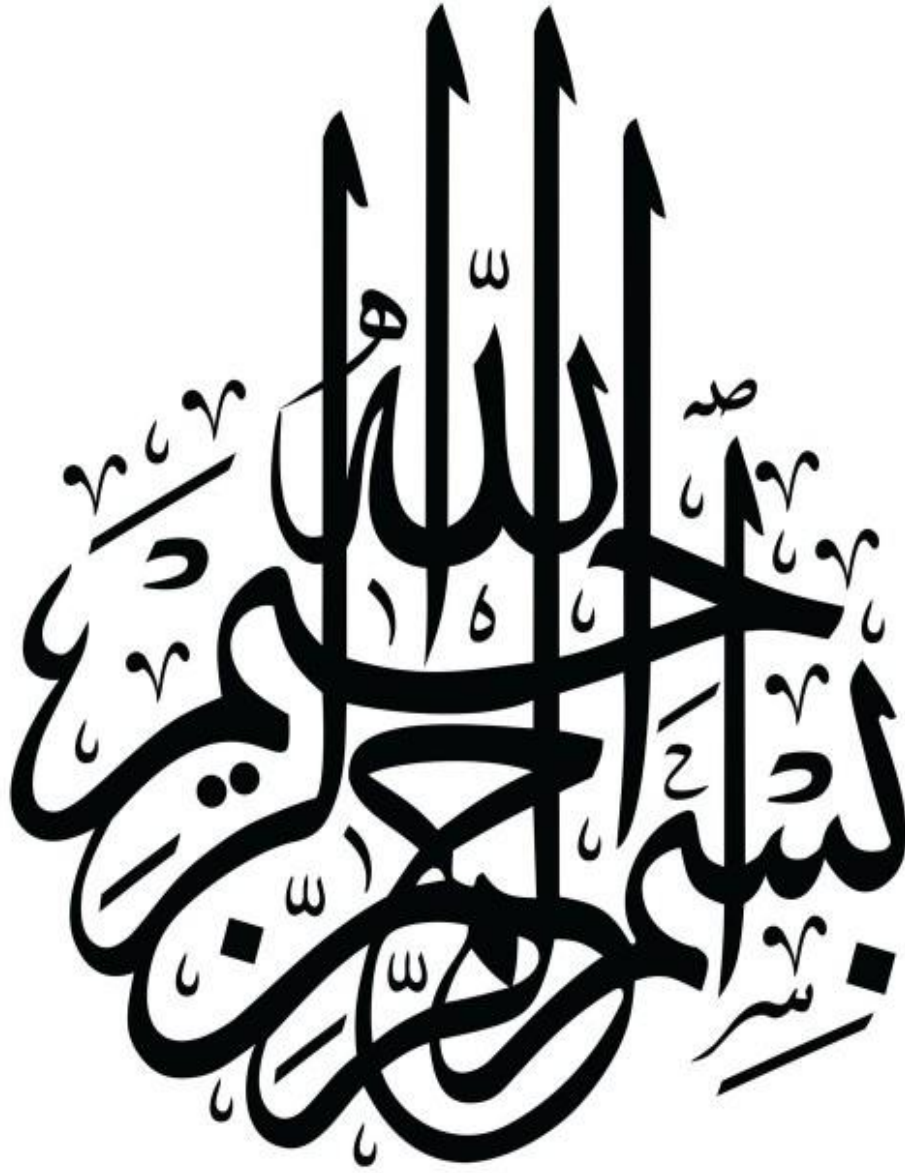


أثر مشروع أبراج كدانة الوادي على الكفاءة الإسكانية والسياق المكاني لمشعر منى وفاعليته كنموذج مطور لإسكان الحجاج

الباحث

د/ عبد الله عبد الحميد باقاسي

1448هـ / 2026م



المحتويات

المحتويات.....	3
قائمة الجداول.....	4
قائمة الأشكال.....	5
الملخص (بالعربي).....	6
الملخص (بالإنجليزي).....	7
المقدمة.....	8
الإطار النظري.....	11
منهجية الدراسة.....	19
حدود ومحددات الدراسة.....	22
النتائج والمناقشة.....	22
أولاً: الأداء الحراري والمناخ المصغر الداخلي والخارجي.....	22
ثانياً: جودة الهواء الداخلي والتهوية.....	25
ثالثاً: البيئة السمعية والضوئية.....	26
رابعاً: التقييم التشغيلي والإدراكي وسلوك الحجاج.....	27
1/ سجل الملاحظة والرصد الميداني (فريق الرصد والمراقبة).....	27
2/ التقييم الإدراكي وملاحظات المستخدمين (الحجاج):.....	33
3/ نتائج المسح الاستقصائي (التحليل الإحصائي للحجاج):.....	35
خامساً: المقارنة المرجعية للأداء البيئي والتشغيلي للمشروع.....	43
الخلاصة والتوصيات.....	44
المراجع.....	47

قائمة الجداول

- جدول 1 معلومات شاملة عن المشروع.....9
- جدول 2 المؤشرات المرجعية العالمية المستخدمة في تقييم الإسكان عالي الكثافة.....16
- جدول 3 المتغيرات البيئية المقاسة وقائمة الأجهزة المستخدمة.....19
- جدول 4 نتائج القياسات الميدانية لدرجات الحرارة والرطوبة النسبية والملاحظات للبرجين A و D ... 24
- جدول 5 درجات الحرارة السطحية للأسطح المختلفة للموقع في يومي 8 و 11 ذو الحجة.....24
- جدول 6 نتائج مؤشرات جودة الهواء الداخلي والتهوية) حسب الموقع وحالة الإشغال.....25
- جدول 7 مستويات الإضاءة المقاسة (لوكس) حسب موقع القياس داخل الغرفة يوم 3 ذو الحجة ... 27
- جدول 8 إحصائيات تقييم الحجاج لجودة البيئة الداخلية.....36
- جدول 9 تقييمات الحجاج لكفاية مساحات الغرف والإطلالة.....39
- جدول 10 تقييمات الحجاج لعناصر الحركة والتوجيه البصري.....40
- جدول 11 تقييمات الحجاج للسلامة، مسارات الطوارئ، والتجربة العام في الأبراج.....41
- جدول 12 مستوى توافق مؤشرات الأداء البيئي والتشغيلي للمشروع مع المعايير الدولية.....44

قائمة الأشكال

- شكل 1 جانب من الأعمال الإنشائية أثناء تنفيذ المشروع. 9
- شكل 2 موقع المشروع وأهم المعالم المجاورة. 9
- شكل 3 لقطات متنوعة للمشروع. 10
- شكل 4 التسلسل المنهجي لمراحل العمل الميداني. 20
- شكل 5 التظليل المتبادل " وناتج الارتداد البيئي بين الكتل العمرانية. 21
- شكل 6 إحدى فراغات البوفيه والشرفة الملاصقة لها. 23
- شكل 7 جانب من القياسات الميدانية لجودة الهواء: (أ) الرصد الميداني في ممرات الأبراج (ب) داخل
الغرفة. 26
- شكل 8 ازدحام وتدفق الحجاج عند أحد المداخل الرئيسية للأبراج خلال أوقات الذروة التشغيلية. 28
- شكل 9 توثيق بعض التحديات التصميمية والتشغيلية عند المداخل الرئيسية للأبراج. 29
- شكل 10 استخدام سلال ومسارات الطوارئ للتخزين العشوائي ومخالفة اشتراطات السلامة
والإخلاء. 29
- شكل 11 توقف الحافلات مباشرة أمام المداخل، وما ينتج عنها من إعاقة للحركة وانبعاثات مؤثرة. 30
- شكل 12 تسرب وتجمع مياه التكيف بين الأبراج والتأثيرات المصاحبة على البيئة الصحية والسلامة
العامة. 31
- شكل 13 آليات تفريغ ونقل حاويات النفايات إلى المرمى الأرضي. 32
- شكل 14 استخدام نظام إضاءة ليلية ملونة كمعالجة لتمييز أحد الأبراج من خلال الشركة المشغلة. 33
- شكل 15 إبقاء بعض أبواب الغرف مفتوحاً من قبل الحجاج. 34
- شكل 16 التراكم العشوائي للأحذية أمام مداخل المصلى. 35
- شكل 17 التكرار النمطي المتمثل للواجهات الخارجية وتطابقها بين الأبراج المتجاورة. 35
- شكل 18 نموذجين مختلفين للطاقت الاستيعابية وتوزيع الأسرة في برج منخفض الكثافة وآخر عالي
الكثافة. 38
- شكل 19 مقارنة مستويات رضا الحجاج عن كفاية المساحة الداخلية للحركة وفقاً للكثافة التشغيلية
للغرفة. 38
- شكل 20 تكامل وتوزيع تجهيزات أنظمة السلامة ومكافحة الحريق. 41

الملخص (بالعربي)

يشهد مشعر منى تحديات متزايدة في استيعاب أعداد الحجاج ضمن نطاق مكاني محدود، الأمر الذي عزز التوجه نحو تبني نماذج الإسكان الرأسي بوصفها أحد الحلول الهندسية الرامية إلى رفع الطاقة الاستيعابية وتحسين جودة الخدمات المقدمة لضيوف الرحمن. ويُعد مشروع «أبراج كدانة الوادي» في المربع (38) بمشعر منى أحد أبرز النماذج المعمارية الحديثة المطورة لإسكان الحجاج.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الأداء الفعلي لمشروع «أبراج كدانة الوادي» من خلال تطبيق منهجية تقييم ما بعد الإشغال، بهدف تحليل أدائه البيئي والتشغيلي والمكاني أثناء موسم الحج. واعتمدت الدراسة منهجاً تكاملياً جمع بين القياسات الميدانية للبيئة الداخلية، بما يشمل درجات الحرارة والرطوبة النسبية وتركيزات ثاني أكسيد الكربون، والتحليل الإحصائي لاستجابات عينة بلغ عددها (589) حاجاً، بالإضافة إلى الرصد النوعي والملاحظة المباشرة لسلوك الحشود.

أظهرت النتائج تحقيق المشروع مستويات مرتفعة من الرضا العام بلغت (81.8%)، إلى جانب كفاءة عالية في العزل الحراري والتحكم في الرطوبة بفضل الغلاف الإنشائي وأنظمة التكييف المركزية. وفي المقابل، كشفت النتائج عن عدد من التحديات التشغيلية والبيئية، تمثلت في ارتفاع تراكيز ثاني أكسيد الكربون داخل الغرف عالية الكثافة، واختناقات الحركة الرأسية وارتفاع أزمدة انتظار المصاعد خلال فترات الذروة، إضافة إلى تأثير الكثافة التشغيلية الفعلية داخل الغرف على مستويات الراحة؛ حيث أثبت التحليل الإحصائي الاستدلالي وجود فروق ذات دلالة معنوية عالية؛ إذ سجل نموذج الإشغال منخفض الكثافة (8 أسرة) نسبة رضا بلغت (75.8%) مقارنة بـ (61.8%) للنموذج عالي الكثافة (20 سريراً). كما كشفت الدراسة عن وجود تباين بين بعض المؤشرات البيئية المقاسة موضوعياً، ولا سيما تراكيز ثاني أكسيد الكربون، وبين إدراك المستخدمين لجودة الهواء الداخلي.

وخلصت الدراسة إلى مجموعة من الموجهات التصميمية والتوصيات الهندسية والتشغيلية الهادفة إلى دعم تطوير نماذج الإسكان الرأسي في منى مستقبلاً، شملت تحسين منظومة الحركة الرأسية، ورفع كفاءة التهوية وتجديد الهواء الداخلي، ودراسة إمكانات توظيف الواجهات المتكيفة مناخياً، وضبط الكثافة التشغيلية داخل الغرف بما يحقق توازناً بين كفاءة استغلال المساحة وراحة الحجاج.

الملخص (بالإنجليزي)

Mina faces growing challenges in accommodating large numbers of pilgrims within a limited geographical area, prompting an increasing shift toward adopting vertical housing developments as an engineering solution for enhancing accommodation capacity and improving the quality of services provided to pilgrims. The "Kadanah Al-Wadi Towers" project, located in Block (38) of Mina, represents one of the most prominent contemporary architectural models developed for pilgrim accommodation. This study aimed to evaluate the actual performance of the "Kadanah Al-Wadi Towers" project through a Post-Occupancy Evaluation (POE) approach, with the objective of assessing its environmental, operational, and spatial performance during the Hajj season. An integrated methodology was adopted, combining field measurements of the indoor environment, including air temperature, relative humidity, and carbon dioxide CO₂ concentrations, with statistical analysis of questionnaire responses collected from a sample of 589 pilgrims. In addition, qualitative observation and direct monitoring of crowd behaviour were conducted.

The findings indicated high overall user satisfaction levels, reaching 81.8%, alongside strong performance in thermal insulation and humidity control, attributable to the building envelope and centralized air-conditioning systems. However, several operational and environmental challenges were identified, including elevated indoor CO₂ concentrations in high-density rooms, vertical circulation bottlenecks, and prolonged elevator waiting times during peak periods. The results also demonstrated the significant impact of operational occupancy density on perceived comfort, as the low-density accommodation model (8 beds per room) achieved a satisfaction rate of 75.8%, compared with 61.8% for the high-density model (20 beds per room).

The study proposes a set of design guidelines and engineering and operational recommendations to support the future development of vertical housing models in the Holy Sites. These include re-engineering vertical circulation to improve pilgrim mobility, enhancing ventilation and fresh-air renewal strategies, exploring climate-responsive façade solutions, and regulating operational occupancy density to achieve a balance between spatial efficiency and pilgrim comfort.

المقدمة

يُعد مشعر منى نموذجاً فريداً للبيئات عالية الكثافة، إذ يستوعب ملايين الحجاج ضمن نطاق مكاني محدود، مما يفرض تحديات تخطيطية وتشغيلية متزايدة على منظومة الإسكان والمرافق والخدمات. وفي إطار مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، ولا سيما برنامج خدمة ضيوف الرحمن، برزت الحاجة إلى تطوير حلول إسكانية ومعمارية مبتكرة تسهم في رفع الطاقة الاستيعابية وتحسين جودة الخدمات المقدمة للحجاج. وفي هذا السياق، اتجهت جهود التطوير إلى تبني نماذج الإسكان الرأسي بوصفها أحد الخيارات القادرة على تعظيم الاستفادة من الموارد المكانية المحدودة، ومن أبرزها مشروع أبراج كدانة الوادي بمشعر منى. وعلى الرغم من إسهام هذا النموذج في زيادة الطاقة الاستيعابية وتحسين كفاءة استغلال الأراضي، فإن الحكم على كفاءته يتطلب تقييماً فعلياً لأدائه البيئي والتشغيلي ومدى رضا المستخدمين خلال فترات الإشغال، بعيداً عن الاكتفاء بالمؤشرات التصميمية أو الاستيعابية النظرية. ومن هنا تبرز الفجوة البحثية المتمثلة في محدودية الدراسات الميدانية التي تقيم الأداء الفعلي لنماذج الإسكان الرأسي في مشعر منى من خلال دمج القياسات البيئية المباشرة مع تقييّمات المستخدمين والرصد التشغيلي أثناء موسم الحج. وانطلاقاً من ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأداء البيئي والتشغيلي والمكاني لمشروع أبراج كدانة الوادي باستخدام منهجية تقييم ما بعد الإشغال، من خلال الجمع بين القياسات الميدانية للبيئة الداخلية، والتحليل الإحصائي لاستجابات الحجاج، والملاحظات الميدانية المباشرة. كما تسعى الدراسة إلى تحليل العلاقة بين الكثافة التشغيلية وجودة البيئة الداخلية ومستويات رضا الحجاج، وتقديم مؤشرات وتوصيات تصميمية وتشغيلية يمكن الاستفادة منها عند تخطيط وتطوير مشروعات الإسكان الرأسي المستقبلية في مشعر منى.

نبذة عن المشروع

شهد موقع المشروع (المربع 38 بمشعر منى) تحولاً نوعياً في نمط الإشغال المكاني واستغلال الأراضي؛ فقبل التطوير، كان الموقع يضم نحو 320 خيمة تقليدية شاملة خيام الخدمات والمرافق، على مساحة إجمالية تبلغ حوالي 33 ألف متر مربع، وبطاقة استيعابية تُقدّر بنحو 13 ألف إلى 20 ألف حاجاً (بمساحة تتراوح بين 1.0 إلى 1.6 م² لكل حاج). ومع التحول إلى نموذج الإسكان الرأسي على الموقع نفسه، ارتفعت الطاقة الاستيعابية لتتجاوز 30 ألف حاج، الأمر الذي يعكس حجم الأثر التنموي والتنظيمي لهذا التوجه في رفع الكفاءة الاستيعابية لمشعر منى.

وقد شُيّدت أبراج كدانة الوادي بوصفها نموذجاً عمرانياً وسكنياً حديثاً لإسكان الحجاج في مشعر منى، باستخدام تقنيات البناء المسبق الصنع بهدف ضمان جودة التنفيذ وتسريع وتيرة الإنجاز، حيث استغرقت أعمال الإنشاء نحو عشرة أشهر قبل تشغيل المشروع في موسم حج 1445هـ (شكل 1). وتمتاز الأبراج بموقعها الحيوي في المربع (38)، إذ تقع على بُعد يقارب (1 كم) من منشأة الجمرات، و(0.7 كم) من مستشفى الطوارئ، و(0.85 كم) من مسجد الخيف (شكل 2). ويتكون المشروع من

عشرة أبراج متجاورة، يتألف كل منها من خمسة طوابق، بطاقة استيعابية إجمالية تتجاوز (30,000) حاج (جدول 1). كما تتميز واجهات المشروع بتصميم معماري يستلهم الهوية العمرانية لمدينة مكة المكرمة ويعكس خصائصها البصرية (شكل 3).



شكل 1 جانب من الأعمال الإنشائية أثناء تنفيذ المشروع.
(المصدر: صحيفة مكة)

جدول 1 معلومات شاملة عن المشروع

الشوارع المحيطة	شارع 206 (شمال شرق) - شارع 223 (شمال غرب) شارع 225 (جنوب شرق) - شارع 204 (جنوب غرب)
أبعاد ومساحة الأرض	110م عرضي x 300 م طولي = 33 آلاف م ²
مساحة البناء	165 م ²
عدد الغرف	23 غرفة (في الدور الأرضي) + 30 غرفة (4 أدوار) = مجموع 143 غرفة لكل برج
الخدمات	دورات مياه، مصليات، عيادات طبية، مطابخ، صالات طعام.
نظام التكييف	تكييف مركزي من نوع VRF مزود بمسارات للإمداد والسحب الهوائي



شكل 2 موقع المشروع وأهم المعالم المجاورة



(ج)



(إ)



(د)



(ب)

شكل 3 لقطات متنوعة للمشروع

(أ) التقاء الواجهة الجنوبية الغربية والشمالية الغربية، (ب) التقاء الواجهة الجنوبية الغربية والشمالية الغربية، (ج) المدخل الرئيسي لإحدى الأبراج، (د) إحدى نماذج غرف الإقامة.

مبررات وأهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من المساهمة في سد الفجوة المعرفية المرتبطة بتقييم الأداء الفعلي لمشروعات الإسكان الرأسي في مشعر منى، في ظل محدودية الدراسات الميدانية التي تقيس كفاءتها البيئية والتشغيلية خلال فترات التشغيل مرتفعة الكثافة. كما تتمثل أهميتها التطبيقية في توفير مؤشرات أداء كمية وموجهات تصميمية وتشغيلية تدعم الجهات المطورة وصناع القرار في تقييم مدى ملائمة نموذج أبراج كدانة الوادي، بما يتوافق مع المستهدفات الرامية إلى رفع الطاقة الاستيعابية وتحسين جودة الخدمات والبيئة العمرانية ضمن برنامج خدمة ضيوف الرحمن. ومن شأن نتائج الدراسة أن تساهم في بناء قاعدة معرفية وتطبيقية تدعم تطوير نماذج الإسكان الرأسي وتعزز استدامتها عند التوسع المستقبلي في المشاعر المقدسة.

أسئلة الدراسة

1. إلى أي مدى يحقق مشروع أبراج كدانة الوادي الكفاءة البيئية والتشغيلية خلال فترات ذروة التشغيل؟
2. ما مستوى الأداء الفعلي للبيئة الداخلية من حيث الراحة الحرارية وجودة التهوية وجودة الهواء داخل غرف إقامة الحجاج خلال موسم الحج؟
3. ما أبرز التحديات التشغيلية والمكانية المرتبطة بحركة الحشود وكفاءة الخدمات والمرافق؟
4. ما الموجهات التصميمية والتشغيلية التي يمكن استخلاصها من تقييم الأداء الفعلي للنموذج لدعم التوسع المستقبلي في الإسكان الرأسي بمشعر منى؟

أهداف الدراسة

- **تقييم جودة البيئة الداخلية ومستويات الراحة الحرارية:** قياس كفاءة البيئة الداخلية في الغرف والممرات من خلال الرصد الميداني لدرجات الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الهواء ومستويات الضوضاء، إضافة إلى تقييم جودة الهواء الداخلي من خلال قياس تركيزات الغازات والجسيمات العالقة، وتحليل أثر السلوكيات الاستخدامية للحجاج على أداء المنظومة البيئية للأبراج.
- **تحليل الكفاءة التشغيلية ومنظومة الحركة الرأسية وتدفقات الحشود:** رصد وتحليل الأداء التشغيلي للأبراج خلال فترات الذروة، بما يشمل قياس أزمنة انتظار المصاعد، وتوثيق أنماط حركة الحشود وسلوكيات الإشغال في الفراغات المشتركة ومسارات الإخلاء، بهدف تحديد الاختناقات الحركية والتشغيلية ومسبباتها.
- **تطوير موجهات تصميمية وتوصيات تشغيلية تحسينية للنموذج:** اقتراح موجهات تصميمية وحلول هندسية وتشغيلية تساهم في تحسين جودة البيئة الداخلية وكفاءة الحركة الرأسية، استناداً إلى نتائج التقييم الميداني، بما يدعم التشغيل الآمن والاستخدام الأمثل لنماذج الإسكان الرأسي في مشعر منى.

الإطار النظري

يمثل تخطيط وتصميم بيئات الإسكان المؤقت في المواقع التي تستوعب حشوداً بشرية كثيفة تحدياً رئيساً في مجالي العمارة والتخطيط العمراني، ولا سيما في البيئات التي تتسم بمحدودية المساحة وارتفاع كثافات الإشغال خلال فترات زمنية قصيرة. وفي ظل هذه الظروف، تصبح كفاءة استغلال الحيز المكاني، وجودة البيئة الداخلية، وفعالية الأنظمة التشغيلية عناصر مترابطة تحدد أداء البيئة السكنية المؤقتة وقدرتها على توفير بيئة إقامة آمنة ومريحة للمستخدمين. ويشير مفهوم البيئة الداخلية إلى مجموعة العوامل البيئية المؤثرة في صحة المستخدمين وراحتهم، بما يشمل الراحة

الحرارية، وجودة الهواء الداخلي، ومستويات التهوية، والبيئة الصوتية، والإضاءة، وهي من المؤشرات الرئيسية المستخدمة عالمياً في تقييم أداء المباني السكنية عالية الكثافة. وبناءً على ذلك، لا يقتصر تقييم فاعلية نماذج الإسكان على قدرتها الاستيعابية فحسب، بل يمتد ليشمل قدرتها على تحقيق مستويات مناسبة من الراحة البيئية، وسلامة الحركة، وكفاءة الخدمات، واستمرارية الأداء خلال فترات الإشغال القصوى.

وتؤكد أدبيات تقييم ما بعد الإشغال أهمية قياس الأداء الفعلي للمباني أثناء التشغيل بوصفه معياراً أساسياً للحكم على نجاح الحلول التخطيطية والتصميمية، خاصة في المباني عالية الكثافة التي تتعرض لضغوط تشغيلية مستمرة أو موسمية (Preiser et al., 2015). وفي هذا الإطار برز التوسع الرأسي كأحد الخيارات التخطيطية الفاعلة لتعظيم الاستفادة من الأراضي المحدودة ورفع الطاقة الاستيعابية (Al-Kodmany, 2018)، ويعتمد نجاح هذا النمط العمراني على قدرته على تحقيق التوازن بين المتطلبات البيئية والتشغيلية والإنسانية.

ومن الناحية البيئية، تشير الدراسات إلى أن تقارب الكتل العمرانية قد يسهم في تحسين الظروف الحرارية الخارجية من خلال زيادة التظليل وتقليل التعرض المباشر للإشعاع الشمسي، إلا أن تأثيره في حركة الهواء يُعد أكثر تعقيداً؛ إذ يعتمد على شكل النسيج العمراني واتجاهات الرياح السائدة والعلاقات الفراغية بين المباني. ففي حين قد يؤدي التقارب غير المدروس إلى ظهور مناطق ركود هوائي وضعف التهوية الطبيعية، يمكن في حالات أخرى أن يسهم في زيادة سرعة الهواء نتيجة تأثيرات الديناميكا الهوائية بين الكتل العمرانية، الأمر الذي ينعكس بصورة مباشرة على الراحة الحرارية الخارجية وجودة التهوية (Ali-Toudert & Mayer, 2006)؛ (Ng, 2009). كما يؤدي ارتفاع الكثافات البشرية داخل المباني إلى زيادة الأحمال الحرارية الداخلية وارتفاع تراكيز ثاني أكسيد الكربون والملوثات الأخرى، مما يجعل جودة الهواء الداخلي وكفاءة التهوية من المؤشرات الأساسية لتقييم الأداء البيئي في المباني عالية الكثافة (ASHRAE, 2022).

أما من الناحية التشغيلية، فتشير دراسات الحركة الرأسية وإدارة الحشود إلى أن المباني عالية الكثافة تكون أكثر عرضة للاختناقات خلال فترات الذروة الناتجة عن تزامن حركة المستخدمين، وهو ما ينعكس على أزمدة انتظار المصاعد وكثافات الإشغال في الممرات والردهات ومناطق التجمع (Barney, 2003)؛ (CIBSE, 2020). ولذلك يرتبط نجاح مشاريع الإسكان الرأسي بمدى كفاءة منظومة الحركة الداخلية وقدرتها على استيعاب التدفقات البشرية المرتفعة من خلال أنظمة نقل رأسية مناسبة ومسارات حركة آمنة وواضحة تحقق الانسيابية التشغيلية وتلبي متطلبات السلامة (Fruin, 1971)؛ (Still, 2014).

أولاً: الكفاءة الإسكانية في البيئات عالية الكثافة

تمثل الكفاءة الإسكانية أحد المفاهيم المحورية في دراسات الإسكان والتخطيط العمراني المعاصر، وتشير إلى قدرة المشروع السكني على تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المكانية والبنية التحتية والخدمات مع المحافظة على مستويات مناسبة من الراحة والصحة والسلامة للمستخدمين. ولا يقتصر مفهوم الكفاءة الإسكانية على تعظيم الطاقة الاستيعابية أو زيادة معدلات الإشغال، بل يشمل كذلك جودة البيئة الداخلية وكفاءة التشغيل (Burton et al., 2003). وقد شهد هذا المفهوم تطوراً ملحوظاً خلال العقود الأخيرة، حيث لم يعد يقتصر على مؤشرات الكثافة السكانية أو نصيب الفرد من المساحة، بل يشمل الجوانب المكانية والبيئية والاجتماعية والتشغيلية ضمن إطار متكامل لتقييم أداء البيئات السكنية. ومن هذا المنطلق، لا ترتبط الكفاءة الإسكانية بتعظيم الطاقة الاستيعابية أو زيادة معدلات الإشغال فحسب، وإنما بقدرة المشروع على تحقيق التوازن بين كفاءة استغلال الأرض، وجودة البيئة العمرانية، وكفاءة البنية التحتية والخدمات، ومستويات الراحة والرضا لدى المستخدمين (Ng, 2009)؛ (Yuen et al., 2006).

وتنطلق تقييمات الكفاءة الإسكانية عادةً من مجموعة من المؤشرات المترابطة تشمل كفاءة استخدام الأرض، ونصيب الفرد من المساحة، وكفاءة المرافق والخدمات المشتركة، وكفاءة أنظمة الحركة والوصول، وجودة البيئة الداخلية، ومستويات الرضا لدى المستخدمين. ويُعد التكامل بين هذه المؤشرات أساساً للحكم على فاعلية البيئات السكنية في المواقع محدودة المساحة وعالية الكثافة، إذ إن أي زيادة في القدرة الاستيعابية لا تمثل بالضرورة تحسناً في الكفاءة الإسكانية ما لم تترافق مع المحافظة على جودة البيئة العمرانية وكفاءة الخدمات والأداء التشغيلي للمشروع (Yuen et al., 2006)؛ (Maleki et al., 2022).

وفي البيئات المؤقتة التي تستوعب أعداداً كبيرة من المستخدمين خلال فترات زمنية محدودة، تصبح الكفاءة الإسكانية بعداً أكثر تعقيداً نتيجة ارتفاع الأحمال التشغيلية وتزامن أنماط الحركة والاستخدام. وفي هذه الحالات لا يُقاس أداء المشروع السكني بقدرته على استيعاب الأعداد المستهدفة فقط، بل بمدى قدرته على المحافظة على جودة البيئة الداخلية، وضمان كفاءة الحركة والتنقل، وتوفير الخدمات الأساسية بصورة فعالة وأمنة خلال فترات الذروة التشغيلية (Baharetha et al., 2025). ولذلك فإن تقييم مشروعات إسكان الحجاج يتطلب تبني منظور شامل يجمع بين الأبعاد المكانية والبيئية والتشغيلية، بما يتيح تقييم مدى قدرة هذه المشروعات على تحقيق الاستخدام الأمثل للحيز العمراني وتحسين تجربة الحجاج في الوقت ذاته.

وبناءً على ما سبق، فإن تقييم الكفاءة الإسكانية في البيئات عالية الكثافة يتطلب فهماً متكاملًا للعلاقات المتبادلة بين الكثافة المكانية، وجودة البيئة الداخلية، والكفاءة التشغيلية. وانطلاقاً من

ذلك، تناولت العديد من الدراسات والتجارب الدولية تطبيقات مختلفة للإسكان عالي الكثافة سعت إلى تحقيق هذا التوازن، الأمر الذي يستدعي استعراض أبرز هذه التجارب ومدى إسهامها في تطوير نماذج الإسكان المعاصرة.

ثانياً: التجارب العالمية في إسكان التجمعات الضخمة والبيئات عالية الكثافة

شهدت العقود الأخيرة توسعاً ملحوظاً في تطبيق نماذج الإسكان عالي الكثافة في العديد من المدن العالمية استجابةً لمحدودية الأراضي وارتفاع الطلب على المساحات العمرانية. وقد برزت مدن مثل هونغ كونغ وسنغافورة وطوكيو بوصفها نماذج رائدة في توظيف التوسع الرأسي لزيادة الطاقة الاستيعابية وتحسين كفاءة استخدام الأراضي، مع المحافظة على مستويات مقبولة من جودة البيئة العمرانية والخدمات الأساسية (Gao et al., 2024)؛ (Yuen et al., 2006).

وأظهرت هذه التجارب أن نجاح مشروعات الإسكان عالي الكثافة لا يعتمد على زيادة القدرة الاستيعابية فحسب، بل يرتبط بقدرتها على تحقيق توازن دقيق بين الكفاءة المكانية وجودة البيئة السكنية وفاعلية الأنظمة التشغيلية. كما بينت الدراسات أن ارتفاع الكثافات العمرانية يمكن أن يسهم في تحسين كفاءة استغلال الأرض والخدمات المشتركة، شريطة أن يصاحبه تخطيط متكامل للفراغات العامة والبنية التحتية وأنظمة الحركة والخدمات، بما يضمن المحافظة على جودة البيئة العمرانية وراحة المستخدمين (Maleki et al., 2022).

وفي سياق مواز، تمثل مشروعات الإيواء المؤقت المرتبطة بالأحداث والفعاليات العالمية الكبرى، مثل القرى الأولمبية ومرافق الإقامة المخصصة للتجمعات البشرية المؤقتة، نماذج مهمة لفهم متطلبات إسكان أعداد كبيرة من المستخدمين خلال فترات زمنية محددة. وتتشابه هذه البيئات مع نماذج إسكان الحشود من حيث الحاجة إلى استيعاب كثافات بشرية مرتفعة ضمن نطاق مكاني محدود، مع ضمان كفاءة الحركة والتنظيم وتوافر الخدمات الأساسية والمحافظة على معايير السلامة والتشغيل (Fruin, 1971)؛ (Still, 2014).

وتشير الأدبيات إلى أن هذه التجارب، على الرغم من اختلاف سياقاتها العمرانية والوظيفية، تواجه مجموعة من التحديات المشتركة المرتبطة بإدارة الكثافات المرتفعة، وكفاءة استخدام المساحة، واستمرارية أداء الخدمات والبنية التحتية، بالإضافة إلى التحديات المتعلقة بالحفاظ على جودة البيئة الداخلية. كما تتطلب هذه البيئات إدارة فعالة لأنظمة الحركة الرأسية والأفقية للحد من الاختناقات وتحسين تدفقات المستخدمين خلال فترات الذروة التشغيلية، خاصة في المنشآت متعددة الطوابق وعالية الإشغال (Still, 2014).

ومن الناحية البيئية، أظهرت العديد من الدراسات أن ارتفاع الكثافات البشرية داخل المباني يفرض أعباءً إضافية على أنظمة التهوية والتكييف وجودة الهواء الداخلي، ويؤثر بصورة مباشرة على

مستويات الراحة الحرارية والصوتية للمستخدمين، مما يجعل جودة البيئة الداخلية أحد المحاور الرئيسية في تقييم أداء البيئات السكنية عالية الكثافة. كما أكدت هذه الدراسات أن نجاح هذه المشروعات يرتبط بقدرتها على توفير بيئة داخلية صحية ومريحة بالتوازي مع تحقيق أهداف الكفاءة المكانية والتشغيلية (Baharetha et al., 2025) ؛ (Longares et al., 2024).

وبصفة عامة، تُظهر التجارب العالمية أن نجاح نماذج الإسكان عالية الكثافة لا يعتمد على تعظيم الطاقة الاستيعابية فحسب، بل يرتبط بقدرتها على تحقيق توازن متكامل بين الكفاءة المكانية وجودة البيئة الداخلية وكفاءة التشغيل ورضا المستخدمين. كما تؤكد هذه التجارب أن تقييم أداء هذه النماذج يتطلب منظوراً شاملاً يجمع بين الجوانب البيئية والمكانية والتشغيلية والسلوكية، وهو ما يكتسب أهمية خاصة في البيئات الموسمية ذات الكثافات المرتفعة، حيث تصبح العلاقة بين القدرة الاستيعابية وجودة الإقامة وكفاءة التشغيل عاملاً حاسماً في تحديد مدى نجاح النموذج وقابليته للتطوير والتوسع مستقبلاً.

ثالثاً: المعايير والضوابط العالمية لتقييم الإسكان عالي الكثافة

أدى التوسع في تطبيق نماذج الإسكان عالي الكثافة إلى تطوير مجموعة من المعايير والمرجعيات الدولية التي تُستخدم لتقييم أداء المباني أثناء التشغيل، والتحقق من قدرتها على تحقيق متطلبات الراحة والصحة والسلامة والكفاءة التشغيلية. وتستند هذه المرجعيات إلى مفهوم تقييم أداء المباني، الذي يركز على قياس الأداء الفعلي للمبنى وبيئة الاستخدام خلال فترة التشغيل الفعلي. وتتنوع المؤشرات المستخدمة في تقييم البيئات السكنية عالية الكثافة تبعاً لطبيعة الأداء المراد قياسه، حيث تشمل مؤشرات البيئة الداخلية، وكفاءة أنظمة التهوية والتكييف، وجودة الهواء، ومستويات الضوضاء، بالإضافة إلى مؤشرات الحركة والنقل الرأسى وإدارة الحشود وكفاءة الخدمات التشغيلية.

فعلى المستوى البيئي، يُعد معيار ASHRAE Standard 55 المرجع الدولي الرئيس لتقييم الراحة الحرارية داخل المباني، في حين يوفر معيار ASHRAE Standard 62.1 الأسس اللازمة لتقييم كفاءة التهوية وجودة الهواء الداخلي. وإلى جانب معايير ASHRAE، تعتمد العديد من أنظمة تقييم المباني الدولية، مثل WELL Building Standard وLEED، على مؤشرات جودة البيئة الداخلية وكفاءة التهوية والراحة الحرارية باعتبارها عناصر أساسية في تقييم جودة البيئات المبنية وأثرها على المستخدمين. كما تمثل إرشادات منظمة الصحة العالمية (WHO) والمعايير الدولية المتعلقة بجودة البيئة الداخلية مرجعاً مهماً لتقييم العوامل البيئية المرتبطة بالصحة وجودة الحياة داخل البيئات السكنية (WHO, 2021).

أما على المستوى التشغيلي، فتستند تقييمات الحركة وإدارة الحشود إلى مجموعة من المؤشرات المعتمدة في الأدبيات المتخصصة، من أبرزها زمن انتظار المصاعد، وكثافة الإشغال، ومستوى الخدمة للمشاة، وكفاءة تدفقات الحركة خلال فترات الذروة (Barney, 2003).

وانطلاقاً من هذه المرجعيات، يمكن تحديد مجموعة من المؤشرات البيئية والتشغيلية المستخدمة عالمياً في تقييم البيئات السكنية عالية الكثافة، والتي تشكل الأساس المرجعي للدراسة الحالية في تقييم الأداء الفعلي لمشروع أبراج كدانة الوادي، كما يوضحها الجدول التالي.

جدول 2 المؤشرات المرجعية العالمية المستخدمة في تقييم الإسكان عالي الكثافة

المحور	المؤشر	وحدة القياس	القيمة المرجعية
الراحة الحرارية	درجة حرارة الهواء الداخلي	°م	ضمن نطاق الراحة الحرارية للمباني المكيفة (غالباً 23-26°م)
	الرطوبة النسبية	%	لا تتجاوز 65%، ويفضل 30-60%
	سرعة الهواء	م/ث	تحدد وفق نموذج الراحة الحرارية وتزداد مع ارتفاع درجات الحرارة
جودة الهواء الداخلي	تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO ₂)	ppm	أقل من 1000 كمؤشر شائع لجودة التهوية المقبولة
	الجسيمات الدقيقة PM2.5	ميكروغرام/م ³	12-0 ممتاز 12.1 حتى 35 مقبول
البيئة الصوتية	مستوى الضوضاء داخل غرف الإقامة	dB(A)	35-40 أثناء فترات الراحة
	زمن انتظار المصاعد	ثانية	أقل من 30 ثانية جيد، إلى 60 ثانية مقبول وقت الذروة
إدارة الحشود	كثافة الحشود	شخص/م ²	< 2 مريح، 4-2 مقبول، أكثر من 4 ازدحام مرتفع

تم تنفيذ القياسات البيئية والميدانية باستخدام أجهزة رصد دقيقة ومعايرة، حيث وُضعت على ارتفاع (1.1 متر) عن الأرضية بوصفه أحد الارتفاعات المعيارية المعتمدة في متطلبات معايير ASHRAE Standard 55 لتمثيل مستوى الجلوس ومنطقة التنفس لشاغلي الفراغات. وضُبطت الأجهزة لتسجيل القراءات بفاصل زمني منتظم بلغ (5 دقائق) لضمان رصد التغيرات اللحظية بدقة، حيث أُجري الرصد الميداني خلال أيام الرصد من الساعة 12:30 ظهراً وحتى الساعة 8:00 مساءً، وذلك لضمان شمول القياسات لفترات ذروة الإشعاع الشمسي والأحمال الحرارية الخارجية، بالتزامن مع فترات ذروة التشغيل وحركة الحشود داخل الأبراج. وقد صُممت خطة الرصد لتشمل مقارنة تحليلية بين النماذج المعمارية ذات التعرض المباشر للإشعاع (برج A) وتلك المستفيدة من التظليل المتبادل مثل برج D، فضلاً عن قياس درجات الحرارة السطحية لأسطح واجهات المشروع والأسفلت المحيط أثناء أوقات الذروة الإشعاعية.

تُبرز المؤشرات السابقة ضرورة اعتماد منظور متكامل يربط بين الأداء البيئي، وكفاءة الحركة، وفاعلية الخدمات. وبناءً عليه، تتخذ الدراسة من هذه المعايير إطاراً مرجعياً لتقييم الأداء الفعلي لمشروع أبراج كدانة الوادي ومقارنته بالمعايير الدولية المعتمدة.

رابعاً: السياق المكاني لمشعر منى ومحددات التطوير العمراني

يُمثل مشعر منى بيئة عمرانية ذات خصوصية مكانية ووظيفية، لارتباطه بأداء مناسك الحج واستقباله أعداداً كبيرة من الحجاج ضمن نطاق جغرافي محدود، حيث يقع ضمن وادٍ تحيط به سلاسل جبلية، الأمر الذي يفرض محددات طبيعية على التوسع الأفقي ويجعل تحقيق الاستخدام الكفء للحيز العمراني أحد أبرز التحديات التي تواجه عمليات التطوير العمراني فيه. وقد أسهمت هذه المحددات في تعزيز الاتجاه نحو نماذج الإسكان الرأسي بوصفها وسيلة لزيادة الطاقة الاستيعابية ضمن المساحات المتاحة، مع ضرورة مراعاة متطلبات السلامة، وكفاءة الحركة، وجودة الخدمات، والقدرة على الاستجابة للطلب المكثف خلال فترات الذروة (Imam & Alamoudi, 2014).

ولا تقتصر آثار السياق المكاني لمشعر منى على شكل التوسع العمراني، بل تمتد إلى الأداء البيئي والتشغيلي للمباني. فمحدودية الموقع وارتفاع الكثافات وتزامن الاستخدام قد تؤثر في طبيعة توزيع الفراغات الداخلية، ومستويات الإشغال في الغرف والممرات، وكفاءة التهوية والتكييف، ومستويات الضوضاء، وجودة الهواء الداخلي. كما تنعكس هذه الخصائص بصورة مباشرة على قدرة المبنى على المحافظة على مستويات ملائمة من الراحة الحرارية، ولا سيما في الفراغات المشتركة والممرات التي تشهد تغيراً مستمراً في كثافة الاستخدام وسلوكيات الحجاج.

ويرتبط السياق المكاني كذلك بمنظومة الحركة داخل أبراج الإسكان وحولها. فاعتماد النموذج الرأسي يتطلب كفاءة عالية في المصاعد والسلالم والممرات، إلى جانب وضوح مسارات الوصول والإخلاء، وقدرة الفراغات المشتركة على استيعاب تدفقات المستخدمين خلال أوقات الذروة. وبناءً على ذلك، فإن تقييم أداء الأبراج لا ينبغي أن يقتصر على الطاقة الاستيعابية وحدها، بل يجب أن يشمل أزمنة انتظار المصاعد، وأنماط الحركة الرأسية، ومستويات التزاحم، ومواقع الاختناقات، ومدى انسيابية الانتقال بين الغرف والمرافق ومسارات الخروج والطوارئ.

كما تفرض العلاقة الوظيفية بين أبراج الإسكان وشبكات الحركة والخدمات في المشعر ضرورة تقييم المبنى باعتباره جزءاً من منظومة مكانية متكاملة، وليس وحدة مستقلة. فأى تعديل في توزيع المداخل أو المصاعد أو الفراغات المشتركة قد يؤثر في حركة الحجاج وفي الضغط الواقع على البنية التحتية ومسارات التنقل المحيطة. لذلك ينبغي أن يراعي التطوير العمراني التوافق بين خصائص الموقع، وتكوين المبنى، وأنظمة التشغيل، ومتطلبات السلامة، بما يحقق توازناً بين زيادة الاستيعاب وتحسين جودة البيئة الداخلية ورفع كفاءة الحركة.

وفي إطار هذه الدراسة، يُنظر إلى الإسكان الرأسي في مشعر منى بوصفه نموذجاً عمرانياً وتشغيلياً يحتاج إلى تقييم متكامل. ويتناول هذا التقييم ثلاثة أبعاد مترابطة: أولها جودة البيئة الداخلية ومستويات الراحة الحرارية وجودة الهواء والضوضاء؛ وثانيها الكفاءة التشغيلية للحركة الرأسية وتدفقات الحشود خلال فترات الذروة؛ وثالثها مدى إمكانية تحويل نتائج التقييم إلى موجهات تصميمية وتوصيات تشغيلية قابلة للتطبيق. وبذلك يصبح السياق المكاني أساساً تفسيريّاً لفهم أداء الأبراج، وليس مجرد وصف جغرافي للموقع، بل أحد المحددات الرئيسة للأداء البيئي والتشغيلي وكفاءة استثمار الموارد المكانية المتاحة واستدامتها على المدى الطويل.

خامساً: دراسات الإسكان وتجارب التطوير الرأسي في مشعر منى

شهد مشعر منى خلال العقود الماضية سلسلة من المبادرات التطويرية الهادفة إلى تحسين بيئة إقامة الحجاج ورفع القدرة الاستيعابية للمشعر في ظل محدودية المساحة المتاحة للنمو العمراني. وقد ركزت الدراسات والأبحاث التي أجراها معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة والجهات البحثية ذات العلاقة على تقييم كفاءة أنماط الإسكان المختلفة، ودراسة العلاقة بين الكثافات الإشغالية ومتطلبات السلامة وجودة الخدمات وراحة الحجاج.

ومع اعتماد مشروع الخيام المطورة بوصفه النموذج الرئيس لإسكان الحجاج في مشعر منى، انصبّت جهود التطوير على تحسين جودة الإقامة ورفع مستويات السلامة والاستفادة المثلى من المساحات المتاحة. وقد أسهم هذا النموذج في تعزيز الطاقة الاستيعابية للمشعر وتحسين البنية التحتية والخدمات المصاحبة، إلا أن استمرار نمو أعداد الحجاج وارتفاع مستهدفات الاستيعاب المستقبلية أظهر محدودية إمكانات التوسع الأفقي بوصفه الخيار الرئيس للتطوير، الأمر الذي دفع الباحثين والمخططين إلى دراسة بدائل أكثر كفاءة في استغلال الموارد المكانية. وفي هذا السياق، بدأت الدراسات التخطيطية في التركيز على التوسع الرأسي كأحد الحلول القادرة على زيادة الطاقة الاستيعابية للمشعر.

وتُعد تجربة عمائر سفوح منى من أوائل التطبيقات العملية لهذا التوجه؛ إذ أظهرت الدراسات التقييمية أن الإسكان الرأسي أسهم في توفير مساحات إضافية للإقامة والحركة والخدمات، كما أسهم في تخفيف الضغوط الواقعة على الأراضي المنبسطة داخل الوادي (El Zawahry, 2019). وفي المقابل، كشفت هذه الدراسات عن مجموعة من التحديات المرتبطة بالأداء التشغيلي، من أبرزها كفاءة الحركة الرأسية، وأزمة الانتظار عند المصاعد، وإدارة تدفقات الحشود، وتوفير الخدمات خلال فترات الذروة.

كما أوضحت الدراسات البيئية أن إدخال الكتل العمرانية المرتفعة إلى النسيج العمراني للمشعر يترك أثراً مباشراً على المناخ الميكروي وحركة الهواء والظروف الحرارية في الفراغات المحيطة،

فضلاً عن تأثيره على جودة البيئة الداخلية للمباني ذات الكثافات الإشغالية المرتفعة، مما يؤكد أهمية دمج الاعتبارات البيئية ضمن مراحل التخطيط والتصميم والتشغيل لهذه المشروعات.

وفي سياق متصل، أجرى Al-Abbasi and Al-Nabati (2024) دراسة تقييمية لمشروع أبراج كدانة الوادي (مربع 38) من خلال استبيانات ومقابلات ميدانية مع عينة من الحجاج قوامها 387 حاج خلال موسم حج 1445هـ، وركزت الدراسة على تقييم جودة الإقامة والخدمات والبنية التحتية وإدارة الحشود ومستويات رضا المستخدمين. وأظهرت نتائجها وجود مستويات مرتفعة من الرضا العام تجاه الأمان الهيكلي وسهولة الوصول والخدمات المقدمة، مقابل ملاحظات مرتبطة بمحدودية المساحات الداخلية وكفاية المصاعد وإدارة الحركة خلال فترات الذروة. كما أوصت الدراسة بتعزيز الحلول التقنية والتنظيمية المرتبطة بإدارة الحشود وتحسين الخدمات المساندة داخل الأبراج. وعلى الرغم من أهمية هذه النتائج، فقد اعتمدت الدراسة السابقة بصورة رئيسة على التقييمات الإدراكية للحجاج والملاحظات الميدانية، بينما تتبنى الدراسة الحالية منهجية تقييم ما بعد الإشغال بصورة أكثر شمولاً من خلال دمج القياسات البيئية المباشرة للراحة الحرارية وجودة الهواء الداخلي مع التقييمات الإدراكية والرصد التشغيلي، بما يتيح فهماً أعمق للأداء الفعلي للمشروع أثناء التشغيل.

وتشير مجمل نتائج الدراسات السابقة إلى أن نجاح مشروعات الإسكان الرأسي في مشعر منى لا يعتمد على قدرتها على زيادة الطاقة الاستيعابية فقط، بل يرتبط بمدى قدرتها على تحقيق تكامل بين الكفاءة المكانية والأداء البيئي والكفاءة التشغيلية. كما تؤكد هذه النتائج أن تقييم النماذج الحديثة للإسكان الرأسي يتطلب دراسة أدائها الفعلي في ظروف التشغيل الواقعية، بما يسمح بالحكم على مدى فاعليتها في تحسين منظومة إسكان الحجاج وملاءمتها للتوسع المستقبلي داخل السياق المكاني الفريد لمشعر منى.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة منهجية تقييم ما بعد الإشغال بوصفها إطاراً علمياً لتقييم الأداء الفعلي للمشروع، من خلال الجمع بين الرصد الميداني المباشر للمتغيرات البيئية (جدول 3)، والتقييمات الإدراكية والسلوكية لعينة من الحجاج المقيمين في الأبراج.

جدول 3 المتغيرات البيئية المقاسة وقائمة الأجهزة المستخدمة

المتغير البيئي المقاس	جهاز القياس	غرض القياس	شكل الجهاز
درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية	UT331+	تقييم مستويات الراحة الحرارية الداخلية.	

	تقييم كفاءة التهوية الميكانيكية وجودة الهواء الداخلي.	Temtop M2000 2nd	تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون والجسيمات العالقة
	قياس سرعة الهواء داخل الغرف.	Testo 405i	سرعة تدفق الهواء الداخلي
	قياس شدة الصوت بالديسيبل لتحديد أثر التكيف الميكانيكي وحركة الحشود في الممرات.	UT353BT Mini Sound	مستويات الصوت (الضوضاء)
	حساب مستويات الإضاءة Lux وتحديد نسبة الاعتماد على الإضاءة الصناعية في الفراغات.	Extech LT40 LED Meter	مستويات الإضاءة
	دراسة الانتقال الحراري عبر غلاف المبنى ومقارنة كفاءة الواجهات والأسفلت.	مقياس الحرارة بالليزر (IR)	درجات الحرارة السطحية والإشعاعية

قُسم العمل الميداني إلى ثلاث مراحل رئيسية (شكل 4) لعزل الأداء الحراري والبيئي الذاتي لغلاف المبنى عن المؤثرات التشغيلية والأحمال الناتجة عن إشغال الحجاج:



شكل 4 التسلسل المنهجي لمراحل العمل الميداني

المرحلة الأولى: القياس المرجعي (ما قبل الإشغال): أجريت يوم 3 ذو الحجة 1447هـ (20 مايو 2026م) في برج A قبل إشغال المبنى بالحجاج، بهدف قياس الأداء الفيزيائي، والحراري، والضوئي، والصوتي للمبنى وفراغاته الداخلية دون تأثيرات الإشغال.

المرحلة الثانية: الرصد البيئي (أثناء التشغيل الفعلي): نُفِّذت خلال فترات الذروة التشغيلية لموسم الحج (يومي 8 و11 ذو الحجة)، عبر تثبيت أجهزة قياس في فراغات معمارية محددة في برج A و D للدراسة المقارنة:

برج A: تم اختيار غرفة في الدور الخامس ذات إطلالة شمالية غربية معرضة للإشعاع الشمسي بشكل مباشر لساعات طويلة، بالإضافة إلى رصد ممر الدور الرئيسي المخدم لها.

برج D: تم اختيار غرفة في الدور الرابع لتمثيل الواجهات المحمية بفعل التظليل المتبادل الناتج عن تقارب الكتل المعمارية (ارتداد بيني يقارب خمسة أمتار) (شكل 5)، بالتوازي مع رصد الممر الرئيسي في الدور ذاته.



شكل 5 التظليل المتبادل " وناتج الارتداد البيئي بين الكتل العمرانية

المرحلة الثالثة: التقييم الإدراكي وسجل المراقبة والسلوك: تضمنت هذه المرحلة توثيق وملاحظة ديناميكيات تدفق الحشود في الممرات والفراغات المشتركة، وقياس أزمدة انتظار المصاعد، ومتابعة كفاءة منظومة تجميع النفايات ونقلها، إضافةً إلى إجراء استبانات ومقابلات ميدانية مع عينة عشوائية من الحجاج لقياس مستويات الرضا والانطباعات المرتبطة بالبيئة الداخلية والخدمات التشغيلية، مدعومة بتوثيق فوتوغرافي منضبط يراعي خصوصية الحجاج.

عينة الدراسة وغرف الإقامة

تم اعتماد أسلوب العينة العشوائية المنتظمة لجمع استجابات الحجاج خلال أيام التشغيل، حيث بلغ إجمالي عينة الدراسة (589) استجابة موزعة على النماذج السكنية المختلفة، بما يضمن تمثيلاً مناسباً للعينة ويحقق التوازن الإحصائي اللازم للمقارنات التحليلية. وبالنسبة لغرف الإقامة، فقد تشابهت الوحدات محل الدراسة في المساحة والتصميم المعماري الأساسي، بينما تمثل المتغير الرئيس في

اختلاف الكثافة التشغيلية الفعلية داخل الغرفة الواحدة وفقاً لمستويات الباقات الخدمية المقدمة. ولذلك شملت الدراسة نماذج إسكان عالية الكثافة تستوعب (20) حاجاً في الغرفة الواحدة، وأخرى منخفضة الكثافة تستوعب (8) حاج، ضمن وحدات متماثلة في خصائصها المكانية والمعمارية.

حدود ومحددات الدراسة

تقتصر هذه الدراسة على تقييم الأداء البيئي والمكاني والتشغيلي لمشروع أبراج كدانة الوادي بمشعر منى؛ وعليه، ينبغي تفسير نتائجها في سياق مشروعات الإسكان العمودي ذات الخصائص التصميمية والتشغيلية المماثلة. كما ينبغي مراعاة الاختلافات الطبوغرافية والتنظيمية وأنماط الإشغال عند الاستفادة من هذه النتائج أو تطبيق موجهاتها في مشروعات أخرى بالمشاعر المقدسة.

شمل برنامج الرصد البيئي ثلاث مراحل تشغيلية رئيسة من موسم الحج، تمثلت في الوضع المرجعي قبل الإشغال، ومرحلة وصول الحجاج، ومرحلة ذروة الإشغال. وقد أتاح هذا التدرج رصد التغيرات الرئيسية في الأداء البيئي والتشغيلي للمشروع. ومع ذلك، فإن الرصد المستمر على مدى فترات زمنية أطول قد يوفر فهماً أعمق للتغيرات الزمنية في أداء المبنى خلال مختلف مراحل الموسم.

وتركزت القياسات البيئية على برجين سكنيين يمثلان حالتين متباينتين من التعرض للإشعاع الشمسي؛ حيث مثل البرج (A) أعلى مستويات التعرض المباشر لأشعة الشمس، في حين مثل البرج (D) أعلى درجات التظليل الذاتي والمتبادل الناتج عن المباني المجاورة. وقد أتاح هذا الاختيار تقييم أثر التباين في التعرض الشمسي على الأداء البيئي، إلا أن توسيع نطاق القياسات ليشمل عدداً أكبر من الأبراج قد يساهم في تقديم صورة أكثر شمولاً عن أداء المشروع ككل.

كما تأثرت إجراءات الرصد الميداني خلال فترة ذروة الإشغال في الحادي عشر من ذي الحجة ببعض القيود المتعلقة بإمكانية الوصول ومتطلبات الإدارة التشغيلية للموقع، الأمر الذي استدعى تركيز عمليات الرصد المستمر والمفصل في البرج (D) لضمان اكتمال البيانات واتساقها. ويمكن للدراسات المستقبلية توسيع نطاق الرصد ليشمل عدداً أكبر من الأبراج وفترات مراقبة أطول، بما يساهم في تعميق فهم العلاقات بين كثافة الإشغال، والجودة البيئية، والأداء التشغيلي، ورضا المستخدمين في مشروعات الإسكان العمودي المخصصة للحجاج.

النتائج والمناقشة

أولاً: الأداء الحراري والمناخ المصغر الداخلي والخارجي

أظهرت القياسات الميدانية مستويات عالية للأداء الحراري واستقراراً في البيئة الداخلية للمبنى، مع وجود تباينات مرتبطة بسلوك المستخدمين والخصائص الإشعاعية للأسطح والفراغات المحيطة.

- **(3 ذو الحجة):** حققت الغرفة المكيفة في برج (A) فاعلية تبريد ملحوظة بانخفاض درجات الحرارة تدريجياً من 19.6°C إلى 17.7°C، بينما ارتفعت الرطوبة النسبية من 48% لتصل إلى 71% عند الساعة 6:00 مساءً. وفي المقابل، تشير قراءات الغرفة غير المكيفة جودة العزل الحراري للغلاف الإنشائي باستقرار حراري عند 21.8°C وسرعة هواء شبه منعدمة 0.03 متر/ثانية مع تأثرها من التكييف المحيط في الممرات والفراغات المجاورة (جدول 4).
- **(8 و 11 ذو الحجة):** رصد يوم 8 ذو الحجة في غرفة برج D تدخلاً سلوكياً تشغيلياً من الحجاج نتيجة شعورهم بالبرودة المفرطة حيث سجلت الغرفة حرارة منخفضة نحو 18.1°C وذلك الساعة 3:00م مما دفع الشاغلين لإعادة ضبط منظم الحرارة إلى 23°C، لترتفع درجات الحرارة وتستقر عند حوالي 21.8°C. وفي يوم 11 ذو الحجة، حافظت غرفة برج (D) على حرارة تشغيلية متزنة حول 22.1°C إلى 23.2°C، في حين بقيت الرطوبة النسبية مرتفعة نسبياً بين 59% و 77.9% (جدول 4).
- **بيئة الممرات المشتركة:** حافظت الممرات عموماً على درجات حرارة منخفضة 16.6°C إلى 19.8°C، باستثناء ارتفاع حاد ومفاجئ سُجل في ممر برج (D) يوم 8 ذو الحجة عند الساعة 2:00م بلغ 27.4°C مع رطوبة 37.5% نتيجة فتح نوافذ وأبواب الشرفة وتجمع الحجاج بكثافة حول البوفيه المفتوح الملاصق لها، مما تسبب في تسرب الحرارة إلى الداخل وزيادة الحمل الحراري مؤقتاً (شكل 6).



شكل 6 إحدى فراغات البوفيه والشرفة الملاصقة لها.

توضح هذه النتيجة التأثير المباشر للسلوك التشغيلي للمستخدمين على الأداء الحراري للفراغات المشتركة، حيث أدى فتح النوافذ والأبواب الخارجية إلى اختلال التوازن الحراري للممر رغم فعالية نظام التكييف المركزي.

جدول 4 نتائج القياسات الميدانية لدرجات الحرارة والرطوبة النسبية والملاحظات للبرجين A و D

اليوم والبرج	الموقع والفراغ	نطاق درجة الحرارة (°C)	نطاق الرطوبة النسبية (%)	الملاحظات التشغيلية والسلوكية
3 ذو الحجة (برج A - شاعر)	الغرفة (المكيفة)	19.6 - 17.7	48% - 71.0%	تبريد مستقر عالي الكفاءة وسرعة هواء بين 0.05 و 0.25 م/ثانية.
	الغرفة الغير المكيفة	21.8	46% - 53%	ثبات حراري يعكس كفاءة العزل والكتلة الحرارية للمبنى.
8 ذو الحجة (برج A - إشغال)	الغرفة (الدور 5)	21.6 - 19.2	59.5% - 67%	رفع منظم الحرارة إلى 24°C أدى لتصاعد تدريجي في حرارة الغرفة.
	ممر الدور	19.8 - 16.6	61.9% - 81.0%	تبريد عالي الكفاءة.
8 ذو الحجة (برج D - إشغال)	الغرفة (الدور 4)	21.8 - 18.1	53.4% - 73.2%	برودة (18.1°C) عُدلت بالتدخل السلوكي برفع الحرارة إلى 23°C.
	ممر الدور	27.4 - 16.9	37.5% - 63.2%	ارتفاع حرارة الممر إلى 27.4°C نتيجة فتح باب الشرفة.
11 ذو الحجة (برج D - ذروة)	الغرفة (الدور 4)	23.2 - 21.2	59% - 77.9%	استقرار حراري بمتوسط 22°C ورطوبة مرتفعة بفعل الأنفاس.
	ممر الدور	22.9 - 20	61.4% - 67.7%	استقرار درجات حرارة الممر.

كشفت قياسات الليزر الحراري تبايناً واضحاً في مستويات الامتصاص والإشعاع؛ حيث سجلت الأسفلت الداكن المحيط بالموقع درجات حرارة سطحية مرتفعة 75°C يوم 3 ذو الحجة، ووصلت إلى 79.4°C في وقت الظهيرة 11 ذو الحجة. وفي المقابل، أظهرت الواجهات الخرسانية الفاتحة أداءً حرارياً أفضل، حيث سجلت 44.1°C مقارنة بـ 48.9°C للأسطح الخرسانية الغامقة، محققة فارقاً في درجة الحرارة تجاوز 35°C عن الأسفلت ونحو 5°C عن الأسطح الغامقة، مما أسهم في الحد من انتقال الحرارة عبر الغلاف الإنشائي (جدول 5). وتتفق هذه النتيجة مع ما أشارت إليه الدراسات المتعلقة بالمناخ الحضري، التي تؤكد أن استخدام الأسطح والواجهات الفاتحة يسهم في خفض درجات الحرارة السطحية وتقليل الكسب الحراري للمباني في البيئات الحارة (Ali-Toudert & Mayer, 2006).

جدول 5 درجات الحرارة السطحية للأسطح المختلفة للموقع في يومي 8 و 11 ذو الحجة.

وقت الرصد	أسفلت جديد °C	أسفلت قديم °C	خرسانة غامقة (°C)	خرسانة فاتحة (°C)
12 ظهراً	79.4 / 65.5	68 / 58.2	48.9 / 48.5	44.1 / 45.5
4 عصراً	71.3 / 60	62.5 / 53.4	58.8 / 54	55.6 / 50
6 مساءً	49 / 50	44.2 / 46	42.9 / 50	42.4 / 46
8 مساءً	41.3 / 41	38.8 / 39.5	39.4 / 46	37.2 / 43

ثانياً: جودة الهواء الداخلي والتهوية

- **3 ذو الحجة:** أظهرت القياسات المرجعية في حالة عدم الإشغال تراكيز منخفضة لثاني أكسيد الكربون تراوحت بين (409-482 ppm) ، وهي قيم قريبة من مستويات الهواء الخارجي، مما يعكس كفاءة التهوية قبل بدء الإشغال الفعلي. كما رُصد ارتفاع متأخر في تركيز الجسيمات الدقيقة (PM2.5) داخل الغرفة الشاغرة عند الساعة (5:00 مساءً)، حيث بلغ ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و(5637 Particle/L)، ويُعزى ذلك إلى إعادة تطاير الغبار المستقر نتيجة تدفق الهواء الصادر عن نظام التكييف، بالتزامن مع وجود أثاث ومفروشات حديثة التجهيز داخل فراغ مغلق. ومع بدء الإشغال يوم (8 ذو الحجة)، قفزت تراكيز ثاني أكسيد الكربون داخل غرفة برج (D) بصورة ملحوظة لتصل إلى (1606.8 ppm) مقارنة بـ (402.7 ppm) في الهواء الخارجي، كما سجلت يوم (11 ذو الحجة) قيمة بلغت (1468.3 ppm) ، متجاوزة الحد المرجعي الشائع لجودة التهوية المقبولة. وقد يشير ذلك إلى أن معدلات تجديد الهواء النقي لم تكن كافية مقارنة بالكثافة التشغيلية المرتفعة داخل الغرفة، وهي نتيجة تتفق مع ما أشارت إليه الأدبيات المتعلقة بالمباني عالية الكثافة.
- **يوم 8 ذو الحجة،** أظهرت النتائج أن غلاف المبنى وفر مستوى جيداً من الحماية تجاه الأتربة الخارجية عند إبقاء النوافذ مغلقة؛ إذ انخفض تركيز PM2.5 داخل الغرفة إلى $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ مقابل $13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ في البيئة الخارجية، مما يعكس كفاءة الغلاف الخارجي في الحد من تسرب الجسيمات العالقة.
- **يوم 11 ذو الحجة،** أدى فتح النوافذ من قبل الحجاج إلى تراجع جودة الهواء الداخلي، حيث ارتفع تركيز PM2.5 إلى $27.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ كما ارتفع عدد الجسيمات إلى 4112.8 نتيجة تسرب الغبار الخارجي وامتزاجه بالألياف الدقيقة الناتجة عن المفروشات وحركة المستخدمين داخل الفراغ (جدول 6).

جدول 6 نتائج مؤشرات جودة الهواء الداخلي والتهوية) حسب الموقع وحالة الإشغال.

اليوم	الموقع والحالة	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	الجزئيات (Particle/L)	CO2 (ppm)
3 ذو الحجة	الغرفة (2:00 م)	10.6	18.4	1697	482
	ممر الدور (2:40 م)	14.1	24.6	2151	409
	الغرفة (5:00 م)	37	60.9	5637	448
8 ذو الحجة	داخل الغرفة (نوافذ مغلقة)	7.5	12.8	1176.4	1606.8
	خارج المبنى	13.3	23.8	2020	402.7
11 ذو الحجة	داخل الغرفة (نافذة مفتوحة)	27.1	44.4	4112.8	1468.3
	خارج المبنى	25.8	42.4	3934.7	422.3

وتشير هذه النتائج إلى أن معدلات تجديد الهواء النقي داخل الغرف قد لا تكون كافية مقارنة بالكثافة التشغيلية الفعلية خلال فترات الإشغال المرتفع. وعلى الرغم من استخدام نظام تكييف من نوع (VRF) مزوّد بمسارات للإمداد والسحب الهوائي (Supply and Return Air)، فإن القياسات الميدانية أظهرت ارتفاعاً ملحوظاً في تراكيز ثاني أكسيد الكربون داخل بعض الغرف المأهولة، مما قد يشير إلى وجود فجوة بين معدلات التهوية المتاحة ومتطلبات الإشغال أثناء فترات الذروة التشغيلية. ويؤكد ذلك أهمية إجراء تقييم أكثر تفصيلاً لأداء منظومة التهوية وتجديد الهواء النقي تحت ظروف التشغيل القصوى.



(ب)



(أ)

شكل 7 جانب من القياسات الميدانية لجودة الهواء: (أ) الرصد الميداني في ممرات الأبراج (ب) داخل الغرفة

ثالثاً: البيئة السمعية والضوئية

- **البيئة السمعية:** أظهرت القياسات المرجعية يوم (3 ذو الحجة) مستويات ضوضاء خلفية منخفضة تراوحت بين (40-50 ديسيبل)، ناتجة بصورة رئيسة عن تدفق الهواء من مخارج التكييف الميكانيكي. ومع بدء التشغيل وازدياد كثافة الإشغال، ارتفعت مستويات الضوضاء في الممرات العامة ومناطق التوزيع لتتراوح بين (58-68 ديسيبل) يوم (8 ذو الحجة)، ووصلت إلى مستويات تراوحت بين (60-70 ديسيبل) يوم (11 ذو الحجة)، متأثرة بارتدادات الصوت داخل الممرات المغلقة، والتجمعات البشرية، وحركة الحشود المتجهة نحو المصاعد والسلالم.
- **البيئة الضوئية:** أظهر الرصد الميداني يوم (3 ذو الحجة) تبايناً واضحاً في مستويات الإضاءة داخل الغرفة تبعاً لموقع القياس وعمق الفراغ؛ حيث سجلت المناطق المحاذية للنوافذ مستويات تراوحت بين (390-420 لوكس)، بينما بلغت الإضاءة بالقرب من الشرفة نحو (500 لوكس) عند الساعة (2:00 ظهراً)، في حين انخفضت عند مدخل الغرفة إلى مستويات تراوحت بين (220-250

لوكس) (جدول 7). وتشير هذه النتائج إلى تأثير التوجيه المكاني وعمق الفراغ في توزيع الإضاءة الطبيعية داخل الغرفة.

وعند مقارنة النتائج بالمؤشرات المرجعية المستخدمة في تقييم البيئة الداخلية، يتضح أن مستويات الضواء داخل الغرف كانت ضمن الحدود المقبولة نسبياً خلال مرحلة ما قبل الإشغال، في حين ارتفعت في الممرات والفراغات المشتركة مع زيادة كثافة المستخدمين خلال فترات الذروة التشغيلية. كما أظهرت قراءات الإضاءة الطبيعية مستويات مناسبة في المناطق القريبة من الفتحات الخارجية، مقابل انخفاضها تدريجياً في الأجزاء الأعمق من الفراغ، مما يؤكد الحاجة إلى تحقيق توازن تصميمي بين متطلبات العزل الحراري وكفاءة الإضاءة الطبيعية في مشروعات الإسكان الموسمي عالية الكثافة.

جدول 7 مستويات الإضاءة المقاسة (لوكس) حسب موقع القياس داخل الغرفة يوم 3 ذو الحجة

موقع القياس / الوقت	2:00م	4:00م	6:00م
جوار النافذة	390	420	180
وسط الغرفة	490	480	380
مدخل الغرفة	220	242	250
جوار (البلكونة)	500	420	350

رابعاً: التقييم التشغيلي والإدراكي وسلوك الحجاج

1/ سجل الملاحظة والرصد الميداني (فريق الرصد والمراقبة)

سجل فريق البحث الميداني عبر الملاحظة المنظمة وتتبع مسارات الحركة عدد من التحديات الهندسية والتشغيلية في الفراغات العامة ومحيط الأبراج:

- **المصاعد وساعات الذروة:** أظهرت الملاحظات الميدانية أن ردهات المصاعد شهدت ازدحاماً ملحوظاً خلال فترات الذروة التشغيلية المتزامنة مع أوقات الصلوات والتفويج إلى منشأة الجمرات، حيث تراوحت أزمدة الانتظار بين 3 و4 دقائق. وقد أسهم ذلك في تشكل تجمعات للحجاج أمام المصاعد، بما يشير إلى أن منظومة الحركة الرأسية تمثل أحد أبرز التحديات التشغيلية في الأبراج خلال فترات الإشغال المرتفع
- **غياب الدرج العام والاعتماد على سلالم الطوارئ:** أظهرت الملاحظات الميدانية وجود قصور في منظومة الحركة الرأسية تمثل في غياب درج عام مخصص للاستخدام اليومي بين الأدوار، مما اضطر بعضاً من الحجاج إلى استخدام "سلالم ومسارات الطوارئ" للتنقل بين الأدوار، بالتوازي مع استخدام مصاعد الخدمات اللوجستية، مسبباً أرباكاً لسلاسل الإمداد ومخالفة لمعايير السلامة والإخلاء المعتمدة. وتشير هذه النتيجة إلى أن منظومة النقل الرأسية تمثل أحد أبرز الاختناقات

- التشغيلية في المشروع خلال فترات الذروة، حيث تجاوزت أزمدة الانتظار الحدود المرجعية المتعارف عليها للمباني عالية الكثافة.
- **عقبات المداخل وبوابات الدخول الرئيسية:** لوحظ أن الباب الحديدي السحاب أمام الأبراج غير عملي تشغيلياً؛ إذ يخلو من نظام تحكم آلي ويتم سحبه يدوياً، وغالباً لا يتم فتحه بالكامل، مما سبب إعاقة وإرباكاً في حركة دخول وخروج الحجاج، خاصة عند وصولهم دفعة واحدة (شكل 8). وتعكس هذه الملاحظة أهمية دمج اعتبارات الراحة الحرارية الخارجية ضمن تصميم مناطق الانتقال والدخول، نظراً لدورها المباشر في تحسين تجربة المستخدمين وتقليل الإجهاد الحراري أثناء فترات الذروة.



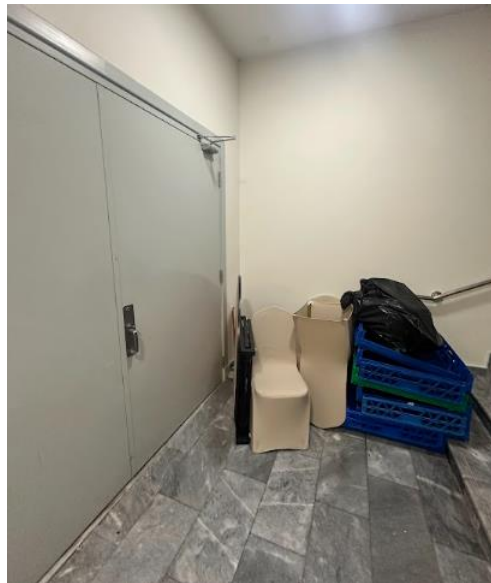
شكل 8 ازدحام وتدفق الحجاج عند أحد المداخل الرئيسية للأبراج خلال أوقات الذروة التشغيلية.

- **قصور المعالجات التصميمية لمداخل الأبراج:** لوحظ غياب المعالجات المعمارية المناسبة والملائمة للظروف المناخية عند المداخل الرئيسية للمباني؛ حيث تتعرض المداخل والدرج الخارجي بالكامل للإشعاع الشمسي المباشر مع غياب عناصر التظليل الفعال، مما يخلق عبئاً حرارياً وإجهاداً إضافياً على الحجاج ويعيق سلاسة التفويج والحركة (شكل 9).



شكل 9 توثيق بعض التحديات التصميمية والتشغيلية عند المداخل الرئيسية للأبراج

إعاقة مسارات الحركة وممرات التوزيع رُصد قيام أعداد كبيرة من الحجاج بأداء صلوات الجماعة وتناول وجبات الإعاشة وافتراش ممرات الأدوار المتكررة والردهات المحاذية للمصاعد مباشرة، كما لوحظ استخدام بعض سلاسل الطوارئ للتخزين المؤقت، مما يشكل خطراً على السلامة ويتعارض مع اشتراطات الإخلاء والطوارئ (شكل 10). كما أسهمت بعض الممارسات السلوكية والتشغيلية في تقليص العرض الفعلي للممرات ورفع كثافة الإشغال بها، الأمر الذي انعكس سلباً على انسيابية الحركة ومستوى السلامة خلال فترات الذروة التشغيلية.



شكل 10 استخدام سلاسل ومسارات الطوارئ للتخزين العشوائي ومخالفة اشتراطات السلامة والإخلاء.

توقف الحافلات والعوادم: تسبب توقف مجموعة من الحافلات أمام المداخل مباشرة لإنزال الحجاج في إعاقة حركة الدخول والخروج لبعض الأبراج، علاوة على ما أنتجته من انبعاثات حرارية وغازية أثرت سلباً على جودة البيئة الموضعية للمدخل (شكل 11).



شكل 11 توقف الحافلات مباشرة أمام المداخل، وما ينتج عنها من إعاقة للحركة وانبعاثات مؤثرة.

تسرب مياه التكييف في الممرات البينية وتراكم بعض النفايات يتضح في (الشكل 12) بعض التسربات وتجمعات مياه ناتجة من التكييف في بعض الممرات والارتدادات البينية المفتوحة بين الأبراج، مما أثر على النظافة العامة والسلامة. كما رُصد تراكم بعض النفايات في الممرات وانبعاث بعض الروائح.



شكل 12 تسرب وتجمع مياه التكيف بين الأبراج والتأثيرات المصاحبة على البيئة الصحية والسلامة العامة.

إدارة النفايات وسلاسل التخلص المرحلي: بينت الملاحظات الميدانية عن افتقار بعض الأبراج لوجود مرامٍ تحت أرضية مخصصة للنفايات ضمن نطاقها المباشر، وتطلب الأمر سحب حاويات النفايات ونقلها عن طريق عاملي النظافة لمسافات عبر مسارات المشاة لتفريغها في المرامي المجاورة (شكل 13)؛ الأمر الذي أدى إلى بطء عمليات الإخلاء الخدمي وانبعاث روائح موضعية وتشويه المشهد البصري في المسارات المشتركة مع الحجيج. يُضاف إلى ذلك رصد ظاهرة "عدم إكمال أعداد كبيرة من الحجاج لوجبات الإعاشة"، مما ضاعف حجم النفايات العضوية وأدى إلى الامتلاء المتسارع للحاويات. كما لوحظ ميدانياً اختلاط بقايا الأطعمة والمخلفات العضوية بالنفايات الصلبة (كالكرتون والبلاستيك) وتراكمها عشوائياً داخل المرامي، مما يسبب مشكلات صحية وبيئية، ويصعب عمليات إعادة التدوير والمعالجة اللاحقة. وتشير هذه الملاحظات إلى أن كفاءة منظومة إدارة النفايات لا تعتمد على البنية التحتية فقط، بل تتأثر كذلك بسلوك المستخدمين وآليات الفرز والجمع والتخلص المرحلي من المخلفات.



شكل 13 آليات تفريغ ونقل حاويات النفايات إلى المرمى الأرضي

تطابق الواجهات وضعف التمييز البصري أظهر الرصد الميداني أن التكرار النمطي المتماثل لتصميم الواجهات وألوانها الخارجية، رغم تجسيده للهوية المكية، أدى إلى صعوبة التعرف البصري والاستدلال المكاني على الأبراج إلا بالاقتراب المباشر وقراءة لوحات وأرقام الأبراج. ومن الجدير بالذكر أن إحدى الشركات المشغلة عالجت ذلك ميدانياً بتمييز برجها عبر منظومة إضاءة ليلية ملونة وخاصة، مما يؤكد الحاجة لمعالجات بصرية معمارية متميزة (شكل 14). وتبرز هذه النتيجة أهمية الهوية البصرية والإرشاد المكاني في البيئات عالية الكثافة، إذ لا يقتصر دورها على الجانب الجمالي، بل يمتد إلى دعم سهولة الاستدلال المكاني وتقليل الارتباك لدى المستخدمين.



شكل 14 استخدام نظام إضاءة ليلية ملونة كمعالجة لتمييز أحد الأبراج من خلال الشركة المشغلة

وتوضح الملاحظات الميدانية السابقة أن غالبية التحديات التشغيلية لم تكن مرتبطة بقدرة المشروع الاستيعابية فحسب، بل نتجت عن التفاعل بين الخصائص التصميمية وسلوك المستخدمين ومتطلبات التشغيل الفعلي خلال فترات الذروة، الأمر الذي يؤكد أهمية تقييم الأداء بعد الإشغال بوصفه أداة لفهم واقع الاستخدام وتحديد فرص التحسين.

2/ التقييم الإدراكي وملاحظات المستخدمين (الحجاج):

عكست المقابلات المسحية والملاحظة التفاعلية مع عينات الحجاج ردود فعل مباشرة تجاه البيئة السكنية والخدمية:

البيئة التنفسية الداخلية وإجهاد العينين أفاد بعض الحجاج بشكاوى متكررة فور استقرارهم بالغرف من "تحسس وحرقان وإدماغ مفاجئ في العينين دون مبرر واضح"، وقد يكون ذلك مرتبطاً بارتفاع تراكيز ثاني أكسيد الكربون والجسيمات العالقة الناتجة عن محدودية تجديد الهواء داخل الغرفة. ودفع هذا الشعور الحجاج للجوء إلى إبقاء أبواب الغرف ونوافذها مفتوحة (شكل 15).



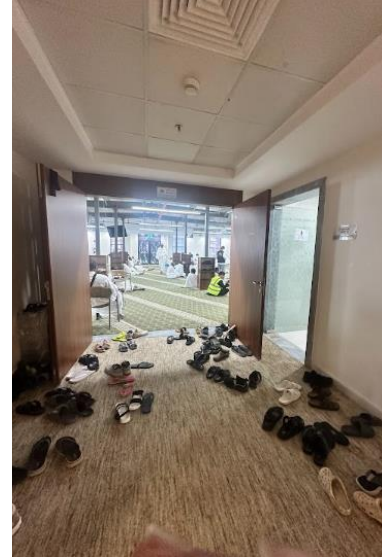
شكل 15 إبقاء بعض أبواب الغرف مفتوحاً من قبل الحجاج.

الازدحام الحاد وضعف الخصوصية المكانية: أبدى بعض الحجاج استياءً ملحوظاً من الاكتظاظ الشديد في مصليات الأبراج نظراً لمحدودية طاقتها الاستيعابية، مع التراكم العشوائي للأحذية عند مداخلها لانعدام الأرفف المخصصة أمامها (شكل 16). كما تكررت المطالبات برفع مستوى الخصوصية المعمارية وتوفير سواتر وفواصل بصرية فراغية لعزل مداخل ومصليات ودورات مياه النساء عن الحركة وممرات التوزيع. وتشير هذه الملاحظات إلى أن كفاءة الفراغات المشتركة لا ترتبط بسعتها الاستيعابية فقط، بل بمدى ملاءمتها للأنشطة الفعلية ومتطلبات الخصوصية لمختلف فئات المستخدمين.

صعوبة الاستدلال المكاني والتنقل: تكررت شكاوى الحجاج من صعوبة التمييز البصري بين الأبراج المتجاورة بسبب نمطية الواجهات المتطابقة، وصعوبة الاستدلال المكاني بعد العودة من أداء النسك (شكل 17). وتؤكد هذه النتيجة أهمية تطوير منظومة التوجيه البصري والعلامات المميزة للمباني في البيئات السكنية واسعة النطاق، بما يساهم في تعزيز الإدراك المكاني وتقليل زمن البحث والتنقل.



شكل 17 التكرار النمطي للمتماثل للواجهات الخارجية وتطابقها بين الأبراج المتجاورة



شكل 16 التراكم العشوائي للأحذية أمام مداخل المصلى

3/ نتائج المسح الاستقصائي (التحليل الإحصائي للحجاج):

الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة: أظهر التحليل الإحصائي لبيانات الاستبانة الميدانية أن عينة الدراسة البالغة 589 حاجاً تكونت من: الذكور 423 (71.8%) ، والإناث 166 (28.2%) وتوزعت الفئات العمرية للعينة لتتركز في الفئة (46-60 سنة) بواقع 230 حاجاً، تلتها فئة (31-45 سنة) بـ 215 حاجاً، بينما سجلت فئة (أكثر من 60 سنة) 82 حاجاً، وفئة (30 سنة أو أقل) 62 حاجاً. وتوفر هذه العينة تنوعاً مناسباً من حيث الجنس والفئة العمرية، بما يدعم تمثيل مختلف فئات المستخدمين ويعزز موثوقية التحليلات المتعلقة بتقييم البيئة الداخلية والخدمات التشغيلية.

تقييم البيئة الداخلية والراحة الفراغية: يوضح الجدول (8) استجابات عينة الدراسة تجاه مؤشرات جودة البيئة الداخلية والراحة الفراغية في الأبراج. تعكس هذه الإحصاءات الوصفية والاستدلالية مستويات رضا إيجابية مرتفعة تتراوح نسبتها بين 80.3% وحتى 85.9% عبر مختلف المحاور.

أيضاً تشير النتائج الكمية إلى أن جودة الهواء الداخلي سجلت أعلى معدل رضا إجمالي، وتطابقت معها تقريباً مستويات رضا الحاج عن حركة هواء التكييف بنسب متجاوزة 85%. هذا التقارب الإحصائي وانخفاض انحرافات المعيارية يبرهن على كفاءة أنظمة التكييف المركزية والعزل الحراري للغلاف المعماري في امتصاص الحمل الحراري الخارجي وتوفير تيار هواء مستقر. وعلى الرغم من تسجيل الأجهزة الميدانية ارتفاعاً ملحوظاً في تراكيز غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 داخل الغرف المأهولة متجاوزة الحدود الموصى بها دولياً (لتتراوح بين 1400 إلى 1600 ppm)، إلا أن استجابات الحاج أبدت رضا عالياً؛ وهو ما تفسره الدراسة بوجود "فجوة إدراكية" تتمثل في قياس الحاج لجودة

الهواء بناءً على المحسوسات المباشرة كبرودة الفراغ وخلوه من الروائح بغض النظر عن القياسات الفيزيائية الخفية. وتتفق هذه النتيجة مع ما أثبتته الأدبيات المعاصرة في المباني عالية الكثافة من حتمية دمج وحدات استرجاع الطاقة في المشروعات الموسمية مستقبلاً لتجديد الهواء النقي دون إهدار للطاقة (Gao et al., 2024).

جدول 8 إحصائيات تقييم الحاجاج لجودة البيئة الداخلية

المؤشر	غير مريحة جداً	غير مريحة	محايد	مريحة	مريحة جداً	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرضا الإيجابي
الراحة الحرارية (الحرارة)	8 (1.4%)	15 (2.5%)	61 (10.4%)	188 (31.9%)	317 (53.8%)	4.34	0.87	85.7%
مستوى الرطوبة النسبية	16 (2.7%)	15 (2.5%)	72 (12.2%)	189 (32.1%)	297 (50.4%)	4.25	0.96	82.5%
حركة هواء التكييف	7 (1.2%)	16 (2.7%)	64 (10.9%)	179 (30.4%)	323 (54.8%)	4.35	0.87	85.2%
جودة الهواء الداخلي	10 (1.7%)	21 (3.6%)	52 (8.8%)	174 (29.5%)	332 (56.4%)	4.35	0.91	85.9%
ملاءمة الإضاءة الطبيعية	56 (9.5%)	15 (2.5%)	45 (7.6%)	129 (21.9%)	344 (58.4%)	4.17	1.26	80.3%

أما مؤشرات الراحة الحرارية والرطوبة النسبية فقد سجلت متوسطات مرتفعة ومعدلات رضا تجاوزت 82%، مما يشير إلى فاعلية المنظومة الميكانيكية في ضبط الظروف الحرارية وتوفير بيئة داخلية مستقرة لغالبية الحاجاج. وعلى الرغم من ذلك، كشفت مقارنة نتائج الاستبيانات بالقياسات الميدانية عن وجود فجوة بين الإدراك الحسي للمستخدمين والمؤشرات البيئية الفعلية؛ إذ أظهرت القياسات ارتفاع تراكيز ثاني أكسيد الكربون داخل الغرفة المختبرة عند إغلاق الأبواب والنوافذ، في حين استمر الحاجاج في إبداء مستويات مرتفعة من الرضا عن جودة الهواء الداخلي. ويمكن تفسير ذلك بارتباط تقييم الحاجاج لجودة الهواء بعوامل محسوسة مثل برودة الفراغ وخلوه من الروائح أكثر من ارتباطه بالمؤشرات الفيزيائية غير المرئية. وتبرز هذه النتيجة أهمية تعزيز استراتيجيات التهوية وتجديد الهواء النقي في المباني الموسمية عالية الكثافة، بما يحقق التوازن بين جودة البيئة الداخلية وكفاءة استهلاك الطاقة.

وفيما يتعلق بملاءمة الإضاءة الطبيعية، فعلى الرغم من تحقيقها لرضا إجمالي إيجابي، إلا أن تباين استجابات الحاجاج الإحصائية سجل أعلى معدل تشتت وانحراف بين كافة المحاور، متزامناً مع نسب عدم رضا ملحوظة. ويُعزى هذا التفاوت إلى طبيعة التصميم المعماري في المباني الموسمية؛ حيث

تفرض اعتبارات الحد من الاكتساب الحراري الشمسي معالجة محدودة لمساحات الفتحات، وهو ما أثر بدوره على نفاذية الضوء الطبيعي وتفاوت الإضاءة. وتفاقم هذا التباين بفعل اختلاف توجيه الغرف وعمق الفراغات؛ فالغرف ذات التوجيه المباشر والواجهات الخارجية استفادت نسبياً، بينما تأثرت الغرف غير المعرضة للشمس بشكل مباشر وتأثرت مساحاتها الداخلية في قصور إضافي للإضاءة الطبيعية، وهو ما يبرز أهمية إيجاد معادلة تصميمية متوازنة بين كفاءة العزل الحراري وتوفير الإضاءة الطبيعية في مشاريع الإيواء الموسمي المستقبلية.

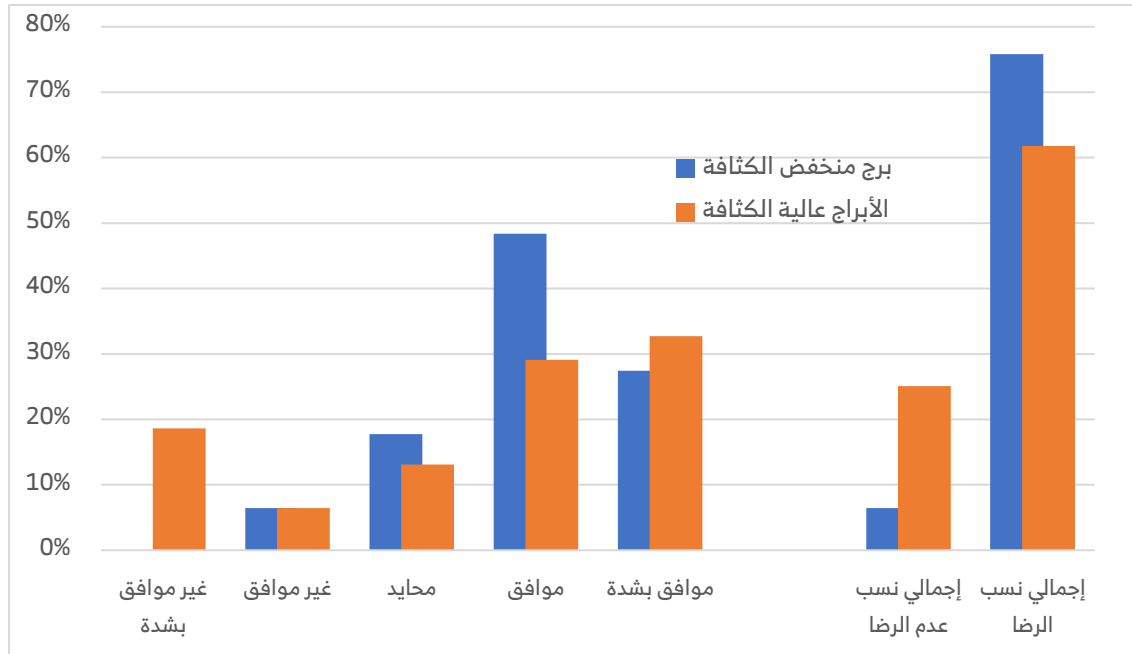
كفاءة الفراغات الداخلية تشير النتائج الكمية لهذا المحور إلى تباين ملحوظ في تقييم الحاجاج لغرفهم في الأبراج؛ فبينما سجلت بنود مثل "توفر مساحة تخزين الأمتعة" و"الراحة الصوتية" متوسطات إيجابية مرتفعة تجاوزت (4.0 من 5) ومستويات رضا عامة جيدة، سجل مؤشر "مدى كفاية المساحة الداخلية للحركة داخل الغرفة" تقييماً أقل نسبياً بمتوسط (3.67) ونسبة عدم رضا (بين غير موافق وغير موافق بشدة) بلغت 23.1%. وهنا تجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من تطابق مساحات الغرف في الأبراج، إلا أن عدد الأسرّة تفاوت ما بين 8 إلى 20 سريراً في الغرفة الواحدة بناءً على باقات الشركات المشغلة (شكل 18). وعند تحليل نسب الرضا مقارنة بالكثافة التشغيلية الفعلية (كما يوضح الشكل 19)، يتضح الأثر الجلي نتيجة تقليل عدد الأسرّة داخل الغرفة؛ حيث سجل البرج منخفض الكثافة (بواقع 8 حجاج في الغرفة) نسبة رضا عالية وصلت إلى (75.81%) مقابل عدم رضا بنسبة (6.45%) مع انعدام نسب "غير موافق بشدة". وفي المقابل، شهدت الأبراج عالية الكثافة (بواقع 20 حاجاً في الغرفة) نسبة رضا بلغت (61.79%) مقابل إجمالي نسب عدم رضا وصلت إلى 25.1%.

وتأكيداً لهذه المعطيات، أظهر التحليل الإحصائي الاستدلالي باستخدام اختبار التباين المستقل (Independent Samples t-test) وجود فروق ذات دلالة إحصائية عالية بين مستويات الكفاءة التشغيلية للوحدات ورضا الحجاج وفقاً للكثافة التشغيلية الفعلية، حيث بلغت قيمة اختبار $t=6.34$ عند مستوى دلالة احتمالية $p<0.001$ حيث سجل نموذج الكثافة المنخفضة (8 أسرّة) متوسط رضا بلغ (3.95 ± 0.85) مقارنة بـ (3.42 ± 1.12) لنموذج الكثافة العالية (20 سريراً). ولتحديد القوة العملية وموثوقية الفروق، بلغ حجم الأثر ($Cohen's d = 0.51$) مما يثبت وجود أثر متوسط إلى كبير لتباين الكثافة بينما تراوح فاصل الثقة $Confidence Interval=95\%$ بين المجموعتين من 0.36 إلى 0.70 وهو نطاق محصور وخالي من الصفر، مما يؤكد أن خفض الكثافة العددية يحقق تحسناً حقيقياً وموثوقاً في راحة الشاغلين.

وتشير النتائج إلى أن الكثافة التشغيلية الفعلية تمثل عاملاً حاسماً في تقييم جودة البيئة السكنية، وأن كفاءة التصميم المعماري بمفردها لا تكفي لضمان مستويات مرتفعة من الراحة والرضا. وفي سياق مشعر منى، حيث تفرض محدودية المساحة قيوداً تخطيطية واضحة، تبرز الحاجة إلى تحقيق توازن دقيق بين رفع الطاقة الاستيعابية والمحافظة على مستويات مقبولة من الراحة الحركية والنفسية للحجاج، بما يضمن الاستخدام الأمثل للموارد المكانية المتاحة.



شكل 18 نموذجين مختلفين للطاقت الاستيعابية وتوزيع الأسرة في برج منخفض الكثافة وآخر عالي الكثافة



شكل 19 مقارنة مستويات رضا الحجاج عن كفاية المساحة الداخلية للحركة وفقاً للكثافة التشغيلية للغرفة

فيما يخص "الإطلالة وتأثيرها على الراحة النفسية للحجاج" سجلت أدنى المحاور تقييماً من بين هذه المؤشرات، حيث سجلت متوسطاً ضعيفاً بلغ (2.94) ومعدل رضا لم يتجاوز 48.7% (جدول 9). عموماً، تأتي هذه النتيجة انعكاساً لطبيعة الإسكان في مشعر منى، والتي تعطي الأولوية لتعظيم الطاقة

الاستيعابية وكفاءة العزل الحراري على حساب الاطلالة، مما يؤكد التحدي القائم بين تحقيق الكثافة العددية العالية وتوفير الرفاهية النفسية للحجاج.

جدول 9 تقييمات الحجاج لكفاية مساحات الغرف والإطلالة

المؤشر	غير موافق بشدة	غير موافق	محايد	موافق	موافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرضا الإيجابي
كفاية المساحة الداخلية للحركة	34(5.8%)	102(17.3%)	80(13.6%)	184(31.2%)	189(32.1%)	3.67	1.25	63.3%
توفر مساحة تخزين الأمتعة	21(3.6%)	35(5.9%)	73(12.4%)	179(30.4%)	281(47.7%)	4.13	1.07	78.1%
الراحة الصوتية ومستوى الضوضاء	13(2.2%)	58(9.8%)	82(13.9%)	185(31.4%)	251(42.6%)	4.02	1.08	74.0%
جودة الإطلالة والراحة النفسية	7(1.2%)	19(3.2%)	111(18.8%)	79(13.4%)	208(35.3%)	2.94	1.04	48.7%

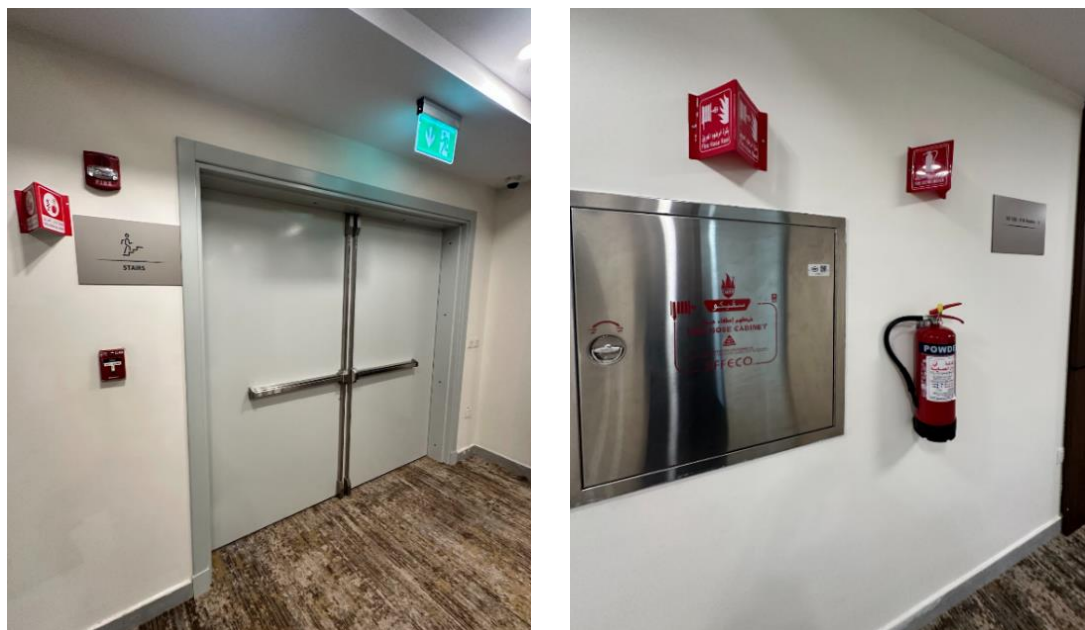
الحركة الأفقية والرأسية والتوجيه البصري: حسب ماهو موضح في جدول (10) تعكس نتائج هذا المحور مستويات رضا مرتفعة بشكل عام تجاه كفاءة الحركة وشبكات التوجيه داخل الأبراج؛ حيث سجل مؤشر "وضوح أرقام الغرف ودلالاتها البصرية" أعلى تقييم بمتوسط بلغ (4.51 من 5) ومعدل رضا إيجابي وصل إلى (93.0%)، يليه "أمان وسهولة استخدام السلالم" بمتوسط (4.40). وفي المقابل، سجل مؤشر "كفاءة زمن انتظار المصاعد" تقييماً أقل نسبياً بمتوسط (3.90) ونسبة عدم رضا بلغت (16.3%)، ويرجع ذلك لعدم كفاية عدد المصاعد وعدم توفر درج رئيس ومع ذلك يُعد تحدياً مألوفاً في المباني ذات الكثافة العالية أوقات الذروة وتنسجم هذه النتيجة مع الملاحظات الميدانية التي أظهرت امتداد أزمدة الانتظار إلى 3-4 دقائق خلال فترات الذروة التشغيلية، مما يعزز موثوقية نتائج التقييم الإدراكي للحجاج. كما سجل مؤشر "سهولة الوصول الخارجي للبرج" متوسطاً قريباً من ذلك بـ (3.99)، مما يبرز أهمية تحسين كفاءة مناطق التجمع الخارجية وحركة حافلات التفويج بما يتلاءم مع الحشود الكبيرة لمداخل ومخارج الأبراج التي سجلت بدورها متوسطاً ممتازاً بلغ 4.26 من 5.

السلامة، الأمن، والخدمات العامة تُظهر نتائج المحور مستويات رضا مرتفعة مما يعكس كفاءة عالية في المنظومة التشغيلية والأمنية للأبراج (جدول 11)؛ حيث سجلت "القيمة المضافة لتجربة الإقامة" أعلى البنود تقييماً في الجدول ككل بمتوسط بلغ (4.60) ومعدل رضا إيجابي قياسي وصل إلى (95.6%).

جدول 10 تقييمات الحجاج لعناصر الحركة والتوجيه البصري

المؤشر	غير موافق بشدة	غير موافق	محايد	موافق	موافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرضا الإيجابي
كفاءة زمن انتظار المصاعد	39(6.6%)	57(9.7%)	70(11.9%)	182(30.9%)	241(40.9%)	3.90	1.23	71.8%
خلو الممرات من العوائق	9(1.5%)	25(4.2%)	54(9.2%)	218(37%)	283(48%)	4.26	0.90	85.1%
سعة ووضوح مداخل ومخارج البرج	13(2.2%)	16(2.7%)	61(10.4%)	214(36.3%)	285(48.4%)	4.26	0.91	84.7%
أمان وسهولة استخدام السلم	5(0.8%)	12(2%)	55(9.3%)	187(31.7%)	330(56%)	4.40	0.81	87.8%
سهولة الوصول الخارجي للبرج	32(5.4%)	43(7.3%)	46(7.8%)	243(41.3%)	225(38.2%)	3.99	1.11	79.5%
وضوح أرقام الغرف والدلالات البصرية	4(0.7%)	6(1%)	31(5.3%)	195(33.1%)	353(59.9%)	4.51	0.71	93.0%

أيضاً، سجل "مستوى الشعور بالأمان والسلامة" تقييماً مرتفعاً للغاية بلغ (4.56). كما حظيت البنود المرتبطة بالأمن والسلامة بتقديرات ممتازة، تمثلت في "خلو مسارات الإخلاء من العوائق" بمتوسط (4.41) و"وضوح مسارات الطوارئ" والبيئة العامة وجودة الخدمات" بمتوسط (4.38). تشير هذه المؤشرات إلى مستويات عالية من الرضا تجاه التدابير التنظيمية والهندسية المطبقة في المشروع، بما يعكس كفاءة منظومة السلامة والخدمات من منظور المستخدمين (شكل 20).



شكل 20 تكامل وتوزيع تجهيزات أنظمة السلامة ومكافحة الحريق

جدول 11 تقييمات الحجاج للسلامة، مسارات الطوارئ، والتجربة العام في الأبراج

المؤشر	غير موافق بشدة	غير موافق	محايد	موافق	موافق بشدة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرضا الإيجابي
وضوح مسارات الطوارئ	8(1.4%)	8(1.4%)	45(7.6%)	220(37.4%)	308(52.3%)	4.38	0.80	89.6%
خلو مسارات الإخلاء من العوائق	4(0.7%)	12(2%)	39(6.6%)	215(36.5%)	319(54.2%)	4.41	0.76	90.7%
مستوى الشعور بالأمان والسلامة	4(0.7%)	1(0.2%)	24(4.1%)	195(33.1%)	365(62%)	4.56	0.65	95.1%
البيئة العامة وجودة الخدمات	7(1.2%)	4(0.7%)	40(6.8%)	248(42.1%)	290(49.2%)	4.38	0.74	91.3%
القيمة المضافة لتجربة الإقامة	4(0.7%)	2(0.3%)	20(3.4%)	173(29.4%)	390(66.2%)	4.60	0.64	95.6%

بوجه عام، تكشف نتائج المسح الاستقصائي عن مستوى مرتفع من الرضا العام تجاه تجربة الإقامة في الأبراج، مع وجود تباين بين المحاور المختلفة؛ إذ حققت مؤشرات السلامة والخدمات والراحة الحرارية أعلى مستويات الرضا، في حين ارتبطت أبرز ملاحظات المستخدمين بكفاية المساحات الداخلية، وكفاءة الحركة الرأسية، وجودة الإطالة. كما أظهرت المقارنة بين نتائج الاستبيانات والقياسات الميدانية وجود تباين بين بعض المؤشرات البيئية المقاسة موضوعياً، مثل تراكيز ثاني أكسيد الكربون، وبين إدراك المستخدمين لجودة البيئة الداخلية، وهو ما يبرز أهمية دمج القياسات البيئية الموضوعية مع التقييمات الإدراكية للمستخدمين عند تقييم أداء البيئات السكنية عالية الكثافة.

التقييم الشامل وقابلية الاستدامة المستقبلية للنموذج السكني

أظهرت النتائج الإجمالية للاستبانات مستوى مرتفعاً من القبول العام لنموذج الأبراج السكنية؛ حيث أكد غالبية الحجاج بنسبة بلغت (81.8%)، بعدد 482 حاجاً أن هذا النموذج هو "مناسب تماماً" لسكن الحجاج في مشعر منى مستقبلاً. في حين أبدى 17.0% (100 حاج) على ملاءمة نموذج البرج بشرط تحسينه (مع التركيز على تطوير المساحات، المصاعد، والخدمات)، بينما أبدى عدد قليل لا يتجاوز 7 حاج بنسبة (1.2% فقط) عن عدم تأييدهم للأبراج كنموذج مستقبلي للسكن في منى. وتشير هذه النتائج إلى مستوى مرتفع من القبول العام لنموذج الأبراج السكنية بين الحجاج، مع وجود عدد محدود من الملاحظات المرتبطة بالحركة الرأسية والمساحات الداخلية والخدمات المساندة. كما تعكس النتائج إمكانات واعدة لهذا النموذج في دعم منظومة إسكان الحجاج مستقبلاً، شريطة الاستمرار في معالجة التحديات التشغيلية التي أظهرتها الدراسة.

تحليل مريثات وملاحظات الحجاج (الاستجابات المفتوحة) تكميلاً للتحليل الكمي لمحاو الدراسة، جرى استقراء وحصر وتحليل إجمالي (185) ما بين ملاحظات ومقترحات مستمدة من الاستجابات المفتوحة لعينة الحجاج. وعقب إخضاع هذه البيانات لعمليات فرز دقيقة، وتصنيف موضوعي، واستبعاد التكرارات، أظهرت النتائج تركزها بصورة مكثفة حول محددات الكثافة المكانية، كفاءة الفراغات، ومستوى الخدمات التشغيلية، حيث انتظمت في سبعة محاور رئيسية تعكس بدقة واقع التجربة الميدانية لضيوف الرحمن:

1. ملاحظات الفراغات الداخلية والغرف والتخزين:

- ضيق المساحات داخل الغرف وصعوبة الحركة بين الأسرة.
- الحاجة الملحة لوجود أماكن أو شمامات مخصصة لتجفيف وتعليق الملابس داخل الغرف.
- قلة أو عدم كفاية مساحات تخزين الأمتعة والحقائب.
- وجود بعض المشكلات المرتبطة بالروائح (مثل رائحة دهانات أو الروائح في دورات المياه).
- الحاجة لتحسين آليات ضبط درجات الحرارة داخل بعض الغرف الفردية.

2. ملاحظات المصاعد والحركة الرأسية:

- ازدحام وطول وقت انتظار المصاعد وعدم كفاية أعدادها خلال أوقات الذروة.
- المطالبة بتوفير درج رئيسي خادماً للاستخدام اليومي بعيداً عن الاعتماد الحصري على المصاعد أو سلالم الطوارئ.

3. ملاحظات دورات المياه ومداخل النساء:

- فصل مداخل المصليات والمناطق الخدمية للرجال عن النساء لضمان الخصوصية التامة.
- ضيق مساحات دورات المياه الملحقة بالغرف وضرورة إعادة هندستها.

4. ملاحظات المطاعم والبوفيهات والخدمات الغذائية:

- ضيق مساحات البوفيه ومناطق تناول الطعام وما يصاحبها من زحام شديد أوقات الذروة.
- ملاحظات حول جودة أو كمية الوجبات المقدمة، والطلب على توفير أماكن جلوس كافية ومريحة لتناول الطعام.
- الحاجة لتوفير أجهزة تسخين ومبردات مياه إضافية وقريبة من أماكن إقامة الحجاج.

5. ملاحظات الإرشاد البصري والخدمات الذكية:

- ضعف اللوحات الإرشادية ووضوح العلامات البصرية في بعض الممرات والأدوار.
- المطالبة بتوفير شاشات عرض ولوحات رقمية تفاعلية توضح حالة الخدمات والاتجاهات داخل البرج.

6. ملاحظات البيئة العامة والتهوية والنظافة:

- توفير مسطحات الخضراء وتحسين معدلات التهوية الطبيعية والميكانيكية في الفراغات المشتركة.
- ضرورة التخلص من العوائق التي تعترض مسارات الحركة في الممرات.
- تنظيم حركة وصول الحافلات، وإيجاد حلول مناسبة لمواقف الحافلات.

خامساً: المقارنة المرجعية للأداء البيئي والتشغيلي للمشروع

يوضح الجدول أدناه مدى توافق مؤشرات الأداء البيئي والتشغيلي لمشروع أبراج كدانة الوادي مع القيم المرجعية الدولية المستخدمة في تقييم البيئات السكنية عالية الكثافة. وتُظهر نتائج المقارنة أن المشروع حقق مستويات أداء متوافقة في مؤشرات الراحة الحرارية وجودة الهواء من حيث تركيزات الجسيمات الدقيقة، بما يعكس فاعلية الغلاف الإنشائي وأنظمة التكييف في توفير بيئة داخلية مستقرة. وفي المقابل، أظهرت بعض المؤشرات، وبشكل خاص تراكيز ثاني أكسيد الكربون وأزمنة انتظار المصاعد، قيماً تجاوزت الحدود المرجعية الموصى بها، مما يشير إلى وجود فرص لتحسين كفاءة التهوية وتجديد الهواء ومنظومة الحركة الرأسية خلال فترات الذروة التشغيلية.

جدول 12 مستوى توافق مؤشرات الأداء البيئي والتشغيلي للمشروع مع المعايير الدولية

المؤشر	المعيار المرجعي	نتائج الدراسة	مستوى التوافق
الحرارة الداخلية	23-26°C	21.2-23.2°C	متوافق بدرجة عالية
الرطوبة النسبية	30-60%	59-77.9%	متوافق جزئياً
CO ₂	<1000 ppm	1468-1607 ppm	غير متوافق
PM2.5	>12 ممتاز	7.5 µg/m ³	متوافق بدرجة عالية
انتظار المصاعد	>60 ثانية	180-240 ثانية	غير متوافق

الخلاصة والتوصيات

استهدفت هذه الدراسة تقييم تجربة إسكان الحجاج في أبراج كدانة الوادي بمشعر منى من خلال منهجية مزدوجة دمجت بين القياسات البيئية الميدانية لتقييم الأداء الحراري والبيئي، وبين التحليل الإحصائي الاستبائي لعينة واسعة قوامها 589 حاجاً، فضلاً عن تحليل الاستجابات المفتوحة النوعية. وقد غطت الدراسة أربعة محاور رئيسية تشمل كفاءة الفراغات الداخلية، الحركة وشبكات التوجيه، السلامة والخدمات العامة، وصولاً إلى القبول العام للنموذج. وخلصت النتائج إلى ما يلي:

- ✓ **القبول العام المرتفع:** أظهرت النتائج مستوى مرتفعاً من القبول العام لنموذج الأبراج السكنية؛ إذ رأى 81.8% من الحجاج أن النموذج مناسب للإقامة في مشعر منى مستقبلاً، بينما أبدى 17.0% قبولهم للنموذج بشرط إجراء تحسينات تشغيلية وتصميمية محددة، في حين لم تتجاوز نسبة عدم التأييد 1.2%.
- ✓ **كفاءة الراحة البيئية الأساسية:** من منظور معماري بيئي، تشير النتائج الميدانية أن نموذج الأبراج يحقق مستويات عالية من الراحة الحرارية وضبط الرطوبة بفضل كفاءة التكيف والغلاف الإنشائي، مع وجود فرص للتحسين تتعلق بكفاءة التهوية وتجديد الهواء النقي في الغرف عالية الكثافة.
- ✓ **الفجوة بين القياسات البيئية والإدراك الحسي للحجاج:** كشفت الدراسة عن وجود تباين بين بعض المؤشرات البيئية المقاسة موضوعياً ومستويات الرضا المدركة من قبل المستخدمين، ولا سيما فيما يتعلق بتراكيز ثاني أكسيد الكربون داخل الغرف عالية الكثافة؛ إذ أظهرت القياسات الميدانية تجاوز بعض القراءات للحدود المرجعية الموصى بها، في حين استمر الحجاج في إبداء مستويات مرتفعة من الرضا عن جودة الهواء الداخلي. وتؤكد هذه النتيجة أهمية الدمج بين القياسات البيئية الموضوعية والتقييمات الإدراكية للمستخدمين عند تقييم أداء البيئات السكنية عالية الكثافة.
- ✓ **التفوق التشغيلي والأمني:** سجلت محاور السلامة والأمن وتجربة الإقامة العامة أعلى متوسطات رضا في الدراسة (تجاوزت 4.5 من 5)، مما يبرز كفاءة البنية التحتية والتدابير التنظيمية في توفير بيئة آمنة ومنظمة تدعم راحة الحجاج وجودة تجربة الإقامة.

✓ **التحديات المكانية والتصميمية:** أظهرت النتائج الكمية والنوعية تبايناً يستدعي المعالجة في الفراغات الداخلية؛ حيث سجلت "جودة الإطلالة" و"مساحة الحركة داخل الغرفة" أدنى المتوسطات، إلى جانب التحديات المألوفة المرتبطة بكثافة الحركة الرأسية ومدد انتظار المصاعد أثناء الذروة. كما أوضحت النتائج أن تطابق المساحات المعمارية للغرف لا يكفي بمفرده لتحقيق رضا الحجاج، إذ تبين أن الكثافة التشغيلية الفعلية تعتبر المتغير الحاسم لكفاءة الفراغ الداخلي؛ حيث سجلت النماذج منخفضة الكثافة تفوقاً ملحوظاً في مستويات الراحة المكانية وحرية الحركة (بنسبة رضا بلغت 75.81% مقابل 61.79% للأبراج عالية الكثافة). وهو ما يؤكد أن التحدي التخطيطي في مشعر منى يكمن في الموازنة الدقيقة بين تعظيم الطاقة الاستيعابية والمحافظة على مستويات مناسبة من الراحة الحركية والنفسية للحجاج، بما يضمن الاستخدام الأمثل والمستدام للموارد المكانية المتاحة. بناءً على الاستنتاجات الكمية والنوعية والتحليلية، توصي الدراسة بالآتي:

1. إعادة هندسة الحركة الرأسية والتحكم في الحشود:

✓ إضافة درج عام رئيسي ومستقل للاستخدام اليومي لحماية سلاسل الطوارئ وتخفيف الضغط الفعلي على المصاعد، مع إعادة النظر في عدد المصاعد لتقليل مدد الانتظار أوقات الذروة.
✓ بناء آليات تحكم رأسية ذكية لتنظيم نزول الحجاج من الأدوار وتفويجهم لمنع الاختناقات عند الخروج نحو الشارع، مع ضرورة التنبيه عند التوسع المستقبلي وتكرار التجربة دراسة النطاقات الجغرافية بعناية؛ لتجنب إحداث اختناقات مرورية وحركية في الطرق، ولضمان عدم التأثير سلباً على تيارات الهواء، وحركة الحشود، والمشهد البصري العام.

2. تطوير الكفاءة الميكانيكية والبيئية للواجهات والتهوية:

✓ رفع كفاءة التهوية الميكانيكية وتجديد الهواء النقي في الفراغات عالية الكثافة، مع ربط أنظمة المراقبة اللحظية لجودة الهواء الداخلي منظومات إدارة المباني للتحكم الآلي في معدلات التهوية استناداً إلى تراكيز ثاني أكسيد الكربون وكثافة الإشغال الفعلية.
✓ دراسة إمكانات توظيف الواجهات المتكيفة مناخياً في المشروعات المستقبلية، بما يسهم في تقليل الكسب الحراري للواجهات المعرضة للشمس المباشرة، مع توفير فتحات مدروسة توازن بين الإضاءة الطبيعية والعزل الحراري.
✓ اعتماد معالجات معمارية مستدامة للمداخل (مثل إضافة مظلات بارزة ذات هياكل خفيفة ومتوافقة مع الطابع البصري للمبنى) لتوفير الحماية الحرارية الكاملة لمنطقة الحركة الانتقالية والدرج الخارجي.

3. المرونة المكانية والفراغية للغرف:

- ✓ الانتقال من الاعتماد على القواطع والدواليب الثابتة مسبقاً (التي تفرض عوائق تصميمية تقيد مرونة توزيع الأسرة والسعة العددية في الغرف)، إلى تجهيز فراغات قابلة للتكيف تمنح المشغل حرية تامة في إعادة تشكيل وتوزيع الأسرة بالشكل الأمثل.
- ✓ توظيف المرونة التصميمية لتحقيق التوازن الحرج بين توفير مساحات كافية ومريحة لحركة الحجاج داخل الغرفة، وبين الاستغلال الأمثل للمساحات المحدودة في مشعر منى.

4. تعزيز خصوصية وسعة الفراغات المشتركة ومناطق التجمع:

- ✓ إعادة دراسة توزيع ومساحات المصليات ومداخل النساء لضمان استيعاب الحشود براحة تامة وتوفير المعايير البصرية والمكانية المطلوبة.
- ✓ توفير ردهات استراحة ومناطق جلوس داخلية مهيأة وموزعة بعناية في الأدوار لتلبي احتياجات التواصل والراحة المؤقتة، مع ربطها بأنظمة مراقبة وإدارة للحشود لضمان عدم استغلالها بشكل خاطئ أو إعاقه مسارات الحركة.

5. الإدارة الذكية ونظم الإرشاد والتوجيه:

- ✓ تبني أنظمة الإدارة الذكية للمباني (BMS) وإنترنت الأشياء (IoT) عبر تركيب بوابات ذكية وحساسات مراقبة لحظية للطاقة الاستيعابية والحشود.
- ✓ التوسع في استخدام اللوحات الإرشادية الرقمية والتفاعلية داخل المصاعد والممرات لتسهيل حركة الحجاج وتقليل الارتباك المكاني داخل الأبراج.

6. طوابق الخدمات المتكاملة والأنظمة الآلية للنفايات:

- ✓ استحداث نظام دقيق ومحكم لفرز النفايات من المصدر داخل الأبراج للحد من الآثار الصحية والبيئية الناتجة عن اختلاط الأطعمة بالمخلفات الصلبة.
- ✓ تخصيص أدوار كاملة (أو تحت الأرض) لخدمات التشغيل واستقبال الحافلات مع مساحات حرة لوقوفها، لفصل حركة الحافلات عن مشاة الحجاج تماماً.
- ✓ دراسة جدوى تطبيق أنظمة جمع وترحيل النفايات الآلية تحت أرضية الأبراج للحد من الآثار البيئية والتشغيلية المرتبطة بعمليات النقل التقليدية.

7. معالجة التحدي الاقتصادي واستدامة النماذج منخفضة التكلفة:

- ✓ ابتكار نماذج "أبراج اقتصادية" مرنة تتلاءم مع القدرة المالية للفئات ذات الدخل المحدود أو الأقل من المتوسطة؛ نظراً للمقارنة المستمرة مع تكلفة الخيام التقليدية، مما يضمن تعميم التجربة واستدامتها لكافة شرائح ضيوف الرحمن دون الإخلال بمعايير الأمن والسلامة.

المراجع

- Al-Abbasi, M., & Al-Nabati, A. (2024). *Evaluation of Kadanah Al-Wadi Towers (Block 38), Mina*. Custodian of the Two Holy Mosques Institute for Hajj and Umrah Research.
- Al-Kodmany, K. (2018). *The vertical city: a sustainable development model*. WIT press.
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2), 94-108.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>
- ASHRAE. (2022). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022: Ventilation for acceptable indoor air quality*. . American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- Baharetha, S., Hassanain, M. A., Alshibani, A., Ouis, D., Gomaa, M. M., & Ezz, M. S. (2025). A Post-Occupancy Evaluation Framework for Enhancing Resident Satisfaction and Building Performance in Multi-Story Residential Developments in Saudi Arabia. *Architecture*, 5(1), 8. <https://www.mdpi.com/2673-8945/5/1/8>
- Barney, G. C. (2003). *Elevator traffic handbook: theory and practice*. Taylor & Francis.
- Burton, E., Jenks, M., & Williams, K. (2003). *The compact city: a sustainable urban form?* Routledge.
- CIBSE. (2020). *Guide D: Transportation systems in buildings*. The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). <https://www.cibse.org/>
- El Zawahry, A. M. (2019). DESIGN DIRECTIVES FOR DEVELOPMENT PROJECTS OF PILGRIMAGE HOUSING IN THE MOUNTAIN SLOPES OF MINA AREA IN MAKKAH. *Journal Of Al-Azhar University Engineering Sector*, 14(51), 842-867.
- Fruin, J. J. (1971). *Pedestrian planning and design*.
- Gao, K., Fong, K. F., Lee, C. K., Lau, K. K.-L., & Ng, E. (2024). Balancing thermal comfort and energy efficiency in high-rise public housing in Hong Kong: Insights and recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 437, 140741.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140741>
- Imam, A., & Alamoudi, M. (2014). Mina: the city of tents origination and development. 9 Congresso Città e Territorio Virtuale, Roma, 2, 3 e 4 Ottobre 2013,
- Longares, J. M., Mselle, B. D., Gutierrez Galindo, J. I., & Ballestin, V. (2024). Dynamic Indoor Environmental Quality Assessment in Residential Buildings: Real-Time

- Monitoring of Comfort Parameters Using LoRaWAN. *Energies*, 17(22), 5534.
<https://www.mdpi.com/1996-1073/17/22/5534>
- Maleki, B., Casanovas-Rubio, M. d. M., & Fuente Antequera, A. d. I. (2022). Sustainability assessment in residential high-rise building design: state of the art. *Architectural Engineering and Design Management*, 18(6), 927-940.
<https://doi.org/10.1080/17452007.2022.2060931>
- Ng, E. (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment*, 44(7), 1478-1488.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.013>
- Preiser, W. F., White, E., & Rabinowitz, H. (2015). *Post-occupancy evaluation (Routledge revivals)*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315713519>
- Still, G. K. (2014). *Introduction to crowd science*. CRC Press.
- WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: executive summary*. World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstreams/b729bbc4-7032-4799-898e-d112faa16f22/download>
- Yuen, B., Yeh, A., Appold, S. J., Earl, G., Ting, J., & Kurnianingrum Kwee, L. (2006). High-rise Living in Singapore Public Housing. *Urban Studies*, 43(3), 583-600.
<https://doi.org/10.1080/00420980500533133>