العمارة الحضرمية التقليدية أصالة مستدامة في ظل التغيرات المناخية (دراسة حالة لمبنى تقليدي في حي الشهيد خالد بالمكلا، حضرموت اليمن)

وهيب يسلم غانم بن سلم* عادل عبدالله المعلم**

الملخص

أدى الطلب العالمي المُلِحُّ على التنمية المستدامة، الذي عجّل به اختلال التوازن البيئي، إلى إحياء الاهتمام بالممارسات المعمارية المحلية والتقليدية. وقد شهدت هذه التقاليد المعمارية تطوُّرًا تدريجيًا في مدى قرون، تميّزت بعملية مستمرة من التحسين التجريبي والفهم العميق للتنظيم الحراري. وقد تمَّ تطوير مبادئ التصميم البيئي السلبي، التي تراعي المناخ، وتحقق كفاءة استخدام الموارد بدقة في المناطق ذات المناخات القاسية، مثل ساحل حضرموت في اليمن. ركزت الدراسة الحالية على مبنى تقليدي تمثيلي في المكلا، وهي مدينة تتميّز بدرجات حرارة عالية ورطوبة عالية. الهدف الرئيس من هذه الدراسة هو تجاوز نموذج التقييم النوعي التقليدي وتقديم تقييم كمي للأداء الحراري للمبنى. باستخدام أحدث تقنيات تحليل الطاقة الشمسية، تمَّ الحصول على قياسات دقيقة للإشعاع الشمسي الذي يؤثر في أسطح المبنى، مما يوفر دليلًا تجريبيًا على تصميمه المستجيب للمناخ. ثم استُخدمت النتائج لإجراء مقارنات مع معايير الأداء المحدَّدة في معايير المباني الخضراء المعاصرة، مثل LEED و BREEAM. يساعد هذا النهج في إقامة صلة بين المبادئ العريقة ومقاييس الاستدامة الحديثة، مما يسهل الفهم الشامل للموضوع.

الكلمات المفتاحية: العمارة التقليدية، التغيرات المناخية، المحاكاة الرقمية، الحمل الحراري والمعايير الدولية.

المقدمة:

تشمل الاستدامة في سياق العمارة التقليدية نهجًا شاملًا يدمج الاستجابة البيئية وكفاءة الموارد والملاءمة الاجتماعية والثقافية والجدوى الاقتصادية، وكل ذلك يتحقق من خلال ممارسات التصميم والبناء المكيفة محليًّا. على عكس الاستدامة المعاصرة، التي غالبًا ما تعتمد على الإصلاحات التكنولوجية المستنزفة للموارد. إن الاستدامة التقليدية متأصلة بطبيعتها في هذه المباني، ولدت منذ قرون من المعرفة المتراكمة والتكيف مع الظروف المحلية. وتؤكد على العلاقة التكافلية بين البيئة المبنية ومحيطها الطبيعي، باستخدام استراتيجيات التصميم السلبي لتحقيق الراحة البشرية بأقل تأثير بيئي من خلال استخدام مواد منخفضة الطاقة من مصادر محلية، مثل الطين والحجر والأخشاب، وتعتمد على مبادئ التصميم المناخي الحيوي، التي تستجيب للتحديات المناخية، مثل الإشعاع الشمسي والحرارة والجفاف. وتستخدم تقنيات البناء التي غالبًا ما تكون كثيفة العمالة ولكنها منخفضة في استهلاك الطاقة وتوليد النفايات. زيادة على ذلك أنها غالبًا ما تعكس العمارة التقليدية فهمًا عميقًا للحفاظ على المياه والتهوية الطبيعية وضوء النهار، مما يخلق بيئات ومساحات معيشة صحية ومريحة من دون الاعتماد على مصادر الطاقة غير المتجددة. إنَّ البعد الاجتماعي والثقافي له أهمية قصوى أيضًا؛ إذ إنَّ المباني التقليدية عادة ما تكون تعبيرًا عن هُوِيَّة المجتمع وقيمه، مما يعزز الشعور بالمكان والاستمرارية .لذلك يتطلب تعريف الاستدامة في هذا السياق تقدير هذه الأوجه المتعددة.

1. استراتيجيات التصميم البيئي في العمارة اليمنية والحضرمية:

تأصلت استراتيجيات التصميم البيئي بعمق في العمارة التقليدية لليمن ومنطقة حضرموت، مما يعكس فهمًا

* باحث.

** أستاذ مساعد قسم الهندسة المعمارية والتخطيط البيئي – كلية الهندسة والبترول – جامعة حضرموت.

بديهيًا ومتطوّرًا لكيفية تحقيق الراحة البشرية من خلال وسائل سلبية. وقد تم تطوير هذه الاستراتيجيات في مدى أجيال، وتمَّ تطويرها لتتناسب مع التحديات المناخية الخاصة بالمنطقة، والتي تشمل الإشعاع الشمسي الشديد، وارتفاع درجات الحرارة خلال النهار، والتقلبات الكبيرة في درجات الحرارة خلال اليوم، خاصةً في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ومن أبرز السمات استخدام مواد بناء صديقة للبيئة، مثل الطوب اللبن والحجر والأخشاب، التي توفر كتلة حرارية عالية (Abdallah وآخرون، 2020). تمتص هذه المواد الحرارة خلال النهار، مما يمنعها من اختراق الداخل، وتطلقها ببطء في الليل، وبالتالي تعمل على تخفيف تقلبات درجة الحرارة الداخلية، والحفاظ على بيئة أكثر استقرارًا وراحة (شيبان & السقاف، 2017). تعمل الجدران السميكة التي تتميز بها المباني التقليدية اليمنية، والتي يصل سمكها أحيانًا إلى أقدام عدَّة، كعازلات فعّالة، مما يقلل بشكل كبير من اكتساب الحرارة في الصيف وفقدانها في الشتاء. يقلل هذا التنظيم الحراري السلبي بشكل كبير من الحاجة إلى أنظمة التدفئة والتبريد الميكانيكية التي تستهلك الكثير من الطاقة، وهو أحد أركان التصميم المستدام(شيبان & السقاف، 2017). لم يكن اختيار المواد عشوائيًا، بل كان استجابة مباشرة لتوافرها محليًا وأدائها المثبت في مر القرون. على سبيل المثال، الطوب اللبن، وهو مادة بناء أساسية في شبام، ليس متاحًا بسهولة ورخيصًا فحسب، بل يمتلك أيضًا خصائص حرارية ممتازة مناسبة للمناخات الصحراوية(شيبان & السقاف، 2019). في المناطق الجبلية، كان الحجر والطوب الطيني يستخدمان بشكل شائع، مما يوفر كتلة حرارية ممتازة لتعديل درجات الحرارة الداخلية. في المناطق الساحلية. تم استخدام استراتيجيات ومواد مختلفة للتعامل مع الرطوبة والملوحة مثل الجير والجص. كان أحد الجوانب الرئيسة لهذا النهج التقليدي هو مفهوم "العيش في وئام مع الطبيعة"، إذ تمَّ تصميم المباني لتتوافق مع البيئة الطبيعية بدلًا من أن تتعارض معها(حسين، 2018). بالإضافة إلى الكتلة الحرارية، تستخدم العمارة اليمنية التقليدية مجموعة من الاستراتيجيات المناخية الحيوية الأخرى. يعد التوجية الصحيح للمبنى عاملًا حاسمًا ومهمًا، إذ غالبًا ما يتم وضع المباني باتجاه تزيد من تعرُّضها للرياح السائدة من أجل التهوية الطبيعية، مع تقليل اكتساب الحرارة الشمسية على الواجهات الشرقية والغربية. في مدن مثل صنعاء، غالبًا ما كان يُفضل الاتجاه الجنوبي لتحقيق توازن في درجات الحرارة بين الصيف والشتاء، مما يسهم في الاستقرار الحراري(صديق، 2008). تمت دراسة تصميم الفتحات، بما في ذلك النوافذ والأبواب وأعمدة التهوية (المعروفة باسم المشربيات أو الشرفات) بعناية للتحكم في تدفق الهواء وضوء النهار والإشعاع الشمسي(Abdallah وآخرون، 2020). ساعدت الفتحات الأصغر حجمًا والموضوعة في أماكن استراتيجية على الجدران الخارجية على تقليل كمية أشعة الشمس المباشرة مع السماح في الوقت نفسه بدخول ضوء النهار والتهوية الكافيين. كما تؤدي الشوارع الضيّقة والمتعرِّجة في المدن التاريخية، مثل شبام، وحي الشهيد خالد بالمكلا دورًا بيئيًا من خلال توفير ممرَّات مظلَّلة وتوجيه النسائم الباردة، مما يعزز راحة المشاة، ويقلل من تأثير الجزر الحرارية الحضرية (Al-Zubaidi & Shahin،2005). تُظهر عناصر التصميم السلبي هذه والتي تعمل بشكل متناسق نهجًا شاملًا لتحقيق الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة قبل وقت طويل من إضفاء الطابع الرسمي على هذه المفاهيم في الخطاب المعماري الحديث. إنَّ فعالية هذه التقنيات التقليدية في توفير بيئة مريحة للسكان من خلال وضع عناصر وفتحات مدروسة للتحكم في الإضاءة والتهوية

واكتساب الحرارة، هي دليل على أهميتها وفعالية أدائها. تؤكد الأبحاث التي أجريت على تحوُّل هذه الاستراتيجيات من المنازل القديمة إلى المنازل الحديثة في وادي حضرموت على استمرار تطبيقها، على الرغم من تطورها(Farea وآخرون، 2012).

2. التقييم الكمي للأداء الحراري

يهدف التقييم الكمي للأداء الحراري للمبنى إلى قياس أثره في استهلاك الطاقة وتقييم فعالية تصميمه المستجيب للمناخ. بعكس التقييم النوعي الذي يركز على الخصائص الوصفية (مثل نوع المواد أو لونها)، التقييم الكمي يستخدم بيانات وأرقام دقيقة لتحديد مدى جودة أداء المبنى، ولا يكتفي بالقول "المبنى معزول جيدًا"، بل يحدد كمية الطاقة التي يتم توفيرها، مما يُترجم إلى توفير مادي وتقليل البصمة الكربونية للمبنى. هذا النهج يوفر دليلًا تجريبيًا يدعم القرارات التصميمية ويجعلها أكثر فعالية.

3. الإجراءات والاستراتيجيات

لإجراء تحليل دقيق، تم استخدام منهجية متعددة الخطوات:

3.1. إعادة البناء الرقمي:

تؤدي النمذجة والمحاكاة دورًا مهمًا في تقييم الأثر البيئي في العمارة؛ إذ تساعد المصمِّمين على اتخاذ قرارات مستنيرة في المراحل المبكرة من التصميم. تستخدم أدوات تقييم الاستدامة والأثر البيئي للمباني والأحياء لتعزيز البناء المستدام(التميمي & المعلم، 2025).

تمَّ تصميم نموذج دقيق للمبنى المعني في برنامج Autodesk Revit. وقد عكس النموذج الرقمي بدقة هندسة المبنى وحجمه واتجاهه ومواده. وتحديد المواد الرئيسة، مثل الجدران الحجرية السميكة من الحجر الجيري المرجاني المربوط بمونة الجير (النورة) والرمل، والكسوة الخارجية والداخلية والفتحات والنوافذ الخشبية، والأسقف الخشبية، في البرنامج لضمان أن تعكس المحاكاة خصائصها الحرارية المعروفة.

3.2. بيانات المناخ والموقع الجغرافي:

حُدد الموقع الجغرافي للنموذج بإحداثياته الدقيقة في المكلا، حضرموت، اليمن (16.05° شمالًا، 48.99° شرقًا). ضمنت هذه الخطوة استخدام المحاكاة لبيانات دقيقة عن مسار الشمس، وهو أمر بالغ الأهمية لإجراء تحليل شمسي صحيح. وأجريت المحاكاة بافتراض أنَّ المبنى قائم بذاته من دون مجاورات؛ وذلك لتقييم كفاءة المبنى نفسه واستدامته من دون تأثير المجاورات والموقع العام، التي لها دور كبير في تحقيق معايير الاستدامة للتصميم السلبي لعناصره المعمارية، مثل تقارب المباني، وإسقاط الظلال، وسرعة حركة الرياح، وتقليل تأثير الأشعة المباشرة والإضاءة والوهج المنعكس من الواجهات، وغيرها من العوامل.

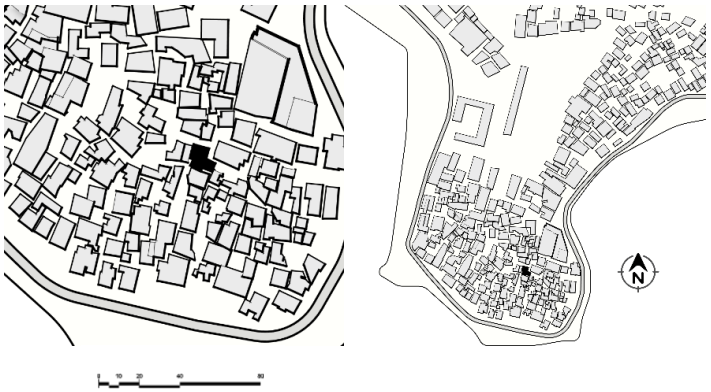
3.3. محاكاة التحليل الشمسي

دراسة تحليل شمسي "مخصصة" في برنامج Autodesk Revit واستخدام أداة Analysis Tool Solar لقياس الإشعاع الشمسي التراكمي، وهو كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح معين خلال فترة زمنية محددة (معبّرًا عنه بوحدة كيلوواط ساعة/متر مربع) على 583،4 مترًا مربعا من الأسطح الخارجية للمبنى. وحددت فترة الدراسة من 1 مايو إلى 31 يوليو 91 يومًا، بين الساعة 7:00 صباحًا وحتى 5:00 مساءً، وسجلت قراءات عدادات الطاقة الشمسية في أربع فترات (7:00 صباحًا، 12:00 ظهرًا، 2:00 مساءً، 5:00 مساءً) لالتقاط فترة أشد الإشعاع الشمسي خلال أشد فترات السنة حرارة.

4. الحالة الدراسية (بيت العيدروس) بحي الشهيد خالد بالمكلا

يعد من أقدم المنازل والمباني التقليدية، وصُنِّف بأنَّه من أقدم البيوت في الحي (شكل 1)، ويمتاز بنمطه

وطرازه المعماري الذي يعكس الطابع والهُوِيَّة للبيوت التقليدية في الحقبة القديمة لمدينة المكلا، وقد قام عدد من طلاب جامعة حضرموت قسم العمارة بتوثيق المنزل ودراسته كنموذج حالة دراسية ضمن متطلبات مقرَّر الحفاظ والتأهيل للعام الدراسي 2002–2003م، وكذا تمَّ التعرُّض للبيت بالدراسة والتحليل والتوثيق المنهجي من قبل بعض الدارسين الأجانب مثل الدملوجي (Damlūji،2007) وغيرهم.



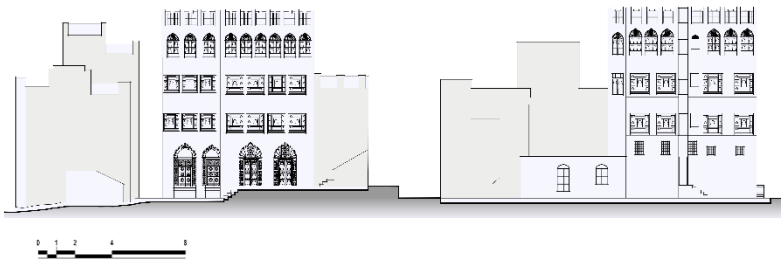
شكل 1: موقع بيت العيدروس بحي الشهيد خالد – المكلا

(الباحث – Top View of the 3D Analysis Model)

4.1. وصف المبنى

المبنى يأتي بشكل غير منتظم في مسقطه الأفقي، ويأخذ الشكل المائل في الجدران للغرف، حيث إن كل غرفة تأخذ في الأقل اتجاهين مختلفين، تفتح فيها نوافذ خشبية تمتاز بالزخرفة التي تشبه المشربيات الإسلامية، والتي تشكل من 40% إلى 50% من مساحة النافذة؛ لتحقق خصوصية لمن بداخل الغرفة، وكذا تسمح بدخول الهواء من خلال الفتحات الصغيرة. يتكون المنزل من أربعة أدوار: أرضي وثلاثة أدوار تنتهي بسطح عليه سُترة بارتفاع 120 سم، الدور الأرضي عبارة عن مخازن ومدخل البيت الرئيس، والأدوار المتكررة كل دور يتكون من ثلاث غرف وحمَّام واحد ومطبخ و2 أو 3 مخازن (شكل 2 و 3).

شكل 1: مساقط بيت العيدروس (Damlūji، 2007)



شكل 2: واجهات بيت العيدروس (الباحث)

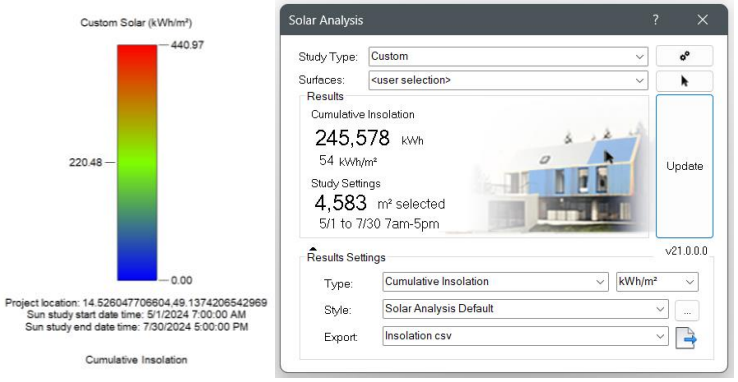
4.2. مواد البناء

استخدمت مواد بناء محلية مثل الحجارة والجير المطفي لبناء الجدران، وذات سماكات متفاوتة من 40 سم، تصل في الأساسات والقواطع الداخلية والحاملة للدرج إلى عرض 80 –120 سم، كما استخدمت الأخشاب من أشجار السدر وأشجار محلية أخرى في الاسقف واستخدام طبقة عازلة من الطين في الأسقف لتساعد في العزل الحراري، وطلي المنزل من الخارج باستخدام مادة النورة (الجير المطفي) المصنَع محليًا في معامل حرق، يتم فيها حرق أنواع محدَّدة من الأحجار في درجات حرارة عالية ، وتكون بلون أبيض ناصع، يساعد في تقليل حرارة الجدران وعكس الأشعة اشعة الشمس الساقطة على المبنى.

5. تحليل النتائج

5.1. دراسة الطاقة الشمسية

لوحظ من خلال التحليل الشمسي تباين كبير في التشمس عبر المبنى؛ إذ بلغ إجمالي التشمس التراكمي 245،578 كيلو واط ساعة، خلال فترة الدراسة 91 يومًا (54 كيلو واط ساعة/م² كمتوسط التشمس خلال كامل الفترة)، بمتوسط 220.48 كيلو واط ساعة / متر مربع وحد أقصى 440.97 كيلو واط ساعة / متر مربع (شكل 4).



شكل 3: نتائج تحليل التشمس التراكمي (الباحث – Solar Analysis Tool).

5.2. تحليل واجهات المبنى:

5.2.1. الواجهات الشرقية والغربية

تظهر هذه الواجهات أعلى مستويات التعرض لأشعة الشمس، كما هو موضح بالمناطق الصفراء والبرتقالية والحمراء في المحاكاة (شكل 6 الواجهة الشمالي والشرقية الواجهة الجنوبية والغربية شكل 9). وهذا أمر متوقَّع؛ إذ تتعرض هذه الواجهات لأشعة الشمس الشديدة والمنخفضة الزاوية خلال الصباح (الشرق)

وبعد الظهر (الغرب). ومع ذلك، يتضمن التصميم التقليدي فتحات نوافذ على الرغم من كبر مساحة مسطحها المصنوع من الخشب والذي يقلل ويساعد في تأخير امتصاص الحرارة، وكذا تصميمها المقسَّم بين المشربيات وصغر الجزء المفتوح للنافذة، حيث تشكل صافي الفتحة نسبة أقل من 50% من إجمالي مساحة النافذة (شكل 5). هذه الاستراتيجية فعالة للغاية؛ إذ تعمل الجدران السميكة المحيطة بالنوافذ كجهاز تظليل، مما يمنع أشعة الشمس المباشرة من اختراق الداخل معظم ساعات النهار. الظلال العميقة التي تلقيها هذه التجاويف هي ميزة تبريد سلبية رئيسة.

شكل 4: شكل وتصميم الفتحات والنوافذ في بيت العيدروس (الباحث).

5.2.2. الواجهة الجنوبية

يظهر الجدار المواجه للجنوب تعرُّضًا أقل بكثير لأشعة الشمس؛ إذ يظل في الغالب في النطاق الأخضر والأزرق غالب ساعات النهار (شكل 6). ويرجع ذلك إلى ارتفاع زاوية الشمس خلال أشهر الصيف في نصف الكرة الشمالي. ويبدأ في اكتساب الحرارة بعد زوال الشمس من فترة الظهيرة من الساعة 12.00 ظهرًا حتى الساعة 5.00 مساءً، يساعد تظليل الشمس المرتفعة بواسطة سقف المبنى وكتلة المبنى نفسه، مما يقلل من اكتساب الحرارة المباشرة على هذه الواجهة.

5.2.3. الواجهة الشمالية:

كما هو متوقع وبالنظر الى الموقع الجغرافي للمبنى فإن زاوية ميول الشمس خلال فترات الصيف تميل باتجاه الجنوب، ممَّا يجعل الواجهة الشمالية تتلقى أقل كمية من الإشعاع الشمسي المباشر، مما يجعلها السطح الخارجي الأكثر برودة. تظلُّ هذه الواجهة بالكامل تقريبًا في النطاق الأزرق (شكل 6)، مما يشير إلى الحد الأدنى من اكتساب الحرارة الشمسية المباشرة.

5.3. تحليل السقف

السقف هو السطح الأكثر تعرُّضًا للإشعاع الشمسي، ويظهر دائمًا باللون الأحمر الفاتح في التحليل (شكل 6 الواجهة الشمالية والشرقية الواجهة الجنوبية والغربية شكل 9). يشير هذا إلى أنه يتلقى أعلى مستوى من الإشعاع الشمسي التراكمي، حيث يقترب من القيمة القصوى البالغة 477.97 كيلوواط ساعة/متر مربع. في العمارة الحضرمية التقليدية، يتم التخفيف من ذلك بعدة طرق:

5.3.1. كتلة حرارية عالية

السقف مبني من طبقات من الخشب، تليها طبقة سميكة من الطين وطبقة إنهاء وميول من الجير والرمل والإنهاء بطبقة طلاء بيضاء عاكسة من الجير المطفي

(النورة)، ما يجعله يتمتع بكتلة حرارية عالية. وهذا يسمح للسقف بامتصاص الحرارة ببطء خلال النهار وإعادة إشعاعها إلى سماء الليل الباردة، وهي ظاهرة تعرف باسم "إشعاع سماء الليل".

5.3.2. الأسطح العاكسة

الاستخدام التقليدي بدهان الاسطح بالجير المطفي (النورة) العاكس ذي الألوان البيضاء الناصعة على سطح السقف يزيد بشكل كبير من انعكاسيته، مما يقلل من كمية الطاقة الشمسية الممتصة.

5.3.3. الاستخدام كمساحة معيشة ليلية

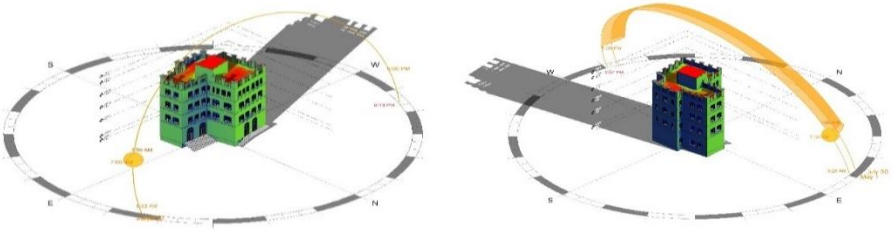
غالبًا ما يستخدم السقف المسطح كمساحة للمعيشة والنوم خلال الليالي الباردة، وهو تكيف وظيفي مع المناخ.

توفر نتائج المحاكاة سردًا واضحًا يعتمد على البيانات؛ لاستراتيجية الطاقة الشمسية السلبية للمبنى. إنَّ توزيع الطاقة الشمسية غير متساو في أسطح المبنى خلال فترات النهار والتعرُّض الشمسي للواجهات، مما يكشف عن تصميم يدار بذكاء لمكان امتصاص الحرارة وزمانه.

5.4. الأداء الديناميكي طوال اليوم

توفر نتائج المحاكاة سردًا واضحًا يعتمد على البيانات لاستراتيجية الطاقة الشمسية السلبية للمبنى. إنَّ توزيع الطاقة الشمسية غير متساو في أسطح المبنى خلال فترات النهار والتعرض الشمسي للواجهات، مما يكشف عن تصميم يدار بذكاء لمكان امتصاص الحرارة وزمانه.

7:00 صباحًا (صباحًا): تبدأ الشمس الشرقية منخفضة الزاوية في تدفئة الواجهة المواجهة للشرق، وتظل في مستوى متوسط يصل إلى 220 كيلو واط ساعة / م². ومع ذلك فإن التظليل الذاتي الكبير للمبنى الذي يجعل كُلًّا من الواجهات الشمالية والغربية والجنوبية تظل باردة ومظللة تقريبًا (بالقرب من 0.00 كيلو واط ساعة / م²) (يشار إليها باللون الأزرق الغامق)، بعد أن بددت الحرارة أثناء الليل (شكل 6).

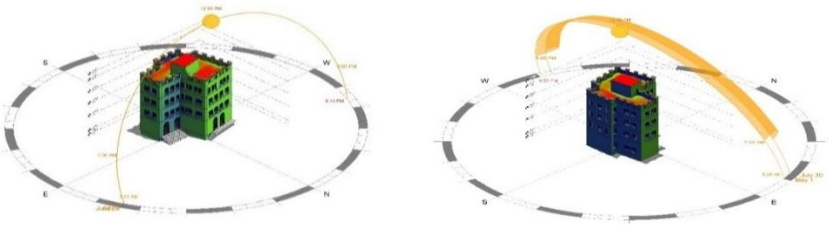


الواجهة الشمالية والشرقية **الواجهة الجنوبية والشرقية**

شكل 5: مستويات التعرض للشمس الساعة 7 صباحًا

(الباحث – Generated by Solar Analysis Tool).

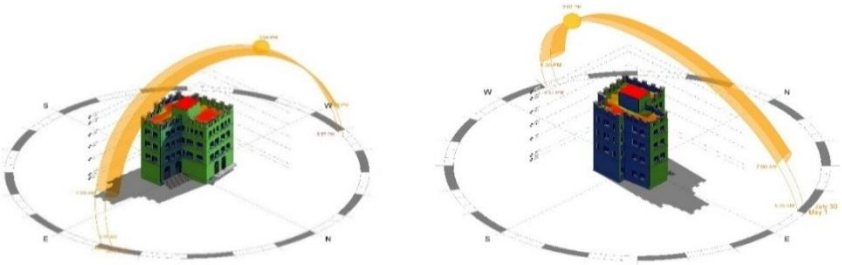
12:00 ظهرًا – 2:00 ظهرًا (ذروة منتصف النهار): في ذروة شدة الشمس، تكون الشمس عالية في السماء تقترب إلى التعامد مع المبنى. تظهر صور المحاكاة بوضوح أن السقف يتلقى أقصى حمل شمسي، ويتوهَّج باللون الأحمر الفاتح، ويقترب من قيمة التشمس القصوى البالغة 440.97 كيلو واط ساعة / م²(شكل 7 شكل 8). في الوقت نفسه تكون الجدران العمودية في الظل إلى حد كبير ومحميَّة بزاوية الشمس العالية وشكل المبنى وتوجيهه السليم الذي يسمح بتظليل الأسطح للواجهات من خلال انحراف الجدران وميولها. هذا هو جوهر الاستراتيجية السلبية للمبنى، فهو يعرض عنصره الأكثر مقاومة للحرارة (السقف عالي الكتلة) لأشعة الشمس الأكثر كثافة، في حين يحمي عناصره الأكثر ضعفًا (الجدران ذات النوافذ).



الواجهة الشمالية والشرقية **الواجهة الجنوبية والشرقية**

شكل 6: مستويات التعرض للشمس الساعة 12 ظهرًا

(الباحث – Generated by Solar Analysis Tool).

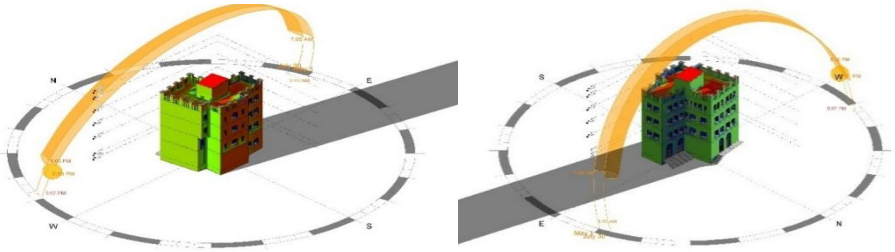


الواجهة الشمالية والشرقية **الواجهة الجنوبية والشرقية**

شكل 7: مستويات التعرض للشمس الساعة 2 مساءًا

(الباحث – Generated by Solar Analysis Tool).

5:00 مساء (بعد الظهر): تضرب الشمس الغربية ذات الزاوية المنخفضة الواجهة المواجهة للغرب مباشرة. على غرار الصباح، يضمن اتجاه المبنى أنَّ الواجهات الشرقية والشمالية الأخرى مظلَّلة إلى حد كبير (شكل 8). وتتعرض الواجهة الجنوبية في فترة ما بعد الساعة 2:00 ظهرًا الى الساعة 5:00 لحملٍ إشعاعي كبير يصل الى ما يقارب الحمل الأقصى 400 كيلو واط ساعة / متر مربع؛ ويرجع السبب لوجود النوافذ التي سمحت بدخول جزء من الإشعاع الشمسي. يتركز الحمل الحراري على سطح رأسي للواجهات الغربية والجنوبية لفترة محدودة.



الواجهة الشمالية والشرقية **الواجهة الجنوبية والغربية**

شكل 8: مستويات التعرض للشمس الساعة 5 مساءً

(الباحث – Generated by Solar Analysis Tool).

6. الدور الحاسم للمادية والكتلة الحرارية

تحدد المحاكاة الحمل الشمسي في حين أنَّ مواد المبنى تحدد تأثير هذا الحمل.

6.1. جدران الحجر الجيري (80 سم – 40 سم)

الحجر الجيري له كتلة حرارية عالية. هذا يعني أنه يمتص الحرارة ببطء شديد. ستستغرق الطاقة الشمسية التي تمتصُّها الجدران خلال النهار ساعات عدَّة ("تأخر حراري" من 8–12 ساعة) للانتقال عبر جدار الحجر السميك. بحلول الوقت الذي تصل فيه هذه الحرارة إلى السطح الداخلي، يكون الوقت متأخرًا من المساء أو الليل، وتسمح درجات الحرارة المحيطة الأكثر برودة بتنفيس هذه الحرارة بسهولة من المبنى.

6.2. تشطيب البياض العالي

يعد طلاء الجير المطفأ باللون الأبيض مكوّنًا مهمًّا؛ إذ يعكس سطح البياض العالي ما يصل إلى 70–80٪ من الإشعاع الشمسي الساقط. تقلل هذه الاستراتيجية البسيطة منخفضة التكلفة بشكل كبير من كمية الطاقة التي يمتصُّها غلاف المبنى، مما يقلل بشكل كبير من اكتساب الحرارة الإجمالي على أسطح المبنى الخارجية.

7. المقارنة الكمية مع معايير الاستدامة الدولية

لتقييم أداء المبنى بشكل موضوعي، نقوم بقياس ميزاته مقابل المتطلبات الإلزامية لمعيار ASHRAE 90.1، وهو معيار الطاقة للمباني باستثناء المباني السكنية منخفضة الارتفاع، الذي نشرته الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE: American Society of Heating، Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). ويحدد هذا المعيار متطلبات الحد الأدنى لكفاءة الطاقة للمباني والمواقع التجارية، مما يؤثر في تصميمها وبنائها وتشغيلها. يغطي المعيار جوانب مثل أغلفة المباني وأنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والإضاءة وتسخين مياه الخدمة، ويُعد معيارًا مرجعيًا للوائح والمعايير الأخرى في جميع أنحاء العالم (U.S. Department of Energy، 2022). والذي يشكل الأساس لأرصدة الطاقة في معايير تقييم الطاقة وتصنيفها، مثل LEED وBREEAM.

7.1. المقارنة المعيارية مقابل ASHRAE 90.1 (لسياق LEED / BREEAM)

لتحقيق المقارنة استُخدِمَتْ متطلبات المنطقة المناخية 1A، التي هي واحدة من 17 منطقة مناخية تحددها الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء (ASHRAE)، وتتميز بأنها حارة جدًا ورطبة، وتندرج تحت التصنيف المناخي الاستوائي الرطب والجاف. تصف هذه المناطق الظروف المناخية العالمية بناءً على درجة الحرارة والرطوبة، وتُستخدم في تصميم المباني والتحكم في أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (HVAC) لضمان كفاءتها، وهي التصنيف الأنسب والأقرب لمناخ مدينة المكلا.

جدول 1: مقارنة خصائص الحالة الدراسية مقابل المتطلبات الإلزامية لمعيار ASHRAE 90.1 (الباحث)

متطلبات ASHRAE 90.1 (المنطقة المناخية A1)	القيمة المقررة للمباني الحديثة	أداء وتحليل المباني التقليدية	حالة الامتثال
مؤشر انعكاس الطاقة الشمسية للسقف (SRI)	الحد الأدنى ل SRI 64%	يوفر تشطيب الجير الأبيض المطفأ التقليدي SRI الذي يتجاوز عادة 80% هذا الانعكاس العالي هو دفاع أساسي ضد تشمس السقف البالغ 440.97 كيلو واط ساعة / متر مربع، وهو أفضل بكثير من الحد الأدنى من المعيار.	يتجاوز المعيار بشكل كبير
عامل النفاذية الحرارية للجدار U-Value (النفاذية الحرارية)	الحد الأقصى لعامل U يبلغ 0.766 واط/م² K	يحتوي جدار الحجر الجيري الصلب مقاس 60 سم على عامل U يبلغ حوالي 1.1 واط / م² كلفن. على الرغم من أنه أعلى عدديا من معيار الجدار المعزول، ما يجعل هذا المقياس غير كاف. يتم تحديد أداء الجدار من خلال كتلته الحرارية العالية والزيادة في سماكته، والتي توفر امتثالًا فائقًا "قائمًا على الأداء" عن طريق تخفيف تقلبات درجات الحرارة النهارية – وهي استراتيجية أكثر فاعلية في هذا المناخ من العزل خفيف الوزن.	الامتثال البديل للأداء تجاوز المعيار
نسبة النافذة إلى الجدار (WWR)	40٪ كحد أقصى	يقدر WWR للمبنى بأقل من 20٪. يعد هذا النهج المحافظ للغاية خيارًا أساسيًا للتصميم لتقليل المصدر الأكثر أهمية لاكتساب الحرارة الشمسية.	يتجاوز المعيار بشكل كبير
معامل اكتساب الحرارة الشمسية Fenestration (SHGC)	الحد الأقصى ل SHGC هو 0.25	يعمل التجويف العميق للنوافذ كجهاز تظليل خارجي متكامل. يمكن لهذه الميزة المعمارية أن تقلل من الكسب الشمسي المباشر بأكثر من 50٪، مما يؤدي إلى SHGC فعال أقل بكثير من الحد الأقصى 0.25 دون الاعتماد على زجاج باهظ الثمن ومتقدم تقنيًا.	يتجاوز المعيار بشكل كبير

مما سبق في نتائج التحليل للجدول رقم (جدول 1) يحقق المبنى التقليدي الغرض من رموز الطاقة الحديثة من خلال وسائل معمارية سلبية. إنه يوضح أن الأداء العالي لا يعتمد على تلبية قيم U الإلزامية فحسب، ولكن يمكن تحقيقه من خلال التصميم الذكي الذي يستفيد من الكتلة الحرارية وتجنب الطاقة الشمسية. فقد أثبتت النتائج من التحليل كفاءة هذه العناصر المعمارية، مثل العزل الحراري الجيد والانعكاسية المثلى للجير المطفي والتصميم المتناسق لحجم الفتحات والنوافذ مع متطلبات معايير الاستدامة الحديثة.

8. مقارنة مع معايير الاستدامة الدولية (LEED و BREEAM)

على الرغم من أن المباني التقليدية لمْ تُصمَّمْ لتلبية متطلبات قوائم التحقق الحديثة للحصول على الشهادات، وإنَّما بنيت لتُلبّي احتياجات ساكنيها وراحتهم في تلك الفترات، غير أنَّ أداءها يتوافق بشكل ملحوظ مع المبادئ الأساسية لمعايير المباني الخضراء الرائدة.

8.1. الريادة في الطاقة والتصميم البيئي (LEED):

Leadership in Energy and Environmental Design **(LEED)**

الريادة في الطاقة والتصميم البيئي، هو نظام تصنيف المباني الخضراء الأكثر استخدامًا في العالم. تم تطوير هذا النظام القائم على النقاط من قبل مجلس المباني الخضراء الأمريكي (USGBC)، ويوفر إطارًا لتصميم المباني المستدامة وتشييدها وتشغيلها وصيانتها. تمنح LEED نقاطًا للاستراتيجيات التي تقلل من استهلاك الطاقة وتحسن جودة البيئة. وقد حقق هذا المبنى أداءً جيدًا في عدد من فئات الاعتماد لـ LEED:

8.1.1. الطاقة والغلاف الجوي (Energy and Atmosphere EA)

الهدف الأساسي لهذه الفئة هو تقليل استهلاك الطاقة. يسهم التصميم السلبي للمبنى، الذي يقلل من الحاجة إلى التبريد الاصطناعي، بشكل مباشر في توفير كبير في الطاقة. يتوافق هذا مع الغرض من الاعتمادات، مثل متطلبات EA الأساسية (الحد الأدنى من أداء الطاقة واعتماد EA) تحسين أداء الطاقة. يحقق المبنى ذلك ليس من خلال التكنولوجيا، ولكن من خلال التصميم السلبي الذكي المستجيب للمناخ.

8.1.2. المواقع المستدامة (Sustainable Sites SS)

يُظهر تحليل الطاقة الشمسية أداءً قويًا في التخفيف من تأثير الجزر الحرارية (الموقع المستدام SS: تقليل الجزر الحرارية). يقلل الحجم الرأسي للمبنى من مساحة السطح والمساحات الطبيعية المحيطة المعرضة لأشعة الشمس، كما أن الاستخدام التقليدي للمواد العاكسة للسطح سيحقق درجة جيدة في هذا المعيار.

8.1.3. المواد والموارد (Materials and Resources MR)

تكافئ هذه الفئة استخدام المواد المحلية والمستدامة والمعاد تدويرها. تمَّ تشييد المبنى بالكامل تقريبًا من مواد محلية المصدر (الحجر والطين والخشب) مما يقلل بشكل كبير من البصمة الكربونية المرتبطة بالنقل. يتوافق هذا مع معايير MR: الإفصاح عن منتجات البناء وتحسينها . مصادر المواد الخام.

8.2. طريقة تقييم الأداء البيئي للمباني (BREEAM)

Building Research Establishment Environmental Assessment Method **(BREEAM)**

إنَّ منهجية تقييم الأداء البيئي لمؤسسة أبحاث البناء هي نظام رائد في مجال شهادات الاستدامة للبيئة العمرانية. تأسست في المملكة المتحدة عام 1990، وتقوم بتقييم الأداء البيئي للمباني والبنية التحتية والمشاريع المخططة بشكل شامل طوال دورة حياتها. يوفر هذا الإطار تصنيفًا يستند إلى تقييم شامل يجريه مقيّمون مستقلون مرخصون .

تركز طريقة BREEAM أيضًا بشكل كبير على الطاقة والصحة والرفاهية.

8.2.1. الطاقة (Ene Energy)

على غرار LEED، تركز طريقة BREEAM Ene 01 تقليل استخدام الطاقة وانبعاثات الكربون بشكل أساسي. يعالج التصميم السلبي للمبنى هذا الأمر بشكل مباشر من خلال تقليل حمل التبريد بشكل جذري، وهو أكبر مصدر لاستهلاك الطاقة في المناخات الحارة.

8.2.2. الصحة والرفاهية (Hea Indoor Air Quality and Ventilation)

تركز هذه الفئة على توفير بيئة داخلية مريحة وصحية. تسهم قدرة المبنى على الحفاظ على درجات حرارة داخلية مستقرة ومريحة من دون أنظمة ميكانيكية في Hea 01: الراحة البصرية (من خلال التحكم في الإضاءة الطبيعية) و Hea 04: الراحة الحرارية. كما أن استخدام مواد بناء طبيعية وغير سامة يحسن جودة الهواء الداخلي.

8.2.3. استخدام الأراضي والبيئة (LE Site Selection)

يتميز التصميم المدمج والرأسي للمبنى بأثر بيئي ضئيل، مما يحافظ على الأراضي المحيطة. يتوافق هذا الاستخدام الفعال للأراضي مع مبادئ LE 01 لاختيار الموقع.

8.3. التحليل المقارن مع دراسة إقليمية

لمزيد من التحقق من صحة هذه النتائج ، قورنت نتائج الحالة الدراسية لهذا البحث بدراسة "تقييم الأداء الحراري لغلاف المبنى لمبنى سكني في عمان (Al-Saadi & Al-Jabri، 2017). هذه الدراسة وثيقة الصلة لأنها تحلل فيلا خرسانية حديثة في مناخ ساحلي حار ورطب مماثل.

8.3.1. النتائج الرئيسة من تحليل الفيلا الخرسانية في عمان

- السقف والنوافذ أكبر المساهمين في حمل التبريد في الفيلا الحديثة، إذ شكلوا 44٪ و25٪ على التوالي.
- النوافذ غير المظللة المواجهة للغرب سبب رئيس لارتفاع درجة حرارة فترة ما بعد الظهر.
- أوصت الدراسة بالتظليل الخارجي وطلاء الأسقف عالي البياض كاستراتيجيات رئيسة للتعديل التحديثي.

8.3.2. التحليل المقارن

يقدم التحليل الكمي لهذا المبنى التقليدي في المكلا دليلًا قاطعًا على أدائه الحراري السلبي المتفوّق. تتم إدارة متوسط الحمل الشمسي البالغ 54 كيلو واط ساعة / متر مربع خلال ذروة موسم الصيف بشكل فعال من خلال نظام متكامل من الكتلة الحرارية العالية، والبياض السطحي العالي، وتجنب الاشعة الشمسية المباشرة.

جدول 2: مقارنة نتائج تحليل الحالة الدراسية مع دراسة إقليمية مشابهة (الباحث)

ميزة	فيلا حديثة	المبنى الحضرمي التقليدي (المكلا)	مقارنة الأداء
استراتيجية المغلف الأساسي	مقاومة الحرارة: يعتمد على العزل (غالبًا ما يكون غير كاف) لمقاومة انتقال الحرارة من خلال مظروف خفيف الوزن.	تجنب الحرارة والتأخير: يستخدم كتلة حرارية عالية، وبياض عالٍ، والحد الأدنى من التهوية لمنع وإبطاء نقل الحرارة.	تعد استراتيجية المبنى التقليدي أكثر فاعلية؛ إذ تدير توقيت واتساع اكتساب الحرارة، وليس معدلها فحسب.
أداء السقف	سقف منخفض الأداء: بلاطة خرسانية قياسية تمتص الحرارة وتنقلها بسرعة.	سقف سلبي عالي الأداء: بياض عالٍ (الجير المطفي) وكتلة حرارية عالية (الأخشاب والرمل والجص).	السقف التقليدي هو نظام سلبي. السقف الحديث هو المصدر الأساسي لحمل الحراري، كما أكدت الدراسة العمانية.
أداء Fenestration	إشكالية Fenestration: تخلق النوافذ الكبيرة غير المظللة اكتسابًا هائلًا للحرارة الشمسية.	التظليل المدمج: النوافذ الصغيرة المريحة بعمق ذاتية التظليل.	يحل المبنى التقليدي مشكلة اكتساب حرارة النوافذ معماريًا. يخلق تصميم الفيلا الحديثة المشكلة، تتطلب أنظمة ميكانيكية لحلها.

9. تحقيق الاستدامة

تتحقق الاستدامة في هذا السياق من خلال عوامل عدَّة رئيسة، هي:

1- **كفاءة الطاقة:** من خلال تقليل الحاجة إلى التبريد الميكانيكي بشكل كبير، يقلل التصميم السلبي من استهلاك الطاقة التشغيلية وانبعاثات الكربون المرتبطة بها.

2- **كفاءة الموارد:** يقلل استخدام المواد والموارد الطبيعية، مثل الحجر الجيري والجير والرمل والأخشاب من الطاقة المتجسدة والكربون المرتبطين بنقل المواد.

3- **المتانة والمرونة:** يتميز الهيكل القوي عالي الكتلة بمرونة ومقاومة في وجه المناخ القاسي وله عمر طويل، هذا ما أثبتته هذه المباني العتيقة المعمِّرة.

4- **الصحة والرفاهية:** يحافظ المبنى على بيئة حرارية داخلية مستقرة ومريحة، مما يسهم بشكل مباشر في رفاهية الساكنين.

الاستنتاجات والتوصيات

الدرس الرئيس المستفاد من هذا التحليل هو أن العمارة الحضرمية التقليدية ليست من مخلفات الماضي، ولكنها نظام متطور للغاية ومدفوع بالأداء. بالإضافة إلى أنه

يـوفر بـديلًا مسـتدامًا ومثبتًـا لنمـاذج البنـاء الحديثـة السائدة، التي غالبًا ما تكون غير مناسبة مناخياً وكثيفة الاستخدام للموارد. بالنسبة لمستقبل البيئة المبنية في حضرموت، قد يكون المسار الأكثر ابتكارًا للمضي قُدمًا هو العودة إلى هذه المبادئ الأولى، التي تمَّ تكييفها لتناسب وقتنا الحاضر ومشاكل تغير المناخ والاحتباس الحراري.

ممَّا سبق نستخلص التوصيات الآتية:

1- الاستمرار في البحث العلمي واستخدام التكنولوجيا وبرامج المحاكاة لمعرفة الخصائص الفريدة والمميزة للعمارة التقليدية، واستكشاف أسرارها الثمينة وخصائصها وعناصرها المستدامة.

2- عمل كود خاص بالبناء التقليدي تتبنَّاه السلطات المحلية في حضرموت؛ للتعريف بخصائص هذا النهج وملاءمته لمناخ المنطقة وطبيعتها وظروفها.

3- المحافظة على المباني التقليدية في مدينة المكلا من خلال تبني السلطة أو المنظمات الدولية والمنظمات المجتمعية آلية لترميم هذه المباني والحفاظ عليها، التي بدأت عليها ملامح الإهمال، وتأهيل العمالة الماهرة لهذا الطراز التقليدي.

4- دمج الممارسات التقليدية المستدامة، مثل مواد البناء والتوجيه والعزل وغيرها في التصاميم الحديثة، والاستفادة من الموارد المحلية الغنية في المحافظة.

5- تعزيز الوعي المجتمعي عن العمارة التقليدية والمحافظة عليها، وأنها الرائدة والمناسبة للمناخات والبيئات الحضرمية.

المراجع:

1- التميمي، سليمان محمد، & المعلم، عادل عبد الله. (2025). حلول تصميمية تدعم استدامة العمارة الطينية في ظل التقلبات المناخية. المؤتمر العلمي الدولي الأول لجامعة سيئون، 1، 26.

2- حسين، فاطمة. (2018). تكاملية البناء بالطين والمعالجات التصميمية للفراغات الداخلية للمبنى. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، 3(2)، 495-508. https://doi.org/10.12816/0046901

3- شيبان، مشعل أحمد، & السقاف، محمد عبدالله. (2017). الخصائص الفيزوحرارية لمواد الباء الطينية المستخدمة في مباني مدينة شبام التاريخية وأثرها على توفير مرافق الراحة في تلك المباني. مجلة الاندلس للعلوم التطبيقية، 17(8).

4- شيبان، مشعل أحمد، & السقاف، محمد عبدالله. (2019). العمارة الطينية في وادي حضرموت. 16(1).

5- صديق، أميد جمعة. (2008). الاستدامة في العمارة المحلية— امكانية تطبيق مبادئ الاستدامة في المسكن المحلي. كلية الهندسة - جامعة السليمانية.

6- Abdallah، Mohamed Reda، Hassan، Hassan Ahmed، & al-Olofi، Ali Abbas. (2020). Traditional Yemeni Architecture and Its Impact on Energy Efficiency. International Journal of Engineering Research and Technology، 13(8)، 2014. https://doi.org/10.37624/IJERT/13.8.2020.2014-2022

7- Al-Saadi، Saleh N. J.، & Al-Jabri، Khalifa S. (2017). Energy-efficient envelope design for residential buildings: A case study in Oman. 2017 Smart City Symposium Prague (SCSP)، 1–8. https://doi.org/10.1109/SCSP.2017.7973853

8- Al-Zubaidi، Maha، & Shahin، Bahjat. (2005). Sustainability principals of traditional architecture in the Islamic perception. Baghdad: Faculty of Engineering–University of Baghdad.

9- Damlūji، Salma Samar. (2007). The Architecture of Yemen: From Yāfi to Hadramūt. Laurence King.

10-Farea، Tareq، Ossen، Dilshan، & Al-ameri، Adeb. (2012 نوفمبر)، Bridging Between Old & New 2012 TRANSFORMATION OF BIOCLIMATIC DESIGN STRATEGIES FROM OLD TO NEW VERNACULAR HOUSES IN WADI HADHRAMAUT، YEMEN \textbar Request PDF. Bridging Between Old & New 2012، Malaysia، Johor. https://doi.org/DOI:%252010.13140/2.1.1530.7524

11-U.S. Department of Energy. (2022). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022: Energy Savings Analysis [Technical Support Document]. Building Energy Codes Program. https://www.energycodes.gov/

Abbreviations List: **قائمة الإختصارات:**

ASHRAE	American Society of Heating، Refrigerating، and Air-Conditioning Engineers.
SHGC	Solar Heat Gain Coefficient.
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design.
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method.
HVAC	Heating، Ventilation، and Air Conditioning.
SRI	Solar Reflectance Index.
U-Value	Measures the Rate of Heat Transfer Through a Building Element.
WWR	Windows to Wall Ratio.
USGBC	U.S. Green Building Council.
EA	Energy and Atmosphere (LEED).
SS	Sustainable Sites (LEED).
MR	Materials and Resources (LEED).
Ene	Energy (BREEAM).
Hea	Health or Indoor Air Quality and Ventilation (BREEAM).
LE	Land Use or Site Selection (BREEAM).

Traditional Hadrami architecture: Sustainable authenticity in the face of climate change (A case study of a traditional building in the Al-Shaheed Khalid neighborhood, Al-Mukalla, Hadhramout, Yemen)

Wahib Salem Ghanem bin Silm **Adel Abdullah Al-Muallim**

Abstract

The pressing global demand for sustainable development, precipitated by environmental imbalances, has reinvigorated interest in local and traditional architectural practices. These architectural traditions have undergone a gradual evolution over the course of centuries, characterized by a constant process of empirical refinement and a profound comprehension of thermal regulation. The principles of passive environmental design, which are climate-sensitive and resource-efficient, have been meticulously developed in regions with extreme climates, such as the Hadhramaut coast in Yemen. The present study focused on a representative traditional building in Mukalla, a city characterized by high temperatures and humidity. The primary objective of this study was to transcend the conventional qualitative assessment paradigm and provide a quantitative evaluation of the building's thermal performance. Utilizing state-of-the-art solar analysis, precise measurements were obtained of the solar radiation affecting the building's surfaces, thereby providing empirical evidence of its climate-responsive design. The findings of this investigation were then utilized to draw parallels with performance standards delineated in contemporary green building standards, such as LEED and BREEAM. This approach serves to establish a nexus between time-honored principles and modern sustainability metrics, thereby facilitating a comprehensive understanding of the subject matter.

Keywords: traditional architecture, climate change, digital simulation, thermal load, international standards