه ستأتي المنطقة التي تتصف براحة حرارية ممتازة لممارسة السياحة جدول (10) في المرتبة الأولى بمساحة 2236.05كم^2، بنسبة 53.82% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثَمَّ يتوقع زيادة مساحة هذه المنطقة عن عام 2030 بحوالي 97.92 كم^2.



شكل (15) محاكاة الراحة الحرارية اليومية بمؤشري مناخ السياحة والعطلات عام 2040م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقات الراحة الحرارية اليومية في الشكلين (3، 15).

جدول (10) فئات تصنيف الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2040م حسب توقعات مؤشر مناخ العطلات

مؤشر مناخ العطلات	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
17.99 – 15	6	60	مقبولة	903.91	21.79
19.99 – 18	7	70	جيدة	1015.24	24.44
22.99 – 20	9	90	ممتازة	2236.05	53.82

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على شكل (15)، خريطة رقم (2).

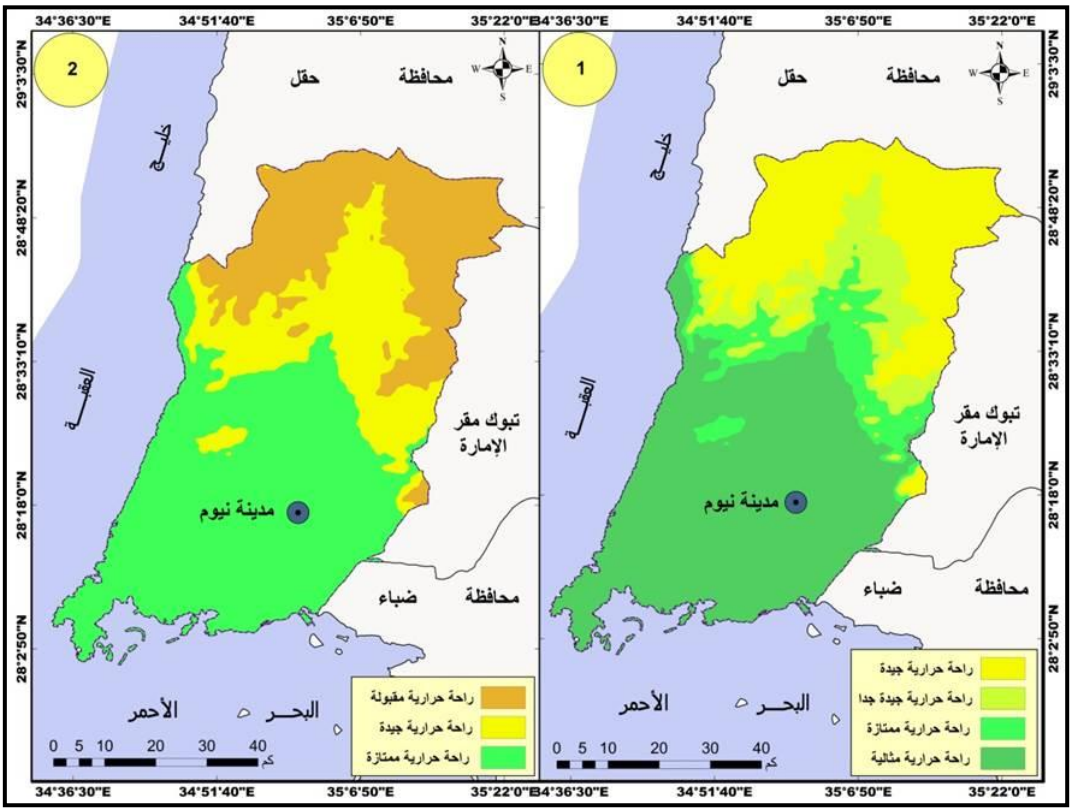
وقامت الدراسة بتوقع أو محاكاة تغير الراحة الحرارية اليومية التي يحتاج إليها السائح في محافظة البدع عام 2050م بالاعتماد على طبقات توقعاتها عامي 2030 – 2040م، وتظهر نتائج ذلك في شكل (18) خريطة رقم (1) تراجع نطاقات الراحة الحرارية اليومية من ستة إلى أربعة، والتي من المتوقع أن تتراوح بين راحة حرارية جيدة للسياحة إلى راحة حرارية مثالية لممارسة السياحة جنوب المحافظة؛ حيث مدينة نيوم، بمتوسط مكاني للراحة الحرارية على مستوى المحافظة 19.45° م، وعليه فمن المتوقع أن يتراجع المتوسط المكاني للراحة الحرارية عن عام 2040 م بنحو 0.1°، ويظهر جدول (11) وقوع غالبية المحافظة ضمن المناطق التي تتصف براحة حرارية مثالية لممارسة الأنشطة السياحية بمساحة ستبلغ 2138.13 كم^2، بنسبة 51.45% من إجمالي مساحة المحافظة، ويتوقع تراجع مساحة هذه المنطقة بحوالي 97.9 كم^2 بين عامي 2040 – 2050م.

جدول (11) فئات تصنيف الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2050م حسب توقعات مؤشر مناخ السياحة

مؤشر مناخ السياحة	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
17.99 – 17	7	70	جيدة	1106.307	26.63
18.99 – 18	8	80	جيدة جدا	493.12	11.86
19.99 – 19	9	90	ممتازة	417.64	10.05
26.99 – 20	10	%100	مثالية	2138.13	51.46

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (16)، خريطة (1).

وتبين نتائج تصنيف ملاءمة الراحة الحرارية اليومية للسياحة في المحافظة عام 2050م بموجب حدود مؤشر مناخ العطلات شكل رقم (16) خريطة (2) ثلاثة مستويات للراحة الحرارية سوف تتراوح بين ملاءمة مقبولة للراحة الحرارية للسياحة شمالا وشمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى ملاءمة ممتازة للراحة الحرارية في ممارسة الأنشطة السياحة جنوب محافظة البدع، ويبين نفس الشكل وقوع مدينة نيوم ضمن المنطقة التي تتصف براحة حرارية ممتازة لممارسة السياحة، والتي يتوقع أن تبلغ مساحتها جدول (12) حوالي 2138.13 كم^2، بنسبة 51.45% من إجمالي مساحة المحافظة، ويتوقع تراجع مساحة هذه المنطقة عن عام 2040م بحوالي 97.92 كم^2.



شكل (16) محاكاة الراحة الحرارية اليومية بمؤشري مناخ السياحة والعطلات عام 2050م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقات الراحة الحرارية اليومية في الشكلين (14، 15).

جدول (12) فئات تصنيف الراحة الحرارية اليومية في محافظة البدع عام 2050م حسب توقعات مؤشر مناخ العطلات

مؤشر مناخ العطلات	وزن الفئة	نسبة الملاءمة	وصف الملاءمة للسياحة	المساحة كم^2	النسبة %
17.99 – 15	6	60	مقبولة	1106.31	26.63
19.99 – 18	7	70	جيدة	910.76	21.91
22.99 – 20	9	90	ممتازة	2138.13	51.46

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على نتائج شكل (16)، خريطة (2).

ب) محاكاة ملاءمة مناخ السياحة: تظهر نتائج التنبؤ بمناخ السياحة في محافظة البدع عام 2030م وذلك من خلال الاعتماد على تغيراتها بين عامي 1993 – 2023م استمرارية وجود أربعة نطاقات لملاءمة المناخ للأنشطة السياحية بين مناخ جيد للسياحة؛ حيث تتراوح قيمة المؤشر بين 60 – 70%، إلى مناخ مثالي؛ حيث تتراوح قيمة المؤشر بين 90 – 100 %، بمتوسط مكاني بلغ 90.6%، وعليه من المتوقع أن يزداد المتوسط المكاني لملاءمة المناخ للسياحة عن عام 2023م بنحو 0.13%، ويعكس المتوسط أن غالبية محافظة البدع سوف تتسم بمناخ مثالي للسياحة عام 2030م، وتقع مدينة نيوم كما يظهر شكل (17) خريطة (1) عند نسبة ملاءمة

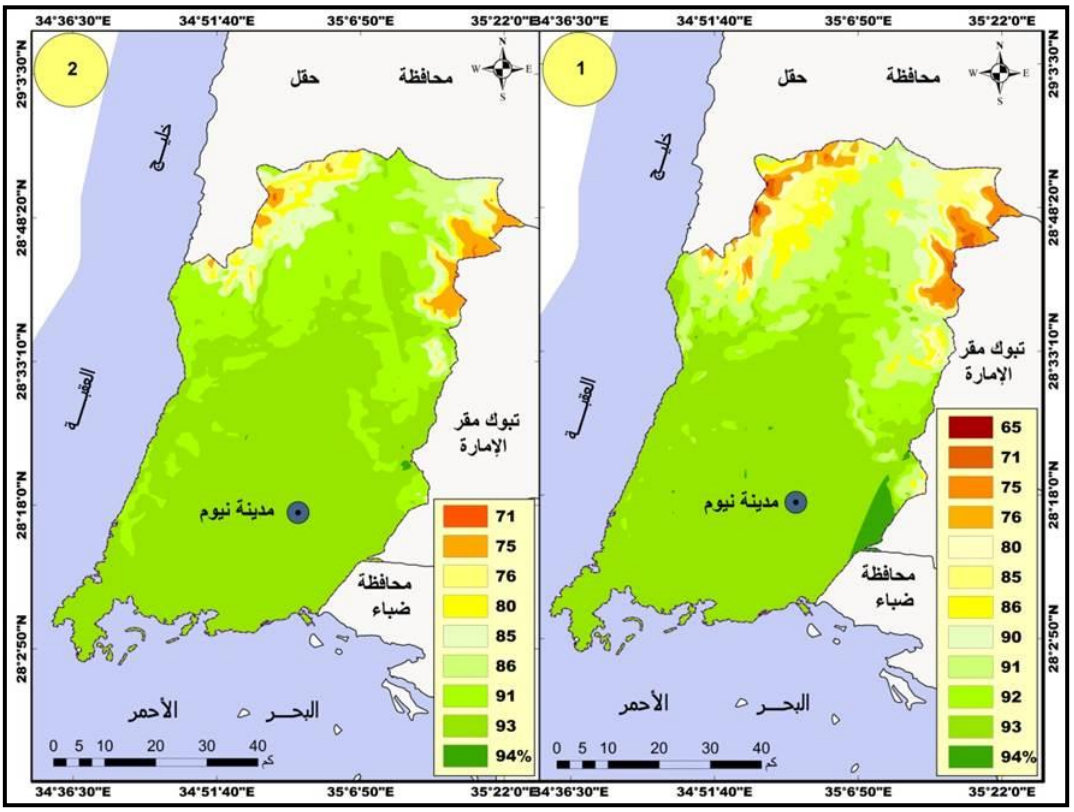
93%، أي ضمن المناطق ذات المناخ المثالي لممارسة أنشطة السياحة، ويتوقع أن تبلغ مساحة منطقة المناخ المثالي 90% فأكثر جدول رقم (13) نحو 3510.93 كم^2، بنسبة 84.5% من إجمالي مساحة المحافظة.

جدول (13) نسب ملاءمة مناخ السياحة وتوقع تغيراتها في محافظة البدع للأعوام 2030، 2040، 2050م

نسبة الملاءمة	توصيف ملاءمة المناخ للسياحة	المساحة كم^2 عام 2030 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2040 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2050 م	النسبة %
65	جيدة	0.895	0.02	–	–	–	–
71	جيدة جدا	16.27	0.39	1.78	0.04	–	–
75	جيدة جدا	87.97	2.11	95.41	2.29	–	–
76	جيدة جدا	78.28	1.88	84.025	2.02	–	–
80	ممتازة	111.21	2.67	92.06	2.21	188.94	4.54
85	ممتازة	183.24	4.4	233.44	5.62	460.74	11.08
86	ممتازة	166.4	4	122.99	2.95	–	–
90	مثالية	156.53	3.77	–	–	–	–
91	مثالية	591.49	14.24	1025.09	24.67	749.14	18.03
92	مثالية	476.32	11.47	–	–	–	–
93	مثالية	2231.57	53.7	2497.68	60.11	2756.37	66.34
94	مثالية	55.02	1.32	2.73	0.06	–	–

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على الشكلين (17)، الخريطتين (1، 2)، وشكل رقم (18)، خريطة (1).

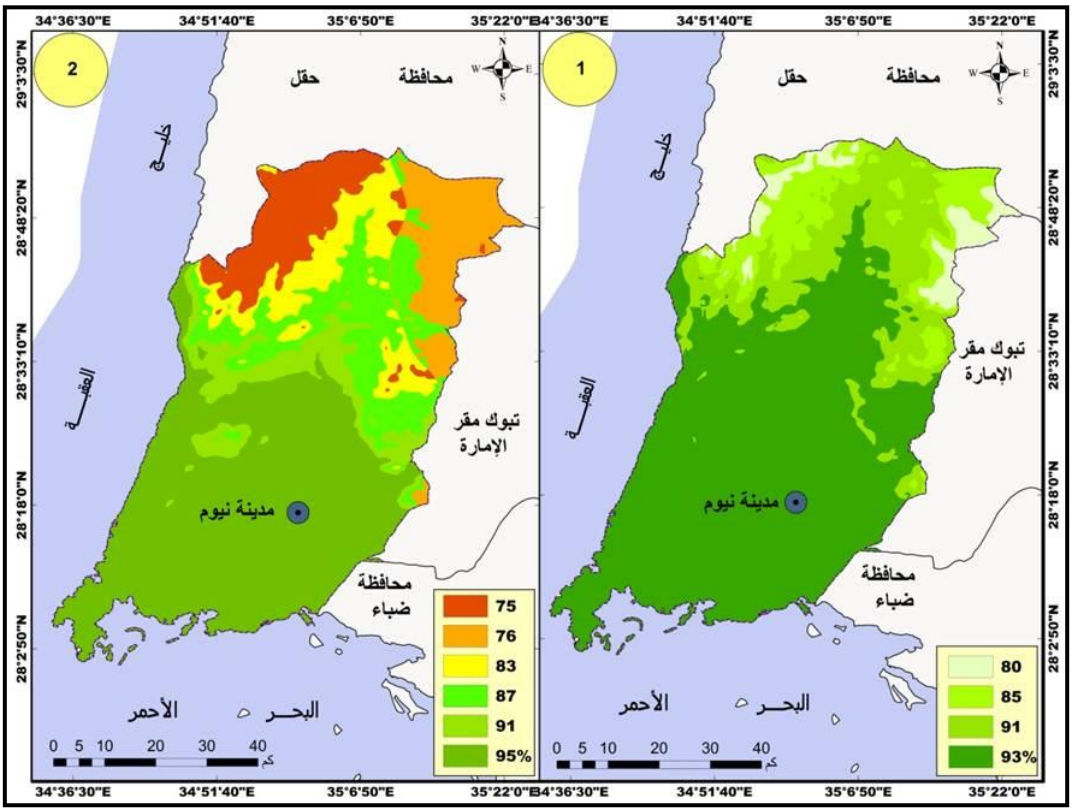
توصلت نتائج التنبؤ بالمناخ السياحي في المحافظة عام 2040م بناء على مستوياتها في عامي 2023 – 2030م تراجع نطاقات الملاءمة المناخية من أربعة نطاقات إلى ثلاثة تتراوح بين 71% في المناطق التي تتسم بمناخ جيد جدا للسياحة شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى 94% حيث المناخ مثالي للسياحة جنوب ووسط شمال المحافظة بمتوسط مكاني يتوقع أن يبلغ على مستوى المحافظة 90.8%، بزيادة متوقعة عن عام 2030م بنحو 0.2%، وستبلغ مساحة المنطقة ذات المناخ المثالي لممارسة السياحة جدول رقم (13) سابقا نحو 3525.5 كم^2، بنسبة 84.84% من إجمالي مساحة محافظة البدع، ومن المتوقع أن تزاد مساحة هذه المنطقة عن عام 2030م بنحو 14.57 كم^2، ويبين نموذج محاكاة مناخ السياحة شكل (17) خريطة رقم (2) بقاء مدينة نيوم ضمن مناطق المناخ المثالي للسياحة بنسبة ملاءمة للمناخ ستبلغ 93% عام 2040م.



شكل (17) محاكاة ملاءمة مناخ السياحة في محافظة البدع عامي 2030، 2040م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقتي ملاءمة مؤشر مناخ السياحة عامي 1993 – 2023م، شكل (4).

توضح نتائج التنبؤ بالمناخ السياحي في محافظة البدع عام 2050م شكل رقم (18) خريطة رقم (1) تحسن جودة مناخ السياحة عما سبق، ومما يؤكد ذلك وجود ثلاثة نطاقات لملاءمة المناخ للأنشطة السياحية التي من المتوقع أن تتراوح بين 80% مناخ ممتاز لممارسة السياحة، إلى 93% مناخ مثالي للسياحة بمتوسط مكاني على مستوى المحافظة سيبلغ 91.16%، بزيادة عن المتوسط المكاني لمناخ السياحة عام 2040م بنحو 0.36%، ومن ثَمَّ ستبقى المنطقة التي تتصف بمناخ مثالي لممارسة الأنشطة السياحية في المرتبة الأولى بين نطاقات ملاءمة المناخ للسياحة، وعلى الرغم من زيادة المتوسط المكاني للمؤشر فمن المتوقع تراجع مساحة المنطقة التي تتصف بمناخ مثالي 90% فأعلى عام 2050م والتي بلغت مساحتها جدول رقم (13) حوالي 3505.51 كم^2، بنسبة 84.37% من إجمالي مساحة المحافظة، بنحو 19.99 كم^2، ويبين نموذج محاكاة المناخ السياحي في محافظة البدع وقوع مدينة نيوم ضمن المناطق التي سوف تتسم بمناخ مثالي للأنشطة السياحة عام 2050م.



شكل (18) محاكاة ملاءمة مناخ السياحة عام 2050م، ومناخ العطلات للسياحة عام 2030م في محافظة البدع

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (**MLR**)، وطبقتي مؤشر مناخ السياحة في الشكل (**17**)، وطبقتي مؤشر مناخ العطلات، شكل رقم (**4**).

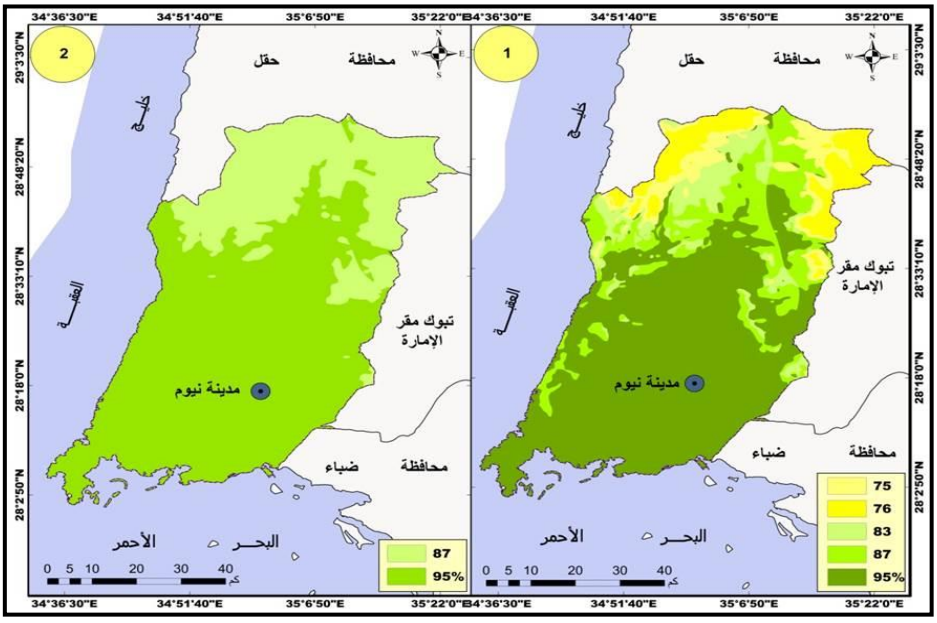
ج) محاكاة ملاءمة مناخ العطلات: توصلت نتائج التنبؤ بمدى ملاءمة مناخ العطلات لممارسة أنشطة السياحة في محافظة البدع عام 2030م في الشكل السابق رقم (18) خريطة (2) وجود ثلاثة نطاقات لملاءمة مناخ العطلات للسياحة من المتوقع أن تتراوح نسبة ملاءمتها بين 75% مناخ جيد جدا للسياحة شمال شرق وشمال غرب محافظة البدع، إلى 95% حيث يتوافر المناخ المثالي للسياحة جنوب ووسط المحافظة بمتوسط مكاني من المتوقع أن يبلغ 88.48، ويتوقع أن يتراجع المتوسط عن عام 2023م بنحو 1.18%، ويبين الشكل السابق كذلك وقوع غالبية المحافظة حيث المناخ المثالي للسياحة 90 –100%، وستبلغ مساحة المنطقة التي تتسم بمناخ مثالي لسياحة العطلات جدول (14) حوالي 2362.58 كم^2، بنسبة 56.87% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثَمَّ قد تتراجع عن عام 2023م بحوالي 195.89 كم^2، ويتوقع النموذج أن تبلغ نسبة ملاءمة مناخ العطلات بمدينة نيوم عام 2030م نحو 95% أي أنها ستقع ضمن المناطق التي تتسم بمناخ مثالي لممارسة أنشطة السياحة.

جدول (14) نسب ملاءمة مناخ العطلات للسياحة وتوقع تغيراتها في محافظة البدع للأعوام 2030، 2040، 2050م

نسبة الملاءمة	توصيف ملاءمة المناخ للسياحة	المساحة كم^2 عام 2030 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2040 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2050 م	النسبة %
75	جيدة جدا	406.94	9.79	305.81	7.35	–	–
76	جيدة جدا	398.41	9.58	349.97	8.42	–	–
83	ممتازة	391.4	9.41	341.86	8.22	–	–
87	ممتازة	595.86	14.34	657.16	15.82	1201.97	28.92
91	مثالية	354.89	8.55	–	–	–	–
95	مثالية	2007.69	48.32	2500.41	60.18	2953.23	71.08

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على الشكل (18)، خريطة (2)، وشكل رقم (19)، الخريطتين (1، 2).

وتظهر نتائج التنبؤ بمناخ العطلات السياحية في محافظة البدع عام 2040م استمرارية نسب ملاءمة المناخ ضمن ثلاثة نطاقات تراوحت نسبة ملاءمتها لممارسة الأنشطة السياحية بين 75% حيث يتوقع أن يسود مناخ جيد جدا للسياحة شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى 95% حيث تقع مدينة نيوم ضمن مناخ مثالي لممارسة الأنشطة السياحة جنوب ووسط شمال محافظة البدع بمتوسط مكاني على مستوى المحافظة يتوقع أن يبلغ 89.68%، بزيادة عن عام 2030 م قد تصل إلى 1.2%، ويبين شكل رقم (19) خريطة (1) وقوع معظم مساحة المنطقة حيث يسود المناخ المثالي لممارسة الأنشطة السياحية بمساحة متوقعة ستبلغ كما في الجدول السابق نحو 2500.41 كم^2، بنسبة 60.18% من إجمالي مساحة محافظة البدع بزيادة عن مساحة هذه المنطقة عام 2030م بنحو 137.83 كم^2.



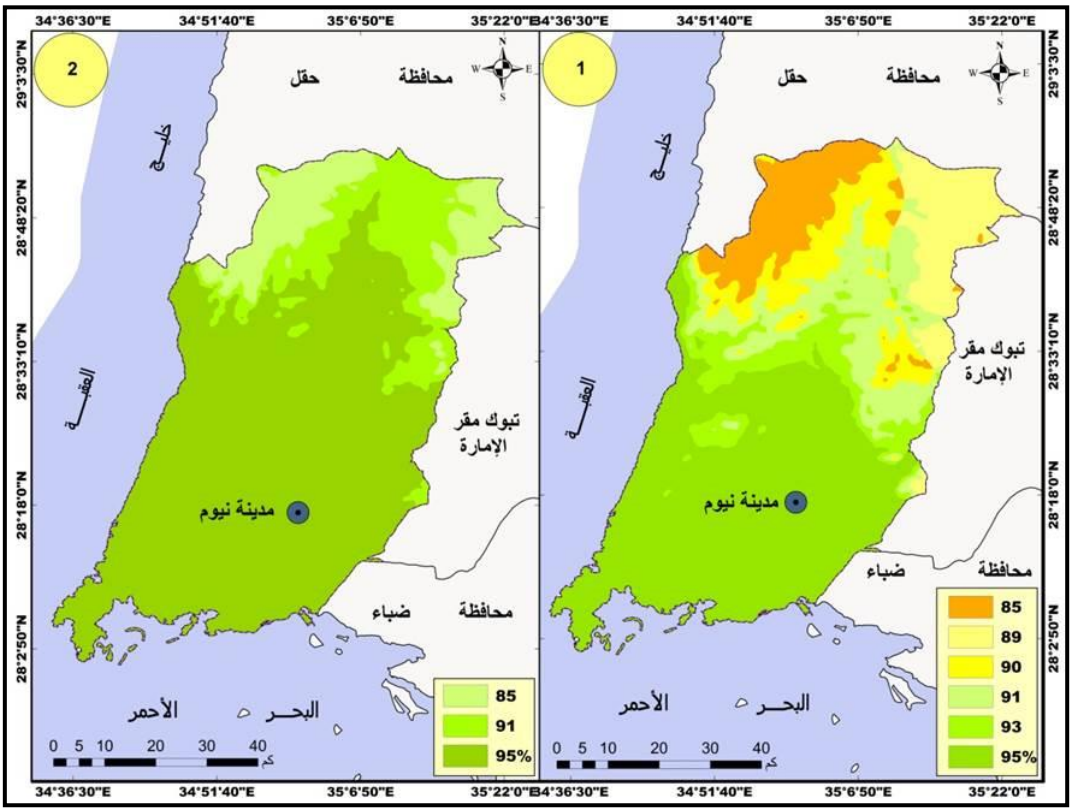
شكل (19) محاكاة ملاءمة مناخ العطلات للسياحة في محافظة البدع عامي 2040، 2050م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقتي ملاءمة مؤشر مناخ السياحة في الشكلين رقم (23، 24).

وتؤكد نتائج التنبؤ بمدى ملاءمة مناخ العطلات لممارسة الأنشطة السياحية في محافظة البدع عام 2050م في الشكل السابق رقم (19) خريطة (2) إمكانية تحسن ملاءمة مناخ العطلات بدليل تقلص نطاقات نسب ملاءمة المناخ إلى نطاقين بدلا من ثلاثة، وتراوح نسبة ملاءمة مناخ العطلات للسياحة بين 87% مناخ ممتاز للسياحة شمال المحافظة إلى 95% جنوب ووسط جنوب محافظة البدع، ويتوقع النموذج وقوع مدينة نيوم ضمن المناخ المثالي لممارسة الأنشطة السياحة بمتوسط مكاني لنسبة ملاءمة مناخ العطلات على مستوى المحافظة سيبلغ 92.7%، بزيادة عن عام 2040م يتوقع أن ترتفع إلى 3.02%، ويبين جدول رقم (14) وقوع غالبية المحافظة حيث يسود المناخ المثالي للسياحة بمساحة ستبلغ 2953.23 كم^2، بنسبة 71.08% من إجمالي مساحة محافظة البدع بزيادة عن عام 2040م بحوالي 452.82 كم^2.

د) محاكاة ملاءمة مناخ الشواطئ: قامت الدراسة بالتنبؤ بملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة في محافظة البدع عام 2030م بمساندة طبقتي توزيعها في عامي 1993 – 2023م، وتؤكد نتائج ذلك في الشكل (20) خريطة رقم (1) وقوع المنطقة ضمن نطاقي ملاءمة المناخ للأنشطة السياحية الأول بنسبة 85% شمال شرق وشمال غرب المنطقة؛ حيث يتسم المناخ بملاءمة ممتازة للسياحة، والثاني مناخ مثالي حيث تبلغ قيمة ملاءمة المؤشر 95%، ويتوقع أن تقع مدينة نيوم ضمن هذه المنطقة، وسيبلغ المتوسط المكاني لنسبة ملاءمة مناخ الشواطئ نحو 92.1%، بتراجع عن عام 2023م نحو 0.34%، ومع ذلك ستقع غالبية محافظة البدع جدول (15) ضمن مناخ مثالي للسياحة الشاطئية عام 2030م، ويتوقع أن تبلغ مساحة هذه المنطقة نحو 3349.06 كم^2، بنسبة 80.61% من إجمالي مساحة المحافظة، وقد تتراجع مساحة هذه المنطقة بنحو 91.14 كم2 عن عام 2023م.

وتظهر نتائج التنبؤ بملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة في محافظة البدع عام 2040م شكل (20) خريطة (2) استمرارية تغطية النطاقين نفسها للمنطقة وبنفس نسب الملاءمة التي تتراوح بين 85% بمناطق المناخ الممتاز لممارسة السياحة شمال شرق وشمال غرب المحافظة إلى 95% حيث المناخ مثالي للأنشطة السياحية وسط شمال وجنوب المحافظة؛ حيث تقع مدينة نيوم بمتوسط مكاني على مستوى المحافظة سيبلغ 93.1%، بزيادة يتوقع أن ترتفع عن عام 2030م بنحو 1%، ومن الممكن أن تبلغ مساحة منطقة المناخ المثالي للسياحة جدول (15) حوالي 3667.35 كم^2 بنسبة 88.26% من إجمالي مساحة محافظة البدع بزيادة لمساحة هذه المنطقة عن عام 2030م ستبلغ حوالي 318.29 كم^2.



شكل (20) محاكاة ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة في محافظة البدع عامي 2030، 2040م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقتي ملاءمة مؤشر مناخ الشواطئ، شكل رقم (4).

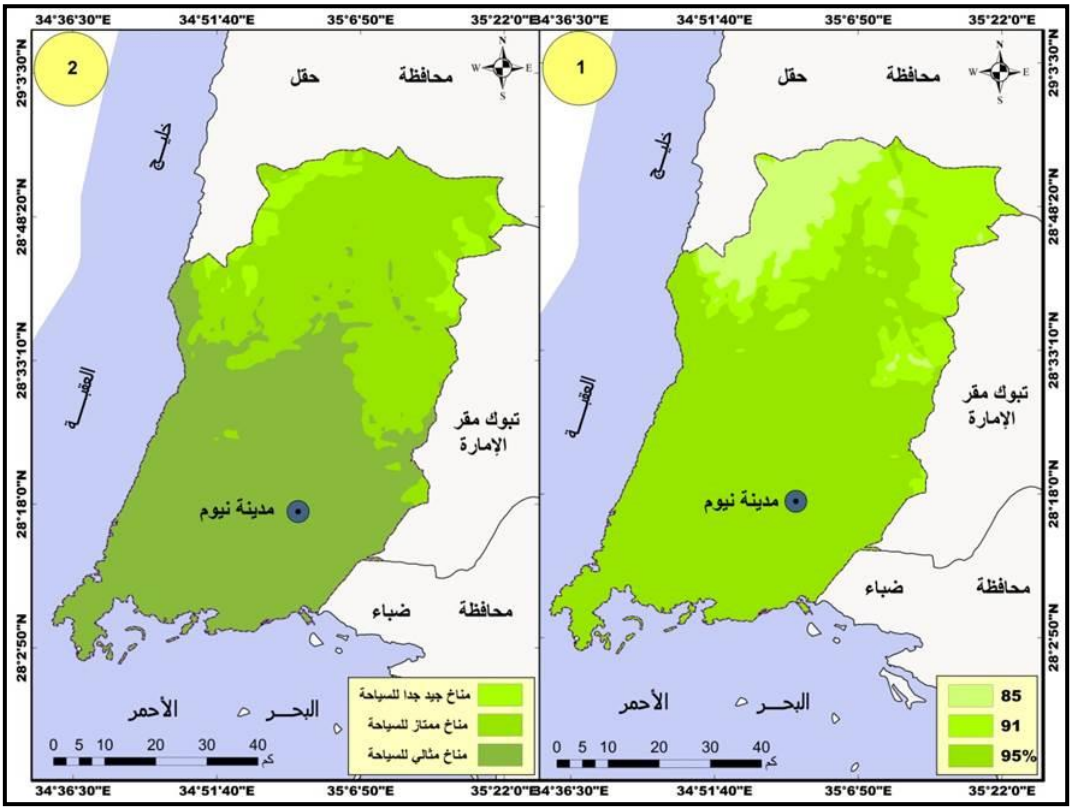
جدول (15) نسب ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة وتوقع تغيراتها في محافظة البدع للأعوام 2030، 2040، 2050م

نسبة الملاءمة	توصيف ملاءمة المناخ للسياحة	المساحة كم^2 عام 2030 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2040 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2050 م	النسبة %
85	ممتازة	407.65	9.81	487.83	11.74	406.83	9.79
89	ممتازة	398.48	9.59	–	–	–	–
90	مثالية	391.14	9.41	–	–	–	–
91	مثالية	595.56	14.34	621.02	14.94	789.97	19.01
93	مثالية	354.91	8.54	–	–	–	–
95	مثالية	2007.45	48.32	3046.33	73.32	2958.4	71.2

المصدر: من إنجاز الباحثة بالاعتماد على الشكل (20)، الخريطتين (1، 2)، وشكل رقم (21)، خريطة (1).

من جهة أخرى توصلت نتائج التنبؤ بمدى ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة في محافظة البدع عام 2050م شكل رقم (21) خريطة (1) إلى تحسن ملاءمة مناخ الشواطئ للسياحة مقارنة بالأعوام السابقة، على الرغم من استمرارية نطاقي الملاءمة الممتازة بنسبة 85%، والمناخ المثالي للسياحة عند حد أعلى لنسبة الملاءمة ستبلغ 95% بمتوسط مكاني على مستوى محافظة البدع سيبلغ 93.14% بزيادة عن نسبة ملاءمة مناخ الشواطئ عام

2040م بنحو 0.04%، وسوف تستمر المنطقة ذات المناخ المثالي لممارسة الأنشطة السياحية مسيطرة على المرتبة بمساحة 3748.37 كم^2، بنسبة 90.21% من إجمالي مساحة المحافظة بزيادة عن مساحتها عام 2040م، ومن المتوقع أن تبلغ حوالي 81.02 كم^2، وستقع مدينة نيوم ضمن المنطقة التي تتصف بمناخ مثالي للسياحة.



شكل (21) محاكاة ملاءمة مناخ الشواطئ عام 2050م، ومتوسط ملاءمة المناخ بجميع المؤشرات في محافظة البدع عام 2030م
المصدر: الباحثة بالاعتماد على خوارزمية (MLR)، وطبقات ملاءمة مناخ السياحة والعطلات والشواطئ عام 2030م، الاشكال (18، 19، 20).

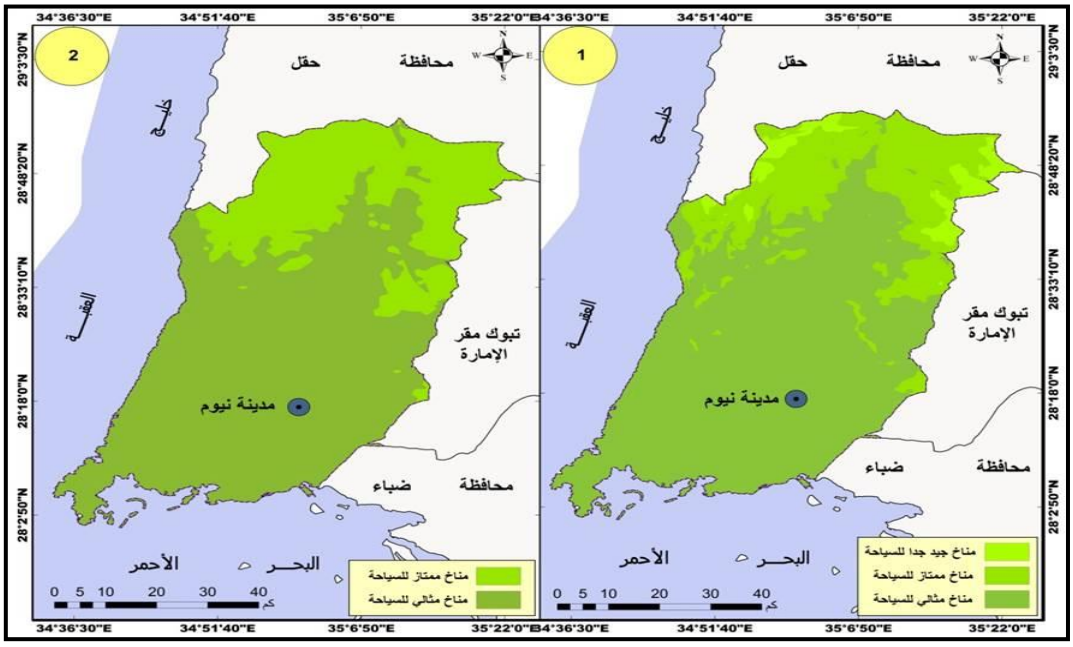
هـ) متوسط توقعات ملاءمة المناخ للسياحة: قامت الدراسة بحساب متوسط ملاءمة المناخ بمختلف مؤشرات المناخ السياحي والعطلات والشواطئ في محافظة البدع عام 2030م من خلال دمج الطبقات والقسمة على عددها، وعليه فقد تراوحت نسبة ملاءمة المناخ شكل رقم (21) السابق خريطة رقم (2) بمختلف المؤشرات بين 75% ملاءمة مناخية جيدة جدا للسياحة إلى 94.67% ملاءمة مثالية للسياحة بمتوسط مكاني بلغ 90.5% أي أن غالبية المنطقة سوف تتسم بمناخ مثالي لممارسة الأنشطة السياحية المستدامة بمختلف المؤشرات، ومن المتوقع أن تبلغ مساحة هذه المنطقة جدول (16) نحو 2383.8 كم^2، بنسبة 57.37% من إجمالي مساحة المحافظة، وسوف تقع مدينة نيوم على متوسط ملاءمة لمناخ مختلف مؤشرات المساحة عام 2030م ستبلغ 94.34% أي ملاءمة مثالية لممارسة مختلف الأنشطة السياحية خلال العام نفسه.

جدول (16) فئات متوسط ملاءمة المناخ بمختلف المؤشرات في محافظة البدع للأعوام 2030، 2040، 2050م

نسبة الملاءمة	توصيف ملاءمة المناخ للسياحة	المساحة كم^2 عام 2030 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2040 م	النسبة %	المساحة كم^2 عام 2050 م	النسبة %
79 – 70	جيدة جدا	191.25	4.6	181.2	4.36	–	–
89 – 80	ممتازة	1580.14	38.02	1005.7	24.2	1198.027	28.83
100 –90	مثالية	2383.8	57.37	2968.29	71.73	2957.17	71.17

المصدر: من انجاز الباحثة بالاعتماد على الشكل (21)، خريطة (2)، وشكل (22)، الخريطتين (1، 2).

وتظهر نتائج متوسط ملاءمة المناخ بمختلف مؤشرات مناخ السياحة عام 2040م شكل (22) خريطة (1)، تراوح نسبة ملاءمة مناخ محافظة البدع بين 77.33% ملاءمة مناخية جيدة جدا لممارسة أنشطة السياحة، وبزيادة عن عام 2030م بنحو 2.33% إلى 94.67% ملاءمة مثالية للسياحة بمتوسط مكاني بلغ 91.23% بزيادة عن عام 2030 بنحو 0.73%، ومن ثَمَّ ستقع غالبية المحافظة ضمن مناخ مثالي لممارسة مختلف الأنشطة السياحية، ومن المتوقع أن تبلغ مساحة هذه المنطقة جدول (15) السابق نحو 2968.29 كم^2، بنسبة 71.73% من إجمالي مساحة المحافظة، وستظل نسبة متوسط ملاءمة مناخ مدينة نيوم بنفس ما كانت عليها عام 2030م بحوالي 94.34% أي ملاءمة مثالية لممارسة مختلف الأنشطة السياحية خلال العام نفسه.



شكل (22) متوسط ملاءمة المناخ للسياحة بجميع مؤشرات مناخ السياحة عامي 2040، 2050م

المصدر: الباحثة بالاعتماد على حاسبة (GIS)، وطبقات ملاءمة مناخ السياحة والعطلات والشواطئ عامي 2040م، 2050م.

وتوصلت نتائج تحليل متوسط نسبة ملاءمة مختلف مؤشرات مناخ السياحة عام 2050م شكل رقم (22)، السابق خريطة رقم (2) تراوح نسبة ملاءمة المناخ الكلي بمحافظة البدع بين 84% ملاءمة مناخية ممتازة لممارسة السياحة بزيادة متوقعة عن عام 2040م بنحو 6.67%، إلى 94.34% ملاءمة مثالية للسياحة لتتراجع عن عام 2040م بحوالي -0.33%. وبلغ المتوسط المكاني لنسبة ملاءمة المناخ على مستوى المحافظة 92.38% بزيادة عن متوسطها عام 2040م بنحو 1.15%، ومن ثَمَّ من الممكن أن تقع غالبية المحافظة ضمن مناخ مثالي لممارسة الأنشطة السياحية، ومن المتوقع أن تبلغ مساحة هذه المنطقة الجدول السابق رقم (16) نحو 2957.17 كم^2، بنسبة 71.17% من إجمالي مساحة المحافظة؛ مما يعني إمكانية تراجعها عن عام 2040م بنحو -11.12 كم^2، وسيظل متوسط نسبة ملاءمة المناخ بمدينة نيوم على حاله بنحو 94.34% أي ملاءمة مثالية لممارسة مختلف الأنشطة السياحية خلال العام نفس.

المصادر:

- Demiroglu, O. C., Saygili-Araci, E. S., Pacal, A., Hall, H. M., & Kurnaz, M. L. (2020). Future Holiday Climate Index (HCI) Performance of Urban and Beach Destinations in the Mediterranean. Atmosphere, 11 (9), 911. https://doi.org/10.3390/atmos11090911.

- Dube, K., & Nhamo, G. (2021). Greenhouse Gas Emissions and Sustainability in Victoria Falls: Focus on Hotels, Tour Operators and Related Attractions. Afr. Geogr. Rev, 40, 125–140. https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1777437.

- Dube, K. (2024). Evolving Narratives in Tourism and Climate Change Research: Trends, Gaps, and Future Directions. Atmosphere, 15, 455. https://doi.org/10.3390/ atmos15040455.

- Esha, J. E., & Rahman, T. U. (2021). Simulation of future land surface temperature under the scenario of climate change using remote sensing & GIS techniques of northwestern Rajshahi district, Bangladesh. Environmental Challenges, 5, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100365.

- Gregorczuk, M., & Cena, K. (1967). Distribution of effective temperature over the surface of the earth. Int. J. Biometeorol, 11, 145–149.

- Lara, A. J. C., Lguzquiza, E. B., & Velazquez, D. P. (2018). A distributed cellular automata model to simulate potential future impacts of climate change on snow cover area. Advances in Water Resources, 124.DOI:10.1016/j.advwatres.2018.12.010.

- Li, H., Goh, C., Hung, K., & Chen, J. L. (2017). Relative climate index and its effect on seasonal tourism demand. Journal of Travel Research, 57(2), 178–192. DOI:10.1177/0047287516687409.

- Magnusson, T., Karabag, S.F., Wigger, K., & Andersson, G. (2024). Sustainability Transitions in Tourism: On the Transformation of a Fragmented Sector. Tour. Geogr, 26, 157–172. DOI:10.1080/14616688.2023.2291700.

- Mieczkowski, Z. (1985). The Tourism Climate Index: a method for evaluating wold climate for tourism. Can. Geogr, 29, 220–233. DOI:10.1111/J.1541-0064.1985.TB00365.X.

- NASA. (2024, October 1) .Earth's climate data. Retriened in October 7, 2024 form. (https://giovanni.gsfc.nasa.gov).

- Navarro-Drazich, D., Christel, L.G., Gerique, A., Grimm, I., Rendón, M. L., Alcântara, L.S., Abraham, Y., Conde, M.d.R., & DeSimón, C. (2023). Climate Change and Tourism in South and Central America. J. Sustain. Tour, 32 (9), 1–17. https://doi.org/10.1080/09669582.2023.2210783.

- Rahman, M. R., & Lateh, H. (2017). Climate change in Bangladesh: a spatio-temporal analysis and simulation of recent temperature and rainfall data using GIS and time series analysis model. Environmental Science. Geography, 128, 27- 41. DOI:10.1007/s00704-015-1688-3.

- Saeed, S., Makhdum, M.S.A., Anwar, S., & Yaseen, M.R. (2023). Climate Change Vulnerability, Adaptation, and Feedback Hypothesis: A Comparison of Lower-Middle, Upper-Middle, and High-Income Countries. Sustainability, 15(5), 4145; https://doi.org/10.3390/su15054145.

Scott, D., Lemieux, C., & Malone, L. (2011). Scott, D.J., C.J. Lemieux, and L. Malone. 2011. Climate services to support sustainable tourism and adaptation to climate change. Climate Research, 47: 111-122. doi: 10.3354/cr00952.

- Scott, D., Rutty, M., Amelung, B., & Tang, M. (2016). An inter-comparison of the holiday climate index (HCI) and the tourism climate index (TCI) in Europe. Atmosphere, 7(6), 80. https://doi.org/10.3390/atmos7060080.

- Scott, D., Hall, C.M., & Gössling, S. (2019). Global Tourism Vulnerability to Climate Change. Ann. Tour. Res, 77, 49–61. https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.05.007.

- Steiger, R., Posch, E., Tappeiner, T., & Walde, J. (2023). Seasonality matters: simulating the impacts of climate change on winter tourism demand, Current Issues in Tourism, 26:17, 2777-2793, DOI: 10.1080/13683500.2022.2097861.

- Verbos, R.I., & Brownlee, M.T.J. (2017). The Weather Dependency Framework (WDF): A Tool for Assessing the Weather Dependency of Outdoor Recreation Activities. J. Outdoor Recreat. Tour, 18, 88–99. https://doi.org/10.1016/j.jort.2017.02.005.

- Yu, D.D., Matthews, L., Scott, D., Li, S., & Guo, Z.Y. (2022). Climate Suitability for Tourism in China in an Era of Climate Change: A Multiscale Analysis Using Holiday Climate Index. Curr. Issues Tour, 25, 2269–2284. https://doi.org/10.1080/13683500.2021.1956442.