النسيج الحضري للمدن الحضرمية التقليدية: إطار مستدام للتخطيط العمراني (مدينة المكلا القديمة حالة دراسية)

علوية عبدالله الجفري* عادل عبدالله المعلم**

الملخص

تواجه المدن المعاصرة تحديات حادة تتمثل في التماثل العمراني المتزايد وطمس الهوية المحلية، فضلًا عن عجزها عن تحقيق متطلبات الاستدامة الحضرية. في هذا الإطار، يكتسب التراث المعماري المحلي أهميةً كمنبع للحلول التصميمية المتوافقة بيئيًا والمتجذرة ثقافيًا. تسلط هذه الدراسة الضوء على السمات المميزة للهوية الحضرية الحضرمية؛ بوصفها إطارًا متكاملًا للاستدامة، مع التركيز على مدينة المكلا القديمة كحالة دراسيَّة؛ لكشف المبادئ التخطيطية والتصميمية التي أتاحت استمرارية هذا النموذج. اعتمد البحث منهجيةً تكاملية تجمع بين التحليل البنيوي للنسيج العمراني، والتقييم الكمي للأداء البيئي لمكوناته، من خلال العمل الميداني، وتوثيق الخصائص المعمارية، مدعومًا بمحاكاة رقمية متخصصة لقياس الكفاءة الحرارية والبيئية. تُظهر النتائج أن الممارسات التصميمية التقليدية، مثل استخدام مواد البناء ذات الموصلية الحرارية المنخفضة، وتشكيل الفراغات الضيقة لتحسين التهوية الطبيعية تمثل استراتيجيات مستدامة قابلة للتطبيق علميًا. وتؤكد الدراسة أن إحياء هذا النموذج التراثي ليس أداةً للحفاظ على الهوية فحسب، بل هو مدخلٌ لتعزيز مرونة المدن في مواجهة التحديات البيئية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: الاستدامة الحضرية، الهوية الحضرية الحضرمية، التراث العمراني، المحاكاة، المكلا القديمة.

المقدمة:

مدننا المعاصرة تشهد تحوُّلاتٍ حضريَّةً سريعة، ومع تشابه مبانيها ككتل خرسانية مبتذلة، فاقدة لأي ملمح من ملامح الهُوِيَّة المحليَّة، وعاجزة عن تحقيق أدنى صورة من صور الاستدامة؛ برزت أهمية العودة إلى التراث المحليّ، لاسيما إذا كان كتراثنا المعماري الحضرمي الغني بالتفاصيل والعناصر المعمارية، والذي يؤكد على دوره في الحفاظ على الهوية الثقافية للنسيج العمراني والحضري، ويضمن تحقيق استدامته على مر السنين، ومدينة المكلا القديمة خير مثال على ذلك.

تتكون هذه الورقة البحثية من أقسام عدَّةٍ رئيسة. يبدأ القسم الأول بتقديم عام للموضوع وأهميته. ويتناول القسم الثاني الإطار النظري والدراسات السابقة، بما في ذلك مفهوم الاستدامة في التخطيط العمراني، وتأثيرات الهوية المعمارية الحضرمية فيها. بعدها تم استعراض الدراسات السابقة والفجوة البحثية. يتبع ذلك القسم الرابع الذي يتناول المنهجية والإجراءات المتبعة في البحث. ثم يقدم القسم الخامس النتائج الرئيسة للدراسة. وأخيرًا، يقدم القسم السادس الاستنتاجات والتوصيات، ويختتم بقائمة المراجع المستخدمة في الورقة.

الهدف من الدراسة:

تهدف هذه الورقة البحثية التعرف على مفهوم الاستدامة في التخطيط العمراني والبيئة الحضرية، واستكشاف ملامح الهوية الحضرية الحضرمية المؤثرة والمحققة لاستدامة نسيج مدينة المكلا القديمة الحضري، من خلال تحليل استراتيجيات التصميم المعماري والتخطيط العمراني المتبعة في المنطقة. بناءً على تحليل الدراسات السابقة وتحديد الفجوة البحثية، مدعومًا بمحاكاة رقمية لتحليل الكفاءة

---

* باحثه.

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

الحرارية والبيئية لمكونات النسيج الحضري للمدينة. كما توصي الدراسة باستخدام هذا النوع من التحليل الكمي –المحاكاة الرقمية– في الدراسات المستقبلية المشابهة؛ لمواكبة التطور العلمي المتسارع، ورفع مستوى البيانات؛ للحصول على نتائج أكثر دقة وموثوقية تساعد على تقديم رؤى وتوصيات عملية تسهم في تعزيز التنمية المستدامة والحفاظ على التراث العمراني في حضرموت وما يشبهها من المناطق المجاورة.

الإطار النظري والدراسات السابقة

1. الاستدامة في التخطيط العمراني والبيئة الحضرية

بدأ مفهوم الاستدامة بالظهور في الأدبيات الأكاديمية خلال النصف الثاني من القرن العشرين مع اتساع النقاش عن آثار التوسع العمراني والصناعي في البيئة. وقد عرّف روزنباوم (1993)، كما ورد في (الديوجي وآخرون، 2013) الاستدامة بأنها قدرة البيئة على احتواء تأثيرات النشاط البشري فيها والمحافظة على استمرار عملياتها الطبيعية، بحيث تتكامل في ذلك عناصر الموقع والتربة والمواد الطبيعية ومصادر الطاقة والمياه. أما ميلر (2001)، كما ورد في (الديوجي وآخرون، 2013) فقد ركز على قدرة النظام على البقاء والفعالية لأجلٍ غير محدود، مع الاكتفاء باحتياجاته من دون استنزاف موارد الأجيال المقبلة، وهو ما يعكس البعد الأخلاقي والإنساني في المفهوم.

من خلال هذه الأطروحات، يمكن صياغة تعريف مركب للاستدامة بأنَّها قدرة النظم البيئية والعمرانية على تلبية احتياجات الحاضر بكفاءة من دون الإضرار بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، وذلك عبر المحافظة على الموارد وتقليل الأثر السلبي للنشاط البشري، وضمان استمرارية العمليات البيئية والاجتماعية والاقتصادية ضمن إطار متكامل للتنمية.

وعندما يُترجم هذا المفهوم إلى التخطيط العمراني، تصبح الاستدامة عملية استراتيجية وتصميمية تُطبق في الفضاء الحضري بهدف تحسين نوعية الحياة الحالية، مع ضمان قدرة المدينة على الاستجابة لاحتياجات المستقبل. وقد أشار رابابورت (1969)، كما ورد في (الديوجي وآخرون، 2013) إلى أن مظاهر الاستدامة ليست جديدة، بل وجدت بشكل طبيعي في التجارب العمرانية التقليدية التي تفاعلت مع المناخ المحلي واحترمت القيم الاجتماعية والدينية. وهنا يبرز مفهوم "الشكل الحضري المستدام" الذي طوَّره عدد من الباحثين منهم (Frey، 1999)، والقائم على مبادئ أساسية أهمُّها سهولة الوصول، تقليل المسافات، ودمج الوظائف. أما بارتون (2002)، كما ورد في (الديوجي وآخرون، 2013) فقد أضاف عناصر أخرى، مثل تعزيز الاكتفاء الذاتي، وتحقيق التوازن بين الأبعاد الاجتماعية والبيئية، وتصميم منظومات حركة متكاملة.

إذن، التخطيط العمراني المستدام ليس مجرد ممارسة تقنية، بل هو رؤية شموليَّة تسعى لتحقيق العدالة الاجتماعية، والحفاظ على الهوية مع إدارة رشيدة للموارد، وهو ما يجعل المدن المستدامة فضاءات متوازنة للعيش والعمل والإبداع (لعلام، 2021).

2. الأبعاد الحضرية للاستدامة

أعاد تقرير برونتلاند "مستقبلنا المشترك WCED"، (1987) صياغة مفهوم التنمية عبر تعريفها بأنها التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر من دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها الخاصة. هذا التعريف أصبح أساسًا للتنمية المستدامة في مختلف المجالات، بما فيها المجال الحضري (WCED، 1987). في سياق المدن، برزت التنمية الحضرية المستدامة كأداة لتحقيق التوازن بين ثلاثة أبعاد رئيسة، هي: البعد البيئي، يهدف إلى تقليل

الاعتماد على الموارد النادرة والحد من التلوث وتعزيز إعادة التدوير وتبني الطاقة المتجددة. والبعد الاجتماعي، يركز على تحسين نوعية الحياة من خلال نظم حضرية طويلة العمر وتعزيز العدالة الاجتماعية والاكتفاء الذاتي مع احترام القدرة الاستيعابية للمدينة. أمَّا البعد الاقتصادي فيعتمد على سياسات تحقق العدالة في توزيع الفرص والخدمات عبر شراكة فاعلة بين الدولة والقطاع الخاص والمجتمع المدني (الانباري & عبدالمجيد، 2016). هذا التوازن الثلاثي يعكس جوهر التنمية الحضرية المستدامة؛ إذ تكون المدينة كيانًا أكثر مرونة وكفاءة وشمولية، قادرًا على التكيُّف مع التحوُّلات، وضمان استمرارية الحياة بكفاءة عالية.

3. تحديات الاستدامة في المدن المعاصرة

رغم وضوح مبادئ الاستدامة، لكن تطبيقها في المدن يواجه صعوبات متشابكة. أشار (Keivani، 2009) إلى أن القرن الحالي أصبح قرنًا حضريًا متميزًا؛ إذ يعيش أكثر من نصف سكان العالم في المدن، وهذه المدن تستهلك الجزء الأكبر من الموارد، وتنتج أكثر الانبعاثات الملوَّث. صنَّف (الغراب، 2019) التحديات إلى سبعة محاور مترابطة: بيئية، تتمثل في تغير المناخ وندرة الموارد، واقتصادية، في تباطؤ النمو وقلة الاستثمارات، واجتماعية، في الفقر والأمية والتفاوت، وعمرانية، في التوسُّع غير المنظم وظهور العشوائيات، إضافة إلى تحديات تكنولوجية، تتمثل في ضعف الوصول إلى تقنيات نظيفة، وسياسية وإدارية، ناتجة عن النزاعات وضعف التشريعات، فضلًا عن محدودية الوعي المجتمعي والرسمي بأهمية الاستدامة.

هذه التحديات متداخلة وليست معزولة، فهي يغذي بعضها بعضًا. فالعشوائيات مثلًا تزيد من التلوث وتضعف البنية التحتية، في حين يعرقل الفقر تبني تقنيات حديثة، وغياب الإدارة الفعالة يعيق أي إصلاح. ومن هنا تبرز الحاجة إلى مقاربات بديلة تُستَلهَم من الهوية المحلية لتقديم حلول أكثر تكيفًا مع الواقع.

4. الهوية المعمارية والتراث في السياق الحضري

الهوية المعمارية تشكل جانبًا جوهريًا من الهوية الحضرية، فهي انعكاس لطريقة عيش المجتمع وقيمه ومعتقداته (أبو غزالة، 2016)، فالمدينة ليست مجرد مبانٍ، بل بيئة ثقافية تُجسد الذاكرة الجمعية للسكان. وفي السياق العربي، استندت الهوية العمرانية على الدين واللغة والتقاليد، مما منحها خصوصية وقدرة على التكيف (الفلاحي، 2020). التراث العمراني من جانبه لا يمثل مجرد مبانٍ قديمة، بل هو سِجِلٌّ حَيٌّ للتجارب التي طوَّرتْ حلولًا بيئية واجتماعية مستدامة، مثل الأزقة الضيّقة، التي توفّر التهوية والظل، والمشربيَّات، التي تحقق الخصوصية وتلطيف المناخ، ومواد البناء المحلية، التي وفَّرت بدائل فعالة وبيئية. ومع ذلك، فإنَّ العولمة أدَّتْ إلى حالة من التماثل العمراني وفقدان الهُوِيَّة؛ إذْ طغت أنماط معمارية مستوردة لا تعكس البيئة أو الثقافة المحلية (أبو غزالة، 2016؛ الفلاحي، 2020). الحل لا يكمن فقط في الترميم، بل في إعادة توظيف عناصر التراث بشكل معاصر يحقق الاستدامة، بحيث تظل الهوية جزءًا حَيًّا في الحاضر بدل من أن تكون مجرَّد ماضٍ محفوظ في الذاكرة.

5. الهوية المعمارية الحضرمية (مدينة المكلا القديمة)

تمثل المكلا نموذجًا بارزًا لهوية معمارية حضرمية متفردة، حيث تفاعلت مع البيئة الساحلية والجبلية في آن واحد، فشكلت مبانيها خطَّ أُفُقٍ منسجمًا مع التضاريس (قناة بلقيس الفضائية، 2023) استخدمت مواد محلية مثل الحجر والطين والجير والخشب، الأمر الذي وفَّر استدامة بيئية قبل ظهور المفهوم الحديث

(جوهر، 2016). كما تأثرت بالفنون القادمة من الهند وشرق آسيا، وهو ما يظهر في الأبواب والنوافذ والزخارف. العوامل الاجتماعية والاقتصادية أدَّتْ دورًا مهمًّا؛ إذ شكلت التجارة والصيد بنية الفضاءات، فجُعلت الأدوار الأرضية للتخزين والأنشطة التجارية، في حين خُصِّصت الأدوار العليا للسكن (جوهر، 2016). كما حافظت العمارة على الخصوصية الإسلامية من خلال المشربيات والتقسيم الداخلي المتدرج من العام إلى الخاص (Al-Sabahi، 2005). استراتيجيات التخطيط في المكلا القديمة اعتمدتْ على النُّمُوِّ العُضويِّ الذي راعى الطبوغرافيا، والتضامَّ العمرانيَّ الذي وفَّر الظِلَّ وخفَّف الحرارة وعزَّز الروابط الاجتماعية، إضافة إلى استغلال الفضاءات العامة كساحات متعددة الاستخدام. أما استراتيجيات التصميم فتمثلت في التهوية الطبيعية عبر المناور وتوجيه المباني، وفي استخدام المشربيات والنوافذ كمصدر تهوية وظلال وإضاءة منتشرة، فضلًا عن اعتماد المواد المحلية التي أثبتت كفاءة عالية في العزل الحراري والمواءمة مع البيئة (جوهر، 2016؛ قناة بلقيس الفضائية، 2023). هذا كله يكشف عن أنَّ العمارة التقليدية في المكلا لمْ تكن مجرَّد استجابة آنية، بل هي نظام متكامل يحقق الاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية.

يظهر من هذا العرض أن الاستدامة في التخطيط العمرانيّ رؤية شاملة تتكامل فيها الأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية، وأن التحديات المعاصرة تفرض البحث عن نماذج بديلة تتجاوز الحلول المستوردة. وفي هذا السياق، تقدم الهوية المعمارية والتراث العمراني في المكلا نموذجًا جديرًا بالاهتمام؛ إذ تكاملت فيه الاستجابة للبيئة، مع الحفاظ على القيم الاجتماعية والثقافية. إن دراسة هذا التراث لا تمثل استدعاءً للماضي فحسب، بل توفر إطارًا عمليًا لإعادة إنتاج مبادئ الاستدامة في الحاضر والمستقبل، وبذلك تصبح المكلا مثالًا حيًّا على أنَّ المدن التقليدية يمكن أن تُلهَم سياسات حضرية أكثر وعيًا واستدامة.

الدراسات السابقة:

تناولت عدد من الدراسات قضايا الهوية المعمارية والاستدامة الحضرية في المدن اليمنية والعربية، مع تركيز خاص على مدينة المكلا القديمة وشبام حضرموت. فقد قدّم باراشد (Barashed، 2006) دراسة تطبيقية عن تطوير الجزء القديم من المكلا (حيّي السلام والسعّادين)، عالج فيها المشكلات الحضرية الناتجة عن التوسع العمراني، واقترح حلولًا تخطيطية تراعي الحفاظ على الهوية العمرانية مع تلبية متطلبات التطوير. في الاتجاه ذاته. وركّز (السقاف وآخرون، 2016)على السمات الأسلوبية والمعمارية لواجهات المباني في الأحياء القديمة بالمكلا، موضحين كيف تعكس العناصر الزخرفية والمواد المحلية الهوية المعمارية الحضرمية. كما بحث السقاف (Al-Sakkaf، 2025) في جدوى استخدام مواد البناء التراثية في حضرموت ونجران، وأثبت أن الطين والحجر والخشب تملك كفاءة بيئية وحرارية تتفوق على بعض المواد الحديثة. وفي السياق التاريخي، استعرض النهمي (Alnehmi، 2024) مبادئ الاستدامة في العمارة اليمنية القديمة (السبئية والحميرية)، مثل اختيار الموقع والمواد المحلية، مؤكّدًا إمكانية استلهامها في تخطيط عمراني معاصر. إلى جانب ذلك تفتح دراسات مقارنة أخرى آفاقًا لفهمٍ أوسعَ؛ إذ أشار شحاتة (Shehata، 2023) إلى إمكان دمج الواجهات التاريخية للمراكز الحضرية ضمن منظومات بيئية مستدامة.

يتضح من هذه الدراسات أن الهوية المعمارية الحضرمية تمثل رافدًا مهمًّا للاستدامة الحضرية، سواء

من خلال عناصر التصميم التقليدي أو من خلال استراتيجيات التخطيط العمراني، وهو ما يدعم التوجه نحو إحياء التراث كإطار متكامل للتنمية المستدامة في حضرموت والمناطق المشابهة.

أهمية الدراسة:

رغم وفرة الدراسات التي تناولت الهوية المعمارية والتراث العمراني في حضرموت واليمن عمومًا ركَّز أكثرُها على تحليل وصفي للعناصر المعمارية أو التخطيطية كما ذكر سابقًا، مثل دراسة باراشد (Barashed، 2006) عن تطوير أحياء المكلا القديمة، ودراسة (السقاف وآخرون، 2016) عن واجهات المباني، ودراسة بن ثابت (Binthabet، 2007) التي تمحورت في الفضاءات الداخلية والإدراك المعماري. كما ركّزت أبحاث أخرى على المواد المحلية (Al-Sakkaf، 2025)، أو على الجذور التاريخية لمبادئ الاستدامة (Alnehmi، 2024).

ومع ذلك، تُظهر مراجعة هذه الدراسات وغيرها وجود فجوة واضحة تتعلق بـ:

- غياب التقييم الكمي للأداء البيئي للنسيج العمراني التقليدي في المكلا؛ إذ كان أكثر الاهتمام منصبًّا على الجانب الجمالي والتاريخي من دون اختبار علمي دقيق لكفاءته الحرارية.
- نقص الدراسات المتكاملة التي تربط بين التحليل المعماري/ العمراني من جهة، ونتائج المحاكاة الرقمية والأدوات العلمية من جهة أخرى، بما يسمح بتوثيق جدوى الحلول التراثية كخيارات تصميمية مستدامة.
- محدودية الدراسات التطبيقية التي تقدّم توصيات عملية لدمج الهوية المعمارية الحضرمية ضمن سياسات واستراتيجيات التنمية الحضرية المعاصرة.

وعليه، تسعى هذه الدراسة إلى سد هذه الفجوة من خلال تحليل بنيوي للنسيج العمراني للمكلا القديمة، مدعومًا بمحاكاة رقمية لقياس الكفاءة الحرارية والبيئية لمكوناته. وبذلك تقدم الدراسة منظورًا جديدًا يربط بين الهوية التراثية والاستدامة العلمية، لا بوصفها موروثًا تاريخيًا فحسب، بل كإطار عملي لتعزيز مرونة المدن اليمنية في مواجهة التحديات البيئية المستقبلية.

المنهجية والإجراءات:

اعتمدت هذه الدراسة منهجية تكاملية تهدف إلى الجمع بين التحليل الوصفي للنسيج العمراني والتقييم البيئي الكمي عبر أدوات المحاكاة الرقمية. وقد تم تنفيذ البحث وفق المراحل الآتية:

1. التحليل البنيوي للنسيج العمراني

تم تحليل النسيج الحضري للمنطقة المدروسة بالاعتماد على بيانات رقمية متاحة؛ إذ تمَّ استخدام صور Google Earth لملاحظة توزيع المباني والشوارع والفراغات المفتوحة، كما تمَّت الاستعانة بـ نماذج ثلاثية الأبعاد من النسخة المرخصة من برنامج (**Forma Autodesk** برنامج مخصص لمراحل التصميم المبدئية والتخطيط المعماري والعمراني، ويوفر مجموعة أدوات تحليلية فورية) لتقدير ارتفاعات الكتل البنائية، وتأثير التضاريس على النمط العمراني. ويستند التحليل بشكل رئيس إلى ملاحظة الأنماط العامة للفراغات والمباني والشوارع، مع الإشارة إلى أن **النتائج تقريبية** وتعكس الاتجاهات العامة للنسيج الحضري **من دون التركيز على تفاصيل دقيقة لكل مبنى أو ارتفاع**، ومقارنتها مع متطلبات معايير التنمية المستدامة العالمية الأشهر والمتخصصة في هذا المجال، مثل **LEED** و**BREEAM**.

2. النمذجة الرقمية

اعتمد البحث على النمذجة الرقمية بوصفها أداة رئيسة لتمثيل النسيج العمراني لمدينة المكلا القديمة وإخضاعه للتحليل البيئي. وقد جرى تطوير نموذج ثلاثي الأبعاد بمستوى كتلي (Massing Model)

يركز على الخصائص المورفولوجية الكبرى، مثل: **ارتفاعات المباني، أنماط التراص، وعلاقات الفراغات الحضرية بالشوارع والأزقة.**

3. المحاكـــاة والتحليـــل البيئـــي باســـتخدام Autodesk Forma

شكلت مرحلة المحاكاة الرقمية عبر منصة Autodesk Forma الركيزة العملية الأساسية في الدراسة؛ إذ مكنت من اختبار أداء النسيج العمراني التقليدي لمدينة المكلا القديمة في ظل الظروف البيئية الواقعية بشكل دقيق وكمي. وقد تم رفع النموذج الثلاثي الأبعاد للنسيج الحضري إلى البرنامج لتقييم الفعالية البيئية للخصائص التخطيطية والمعمارية.

4. جغرافية الحالة الدراسية ومناخها

4.1.الإحداثيات والمعلومات المناخية للمكلا

تقع مدينة المكلا، بما في ذلك حي الشهيد خالد موضوع الدراسة، جغرافيًا على خط عرض حوالي 14.5درجة شمالًا وخط طول حوالي 49.2 درجة شرقًا، مما يضعها ضمن النطاق الساحلي المطل على بحر العرب. هذا الموقع الساحلي يمنح المدينة مناخًا حارًّا ورطبًا صيفًا، مع درجات حرارة متوسطة تقترب من 28 – 30 درجة مئوية في مدار العام، مما يبرر الحاجة الملحَّة لحلول التبريد السلبي التي يوفرها النسيج العمراني التقليدي. إن التأثير المباشر للبحر يجعل المدينة عرضةً لرياحٍ قويَّة، وهو ما يجعل النسيج العمراني الكثيف ضروريًا لغرضين أساسيين متعلقين بالراحة الحرارية: تخفيف الرياح إلى مستويات مريحة للمشاة (كما ظهر في تحليل الراحة)، والتحكم في التظليل المتبادل لمواجهة شدة أشعة الشمس المباشرة.

4.2. حي الشهيد خالد

يتمتع حي الشهيد خالد، المعروف تاريخيًا باسم "**البلاد**" في المكلا القديمة (محافظة حضرموت) (شكل 1)، بموقع جغرافي ساحلي حرج؛ كونه يقع في لسان بارز ومباشر على بحر العرب، مما يجعله عرضة لتأثيرات المناخ الساحلي، الذي يتَّسم بالحرارة والرطوبة صيفًا والاعتدال شتاءً. هذا الموقع الساحلي، إلى جانب وجود الجبال متوسطة الارتفاع المحيطة بالمدينة، يحدد نمط تدفق الرياح البحرية القوية، التي يجب التحكم فيها وتخفيفها داخل النسيج العمراني. وقد نشأ الحي، كأحد أقدم أحياء المكلا، بطابع عمراني تقليدي كثيف (مبانٍ حجرية متقاربة)، حيث كان هذا التخطيط الكثيف استجابةً بيولوجيةً مناخيَّةً أساسيَّةً للمناخ الحار والرطب؛ إذ يوفر التظليل المتبادل والتحكُّم في سرعة الرياح ضمان الراحة الحرارية للسكان.

شكل 1: حي الشهيد خالد بمدينة المكلا (Google Earth)

التصميم التوليدي Generative Design

أدت المتطلبات المتزايدة للتنمية الحضرية والتوقعات ببيئات سكنية مستدامة وصالحة للعيش إلى تكثيف الضغوط على عمليات التصميم المعماري. غالبًا ما تتضمن المراحل المفاهيمية المبكرة للمشاريع السكنية دراسات متكررة عن الكتلة، وتكوينات تخطيط الوحدات (Edocia وآخرون، 2025). استجابةً لذلك، اكتسبت مناهج التصميم التوليدي أهمية بسبب قدرتها على أتمتة إنشاء التصميم وتقييمه، مما أدى إلى توسيع إمكانيات التصميم، وكذلك أيضًا إمكانية تحليل الحلول البنائية الموجودة مسبقًا وتقويمها (كتقييم التصميمات والحلول المعمارية التقليدية)، والاستفادة منها لوضع استراتيجية تصميم مستقبلية بكفاءة ومرونة أكبر. اقتُرح استخدام التصميم التوليدي كنهج جديد يتيح للمصمِّمين الاستفادة من القدرات الحسابية للكمبيوتر في استكشاف بدائل التصميم (Mukkavaara & Sandberg، 2020).

استخدام أداة Autodesk Forma للتحليل البيئي

يُعد استخدام أداة **Autodesk Forma** لإجراء التحليل البيئي على نموذج البحث أمرًا بالغ الأهميَّة؛ نظرًا لقدرتها على توفير محاكاة بيئية سريعة ودقيقة في المراحل الأولية للتصميم والتخطيط الحضري. واحدة من أهم مزايا الأداة تتمثل في التمكين من تقييم الأداء البيئي للنسيج العمراني التقليدي بفعالية من خلال إجراء محاكاة لسيناريوهات متعددة –كالرياح، الشمس، والإضاءة الطبيعية– على مستوى الكتلة العمرانية بأكملها، وليس مجرَّد مبنى واحد. هذا المنهج كان ضروريًا لدراسة تأثير التفاعل المتبادل بين الكتل المتقاربة في النسيج التقليدي وكيفية إسهامه في التبريد السلبي (Passive Cooling). وتكمن ميزة Forma الرئيسة في توفير مقاييس كمية (مثل ساعات الشمس ومقياس راحة الرياح) تتوافق مباشرة مع متطلبات التوثيق في معايير الاستدامة العالمية، مثل **LEED وBREEAM**، مما يربط بين التصميم التقليدي والتحليل البيئي الكمي الحديث، بالإضافة إلى ارتباط الأداة بقاعدة بيانات واسعة وموثوقة توفرها شركة Autodesk المعروفة والمتخصصة في المجالات الهندسية المختلفة (Høiby & Walmsley، 2024; Loftus & Irgens، 2023).

المقارنة المنهجية للنسيج الحضري التقليدي مع معايير الاستدامة العالمية

إن استخدام المقارنة بين الأداء البيئي والراحة الحرارية للنسيج الحضري التقليدي ومتطلبات المعايير العالمية كـ LEED وBREEAM يُعد منهجية حاسمة لسببين أساسيين: أولهما، توفر هذه المعايير إطارًا كميًا ومعياريًا معترفًا به دوليًا لتقييم كفاءة المباني والأحياء، مما يسمح بتحويل الخصائص النوعية للتخطيط التقليدي (مثل التظليل المتبادل والفتحات المدروسة) إلى بيانات أداء قابلة للقياس (كخفض الأحمال الحرارية أو تقليل ظاهرة الجزر الحرارية). والثاني، تهدف المقارنة إلى إثبات أن النسيج التقليدي يمثل حلولًا سلبية (Passive Solutions) واستراتيجيات بيولوجية مناخية أصيلة كانت تُمارَسُ تاريخيًا لضمان الاستدامة والراحة الحرارية. هذا الإثبات يعزز فكرة أنَّ التصميم الحضري المستدام ليس مجرد مجموعة من التقنيات الحديثة، بل هو أيضًا إحياءٌ للأنماط التخطيطية الفعَّالة مناخيًا، مما يدعو إلى دمج هذه الدروس التقليدية في المخططات الحضرية المعاصرة لخفض الاعتماد على التبريد الميكانيكي وتحسين جودة الحياة في المناخات الحارة (Hyde، 2007).

1. المعايير العالمية للاستدامة الحضرية LEED وBREEAM

1.1.معيار LEED

يُعد LEED (الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة Leadership in Energy and Environmental Design) إطار عملٍ أمريكيَّ المنشأ، طوَّره المجلس الأمريكي للمباني الخضراء (USGBC)، وهو النظام الأكثر انتشارًا عالميًا لتقييم المباني والمجتمعات الخضراء واعتمادها (U.S. Green Building Council، 2018). يركز هذا المعيار بشكل أساسي على ستِّ فئات رئيسةٍ لتحقيق الاستدامة، تشمل كفاءة الطاقة، والاستخدام الرشيد للمياه، واختيار المواد، وتصميم المواقع المستدامة، وخصوصًا جودة البيئة الداخلية (IEQ). يهدف LEED إلى توثيق المباني التي تحقق أداءً بيئيًا عاليًا، ويتبنى استراتيجيات لخفض التكاليف التشغيلية وتقليل البصمة البيئية، مما يجعله الأداة المرجعية لتقييم الأداء البيئي للنسيج الحضري التقليدي (Diaz-Sarachaga وآخرون، 2016 ;، Szibbo2018).

1.2. معيار BREEAM

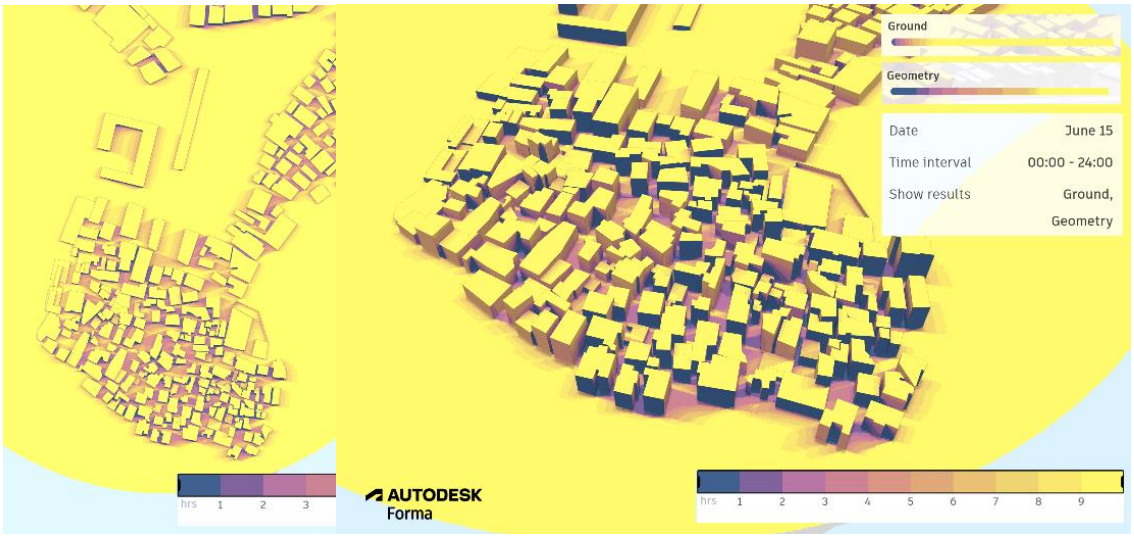
يُعَدُّ BREEAM (طريقة تقييم البيئة ومؤسسة أبحاث البناء – Building Research Establishment Environmental Assessment Method) أقدم معيار عالمي لتقييم الاستدامة، وقد نشأ في المملكة المتحدة (Building Research Establishment، 2017). يتميز BREEAM بنهج شامل ومتكامل؛ إذ يغطي عشر فئات رئيسة لتقييم الأداء، بما في ذلك مجالات تخصصية، مثل الإدارة، الصحَّة، والرفاهية، الطاقة، المياه، استخدام الأراضي والبيئة، والتلوث. يركز هذا النظام بشدة على تحقيق الراحة الحرارية الخارجية، وجودة الإضاءة النهارية ضمن فئة الصحة والرفاهية، مما يجعله مناسبًا بشكل خاص لتقييم الاستراتيجيات البيولوجية المناخية المدمجة في النسيج العمراني التقليدي، مثل التظليل والتحكم في الرياح.

تحليل النتائج

1. تحليل ساعات الشمس Sun Hours Analysis

يُظهر التحليل في الصورة (شكل 2) المرفقة (بتاريخ 15 يونيو، وهو قريب من الانقلاب الصيفي):

- **الأسطح (Roofs):** تظهر باللون الأصفر الفاتح/ الأبيض (9 ساعات تقريبًا)، مما يدل على تعرض عالٍ جدًا ومباشر للشمس.
- **الواجهات والممرات:** تظهر معظم الواجهات في الأجزاء الكثيفة من النسيج العمراني باللون الداكن (البنفسجي/ الأزرق)، في حين تظهر الممرات بين المباني باللون البنفسجي أو الباهت.
- **دلالة النسيج العمراني:** هذا التباين يثبت أن النسيج العمراني التقليدي الكثيف فعَّال لتحقيق التظليل المتبادل **(Self-Shading)** للممرات والواجهات السفلية. هذا التظليل يقلل من اكتساب الحرارة الشمسي **(Solar Gain)** على مستوى المشاة ومستوى الطوابق الأرضية.



شكل 2: تحليل ساعات الشمس Sun Hours Analysis – (Autodesk Forma)

1.1.التوافق مع المؤشرات العالمية

يتوافق النمط التصميمي التقليدي، المدعوم بتحليل "ساعات الشمس"، بشكل قوي مع أهداف الاستدامة في المعايرين، خاصة في فئتي الطاقة والموقع (جدول 1):

جدول 1: مقارنة تحليل ساعات الشمس للنسيج التقليدي مع متطلبات المؤشرات والمعايير – (الباحث).

المعيار	الهدف من المؤشر	توافق التحليل والخصائص التقليدية
LEED	تقليل الجزر الحرارية (SS Credit - Heat Island Reduction)	**توافق عالٍ:** النسيج العمراني الكثيف يحقق تظليلاً للممرات والأرضيات (انخفاض ساعات الشمس)، مما يقلل من امتصاص الأسفلت والخرسانة للحرارة. كما أن استخدام اللون الأبيض في طلاء المنازل ومادة الجير العازلة على الأسطح يدعم بشكل مباشر متطلب الانعكاسية الشمسية العالية (High SRI)، وهو شرط أساسي لتقليل الجزر الحرارية.
LEED	كفاءة الطاقة (EA Prerequisite/Credit)	**توافق عالٍ:** التظليل المتبادل للواجهات (لون بنفسجي/ أزرق) يقلل من اكتساب الحرارة الشمسية للمباني. هذا يقلل من الحمل الحراري للتبريد، مما يدعم هدف كفاءة الطاقة في LEED ويقلل من استهلاك الطاقة الميكانيكية.
BREEAM	الحد من التلوث والتحمل البيئي (Pol 01، Pol 03)	**توافق داعم:** يساعد التخفيف من الجزر الحرارية (عبر التظليل والانعكاسية العالية) على خفض درجات الحرارة الإجمالية، مما يسهم في بيئة حضرية أكثر تحمُّلًا وتقليل الحاجة إلى التبريد المفرط المولد للتلوث.
BREEAM	الموقع وراحة المستخدم الخارجي (Ext. Amenity)	**توافق عالٍ:** انخفاض ساعات الشمس في الممرات يعني تحسُّن الراحة الحرارية الخارجية للمشاة والسكان خلال الصيف، وهو هدف مباشر في BREEAM يسهم في صحة ورفاهية المستخدمين.

يُظهر التحليل البيئي للنسيج العمراني التقليدي، المعتمد على الأدوات والخصائص المادية المحلية، توافقًا أصيلًا وممتازًا مع متطلبات الاستدامة العالمية، وتحديدًا معايير LEED وBREEAM المتعلقة بكفاءة الطاقة والراحة الحرارية الخارجية وتقليل ظاهرة الجزر الحرارية. وتؤكد النتائج أن النسيج العمراني الكثيف يمثل استراتيجية بيولوجية مناخية سلبية (Passive Bioclimatic Strategy) عالية الفعالية، حيث نجح التصميم التقليدي في دمج التظليل الطبيعي المتبادل كعنصر أساسي ومجَّاني لتحقيق الراحة الحرارية المطلوبة. إضافة إلى الاستراتيجية التخطيطية، فإن استخدام المواد والتقنيات المحلية يعزز من هذا التوافق؛ إذ يسهم توظيف الأحجار والأخشاب المحلية في تقليل الطاقة المجسدة (Embodied Energy) للمباني والحد من الانبعاثات المرتبطة بالنقل. كما يوفر استخدام الجير الأبيض العازل انعكاسية شمسية عالية (High Albedo) للأسطح، مما يقلل بشكل فعال امتصاص الحرارة، وبالتالي يخفف من الحمل الحراري على المباني والممرات، وهو ما ينسجم مع متطلبات الأنظمة الحديثة لتعزيز استدامة العيش.

2. تحليل الطاقة الشمسية Solar Analysis

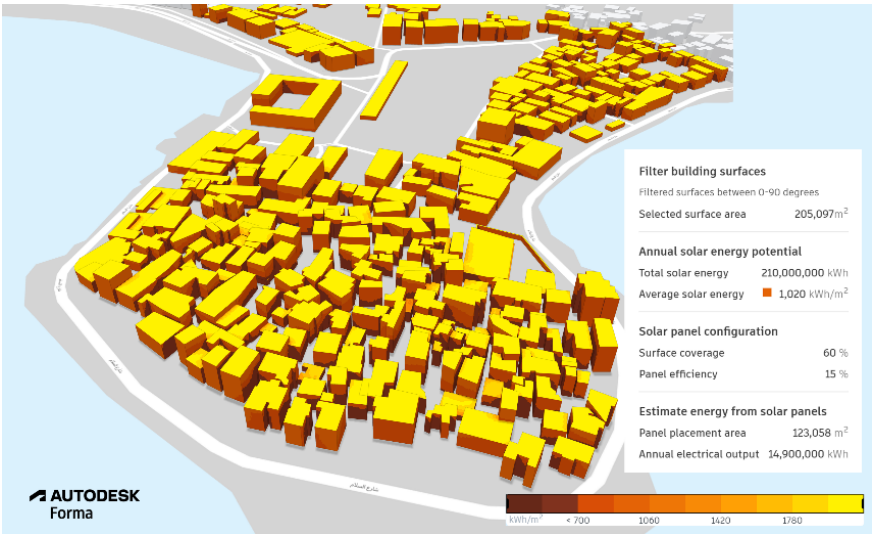
تُظهر الصورة (شكل 3) المرفقة نتيجتين رئيسيتن لتحليل الطاقة الشمسية:

1. إمكانية توليد الطاقة الشمسية السنوية (Annual Solar Energy Potential):

- **القيمة الكلية (Total Solar Energy):** **211,093,000 kWh** (قراءة عالية جدًا تشير إلى موقع مشمس).
- **متوسط الطاقة الشمسية (Average Solar Energy):** **1,085 kWh/m²** (قيمة ممتازة لمشاريع الطاقة الشمسية).
- **مخرج الطاقة الكهربائية المقدرة (Maximum Electrical Output):** **34,901,000 kWh** (يشير إلى قدرة عالية على توليد الكهرباء إذا تم تركيب الألواح).

2. التوزيع المرئي للحمل الحراري الشمسي:

- **الأسطح (Roofs):** تظهر أكثرُ الأسطح باللون الأصفر الفاتح إلى البرتقالي، مما يعني تعرُّضًا عاليًا لأشعة الشمس وكفاءة ممتازة لتركيب الألواح الكهروضوئية (PV).
- **الواجهات الرأسية (Facades):** تظهر الواجهات التي تواجه الجنوب (في النصف الشمالي من الكرة الأرضية) باللون البرتقالي/ الأصفر، في حين تظهر الواجهات في المناطق الكثيفة باللون الأدكن (البرتقالي المحمر)، مما يدل على تخفيف جزئي للتعرض الشمسي (انخفاض الحمل الحراري) بسبب التظليل المتبادل بين المباني المتقاربة.



شكل 3: تحليل الطاقة الشمسية Solar Analysis – (Autodesk Forma)

2.1.التوافق مع المؤشرات العالمية

يتوافق النسيج العمراني التقليدي، كما يظهره التحليل وخصائص المواد، بشكل قوي مع متطلبات الاستدامة في فئتي الطاقة والموقع (جدول 2 جدول 3):

2.2.فئة الطاقة (Energy & Atmosphere - EA)

جدول 2: مقارنة الطاقة للنسيج التقليدي مع متطلبات المؤشرات والمعايير – (الباحث)

المتطلب	LEED (الطاقة المتجددة)	BREEAM (انبعاثات الكربون / الطاقة)
دعم التحليل	**توافق مباشر وممتاز**: تظهر القراءة السنوية 34، 901، 000 kWh دليلًا كميًا على الإمكانات الهائلة للطاقة الشمسية في الموقع. هذا يدعم بشكل مباشر الحصول على أقصى النقاط في معيار "الطاقة المتجددة في الموقع" (On-Site Renewable Energy) في LEED.	**توافق قوي**: يؤكد التحليل أن المشروع يمكن أن يعتمد بشكل كبير على الطاقة النظيفة لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وهو الهدف الأساسي لمعايير BREEAM.
دور النسيج والمواد	**تقليل الحمل الحراري**: النسيج الكثيف يقلل من اكتساب الحرارة على الواجهات (يقلل من اللون البرتقالي عليها). استخدام الجير الأبيض على الأسطح يعزز من الانعكاسية الشمسية (High Albedo)، مما يقلل درجة حرارة السطح ويخفض الحمل الحراري على المبنى، مما يدعم معيار كفاءة الطاقة المحسنة في LEED.	

2.3.فئة الموقع والصحة (Sustainable Sites / Health & Wellbeing)

جدول 3: مقارنة الموقع والصحة للنسيج التقليدي مع متطلبات المؤشرات والمعايير – (الباحث)

المتطلب	LEED (تقليل الجزر الحرارية)	BREEAM (الراحة الخارجية)
دعم التحليل	**توافق عالٍ:** النسيج العمراني التقليدي الكثيف يحقق التظليل المتبادل للممرات والمساحات الخارجية. هذا التظليل، إضافة إلى استخدام اللون الأبيض في الطلاء والجير الأبيض العازل، يقلل بفعالية امتصاص الحرارة، مما يسهم في تقليل تأثير الجزر الحرارية الحضرية (UHI).	**توافق قوي:** التظليل المتبادل يقلل من التعرض الشمسي المباشر في الممرات، مما يحسن الراحة الحرارية للمشاة في أشهر الصيف الحارة، وهو أمر أساسي لتحقيق متطلبات الراحة الخارجية في BREEAM.
دور النسيج والمواد	**التعرض الشمسي:** على الرغم من التعرض الشمسي المرتفع على الأسطح (مما يزيد من إمكانية PV)، تعمل الخصائص المادية (الجير الأبيض) كآلية دفاعية لتقليل امتصاص الحرارة، وتحويلها إلى حمل حراري، وهو ما يتوافق مع استراتيجيات التبريد السلبي.	

يُبرهن تحليل الطاقة الشمسية المنجز أن النسيج العمراني التقليدي يتمتع بفعالية مزدوجة متكاملة في استجابته للتحديات المناخية والطاقية. هذا التخطيط يحقق توازنًا دقيقًا بين الحاجة إلى الاستفادة القصوى من الإشعاع الشمسي على الأسطح لتوليد الطاقة الكهروضوئية (PV) وبين ضرورة الحماية من اكتساب الحرارة، وذلك عبر توفير التظليل المتبادل للواجهات والممرات. تتجسد الاستدامة الأصيلة في هذا النسيج من خلال توفير حلول سلبية (Passive Solutions) مجانية لمواجهة المناخ الحار، مثل التظليل والتهوية، وهو ما يشكل جوهر مبادئ الاستدامة التي تتبناها معايير LEED وBREEAM. كما أن استخدام المواد المحلية يسهم في تقليل الطاقة المجسدة (Embodied Energy).

زيادة على ذلك، تُشير القيمة المقدرة لتوليد الطاقة الكهربائية، والتي تصل إلى 34.9 مليون كيلوواط ساعة، إلى إمكانات عالية وفريدة للموقع لتحقيق أهداف المباني ذات استهلاك الطاقة الصفري (Net-Zero Buildings) أو حتى الانتقال إلى نموذج الأحياء ذات الطاقة الإيجابية.

3. تحليل الإضاءة الطبيعية Daylight Potential

يستخدم تحليل الإضاءة الطبيعية عادةً في Autodesk Forma مقياس مكوّن السماء الرأسي (Vertical Sky Component - VSC) لتقييم كمية ضوء النهار المنتشر (Diffuse Daylight) الذي يمكن أن يصل إلى واجهة المبنى.

- **المقياس المرئي:** تُظهر الصورة (شكل 4) الأسطح والواجهات بألوان تتراوح من الأزرق الداكن

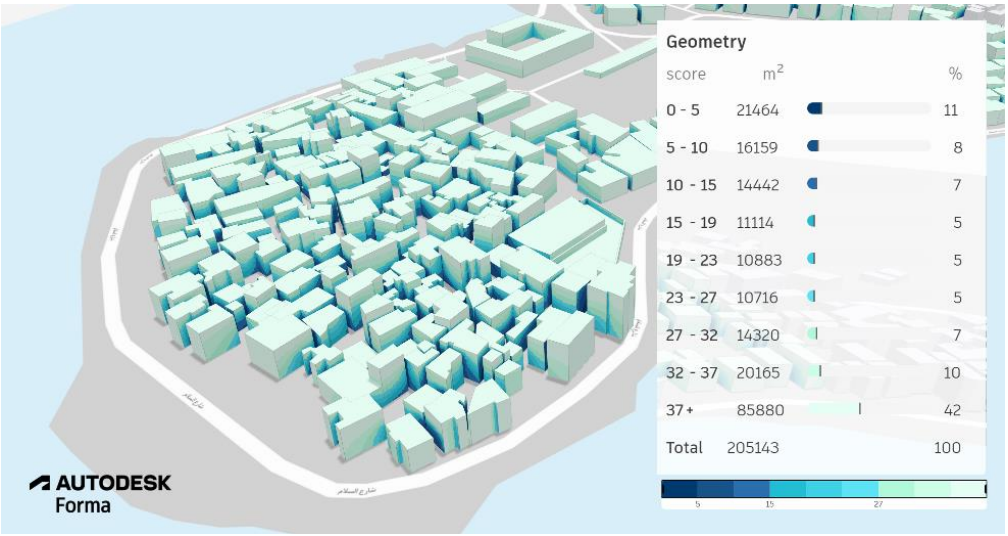
(إمكانات إضاءة منخفضة – VSC منخفض) إلى الأزرق الفاتح/ الفيروزي (إمكانات إضاءة جيدة – VSC مرتفع).

- **نتيجة التوزيع:**

○ **مناطق الإضاءة الجيدة (الأزرق الفاتح):** تشكل غالبية واجهات المباني، خاصة في الطوابق العليا والواجهات المواجهة للفراغات المفتوحة نسبيًا.

○ **مناطق الإضاءة المنخفضة (الأزرق الداكن):** تتركز في الواجهات الداخلية الواقعة في عمق النسيج العمراني الكثيف، وفي الطوابق الأرضية والمناطق المظللة بشدة بالمباني المجاورة.

- **التحليل الإحصائي:** يظهر الجدول الإحصائي (شكل 4) أن 42% من الواجهات لها إمكانات إضاءة طبيعية عالية (فوق VSC 37)، وهي نسبة ممتازة تشير إلى أن أكثر المباني يمكن أن تحقق إضاءة نهارية كافية.



شكل 4: تحليل الإضاءة الطبيعية Daylight Potential – (Autodesk Forma).

3.1.التوافق مع المؤشرات العالمية

يُعد توفير الإضاءة الطبيعية الكافية أحد أهم ركائز الصحة والرفاهية في أنظمة التصنيف المستدام (جدول 4 و 5)

3.2 LEED : فئة جودة البيئة الداخلية (Indoor Environmental Quality - IEQ)

جدول 4: مقارنة جودة البيئة الداخلية للنسيج التقليدي مع متطلبات LEED – (الباحث)

متطلب LEED	الهدف	توافق التحليل والنسيج التقليدي
الإضاءة النهارية (IEQ Credit: Daylight)	تحقيق مستويات محددة من الإضاءة الطبيعية في مساحات شاغلي المبنى لتعزيز الرفاهية وتقليل استخدام الإضاءة الاصطناعية.	**توافق مباشر:** يُستخدم تحليل VSC لـ Forma كدليل أولي لـ التصميم المعتمد على الإضاءة النهارية. نسبة الـ 42% التي تظهر إمكانات إضاءة عالية تشير إلى أن أكثر المباني لها القدرة على تلبية متطلبات LEED للإضاءة الطبيعية من خلال الفتحات المدروسة (النوافذ).
التحكم بالإضاءة (IEQ Credit: Lighting Controls)	يرتبط الإفراط في ضوء الشمس بالوهج وارتفاع درجة الحرارة.	**توافق إيجابي:** النسيج التقليدي الكثيف يحمي الواجهات من أشعة الشمس المباشرة القوية (كما أظهر تحليل ساعات الشمس)، مما يقلل من الوهج ويحافظ على الإضاءة المنتشرة (Diffuse Light)، وهو ما يفضله LEED في المناطق ذات الإضاءة الطبيعية لضمان الراحة البصرية.

3.2.BREEAM: فئة الصحة والرفاهية (Health and Wellbeing – Hea)

جدول 5: مقارنة الصحة والرفاهية للنسيج التقليدي مع متطلبات BREEAM – (الباحث)

متطلب BREEAM	الهدف	توافق التحليل والنسيج التقليدي
جودة الإضاءة النهارية (Hea 01 – Visual Comfort)	يهدف BREEAM إلى ضمان مستويات مثلى من الإضاءة النهارية والتحكم في الوهج، وغالبًا ما يعتمد على مؤشرات مثل عامل ضوء النهار (Daylight Factor – DF).	**توافق قوي:** تحليل VSC (المرتبط بالضوء المنتشر) هو مؤشر أساسي لـ BREEAM. إظهار التحليل لإمكانات إضاءة عالية في نسبة كبيرة من الواجهات يعني أن التصميم الحضري لم يضحِ بالإضاءة الطبيعية الداخلية على حساب التظليل الخارجي (وهو توازن صعب في النسيج الكثيف).

يُبرز تحليل الإضاءة الطبيعية الدور الحاسم للنسيج العمراني التقليدي في تحقيق توازن بيئي دقيق ومستدام. لقد نجح هذا النسيج، عبر ما يمكن وصفه بـ المفارقة المعمارية، في الجمع بين الحماية الفعالة

من حرارة الشمس المباشرة (التظليل) والسماح في الوقت نفسه بمرور ضوء النهار المنتشر (Daylight) إلى الواجهات الداخلية. ويتحقق هذا التوازن من خلال التخطيط العمراني الذي يتميز بـ الارتفاع والتقارب (High FAR)، والذي يوفر تظليلًا عموديًا مع ترك عرض مناسب للشوارع يسمح لضوء السماء المنتشر بالوصول إلى الواجهات، من دون أن يتمَّ منع الضوء بشكل كامل.

في هذا النمط العمراني الكثيف، تبرز كفاءة التوجيه كعامل حاسم، إذ يصبح توجيه الفتحات أمرًا بالغ الأهمية مقارنة بالتوجيه العام للكتلة. وقد اعتمد المصمِّمون التقليديون على نمط بناء وفتحات مدروسة، كالفتحات الصغيرة نسبيًا أو الموجَّهة نحو الفراغات الداخلية، للتقليل من التعرض المباشر للشمس والوهج، مع ضمان ضوء يومي كافٍ يلبي متطلبات الراحة البصرية. وبشكل عام، يؤكد تحليل Forma أن هذا النسيج يوفر نموذجًا مستدامًا يوازن بين التظليل (لخفض الحمل الحراري) والإضاءة الطبيعية الكافية (لتحسين الرفاهية)، مما يجعله متوافقًا بشكل ممتاز مع أعلى معايير الاستدامة العالمية.

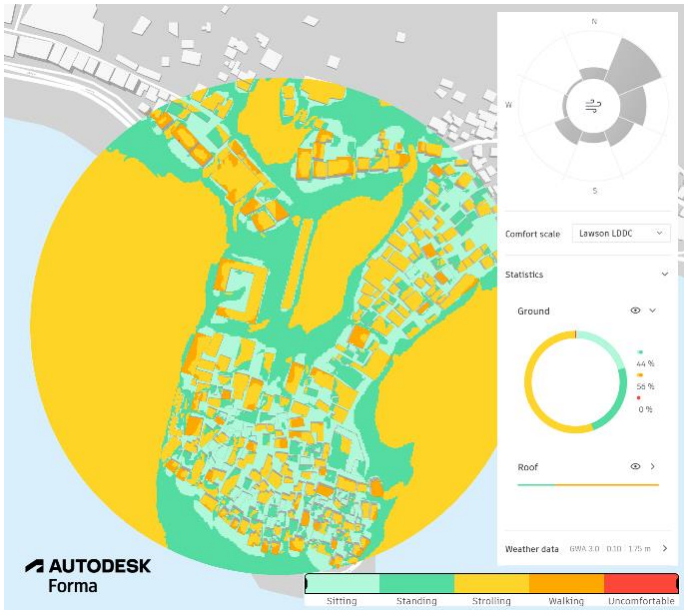
4. تحليل التهوية والرياح Wind and Ventilation Analysis

تُظهر نتائج Autodesk Forma ثلاثة أنماط مختلفة لتحليل الرياح (الراحة، واتجاه الرياح الشمال الشرقي، والجنوب الغربي) الخصائص الآتية للنسيج العمراني:

4.1. تحليل الراحة (Comfort Scale - DDBC/LDDC)

من الصورة المرفقة (شكل 5)، تظهر نتيجة تحليل مقياس الراحة القراءات الآتية:

- **الراحة في الممرات (اللون الأخضر)**: تتركز مناطق الراحة للجلوس **(Sitting Comfort)** (اللون الأخضر) في الفراغات الداخلية الضيقة وبين الكتل المتقاربة. هذا النمط يعني أن النسيج العمراني الكثيف نجح في تخفيف سرعة الرياح على مستوى المشاة، مما يوفر بيئة محميَّة ومريحة للاستخدام الخارجي المطول.
- **مناطق المشي (اللون الأصفر)**: تغطي المناطق الخارجية المفتوحة ومحيط الموقع بالكامل باللون الأصفر **(Walking Comfort)**، مما يشير إلى أن الرياح فيها أسرع قليلًا ومناسبة للمشي والحركة.
- **التأثير البيئي**: في مناخ حار ورطب، يكون الهدف هو خفض سرعة الرياح فقط في مناطق الجلوس (لتوفير المأوى) وزيادة سرعة الرياح إلى مستوى مريح في الممرات؛ لتعزيز تبخر العرق والتبريد الطبيعي. النتيجة تُظهر أن النسيج يحقق ذلك التوازن جزئيًا، حيث يخلق مناطق محمية ومناطق تهوية.



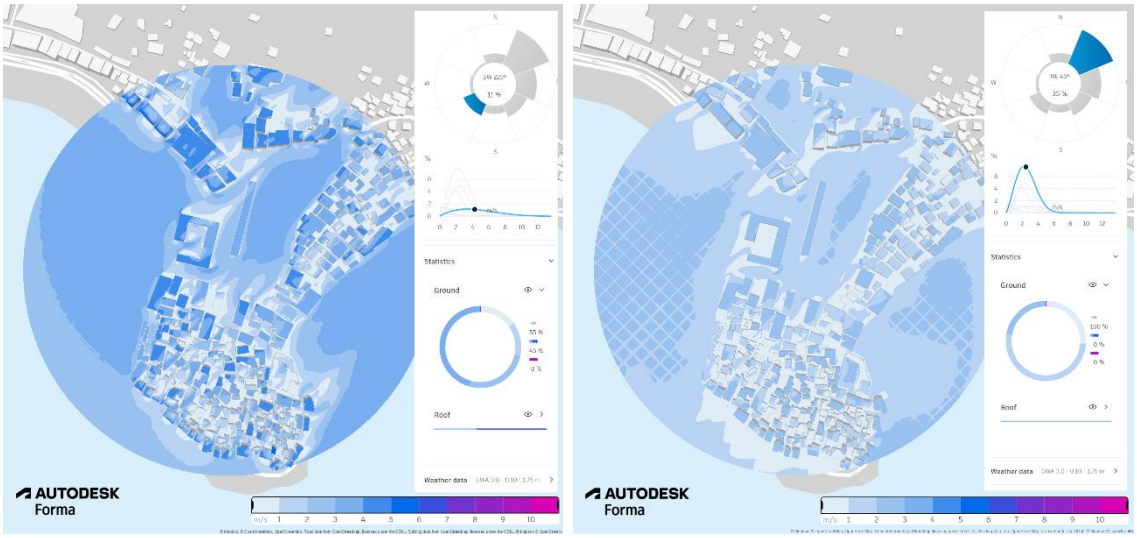
شكل 5: تحليل مقياس الراحة Comfort Scale – (Autodesk Forma)

4.2. تحليل تدفق الهواء (Wind Flow) حسب الاتجاه (NE و SW)

الصورتان أدناه (شكل 6)، تظهر فيهما نتيجة تحليل تدفق الهواء القراءات الآتية:

- **الظاهرة:** في كلا الاتجاهين السائدين للرياح (الشمال الشرقي NE والجنوب الغربي SW)، تُظهر الخرائط (الأزرق الفاتح يمثل سرعة أعلى، والأزرق الداكن سرعة أقل) أن أكثر الأفنية والممرات الداخلية في عمق النسيج الكثيف تقع في منطقة ظل الرياح (Wind Sheltered).

- **دلالة النسيج التقليدي (التهوية):**
  - **الإيجابية:** تقارب المباني يقلل من سرعة الرياح في الممرات، مما يوفر راحة للمشاة (كما ظهر في تحليل الراحة).
  - **التحدي:** في مناخ حار ورطب، تباطؤ الرياح الشديد قد يعيق التهوية الطبيعية المطلوبة داخل المباني لتبديد الحرارة والرطوبة. هذا يشير إلى أن النسيج العمراني كثيف جدًا، وقد يعتمد على تأثير ممر الرياح **(Venturi Effect)** في الشوارع الموجَّهة بشكل جيد أو على المدخنة الحرارية **(Stack Effect)** داخل المبنى نفسه، وليس بالضرورة على تدفق الرياح الأفقي العابر.



شكل 6: تحليل تدفق الهواء (Wind Flow) حسب الاتجاه (NE وSW) – (Autodesk Forma)

4.3.التوافق مع المؤشرات العالمية

يتوافق هذا التحليل مع أهداف الاستدامة تحت فئتين أساسيتين (جدول 6):

4.3.1. كفاءة الطاقة والبيئة الداخلية (LEED: EA & IEQ / BREEAM: Ene & Hea)

جدول 6: مقارنة كفاءة الطاقة والبيئة الداخلية للنسيج التقليدي مع متطلبات المؤشرات والمعايير – (الباحث)

المتطلب	LEED (كفاءة الطاقة) / BREEAM (الصحة والرفاهية)	التوافق مع التحليل
التبريد السلبي (Passive Cooling)	تقليل الاعتماد على التكييف الميكانيكي لخفض الطاقة.	**توافق قوي:** الهدف من التخطيط العمراني التقليدي هو تحقيق التبريد السلبي. النسيج الكثيف يوفر الحماية من الشمس والتظليل المتبادل (كما أثبت تحليل ساعات الشمس سابقاً)، والذي هو أهم من التهوية في بعض الأحيان لخفض اكتساب الحرارة. التهوية هي العنصر الثاني، ويُظهر التحليل أنها مُخفَّضة داخل النسيج، مما يتطلب فتحات وتوجيهات مدروسة للمباني الفردية لضمان وصول الهواء الكافي بالرغم من انخفاض سرعته.
الراحة الحرارية الخارجية (Hea 01 – Comfort)	ضمان بيئة خارجية مريحة للمستخدمين.	**توافق عالٍ:** تحليل الراحة (اللون الأخضر) يثبت أن النسيج يوفر مساحات محمية ومريحة للجلوس. هذا يساهم مباشرة في الحصول على نقاط في BREEAM لراحة المستخدم الخارجي.

يُبرز تحليل حركة الرياح أن النسيج العمراني التقليدي يعمل كمنظومة بيئية متكاملة، تتجلّى فيها مبادئ الاستدامة، خاصة في المواقع الساحلية المعرضة لتيارات هوائية قوية. فقد اعتمد التخطيط التقليدي على الكثافة والتقارب بين المباني لإنشاء جدار صد طبيعي للرياح (Wind Shield)، مما يسهم في تخفيف الرياح الساحلية القوية، ومنع تجاوز سرعتها للحدود التي تخل بمستوى الراحة الحرارية للمشاة في المناطق المفتوحة.

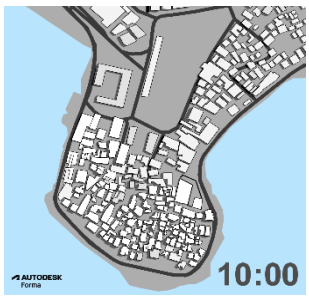
بدلًا من الاعتماد على تدفق الهواء بحرية غير المنضبط، يتبع النسيج العمراني استراتيجية تهوية مضبوطة؛ إذ يتم توجيه الرياح الإيجابية عبر الشوارع والممرات الضيقة التي تعمل كـ ممرات هوائية (Wind Corridors). يضمن هذا التوجيه انسيابية تدفق الهواء المعتدل وصولًا إلى أعمق نقاط الحي، مما يدعم التهوية السلبية للمباني، ويقلل من الحاجة إلى التبريد الميكانيكي. كما يُظهر تحليل الراحة أن التصميم التقليدي يحدد بذكاء المناطق المريحة (الأخضر للمناطق الضيقة) وتلك التي تتطلب حركة هوائية أكثر (الأصفر للمناطق المفتوحة)، مما يؤكد التخطيط الدقيق الذي يراعي العوامل البيئية لتعزيز راحة الساكنين.

5. تحليل كفاءة التظليل Shading Analysis

تُظهر السلسلة الزمنية لخرائط الظل (جدول 7) منتصف شهر يوليو، الكفاءة العالية للنسيج العمراني في المنطقة المدروسة (التي يغلب عليها الكثافة والتقارب):

- **الكثافة والتقارب (High Density and Proximity):** يتبين بوضوح أن أكثر الممرات والأفنية الداخلية للكتلة العمرانية الكثيفة تظللها المباني المجاورة على مدار اليوم. هذا النمط هو سمة أساسية للنسيج العمراني التقليدي في المناطق الحارة (مثل الشرق الأوسط وشمال أفريقيا).
- **التظليل المتبادل (Self-Shading):**
  - **في الصباح الباكر (8:00 – 10:00 صباحاً):** تكون أكثر الممرات مظلَّلة بظلال المباني الغربية المرتفعة، مما يحافظ على برودة الأرضيات والممرات.
  - **في الظهيرة (12:00 – 2:00 مساءً):** رغم ارتفاع الشمس في كبد السماء، تظل الممرات والأفنية ضيقة بما يكفي لتوفير تظليل شبه كامل على مستوى المشاة. أسطح المباني هي المعرضة بالكامل للشمس فحسب.
  - **في المساء (3:00 – 5:00 مساءً):** تظل المباني الشرقية توفر تظليلًا للممرات والأفنية الواقعة غربها، مما يمنع التعرض المباشر لأشعة الشمس القوية في فترة ما بعد الظهيرة الحارة.
- **الدور البيئي:** هذا النمط من التظليل المتبادل يقلل بشكل كبير من الحمل الحراري الشمسي الذي يصل إلى الأرض والمباني، مما يسهم في:
  - خفض درجة حرارة الهواء المحيط في الممرات والمساحات الخارجية.
  - تخفيف تأثير "الجزر الحرارية الحضرية (Urban Heat Island Effect).
  - تحسين الراحة الحرارية للمشاة والسكان بشكل عام خلال أشهر الصيف الحارة.

جدول 7: ساعات التظليل للنسيج التقليدي خلال يوم كامل (15 يونيو) – (Autodesk Forma)

الحالة	الوقت	
الصباح **09:00 – 08:00**		
قبل الظهر **11:00 – 10:00**		
الظهر **0 13:0 – 12:00**		
العصر **15:00 – 14:00**		
المساء **17:00 – 16:00**		

5.1.مقارنة النسيج التقليدي بالمخططات الحديثة

جدول 8: مقارنة النسيج التقليدي بالمخططات الحديثة – (الباحث).

الميزة	النسيج العمراني التقليدي (الموضح في الصور)	المخططات السكنية الحديثة (المنفصلة)
التظليل	عالٍ جدًا (تظليل متبادل). المباني يحمي بعضها البعض.	منخفض جدًا. التباعد الكبير بين المباني (الفيلا المنفصلة) يؤدي إلى تعرض كامل للشمس.
الراحة الحرارية	مُحسَّنة. تقلل الحرارة المنعكسة ودرجة حرارة الأسطح، مما يوفر بيئة خارجية مريحة.	منخفضة. تزيد من اكتساب الحرارة، وترفع درجة حرارة الهواء المحيط (الجزر الحرارية).
كفاءة الطاقة	عالية. تقلل من الحمل الحراري على الواجهات، مما يقلل الحاجة للتكييف.	منخفضة. تزيد من الحمل الحراري للمباني الفردية، مما يرفع تكاليف التبريد.
دعم الاستدامة	أساسي ومدمج في التصميم من دون تكلفة إضافية.	غير موجود؛ يتطلب حلولًا ميكانيكية أو تقنية مكلفة (مثل زجاج عالي الكفاءة).

5.2.التوافق مع المؤشرات العالمية

يتوافق النمط التخطيطي للنسيج العمراني التقليدي مع أهداف الاستدامة في كلٍ من المعيارين:

- **LEED – فئة المواقع المستدامة (Sustainable Sites):**
  - **تقليل الجزر الحرارية (Heat Island Reduction):** النمط الموضح في التحليل يحقق هذا الهدف بشكل ممتاز. التظليل المستمر للممرات يمنع ارتفاع درجة حرارة الأسطح الداكنة، وهو ما تطلبه LEED لخفض درجة الحرارة الإجمالية للموقع وتخفيف أثر الجزيرة الحرارية.
- **BREEAM – فئة الصحة والرفاهية (Health and Wellbeing):**
  - **الراحة الخارجية (External Amenity and Comfort):** التظليل الفعال للممرات يضمن أن تكون المساحات الخارجية قابلة للاستخدام ومريحة للمشاة والمستخدمين خلال ساعات الذروة الشمسية، وهو شرط رئيس للحصول على نقاط في هذه الفئة.

يوفر النسيج العمراني التقليدي، بسبب مبدأ التظليل المتبادل والكثافة، حلًا طبيعيًا ومستدامًا للعيش، يلبي بشكل فطري متطلبات الراحة الحرارية الخارجية، وكفاءة الطاقة التي تسعى إليها المعايير العالمية للتنمية المستدامة. هذا يثبت أن النسيج العمراني التقليدي هو في حد ذاته استراتيجية تصميم بيولوجي مناخي، تتفوق على عدد من المخططات الحديثة غير المدروسة وغير المتوافقة مع محيطها بيئيًا.

خلاصة تحليل النتائج:

تُثبت نتائج التحليل البيئي للنسيج العمراني التقليدي، المنجز باستخدام أداة Autodesk Forma، أن هذا النمط التخطيطي يمثل استراتيجية بيولوجية مناخية سلبية متكاملة تحقق توافقًا ممتازًا مع المتطلبات الجوهرية لمعايير الاستدامة العالمية، مثل LEED

وBREEAM. فقد أظهر التحليل فعالية النسيج في التخفيف الحراري عبر التظليل المتبادل الفعال الذي يقلل من اكتساب الحرارة الشمسي على الواجهات والممرات، مدعومًا باستخدام الجير الأبيض ذي الانعكاسية الشمسية العالية لتقليل ظاهرة الجزر الحرارية. كما نجح النسيج في تحقيق توازن دقيق بين الحماية من الرياح الساحلية القوية وبين ضمان تدفق هوائي معتدل عبر ممرَّاته لدعم التبريد السلبي وراحة المشاة، مع توفير إمكانات عالية لتوليد الطاقة المتجددة من الأسطح المعرَّضة للشمس. زيادة على ذلك، أُثبت نجاح النسيج في توفير إضاءة نهارية منتشرة كافية مع تجنُّب الوهج، مما يؤكد دوره في تحسين جودة البيئة الداخلية والرفاهية البصرية للسكان.

ملخص البحث:

يعرض هذا البحث التحدِّيات المعاصرة المتمثلة في التماثل العمراني وطمس الهُويَّة المحليَّة، ويقدِّم التراث المعماري والحضري الحضرمي، وتحديدًا في المكلا القديمة، كإطار متكامل وكمنبع للحلول التصميمية المتوافقة بيئيًا والمتجذرة ثقافيًا. اعتمدت الدراسة منهجية تكاملية جمعت بين التحليل البنيوي للنسيج العمراني والتقييم الكمي للأداء البيئي لمكوناته، وذلك باستخدام المحاكاة الرقمية المتخصصة، مدعومة بالعمل الميداني لتوثيق الخصائص المعمارية والبيئية للموقع.

تُثبت النتائج أن النمط التخطيطي التقليدي يمثل استراتيجية بيولوجية مناخية سلبية متكاملة وفعالة للغاية، تحقق توافقًا ممتازًا مع المتطلبات الجوهرية لمعايير الاستدامة العالمية مثل LEED وBREEAM، خاصة في المناخات الحارة. وتتجلى هذه الفعالية في ثلاثة محاور رئيسة: أولها، التخفيف الحراري عبر التظليل المتبادل الفعال والتحكم في الجزر الحرارية باستخدام المواد ذات الانعكاسية الشمسية العالية (كالجير الأبيض). والثاني، تحسين الراحة الحرارية من خلال تحقيق توازن دقيق بين الحماية من الرياح القوية وضمان تدفق هوائي معتدل عبر الممرات الضيقة، مع توفير إمكانات عالية لتوليد الطاقة المتجددة من الأسطح. والثالث، جودة البيئة الداخلية من خلال توفير إضاءة نهارية منتشرة كافية مع تجنب الوهج. تؤكد الدراسة أن هذه الممارسات التصميمية التقليدية تمثل استراتيجيات مستدامة قابلة للتطبيق، وتتفوق منهجيًا على عدد من المخطَّطات الحديثة غير المتوافقة بيئيًا.

التوصيات:

بناءً على التحليل البيئي والأداء المتميز للنسيج الحضري التقليدي، تُقدم الدراسة التوصيات المنهجية الآتية:

- **إعادة دمج الحلول البيولوجية المناخية السلبية (Passive Bioclimatic Solutions):** يجب على المخططين والمعماريين المعاصرين دمج استراتيجيات التخطيط التقليدي، مثل **التظليل المتبادل الفعال** و**تضييق الممرات**، في المخططات الحضرية الجديدة، لخفض الاعتماد على التبريد الميكانيكي، وتحقيق الراحة الحرارية في المناخات الحارة.
- **تطوير معايير استدامة محلية معدلة:** اقتراح تطوير نظام تقييم استدامة محلي مستوحًى من معايير **LEED** و**BREEAM**، ويُعدّل ليمنح نقاطًا إضافية للمشاريع التي تتبنى الحلول العمرانية السلبية المستمدة من التراث المحلي.
- **تعزيز الدراسات المقارنة باستخدام المحاكاة الرقمية:** يجب على الباحثين وطلاب العمارة التركيز على استخدام أدوات المحاكاة المتقدمة لإجراء مقارنات كمية بين الأداء البيئي للنسيج التقليدي والمخططات الحديثة. وذلك بهدف توثيق القيمة

المستدامة للهوية المعمارية المحلية بلغة **الأداء المعتمدة عالميًا.**

- **الاستفادة من إمكانات الطاقة المتجددة في الأنسجة الكثيفة:** يجب توجيه الاستثمارات نحو تطبيق أنظمة **الطاقة الكهروضوئية (PV)** على أسطح المباني في الأحياء الكثيفة، للاستفادة من إمكانات التوليد العالية التي أظهرتها الدراسة، والمضي قُدُمًا نحو تحقيق مفهوم **الأحياء ذات الطاقة الإيجابية.**
- **دمج التراث المعماري (تصميم وتخطيط حضري) في مناهج التصميم المستدام:** يجب على الجامعات تضمين دراسة معمَّقة للهندسة المعمارية التقليدية في المناخات الحارة كنموذج تطبيقي لـ **التصميم البيولوجي المناخي السلبي،** لإعداد مهندسين قادرين على تطبيق حلول مستدامة غير مكلّفة ومعزِّزة للهوية الثقافية.
- **ربط الهوية المعمارية والحضرية بالتنمية المستدامة:** الدعوة إلى إدراج السمات المعمارية التقليدية كمكون أساسي لتحقيق **الاستدامة الثقافية والبيئية،** بدلًا من اعتبارها مجرَّد طراز جمالي، مما يضمن أن التنمية الحضرية تخدم الكفاءة الحرارية وتحافظ على الهوية المحلية في آن واحد.

المراجع:

1- أبو غزالة، أسعد علي سليمان. (2016). الإستدامة كمدخل للحفاظ على الهوية المعمارية في ظل العولمة (دراسة حالة جمهورية مصر العربية). 1–21.

2- الأنباري، محمد علي، & عبد المجيد، هيام حميد. (2016). اختيار مجموعة مؤشرات الاستدامة الحضرية لمدينة الحلة. مجلة الهندسة والتنمية المستدامة، 20(03)، 23.

3- الديوجي، ممتاز حاتم، علي، تركي حسن، & النعيمي، أسامة حمادي. (2013). الاستدامة المكانية في المراكز الحضرية التاريخية (دور التوزيع المكاني للمساجد في الاستدامة المكانية لمدينة الموصل القديمة). مجلة هندسة الرافدين، 21(03)، 50–63.

4- السقاف، ياسر خالد، بن ثابت، منصور محمد، & بازهير، احمد. (2016). تأصيل ودراسة السمات والطرز المعمارية وعناصرها لواجهات مباني الأحياء القديمة لمدينة المكلا—دراسة تحليلية . Journal of Engineering Sciences – Assiut University، 44(5) .622–640

5- الغراب، حسام قطب. (2019). استدامة المدن (المدن المستدامة) فى الدول النامية: التحديات والأطر العامة للحلول. مجلة العلوم الهندسية، 47(2)، 194–206.

6- الفلاحي، أحمد سلمان حمادي. (2020). الهوية العمرانية العربية للمشهد الحضري لمدينة الفلوجة في العهدين العثماني والملكي . Fallujah During the Ottoman & Iraqi Monarchy Eras، 502–529. https://doi.org/10.18502/kss.v4i8.7202

7- جوهر، فهد صالح. (2016). دراسة تأصيل قيم الهوية المعمارية التقليدية في مباني إقليم حضرموت بالجمهورية اليمنية (مدينة المكلا كدراسة حالة). مجلة الأندلس للعلوم التطبيقية، 11(5)، 9–38.

8- قناة بلقيس الفضائية2023) .(Producer) ، أغسطس). حكايات حضرمية الطراز المعماري في المكلا. – ثراء التنوع والعراقة [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=1Bj1yKdmTKo

9- لعلام، عبد النور. (2021). التخطيط الحضري والتنمية المستدامة. مجلة رؤى للدراسات المعرفية والحضارية، 07(02)، 200–219.

10- Alnehmi ،Ahmed. (2024). Investigating Permanence Principles of Sustainability in the Sabaean-Himyaritic Yemeni Architecture. Journal of Palestine Ahliya University for Research and Studies ، 3(1) ،1–15. https://doi.org/10.59994/pau.2024.1.1

11- Al-Sabahi ،Hatim M. (2005). A Comparative Analysis of the vernacular Housing Cluster of Yemen. Sana'a and Shibam Hadhramawt A Case Study. Journal of Science and Technology ،10(2). https://doi.org/10.20428/jst.v10i2.71

12- Al-Sakkaf ،Yaser Khaled. (2025). Usability of Heritage Building Materials: A Case Study of Hadhramaut (Yemen) and Najran (Saudi Arabia). GOMBE JOURNAL OF ADMINISTRATION AND MANAGEMENT (GJAM) ،9(1B) ،304–315. http://journals.gjbeacademia.com/index.php/gjam/article/view/961

13- Barashed ،Khaled Nasser. (2006). DEVELOPING THE OLD PART OF MUKALLA CITY (AL SALAM AND AL SAAIADIN QUARTER AS A CASE STUDY). JES. Journal of Engineering Sciences ،34(1) ،299–312. https://doi.org/10.21608/jesaun.2006.110282

14- Binthabet ،Aqeil Ahmed. (2007). A STUDY OF THE TRADITIONAL CHARACTERISTICS OF YEMENI HOUSES IN THE PORT CITY OF ADEN AND MUKALLA: PERCEPTION OF ARCHITECTS AND STUDENTS [PhD Thesis]. Universiti Sains Malaysia (USM).

15- Building Research Establishment. (2017). BREEAM Communities technical manual (إصدار 1.2) [Technical Standard]. BRE Global Ltd. https://breeam.com/standards/communities

16- Diaz-Sarachaga ،Jose ،Jato-Espino ،Daniel ،& Castro-Fresno ،Daniel. (2018). Evaluation of LEED for Neighbourhood Development and Envision Rating Frameworks for Their Implementation in Poorer Countries. Sustainability ،10(2) ،492. https://doi.org/10.3390/su10020492

17 Edocia ،Marisa ،Tandra ،Kevin ،Go ،Calvin ،Salim ، Nelson Claudio ،Chang ،Yun-Tsui ،& Hsieh ،Hsien. (2025). A Generative Design Workflow for Residential Building: A Comparative Study. Construction Engineering and Management. The 29th Symposium on Construction Engineering and Management / International Conference ،Kaohsiung ، Taiwan.

18- Frey ،Hildebrand. (1999). Designing the city: Towards a more sustainable urban form (First). E & FN Spon. https://doi.org/10.4324/9780203362433

19- Høiby ،Håvard ،& Walmsley ،Kean. (2024). Extending Autodesk Forma to Create Powerful Analysis Solutions for the AEC Industry. Autodesk University (AU). https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Extending-Autodesk-Forma-to-Create-Powerful-Analysis-Solutions-for-the-AEC-Industry-2024

20- Hyde ،Richard. (2007). Climate Responsive Design: A study of buildings in moderate and hot humid climates (Reprint). Spon Press.

21- Keivani ،Ramin. (2009). A Review of the Main Challenges to Urban Sustainability. International Journal of Urban Sustainable Development ،1(1–2) ، 5–16. https://doi.org/10.1080/19463131003704213

22- Loftus ،Caoimhe ،& Irgens ،Simon. (2023). Simplify Sustainable Design with Autodesk Forma. Autodesk University (AU). https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Simplify-Sustainable-Design-with-Autodesk-Forma-2023

23- Mukkavaara ،Jani ،& Sandberg ،Marcus. (2020). Architectural Design Exploration Using Generative Design: Framework Development and Case Study of a Residential Block. Buildings ،10(11) ،201. https://doi.org/10.3390/buildings10110201

24- Shehata ،Ahmed Mohamed. (2023). Sustainable-Oriented Development for Urban Interface of Historic Centers. Sustainability ،15(3) ،2792. https://doi.org/10.3390/su15032792
25- Szibbo ،Nicola A. (2016). Assessing Neighborhood Livability: Evidence from LEED® for Neighborhood Development and New Urbanist Communities. Articulo – revue de sciences humaines ، 14. https://doi.org/10.4000/articulo.3120
26- U.S. Green Building Council. (2018). LEED v4 for Neighborhood Development Rating System. U.S. Green Building Council. https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-neighborhood-development-current-version
27- WCED. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development (World Commission on Environment and Development). Oxford University Press. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf?utm_source=chatgpt.com

The Urban Fabric of Traditional Hadrami Cities: A Sustainable Framework for Urban Planning (The Old City of Mukalla: A Case Study)

Alawiya Abdullah Al-Jafri **Adel Abdullah Al-Muallim**

Abstract

Contemporary cities are confronted with significant challenges, including increasing urban homogenization and the erosion of local identity, as well as their inability to meet the requirements of urban sustainability. In this context, local architectural heritage assumes significance as a repository of environmentally compatible and culturally rooted design solutions. This study underscores the hallmark characteristics of Hadrami urban identity as an integrated framework for sustainability, with a particular focus on the historical old city of Mukalla as a case study. This investigation aims to unearth the planning and design principles that have facilitated the continuity of this model. The study adopted an integrated methodological approach, combining structural analysis of the urban fabric and quantitative assessment of the environmental performance of its components. It was achieved through fieldwork and documentation of architectural characteristics, supported by specialized digital simulation to measure thermal and environmental efficiency. The findings indicate that conventional design methodologies, such as the incorporation of low-thermal-conductivity building materials and the configuration of narrow spaces to enhance natural ventilation, constitute scientifically substantiated sustainable strategies. The study's findings substantiate the notion that the revitalization of this heritage model functions not solely as a means of safeguarding identity, but also as a conduit for augmenting the resilience of cities in the face of impending environmental challenges.

Keywords: urban sustainability, Hadrami urban identity, urban heritage, simulation, Old Mukalla