تَحليل أثر التَّغيُّرَات المُناخِية فِي رَاحة الإنسَانِ فِي مَدينة المُكَلَّا بِاستخدامِ نُظمِ المَعلوماتِ الجُغرافية (GIS)

سالم عبيد أحمد بانوَّاس* حسن عبد الله عمر بافقير*

الملخص

يشكّل التغيُّر المناخي أحد أبرز التحدّيات البيئية المعاصرة؛ نظرًا لتأثيراته المباشرة وغير المباشرة في حياة الإنسان، وراحته الفسيولوجية، لذلك سعت الدراسة إلى تحليل أثر التغيرات المناخية في راحة الإنسان في مدينة المكلا في المدة 1965–2024م، وقد حُسِبَت مستويات الراحة باستخدام قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)، كما استُعِينَ بتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإجراء النمذجة المكانية لقيم التغير في العناصر المناخية، وتغير قيم هذين المؤشرين.

وقد توصلت الدراسة إلى أنَّ مدينة المكلا شهدت تغيرات في العناصر المناخية خلال مدة الدراسة، تمثلت في الآتي: اتجاه معدل درجات الحرارة نحو الارتفاع (الاحترار)، وانخفاض معدلات سرعة الرياح، والرطوبة النسبية، الأمر الذي انعكس على راحة الإنسان، باتجاه قيم قرينة ثوم نحو الارتفاع، واتجاه قيم دليل تبريد الرياح نحو الانخفاض في جميع أشهر السنة، وجميع المحطات المناخية، وأظهرت هذه التغيرات زيادة الإحساس بالإرهاق الحراري الناجم عن هذه التغيُّرات المُناخية، كما بيَّنت المقارنة بين عامي 1965م و2024م تدهورًا واضحًا في مستويات راحة الإنسان في مدينة المكلا؛ إذ انتقلت من الراحة النسبية إلى حالات الإجهاد الحراري وفقًا لقرينة ثوم، خصوصًا في أشهر الصيف، كما تراجعت قدرة الرياح على التبريد وفقًا لمعامل تبريد الرياح، خصوصًا في الأشهر الممتدة من أبريل إلى سبتمبر، وهو ما يعكس الأثر المباشر للتغير المناخي في تزايد العبء الحراري على سكان هذه المدينة.

الكلمات المفتاحية: التغيرات المناخية، راحة الإنسان، قرينة ثوم (THI)، معامل تبريد الرياح (Ko)، نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

المقدمة:

يعد التغير المناخي من القضايا البيئية البارزة التي استجلبتْ اهتمام دول العالم كافة خلال العقود الأخيرة، وقد ازداد هذا الاهتمام بشكل ملحوظ مع ظهور الثورة الصناعية وتطوُّرها، التي أسهمت في زيادة تركز الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي، على رأسها غاز ثاني أكسيد الكربون؛ مما أدت إلى تغيرات مناخية واضحة كان لها أثر مباشر وغير مباشر في الإنسان وبيئته ونشاطاته المختلفة، ومن أبرز هذه التأثيرات ما يتعلق براحته الفسيولوجية وتغير مستوياتها، ويظهر الأثر بشكل أوضح في البيئات الحضرية؛ كونها من أكثر البيئات لانبعاثات الغازات الدفيئة، مما يترتب على ذلك ارتفاع درجات الحرارة، وظهور ظاهرة الاحتباس الحراري، وما يتبعها من تغيرات في باقي العناصر المناخية الأخرى.

ولا شك أنَّ هذه التغيرات المناخية تنعكس سلبًا على البيئة الحضرية من: زيادة استهلاك الماء، وزيادة الطلب على الطاقة، وتراجع مستويات الراحة الحرارية للسكان، وتزايد المشكلات الصحية وغيرها، وهي تداعيات تتفاقم مع ارتفاع الكثافة السكانية في المدن (زهران، 2023، ص 399).

وقد صاغ العلماء عددًا من القرائن المناخية لقياس مستويات الراحة والانزعاج عند الإنسان، مثل: قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)، وقرينة الإحساس الحراري (T_{SEN})، وقرينة درجة الحرارة الفعالة (ET)، وقرينة السعادة والسرور، وغيرها من القرائن. وفي هذا السياق جاءت هذه الدراسة بهدف تحليل التغيرات المناخية في مدينة المكلا العاصمة

* أستاذ الجغرافية الطبيعية المساعد بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية – كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة حضرموت.

الإدارية لمحافظة حضرموت، وبيان أثرها في راحة الإنسان، وقد اعتمد الباحثان في قياس مستويات الراحة والإجهاد الحراري للإنسان في مدينة المكلا على قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)؛ لأنهما يعكسان أكثر العناصر المناخي تأثيرًا في راحة الإنسان والمتمثلة في: درجة الحرارة، والرياح، والرطوبة النسبية.

مشكلة الدراسة:

تسعى هذه الدراسة للإجابة عن التساؤلات الآتية:

1- ما اتجاه ومقدار التغير في العناصر المناخية المؤثرة في راحة الإنسان في مدينة المكلا؟

2- ما هي مستويات الراحة والإجهاد الحراري للإنسان في مدينة المكلا التي تعكسها قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)؟

3- ما اتجاه ومقدار التغير في قيم ومستويات راحة الإنسان في مدينة المكلا، وفقًا لنتائج قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)؟

4- هل للتغيرات المناخية أثر في تحوّل مستويات راحة الإنسان في مدينة المكلا بين العامين 1965م و2024م، وفقًا لقرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)؟

فرضيات الدراسة:

للإجابة عن تساؤلات الدراسة، يمكننا صياغة الفرضيات الآتية:

1- يوجد تباين في اتجاه ومقدار التغير في العناصر المناخية المؤثرة في راحة الإنسان في مدينة المكلا.

2- سجلت قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko) مستويات متباينة من الراحة والإجهاد الحراري للإنسان في مدينة المكلا تختلف باختلاف شهور السنة.

3- هناك اتجاه متزايد نحو الإجهاد الحراري للإنسان في مدينة المكلا، وفقًا لنتائج قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko).

4- أدت التغيرات المناخية إلى تحوّل مستويات راحة الإنسان في مدينة المكلا من مستويات مريحة عام 1965م إلى مستويات أكثر إجهادًا 2024م، وفقًا لقرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko).

أهداف الدراسة:

تستهدف هذه الدراسة الآتي:

1- تحليل اتجاه ومقدار التغير في العناصر المناخية المؤثرة في راحة الإنسان في مدينة المكلا.

2- تحديد مستويات الراحة والإجهاد الحراري للإنسان في مدينة المكلا؛ باستخدام قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko).

3- تحليل اتجاه ومقدار التغير في قيم الراحة والإجهاد الحراري للإنسان في مدينة المكلا، وفقًا لنتائج قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko).

4- تقييم أثر التغيرات المناخية في تحوُّل مستويات راحة الإنسان في مدينة المكلا؛ من خلال مقارنة نتائج قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko) بين العامين 1965م و2024م.

منهجية الدراسة:

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي الإحصائي؛ لتحليل اتجاه التغير ومقداره في العناصر المناخية المؤثرة في راحة الإنسان في مدينة المكلا، واحتساب مستويات الراحة والإجهاد الحراري وفق قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)، ثم قياس مقدار واتجاه تغيرهما واتجاهه، كما أُستخدِم المنهج المقارن الزمني؛ لتحديد التحوّل في مستويات راحة الإنسان وفق قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko) بين العامين 1965م و2024م. كذلك أُستخدِم المنهج الكارتوجرافي في رسم وتصميم الخرائط التي تتطلبها الدراسة بتقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS). ويمكن توضيح الخطوات المتبعة في جمع البيانات،

وحساب المعادلات الإحصائية، والبرامج التقنية لحسابها على النحو الآتي:

1- بيانات الدارسة:

اقتصرت الدراسة على تحليل بيانات (معدل درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والرياح) لعدد ثلاث محطات مناخية، هي: (الريان، والديس، وفوَّه)؛ ويعزى السبب في اختيار هذه العناصر لاعتماد قرينة ثوم (THI) على عنصر الحرارة والرطوبة، ومعامل تبريد الرياح على الحرارة والرياح (Ko) لتقدير مستويات راحة الإنسان، ويمكن توضيح بيانات هذه المحطات وفق الجدول الآتي:

الجدول (1): المحطات المناخية المستخدمة في الدراسة

اسم المحطة	دائرة العرض (شمالًا)	خط الطول (شرقًا)	الارتفاع (متر)
الريان	14.657	49.356	22.2
الديس	14.554	49.126	24.5
فوة	14.4717	49.025	20.4

المصدر: من إعداد الباحثَيْن بالاعتماد على: برنامج Google Earth Pro.

2- التحليلات الإحصائية:

اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأساليب الإحصائية يمكن توضيحها على النحو الآتي:

أ- اختبار مان كيندال (Mann-Kendall Trend Test):

يعد من الاختبارات العالمية الحديثة الاستخدام للكشف عن مقدار التغير الحاصل في السلاسل الزمنية، ولا سيما المناخية، والهيدرولوجية، وتحليل الاتجاهات الخاصة بها (Neha Karmeshu, 2012, P4)، وقد أقرته الهيئة الدولية المعنية بتغيُّر المناخ (IPCC) (الفريداوي، 2024، ص 87)، واقترحته أيضًا المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) (الزرفي، 2021، ص 56)، ويستند استخدام هذا الاختبار على متغيرين: الأول قيم الظاهرة المدروسة، والآخر سنوات الدراسة، التي تتغير في أثنائها تلك الظاهرة في مدة الدراسة (الجبوري، 2020، ص 70.). ويعتمد هذا الاختبار على وجود فرضيتين، هما:

1- فرضية العدم (H_0): أي عدم وجود اتجاه للبيانات.

2- الفرضية البديلة (H_1): أي وجود اتجاه للبيانات متزايدًا، أو متناقصًا عبر الزمن (Monforte & Ragusa, 2020, P4).

ويتميز هذا الاختبار بأنه لا معلمي، أي لا يشترط التوزيع الطبيعي للبيانات؛ إذ يفسر الاتجاه من قيمة (S أو Z) الناتجة عن التحليل، والصيغة الرياضية له (الفرطوسي، 2022، ص 376):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} \operatorname{sgn}\left(x_j - x_i\right) \quad \operatorname{sgn}(t) = \begin{cases} +1, & for\ t > 0 \\ 0, & for\ t = 0 \\ -1, & for\ t < 0 \end{cases}$$

إذ إنَّ:

$\left(x_j - x_i\right)$ = قيم العنصر الشهرية، أو الفصلية، أو السنوية المستخدمة في الاختبار في السنوات.

(j i) = السنوات على الترتيب.

3- البرامج التقنية المستخدمة في الدراسة:

أ- برنامج XL. STAT v.2025:

يعد من البرامج الإحصائية المتقدمة في مجال تحليل البيانات؛ إذ يوفر مجموعة واسعة من الدوال والاختبارات الإحصائية، وقد وُظِفَ هذا البرنامج في

الدراسة من خلال تطبيق اختبار مان كيندال (Mann-Kendall Trend Test) الذي اعتمدته هذه الدراسة؛ لقياس اتجاه ومقدار التغير في العناصر المناخية محل الدراسة، وكذلك في حساب اتجاه ومقدار التغير في نتائج قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko).

ب- برنامج ArcGIS Pro 3.5.2:

يعد هذا البرنامج من أبرز البرامج الحديثة عالميًا، في مجال إعداد الخرائط وتصميمها، وإجراء التحليلات المكانية والإحصائية، وقد استُعِين بهذا البرنامج في تصميم: خارطة منطقة الدراسة، كما جرى توظيفه أيضًا في إنتاج خرائط التوزيع المكاني لمقدار التغير في العناصر المناخية المستخدمة في هذه الدراسة، إلى جانب إعداد خرائط التغير في بيانات قرينة ثوم (THI)، ومعامل تبريد الرياح (Ko)؛ ولتنفيذ ذلك اعتُمِد على أداة الوزن العكسي للمسافة (IDW) التي تعد من أكثر تقنيات الاستيفاء المكاني استخدامًا لتمثيل مثل هذه البيانات.

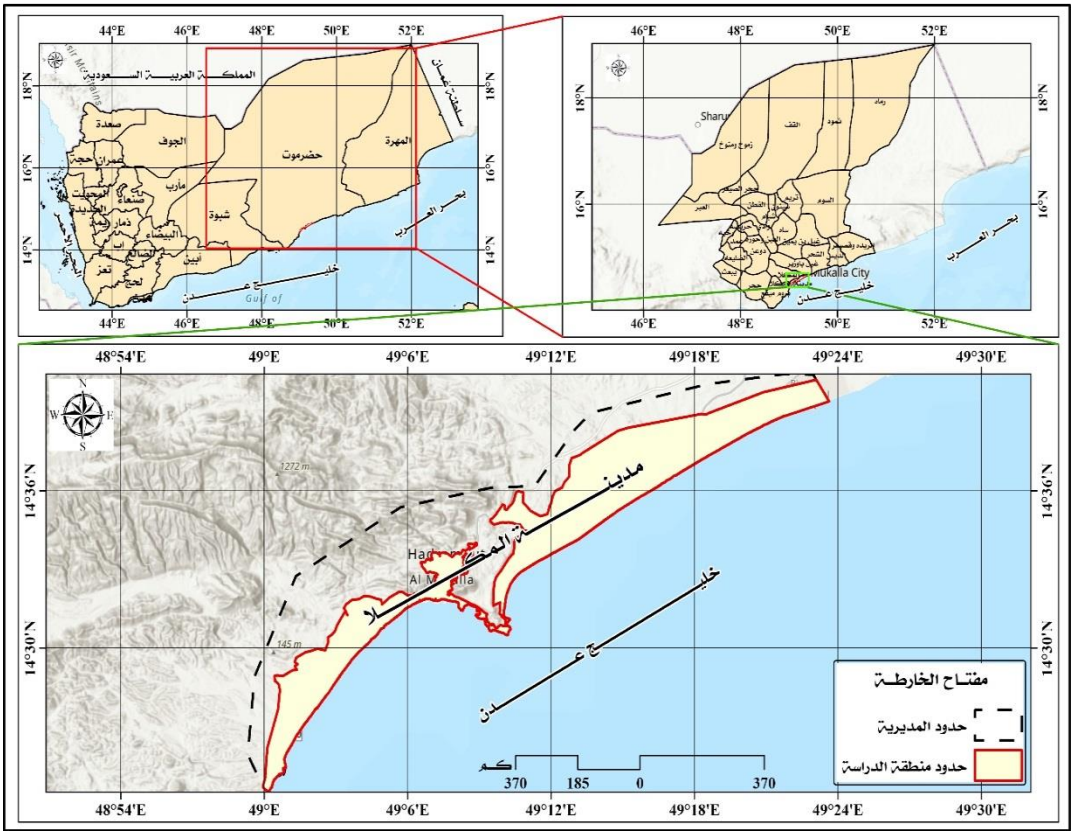
- حدود الدراسة:

1- الحدود المكانية:

اقتصرت الحدود المكانية للدراسة على حدود مدينة المكلا من دون التوسع إلى كامل مساحة مديرية مدينة المكلا، وهي تقع في الجهة الجنوبية من محافظة حضرموت، وتنحصر إحداثيًّا بين دائرتي عرض ("30 '24 °14 - "9 '40 °14) شمال خط الاستواء، وخطي طول ("52 '59 °48 - "38 '23 °49) شرق خط جرينتش، يحدها من الشرق مديرية غيل باوزير، ومن الغرب مديرية بروم ميفع، ومن الشمال الحدود الجنوبية لهضبة حضرموت الجنوبية، في حين تطل من جهة الجنوب على خليج عدن. الخارطة (1).

2- الحدود الزمانية:

تمثلت الحدود الزمانية لهذه الدراسة في المدة الممتدة من 1965 إلى 2024م، أي لمدة 60 عامًا.



المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على برنامج ArcGIS Pro 3.5.2.

الخارطة (1): الموقع الفلكي والجغرافي لمدينة المكلا

1: اتجاه التغيّر ومقداره في العناصر المناخية في مدينة المكلا:

1-1: اتجاه التغير ومقداره في معدل درجة الحرارة:

يتضح من الجدول (2) أنَّ التغير في معدل درجة الحرارة اتجه نحو الارتفاع في جميع أشهر السنة، وجميع محطات الدراسة، بمقدار تباين بين (0.5 – 1.7 درجة مئوية) خلال مدة الدراسة (1965 – 2024م)، وهذه التغيرات جميعها ذات دلالة إحصائية، مما يدل على تأثر مدينة المكلا بظاهرة الاحتباس الحراري؛ بسبب ارتفاع نسبة الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي، ويتفاوت مقدار التغير في معدلات درجة الحرارة الشهرية والسنوية على النحو الآتي:

الجدول (2): مقدار التغيّر في معدل درجة الحرارة (درجة مئوية) في مدينة المكلا للمدة من (1965– 2024م)

المحطة / الشهر	الريان		الديس		فوة	
	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية
يناير	0.5	0.04	1.1	0.02	0.6	0.02
فبراير	0.8	0.01	0.9	0.01	0.9	0.00
مارس	1.3	0.00	1.5	0.00	1.4	0.00
أبريل	1.6	0.00	1.9	0.00	1.6	0.00
مايو	1.4	0.00	1.9	0.00	1.4	0.00
يونيو	1.4	0.00	1.7	0.00	1.2	0.00
يوليو	1.2	0.00	1.4	0.00	1.2	0.00
أغسطس	1.2	0.00	1.4	0.00	1.2	0.00
سبتمبر	1.7	0.00	1.7	0.00	1.7	0.00
أكتوبر	1.2	0.00	1.7	0.00	1.3	0.00
نوفمبر	1.0	0.00	0.9	0.00	1.0	0.00
ديسمبر	1.0	0.00	0.9	0.02	1.1	0.00
السنوي	1.2	0.00	1.4	0.00	1.2	0.00

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

(1) الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، محطة مطار الريان الدولي، محافظة حضرموت، بيانات مناخية غير منشورة. 2000–2012م.

(2) الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، صنعاء، إدارة المناخ، بيانات مناخية غير منشورة، 2011م.

(3) موقع (Terra Climate) الممول من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) من الرابط:http://www.climatologylab.org/terraclimate.html تاريخ الدخول 2025/7/28م.

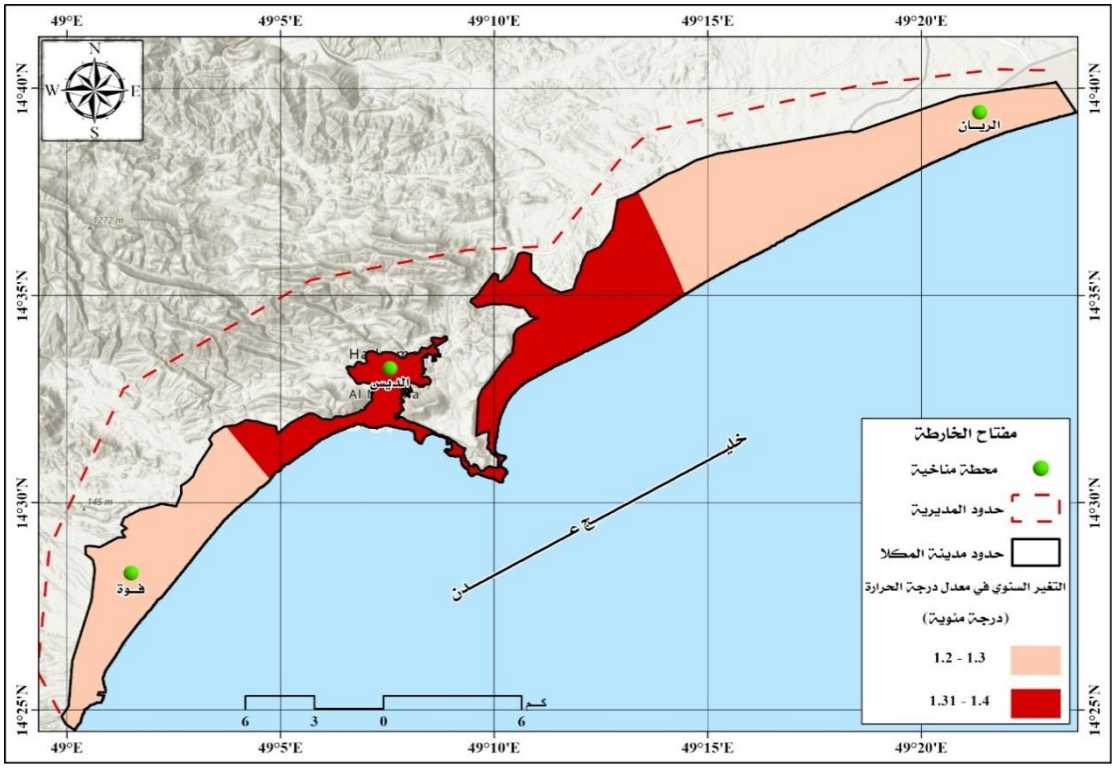
(4) نتائج اختبار مان– كيندال (Mann-Kendall Trend Test) باستخدام برنامج (XL. STAT v.2025).

- سجلت أشهر (يناير– فبراير– نوفمبر – ديسمبر) أقل مقدار للتغيّر في معدلات درجة الحرارة في جميع محطات منطقة الدراسة؛ إذ تراوح بين (0.5) و (1.1) درجة مئوية خلال مدة الدراسة، وتتباين هذه التغيرات بين المحطات المناخية؛ إذ سجلت محطة الريان تغيرًا بلغ (0.5، 0.8، 1، 1) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وهذا التغير دال إحصائيًّا؛ إذ بلغ مستوى الدلالة (0.04، 0.01، 0.00، 0.00) لكل شهر على الترتيب، في حين بلغ مقدار التغير في محطة الديس (1.1، 0.9، 0.9، 0.9) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وبدلالة إحصائية معنوية بلغت (0.02، 0.01، 0.00، 0.02) لكل شهر على الترتيب، أما محطة فوة فقد بلغ مقدار التغيّر فيها (0.6، 0.9، 1، 1.1) درجة مئوية خلال مدة الدراسة لكل شهر على الترتيب، وبدلالة إحصائية معنوية (0.02، 0.00، 0.00، 0.00) لكل

شـــهر علـــى الترتيـــب، وهـــذه التغيـــرات جميعًـــا دالـــة إحصائيًا، مما يعني قبول الفرضية البديلة (H_1) ورفض الفرضية الصفرية (H_0).

- سجلت أشهر (إبريل– ومايو – يونيو – أغسطس) أعلى مقدار للتغيّر في معدلات درجات الحرارة خلال مدة الدراسة في جميع محطات منطقة الدراسة، وتتباين هذه التغيرات بين المحطات؛ إذ بلغ مقدار التغيّر في محطة الريان (1.6 ، 1.4 ، 1.4 ، 1.7) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وبدلالة إحصائية معنوية قدرها (0.00)، فيما سجلت محطة الديس مقادير تغير مرتفعة عن محطة الريان؛ إذ بلغ مقدارها (1.9، 1.9، 1.7، 1.7) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وبدلالة إحصائية معنوية بلغت (0,00)، أما محطة فوة فقد بلغ مقدار التغيّر الحراري فيها (1.6، 1.4، 1.2 ، 1.7) درجة مئوية خلال مدة الدراسة لكل شهر على الترتيب، وبدلالة إحصائية معنوية (0.00) لكل منها، وهذه التغيرات جميعها دال إحصائيًا، مما يعني قبول الفرضية البديلة (H_1) ورفض الفرضية الصفرية (H_0).

- نلاحظ من الخارطة (2) تباين مقدار التغيّر الحراري السنوي بين محطات منطقة الدراسة، وظهور ما يسمى بالجزيرة الحرارية الحضرية التي تشغل نطاق محطة الديس؛ إذ سجلت تغيّرًا حراريًّا مرتفعًا بلغ (1.4) درجة مئوية خلال مدة الدراسة، مقارنة بمحطتي الريان وفوة التي سجلتا تغيّرًا بلغ (1.2) درجة مئوية، وهذه التغيرات ذات دلالة إحصائية؛ إذ بلغت (0.00) في جميع المحطات المناخية، ويعزى ارتفاع مقدار التغير الحراري السنوي في الديس إلى طبيعة النسيج العمراني الذي يمتاز بكثافة المباني، وضيق الشوارع وازدحامها، وإحاطتها بالجبال، وبعدها عن البحر، يؤدي ذلك إلى تراكم ظاهر الجزيرة الحرارية الحضرية وتفاقمه، في حين أنَّ الريان وفوَّه يمتلكان بيئة أكثر انفتاحًا، ونسيجًا عمرانيًّا أقل كثافة، وشوارع واسعة.



المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على الجدول (2)، من خلال تطبيق أداة IDW، باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.5.2.

الخارطة (2): مقدار التغيّر في معدلات درجة الحرارة السنوية (درجة مئوية) في مدينة المكلا للمدة من (1965 – 2024م)

1-2: اتجاه التغير ومقداره في معدل سرعة الرياح:

تؤدي الرياح دورًا كبيرًا في إحساس الإنسان بالراحة؛ لما لها من أثر في تلطيف درجات الحرارة المرتفعة، ويتضح من الجدول (3) الذي يمثل نتائج اختبار مان- كيندال (Mann-Kendall Trend Test) أنَّ هناك تفاوتًا في اتجاه ومقدار التغير في معدل سرعة الرياح بين الانخفاض والارتفاع على المستوى الشهري والسنوي في جميع محطات الدراسة على النحو الآتي:

- اتضح من نتائج التحليل أنَّ أشهر (يناير، ويونيو، ويوليو، وأغسطس، وسبتمبر) أظهرت تغيّرًا في معدل سرعة الرياح متجهًا نحو الانخفاض تراوح مقداره بين (0.13-) و (0.87-) متر/ ثانية خلال مدة الدراسة، وهذه التغيرات تتباين بين محطة وأخرى؛ إذ بلغ مقدار التغير في محطة الريان (0.26-، 0.72-، 0.79-، 0.33-، 0.14-) متر/ ثانية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.03، 0.00، 0.01، 0.23، 0.29) لكل شهر على الترتيب، ويعني ذلك أنها دالة إحصائيًّا في أشهر (يناير، ويونيو، ويوليو)، في حين تكون غير دالة إحصائيًّا في شهري (أغسطس، وسبتمبر)، أما مقدار التغير في محطة الديس فقد بلغ (0.25-، 0.75-، 0.77-، 0.25-، 0.13-) متر/ ثانية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.05، 0.00، 0.01، 0.38، 0.38) لكل شهر على الترتيب، ويعني ذلك أنَّ هذا التغير ذو دلالة إحصائية في أشهر (يناير،

ويونيو، ويوليو)، في حين أنَّه من غير دلالة إحصائية في شهري (أغسطس، وسبتمبر)، وقد سجلت محطة فوَّه مقدار تغير بلغ (0.28−، 0.81− ، 0.87−، 0.31−، 0.07−) متر/ ثانية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.07، 0.00، 0.01، 0.34، 0.66) لكل شهر على الترتيب، ويعني ذلك أنها دالة إحصائيًّا في أشهر (يونيو، ويوليو)، في حين كانت غير دالة إحصائيًّا في أشهر (يناير، وأغسطس، وسبتمبر).

الجدول (3): مقدار التغيّر في معدل سرعة الرياح (متر/ ثانية) في مدينة المكلا للمدة من (1965− 2024م)

المحطة / الشهر	الريان		الديس		فوة	
	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية
يناير	−0.26	0.03	−0.25	0.05	−0.28	0.07
فبراير	0.00	0.59	0.00	0.78	0.09	0.64
مارس	0.00	0.62	0.00	0.95	−0.05	0.72
أبريل	0.13	0.05	0.19	0.03	0.26	0.01
مايو	0.00	0.29	0.00	0.38	0.10	0.29
يونيو	−0.72	0.00	−0.75	0.00	−0.81	0.00
يوليو	−0.79	0.01	−0.77	0.01	−0.87	0.01
أغسطس	−0.33	0.23	−0.25	0.38	−0.31	0.34
سبتمبر	−0.14	0.29	−0.13	0.38	−0.07	0.66
أكتوبر	0.00	0.64	0.00	0.54	0.06	0.65
نوفمبر	0.00	0.99	0.00	0.90	0.00	0.92
ديسمبر	0.00	0.36	0.00	0.54	0.00	0.88
السنوي	−0.21	0.01	−0.23	0.01	−0.23	0.01

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

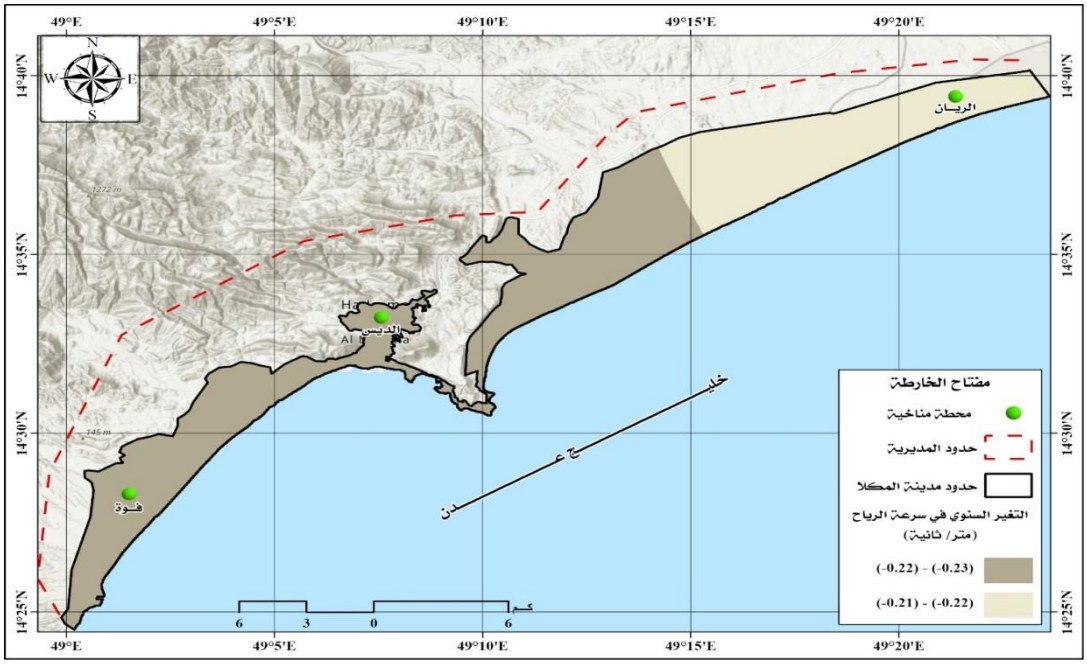
(1) موقع (Terra Climate) الممول من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) من الرابط:http://www.climatologylab.org/terraclimate.html تاريخ الدخول 2025/7/28م.

(2) نتائج اختبار مان− كيندال (Mann-Kendall Trend Test) باستخدام برنامج (XL. STAT v.2025).

- تتباين الأشهر التي أظهرت اتجاهًا موجبًا نحو الارتفاع في معدل سرعة الرياح في محطات منطقة الدراسة، ففي محطتي الريان والديس يعد شهر أبريل الشهر الوحيد الذي سجل تغيرًا نحو الارتفاع بلغ مقداره (0.13، 0.19) متر/ ثانية لكل محطة على الترتيب خلال مدة الدراسة، بدلالة إحصائية معنوية مقدارها (0.05، 0.03) لكل محطة، أما محطة فوة فسجلت أشهر (فبراير، وأبريل، ومايو، وأكتوبر)

تغيرات موجبة متجهة نحو الارتفاع، بمقدار بلغ (0.09، 0.26، 0.06) متر/ ثانية لكل شهر على الترتيب، وقد بلغ مستوى المعنوية بلغت (0.64، 0.01، 0.29، 0.65) لكل شهر على الترتيب، مما يدل ذلك أن هذا التغير دال إحصائيًّا في شهر (أبريل)، في حين كان غير دال إحصائيًّا في أشهر (فبراير، ومايو، وسبتمبر). أما أشهر السنة الأخرى فلم تسجل أي تغيّر في معدل سرعة الرياح.

- توضح الخارطة (3) أنَّ مقدار التغيّر السنوي في سرعة الرياح يتجه نحو الانخفاض في جميع محطات الدراسة، بلغ أعلاه في محطتي (الديس، وفوَّه) بمقدار (0.23-) متر/ ثانية خلال مدة الدراسة، وأدناه في محطة (الريان) بمقدار بلغ (0.21-) متر/ ثانية خلال مدة الدراسة، وهذا التغير ذو دلالة إحصائية؛ إذ بلغ مستوى المعنوية (0.01)، الأمر الذي قد ينعكس سلبًا على درجة الراحة الحرارية للإنسان في منطقة الدراسة، نظرًا لدور الرياح في تلطيف درجة حرارة الجو.



المصدر: من إعداد الباحثَيْن بالاعتماد على الجدول (3)، من خلال تطبيق أداة IDW، باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.5.2.

الخارطة (3): مقدار التغيّر في المعدل السنوي لسرعة الرياح (متر/ ثانية) في مدينة المكلا للمدة من (1965- 2024م)

3-1: اتجاه التغير ومقداره في معدل الرطوبة النسبية:

تعد الرطوبة النسبية من العناصر المناخية المؤثرة في تحديد الراحة الحرارية للإنسان؛ إذ تعمل على ارتفاع معدلات الحرارة المحسوسة مقارنة بالحرارة الفعلية المسجلة في الترمومترات المختلفة، وذلك عندما ترتفع الرطوبة النسبية عن (60-70%) (أبو العينين، 1985، ص 51)، ونلاحظ من الجدول (4) تفاوت مقدار التغير في معدلات الرطوبة النسبية بين أشهر السنة؛ إذ إنَّ أكثر أشهر السنة سجلت اتجاهات سالبة نحو الانخفاض في مقدار التغيّر خلال مدة الدراسة (1965 – 2024م)، ويمكن إيضاح ذلك في الآتي:

الجدول (4): مقدار التغيّر في معدل الرطوبة النسبية (%) في مدينة المكلا للمدة من (1965- 2024م)

المحطة / الشهر	الريان		الديس		فوة	
	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية	مقدار التغيّر	مستوى المعنوية
يناير	1.3	0.16	0.5	0.41	0.6	0.35
فبراير	-1.6	0.08	-2.5	0.03	-2.2	0.02
مارس	-0.9	0.44	-0.8	0.46	-0.1	0.90
أبريل	-1.5	0.11	-0.1	0.83	-0.8	0.36
مايو	0.4	0.57	0.6	0.37	0.7	0.42
يونيو	-1.2	0.17	-1.0	0.36	-0.4	0.71
يوليو	-4.5	0.00	-4.1	0.00	-3.8	0.00
أغسطس	-2.7	0.00	-1.8	0.05	-2.0	0.01
سبتمبر	-3.3	0.00	-4.1	0.00	-3.4	0.00
أكتوبر	0.0	0.80	0.6	0.38	1.2	0.06
نوفمبر	3.6	0.00	3.3	0.00	3.2	0.00
ديسمبر	0.5	0.60	0.0	0.93	0.2	0.77
السنوي	-1.0	0.00	-1.1	0.01	-0.9	0.02

المصدر: من إعداد الباحثَيْن بالاعتماد على:

(1) موقع (Terra Climate) الممول من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) من الرابط:http://www.climatologylab.org/terraclimate.html تاريخ الدخول 2025/7/28م.

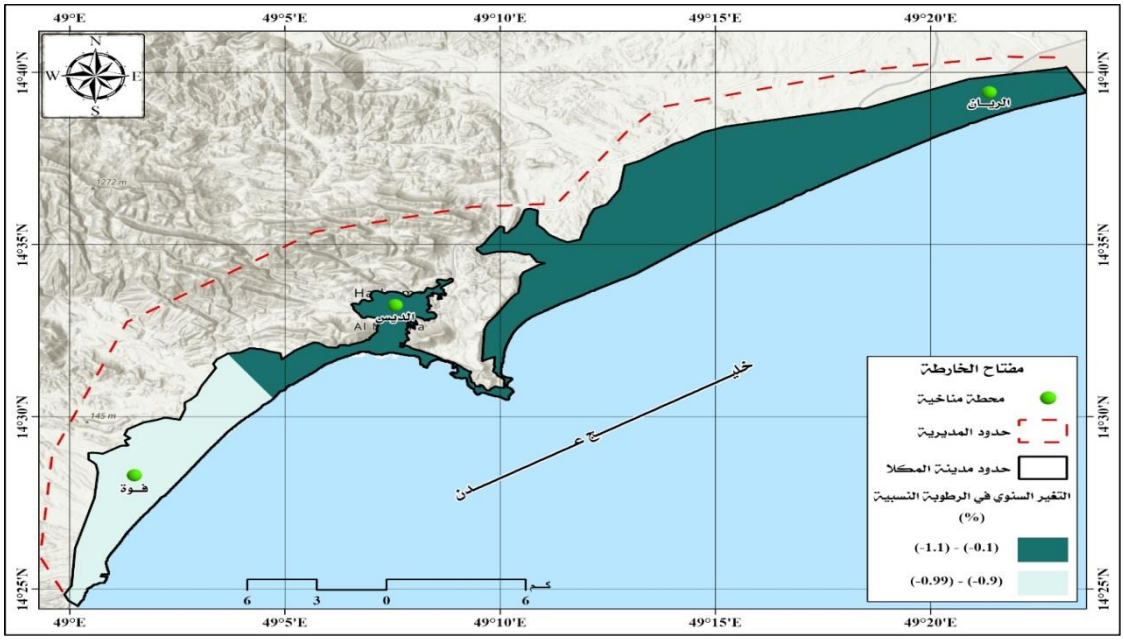
(2) نتائج اختبار مان- كيندال (Mann-Kendall Trend Test) باستخدام برنامج (XL. STAT v.2025).

- اتجه التغيّر في معدل الرطوبة النسبية نحو الانخفاض في سبعة شهور من السنة هي: (فبراير، ومارس، أبريل، ويونيو، ويوليو، وأغسطس، وسبتمبر) لكل محطات الدراسة (الريان، الديس، وفوَّه) وقد تراوحت قيم التغيّر بين (0.1- و4.5- %) خلال مدة الدراسة، وما يلاحظ على هذه التغيرات أنها ذات قيم متباينة بين محطة وأخرى؛ إذ بلغ مقدار التغير في محطة الريان (1.6-، 0.9-، 1.5-، 1.2-، 4.5-، 2.7-، 3.3-) % لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.08، 0.44، 0.11، 0.17، 0.00، 0.00، 0.00) لكل شهر على الترتيب، ويعني ذلك أنها ذات دلالة إحصائية في أشهر (يوليو، وأغسطس، وسبتمبر)، في حين أنها من غير دلالة إحصائية في أشهر (فبراير، ومارس، وأبريل، ويونيو)، أما مقدار التغير في محطة الديس فقد بلغ (2.5-، 0.8-، 0.1-، 1-، 4.1-، 1.8-، 4.1-) % لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.03، 0.46،

0.83، 0.36، 0.00، 0.05، 0.00) لكل شهر على الترتيب، وهذا يدل على أنَّ هذا التغير ذو دلالة إحصائية في أشهر (فبراير، ويوليو، وأغسطس، وسبتمبر)، بينما من غير دلالة إحصائية في أشهر (مارس، وأبريل، ويونيو)، أما محطة فوَّه فقد سجلت تغيُّرًا بلغ مقداره (2.2−، 0.1−، 0.8−، 0.4−، 3.8−، 2−، 3.4−) % لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.02، 0.9، 0.36، 0.71، 0.00، 0.01، 0.00) لكل شهر على الترتيب، وهذا يدل على أنَّ هذا التغير ذو دلالة إحصائية في أشهر (فبراير، ويوليو، وأغسطس، وسبتمبر)، في حين أنَّها من غير دلالة إحصائية في أشهر (مارس، وأبريل، ويونيو).

- أظهرت بقية أشهر السنة (يناير، مايو، أكتوبر، نوفمبر، ديسمبر) اتجاهًا موجبًا نحو الارتفاع في معدل الرطوبة النسبية خلال مدة الدراسة، وهذه التغيرات تتباين بين المحطات المناخية؛ إذ سجلت محطة الريان تغيرًا بلغ مقداره (1.3، 0.4، 0.0، 3.6، 0.5) % لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، بمستوى معنوية بلغ (0.16، 0.57، 0.8، 0.00، 0.6) لكل منها على الترتيب؛ مما يدل على أنها دالة إحصائيًا في شهر (نوفمبر)، في حين أنَّها من غير دلالة إحصائية في بقية الشهور، أما محطة الديس فقد بلغ مقدار التغير فيها (0.5، 0.6، 0.6، 3.3) % لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، بمستوى معنوية بلغ (0.41، 0.37، 0.38، 0.00، 0.93) لكل منها على الترتيب؛ وهذا يدل على أنها ذات دلالة إحصائية في شهر (نوفمبر)، في حين أنَّها من غير دلالة إحصائية في بقية الشهور، في حين سجلت محطة فوة تغيرات بلغ مقدارها (0.6، 0.7، 1.2، 3.2، 0.2) % لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، بمستوى معنوية بلغ (0.35، 0.42، 0.06، 0.00، 0.77) لكل منها على الترتيب؛ مما يدل على أنها دالة إحصائيًا في شهر (نوفمبر)، في حين أنَّها من غير دلالة إحصائية في بقية الشهور.

- يتبين من الخارطة (4) أنَّ اتجاه التغير في الرطوبة النسبية السنوية في جميع محطات الدراسة يميل نحو الانخفاض في جميع المحطات المناخية بمقادير متباينة؛ إذ يزداد هذا الانخفاض في المنطقة الوسطى (محطة الديس)، والمنطقة الشرقية (محطة الريان) بمقدار بلغ (1.1−، 1−) % لكل محطة على الترتيب خلال مدة الدراسة؛ ويعزى ذلك يعود إلى كثافة المنشآت العمرانية خاصة المنطقة الوسطى التي تعيق وصول المؤثرات البحرية إليها، في حين يقل في المنطقة الغربية (محطة فوة) ليصل إلى (0.9−%) خلال مدة الدراسة، وهذا التغير ذو دلالة إحصائية معنوية بلغت (0.01، 0.00، 0.02) لكل محطة على الترتيب.



المصدر: من إعداد الباحثَيْن بالاعتماد على الجدول (4)، من خلال تطبيق أداة IDW، باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.5.2.

الخارطة (4): مقدار التغيّر في المعدل السنوي للرطوبة النسبية (%) في مدينة المكلا للمدة من (1965– 2024م)

2: مؤشرات وقرائن قياس راحة الإنسان في مدينة المكلا:

اعتمدت هذه الدراسة على مؤشرين أو قرينتين؛ لحساب مدى شعور الإنسان بالراحة أو الانزعاج الحراري في مدينة المكلا هما: قرينة ثوم Thom's Index (THI)، ودليل تبريد الرياح Wind Chill Index (Ko)، ويمكننا تفصيلهما على النحو الآتي:

2–1: قرينة ثوم Thom's Index (THI):

صاغ ثوم هذه القرينة أو المؤشر في عام 1959م (مختار، 2017، ص 225)، وتعد من أكثر القرائن المناخية استخدامًا في البحوث العلمية العربية والأجنبية؛ لقياس شعور الإنسان بالراحة والإجهاد الحراري (مهران، 2023، ص 409)، وتسمى هذه القرينة بتسمياتٍ عدَّةٍ في الأدبيات المناخية والدراسات المتعلقة بالراحة الحرارية، منها: مؤشر الضيق الحراري، ومؤشر عدم الارتياح الحراري (Discomfort Index)، ويرمز له بالرمز (DI)، ومؤشر الحرارة والرطوبة (Temperature-Humidity Index) ويرمز له بالرمز (THI)، وقد اعتمد ثوم في حساب مؤشره هذا على عنصري درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والصيغة الرياضية لها على النحو الآتي (Asghari, et al, 2022, P3):

$$THI = T - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (T - 14.5)$$

إذ إنَّ:

THI = قرينة ثوم، مؤشر الحرارة والرطوبة.

T = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية).

RH = الرطوبة النسبية (%).

ووفقًا لهذه المعادلة فقد وضع ثوم حدودًا توضح مدى إحساس الإنسان بالراحة أو الإجهاد الحراري، يمكن توضيحها في الجدول الآتي:

الجدول (5): فئات ومستوى الراحة التي يشعر بها الإنسان وفقًا لمؤشر ثوم (THI)

قيم (THI) بالدرجة المئوية	مستوى الراحة التي يشعر بها الإنسان
أقل من 21	حالة من الراحة (لا يوجد انزعاج).
من 21 – أقل من 24	أقل من 50% من السكان يشعرون بعدم الراحة (راحة نسبية).
من 24 – أقل من 27	أكثر من 50% من السكان يشعرون بعدم الراحة (عدم الراحة).
من 27 – أقل من 29	أكثر السكان يشعرون بعد الراحة (عدم الراحة الشديدة).
من 29 – أقل من 32	كل السكان يشعرون بعدم الراحة (إجهاد شديد).
أكثر من 32	حالة الطوارئ الطبية.

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

Dasari, Hari Prasad, Desamsetti, Srinivas, Langodan, Sabique, Viswanadhapalli, Yesubabu, Hoteit, Ibrahim, (2021), Analysis of outdoor thermal discomfort over the Kingdom of Saudi Arabia. Geo Health, No 5, P 3.

الجدول (6): نتائج قرينة ثوم (THI) في محطات مدينة المكلا للمدة (1965 – 2024م)

المحطة / الشهر	الريان		الديس		فوة	
	قيمة (THI)	مستوى الراحة	قيمة (THI)	مستوى الراحة	قيمة (THI)	مستوى الراحة
يناير	21.8	راحة نسبية	21.3	راحة نسبية	22.1	راحة نسبية
فبراير	22.8	راحة نسبية	22.3	راحة نسبية	23	راحة نسبية
مارس	24.1	عدم الراحة	23.4	راحة نسبية	24.3	عدم الراحة
أبريل	26.1	عدم الراحة	25.3	عدم الراحة	26.2	عدم الراحة
مايو	27.8	عدم الراحة الشديدة	26.8	عدم الراحة	27.8	عدم الراحة الشديدة
يونيو	28.8	عدم الراحة الشديدة	27.7	عدم الراحة الشديدة	28.9	عدم الراحة الشديدة
يوليو	28.5	عدم الراحة الشديدة	27.6	عدم الراحة الشديدة	28.8	عدم الراحة الشديدة
أغسطس	28.4	عدم الراحة الشديدة	27.4	عدم الراحة الشديدة	28.5	عدم الراحة الشديدة
سبتمبر	27.9	عدم الراحة الشديدة	26.7	عدم الراحة	28	عدم الراحة الشديدة
أكتوبر	25.7	عدم الراحة	25.1	عدم الراحة	25.8	عدم الراحة
نوفمبر	23.9	راحة نسبية	23.5	راحة نسبية	24	عدم الراحة
ديسمبر	22.8	راحة نسبية	22.3	راحة نسبية	22.9	راحة نسبية
المعدل السنوي	**25.7**	**عدم الراحة**	**25**	**عدم الراحة**	**25.9**	**عدم الراحة**

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

(1) الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، محطة مطار الريان الدولي، محافظة حضرموت، بيانات مناخية غير منشورة. 2000–2012م.

(2) الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، صنعاء، إدارة المناخ، بيانات مناخية غير منشورة، 2011م.

(3) موقع (Terra Climate) الممول من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) من الرابط:http://www.climatologylab.org/terraclimate.html تاريخ الدخول 2025/7/28م.

ويعكس الجدول (6) تطبيق قرينة ثوم على محطات منطقة الدراسة (الريان، والديس، وفوَّه)؛ إذ يتضح أنَّ هناك تباينًا في قيم القرينة، ومستوى شعور الإنسان بالراحة أو الانزعاج في هذا المحطات على المستوى الشهري والسنوي، يمكن تفصيل ذلك على النحو الآتي:

- سجلت شهور (ديسمبر، ويناير، وفبراير) أقل الشهور في قيم قرينة ثوم في جميع المحطات المناخية خلال المدة (1965 – 2024م)، وقد تراوحت قيم هذه القرينة بين (22.3 – 23 درجة مئوية) خلال هذه الشهور، وهذا يعني أنَّ معظم السكان في منطقة الدراسة يشعرون براحة نسبية وفقًا لهذه القرينة، وقد سجلت محطة الديس أقل قيمة لهذه القرينة في شهر يناير بلغت (22.1 درجة مئوية)، في حين سجَّل أعلى قيمة لهذه القرينة في شهر فبراير في محطة فوة بلغت (23 درجة مئوية)، ويعود انخفاض قيمة هذا المؤشر في هذه الشهور إلى انخفاض درجات الحرارة في منطقة الدراسة لأن هذه الشهور تمثل شهور فصل الشتاء التي تتعامد فيها الشمس على مدار الجدي بعيدًا عن منطقة الدراسة.

- ارتفعت قيم قرينة ثوم قليلًا في شهور (مارس، أبريل، ومايو) في جميع المحطات المناخية خلال المدة (1965 – 2024م) لتتراوح قيمتها (بين 23.4 – 27.8 درجة مئوية)، وهذا يعني أن السكان يتفاوتون في مدى شعورهم بالراحة خلال هذه الشهور في محطات منطقة الدراسة بين الراحة النسبية، وعدم الراحة، وعدم الراحة الشديدة؛ ويعود هذا الارتفاع إلى ارتفاع درجة الحرارة في منطقة الدراسة، فضلًا عن ارتفاع قيم الرطوبة النسبية في هذه الشهور؛ لأنها شهور فصل الربيع، وقد بلغت أقل قيمة لهذه القرينة (23.4 درجة مئوية) في شهر مارس في محطة الديس، في حين بلغت أعلى قيمة (27.8 درجة مئوية) في شهر مايو في محطتي الريان وفوة، ويعزى ارتفاع قيم هذه القرينة في الريان وفوَّه إلى ارتفاع درجات الحرارة فيهما، أثر ذلك في قيم هذه القرينة على الرغم من قيم الرطوبة المنخفضة، في حين أنَّ انخفاض قيم هذه القرينة في الديس يعود إلى انخفاض درجات الحرارة خلال هذه الشهور مقارنة بمحطتي الريان وفوة على الرغم من قيم الرطوبة المرتفعة.

- تعد شهور (يونيو، ويوليو، وأغسطس) من أعلى الشهور تسجيلًا لقيم قرينة ثوم في جميع المحطات المناخية خلال مدة الدراسة (1965 – 2024م)؛ ويعود ذلك إلى أنَّ هذه الشهور تمثل شهور فصل الصيف التي ترتفع فيها درجة الحرارة، وقد تراوحت قيم هذه القرينة خلال هذه الشهور بين (27.4 و28.9 درجة مئوية)، وهذا يعني أنّ حالة الجو في هذه الشهور تجعل السكان يعانون من عدم الراحة الشديدة؛ إذ يزداد الإجهاد الحراري الشديد، مما يؤثر في ساعات العمل التي تقل في هذه الشهور خاصة خلال ساعات النهار، لذلك ينصح الأطباءُ السُكَّانَ خاصَّةً المشتغلين في الأعمال البدنية بعدم العمل في نهار الصيف لساعات طويلة؛ حتى لا يتعرضوا إلى الكثير من الأمراض التي تعد ضربة الشمس أحدها. وإذا تتبَّعْنا قيم هذه القرينة خلال هذه الشهور نجد أنها بلغت أدناها في شهر أغسطس في محطة الديس بقيمة وصلت إلى (27.4 درجة مئوية)، في حين تزداد لتصل أعلاها في شهر يونيو في محطة فوة بقيمة بلغت (28.9 درجة مئوية).

- أما في شهور (سبتمبر، وأكتوبر، ونوفمبر) فتأخذ قيم هذه القرينة بالانخفاض التدريجي في جميع المحطات المناخية؛ إذ تراوحت القيم بين (23.5 – 28 درجة مئوية)، وهذا يعني أنَّ السكان في منطقة الدراسة يتفاوتون في مدى شعورهم بالراحة خلال هذه الشهور في محطات منطقة الدراسة بين عدم الراحة الشديدة، وعدم الراحة، والراحة النسبية، ويعزى السبب في هذا

الانخفاض التدريجي في هذه القرينة إلى الانخفاض التدريجي لدرجة الحرارة على الرغم من ارتفاع معدلات الرطوبة النسبية، وتصل قيم هذه القرينة أدناها في شهر نوفمبر في محطة الديس بقيمة بلغت 23.5 درجة مئوية، في حين تزداد لتصل أعلاها في شهر سبتمبر في محطة فوة بقيمة بلغت 28 درجة مئوية.

- أما المعدل السنوي لقيم قرينة ثوم فقد بلغ (25.7، 25، 25.9 درجة مئوية) في محطات (الريان، والديس، وفوة) على الترتيب خلال المدة (1965 – 2024م)؛ يعني ذلك أنَّ جميع السكان يشعرون بعدم الراحة الحرارية في منطقة الدراسة، مما يجعلهم أقل نشاطًا وكفاءة لأداء الأعمال البدنية والذهنية؛ ولعل ذلك يرجع إلى ارتفاع معدلات الحرارة والرطوبة النسبية معظم شهور السنة.

2-2: دليل تبريد الرياح Wind Chill Index (Ko):

صاغ هذا المؤشر أو الدليل كلًا من العالمين سيبل وبازل (Spile & Passel) في عام 1945م (عجيل، 2021، ص 249)، ويقيس هذا الدليل كمية الطاقة التي يفقدها المتر المربع الواحد من الجسم المعرض للرياح تعرضًا مباشرًا (علي، 2023، ص 581)، ويعد هذا الدليل مقياسًا لكمية الحرارة التي يستطيع الجو امتصاصها خلال ساعة من سطح مكشوف مساحته متر مربع (المعموري، 2024، ص 1622). والصيغة الرياضية لهذا الدليل على النحو الآتي (الراوي والسامرائي، 1990، ص 227):

$$Ko = (\sqrt{100V} + 10.45 - V)(33 - Ta)$$

إذ إنَّ:

Ko = دليل تبريد الرياح (كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة).

V = سرعة الرياح (متر/ ثانية).

Ta = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية).

وتتحدد درجة الإحساس بالتبريد الناجم عن الرياح وفقًا للحدود التصنيفية التي وضعها هذان العالمان على النحو الآتي:

الجدول (7): فئات ومستوى الراحة التي يشعر بها الإنسان وفقًا لدليل تبريد الرياح (Ko)

قيم Ko (كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)	مستوى الإحساس بالراحة
أقل من صفر	شديد الحرارة (غير مريح).
صفر – 49.9	حار (غير مريح).
50 – 99.9	دافئ (غير مريح).
100 – 199.9	لطيف (مريح).
200 – 299.9	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).
300 – 399.9	مائل للبرودة (مريح بنسبة 10%).
400 – 499.9	بارد (غير مريح).
500 – 599.9	شديد البرودة (غير مريح).
600 فأكثر	قارص البرودة (غير مريح).

المصدر: من عمل الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

ساسي، حمد محمد، أثر درجة حرارة الهواء والرياح على راحة الإنسان في مدينة الأبيار شمال شرق ليبيا، (2023)، مجلة المعرفة للدراسات والأبحاث، العدد 5، ص 124.

الجدول (8): نتائج دليل تبريد الرياح (Ko) في محطات مدينة المكلا للمدة (1965 – 2024م)

المحطة	الريان		الديس		فوة	
الشهر	قيمة (Ko)	مستوى الراحة	قيمة (Ko)	مستوى الراحة	قيمة (Ko)	مستوى الراحة
يناير	254.7	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	275.7	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	240.2	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).
فبراير	217.2	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	234.7	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	212.4	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).
مارس	170.1	لطيف	201.1	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	161.1	لطيف
أبريل	105.8	لطيف	137.1	لطيف	99.9	دافئ
مايو	56.6	دافئ	99.5	دافئ	52.5	دافئ
يونيو	−2.7	شديد الحرارة	43.6	حار	−20.1	شديد الحرارة
يوليو	−9.2	شديد الحرارة	32.3	حار	−33.8	شديد الحرارة
أغسطس	7.5	شديد الحرارة	56.1	دافئ	−4	شديد الحرارة
سبتمبر	49.4	حار	107	لطيف	39.4	حار
أكتوبر	131	لطيف	147.4	لطيف	123.8	لطيف
نوفمبر	173.2	لطيف	190.4	لطيف	170.8	لطيف
ديسمبر	210.5	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	228.3	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).	204.3	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%).
المعدل السنوي	**114.7**	**لطيف**	**147.6**	**لطيف**	**104.9**	**لطيف**

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

(1) الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، محطة مطار الريان الدولي، محافظة حضرموت، بيانات مناخية غير منشورة. 2000–2012م.

(2) الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، صنعاء، إدارة المناخ، بيانات مناخية غير منشورة، 2011م.

(3) موقع (Terra Climate) الممول من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) من الرابط:
http://www.climatologylab.org/terraclimate.html تاريخ الدخول 2025/7/28م.

يتضح من الجدول (8) أنَّ قيم دليل تبريد الرياح تتباين فيما بينها على المستوى الشهري والسنوي؛ فيؤدي ذلك إلى تباين أثر الرياح في مدى شعور الإنسان بالراحة من عدمها، ويمكن تحليل هذا التباين على النحو الآتي:

– سجلت شهور (ديسمبر، ويناير، وفبراير) أعلى الشهور في قيم دليل تبريد الرياح في جميع المحطات المناخية.

– خلال المدة (1965 – 2024م)، وقد تراوحت كمية الطاقة المفقودة بين (204.3 – 275.7 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة) خلال هذه الشهور، وهذا يعني أنَّ للرياح تأثيرًا في شعور السكان بالراحة مما يجعل الجو في هذه الشهور مائل للبرودة، أي مريح بنسبة 50%، وقد سجلت محطة فوَّه أقل قيمة لهذا الدليل في شهر ديسمبر بلغت (204.3 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، في حين سجل أعلى قيمة لهذا الدليل في شهر يناير في محطة الديس بلغت (275.7 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، ويعود ارتفاع قيمة هذا الدليل في هذه الشهور إلى انخفاض درجات الحرارة في منطقة الدراسة، مع هبوب رياح نشطة نسبيًّا، مما يجعلها تزيد من معدل فقدان الجسم للحرارة إلى الهواء المحيط به؛ وهذا يسبب شعورًا بالبرودة في هذه الشهور.

- انخفضت كمية الطاقة التي يفقدها الجسم في شهور (مارس، وأبريل، ومايو) في جميع محطات منطقة الدراسة خلال المدة (1965 – 2024م)؛ إذ تراوحت بين (52.5 و201.1 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، وهذا يعني قلة أثر الرياح في مدى شعور السكان بالراحة عن الشهور السابقة في منطقة الدراسة، وعليه فإن الجو في محطات منطقة الدراسة تراوح بين المائل للبرودة، واللطيف، والدافئ في هذه الشهور، وقد سجلت محطة فوة أقل محطات منطقة الدراسة في مقدار الطاقة التي يفقدها الجسم بتأثير الرياح بلغت (52.5 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، في حين سجلت محطة الديس أعلى المحطات في مقدار الطاقة التي يفقدها الجسم بتأثير الرياح بلغت (201.1 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة). وعند النظر لقيم هذا الدليل نجدها تنخفض تدريجيًّا من مارس إلى مايو، ويعود ذلك إلى الارتفاع التدريجي لدرجات الحرارة خلال هذه الشهور، بحيث يقل معدل فقدان الجسم للحرارة.

- تعد شهور (يونيو، ويوليو، وأغسطس) أقل الشهور تسجيلًا لكمية الطاقة التي يفقدها الجسم في جميع محطات منطقة الدراسة خلال المدة 1965 – 2024م؛ إذ تراوحت هذه الكمية بين (33.8– و56.1 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، ويعني ذلك أنَّ أثر الرياح في مدى إحساس السكان بالراحة في منطقة الدراسة قليل جدًا مقارنة ببقية شهور السنة؛ إذ تراوح الجو بين الدافئ، والحار، والشديد الحرارة؛ ويعود انخفاض قيمة الطاقة التي يفقدها الجسم في هذه الشهور إلى ارتفاع درجات الحرارة، والتي تجاوزت 33 درجة مئوية في بعض الشهور – ملحق (1) – وهي متوسط درجة حرارة الجلد البشري، مما يقلل ذلك من معدل فقدان الجسم للحرارة إلى الهواء المحيط به؛ وهذا يسبب شعورًا بالحرارة الشديدة وعدم الراحة، ومن ثم يزداد معدل إفراز الجسم للعرق ويصبح الجو أكثر ضيقًا. وقد سجلت قيمة هذا الدليل أدناها في شهر يوليو في محطة فوة بلغت (33.8– كليو كالوري/ متر^2/ ساعة)، في حين سجل أعلاها في شهر أغسطس في محطة الديس بقيمة بلغت (56.1 كليو كالوري/ متر^2/ ساعة).

- أخذت كمية الطاقة التي يفقدها الجسم بالارتفاع في شهور (سبتمبر، وأكتوبر، ونوفمبر) في جميع المحطات المناخية في منطقة الدراسة خلال المدة (1965 – 2024م)؛ إذ تراوحت بين (39.4 – 190.4 كيلو كالوري/ متر^2/ يوم)؛ ويدل الارتفاع التدريجي لهذه القيم على زيادة كفاءة الرياح في تبريد الجسم، بحيث يسبب إحساسًا بالجو اللطيف (المنعش)، وهو ناتج عن انخفاض درجات الحرارة في هذه الشهور، وهبوب رياحٍ نشطة تعمل على زيادة معدل الطاقة التي يفقدها الجسم إلى البيئة المحيطة به. وقد تباينت كمية الطاقة بين هذه الشهور؛ إذ تنخفض لتصل أدناها في شهر سبتمبر في محطة فوَّه بقيمة بلغت (39.4 كليو كالوري/ متر^2/ ساعة)، في حين ترتفع لتصل أعلاها في شهر نوفمبر في محطة الديس بقيمة بلغت (190.4 كليو كالوري/ متر^2/ ساعة).

- وقد تباين المعدل السنوي لكمية الطاقة التي يفقدها الجسم بين محطات منطقة الدراسة؛ إذ سجل (114.7، 147.6، 104.9 كليو كالوري/ متر^2/ ساعة) لمحطات (الريان، والديس، وفوَّه) على الترتيب، مما يدل على أنَّ للرياح أثرًا في تبريد الجسم، بحيث يجعل الإنسان يحس بجو لطيف في المتوسط، وما يلاحظ على هذه القيم السنوية أنها لا تعكس الواقع المناخي لمنطقة الدراسة التي تتسم بغلبة الأجواء الحارة والرطبة معظم شهور السنة، مما تجعل الإنسان يشعر بعدم الراحة؛ ويعزى ذلك إلى إغفال هذا الدليل لتأثير الرطوبة النسبية التي تعد العامل الرئيس في زيادة الإحساس بعدم الراحة في البيئات الساحلية الرطبة، فضلًا عن أنَّ المعدل السنوي يخفي التباينات الكبيرة بين القيم الشهرية العالية والمنخفضة.

3: اتجاه التغيّر ومقداره في مؤشرات وقرائن راحة الإنسان في مدينة المكلا:

3-1: اتجاه التغير ومقداره في قرينة ثوم Thom's Index (THI):

يتضح من الجدول (9) أنَّ التغير في قرينة ثوم اتجه نحو الارتفاع في جميع أشهر السنة، وجميع محطات الدراسة؛ إذ تراوح مقداره بين (0.5) و (1.2) درجة مئوية، وغالب هذه التغيرات دالة إحصائيًّا، خلال مدة الدراسة (1965 – 2024م)؛ مما يهدد بزيادة أشهر الإرهاق والانزعاج الحراري، مستقبلًا، ويتفاوت مقدار التغيّر في قرينة ثوم الشهرية والسنوية على النحو الآتي:

- سجلت أشهر (يناير– فبراير– يوليو) أقل مقدار للتغيّر في قرينة ثوم في جميع محطات منطقة الدراسة؛ إذ تراوح بين (0.4) و (0.6) درجة مئوية خلال مدة الدراسة، وتتباين هذه التغيرات بين المحطات المناخية، إذ سجلت محطة الريان تغيرًا بلغ (0.6، 0.5، 0.4) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وهذا التغير دال إحصائيًّا؛ إذ بلغ مستوى الدلالة (0.01، 0.04، 0.03) لكل شهر على الترتيب، في حين بلغ مقدار التغير في محطة الديس (0.5) درجة مئوية لكل شهر، وبدلالة إحصائية بلغت (0.05، 0.03، 0.02) لكل شهر على الترتيب، أما محطة فوَّه فقد بلغ مقدار التغيّر فيها (0.6، 0.9، 0.4) درجة مئوية خلال مدة الدراسة لكل شهر على الترتيب، وبدلالة إحصائية بلغت (0.01، 0.02، 0.06) لكل شهر على الترتيب، وأكثر هذه التغيرات دالة إحصائيًّا، مما يعني قبول الفرضية البديلة (H_1) ورفض الفرضية الصفرية (H_0)، مما يوحي بزيادة الإجهاد الحراري.

جدول (9) مقدار التغيّر في قرينة ثوم (THI) في مدينة المكلا للمدة من (1965– 2024م)

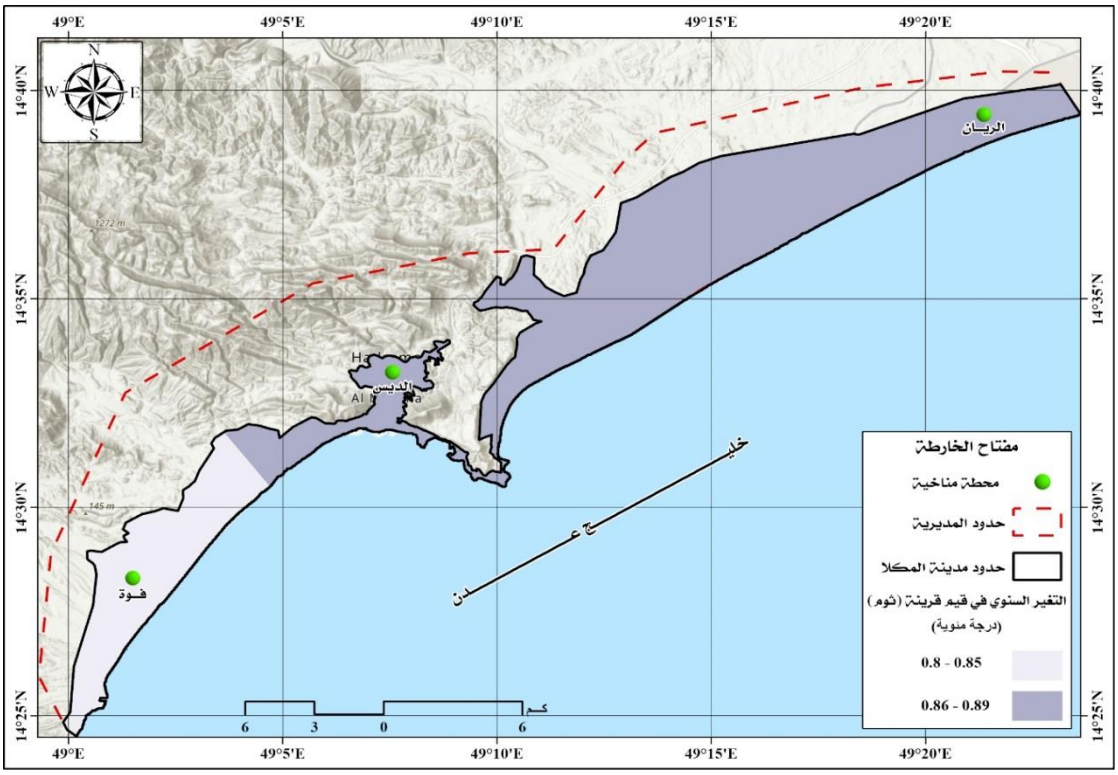
المحطة / الشهر	الريان		الديس		فوة	
	مقدار التغير	مستوى المعنوية	مقدار التغير	مستوى المعنوية	مقدار التغير	مستوى المعنوية
يناير	60.	0.01	0.5	0.05	0.5	0.01
فبراير	0.5	0.04	0.5	0.03	0.5	0.02
مارس	0.8	0.00	0.8	0.00	0.8	0.00
أبريل	1.1	0.00	1.2	0.00	1.1	0.00
مايو	1.1	0.00	1.2	0.00	1.1	0.00
يونيو	0.8	0.00	0.8	0.00	0.8	0.00
يوليو	0.4	0.03	0.5	0.02	0.4	0.06
أغسطس	0.7	0.00	0.8	0.00	0.7	0.00
سبتمبر	0.9	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00
أكتوبر	1.1	0.00	1.2	0.00	1.2	0.00
نوفمبر	1.1	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00
ديسمبر	0.8	0.00	0.8	0.00	0.9	0.00
السنوي	880.	0.00	890.	0.00	0.85	0.00

المصدر: من إعداد الباحثَيْن بالاعتماد على:

(1) نتائج اختبار مان– كيندال (Mann-Kendall Trend Test) باستخدام برنامج (XL. STAT v.2025).

- سجلت أشهر (إبريل– ومايو – نوفمبر – أكتوبر) أعلى مقدار للتغيّر في قرينة ثوم في جميع محطات منطقة الدراسة، وتتباين هذه التغيرات بين محطات الدراسة؛ إذ بلغ مقدار التغيّر في محطة الريان (1.1) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وبدلالة إحصائية معنوية مقدارها (0.00)، فيما سجلت محطة الديس مقادير تغير مرتفعة عن محطة الريان إذ بلغ (1.2، 1.2، 1.1، 1.0) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وبدلالة إحصائية معنوية بلغت (0.00)، أما محطة فوة فقد بلغ مقدار التغيّر فيها (1.1، 1.1، 1.2 ، 1.0) درجة مئوية لكل شهر على الترتيب، وبدلالة إحصائية معنوية (0.00) لكل منها. وهذه التغيرات جميعها دال إحصائيًّا، مما يعني قبول الفرضية البديلة (H_1) ورفض الفرضية الصفرية (H_0).

- نلاحظ من الخارطة (5) تباين مقدار التغيُّ السنوي لقرينة ثوم بين محطات منطقة الدراسة؛ إذ سجلت محطة الديس تغيّرًا مرتفعًا بلغ (0.89) درجة مئوية خلال مدة الدراسة، مقارنة بمحطتي الريان وفوَّه اللتان سجلتا تغيّرًا بلغ (0.88، 0.85)، وهذه التغيرات ذات دلالة إحصائية؛ إذ بلغ مستوى الدلالة أو المعنوية (0.00) في جميع المحطات المناخية، وهذا ينبئ بزيادة إحساس الناس بالحرارة الشديدة.



المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على الجدول (9)، من خلال تطبيق أداة IDW، باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.5.2.

الخارطة (5): مقدار التغيّر السنوي في قرينة ثوم (THI) في مدينة المكلا للمدة من (1965– 2024م)

3-2: اتجاه التغير ومقداره في دليل تبريد الرياح (Wind Chill Index (ko):

اتضح من نتائج اختبار مان- كيندال (Mann-Kendall Trend Test) في الجدول (10) انخفاض اتجاه التغيّر في مؤشر دليل تبريد الرياح، في جميع أشهر السنة ومحطات الدراسة؛ إذ تباين هذا الانخفاض بين (19.7-) إلى (49.5-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة خلال مدة الدراسة 1965 – 2024م، وهو مؤشر على زيادة الإحساس بالإرهاق الحراري في المستقبل، ويمكن استعراض بيانات هذا المؤشر على النحو الآتي:

جدول (10) مقدار التغيّر في دليل تبريد الرياح في منطقة الدراسة للمدة من (1965- 2024م)

المحطة / الشهر	الريان		الديس		فوة	
	مقدار التغير	مستوى المعنوية	مقدار التغير	مستوى المعنوية	مقدار التغير	مستوى المعنوية
يناير	-19.7	**0.02**	-20.2	**0.02**	-20.7	**0.01**
فبراير	-21.7	**0.01**	-23.8	**0.01**	-24.6	**0.01**
مارس	-37.4	**0.00**	-38.3	**0.00**	-38.2	**0.00**
أبريل	-43.4	**0.00**	-44.0	**0.00**	-43.5	**0.00**
مايو	-38.1	**0.00**	-37.9	**0.00**	-36.3	**0.00**
يونيو	-39.3	**0.00**	-38.8	**0.00**	-34.7	**0.00**
يوليو	-34.3	**0.00**	-36.9	**0.00**	-34.6	**0.00**
أغسطس	-33.6	**0.00**	-37.9	**0.00**	-34.5	**0.00**
سبتمبر	-46.0	**0.00**	-49.5	**0.00**	-48.4	**0.00**
أكتوبر	-32.7	**0.00**	-34.2	**0.00**	-33.3	**0.00**
نوفمبر	-26.7	**0.00**	-27.7	**0.00**	-27.3	**0.00**
ديسمبر	-24.6	**0.00**	-25.4	**0.00**	-27.2	**0.00**
السنوي	-34.6	**0.00**	-35.1	**0.00**	-34.2	**0.00**

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على:

(1) نتائج اختبار مان- كيندال (Mann-Kendall Trend Test) باستخدام برنامج (XL. STAT v.2025).

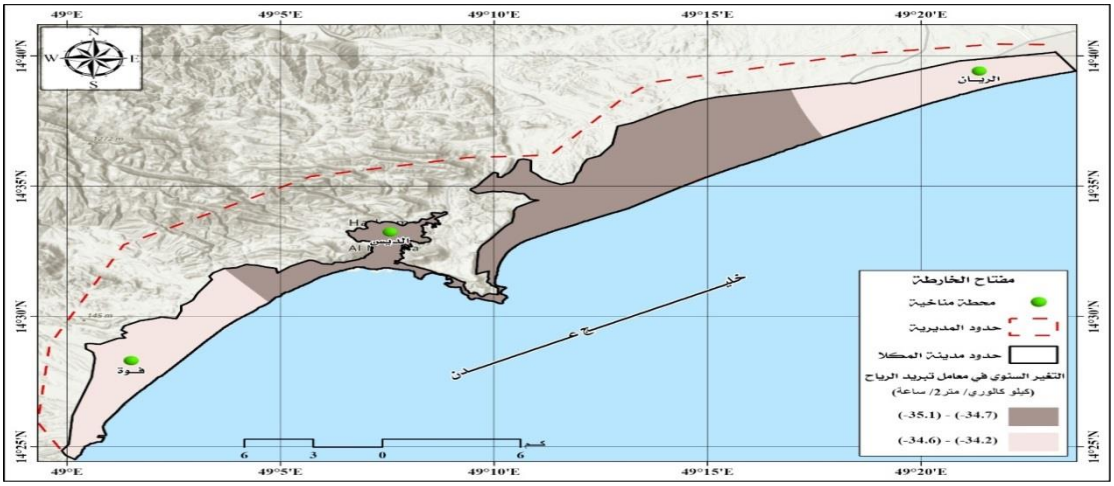
- تعد شهور (يناير، فبراير، نوفمبر، ديسمبر) أقل شهور السنة تغيّرًا في مؤشر تبريد الرياح؛ إذ تراوح مقداره بين (19.7- و27.7-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة خلال مدة الدراسة وفي جميع محطات الدراسة، وتتباين هذه التغيرات بين محطة وأخرى؛ إذ سجلت محطة الريان مقادير تغير وصلت إلى (19.7- ، 21.7- ، 26.7- ، 24.6-) لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، بدلالة إحصائية معنوية (0.02، 0.01، 0.00، 0.00) لكل شهر على الترتيب، أما مقدار التغير في محطة الديس فقد بلغ (20.2- ، 23.8- ،27.7- ، 25.4-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، بدلالة إحصائية معنوية وصلت إلى (0.02، 0.01، 0.00، 0.00) لكل شهر على

الترتيب، في حين سجلت محطة فوَّه مقدار تغير بلغ (20.7- ، 24.6- ، 27.3- ، 27.2-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة لكل شهر على الترتيب خلال مدة الدراسة، وقد بلغ مستوى المعنوية (0.01، 0.01، 0.00، 0.00) لكل شهر على الترتيب، وهي دالة إحصائيًّا. وبالتالي قبول الفرضية البديلة (H_1) ورفض الفرضية الصفرية (H_0).

- سجلت أشهر (إبريل وسبتمبر) أعلى مقادير التغيّر في مؤشر تبريد الرياح مقارنة بالأشهر الأخرى وخلال مدة الدراسة؛ إذ بلغ مقدار التغيّر في محطة الريان إلى (43.4- ، 46) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة لكل شهر على الترتيب وبمستوى معنوية وصل إلى (0.00) لكل شهر على الترتيب، أما محطة الديس فوصل فيها مقدار التغيّر إلى (44- ، 49.5) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة لكل شهر على الترتيب، وبمستوى معنوية وصل (0.00)، في حين سجلت محطة فوة مقدار تغيّر وصل إلى (43.5- ، 48.4-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة لكل شهر على الترتيب، أما مستوى المعنوية فوصل إلى (0.00) لكل شهر على الترتيب، وبالتالي قبول الفرضية البديلة (H_1) ورفض الفرضية الصفرية (H_0).

- سجلت أشهر السنة الأخرى (مارس ومايو ويونيو ويوليو وأغسطس وأكتوبر) مقادير تغيّر تراوحت بين (32.7-) إلى (39.3-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة في جميع محطات الدراسة وخلال مدة الدراسة، وكل تلك التغيرات دالة إحصائيًا؛ إذ وصلت مستوى المعنوية إلى (0.00) لكل الأشهر، وعليه نقبل الفرضية البديلة (H_1) ونرفض الفرضية الصفرية (H_0).

- نلاحظ من الخارطة (6) تباين مقادير التغيّر في قرينة تبريد الرياح، ففي محطة الديس بلغ (35.1-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة، وفي محطة الريان بلغ (34.6-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة، وفي محطة فوَّه بلغ (34.2-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة، وبمستوى معنوية (0.00) في جميع المحطات وخلال مدة الدراسة، مما يعني أن منطقة الدراسة وخصوصًا إقليم محطة الديس سترتفع فيه مؤشرات الإحساس بالإرهاق الحراري في المستقبل، بسبب تراجع تأثير تبريد الرياح.



المصدر: من إعداد الباحثَيْن بالاعتماد على الجدول (10)، من خلال تطبيق أداة IDW، باستخدام برنامج ArcGIS Pro 3.5.2.

الخارطة (6): مقدار التغيّر السنوي في دليل تبريد الرياح في مدينة المكلا للمدة من (1965- 2024م)

4: أثر التغّير المناخي في تحوّل فئات راحة الإنسان في مدينة المكلا:

كشفت التحليلات السابقة أنَّ التغير في قرينة ثوم اتجه نحو الارتفاع، في حين أنَّ التغير في مؤشر معامل تبريد الرياح اتجه نحو الانخفاض في جميع أشهر السنة خلال مدة الدراسة، وهذه التغيرات تدل على أنَّ للتغير المناخي – خاصة التغير في درجات الحرارة، وسرعة الرياح، والرطوبة النسبية – أثرًا في راحة الإنسان في مدينة المكلا، ولدراسة أكثر تفصيلًا فإنَّ هذا المبحث يهدف إلى إجراء مقارنة تحليلية بين عامي (1965م)، و(2024م)؛ لتحديد الأشهر التي شهدت تحولًا في مستويات الراحة وفقًا لمؤشري ثوم (Thom's Index)، وتبريد الرياح Wind Chill (Index).

4-1: أثر التغّير المناخي في تحوّل فئات راحة الإنسان بالنسبة لقرينة ثوم (THI):

يعكس الجدول (11) تحولًا ملحوظًا في مستويات راحة الإنسان لعدد من أشهر السنة؛ إذ انتقلت مستويات راحة الإنسان من (فئات الراحة النسبية، وعدم الراحة) إلى فئات (عدم الراحة الشديدة، والإجهاد الحراري الشديد)، وفيما يأتي تحليل تفصيلي لهذا التحول عبر المحطات المناخية خلال عامي (1965م و2024م):

- شهدت محطة الريان تغيرًا حرجًا في مستويات الراحة؛ إذ انتقل شهر (مارس) من فئة الراحة النسبية عام (1965م)، إلى فئة عدم الراحة عام (2024م)، في حين شهد شهري (مايو، وأكتوبر) زيادةً في حدة الإجهاد الحراري منتقلَين من فئة عدم الراحة عام (1965م) إلى فئة عدم الراحة الشديدة عام (2024م)، أمَّا الأشهر الحارة (يونيو، ويوليو، وأغسطس) فقد قفزت من فئة عدم الراحة الشديدة عام (1965م) إلى فئة الإجهاد شديد (2024م)؛ مما يعكس تسارعًا في وتيرة التغير المناخي خلال هذه الأشهر.

- أظهرت محطة الديس تدهورًا واضحًا في مستويات الراحة خلال الأشهر (يوليو، وأغسطس، وسبتمبر)؛ إذ انتقلت فيها مستويات الراحة من فئة عدم الراحة عام (1965م)، إلى فئة عدم الراحة الشديدة عام (2024م)، في حين انتقل مستوى الراحة في شهر (نوفمبر) من فئة الراحة النسبية عام (1965م) إلى فئة عدم الراحة عام (2024م)؛ فيشير إلى تمدد الظروف غير المريحة إلى خارج الأشهر الحارة.

- أما محطة فوة فقد سجلت تحولًا متسارعًا في مستويات راحة الإنسان؛ إذ انتقلت في شهر مارس من فئة الراحة النسبية عام (1965م) إلى فئة عدم الراحة عام (2024م)، في حين انتقلت في شهري (إبريل ومايو) من فئة عدم الراحة عام (1965م) إلى فئة عدم الراحة الشديدة عام (2024م)، أما أشهر الصيف (يونيو، ويوليو، واغسطس) فقد قفزت من فئة عدم الراحة الشديدة عام (1965م) إلى فئة الإجهاد الحراري عام (2024م)؛ مما يسلط الضوء على مخاطر صحية متزايدة، خاصة السكان المعرضين لأشعة الشمس.

- وعليه يمكن القول إنَّ هذا التحوُّل في مستويات راحة الإنسان في المحطات المناخية يعزى إلى الآثار الملموسة للتغير المناخي خاصة التغير في درجات الحرارة واتجاهها نحو الاحترار، مما أدى ذلك إلى تجاوز عتبات الراحة الحرارية، ودفع المؤشر إلى عتبات عدم الراحة الشديدة، والإجهاد الشديد خاصة في أشهر الصيف.

الجدول (11): المقارنة في مستويات راحة الإنسان بين عامي 1965م و2024م في مدينة المكلا وفق مؤشر ثوم (THI)

المحطة	الريان				الديس				فوَّه			
السنة	1965م		2024م		1965م		2024م		1965م		2024م	
القرينة / الشهر	قيمة(THI)	مستوى الراحة	قيمة(THI)	مستوى الراحة	قيمة(THI)	مستوى الراحة	قيمة(THI)	مستوى الراحة	قيمة(THI)	مستوى الراحة	قيمة(THI)	مستوى الراحة
يناير	21.5	راحة نسبية	23.1	راحة نسبية	21.1	راحة نسبية	22.4	راحة نسبية	21.9	راحة نسبية	23.4	راحة نسبية
فبراير	22.8	راحة نسبية	24.3	راحة نسبية	22.2	راحة نسبية	23.9	راحة نسبية	22.8	عدم الراحة	24.4	عدم الراحة
مارس	23.7	راحة نسبية	25.7	عدم الراحة	22.9	عدم الراحة	24.9	عدم الراحة	23.7	راحة نسبية	25.8	عدم الراحة
أبريل	25.3	عدم الراحة	27.5	عدم الراحة	24.5	عدم الراحة	26.5	عدم الراحة	25.4	عدم الراحة	27.5	عدم الراحة الشديدة
مايو	26.9	عدم الراحة	28.9	عدم الراحة الشديدة	25.8	عدم الرحة الشديدة	27.9	عدم الراحة الشديدة	26.9	عدم الراحة	28.9	عدم الراحة الشديدة
يونيو	27.9	عدم الرحة الشديدة	29.8	إجهاد شديد	27.0	عدم الرحة الشديدة	28.7	عدم الراحة الشديدة	28.2	عدم الراحة الشديدة	29.8	إجهاد شديد
يوليو	27.7	عدم الرحة الشديدة	29.5	إجهاد شديد	26.8	عدم الراحة	28.6	عدم الراحة الشديدة	28.0	عدم الراحة الشديدة	29.8	إجهاد شديد
أغسطس	28.0	عدم الرحة الشديدة	29.0	إجهاد شديد	26.8	عدم الراحة	27.8	عدم الراحة الشديد	28.0	عدم الراحة الشديدة	29.0	إجهاد شديد
سبتمبر	28.0	عدم الرحة الشديدة	28.4	عدم الراحة الشديدة	26.6	عدم الراحة	27.1	عدم الراحة الشديدة	27.9	عدم الرحة الشديدة	28.6	عدم الراحة الشديدة
أكتوبر	25.7	عدم الراحة	27.3	عدم الراحة الشديدة	25.0	عدم الراحة	26.6	عدم الراحة	25.7	عدم الراحة	27.4	عدم الراحة الشديدة
نوفمبر	24.2	عدم الراحة	25.1	عدم الراحة	23.8	راحة نسبية	24.6	عدم الراحة	24.4	عدم الراحة	25.1	عدم الراحة
ديسمبر	22.5	راحة نسبية	22.8	راحة نسبية	22.1	راحة نسبية	22.3	راحة نسبية	22.7	راحة نسبية	23.1	راحة نسبية

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على نتائج مؤشر ثوم للعامين 1965م و2024م.

4-2: أثر التغّير المناخي في تحوّل فئات راحة الإنسان بالنسبة لقرينة دليل تبريد الرياح (Ko):

من الجدول (12) كشف معامل تبريد الرياح (Ko) عن وجود تحول في مستويات راحة الإنسان خلال المدة من أبريل إلى سبتمبر، مع تباين مكاني في درجة هذا التحول بين المحطات المناخية، كما هو موضح أدناه:

- سجلت محطة الريان تحولًا في مستويات راحة الإنسان؛ إذ انتقلت مستويات الراحة في شهر (أبريل) من فئة الجو اللطيف (المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الدافئ (غير المريح) عام (2024م)، بينما انتقلت مستويات الراحة في شهري (مايو، وسبتمبر) من فئة الجو الدافئ (غير المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الحار (غير المريح) عام (2024م)، وقد

تزيد مستويات عدم الراحة في أشهر الصيف (يونيو، ويوليو، وأغسطس)؛ إذ انتقلت من فئة الجو الحار (غير المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الشديد الحرارة (غير المريح) عام (2024م)، وهذا النتائج تتفق مع نتائج مؤشر ثوم؛ مما يعزز التأثير للتغير المناخي في راحة الإنسان.

- أبرزت محطة الديس تأثيرًا للتغير المناخي في راحة الإنسان؛ إذ شهد شهري (فبراير، ومارس) زيادة في مدى الإحساس بالحرارة، فانتقلت مستويات الراحة فيهما من فئة الجو المائل للبرودة (المريح بنسبة 50%) عام (1965م) إلى فئة الجو اللطيف (المريح) عام (2024م)، فيما شهد شهرا (مايو، وسبتمبر) انتقالًا من فئة الجو اللطيف (المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الدافئ (غير المريح) عام (2024م)؛ يعني ذلك زيادة الإحساس بالضيق والإرهاق الحراري، أما شهر (يوليو) فقد شهد انتقالًا كبيرًا من فئة الجو الدافئ (غير المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الشديد الحرارة (غير المريح)، وظهر الانتقال في مستوى الراحة في شهري (يونيو، وأغسطس) من فئة الجو الدافئ (غير المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الحار (غير المريح) عام (2024م)، وتشير هذه التحولات في مستويات راحة الإنسان إلى اتساع الإجهاد الحراري وتعمقه بين عامي (1965م و 2024م).

- سجلت محطة فوَّه انتقالًا كبيرًا في مستويات الرحة في معظم أشهر السنة، وتأتي في المقدمة أشهر الصيف (يونيو، ويوليو، وأغسطس)؛ إذ شهدت انتقالًا في مستوى راحة الإنسان من فئة الجو الحار (غير المريح) عام (1965م) إلى فئة الجو الشديد الحرارة (غير المريح) عام (2024م)، في حين ظهرت أشهر الشتاء (ديسمبر، ويناير، وفبراير) تغيرات طفيفة في مستويات الراحة، إذ شهدت انتقالًا من فئة الجو المائل للبرودة (مريح بنسبة 50%) عام (1965م) إلى فئة الجو اللطيف (المريح) في عام (2024م).

- مما سبق يمكن القول إنَّ مدينة المكلا شهدت تحولًا في مستويات راحة الإنسان وفق هذا المؤشر في أكثر أشهر السنة، خاصة أشهر الصيف التي تزايد فيها الإجهاد الحراري إلى مستويات خطرة، وهذا يعد قضية بالغة الخطورة في ظل ضعف الخدمات الأساسية التي تعاني منها المدينة – خاصة الكهرباء– مما يزيد من مخاطر التعرض لمضاعفات صحية حرجة، لا سيما الفئات الأكثر غرضة للمخاطر (صغار السن، وكبار السن، والمرضى، وذوي الدخل المحدود).

الجدول (12): المقارنة في مستويات راحة الإنسان بين عامي 1965م و2024م في مدينة المكلا وفق معامل تبريد الرياح (Ko)

المحطة	الريان				الديس				فوَّه			
السنة	1965م		2024م		1965م		2024م		1965م		2024م	
القرينة / الشهر	K_o	مستوى الراحة	K_o	مستوى الراحة	K_o	مستوى الراحة	K_o	مستوى الراحة	K_o	مستوى الراحة	K_o	مستوى الراحة
يناير	258	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	197	لطيف (مريح)	278	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	223	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	243	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	183	لطيف (مريح)
فبراير	214	مائل للبرودة (مريح بنسبة (50%)	168	لطيف (مريح)	233	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	190	لطيف (مريح)	210	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	165	لطيف (مريح)
مارس	185	لطيف (مريح)	127	لطيف (مريح)	215	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	159	لطيف (مريح)	179	لطيف (مريح)	119	لطيف (مريح)
أبريل	135	لطيف (مريح)	73	دافئ (غير مريح)	167	لطيف (مريح)	108	لطيف (مريح)	130	لطيف (مريح)	67	دافئ (غير مريح)
مايو	83	دافئ (غير مريح)	25	حار (غير مريح)	126	لطيف (مريح)	69	دافئ (غير مريح)	80	دافئ (غير مريح)	19	حار (غير مريح)
يونيو	23	حار (غير مريح)	−49	شديد الحرارة (غير مريح)	68	دافئ (غير مريح)	0	حار (غير مريح)	3	حار (غير مريح)	−69	شديد الحرارة (غير مريح)
يوليو	25	حار (غير مريح)	−51	شديد الحرارة (غير مريح)	66	دافئ (غير مريح)	−6	شديد الحرارة (غير مريح)	0	حار (غير مريح)	−78	شديد الحرارة (غير مريح)
أغسطس	27	حار (غير مريح)	−8	شديد الحرارة (غير مريح)	76	دافئ (غير مريح)	44	حار (غير مريح)	16	حار (غير مريح)	−19	شديد الحرارة (غير مريح)
سبتمبر	55	دافئ (غير مريح)	33	حار (غير مريح)	114	لطيف (مريح)	86	دافئ (غير مريح)	46	حار (غير مريح)	11	حار (غير مريح)
أكتوبر	131	لطيف (مريح)	95	دافئ (غير مريح)	147	لطيف (مريح)	116	لطيف (مريح)	126	لطيف (مريح)	89	دافئ (غير مريح)
نوفمبر	162	لطيف (مريح)	146	لطيف (مريح)	179	لطيف (مريح)	163	لطيف (مريح)	158	لطيف (مريح)	141	لطيف (مريح)
ديسمبر	210	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	201	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	230	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	217	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	205	مائل للبرودة (مريح بنسبة 50%)	191	لطيف (مريح)

المصدر: من إعداد الباحثَيْنِ بالاعتماد على نتائج معامل تبريد الرياح للعامين 1965م و2024م.

الاستنتاجات:

1- بينت الدراسة أنَّ جميع المحطات المناخية سجلت ارتفاعًا دالًّا إحصائيًّا في معدل درجة الحرارة على المستوى الشهري والسنوي خلال مدة الدراسة، مما يؤكد تأثر منطقة الدراسة بظاهرة الاحتباس الحراري؛ بسبب ارتفاع نسبة الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي.

2- أوضحت الدراسة أنَّ هناك تباينًا في اتجاه التغير في معدل سرعة الرياح ومقداره بين الانخفاض والارتفاع على المستوى الشهري، أما على المستوى السنوي فسجلت جميع المحطات المناخية انخفاضًا دالًّا إحصائيًّا بلغ أعلاه في محطتي (الديس، وفوَّه)، وأدناه في محطة (الريان)، مما يؤثر سلبًا في الراحة الحرارية للإنسان في منطقة الدراسة.

3- أظهرت الدراسة أنَّ أكثر أشهر السنة سجلت تغيرات سالبة في معدل الرطوبة النسبية خلال مدة الدراسة، أما على المستوى السنوي فسجلت جميع المحطات المناخية انخفاضًا ذا دلالة إحصائية، يزداد في محطتي (الديس، والريان)، ويقل في محطة (فوَّه)؛ ويعزى هذا الانخفاض إلى كثافة المنشآت العمرانية التي تعيق وصول المؤثرات البحرية إلى المدينة.

4- أظهرت نتائج قرينة ثوم أنَّ أشهر الشتاء (ديسمبر، ويناير، وفبراير) سجلت أدنى القيم؛ إذ

تراوحت بين (22.3 – 23 درجة مئوية) خلال مدة الدراسة، بما يشير إلى شعور غالبية السكان براحة نسبية، في حين سجلت أشهر الصيف (يونيو، ويوليو، وأغسطس) أعلى القيم تراوحت بين (27.4 – 28.9 درجة مئوية) خلال مدة الدراسة، مما يشير إلى شعور السكان بعدم الراحة الشديدة.

5- بينت نتائج معامل تبريد الرياح أنَّ أشهر الشتاء (ديسمبر، ويناير، وفبراير) كانت الأعلى تسجيلًا لكمية الطاقة المفقودة؛ إذ تراوحت بين (204.3 – 275.7 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، وهو ما يجعل السكان يشعرون بأجواء مائلة للبرودة، أي مريحة بنسبة 50%، في حين كانت أشهر الصيف (يونيو، ويوليو، وأغسطس) الأقل تسجيلًا لكمية الطاقة المفقودة؛ إذ تراوحت بين (33.8- و56.1 كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة)، الأمر الذي يقلل من أثر الرياح في تخفيف الشعور بالحرارة، ويجعل الأجواء حارة إلى شديدة الحرارة.

6- أوضحت الدراسة أنَّ التغير في قرينة ثوم اتجه نحو الارتفاع في جميع أشهر السنة، وجميع محطات المناخية، إذ تراوح مقداره بين (0.5) و (1.2) درجة مئوية، وأكثر هذه التغيرات دالة إحصائيًا؛ مما ينبئ بزيادة أشهر الإرهاق والانزعاج الحراري.

7- بينت الدراسة انخفاض قيم التغيّر في دليل تبريد الرياح في جميع الأشهر والمحطات المناخية، تراوح بين (19.7-) إلى (49.5-) كيلو كالوري/ متر^2/ ساعة خلال مدة الدراسة 1965 – 2024م، وهذا يعكس زيادة الإحساس بالإرهاق الحراري.

8- أظهرت المقارنة بين عامي 1965م و2024م وفقًا لقرينة ثوم، أنَّ مستويات الراحة الحرارية للإنسان في مدينة المكلا شهدت تدهورًا واضحًا؛ إذ انتقلت من مستويات الراحة النسبية، وعدم الراحة، إلى مستويات أشد قسوة، مثل: عدم الراحة الشديدة، والإجهاد الحراري، لا سيما في أشهر الصيف (يونيو، ويوليو، وأغسطس)، وهو ما يعكس تجاوز درجات الحرارة للحدود الحرارية المريحة، وتأكيد الأثر المباشر للتغير المناخي في تعميق العبء الحراري على السكان.

9- كشفت المقارنة بين عامي 1965م و2024م وفقًا لمعامل تبريد الرياح، عن تراجع قدرة الرياح على التبريد في العام 2024م، عن العام 1965م، إذ شهدت الأشهر الممتدة من أبريل إلى سبتمبر انتقالًا من المستويات المريحة والدافئة، إلى المستويات الحارة والشديدة الحرارة، ويعكس هذا التغير أثر التغير المناخي في إضعاف دور الرياح في تخفيف الحرارة، مما يؤدي إلى زيادة الإجهاد الحراري، وزيادة المخاطر الصحية على الفئات الأكثر هشاشة ككبار السن والمرضى وذوي الدخل المحدود في ظل ضعف الخدمات الأساسية التي تعاني منها المدينة خاصة الكهرباء.

التوصيات:

1- إنشاء عدد من محطات الرصد المناخية الأرضية في منطقة الدراسة، والعمل على بناء قاعدة بيانات مناخية متكاملة تُحدَّث بشكل دوري؛ لرصد العناصر المناخية، ومتابعة تغيرها عبر الزمن؛ مما يسهم في تعزيز البحوث العلمية المناخية الدقيقة.

2- إجراء المزيد من هذه الدراسات المناخية التطبيقية في مدن محافظة حضرموت ومناطقها خاصة، والجمهورية اليمنية عامة؛ لتوفير قاعدة معرفية تدعم خطط التكيف مع آثار التغير المناخي في راحة السكان وأنشطتهم وصحتهم.

3- التوسع في إنشاء المساحات الخضراء والأحزمة النباتية داخل مدينة المكلا؛ لما لها من دور فعّال في تلطيف درجة الحرارة، وتحسين جودة الهواء، مما ينعكس إيجابًا على رفع مستويات الراحة الحرارية للسكان،

ويخفف من آثار التغير المناخي في راحتهم وصحتهم.

4- تطوير منظومة الكهرباء عبر شراكات بين الجهات الحكومية، والقطاع الخاص، مع التوسع في استخدام الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية؛ لضمان استمرار الخدمة، خصوصًا في فصل الصيف الذي يزداد في الإجهاد الحراري على السكان.

5- الاستفادة من تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تحليل تأثير التغيرات المناخية في راحة الإنسان ودعم التخطيط العمراني والتنمية المستدامة.

6- التقيد بالمخططات العمرانية التي تراعي التهوية الطبيعية، وعدم البناء العشوائي، وتضييق الشوارع، اللذان يسهمان في زيادة درجات الحرارة، مما يؤثر سلبًا في راحة الإنسان.

7- إعادة تخطيط الأحياء القديمة ذات البناء العشوائي في مدينة المكلا؛ لتوفير بيئة عمرانية أكثر ملاءمة لراحة الإنسان.

المصادر والمراجع:

1- أبو العينين، حسن سيد احمد، (1985)، أصول الجغرافيا المناخية، الطبعة الثالثة، دار النهضة العربية، بيروت.

2- الجبوري، أحمد ماجد، (2020)، تغير المناخ وأثره في تصحر إقليم الجزيرة في العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، أطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية التربة ابن رشد للعلوم الإنسانية، جامعة بغداد، العراق.

3- الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، محطة مطار الريان الدولي، محافظة حضرموت، بيانات مناخية غير منشورة. 2000-2012م.

4- الجمهورية اليمنية، الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية، صنعاء، إدارة المناخ، بيانات مناخية غير منشورة، 2011م.

5- الرواي، عادل سعيد، والسامرائي، قصي عبد المجيد، (1990)، المناخ التطبيقي، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد، العراق.

6- الزرفي، حوراء راضي جاسم، (2021)، أثر التغيرات المناخية في ظاهرة التصحر في محافظة النجف الأشرف باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، أطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية التربية للبنات، الكوفة، العراق.

7- زهران، زائل هريدي، (2023)، تغير المناخ وسيناريوهاته المستقبلية في راحة الإنسان جنوب مصر 1960 – 2022، مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد، العدد 18.

8- ساسي، حمد محمد، (2023)، أثر درجة حرارة الهواء والرياح على راحة الإنسان في مدينة الأبيار شمال شرق ليبيا، مجلة المعرفة للدراسات والأبحاث، العدد 5.

9- عجيل، علي عبد الحسن، والكناني، مالك ناصر عبود، (2021)، تأثير التغير المناخي في راحة الإنسان في محافظة نينوى والبصرة باستعمال دليل تبريد الرياح (Ko)، مجلة كلية التربية، جامعة واسط، العدد 45.

10- علي، عبد الله حيدر سالم، (2023)، تقييم الراحة المناخية اليومية للسياح في مدينة المكلا خلال موسم البلدة، مجلة جامعة حضرموت للعلوم الإنسانية، عدد خاص بالمؤتمر العلمي الخامس.

11- الفرطوسي، لبنى حسين، كاظم عبد الوهاب الأسدي، (2022)، تحليل اتجاهات تغير السطوع الشمسي في محطتي البصرة وكربلاء للمدة (2009 – 2010/2019 -2020) باستخدام معادلة مان كيندال (Mann -Kendall)، مجلة الخليج العربي، المجلد 50، العدد 3.

12- الفريداوي، مرتضى عبد الرضا وادي، (2024)، أثر تغير المناخ على مظاهر التصحر في الفرات الأوسط، أطروحة دكتوراه (غير مشورة)، كلية التربية ابن رشد للعلوم الإنسانية، جامعة بغداد، العراق.

13- مختار، محمد أبو الحسن القاسم، (2017)، تطبيق قرينة ثوم الحرارية على راحة الإنسان في مدينة الإحساء بالمملكة العربية السعودية، المجلة العلمية لجامعة الإمام المهدي، العدد 10.

14- المعموري، غفران قاسم إسماعيل، (2024)، المناخ وتأثيره في راحة الإنسان في العراق، مجلة العلوم الإنسانية، المجلد 15، العدد 2.

15- مهران، وائل هريدي زهران، (2023)، تغير المناخ وسيناريوهاته المستقبلية وأثرها في راحة الإنسان جنوبي مصر (1960-2022)، مجلة كلية الآداب بالوادي الجديد، المجلد 9، العدد 18.

16- موقع (Terra Climate) الممول من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) من الرابط:
.http://www.climatologylab.org/terraclimate.html

17- Asghari, Mehdi, Ghalhari, Gholamabbas, Pirposhteh, Elham, Dehghan, Somayeh,(2022) Spatio-Temporal Evolution of the Thermo-Hygrometric Index (THI) during Cold Seasons: A Trend Analysis Study in Iran, Sustainability Journal, No 14.

18- Dasari, Hari Prasad, Desamsetti, Srinivas, Langodan, Sabique, Viswanadhapalli, Yesubabu, Hoteit, Ibrahim, (2021), Analysis of outdoor thermal discomfort over the Kingdom of Saudi Arabia. Geo Health, No5.

19- Neha Karmeshu, (2012),Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test – A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States, Master Degree, University of Pennsylvania.

20- Pietro Monforte, Maria Alessandra Ragusa, (2022), Temperature Trend Analysis and Investigation on a Case of Variability Climate, Mathematics, No 10.

Analysis of the Impact of Climate Change on Human Comfort in Mukalla City Using Geographic Information Systems (GIS)

Salem Obaid Ahmed Banawas **Hassan Abdullah Omar Bafaqir**

Abstract

Climate change represents one of the most pressing contemporary environmental challenges due to its direct and indirect impacts on human life and physiological comfort. This study aimed to analyze the impact of climate change on human comfort in Mukalla city during the period 1965–2024. Comfort levels were calculated using the Thom's Index (THI) and the Wind Chill Factor (Ko). Geographic Information Systems (GIS) techniques were employed to conduct spatial modeling of changes in climatic elements and in the values of these two indices**.**

The study revealed that Mukalla has experienced significant changes in climatic variables during the study period, including a general warming trend in temperature, a decline in wind speed, and a decrease in relative humidity. These changes negatively affected human comfort, as reflected in rising THI values and declining wind chill values across all months of the year and at all meteorological stations. Such changes indicate an increased sense of heat stress caused by climate variability. A comparison between 1965 and 2024 highlighted a marked deterioration in human comfort levels in Mukalla: shifting from relative comfort to conditions of heat stress according to THI, particularly during the summer months, while the cooling capacity of wind, as measured by Ko, decreased significantly from April to September. These findings underscore the direct impact of climate change on the growing thermal burden faced by the city's inhabitants**.**

Keywords: Climate change, human comfort, Thom's Index (THI), Wind Chill Index (Ko), Geographic Information Systems (GIS)