

فعالية أداء عمود نفث رذاذ الماء المستخدم في تلطيف مناخ عرفات بدلالة مؤشر WBGT

محمد بن سعيد العيسان الغامدي

قسم العمارة وعلوم البناء، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود
malissan@ksu.edu.sa

(قدم للنشر في ١٦/٦/١٤٣٣هـ؛ وقبل للنشر في ٢٩/٨/١٤٣٣هـ)

الكلمات المفتاحية: نظام نفث رذاذ الماء، تلطيف أجواء عرفات، تبريد الفراغات الخارجية، الوسائل الطبيعية للتبريد، المشاعر المقدسة، الإنهاك الحراري للحجاج، ضربات الشمس، مؤشرات الإنهاك الحراري، مؤشر WBGT.

ملخص البحث. يتناول هذا البحث تقييم أداء عمود نفث رذاذ الماء المستخدم في تلطيف مشعر عرفات من خلال إجراء تجربة عملية على نموذج مائل للعمود وتحت ظروف مناخية حارة جافة مشابهة لمناخ مشعر عرفات. وتم تقييم الأداء على ضوء مؤشر WBGT وهو أحد المؤشرات الحرارية العالمية وذائع الاستخدام في تقييم أجواء الفراغات الخارجية؛ كميادين التدريب الرياضية، والعسكرية، والصناعية. وتم أخذ مقاسات ميدانية على مدار ٢١ يوماً بحيث يأخذ عمود نفث رذاذ الماء مستويات نفث متدرجة تبدأ من ارتفاع ٨م، ثم ٦م، ثم ٤م، ثم ٢م، ثم تم تشغيل مستويات نفث الماء جميعها مرة واحدة؛ لتقدير الحد الأقصى لفعالية العمود وللمقارنة من جهة أخرى مع العمود نفسه بدون تشغيل.

وأعطت النتائج صورة واضحة لفعالية أداء عمود نفث المياه تحت ظروف تشغيلية مختلفة، وأوصت الدراسة بإستراتيجية تلطيف للأجواء الخارجية بعرفات يمكن تعميمها فيما بعد لكل الفراغات الخارجية للمشاعر المقدسة والساحات المحيطة بالمسجد الحرام، كما يمكن تعميم النتائج لتشمل الفراغات الخارجية ذات التجمعات البشرية الكثيفة في المناطق الحارة الجافة. ويقترح البحث عدم الاعتماد على وسيلة واحدة لتلطيف الفراغات الخارجية بعرفات أو غيرها من المشاعر المقدسة. وللحصول على أداء أفضل ونتائج أكثر تأثيراً؛ يقترح البحث تكامل عدد من وسائل تلطيف الفراغات الخارجية جنباً إلى جنب مع عمود نفث رذاذ المياه مع إدخال تحسينات على تصميمه لتعمل منظومة تلطيف المناخ بوصفها وحدة متكاملة.

(١) مقدمة

يتنقل موسم الحج عبر فصول السنة خلال دورة زمنية تقدر بثلاثة وثلاثين عاماً ميلادياً. وعند وقوعه في فصول السنة الحارة يتعرض الحجاج لدرجات حرارة عالية ولأشعة الشمس المباشرة وهو ما يعرضهم إلى خطر الإجهاد الحراري وإلى ضربات الشمس، وهو الأمر الذي يفرضي إلى عدد من الإصابات والوفيات بين الحجاج خصوصاً كبار السن ومن لديه أمراض مزمنة في القلب، وتشير الإحصائيات الرسمية لوزارة الصحة السعودية إلى وفاة أكثر من ستة آلاف حاج خلال موسم الحج الصيفي للفترة ما بين ١٩٨٠-١٩٩٠م بسبب الإجهاد الحراري وضربات الشمس (العيسان، ١٩٩٣م).

ويستعرض البحث أبرز المبادرات والحلول التي شهدتها صعيد عرفات لمعالجة مشكلة الإجهاد الحراري التي تواجه الحجاج وتعرضهم لضربات الشمس المباشرة؛ لأن أبرز الحلول والمبادرات قد تمت بالفعل على صعيد عرفات، وأن الوقوف بعرفات هو أحد أهم أركان الحج حيث يقضي الحجاج يوماً كاملاً تحت لهيب الشمس ووطأة حرارة الجو.

ويركز البحث على قياس فعالية أداء أحد أبرز تلك الحلول البيئية ألا وهي أعمدة نفث رذاذ الماء المنتشرة في أرجاء عرفات؛ عن طريق إقامة نموذج تجريبي، وأخذ قياسات ميدانية، واستخدام أحد أشهر مؤشرات الإنهاك الحراري والمتداولة عالمياً والمعروف بمؤشر WBGT.

(٢) أهمية البحث

تشهد مواسم الحج القادمة عودة جديدة للترامن مع أشهر الصيف الحارة، ولابد من الاستعداد المبكر لمواجهة مشاكل الإجهاد الحراري ومحاولة تخفيف معاناة الحجاج خصوصاً أن من المتوقع أن تشهد مواسم الحج القادمة أعداداً متزايدة من الحجاج، وعليه فإن أي تقييم للحلول القائمة وقياس فعاليتها سيؤدي حتماً إلى تطويرها وتحسين أدائها لتواكب ما يستجد من تقنيات معاصرة.

(٣) مشكلة البحث

تباينت الآراء حول فعالية أعمدة نفث رذاذ الماء في تلطيف أجواء عرفات، وهل يمكن تطوير أدائها بصورة أفضل؛ خصوصاً أن المواسم المقبلة من الحج ستقع خلال أشهر الصيف الحارة وستشهد زيادة متوقعة في أعداد الحجاج؟ ويتناول البحث بالتجربة قياس فعالية الأداء لنموذج فعلي لعمود نفث رذاذ الماء باستخدام مؤشر WBGT، وهو أحد المؤشرات العالمية لقياس الإنهاك الحراري.

(٤) دراسات سابقة في مجال مؤشرات قياس الإنهاك الحراري

يتأثر الإنسان حرارياً بفعل الظروف الجوية المحيطة به؛ من درجة حرارة، وإشعاع، ورطوبة، وسرعة رياح. ويحاول جسم الإنسان التوازن مع

- الظروف الحرارية المحيطة به لكنه حتماً سيشعر بالضيق الحراري مع كل ارتفاع لدرجة الحرارة، وسيشعر بضيق من نوع آخر بسبب ارتفاع رطوبة جلده بوصف ذلك محاولة للتخلص من الحمل الحراري الواقع عليه (Givoni, 1981).
- ويفقد الإنسان اتزانه الحراري عندما يتعرض للحرارة الشديدة لفترة طويلة ويصاب بضربة الشمس heat stroke وهي المرحلة التي تصل فيها درجة حرارة الأنسجة الداخلية لجسم الإنسان إلى مستويات تؤدي إلى الانهيار الكامل وقد يفقد فيها الحياة (بن عوف، ١٤١٨هـ).
- إن شعور الإنسان بالرضى التام أو التضايق من الحرارة هو بسبب عوامل عدة منها درجة الحرارة والإشعاع والرطوبة وسرعة الرياح ونوع الجهد المبذول ومقاومة الملابس التي يرتديها الجسم، وليس بسبب عامل وحيد، ولذلك اجتهد العلماء في محاولة الخروج بمؤشر حراري يدمج كل هذه العوامل أو بعضها ويدرس العلاقة فيما بينها. وخرج العلماء بعدد كبير من المؤشرات الحرارية على هيئة معادلات وعلى هيئة رسومات بيانية تعتمد على قياسات ميدانية أو نظرية، وكانت المجموعة الأولى من المؤشرات الحرارية قد ظهرت في فترة أواخر الثلاثينيات والخمسينيات الميلادية من القرن الماضي ومن أبرزها ما يلي:
- ١- مؤشر درجة الحرارة الفعالة Effective Temperature Index (Bedford, 1936).
- ٢- مؤشر درجة الحرارة المتكافئة Equivalent Temperature Index (Dufton, 1936).
- ٣- مؤشر درجة الحرارة التشغيلية Operative Temperature Index (Gagge, 1936).
- ٤- مؤشر درجة الحرارة التحصيلية Resultant Temperature Index (Missenard, 1959).
- واستمر العلماء في تطوير المؤشرات الحرارية ففي بداية السبعينيات الميلادية طور العالم فانقر Fanger مؤشرين حراريين، يعرف الأول بمؤشر "توقع متوسط التصويت" Predicted Mean Vote (PMV) ويعرف الثاني بمؤشر "توقع نسبة غير الراضين" Predicted Percentage of Dissatisfied (PDD). وقد صُمم المؤشران أعلاه للعديد من الظروف الجوية والعديد من أنواع الملابس والأنشطة البشرية (بن عوف، ١٤١٨هـ).
- ويمكن تصنيف المؤشرات الحرارية إلى مجموعتين رئيسيتين: المجموعة الأولى تعبر عن الإجهاد الحراري عن طريق معدل فقدان الجسم للعرق، ويقع في هذه المجموعة على سبيل المثال المؤشرات الحرارية التالية:
- معدل التعرق المتوقع في أربع ساعات (P4SR) The Predicted 4-hour Sweat Rate.
 - مؤشر الإجهاد الحراري The Heat Stress Index (HIS).
 - مؤشر الإجهاد الحراري The Index of Thermal Effective Temperature Index (Bedford, 1936).

المؤتمر الأمريكي لعلماء الصحة الصناعية الحكوميين^(١) جدولاً يبين القيم القصوى لمؤشر WBGT المسموح بها (الجدول رقم ١)، وتبنته حكومات عديدة واعتمده الكلية الأمريكية للطب الرياضي مؤشراً لتحديد كثافة التمارين الرياضية، كما أنه اعتمد من قبل الجيش الأمريكي في ثكناته العسكرية عند تدريب الأفراد.

الجدول رقم (١). مستويات التحذير وفقاً لمؤشر WBGT.

اللون التحذيري	WBGT °C	الفئة
أبيض	26,6 >=	١
أخضر	29,3 - 26,7	٢
أصفر	31,0 - 29,4	٣
أحمر	32,1 - 31,1	٤
أسود	32,2 <=	٥

المصدر: المؤتمر الأمريكي لعلماء الصحة الصناعية الحكوميين.

ومؤشر WBGT هو درجة حرارة مركبة لتأثير كل من درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والإشعاع الشمسي على جسم الإنسان ويأخذ في الحسبان القياسات الثلاثة التالية:

- ١ - درجة حرارة البصيلة المبتلة الطبيعية (t_{nw}).
- ٢ - درجة حرارة بصيلة الإشعاع الكلي (الكرة السوداء) (t_g).
- ٣ - درجة حرارة البصيلة الجافة (t_a).

(١) المؤتمر الأمريكي لعلماء الصحة الصناعية الحكوميين (ACGIH) هو جمعية مهنية من علماء الصحة الصناعية وممارسي المهن المرتبطة بها ومقره الرئيس في مدينة سينسناتي بولاية أوهايو.

أما المجموعة الثانية من المؤشرات الحرارية فتعبر عن الإجهاد الحراري برقم وحيد على مؤشر درجة الحرارة يعبر عن التبادل الحراري بالإشعاع والحمل والتبخير. ويقع في هذه المجموعة على سبيل المثال المؤشرات الحرارية التالية:

- مؤشر درجة الحرارة الفعالة المصححة Corrected Effective Temperature Index (EF*)
- مؤشر درجة حرارة البصيلة المبتلة وبصيلة الإشعاع الكلي Wet Bulb Globe Temperature (WBGT).

وقد اختار الباحث مؤشر WBGT لقياس تأثير عمود بث رذاذ الماء المستخدم لتلطيف أجواء عرفات؛ لأنه أكثر المؤشرات الحرارية انتشاراً في العالم وأسهلها في الاستخدام وأكثرها دقة ومصداقية. ويستخدم اليوم في المجالات الرياضية والعسكرية والصناعية لتحديد المستويات المناسبة للتعرض لدرجات الحرارة العالية.

(٥) مؤشر درجة حرارة البصيلة المبتلة وبصيلة الإشعاع الكلي WBGT

يُعد مؤشر WBGT أكثر المؤشرات الحرارية استعمالاً وقبولاً لقياس الإجهاد الحراري. وتم تطوير المؤشر في عام ١٩٥٦م من قبل القوات البحرية الأمريكية بهدف تقليل الإجهاد الحراري على المتدربين، وطُور بعد ذلك عدداً من المرات. وأصدر

نهاية كل عمود الذي يقوم بدوره بتحطيم رذاذ الماء حتى ٥-٢٥ مايكروناً.



الشكل رقم (١). رسم توضيحي لعمود نفث رذاذ الماء. المصدر: (السليمانى وبار، ١٤١٨هـ).

ولا توجد دراسات علمية منشورة يمكن الاعتماد عليها في تقييم مبادرة تلطيف جو عرفات عن طريق أعمدة رذاذ المياه، لكن عدداً من مسؤولي الصحة في موسم الحج يجمعون عبر التقارير الرسمية على أن أعمدة رذاذ المياه قد ساهمت وبشكل كبير في تلطيف حرارة الجو في عرفات وهو ما أدى إلى تقليص عدد حالات ضربات الشمس والإجهاد الحراري بين الحجاج، كما ينسب إلى مسؤولي تشغيل نظام الرذاذ

وتوضح المعادلة التالية العلاقة بين العناصر الثلاثة السابقة في حالة وجود الإشعاع الشمسي المباشر عند إجراء قياسات في فراغات خارجية:

$$WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.2 t_{gt} + 0.1 t_a$$

(٦) المبادرات والحلول البيئية لتلطيف أجواء عرفات

ولقد شهدت المشاعر المقدسة عدداً من المبادرات والحلول لمعالجة مشكلة الإجهاد الحراري وضربات الشمس التي يتعرض لها الحجاج أثناء تأدية المناسك. لكن أهم تلك المبادرات وأبرزها ما شهده صعيد عرفات حيث يمضي الحاج يوماً كاملاً لتأدية أحد أهم أركان الحج ألا وهو الوقوف بعرفات.

وأول تلك المبادرات: تنصيب أعمدة من مواسير الحديد المجلفن بارتفاع ثمانية أمتار وبأقطار تتراوح من أربع بوصات عند القاعدة، وتتضاءل لتصل إلى بوصتين عند النهاية العليا للعمود الذي يحمل خمسة رؤوس بخاخة لنفث رذاذ المياه في الهواء (الشكل رقم ١). وقد تم نشر أكثر من أربعة آلاف عمود (يحمل أكثر من ٢٠٠٠٠ رأس بخاخ) في الطرقات وحول جبل الرحمة والساحات المحيطة بمسجد نمره بعرفات. ويستهلك هذا النظام الرذاذي كميات من المياه في كل موسم تقدر بعشرة آلاف متر مكعب، ويتم ضخها عبر شبكة عامة من مواسير البولي إيثيلين بواسطة مضخات ضخمة بقوة ١٥٠ حصاناً للمضخة الواحدة تعمل على ضخ المياه حتى ٢٠ باراً لتصل إلى الرؤوس البخاخة في

ومكوناتها البيولوجية النشطة التي تساعد في السيطرة على الآفات والمحافظة على البيئة. وثالث تلك المبادرات لمعالجة ضربات الشمس والإجهاد الحراري بين الحجاج: تزويد شوارع عرفات وطرق المشاة فيها بنحو عشرة آلاف مشرب (الشكل رقم ٢-ب) تقدم مياهاً مبردة بدرجة حرارة تتراوح بين ١٢-٧ درجة مئوية، حيث يتم تعقيم المياه وتبريدها مركزياً وضخها عبر شبكة من المواسير المعزولة يبلغ طولها نحو ١٢٥٠٠٠ متر.



الشكل رقم (٢-أ). نظام التشجير بعرفات.



الشكل رقم (٢-ب). نظام مياه الشرب في عرفات.

القول إن أعمدة رذاذ المياه قد ساهمت في خفض درجة حرارة الجو ما بين ٥-٩ درجات مئوية ورفع نسبة رطوبة الجو ما بين ٥-٧٪، هذا بجانب إخماد الغبار والأتربة المتطايرة في الجو بسبب كثرة حركة السيارات وأماكن تزاخم الحجاج.

ومن بين الوسائل الطبيعية الأخرى لتبريد الفراغات الخارجية لصعيد عرفات: مشروع تشجير عرفات الذي حول هذا المكان من أرض صحراوية إلى غابة طبيعية لشجر النيم يحتمي تحت ظلالها الحجاج من وهج الشمس ولهب الحرارة (الشكل رقم ٢-أ). ووصل عدد الأشجار بعرفات نحو ثلاثمائة ألف شجرة تغطي نحو ٦٠٪ من مساحة عرفات الكلية التي تصل إلى ١١ ميلاً مربعاً. ومن مميزات شجرة النيم Neem ما يلي:

- ١- شجرة معمرة وسريعة النمو كثيفة الظل دائمة الاخضرار تنمو بكثافة ويصل ارتفاعها إلى ١٦ متراً وأحياناً يبلغ ٢٥ متراً، ويصل قطر مجموعها الخضري إلى ١٠ أمتار.

- ٢- تتميز بمناعتها الطبيعية وصمودها ضد هجمات الحشرات الضارة، ويرجع ذلك إلى أن أوراقها تطلق روائح عطرية تنفر الحشرات الضارة بما في ذلك الجراد والبعوض ولكنها لا تؤذي الإنسان ولا النحل ولا سواه من الحشرات النافعة.

- ٣- صديقة للبيئة نظراً لشكلها الأخضر الدائم، وظلها الوفير، وقوتها في صد الرياح والأتربة، إلى جانب قدرتها على تنقية الهواء الجوي،

(٧) أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى قياس فعالية أداء عمود نفث رذاذ الماء المستخدم في تلطيف أجواء عرفات، وقياس فعالية نفث رذاذ الماء عند ارتفاعات متباينة تتدرج تنازلياً من ثمانية أمتار ثم ستة أمتار ثم أربعة أمتار ثم مترين.

حتى يصل إلى أحد مستويات المبخرات. ويتم التحكم في مرور الماء المنضغط بمحابس تغلق وتفتح يدوياً. وتم تركيب أجهزة الرصد والقياس على بعد مترين من عمود نفث رذاذ الماء وباتجاه محور الجنوب.

(٨) منهج البحث

تم إجراء تجربة تطبيقية على مساحة خارجية منبسطة ومفتوحة وخالية من أي عوائق طبيعية أو مبانٍ تقع على أرض جامعة الملك سعود بالرياض، وتم تحديد موقعين للرصد والقياس لا تقل المسافة بينهما عن ١٥٠ متراً وذلك لاستبعاد تأثير الرياح في نقل رذاذ الماء بين الموقعين وفقاً للتالي:

٣- ثبتت أجهزة القياس والرصد في كلا الموقعين على ارتفاع ١,٥ من سطح الأرض.

٤- جمع قراءات على مدار الساعة تشمل: درجة حرارة البويصلة الجافة dry bulb temperature، ودرجة حرارة البويصلة الرطبة wet bulb temperature، ودرجة حرارة بويصلة الإشعاع globe bulb temperature. كما تم قياس الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح واتجاهها.

١- خصص الموقع الأول لوصف الحالة الأساسية base case بدون أي تأثير لرذاذ الماء.

٥- يتم جمع البيانات باستخدام نظام CR10 وحاسب آلي لجمع البيانات، ثم يتم عمل تحليل إحصائي باستخدام برنامج (مايكروسوفت إكسل)، وعرض النتائج على شكل رسومات بيانية وجداول.

٢- خصص الموقع الثاني لوصف الحالة الاختبارية experimental case؛ حيث تم تنصيب عمود بارتفاع ثمانية أمتار مع التحكم في نفث رذاذ الماء على أربعة مستويات تبدأ من ثمانية أمتار وتتدرج تنازلياً كل مترين. وفي كل مستوى يتفرع إلى الخارج أربعة محاور متعامدة تنفث رذاذ الماء باتجاه الشمال والجنوب والشرق والغرب. ويتم ضغط الماء عن طريق مضخة مائية (نصف حصان) تسحب الماء من خزان مائي سعة ٣٠٠٠ لتر وتدفعه في ماسورة حديد مجلفن بقطر ٢ بوصة

ويبين الشكل رقم (٣) منظرًا لموقع الحالة الأساسية، وموقع الحالة الاختبارية للتجربة على أرض جامعة الملك سعود بالرياض.

(٩) الأجهزة المستخدمة في التجربة

استُخدمت أجهزة خاصة في إجراء الدراسة، ويمكن تصنيفها إلى ثلاثة أجزاء رئيسية.

اختبارات الدقة والجودة والمعايرة باستخدام معيار حراري زئبقي Sper Scientific ، عندما وضعت جميعها في ماء ساخن وماء متجمد وماء دافئ وتم عمل معادلة علاقة خطية بين قراءة المجس الواحد وقراءة المعيار الزئبقي بهدف الحصول على معامل تصحيح المجسات الحرارية.

- مجس بيرانوميتر Perineometer model LI-COR, type LI2003S لقياس كمية الإشعاع الشمسي.
- مجس قياس سرعة الرياح واتجاهها A Met One anemometer, type 014A-U.
- مجس درجة حرارة الهواء الجافة والرطوبة النسبية نوع VAISALA, type HMP35C.

ثانياً: نظام تجميع القراءات وتخزينها

تم استخدام وحدتين من نظام CR10 المصنوع بواسطة شركة كامبل العلمية Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA. ويقوم الجهاز بتسجيل متوسطات للقراءات من المجسات جميعها كل ١٠ دقائق ثم كل ٣٠ دقيقة ثم كل ٢٤ ساعة. وتم تخصيص وحدة لجمع القراءات في كل من موقع الحالة الأساسية وموقع الحالة الاختبارية.

ثالثاً: وحدة حاسب آلي

تم استخدام جهاز محمول من حاسب آلي، يعمل على برنامج PC208، لتشغيل نظام CR10 ومعالجة



(أ) منظر لموقع الحالة الاختبارية حيث عمود نفث رذاذ الماء على أربعة مستويات بجانب خزان المياه.



(ب) منظر لموقع الحالة الأساسية بدون نفث رذاذ الماء. الشكل رقم (٣). منظر لموقع الحالة الأساسية والحالة الاختبارية لتجربة قياس فعالية أداء عمود نفث رذاذ الماء على أرض جامعة الملك سعود، الرياض.

أولاً: المجسات

- ستة مجسات حرارية Thermocouples, type T لقياس درجة بصيلة الكرة السوداء (درجة الإشعاع الكلي (Glob Temperature))، ودرجة حرارة بصيلة الهواء الجافة Dry Bulb Temperature، ودرجة حرارة البصيلة الرطبة Wet Bulb Temperature. وخضعت كل المجسات المستخدمة في التجربة إلى

الحرارة ما بين الساعة الرابعة والساعة السادسة فجراً. ويتراوح المدى الحراري بين القيم القصوى والقيم الصغرى ما بين ١٢ - ١٤ م.

• الرطوبة النسبية: معدل الرطوبة منخفض خلال فترة التجربة ويتراوح ما بين ١٨-٣٥٪ خلال ساعات الليل الباردة وما بين ٥-١٠٪ خلال ساعات النهار الحارة.

• الرياح السطحية: من خلال القياسات المناخية للموقع يتبين أن معظم الرياح السائدة هي شرقية بمعدل ٢ متر/ثانية وتصل الرياح ذروة نشاطها خلال ساعات النهار ما بين الساعة الحادية عشرة وحتى الساعة الثانية بعد الظهر.

• الأمطار والعواصف الرعدية والعواصف الترابية: لم تهطل أثناء فترة التجارب أي كميات للأمطار ولم يهب أي عواصف ترابية.

ويوضح الشكل رقم (٥) منحني لدرجات مؤشر WBGT؛ أحدهما لموقع التحكم والآخر لموقع الاختبار لعدد ست حالات تشغيلية لعمود نفث رذاذ الماء كالتالي:

- الحالة الأولى بدون رذاذ ماء.
- الحالة الثانية رذاذ ماء على ارتفاع ٢م.
- الحالة الثالثة رذاذ ماء على ارتفاع ٤م.
- الحالة الرابعة رذاذ ماء على ارتفاع ٦م.
- الحالة الخامسة رذاذ ماء على ارتفاع ٨م.
- الحالة السادسة رذاذ ماء على كل الارتفاعات السابقة.

القراءات وتخزينها يومياً ومشاهدة رسومات بيانية وقت تسجيل القراءات لجميع أجهزة القياس لأحوال الطقس والمجسات الحرارية. كما استخدم محلل بيانات Excel لعمل رسومات بيانية وتحليل المعلومات المسجلة.

(١٠) تحليل المعلومات

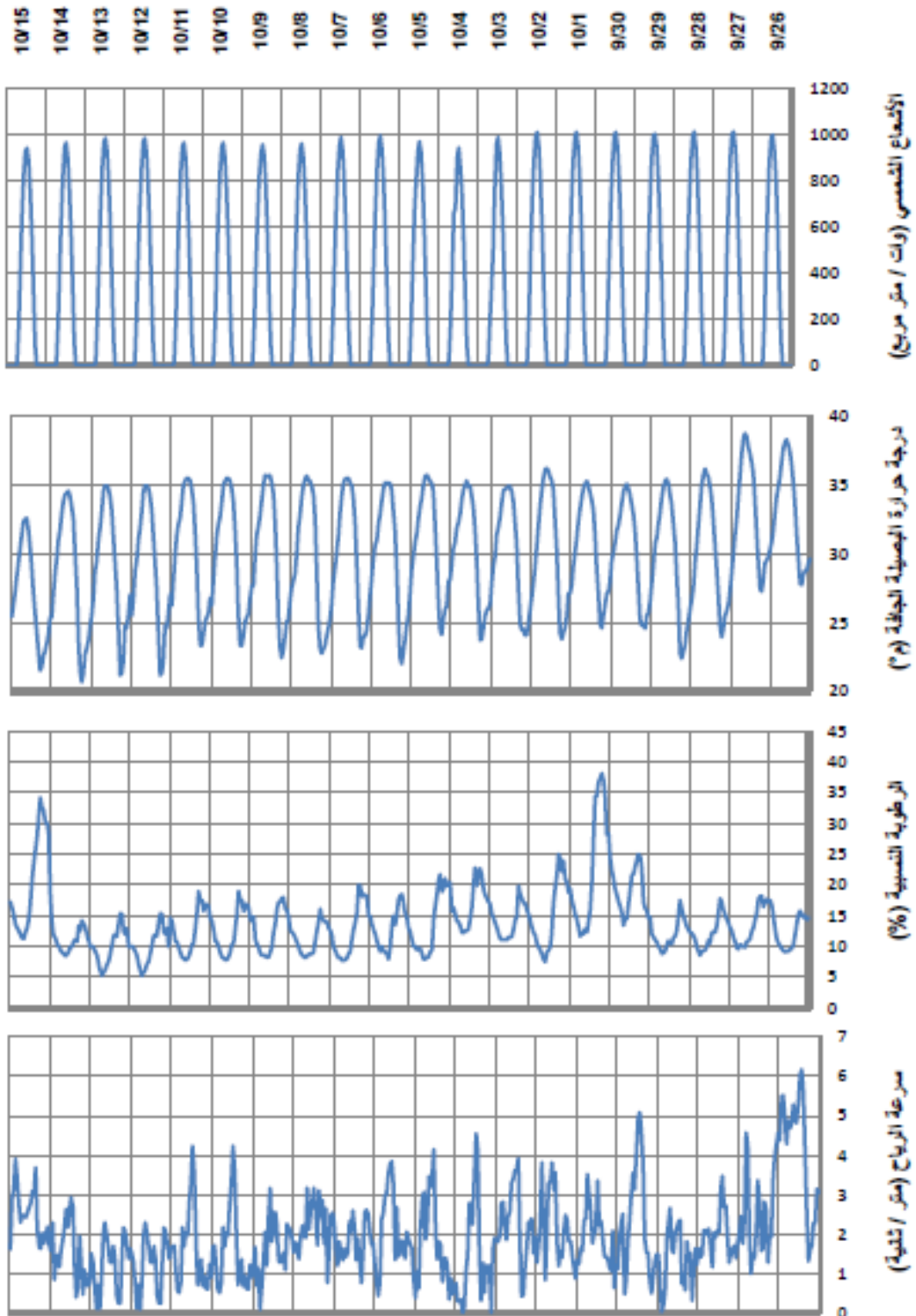
يوضح الشكل رقم (٤) الحالة المناخية العامة لموقع التجربة التي استغرقت ٢١ يوماً بدءاً من ٢٦ سبتمبر وحتى ١٥ أكتوبر، والمعلومات الموضحة على الشكل تصف المناخ العام للموقع بدون أي تأثير لرذاذ الماء.

ويتضح من الشكل رقم (٤) أن المناخ العام للموقع هو مناخ صحراوي جاف شبيه بالمناخ السائد لموقع عرفات بمكة المكرمة، وفيما يلي وصف لعناصر المناخ بموقع التجربة على ضوء نتائج القياسات الميدانية:

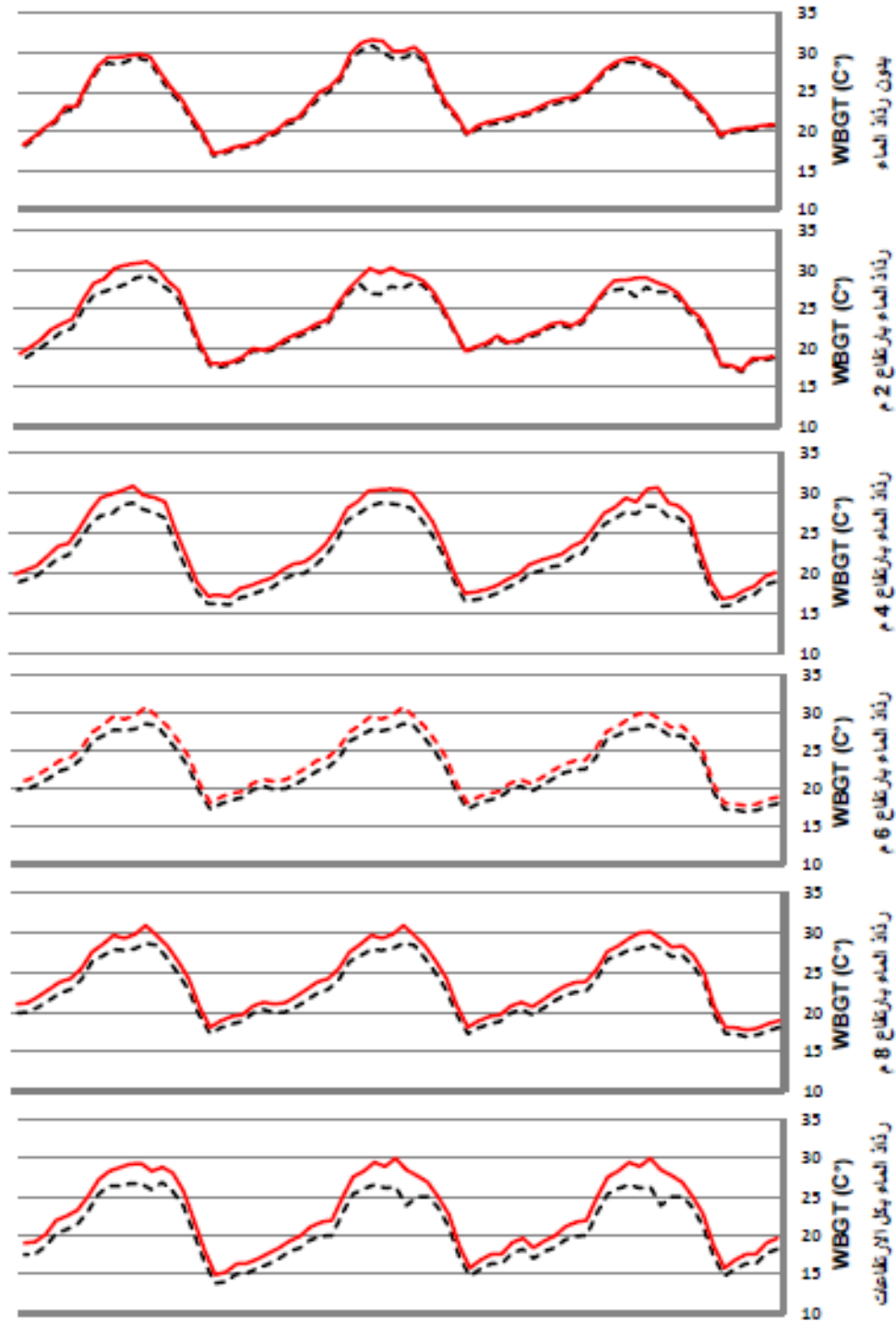
• الإشعاع الشمسي: تراوحت القيم القصوى للإشعاع الشمسي الساقط من ٩٥٠-١٠١٠ واط/م^٢ وسجلت تلك القيم عند الساعة ١٢ ظهراً منتصف النهار.

• درجات الحرارة: تُعد درجات حرارة البصيلة الجافة خلال فترة التجارب حارة نسبياً حيث تتراوح درجة الحرارة العظمى ما بين ٣٥ - ٣٩ م، وسجلت القيم القصوى لدرجات الحرارة ما بين الساعة الثانية ظهراً والساعة الرابعة عصراً. أما درجات الحرارة الصغرى فتتراوح قيمها بين ٢٢ - ٢٧ م وسجلت القيم الصغرى لدرجات

محمد العيسان الغامدي: فعالية أداء عمود نفث رذاذ الماء المستخدم في تلطيف مناخ غرفات ...



الشكل رقم (٤). الحالة المناخية العامة لموقع التجربة التي استغرقت ٢١ يوماً من ٢٦ سبتمبر وحتى ١٥ أكتوبر.



الشكل رقم (٥). نتائج منحنى مؤشر WBGT لست حالات تشغيلية لعمود نفث رذاذ الماء: بدون رذاذ ماء، رذاذ ماء على ارتفاع ٢م، رذاذ ماء على ارتفاع ٤م، رذاذ ماء على ارتفاع ٦م، رذاذ ماء على ارتفاع ٨م، وأخيراً رذاذ ماء على كل الارتفاعات

السابقة. وبدل المنحنى الأحمر المتصل على قياسات موقع التحكم، وبدل المنحنى الأسود المنقط على قياسات موقع الاختبار.

منحت التجربة الميدانية فرصة التعرف إلى فعالية أداء عمود نفث رذاذ الماء المستخدم حالياً في تلطيف أجواء عرفات، وذلك بدلالة مؤشر WBGT المستخدم عالمياً بوصفه مؤشراً حرارياً لقياس الحدود الدنيا والعليا التي يمكن لجسم الإنسان تحملها قبل انهياره حرارياً.

وتشير النتائج إلى فعالية محدودة جداً لعمود نفث رذاذ الماء المستخدم في تلطيف مناخ عرفات بالمواصفات المعمول بها الآن - أي عند نفث رذاذ الماء على ارتفاع ثمانية أمتار من سطح الأرض - لكن الأداء يزيد فعالية كلما تناقص مستوى نفث رذاذ الماء، ويصل إلى أفضل حالاته عند مستوى ٢ متر من سطح الأرض وهو المستوى القريب من حيز النشاط الإنساني.

ويقترح البحث عدم الاعتماد على وسيلة واحدة لتلطيف الفراغات الخارجية بعرفات أو في غيرها من المشاعر المقدسة. وللحصول على أداء أفضل ونتائج أكثر تأثيراً يقترح البحث تكامل عدد من وسائل تلطيف الفراغات الخارجية جنباً إلى جنب مع عمود نفث رذاذ المياه، مع إدخال تحسينات على تصميمه لتعمل منظومة تلطيف المناخ بوصفها وحدة متكاملة.

وتوصي الدراسة بتبني الإستراتيجيات التالية لتحقيق فعالية أداء أفضل لتلطيف أجواء عرفات:

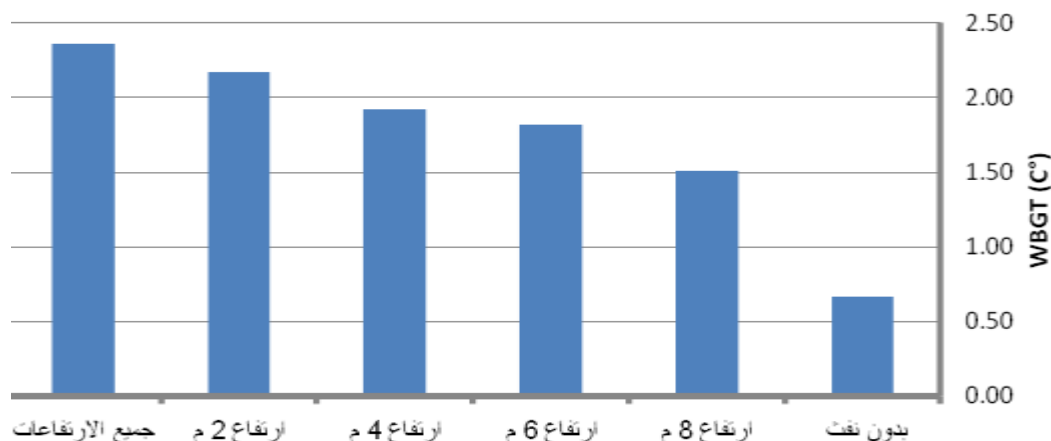
١ - توفير الظل والحماية من الإشعاع الشمسي المباشر كخط دفاع أول لتلطيف أجواء عرفات من خلال

وتم رصد القياسات الميدانية لمدة ثلاثة أيام متواصلة لكل حالة تشغيل، بحيث تعمل بخاخات رذاذ الماء من الساعة ١٠ صباحاً وحتى الساعة ٥ عصراً وهي الفترة الزمنية الحارة خلال النهار، وخارج تلك الفترة لا يستخدم فيها رذاذ الماء ولا يتم تشغيل البخاخات.

ويظهر الشكل رقم (٥) تقارباً بين منحنى درجات WBGT لكل من موقع التحكم وموقع التجارب في الحالات التي لا يشغل فيها رذاذ الماء، وعندما يتم تشغيل بخاخات رذاذ الماء في موقع التجارب خلال الساعات الحارة من النهار يظهر الفرق واضحاً بين المنحنيين. يزداد الفرق بين المنحنيين تبعاً لكل حالة تشغيلية، ولإعطاء صورة أكثر تفصيلاً تم رصد متوسط الفرق بين درجات مؤشر WBGT للست حالات التشغيلية في شكل مستقل (انظر الشكل رقم ٦). إن أفضل الحالات التشغيلية هي الحالة السادسة التي يتم فيها نفث رذاذ الماء على كل الارتفاعات، تليها الحالة الثانية التي يتم فيها نفث رذاذ الماء على ارتفاع ٢ متر، ثم الحالة الثالثة، ثم الحالة الرابعة، وأخيراً الحالة الخامسة والتي يتم فيها نفث رذاذ الماء على ارتفاع ثمانية أمتار وهي الحالة التي تحاكي عمود نفث الماء في عرفات.

(١١) النتائج والتوصيات

تكثيف الغطاء النباتي المعمول به حالياً في عرفات والتوسع في زراعة شجرة النيم لتغطي مساحات أكبر. وقد أشار كل من مونتيرو (Monteiro, 2009)



الشكل رقم (٦). متوسط الفرق بين درجات مؤشر WBGT لست حالات تشغيلية لعمود نفث رذاذ الماء.

الحيز المستخدم لنشاط الحجاج لكنه بعيد عن متناول أيدي العابثين والفضوليين ويقترح الباحث مسافة رأسية لا تزيد عن ٢,٥ متراً إلى ٣ أمتار كحد أقصى من مستوى سطح الأرض.

٣- تحريك الهواء بعد تلطيفه برذاذ الماء يساعد على الشعور براحة أفضل ويوزع الهواء المعالج برذاذ الماء على مساحة أوسع، ويتم ذلك من خلال تركيب مراوح لتحريك الهواء بسرعات لا تزيد عن ٢ متر/ث.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

وكذلك ألفاريز (Alvarez, 1991) إلى فعالية الغطاء النباتي في تلطيف الأجواء الخارجية من خلال ما يعرف بتأثير الواحات oasis effect. وللنباتات أيضاً دور إيجابي آخر لا يقل أهمية عن تلطيف أجواء الفراغات الخارجية ألا وهو تقليل التلوث البيئي الناتج عن حركة السيارات، وتخفيف تأثير الاحتباس الحراري، والتخفيف من سرعة حركة الرياح وخصوصاً الرياح المحملة بالأتربة والغبار. ومن الوسائل الأخرى لتوفير الظل استخدام مظلات مؤقتة تفتح خلال ساعات النهار الحارة لتمنح الظل، وتنغلق خلال ساعات الليل لتسمح بانبعث الحرارة نحو السماء.

٢- تطوير تصميم عمود نفث رذاذ الماء ليكون مستوى النفث أكثر فعالية تبريدية وقريب من

- Alvarez, S.; Asiain, J.; Yannas, S. and Fernandes, E. (Eds.).** *Architecture and Urban Space*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, (1991).
- Cook, J.** "The State of Passive Cooling Research". In: Jeffrey Cook (Ed.), *Passive Cooling*. London: The MIT Press, (1989).
- Givoni, B.** *Man, Climate, and Architecture*. London: Applied Science Publishers Ltd., (1981).
- Givoni, B.** *Climatic Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, (1998).
- Monteiro, L. and Alucci, M.** "The Impact of Vegetation on Outdoor Thermal Comfort in Urban Spaces." *The Seventh International Conference on Urban Climate*, Yokohama, Japan, (2009).
- Saudi Ministry of Health.** "Chapter Four: Health Services in Hajj Season, 1426 H."
- Yaghoubi, M.; Sabzevari, A. and Golneshan, A.** "Wind Towers: Measurement and Performance." *Solar Energy*, Vol. 47, No. (2), (1991), 97-106.

- ابن عوف، سعيد عبدالرحيم. العناصر المناخية والتصميم المعماري. الرياض: جامعة الملك سعود، ١٤١٨هـ.
- السليمان، محمد حمزة، وبار، عبدالمنان. "تقويم فعالية مشروع الصدقات الجارية للشيخ عبدالرحمن عبدالقادر فقيه." مركز فقيه للأبحاث والتطوير، تقرير نهائي، ١٤١٨هـ.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Alissan, M.** "Assessment and Improvement of Thermal Conditions Inside Pilgrimage Tents at Makkah, Saudi Arabia." *PhD Dissertation, University of Newcastle upon Tyne, UK*, (1993).

Performance Efficiency of Water Spray Tower Used in Mitigating Arafat's Hot Climate in Terms of the WBGT Heat Index

Mohammad S. Alissan Al-Ghamdi

*Department of Architecture and Building Science,
College of Architecture and Planning, King Saud University
malissan@ksu.edu.sa*

(Received 16/06/1433H.; accepted for publication 29/08/1433H.)

Keywords: Water spray, Mitigating climate of Arafat, Cooling outdoor spaces, Natural means of cooling, The holy sites, Pilgrims heat exhaustion, Heat stroke, Heat exhaustion indicators, WBGT heat index.

Abstract. This paper deals with evaluating the performance of water spray tower used in mitigating Arafat's hot dry climate. An experiment was conducted at similar hot dry conditions using an identical water spray tower. Performance was evaluated in the light of the WBGT heat index that was used as a reference for the evaluation. The WBGT heat index is internationally known and widely used to evaluate heat conditions of outdoor climate at sports training, military bases, and industrial fields. Measurements were taken over 21 days and under different operational conditions which include: water spray at a height of 8-meter level, 6-meter level, 4-meter level, and 2-meter level. Operational conditions also include maximum full spray at all levels and base condition without any water spray.

The results show a clear picture of the performance efficiency of the water spray tower. The study recommend better enhancements for the existing tower and suggests to integrate different strategies to mitigate the climate of Arafat. The first defense strategy is to provide shading and protection from direct solar radiation and radiant heat by vegetation or canvas umbrellas that open during the hot hours of the day and dismantled during the cool hours to allow long wave radiation to sky. The second strategy is to use mist water at the level of 2 meters near the occupational zone. The third strategy is to circulate local cool air at low airflow rate. These strategies must be incorporated together into one architectural scheme and should complement each other and work together. The findings of this research can also be implemented for at other outdoor conditions at any pilgrimage gathering near Mina, Muzdalifah, Makkah, and the grand mosque. The results can also be applied at any heavily populated hot dry outdoors.

