https://erjm.journals.ekb.eg
ISSN:

DOI: ---------

ERJ
Engineering Research Journal
Faculty of Engineering
Menoufia University

دور المرونة التصميمية في تحقيق استدامة المباني لمواجهة تحديات الحاضر والمستقبل

The Role of Design Flexibility in Achieving Building Sustainability to Meet the Challenges of the Present and the Future

نبيل عشرى النحاس [١]، إيمان هانم عفيفى [١]، محمد عربى الجزار [٢*]
[١] قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة بشبرا، جامعة بنها
[٢] طالب دكتوراة – قسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة بشبرا – جامعة بنها
(Corresponding author: Mohamed.arby2017@gmail.com)

ملخص البحث
يتناول هذا البحث موضوعًا بالغ الأهمية في مجال العمارة المستدامة حيث يهدف البحث إلى دراسة العلاقة بين التصميم المعماري المرن والمستدام وكيفية تطبيق هذه المبادئ في المشاريع المعمارية المختلفة لتلبية احتياجات المستخدمين الحالية والمستقبلية حيث يعرض البحث عددًا من دراسات الحالة التي توضح كيفية دمج تقنيات الاستدامة مثل الطاقة المتجددة، وإعادة تدوير المواد، والتصميم البيئي مع المرونة في توزيع المساحات، والتكيف مع التغيرات المناخية والوظيفية للمباني، ويعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي وتحليل دراسات حالة مختارة لعدد من المشاريع المعمارية المستدامة والمرنة. تم تحليل عدد من المشاريع المعمارية مثل (The Crystal) في لندن، (KfW Westarkade) في فرانكفورت و(Medibank Building) في ملبورن، حيث تم تسليط الضوء على كيفية تحقيق المرونة التصميمية في هذه المشاريع، وكيفية تطبيق تقنيات الاستدامة مثل أنظمة الطاقة الذكية، والتصميم القابل للتعديل، واستخدام المواد المستدامة، كما تطرق البحث إلى تحليل العوامل التي تجعل المبنى مرنًا من حيث التوسع، إعادة تخصيص المساحات، والقدرة على التكيف مع المتغيرات المستقبلية، كما يستعرض البحث أيضًا المبادئ الأساسية للعمارة المستدامة مثل الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية، وتوفير بيئة صحية للمستخدمين، والتصميم الموجه نحو تقليل الأثر البيئي، وقد أظهرت نتائج التقييم أن معظم دراسات الحالة المدروسة حققت توافقًا يزيد عن ٨٠٪ مع معايير المرونة التصميمية مما يؤكد العلاقة الوثيقة بين التصميم المرن والاستدامة. كما يقدم البحث توصيات للممارسين في المجال المعماري حول كيفية تحقيق توازن بين استدامة المبنى ومرونته لمواكبة التطورات المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: العمارة المستدامة، التصميم المرن، المباني المستدامة، استدامة البيئة، تقنيات ذكية.

Abstract:
This research explores a crucial topic in the field of sustainable architecture. The study aims to examine the relationship between flexible and sustainable architectural design and how these principles can be applied in various architectural projects to meet both current and future user needs. The research presents several case studies that illustrate how sustainability techniques, such as renewable energy, material recycling, and eco-friendly design, are integrated with flexibility in spatial distribution, climate adaptation, and the functional evolution of buildings, The research relies on the descriptive-analytical methodology and the analysis of selected case studies from several sustainable and flexible architectural projects**.** The analysis covers several architectural projects, such as "The Crystal" in London, "KfW Westarkade" in Frankfurt, "Medibank Building" in Melbourne. It highlights how design flexibility is achieved in these projects and how they benefit from sustainable technologies like smart energy systems, adaptable designs, and the use of sustainable materials. The study also delves into the factors that make buildings flexible, including expansion capacity, space reallocation, and adaptability to future changes. Additionally, it addresses the core principles of sustainable architecture, such as the optimal use of natural resources, providing a healthy environment for users, and designing with the aim of reducing environmental impact. The research concludes with recommendations for practitioners in the architectural field on how to balance sustainability and flexibility to keep up with future developments, The evaluation results showed that most of the case studies analyzed achieved over 80% alignment with design flexibility standards, confirming the close relationship between flexible design and sustainability. The research then provides recommendations for practitioners in the architectural field on how to balance building sustainability and flexibility to keep pace with future.

مقدمة
في ظل التحديات البيئية والاقتصادية التي يواجهها العالم اليوم، أصبح من الضروري إعادة النظر في تصميم المباني لتلبية احتياجات الأجيال القادمة. ومن بين المفاهيم الرئيسية التي بدأت تبرز في مجال العمارة المستدامة هو مفهوم المرونة التصميمية حيث يشير هذا المفهوم إلى القدرة على تصميم المباني بطريقة تتيح لها التكيف والتغير مع مرور الوقت، بما يتماشى مع التطورات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية، تقدم المباني المستدامة التي تتمتع بالمرونة التصميمية حلولًا مبتكرة لمواجهة التغيرات البيئية المتسارعة، مثل التغيرات المناخية والطلب المتزايد على الموارد. كما تسهم هذه المباني في تحسين كفاءة الطاقة وتقليل

البصمة البيئية، مما يعزز استدامتها على المدى الطويل. وعلى الرغم من الفوائد العديدة التي توفرها المرونة التصميمية، إلا أن المعماريين والمطورين يواجهون تحديات كبيرة في تطبيق هذه المفاهيم بشكل فعال ، تتمثل التحديات التي تواجه تصميم المباني المستدامة في عدة جوانب، منها المالية، التقنية، القانونية، والثقافية، مما يعيق انتشار هذه التصاميم في العديد من البلدان والمجتمعات. ومع ذلك، تتيح التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي والطباعة ثلاثية الأبعاد والأنظمة الذكية فرصًا كبيرة لتحسين تطبيق هذه المبادئ بدقة وكفاءة، ويهدف هذا البحث إلى دراسة التحديات والفرص المرتبطة بتطبيق المرونة التصميمية في المباني المستدامة. كما يركز على استكشاف الأدوات والاستراتيجيات التي يمكن أن يستخدمها المعماريون والمطورون لضمان أن تكون المباني المستقبلية أكثر قدرة على التكيف مع التغيرات المحتملة، مما يسهم في تحقيق استدامة أكبر على المدى الطويل.

المشكلة البحثية:

"التحديات والفرص في تطبيق المرونة التصميمية في المباني المستدامة: دراسة تحليلية للتقنيات والتوجهات المستقبلية"

تُعتبر المرونة التصميمية في المباني المستدامة من الموضوعات الرئيسية التي تثير اهتمام المعماريين والمطورين، حيث تهدف إلى إنشاء مبانٍ قادرة على التكيف مع التغيرات البيئية والاجتماعية والاقتصادية على مر الزمن، ورغم الفوائد العديدة التي تقدمها هذه الاستراتيجيات المعمارية، إلا أن هناك تحديات كبيرة تعترض سبيل تطبيق المرونة في المباني المستدامة، مثل التحديات المالية والتقنية والتنظيمية والثقافية، وبالتالي، تثير هذه القضية العديد من التساؤلات حول كيفية التغلب على هذه التحديات وتحقيق التوازن بين المرونة والاستدامة في التصميم المعماري، حيث تركز الدراسة على تحليل مبانٍ إدارية وتجارية كمجال تطبيقي رئيسي، نظرًا لما توفره من تنوع وظيفي واحتياج متكرر إلى التكيف مع التغيرات المستقبلية، مع الاستفادة من نماذج أخرى في السياق العام.

الهدف من البحث:

- دراسة وتحليل التحديات التي تواجه تطبيق المرونة التصميمية في المباني المستدامة على المستويين الفني والتقني.
- استكشاف الفرص المتاحة لتعزيز المرونة التصميمية من خلال استخدام التقنيات الحديثة والابتكار في أساليب البناء.
- مقارنة التطبيقات المعمارية التي نجحت في دمج المرونة مع الاستدامة من خلال دراسات حالة في مجتمعات مختلفة.
- تقديم توصيات عملية للممارسين المعماريين والمطورين حول كيفية تحقيق التكامل بين المرونة والاستدامة في المشاريع المعمارية، حيث تعتمد التوصيات العملية على نتائج تحليل مقارن لمجموعة من دراسات الحالة التي تم تقييمها وفق معايير مرجعية محددة لمرونة التصميم في سياق الاستدامة، مما يضمن استنادها إلى أساس منهجي وتحليلي واضح.

منهجية البحث:

- يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، إضافة إلى تحليل نوعي لعدد من دراسات الحالة لمشاريع مستدامة ومرنة تم اختيارها وفق معايير محددة.
- وقد تم اختيار المشاريع محل الدراسة بناءً على عدة معايير تشمل: تنوع الاستخدام الوظيفي (إداري/ تجاري) والموقع الجغرافي تمثيل لبيئات مختلفة وامتلاك المباني لشهادات استدامة معتمدة أو تطبيقها لمبادئ التصميم المستدام، ووجود عناصر مرونة تصميمية واضحة في تكويناتها المعمارية أو أنظمتها التقنية.
- الدراسة اعتمدت على التحليل الوصفي والنصي للمشاريع المنشورة، دون استخدام أدوات تقييم ميدانية مباشرة مثل استبيانات المستخدمين أو تحليل بيانات تشغيل المباني (Post-occupancy evaluation).
- تم الاعتماد في التقييم على النظام الثنائي والترددي (pinery system) اعتمادا على حساب تردد frequency المفردات المقاسة حتى يكون القياس كمى، حيث يُسجّل (١) لعنصر المرونة المتحقق في المشروع، و(٠) لغير المتحقق. ثم تم حساب الوزن النسبي لكل عنصر بناءً على عدد مرات تحققه في المشاريع الثلاثة، بما يوضح درجة انتشاره بين الحالات المدروسة بطريقة مبسطة.

١- المفاهيم:

١-١ تعريف المرونة التصميمية في العمارة

تُعد المرونة التصميمية من أبرز المفاهيم في مجال العمارة الحديثة، حيث تشير إلى قدرة المبنى على التكيف مع التغيرات المستقبلية، سواء كانت اقتصادية، اجتماعية، بيئية، أو تكنولوجية. تعتبر هذه المرونة من الأسس الأساسية لضمان استدامة المباني على المدى الطويل، مما يمكّنها من التكيف بسلاسة وأمان مع التغيرات في وظائفها، استخداماتها، أو تقنياتها [١].

١-٢ المرونة التصميمية في سياق الاستدامة

في العمارة المستدامة، المرونة التصميمية لا تقتصر فقط على التكيف مع الاحتياجات البشرية المتغيرة، بل تشمل أيضًا القدرة على التكيف مع التغيرات البيئية التي قد تحدث بمرور الوقت. المباني المستدامة يجب أن تكون [٢]:

- قابلة لإعادة الاستخدام: بحيث يمكن إعادة تخصيص المساحات الوظيفية.
- قابلة للتحسين: بحيث يمكن دمج التقنيات الحديثة للطاقة أو تحسين كفاءة استهلاك الموارد دون الحاجة لإعادة بناء المبنى بالكامل.

تسمح المرونة التصميمية في المباني المستدامة بتحقيق الاستدامة طويلة الأمد من خلال توفير مساحات مرنة وقابلة للتكيف تستمر في تلبية احتياجات المستخدمين حتى مع مرور الزمن[٣].

٣- أهمية المرونة التصميمية في العمارة المستدامة

مع تزايد التحولات البيئية، الاقتصادية، والاجتماعية التي تواجه المجتمعات الحديثة، أصبح من الضروري أن يكون التصميم المعماري قادرًا على التكيف مع هذه المتغيرات.

٣-١ التغيرات البيئية

تواجه الأرض تحديات بيئية مستمرة مثل التغيرات المناخية، ارتفاع درجات الحرارة، وتزايد ندرة الموارد الطبيعية. من خلال التصميم المرن، يمكن للمباني التكيف مع هذه التغيرات بشكل فعال، وذلك من خلال:

- تحسين كفاءة الطاقة: مثل استخدام تقنيات العزل المتقدمة أو دمج أنظمة الطاقة المتجددة مثل الألواح الشمسية.
- التصميمات القادرة على مواجهة الكوارث الطبيعية: مثل الأعاصير أو الفيضانات، من خلال تصميمات إنشائية مرنة يمكنها تحمل هذه الظروف [٤].

٣-٢ التغيرات الاجتماعية والاقتصادية

يتغير نمط الحياة اليومي للسكان بشكل مستمر، كما أن الاحتياجات الاجتماعية تتغير. يمكن للمباني المرنة أن توفر المساحات المتغيرة التي يمكن تعديلها لتتناسب مع التوجهات المستقبلية:

- التوسع السكاني: قدرة المباني على التكيف مع زيادة أو انخفاض السكان.

- التغيرات في الأنماط الوظيفية: مثل الانتقال إلى العمل عن بعد أو الحاجة لمساحات تجارية جديدة.

التصميم المرن يسمح بمرونة الاستخدامات لتلبية احتياجات مجتمعية متطورة دون الحاجة إلى تجديد المبنى بالكامل [٥].

٤- المرونة والابتكار التكنولوجي في المباني المستدامة

يشهد العالم تقدمًا سريعًا في مجال التكنولوجيا، مما يؤثر بشكل كبير على تصميم المباني وطريقة استخدامها، واحدة من أهم ميزات المرونة التصميمية هي التكامل مع التكنولوجيا الحديثة، مثل [٦]:

- التقنيات الذكية: أنظمة التحكم الذكية التي تتكيف مع التغيرات في درجات الحرارة، الرطوبة، والضوء في الوقت الفعلي.
- الأنظمة البيئية المتكاملة: مثل الأنظمة التي تدمج الطاقة المتجددة، مثل الألواح الشمسية أو طاقة الرياح، مما يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية.

٤-١ التكنولوجيا كعامل مرن

تقنيات البناء الحديثة مثل البناء بالطباعة ثلاثية الأبعاد أو البناء باستخدام وحدات قابلة للتوسيع تساعد في توفير حلول مرنة للمباني المستدامة. باستخدام هذه التقنيات، يمكن إنشاء مبانٍ قابلة للتحسين أو التوسيع في المستقبل وفقًا للمتغيرات المستمرة [٧].

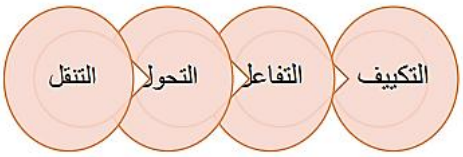
٤-٢ التخطيط للمرونة التكنولوجية

من خلال دمج التكنولوجيا الذكية والأنظمة المستدامة، يمكن للمباني أن تتفاعل بشكل ديناميكي مع البيئة المحيطة بها ومع احتياجات المستخدمين حيث يمكن لهذا النوع من التصميم أن يعزز من كفاءة استهلاك الطاقة ويخفض التكاليف على المدى الطويل. [٨].

٥- أسس التصميم المرن في العمارة

- اشار (Beisi, ٢٠٠٥) على ضرورة المرونة في العمارة واشار ان المرونة اصبحت احد احدث المصطلحات المهمة، حيث عرف (Kronenburg, ٢٠٠٧) العمارة المرنة "هي العمارة الانسيابية التى تكتمل بمجرد ان يسكنها الناس ويستخدموها ".
- فان (Kronenburg) هدفه هو احتضان متغيرات العالم الحديث، و اشار الى ان الهندسة المعمارية المرنة تتطلب تصميما يتم تشكيله لدمج متطلبات الحاضر والواقع مع التغييرات المحتملة في المستقبل.

يحدد Kronenburg اربع عوامل ثابته تميز العمارة المرنة شكل (١):



شكل (١) يوضح مميزات المرونة فى العمارة
المصدر : Kronenburg, *Flexible: Architecture that Responds to Change*. London: Laurence King Publishing, ٢٠٠٧

٥_١ التكيف : يتم تعريف القدرة على التكيف في الهندسة المعمارية كالاتي : القدرة على ادراك ان المستقبل ليس محدودا، وان التغير امر لا مفر منه، ولكن إطار العمل عنصر مهم في السماح بحدوث هذا التغيير، حيث تمت تصميم المباني القابلة للتكيف مع الوظائف المختلفة واستيعاب الانشطة شكل (٢) [٩].

يتم إنشاء المباني التكيفية لاستيعاب الوظائف المختلفة، التي تحددها أنشطة المستخدمين عمارات واحدة الغرض الخاص، حيث يمكن أن تعمل لجميع الاستخدامات المختلفة في العمارة، ويُعرف بالمبنى المفتوح، مع وجود غير مناسب مساحة يمكن امتصاصها بسهولة في مرحلة لاحقة، واستراتيجية البناء المفتوح هي الإستراتيجية الأكثر رسمية للعمارة التكيفية.

شكل (٢) يوضح المساحات المفتوحة لاعطاء القدرة على التغيير في الوظائف الفراغ
المصدر Marwa Mansour Ahmed Refaat, "flexible design the: main flexible elements in residentialunits in ٢١ .century", master, cairo university, ٢٠١٦

٥_٢ التنقل : يصف (Andrei Codrescu) الهندسة المعمارية المتنقلة بأنها بنية تمثل حركة فعلية وتتغير أماكنها في نطاق زمني، حيث يشير مصطلح "التنقل" إلى المباني التي يمكنها تغيير موضعها فعليًا من مكان إلى آخر وتكمن فائدة هذه المباني المتنقلة أو المؤقتة في مرونة وتنوع أغراضها، فضلاً عن حقيقة إعادة استخدامها وبالتالي تعتبر غير قابلة للتصرف شكل (٣)، وهي قابلة لإعادة الاستخدام تعني أنها يمكن أن تكون كذلك تستخدم بشكل فعال للمواد والموارد، حيث تتميز هذه المبانى بالمرونة وتنوع انشطاتها [١٠].

شكل (٣) محطة Halley VI الخاصة بالقطب الجنوبي التي صممها Hugh Broughton Architects ومقرها لندن ، ٢٠٠٥ كمنزل متنقل لـ ٥٠ عالمًا
المصدر Marwa Mansour Ahmed Refaat, "flexible design the: main flexible elements in residentialunits in ٢١ .century", master, cairo university, ٢٠١٦

٥-٣ التحويل :المباني القابلة للتحويل يمكن تغيير شكلها ومساحتها ومظهرها من خلال التغيير المادي لها والمكونات الهيكلية، الغلاف الخارجي أو الأسطح الداخلية، وهناك جانب آخر لخاصية تحول العمارة المرنة هي القدرة على التفاعل مع البيئة الخارجية والاستجابة للظروف المناخية، مثال (ملعب مرسيدس-بنز الجديد في أتلانتا)هذا المبنى له سقف على شكل وردة يتكون من ثماني لوحات تفتح بشكل مائل مثل فتحة الكاميرا شكل(٤) قال (Jantzen) على مفهوم التحويل اريد إعادة اختراع البيئة المبنية من اجل توسع نطاق الوعي، واكد على أن المبنى قادر على تغير شكلة ومساحته ومظهره من خلال التغير المادى لمكوناته الهيكلية او لتغير الغلاف الخارجي والاسطح الداخليه [١١].

٥-٤ التفاعل:اعتبر (Kronenburg) ان المبانى التفاعلية نوع من

شكل (٤) استاد مرسيدس بنز في أتلانتا كمثال للمباني القابلة للتحول
المصدر : Source: https://www.inhabitat.com/atlanta-falcons-new-stadium-uses-kinetic-architecture-to-retract-rose-petal-roof.

الهندسة المعمارية التي تؤدى الى التفاعل بين الاشخاص في المبنى شكل (٥) ولذلك يعتمد التصميم التفاعلى على النظام التكنولوجي المستخدم في إنشاء المبنى التفاعلي تكون المباني المرنة تفاعلية عندما يشارك الأفراد في التغيير ويتفاعلون علاوة على ذلك مع احتياجاتهم في استراتيجيات تلقائية حيث يعتمد الهدف التفاعلي على الأسلوب التكنولوجي المستخدم في بناء المحتوى التفاعلي للمبنى [١٢].

شكل (٥) يوضح ان اهمية العمارة القابلة للتفاعل تتمثل في القدرة على التفاعل مع البيئة الخارجية والمناخ حتى يمكن فتح الاسقف او النوافذ أو اجزاء أخرى من الواجهه حسب الظروف المناخية للبيئة المحيطة
المصدر Kronenburg, R "Portable Architecture Design and Technology", Basel, BirkhKondon, ٢٠٠٨.

٦- المعايير الأساسية للمرونة التصميمية في المباني المستدامة

٦-١ المرونة في توزيع المساحات واستخداماتها

من المعايير الجوهرية في التصميم المرن هو أن تكون المساحات داخل المبنى قابلة لإعادة التوزيع وفقًا لتغيرات الاستخدامات المستقبلية. تصميم المساحات ينبغي أن يتيح تعدد الوظائف ويسمح بتحويل المساحات بسهولة بين الوظائف المختلفة:

- غرف متعددة الوظائف: مثل قاعة يمكن استخدامها لمناسبات اجتماعية أو تحويلها إلى قاعات اجتماعات أو ورش عمل.
- المرونة في التقسيم الداخلي: باستخدام جدران قابلة للتحريك أو أنظمة تقسيم مرنة.

بذلك، يمكن للمبنى أن يتكيف مع استخدامات متعددة مع مرور الزمن دون الحاجة إلى تعديل هيكلي كبير أو تكلفة إضافية [١٣].

٦-٢ المرونة الهيكلية

من خلال المرونة الهيكلية، يُصمم المبنى بحيث يمكنه التكيف مع التغيرات المستقبلية التي قد تطرأ على الاستخدامات أو الظروف المحيطة. يشمل هذا:

- أنظمة الإنشاء القابلة للتعديل: مثل الهيكل الإنشائي الذي يسمح بإضافة طوابق أو وحدات جديدة بمرونة.
- التصميم المعياري: تصميم مكونات المبنى بطريقة يمكن فصلها أو دمجها بسهولة، مثل الوحدات السكنية أو التجارية التي يمكن توسيعها أو تقليصها حسب الحاجة.
- البنية التحتية القابلة للتوسع: مثل شبكات الكهرباء، المياه، والاتصالات التي يمكن توسيعها أو تعديلها عند الحاجة.

تسمح هذه المرونة الهيكلية للمبنى بالتكيف مع التغيرات في احتياجات الاستخدام أو التطورات التكنولوجية دون التأثير على استقراره أو أداءه.

٦-٣ المرونة في استخدام المواد والتقنيات

يجب أن يعتمد التصميم على مواد وتقنيات بناء مرنة، بحيث يمكن تحديثها أو استبدالها عند الضرورة. تشمل هذه المعايير:

- استخدام مواد قابلة للتكيف: مثل المواد التي تتمتع بقدرة على التفاعل مع الظروف المحيطة، مثل الزجاج الذكي الذي يمكنه تعديل درجة الشفافية وفقًا للضوء أو الحرارة، أو الخرسانة القابلة للإصلاح الذاتي التي تساعد في تقليل الحاجة للصيانة [١٤].
- تكامل التكنولوجيا المتجددة: مثل الألواح الشمسية أو أنظمة طاقة الرياح التي يمكن دمجها بسهولة في المبنى وتوسيعها مع تطور التكنولوجيا.
- المواد المستدامة: مثل الخشب المعاد تدويره، المعادن القابلة لإعادة التدوير، والمواد الطبيعية التي يمكنها التكيف مع متطلبات البيئة.

هذه المواد والتقنيات تساهم في تقليل الأثر البيئي للمبنى وتساعد في جعل المبنى أكثر مرونة أمام التغيرات المستقبلية.

٦-٤ المرونة في التفاعل مع البيئة المناخية

إن المرونة التصميمية في المباني المستدامة تشمل أيضًا القدرة على التفاعل بشكل إيجابي مع التغيرات المناخية. بمعنى أن المبنى يجب أن يكون قادرًا على:

- التكيف مع التغيرات المناخية المحلية: مثل تغيير الأنظمة حسب الظروف المناخية المحيطة (على سبيل المثال، تعديل التهوية أو أنظمة التبريد حسب الحاجة).
- استخدام تقنيات العزل: مثل العزل الحراري والتهوية الطبيعية لتقليل الاعتماد على أنظمة التكييف أو التدفئة المكلفة.
- الاستفادة من الموارد الطبيعية: مثل الطاقة الشمسية، حيث يتم دمج الألواح الشمسية في التصميم بشكل يتناسب مع حركة الشمس طوال اليوم، والتهوية الطبيعية لتقليل الحاجة إلى الطاقة الكهربائية.
- تصميم المبنى بحيث يكون قادرًا على التكيف مع الظروف المناخية المستقبلية يسهم في تعزيز الاستدامة وتقليل التكلفة التشغيلية على المدى الطويل [١٥].

٦-٥ المرونة الاقتصادية

المباني المستدامة التي تعتمد على المرونة التصميمية يجب أن تكون قادرة على التكيف مع التغيرات الاقتصادية، مثل التضخم أو تقلبات السوق. تشمل المعايير الاقتصادية التي تدعم المرونة:

- الكفاءة الاقتصادية في التشغيل: عن طريق استخدام تقنيات موفرة للطاقة، تقليل تكاليف الصيانة، وإطالة عمر المبنى.
- القدرة على التوسع الاقتصادي: مثل تصميم المساحات التي يمكن توسيعها أو تغيير استخدامها بدون تأثير كبير على البنية الأساسية.
- استخدام الحلول منخفضة التكلفة: مثل تقنيات البناء المستدامة التي توفر تكلفة أولية أقل، مثل الوحدات المعيارية أو البناء باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد.

من خلال هذا، يمكن للمباني أن تستمر في تحقيق العوائد الاقتصادية المتوازنة، حتى في ظل التحديات الاقتصادية المتغيرة.

٦-٦ المرونة الاجتماعية

المرونة الاجتماعية تعني قدرة المبنى على التكيف مع احتياجات المجتمع واحتياجات المستخدمين عبر الزمن. يتطلب هذا:

- تصميمات تراعي تنوع المستخدمين: مثل توفير مساحات يمكن استخدامها من قبل مجموعات سكانية متنوعة، مثل الأسر الصغيرة أو الكبيرة، أو الموظفين والشركات.
- إمكانية التعديل الاجتماعي: مثل تحويل المساحات العامة إلى مراكز اجتماعية أو مكاتب إذا دعت الحاجة.
- الاستجابة للتغيرات في الأنماط الاجتماعية: تصميم المباني بطريقة تتيح تكاملها مع الأنشطة الاجتماعية المختلفة مثل الأماكن العامة، وسائل النقل، أو مراكز الأنشطة المجتمعية.

تُسهم المرونة الاجتماعية في ضمان أن المبنى يمكنه الاستمرار في تلبية احتياجات المجتمع حتى مع تغير الأوقات والأنماط الحياتية [١٦].

جدول (١) الإطار النظرى الخاص بتقييم عناصر المرونة في المبانى المستدامة (الباحث)

العناصر الرئيسية	العناصر الفرعية	الوصف
التكيف مع احتياجات المستخدمين	تعدد الاستخدامات	قدرة المساحات على التكيف مع الاستخدامات المختلفة (سكني، تجاري، إداري)
	مرونة في التوزيع الداخلي	إمكانية إعادة تخصيص المساحات الداخلية لتلبية احتياجات متعددة
	القدرة على التوسع	مدى قدرة المبنى على التوسع بسهولة دون التأثير على البنية الأساسية
	مرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية	قدرة التصميم على الاستجابة لاحتياجات غير متوقعة أو مستقبلية دون تغييرات كبيرة في الهيكل.
	قابلية المساحات لإعادة التأهيل الوظيفي	إمكانية تعديل أو تحويل الغرف والمساحات الداخلية لتخدم أغراض مختلفة مع مرور الوقت.
إعادة تخصيص المساحات	المرونة الهيكلية	قدرة التصميم الهيكلي على السماح بتعديل المساحات الداخلية
	الجدران المتحركة	استخدام الجدران القابلة للتحريك أو التعديل لإعادة توزيع المساحات حسب الحاجة
	القابلية للإزالة والإضافة	إمكانية إزالة أو إضافة عناصر مثل الأسطح أو الحواجز بسهولة لتغيير الاستخدام
	إمكانية إعادة تقسيم المساحات الداخلية	توفر نظم داخلية قابلة لإعادة الترتيب لتناسب تغيّر الاستخدامات
	المرونة في ترتيب الأثاث والبنية التحتية	دعم توزيع مختلف للأثاث والتجهيزات بدون التأثير على الأداء الوظيفي
الاستدامة البيئية	الطاقة المتجددة	استخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية أو الرياح
	إعادة تدوير المواد	استخدام المواد القابلة لإعادة التدوير أو المواد المستدامة في البناء
	تقنيات الحفاظ على الطاقة	مثل العزل الحراري، أنظمة توفير المياه، والإضاءة الذكية
	الأنظمة البيئية المتكاملة	استخدام النباتات والتصميم الطبيعي لتحسين جودة البيئة الداخلية
	تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	قدرة المبنى على استخدام أقل قدر ممكن من المياه والطاقة والمواد الخام
	الحد من الانبعاثات خلال دورة حياة المبنى	استخدام مواد وتقنيات تقلل من انبعاثات الكربون أثناء البناء والتشغيل والصيانة
التقنيات الذكية	أنظمة إدارة الطاقة	أنظمة ذكية للتحكم في استهلاك الطاقة مثل الإضاءة والتدفئة والتهوية
	أنظمة الذكاء الصناعي	استخدام الذكاء الصناعي لتحسين الأداء البيئي، مثل التحكم التلقائي في الإضاءة والتهوية حسب الحاجة
	الأنظمة المتكاملة	دمج الأنظمة المختلفة (الطاقة، التهوية، الإضاءة) في شبكة واحدة ذكية
	أنظمة تحكم ذكية في الإضاءة والحرارة	تقنيات تتحكم تلقائيًا بالإضاءة والتهوية لتحقيق الراحة وكفاءة الطاقة
	أنظمة استشعار متقدمة للتفاعل مع المستخدم	استخدام مستشعرات تستجيب لحركة المستخدمين، تفضيلاتهم، أو الظروف البيئية
المرونة في التوسع والتقليص	تصميم التوسع المستقبلي	إمكانية التوسع أو إضافة طبقات أو مساحات جديدة مع المحافظة على استقرار الهيكل
	المساحات القابلة للتكيف	تصميم المساحات بحيث يمكن تعديل حجمها أو استخدامها بسهولة في المستقبل
	إمكانية التغيير في الوظائف	قدرة المبنى على تغيير وظائفه بما يتناسب مع التغيرات المستقبلية في الاحتياجات
	سهولة إضافة وحدات فراغية جديدة	قابلية النظام الإنشائي لإضافة مساحات جديدة دون تعديل جوهري
	إمكانية تقليص المساحات أو فصلها وظيفيًا	تصميم يسمح بتقليل المساحة أو تقسيمها لوظائف متعددة بسهولة
البنية التحتية القابلة للتعديل	أنظمة قابلة للتعديل	مثل الأنابيب والكهرباء التي يمكن تعديلها بسهولة لتلبية الاحتياجات المستقبلية
	الأنظمة المرنة	تصميم الأنظمة لتكون مرنة بما يكفي لتلبية تغييرات في الاستخدام أو في عدد السكان
	التقنيات المعيارية	استخدام الأنظمة المعيارية القابلة للإضافة أو التعديل بسهولة
	سهولة صيانة واستبدال المكونات	إمكانية الوصول إلى الأنظمة التقنية وتحديثها أو استبدالها عند الحاجة
	إمكانية تحديث أنظمة المبنى بسهولة	البنية التحتية تدعم دمج التقنيات الجديدة دون تدخل كبير في البناء
استخدام المواد المستدامة	المواد القابلة لإعادة التدوير	استخدام مواد يمكن إعادة تدويرها بعد استخدامها
	المواد منخفضة التأثير البيئي	استخدام مواد بناء ذات بصمة بيئية منخفضة أو التي تساهم في الحفاظ على البيئة
	الاستدامة في الإنتاج	التأكد من أن المواد المستخدمة مستدامة في عملية الإنتاج
	مواد ذات عمر افتراضي طويل	مواد لا تتلف بسرعة وتتحمل الاستخدام لفترات طويلة دون الحاجة للاستبدال
	سهولة الإصلاح والصيانة للمواد المستخدمة	إمكانية صيانة المواد بدلًا من استبدالها، مما يقلل الهدر والتكاليف
استجابة الظروف المناخية	العزل الحراري	استخدام مواد وتقنيات تحسن عزل المبنى ضد الحرارة أو البرودة
	التكيف مع المناخ المحلي	تصميم المبنى بشكل يناسب المناخ المحيط، مثل تهوية طبيعية أو إشراق الشمس

تابع جدول (١) الإطار النظرى الخاص بتقييم عناصر المرونة فى المبانى المستدامة (الباحث)

العناصر الرئيسية	العناصر الفرعية	الوصف
استجابة الظروف المناخية	التنظيم الطبيعي للمناخ	استخدام العناصر الطبيعية (مثل الحدائق الداخلية أو النباتات) للتحكم في المناخ داخل المبنى
	استغلال ضوء الشمس الطبيعي	توجيه وتصميم المبنى للاستفادة من الإضاءة الطبيعية وتقليل الحاجة للإضاءة الاصطناعية
	التوجيه المعماري لتعزيز الأداء المناخي	توجيه المبنى بحيث يحقق أقصى استفادة من الرياح والشمس والمناخ المحيط
المرونة في توزيع المساحات	أنظمة تقسيم مرنة	استخدام جدران وأسطح قابلة للتعديل لتغيير توزيع المساحات
	أنظمة متعددة الاستخدام	تصميم المساحات لتكون متعددة الاستخدامات بحيث يمكن تحويلها بسهولة من وظيفة إلى أخرى
	القابلية للتحويل	القدرة على تحويل المساحات الداخلية للاستخدامات المختلفة مثل تحويل المساحات التجارية إلى سكنية والعكس
	تصميم داخلي مفتوح بدون أعمدة	توزيع إنشائي يتيح حرية تقسيم المساحات دون قيود ثابتة
	تنوع في مداخل ومخارج المساحات الداخلية	تعدد خيارات الوصول والحركة داخل المبنى لتسهيل التغيير الوظيفي
التحولات المستقبلية	التكيف مع التكنولوجيا المستقبلية	إمكانية دمج تقنيات جديدة في المستقبل، مثل أنظمة الطاقة الذكية أو الشبكات الكهربائية المتقدمة
	القدرة على استيعاب التوسع	القدرة على تلبية احتياجات النمو السكاني أو التوسع في الوظائف مع مرور الوقت
	مرونة في استخدامات الوظائف	القدرة على تغيير وظائف المبنى لتتناسب مع متطلبات المستقبل
	الاستعداد لإدخال تقنيات حديثة	قابلية النظام التقني والمعماري لاستيعاب ابتكارات مستقبلية بسهولة
	المرونة الاجتماعية والوظيفية عبر الزمن	قدرة المبنى على دعم تغيّرات المجتمع ووظائفه دون المساس بأدائه أو هيكله

الامثلة التطبيقية ومنهج وحدود الدراسة

ستتضمن هذه الفقرة عددا من الامثلة التي تتميز بوصفها مباني مرنة ومحققة لمعايير الاستدامة، اذ سيتم تحليلها وصفيا، وتحديد وجود المفردات المقاسة للأمثلة شكل (٦،٧،٨)، من عملية تحليل النصص النقدية لعينات الدراسة.

الامثلة التطبيقية للمبانى الذكية المستدامة

شكل(٦) مبنى (The Crystal – لندن، المملكة المتحدة)

شكل(٧) مبنى (KfW Westarkade فرانكفورت، ألمانيا)

شكل(٨) مبنى (Medibank Building ملبورن، أستراليا)

٧- التطبيق

سيتم إجراء تحليل للأمثلة من خلال جدول مُعد للقياس، يوضح خصائص المبنى وطبيعته الوظيفية، بالإضافة إلى المفردات المقاسة وصفياً، بالاعتماد على تحليل النصوص الوصفية للمشاريع، مستخدمين المنهج الوصفي كأداة بحثية لتحليل النصوص المتعلقة بكل مشروع.

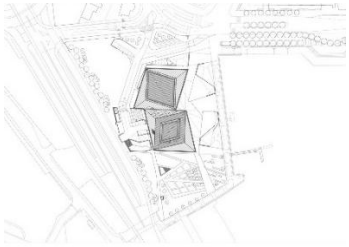
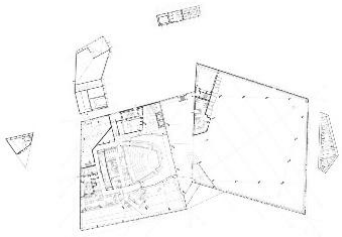
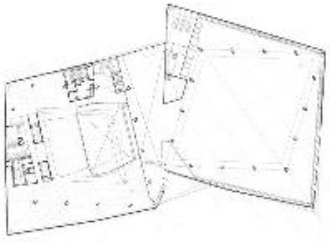
٧-١ مبنى (The Crystal – لندن، المملكة المتحدة)

يقع في حي (Royal Victoria Dock) في لندن، المملكة المتحدة. يعتبر هذا المبنى جزءاً من مشروع أكبر لتحسين المنطقة وتحويلها إلى مركز بيئي وتقني وهو يعرض أحدث الابتكارات في مجال الاستدامة ويستخدم المبنى كمعرض دائم، مركز للمؤتمرات، ومرافق للتدريب والتعليم حول الاستدامة والتكنولوجيا البيئية، كما يقدم منصة للبحث والتطوير في التقنيات البيئية المستدامة وهو مثال بارز للمباني التي تجمع بين الاستدامة البيئية والمرونة التصميمية جدول (٢) و يقدم المبنى نموذجًا فعّالًا لإظهار كيف يمكن أن تتكامل التكنولوجيا الحديثة مع المعايير البيئية لتحقيق مبنى مستدام ومرن يلبي احتياجات المستقبل[١٧].

جدول (٢) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

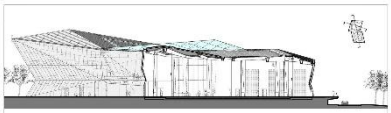
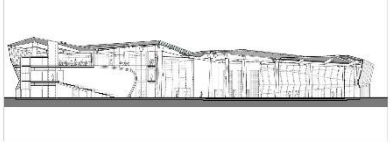
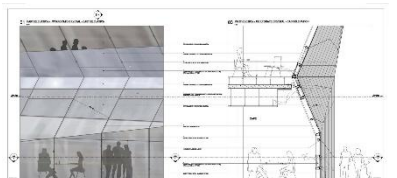
المشروع : مبنى The Crystal	المصمم : Foster + Partners	وظيفة المبنى :معرض دائم ومركز مؤتمرات ومكز بيئى وتقنى	اشكال توضيحية
الموقع : مبنى The Crystal – لندن، المملكة المتحدة		السنة :٢٠١٢	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف
التكيف مع احتياجات المستخدمين	تعدد الاستخدامات	صُمم المبنى ليخدم كمعرض بيئي، مركز مؤتمرات، ومركز تدريب، مما يعكس تعددًا في الوظائف وتنوعًا في الاستخدامات
	مرونة في التوزيع الداخلي	المساحات الداخلية مفتوحة ومرنة، مما يسمح بإعادة ترتيب القاعات وفقًا لنوع الفعاليات أو المعارض.
	القدرة على التوسع	صميم المبنى يُراعي إمكانية الإضافة أو التطوير المستقبلي دون التأثير على الهيكل العام.
	مرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية	تصميم مرن يتيح تعدد الاستخدامات، لكنه محدود بسبب وظائفه كمركز معارض
	قابلية المساحات لإعادة التأهيل الوظيفي	القاعات قابلة لإعادة استخدامات متعددة، لكنها مخصصة بدرجة معينة[١٨].
إعادة تخصيص المساحات	المرونة الهيكلية	يعتمد المبنى على هيكل مفتوح بلا أعمدة داخلية كثيرة، مما يسهل إعادة توزيع المساحات بسهولة.
	الجدران المتحركة	تم إدخال حلول مثل الحواجز المتحركة لتغيير التقسيمات الداخلية عند الحاجة.
	القابلية للإزالة والإضافة	العديد من المكونات الداخلية قابلة للإزالة أو التعديل مما يسمح بتغيير وظيفي سريع.
	إمكانية إعادة تقسيم المساحات الداخلية	إمكانية محدودة بسبب طبيعة المعرض
	المرونة في ترتيب الأثاث والبنية التحتية	التركيب الثابت يحدّ من خيارات التوزيع[١٨].
الاستدامة البيئية	الطاقة المتجددة	يستخدم المبنى ألواحًا شمسية لتوليد الطاقة وتقليل الاعتماد على الشبكة العامة.
	إعادة تدوير المواد	يحتوي المبنى على أنظمة لجمع مياه الأمطار ومعالجتها، ويستخدم مواد بناء مستدامة ومنخفضة الانبعاثات.
	تقنيات الحفاظ على الطاقة	يتضمن عزلًا حراريًا متقدمًا، نظام تهوية طبيعي، وإضاءة ذكية تقلل من استهلاك الطاقة.
	الأنظمة البيئية المتكاملة	يعتمد على التصميم الطبيعي والإضاءة الطبيعية والنباتات الداخلية لتحسين البيئة الداخلية.
	تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	يعتمد على الطاقة الشمسية والمياه المعاد تدويرها
	الحد من الانبعاثات خلال دورة حياة المبنى	مواد منخفضة الانبعاثات وتصميم صديق للبيئة[١٨].
التقنيات الذكية	أنظمة إدارة الطاقة	يستخدم أنظمة رقمية للتحكم في الإضاءة، التهوية، والتدفئة، مما يحسّن الكفاءة ويقلل من الاستهلاك.
	أنظمة الذكاء الصناعي	تساهم في مراقبة أداء المبنى والتكيف مع ظروف التشغيل المختلفة بشكل تلقائي.
	الأنظمة المتكاملة	جميع الأنظمة تعمل بتناغم ضمن شبكة ذكية متكاملة لإدارة الطاقة والمياه والتهوية.
	أنظمة تحكم ذكية في الإضاءة والحرارة	أنظمة حساسات تتحكم بالإضاءة والتهوية
	أنظمة استشعار متقدمة للتفاعل مع المستخدم	استجابة فورية للتغيرات المناخية [١٨].

تابع جدول (٢) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى The Crystal	المصمم : Foster + Partners	وظيفة المبنى :معرض دائم ومركز مؤتمرات ومكز بيئى وتقنى	اشكال توضيحية
الموقع : مبنى The Crystal – لندن، المملكة المتحدة		السنة :٢٠١٢	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف	
المرونة في التوسع والتقليص	تصميم التوسع المستقبلي	البنية المعمارية تتيح التوسع من دون تغييرات جذرية في التصميم.	
	المساحات القابلة للتكيف	يمكن استخدام نفس المساحة لأغراض متعددة دون إعادة تصميم.	
	إمكانية التغيير في الوظائف	قابلية تغيير الاستخدام من مركز معارض إلى مكاتب أو فصول تدريبية مثلًا دون إحداث تغييرات هيكلية.	
	سهولة إضافة وحدات فراغية جديدة	التصميم ثابت إلى حد ما	
	إمكانية تقليص المساحات أو فصلها وظيفيًا	إمكانية متوسطة للفصل الوظيفي	
البنية التحتية القابلة للتعديل	أنظمة قابلة للتعديل	جميع الشبكات (الكهرباء، المياه، الاتصالات) مصممة لتكون قابلة للصيانة والتعديل بسهولة.	
	الأنظمة المرنة	أنظمة المبنى تسمح بالتحديث أو التطوير عند الحاجة.	
	التقنيات المعيارية	استخدام أنظمة معيارية في التكييف والإضاءة لتسهيل التعديل المستقبلي.	
	سهولة صيانة واستبدال المكونات	مكونات تقليدية نوعًا ما	
	إمكانية تحديث أنظمة المبنى بسهولة	تحتاج بعض الأنظمة إلى تدخل متوسط	
استخدام المواد المستدامة	المواد القابلة لإعادة التدوير	استُخدمت في البناء مواد قابلة لإعادة التدوير وصديقة للبيئة.	
	المواد منخفضة التأثير البيئي	تم انتقاء المواد وفقًا لمعايير بيئية صارمة.	
	الاستدامة في الإنتاج	تم التأكد من أن سلسلة توريد المواد تُراعي الجوانب البيئية.	
	مواد ذات عمر افتراضي طويل	استخدام مواد عالية الجودة تدوم طويلًا	
	سهولة الإصلاح والصيانة للمواد المستخدمة	إصلاح مكونات المبنى ممكن لكنه ليس بسيطًا	
استجابة الظروف المناخية	العزل الحراري	تصميم المبنى يراعي عزل الحرارة والبرودة للمحافظة على درجات حرارة مريحة داخليًا.	
	التكيف مع المناخ المحلي	استُخدمت استراتيجيات تصميم تعتمد على موقع الشمس والرياح في لندن.	
	التنظيم الطبيعي للمناخ	ساهمت استخدامات النباتات والإضاءة الطبيعية في خلق بيئة مريحة دون الحاجة لطاقة مفرطة.	
	استغلال ضوء الشمس الطبيعي	واجهات زجاجية موجهة للاستفادة القصوى من الضوء الطبيعي	
	التوجيه المعماري لتعزيز الأداء المناخي	التصميم يأخذ في الاعتبار حركة الشمس والرياح	
المرونة في توزيع المساحات	أنظمة تقسيم مرنة	الجدران المتنقلة والأنظمة القابلة للتعديل تسمح بتغيير توزيع المساحات بسهولة.	
	أنظمة متعددة الاستخدام	يمكن استخدام القاعات نفسها لعروض، ورش، أو مؤتمرات.	
	القابلية للتحويل	يمكن تحويل المساحات من منطقة عرض إلى مساحة تفاعلية أو تعليمية.	
	تصميم داخلي مفتوح بدون أعمدة	محدود نوعًا ما بسبب هيكل المعرض	
	تنوع في مداخل ومخارج المساحات الداخلية	تنوّع محدود في المداخل والمخارج	

تابع جدول (٢) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى The Crystal	المصمم : Foster + Partners	وظيفة المبنى :معرض دائم ومركز مؤتمرات ومكز بيئى وتقنى	اشكال توضيحية
الموقع : مبنى The Crystal – لندن، المملكة المتحدة		السنة :٢٠١٢	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف
التحولات المستقبلية	التكيف مع التكنولوجيا المستقبلية	تم دمج البنية التحتية اللازمة لدمج تقنيات ذكية مستقبلاً بسهولة.
	القدرة على استيعاب التوسع	يمكن استيعاب التغيرات الوظيفية أو العددية بسهولة ضمن الهيكل الحالي.
	مرونة في استخدامات الوظائف	يُمكن بسهولة تغيير الاستخدامات المختلفة بفضل التصميم المفتوح والبنية الذكية [١٨].
	الاستعداد لإدخال تقنيات حديثة	جاهز للتحديث لكنه قد يحتاج تعديلات طفيفة
	المرونة الاجتماعية والوظيفية عبر الزمن	يمكنه تلبية تغيّر الوظائف لكنه مخصص جزئيًا

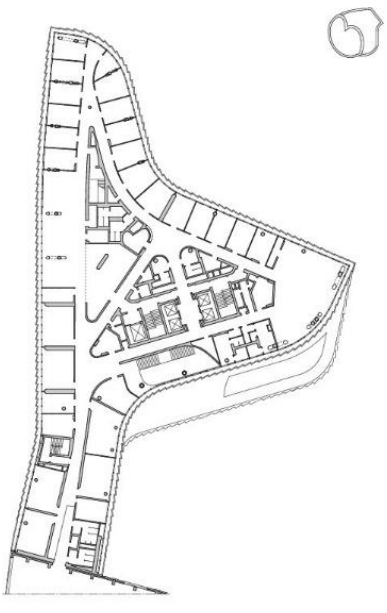
٢-٧ مبنى (KfW Westarkade) فرانكفورت، ألمانيا)

هو مبنى إداري مستدام يقع في مدينة فرانكفورت، ألمانيا، صممه مكتب (Sauerbruch Hutton) المعماري، وتم الانتهاء منه عام ٢٠١٠. يتميز المبنى بأداء طاقي عالي، حيث يُعد من أكثر المباني كفاءة في استهلاك الطاقة في أوروبا جدول(٣). يعتمد على التهوية الطبيعية، أنظمة ذكية لإدارة الطاقة، ومواد مستدامة قابلة لإعادة التدوير. كما يقدم تصميمًا مرنًا يسمح بإعادة توزيع المساحات الداخلية لتناسب الاحتياجات الوظيفية المتغيرة [١٩].

جدول (٣) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى KfW Westarkade فرانكفورت، ألمانيا	المصمم : مكتب Sauerbruch Hutton المعمار	وظيفة المبنى : مبنى إداري لمؤسسة KfW (بنك التنمية الألماني)	اشكال توضيحية
الموقع : فرانكفورت، ألمانيا		السنة :٢٠١٠	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف
التكيف مع احتياجات المستخدمين	تعدد الاستخدامات	تصميم المبنى يتيح استخدام المساحات لأغراض مختلفة مثل المكاتب الفردية أو مساحات العمل الجماعية، مما يعزز من كفاءة الاستغلال ويخدم التنوع الوظيفي.
	مرونة في التوزيع الداخلي	تم اعتماد أنظمة تقسيم داخلية مرنة تسمح بتعديل التوزيع الداخلي للمكاتب دون التأثير على البنية الأساسية.
	القدرة على التوسع	التصميم الهيكلي يسمح بإمكانية دمج مساحات إضافية مستقبلًا حسب الحاجة الوظيفية دون الإضرار بالبنية القائمة.
	مرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية	تصميم إداري يسمح بإعادة توزيع الاستخدامات الوظيفية بسهولة
	قابلية المساحات لإعادة التأهيل الوظيفي	مرونة كاملة لتعديل الوظائف داخل المبنى[٢٠].
إعادة تخصيص المساحات	المرونة الهيكلية	تصميم المبنى قائم على توزيع أعمدة يسمح بتعديل توزيع المساحات الداخلية بسهولة.
	الجدران المتحركة	استخدام أنظمة حوائط غير حاملة قابلة للنقل والتعديل لتيسير عملية إعادة التخصيص [٢١].
	القابلية للإزالة والإضافة	وحدات داخلية قابلة للإزالة أو الإضافة بسهولة لتعديل وظائف المساحات حسب المتغيرات.
	إمكانية إعادة تقسيم المساحات الداخلية	استخدام جدران مرنة وإمكانية إعادة التوزيع بسهولة
	المرونة في ترتيب الأثاث والبنية التحتية	إمكانية عالية لتعديل توزيع الأثاث[٢٢].



تابع جدول (٣) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى KfW Westarkade فرانكفورت، ألمانيا	**المصمم** : مكتب Sauerbruch Hutton المعمار	**وظيفة المبنى :** مبنى إداري لمؤسسة KfW (بنك التنمية الألماني)	**اشكال توضيحية**
الموقع : فرانكفورت، ألمانيا		**السنة :** ٢٠١٠	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف
الاستدامة البيئية	الطاقة المتجددة	المبنى مزود بنظام تهوية طبيعي مدعوم بتوربينات هوائية صغيرة لتقليل الاعتماد على الطاقة غير المتجددة.
	إعادة تدوير المواد	تم اختيار مواد بناء مثل الزجاج والألومنيوم القابلة لإعادة التدوير
	تقنيات الحفاظ على الطاقة	تم استخدام واجهات زجاجية مزدوجة وعوازل حرارية متقدمة وأنظمة تظليل أوتوماتيكية.
	الأنظمة البيئية المتكاملة	التحكم الآلي في الإضاءة والتهوية والحرارة بما يتلاءم مع الظروف البيئية.
	تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	أنظمة تهوية طبيعية وتقنيات ذكية
	الحد من الانبعاثات خلال دورة حياة المبنى	استخدام مواد قابلة للتدوير وتقنيات حديثة
التقنيات الذكية	أنظمة إدارة الطاقة	نظام BMS (Building Management System) يدير استهلاك الطاقة والمياه والتدفئة بطريقة ذكية.
	أنظمة الذكاء الصناعي	بعض الوظائف الذكية تُدار عبر مستشعرات بيئية
	الأنظمة المتكاملة	جميع أنظمة المبنى مترابطة من خلال منصة ذكية للتحكم
	أنظمة تحكم ذكية في الإضاءة والحرارة	تكامل عالي في الأنظمة الذكية
	أنظمة استشعار متقدمة للتفاعل مع المستخدم	تكنولوجيا متقدمة تراقب أداء المستخدمين
المرونة في التوسع والتقليص	تصميم التوسع المستقبلي	الهيكل يسمح بإضافة طوابق أو وحدات دون تعديل كبير في البنية.
	المساحات القابلة للتكيف	المساحات قابلة للزيادة أو التقليص بسهولة حسب الحاجة
	إمكانية التغيير في الوظائف	إمكانية إعادة توظيف المساحات من إداري إلى تجاري أو العكس.
	سهولة إضافة وحدات فراغية جديدة	مبنى إداري يتيح توسعات مستقبلية
	إمكانية تقليص المساحات أو فصلها وظيفيًا	قابلية تقسيم ممتازة
البنية التحتية القابلة للتعديل	أنظمة قابلة للتعديل	الأنظمة التقنية مثل الكهرباء والتهوية مصممة لتكون مرنة وسهلة التعديل.
	الأنظمة المرنة	البنية التحتية تستوعب تغيرات في عدد المستخدمين
	التقنيات المعيارية	ستخدام وحدات معيارية قابلة للتغيير أو الإضافة
	سهولة صيانة واستبدال المكونات	نظم كهربائية وميكانيكية قابلة للوصول والتحديث
	إمكانية تحديث أنظمة المبنى بسهولة	تحديث الأنظمة يتم بسهولة نسبية
استخدام المواد المستدامة	المواد القابلة لإعادة التدوير	استخدام الزجاج والألومنيوم القابلين لإعادة التدوير
	المواد منخفضة التأثير البيئي	ختيار مواد بناء ذات بصمة كربونية منخفضة
	الاستدامة في الإنتاج	التحقق من أن المواد المستخدمة تم تصنيعها بطرق صديقة للبيئة.
	مواد ذات عمر افتراضي طويل	اختيارات مدروسة لزيادة المتانة
	سهولة الإصلاح والصيانة للمواد المستخدمة	صيانة سهلة بفضل التصميم الداخلي المرن

تابع جدول (٣) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى KfW Westarkade فرانكفورت، ألمانيا	**المصمم** : مكتب Sauerbruch Hutton المعمار	**وظيفة المبنى :** مبنى إداري لمؤسسة KfW (بنك التنمية الألماني)	**اشكال توضيحية**
الموقع : فرانكفورت، ألمانيا		**السنة :** ٢٠١٠	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف
استجابة الظروف المناخية	العزل الحراري	استخدام مواد عزل عالية الكفاءة
	التكيف مع المناخ المحلي	الاعتماد على التهوية الطبيعية لتقليل استخدام التكييف الصناعي.
	التنظيم الطبيعي للمناخ	إدماج عناصر نباتية داخلية لتعديل الحرارة والرطوبة
	استغلال ضوء الشمس الطبيعي	توجيه جيد للنوافذ واستخدام الزجاج العاز
	التوجيه المعماري لتعزيز الأداء المناخي	يحقق توجيهًا ممتازًا يسمح بالتهوية وتوفير الطاقة
المرونة في توزيع المساحات	أنظمة تقسيم مرنة	الحوائط الداخلية مصممة لتعديل تقسيم المساحات بسهو
	أنظمة متعددة الاستخدام	المساحات الداخلية قابلة لاستخدامات مختلفة حسب الحاجة
	القابلية للتحويل	إمكانية تحويل الاستخدامات بين إداري، اجتماعي، أو تجاري
	تصميم داخلي مفتوح بدون أعمدة	تصميم إنشائي يتيح أقصى مرونة في التوزيع
	تنوع في مداخل ومخارج المساحات الداخلية	خيارات متعددة للحركة الداخلية والخارجية
التحولات المستقبلية	التكيف مع التكنولوجيا المستقبلية	تجهيز البنية التحتية لاستيعاب تطورات مستقبلية مثل أنظمة الطاقة الذكية.
	القدرة على استيعاب التوسع	القدرة على دعم زيادة في عدد المستخدمين
	مرونة في استخدامات الوظائف	إمكانية تعديل وظائف المبنى دون تعديل جوهري.
	الاستعداد لإدخال تقنيات حديثة	بنية تحتية ذكية تدعم أي تحديث تقني مستقبلي
	المرونة الاجتماعية والوظيفية عبر الزمن	قابل للتكيّف مع تحولات الاستخدام المجتمعي أو الوظيفي

٣-٧ مبنى (Medibank Building) ملبورن، أستراليا)

مبنى (Medibank) هو مشروع مكاتب مميز يقع في مدينة ملبورن بأستراليا. يُعتبر من أبرز الأمثلة على الدمج بين الاستدامة والمرونة في التصميم المعماري. تم تصميم المبنى ليكون نموذجًا للمباني التجارية المستدامة التي تقدم بيئة عمل مرنة ومريحة. يتميز بتوفير مساحات مفتوحة وعصرية، حيث يمكن تخصيص المساحات لتلبية احتياجات العمل المختلفة بمرونة تامة.

يتسم التصميم بجمالية استخدام المواد المستدامة، مثل الزجاج المتجدد والمواد العازلة الفعالة، فضلاً عن استراتيجيات التحكم في الطاقة التي تساعد في تقليل التأثير البيئي. كما يتميز باستخدام تقنيات ذكية مثل أنظمة الإضاءة الذكية والتهوية الطبيعية لتقليل استهلاك الطاقة جدول (٤).

المبنى يساهم في توفير بيئة صحية للمستخدمين من خلال تصميم يسمح بالتهوية الجيدة وإضاءة طبيعية، ويعد من أبرز المشاريع في ملبورن في مجال العمارة المستدامة والمرنة [٢٣].

جدول (٤) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى Medibank Building	**المصمم :** Woods Bagot (المكتب المعماري الذي قام بتصميم المبنى)	**وظيفة المبنى :** مكاتب تجارية	**اشكال توضيحية**
الموقع : ملبورن، أستراليا		**السنة :** ٢٠١٤	

العناصر الرئيسية	**المفردات المقاسة**	**الوصف**
التكيف مع احتياجات المستخدمين	تعدد الاستخدامات	صُمم المبنى ليكون بيئة عمل متعددة الاستخدامات تشمل المكاتب، مناطق الاستراحة، مساحات مفتوحة للعمل الجماعي، وغرف اجتماعات متنوعة.
	مرونة في التوزيع الداخلي	التخطيط الداخلي يوفر توزيعًا مرنًا يمكن إعادة ترتيبه بسهولة دون تغييرات هيكلية [٢٤].
	القدرة على التوسع	يسمح النظام المعياري والهياكل الخفيفة بإضافة أقسام مستقبلية عند الحاجة.
	مرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية	التصميم يركز على الصحة والراحة، مع إمكانية تعديل بيئة العمل وفق متغيرات مستقبلية
	قابلية المساحات لإعادة التأهيل الوظيفي	يمكن تحويل المساحات المفتوحة بسهولة بين العمل الفردي والجماعي[٢٥].
إعادة تخصيص المساحات	المرونة الهيكلية	يعتمد على شبكة أعمدة تسمح بتعديل الفراغات الداخلية بحرية
	الجدران المتحركة	يحتوي على عناصر فصل مرنة لتقسيم أو دمج المساحات
	القابلية للإزالة والإضافة	يمكن بسهولة إزالة بعض الحواجز أو الأثاث أو دمج مساحات لتوسعة النشاط.
	إمكانية إعادة تقسيم المساحات الداخلية	تصميم مفتوح يتيح إعادة ترتيب الفضاءات حسب الحاجة
	المرونة في ترتيب الأثاث والبنية التحتية	أثاث مرن وتصميم داخلي قابل للتغيير بشكل يومي تقريبًا
الاستدامة البيئية	الطاقة المتجددة	يستخدم طاقة شمسية عبر ألواح كهروضوئية على السطح
	إعادة تدوير المواد	البناء يتضمن مواد معاد تدويرها وصديقة للبيئة
	تقنيات الحفاظ على الطاقة	أنظمة تكييف وتدفئة موفرة، مع استخدام إضاءة طبيعية بنسبة كبيرة.
	الأنظمة البيئية المتكاملة	يضم أسطح خضراء وحدائق داخلية لتحسين جودة الهواء
	تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	يعتمد على وسائل صديقة للبيئة بشكل واسع
	الحد من الانبعاثات خلال دورة حياة المبنى	يقلل من الانبعاثات عبر تحسين الأداء اليومي[٢٦].
التقنيات الذكية	أنظمة إدارة الطاقة	إدارة مركزية للطاقة والتحكم بالإضاءة والتكييف
	أنظمة الذكاء الصناعي	أنظمة حساسات تقيس جودة الهواء وتعدل بيئة العمل تلقائيًا
	الأنظمة المتكاملة	الربط بين جميع أنظمة المبنى لخلق تجربة تشغيل فعّالة وذكية
	أنظمة تحكم ذكية في الإضاءة والحرارة	نظم ذكية تعمل بكفاءة
	أنظمة استشعار متقدمة للتفاعل مع المستخدم	مستشعرات مدمجة في بيئة العمل لتكييف الإضاءة والراحة

تابع جدول (٤) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

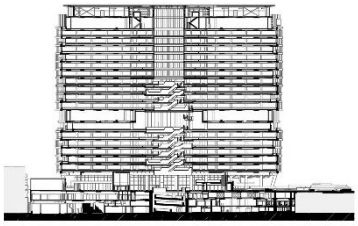
المشروع : مبنى Medibank Building	**المصمم** : Woods Bagot (المكتب المعماري الذي قام بتصميم المبنى)	**وظيفة المبنى :** مكاتب تجارية	**اشكال توضيحية**
الموقع : ملبورن، أستراليا		**السنة :** ٢٠١٤	

العناصر الرئيسية	**المفردات المقاسة**	**الوصف**
المرونة في التوسع والتقليص	تصميم التوسع المستقبلي	البنية التحتية تدعم توسيع المساحات أو تعديلها مستقبلًا
	المساحات القابلة للتكيف	الفراغات مصممة لتتحول إلى أنشطة مختلفة وفقًا للتغيرات[٢٧].
	إمكانية التغيير في الوظائف	من السهل تحويل المناطق من وظائف مكتبية إلى مساحات اجتماعية أو تجارية.
	سهولة إضافة وحدات فراغية جديدة	يمكن دمج وحدات جديدة لكنها تحتاج إلى إعادة تخطيط جزئي
	إمكانية تقليص المساحات أو فصلها وظيفيًا	يسهل تقسيم المساحات لفرق مختلفة بمرونة
البنية التحتية القابلة للتعديل	أنظمة قابلة للتعديل	توزيع الأنظمة التقنية مثل الكهرباء والاتصالات بشكل يسهّل التعديل.
	الأنظمة المرنة	المصاعد والمرافق مجهزة لتلبية متطلبات ذوي الاحتياجات المختلفة
	التقنيات المعيارية	يعتمد على وحدات داخلية معيارية يمكن تعديلها أو تحديثها بسهولة.
	سهولة صيانة واستبدال المكونات	قابلية ممتازة للوصول والتحديث الدوري
	إمكانية تحديث أنظمة المبنى بسهولة	مصمم خصيصًا لاستيعاب التحديثات السريعة
استخدام المواد المستدامة	المواد القابلة لإعادة التدوير	تشمل الخشب المعاد تدويره، والسجاد المصنوع من مواد مُعاد استخدامها.
	المواد منخفضة التأثير البيئي	تم اختيار مواد ذات انبعاثات كربونية منخفضة
	الاستدامة في الإنتاج	الموردون ملتزمون بالممارسات البيئية المستدامة
	مواد ذات عمر افتراضي طويل	بعض المواد تعتمد على الاستدامة أكثر من العمر
	سهولة الإصلاح والصيانة للمواد المستخدمة	قد تتطلب بعض المواد استبدالًا بدلاً من الإصلاح
استجابة الظروف المناخية	العزل الحراري	تم تحسين عزل الأسقف والجدران لتقليل استهلاك الطاقة
	التكيف مع المناخ المحلي	تصميم التهوية الطبيعية والاستفادة من الإضاءة الطبيعية
	التنظيم الطبيعي للمناخ	وجود مساحات خضراء يساعد في تلطيف الجو الداخلي
	استغلال ضوء الشمس الطبيعي	يحقق إضاءة طبيعية معتدلة، لكنها ليست مثالية في جميع المناطق
	التوجيه المعماري لتعزيز الأداء المناخي	أقل كفاءة نسبيًا بسبب طبيعة البيئة العمرانية المحيطة

تابع جدول (٤) تعريف المشروع وتقييم عناصر المرونة فى المبنى (الباحث)

المشروع : مبنى Medibank Building	المصمم: Woods Bagot	وظيفة المبنى : مكاتب تجارية	اشكال توضيحية
الموقع : ملبورن، أستراليا		**السنة :** ٢٠١٤	

العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	الوصف
المرونة في توزيع المساحات	أنظمة تقسيم مرنة	تقسيم داخلي متغير حسب الحاجة باستخدام وحدات غير دائمة
	أنظمة متعددة الاستخدام	سمح بتحويل الوظائف بسرعة دون تعديلات معمارية كبيرة
	القابلية للتحويل	يمكن إعادة استخدام المساحات لتلائم احتياجات العمل أو الأنشطة الاجتماعية.
	تصميم داخلي مفتوح بدون أعمدة	تصميم مفتوح تمامًا يدعم أي نمط توزيع داخلي
	تنوع في مداخل ومخارج المساحات الداخلية	يتيح تنوّعًا كبيرًا في التنقل والوصول عبر الطوابق والمساحات
التحولات المستقبلية	التكيف مع التكنولوجيا المستقبلية	تم تجهيز البنية التحتية لاستيعاب أنظمة ذكية مستقبلية[٢٨].
	القدرة على استيعاب التوسع	قابلية دمج تقنيات جديدة أو توسيع النشاط دون التأثير على الأداء العام.
	مرونة في استخدامات الوظائف	استيعاب التغيرات في طبيعة العمل والمستخدمين
	الاستعداد لإدخال تقنيات حديثة	مهيأ بشكل ممتاز لإضافة تقنيات جديدة بسرعة
	المرونة الاجتماعية والوظيفية عبر الزمن	يواكب تغيّر أساليب العمل والأنشطة المجتمعية بسهولة



٨- تقييم عناصر المرونة بالمباني المستدامة

بعد تطبيق الأمثلة المختارة للدراسة العملية، أظهرت النتائج استخدام كل عنصر من العناصر الاساسية والفرعية للمرونة على المبانى المستدامة، وكانت النتائج موضحة في الجدول (٥).

تم بناء إطار التقييم وفق مقياس وصفي نوعى يعتمد على تقدير درجة تحقق كل عنصر فرعي من عناصر المرونة بناءً على تحليل وصفي دقيق للمشروع.

جدول (٥) تقييم عناصر المرونة على المبانى المستدامة (الباحث)

عناصر المرونة		مثال ١	مثال ٢	مثال ٣
العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	مبنى The Crystal	مبنى KfW Westarkade	مبنى Medibank Building
التكيف مع احتياجات المستخدمين	تعدد الاستخدامات	√	√	√
	مرونة في التوزيع الداخلي	√	√	√
	القدرة على التوسع	×	√	√
	مرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية	√	√	√
	قابلية المساحات لإعادة التأهيل الوظيفي	√	√	√

تابع جدول (٥) تقييم عناصر المرونة على المبانى المستدامة (الباحث)

عناصر المرونة		مثال ١	مثال ٢	مثال ٣
العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	مبنى The Crystal	مبنى KfW Westarkade	مبنى Medibank Building
إعادة تخصيص المساحات	المرونة الهيكلية	√	√	√
	الجدران المتحركة	×	√	√
	القابلية للإزالة والإضافة	×	√	√
	إمكانية إعادة تقسيم المساحات الداخلية	×	√	√
	المرونة في ترتيب الأثاث والبنية التحتية	×	√	√
الاستدامة البيئية	الطاقة المتجددة	√	√	√
	إعادة تدوير المواد	√	√	√
	تقنيات الحفاظ على الطاقة	√	√	√
	تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	√	√	√
	الحد من الانبعاثات خلال دورة حياة المبنى	√	√	√
	الأنظمة البيئية المتكاملة	√	√	√
التقنيات الذكية	أنظمة إدارة الطاقة	√	√	√
	أنظمة الذكاء الصناعي	√	√	√
	الأنظمة المتكاملة	√	√	√
	أنظمة تحكم ذكية في الإضاءة والحرارة	√	√	√
	أنظمة استشعار متقدمة للتفاعل مع المستخدم	√	√	√
المرونة في التوسع والتقليص	تصميم التوسع المستقبلي	√	√	√
	المساحات القابلة للتكيف	√	√	√
	إمكانية التغيير في الوظائف	√	√	√
	سهولة إضافة وحدات فراغية جديدة	×	√	√
	إمكانية تقليص المساحات أو فصلها وظيفيًا	×	√	√
البنية التحتية القابلة للتعديل	أنظمة قابلة للتعديل	√	√	√
	الأنظمة المرنة	√	√	√
	التقنيات المعيارية	√	√	√
	سهولة صيانة واستبدال المكونات	×	√	√
	إمكانية تحديث أنظمة المبنى بسهولة	√	√	√
استخدام المواد المستدامة	المواد القابلة لإعادة التدوير	√	√	√
	المواد منخفضة التأثير البيئي	√	√	√
	الاستدامة في الإنتاج	√	√	√
	مواد ذات عمر افتراضي طويل	√	√	×
	سهولة الإصلاح والصيانة للمواد المستخدمة	√	√	×
استجابة الظروف المناخية	العزل الحراري	√	√	√
	التكيف مع المناخ المحلي	√	√	√
	التنظيم الطبيعي للمناخ	√	√	√
	استغلال ضوء الشمس الطبيعي	√	√	√
	التوجيه المعماري لتعزيز الأداء المناخي	√	√	×

تابع جدول (٥) تقييم عناصر المرونة على المبانى المستدامة (الباحث)

عناصر المرونة		مثال ١	مثال ٢	مثال ٣
		مبنى The Crystal	مبنى KfW Westarkade	مبنى Medibank Building
العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة			
المرونة في توزيع المساحات	أنظمة تقسيم مرنة	√	√	√
	أنظمة متعددة الاستخدام	√	√	√
	القابلية للتحويل	√	√	√
	تصميم داخلي مفتوح بدون أعمدة	×	√	√
	تنوع في مداخل ومخارج المساحات الداخلية	×	√	√
التحولات المستقبلية	التكيف مع التكنولوجيا المستقبلية	√	√	√
	القدرة على استيعاب التوسع	√	√	√
	مرونة في استخدامات الوظائف	√	√	√
	الاستعداد لإدخال تقنيات حديثة	×	√	√
	المرونة الاجتماعية والوظيفية عبر الزمن	×	√	√

٨-١ حساب الاوزان النسبية للمفردات المقاسة للعناصر الرئيسية

يوضح جدول (٦) النموذج المقترح لقياس عناصر المرونة على المبانى المستدامة والذى احتوى على ١٠ عناصر رئيسية مقسمة الى ٥١ عنصر فرعى قياسى كما تم حساب الاوزان النسبية لجميع المفردات المقاسة باستخدام النظام الثنائى (pinery system) اعتمادا على حساب تردد (frequency) المفردات المقاسة حتى يكون القياس كمى. تم تحديد الوزن النسبي لكل عنصر استنادًا إلى تكرار تحققه (القيمة ١) في المشاريع الثلاثة، من أصل مجموع كلي يبلغ ١٣٩، دون استخدام تقييم انطباعي

يتم حساب تردد كل عنصر فرعى بجميع المبانى التى تم اختيارها ثم حساب مجموع التردد لجميع العناصر الفرعية ويحسب الوزن النسبى للعنصر بقسمة تردد العنصر على مجموع الترددات الكلية وتحسب الاوزان النسبية للعيار الرئيسى بتجميع الاوزان النسبية للعناصر الفرعية كما يوضح شكل (٩) النسبة المئوية لكل معيار.

جدول (٦) حساب الاوزان النسبية لعناصر المرونة على المبانى المستدامة (الباحث)

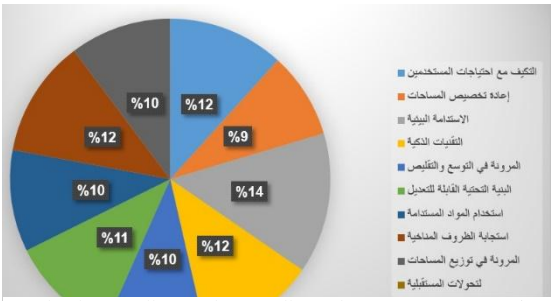
عناصر المرونة		مثال ١	مثال ٢	مثال ٣	مجموع ترددات المفردات المقاسة	الوزن النسبى
		مبنى The Crystal	مبنى KfW Westarkade	مبنى Medibank Building		
العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة					
التكيف مع احتياجات المستخدمين	تعدد الاستخدامات	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	مرونة في التوزيع الداخلي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	القدرة على التوسع	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	مرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	قابلية المساحات لإعادة التأهيل الوظيفي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
المجموع الفرعى		٤	٥	٥	١٤	٠,١٠٠
					٪١٠,٧	
إعادة تخصيص المساحات	المرونة الهيكلية	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الجدران المتحركة	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	القابلية للإزالة والإضافة	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	إمكانية إعادة تقسيم المساحات الداخلية	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	المرونة في ترتيب الأثاث والبنية التحتية	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
المجموع الفرعى		١	٥	٥	١١	٠,٠٧٩
					٪٧,٩١	

تابع جدول (٦) حساب الاوزان النسبية لعناصر المرونة على المباني المستدامة (الباحث)

عناصر المرونة		مثال ١	مثال ٢	مثال ٣	مجموع ترددات المفردات المقاسة	الوزن النسبى
العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	مبنى The Crystal	مبنى KfW Westarkade	مبنى Medibank Building		
الاستدامة البيئية	الطاقة المتجددة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	إعادة تدوير المواد	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	تقنيات الحفاظ على الطاقة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	تقليل استهلاك الموارد الطبيعية	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الحد من الانبعاثات خلال دورة حياة المبنى	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الأنظمة البيئية المتكاملة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
المجموع الفرعى		٦	٦	٦	١٨	٠,١٢٩
					٪١٢,٩٤	
التقنيات الذكية	أنظمة إدارة الطاقة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	أنظمة الذكاء الصناعي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الأنظمة المتكاملة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	أنظمة تحكم ذكية في الإضاءة والحرارة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	أنظمة استشعار متقدمة للتفاعل مع المستخدم	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
المجموع الفرعى		٥	٥	٥	١٥	٠,١٠٧
					٪١٠,٧٩	
المرونة في التوسع والتقليص	تصميم التوسع المستقبلي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	المساحات القابلة للتكيف	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	إمكانية التغيير في الوظائف	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	سهولة إضافة وحدات فراغية جديدة	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	إمكانية تقليص المساحات أو فصلها وظيفيًا	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
المجموع الفرعى		٣	٥	٥	١٣	٠,٠٩٣
					٪٩,٣٥	
البنية التحتية القابلة للتعديل	أنظمة قابلة للتعديل	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الأنظمة المرنة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	التقنيات المعيارية	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	سهولة صيانة واستبدال المكونات	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	إمكانية تحديث أنظمة المبنى بسهولة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
المجموع الفرعى		٤	٥	٥	١٤	٠,١٠٠
					٪١٠,٠٧	
استخدام المواد المستدامة	المواد القابلة لإعادة التدوير	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	المواد منخفضة التأثير البيئي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الاستدامة في الإنتاج	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	مواد ذات عمر افتراضي طويل	١	١	٠	٢	٠,٠١٤
	سهولة الإصلاح والصيانة للمواد المستخدمة	١	١	٠	٢	٠,٠١٤
المجموع الفرعى		٥	٥	٣	١٣	٠,٠٩٣
					٪٩,٣٥	

تابع جدول (٦) حساب الاوزان النسبية لعناصر المرونة على المباني المستدامة (الباحث)

عناصر المرونة		مثال ١	مثال ٢	مثال ٣	مجموع ترددات المفردات المقاسة	الوزن النسبى
العناصر الرئيسية	المفردات المقاسة	مبنى The Crystal	مبنى KfW Westarkade	مبنى Medibank Building		
استجابة الظروف المناخية	العزل الحراري	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	التكيف مع المناخ المحلي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	التنظيم الطبيعي للمناخ	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	استغلال ضوء الشمس الطبيعي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	التوجيه المعماري لتعزيز الأداء المناخي	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
المجموع الفرعى		٥	٥	٥	١٥	٠,١٠٧
					٪١٠,٧٩	
المرونة في توزيع المساحات	أنظمة تقسيم مرنة	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	أنظمة متعددة الاستخدام	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	القابلية للتحويل	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	تصميم داخلي مفتوح بدون أعمدة	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	تنوع في مداخل ومخارج المساحات الداخلية	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
المجموع الفرعى		٣	٥	٥	١٣	٠,٠٩٣
					٪٩,٣٥	
التحولات المستقبلية	التكيف مع التكنولوجيا المستقبلية	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	القدرة على استيعاب التوسع	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	مرونة في استخدامات الوظائف	١	١	١	٣	٠,٠٢٢
	الاستعداد لإدخال تقنيات حديثة	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
	المرونة الاجتماعية والوظيفية عبر الزمن	٠	١	١	٢	٠,٠١٤
المجموع الفرعى		٣	٥	٥	١٣	٠,٠٩٣
					٪٩,٣٥	
الإجمالى					١٣٩	١,٠٠
					٪١٠٠	



شكل (٩) يوضح الاوزان النسبية للعناصر الرئيسية للمرون على المبانى المستدامة

المصدر : الباحث

٨-٢ مناقشة النتائج

التكيف مع احتياجات المستخدمين

- أظهرت المشاريع الثلاثة تحقيقًا قويًا لهذا البُعد، حيث سجلت جميعها تحققًا كاملاً لتعدد الاستخدامات ومرونة التوزيع الداخلي.
- مشروع (The Crystal) أظهر قصورًا في "القدرة على التوسع"، بينما تفوق (Medibank وKfW Westarkade Building) بتحقيق القدرة على التوسع، والمرونة في تلبية الاحتياجات المستقبلية، وقابلية إعادة التأهيل الوظيفي بنسبة عالية.

إعادة تخصيص المساحات

- تفوق مشروع (KfW Westarkade) في تحقيق عناصر إعادة تخصيص المساحات بشكل كامل (١٠٠٪)، مع تميز واضح في الجدران المتحركة والقابلية للإزالة وإعادة تقسيم المساحات.
- (Medibank Building) حقق مرونة عالية كذلك، بينما أظهر (The Crystal) ضعفًا ملحوظًا في معظم العناصر الفرعية مثل القابلية للإزالة، وإمكانية إعادة تقسيم المساحات.

الاستدامة البيئية

- تحققت جميع العناصر البيئية الأساسية بنسبة ١٠٠٪ في جميع المشاريع الثلاثة.
- تميز (The Crystal) باستخدام المواد المستدامة بنسبة عالية، وبتطبيق تقنيات العزل، مما ساهم في خفض استهلاك الطاقة وتحقيق الاستدامة البيئية بصورة متكاملة.

التقنيات الذكية

- سجلت المشروعات الثلاثة تطبيقًا شبه متكامل للأنظمة الذكية، بما في ذلك إدارة الطاقة، والأنظمة المتكاملة، وأنظمة الذكاء الصناعي.
- أظهر (Medibank Building) و (KfW Westarkade)

مستويات متقدمة في استخدام أنظمة التحكم الذكية والاستشعار، مما يعزز قدرة المباني على الاستجابة للمتغيرات البيئية والاستخدامية.

المرونة في التوسع والتقليص

- تفوق مشروع (KfW Westarkade) بتحقيق نسبة ١٠٠٪ في تصميم التوسع المستقبلي والمساحات القابلة للتكيف، مقارنةً بـ (The Crystal) الذي سجل نسبة أقل(٦٠٪) من العناصر الفرعية
- يظهر (Medibank Building) أداءً متميزًا أيضًا في هذا المحور، مما يعزز من قدرة المبنى على مواكبة التغيرات المستقبلية في الوظائف والمساحات.

البنية التحتية القابلة للتعديل

- تميز مشروع (KfW Westarkade) بتحقيق جميع العناصر المرتبطة بالبنية التحتية القابلة للتعديل بنسبة ١٠٠٪، بما يشمل الأنظمة المرنة والتقنيات المعيارية وسهولة الصيانة.
- حقق (Medibank Building) أداءً مماثلًا، بينما كان أداء (The Crystal) أقل من حيث سهولة صيانة واستبدال المكونات.

استخدام المواد المستدامة

- تفوقت مشاريع (The Crystal) و (KfW Westarkade) في استخدام المواد القابلة لإعادة التدوير والمواد منخفضة التأثير البيئي.
- أظهر (Medibank Building) قصورًا طفيفًا في بعض العناصر مثل استخدام المواد ذات العمر الافتراضي الطويل وسهولة صيانة المواد.

استجابة الظروف المناخية

- تفوقت جميع المشاريع في تطبيق عناصر العزل الحراري والتكيف مع المناخ المحلي.
- لوحظ تميز (The Crystal) و (KfW Westarkade) في استغلال ضوء الشمس الطبيعي والتوجيه المناخي مقارنةً بـ (Medibank Building) الذي سجل ضعفًا نسبيًا في التوجيه المعماري.

المرونة في توزيع المساحات

- أظهر كل من (KfW Westarkade) و (Medibank Building) مستويات عالية من المرونة في توزيع المساحات والأنظمة المتعددة الاستخدام، بينما سجل (The Crystal) نسبًا أدنى في بعض العناصر الفرعية.

التحولات المستقبلية

- تفوق (KfW Westarkade) بشكل ملحوظ في الاستعداد للتكيف مع التكنولوجيا المستقبلية والمرونة الاجتماعية عبر الزمن، مقارنةً بـ (The Crystal) الذي أظهر قصورًا واضحًا في هذا المجال .

على الجانب الاجتماعي تميز مشروع (Medibank) باهتمامه بمرونة المساحات الداخلية بما يتوافق مع احتياجات المستخدمين اليومية من خلال إتاحة بيئات عمل متنوعة تشجع على التنقل والتفاعل مما يعزز الصحة النفسية والإنتاجية وهو ما يعكس فهمًا عميقًا للمرونة الاجتماعية ، أما من الناحية الاقتصادية، فإن اعتماد (KfW Westarkade) على تصميم يسمح بتقليل استهلاك الطاقة عبر نظام تهوية طبيعي مرن أدى إلى تقليل التكاليف التشغيلية على المدى الطويل مما يؤكد فعالية الاستثمار في البنية التحتية الذكية، وعلى العكس لم يُظهر مشروع (The Crystal) نفس الكفاءة الاجتماعية، حيث يغلب عليه الطابع التقني دون دمج واضح لاحتياجات المستخدم في التوزيع الداخلي، كما أن تكلفة إنشائه العالية مقارنة بنسبة الاستخدام الوظيفي توضح محدودية المرونة الاقتصادية فيه.

بالنظر إلى نتائج التقييم، يمكن ملاحظة أن التفاوت في أداء المشاريع المدروسة لا يعود فقط إلى التصميم المعماري ذاته، بل يتأثر بعدة عوامل محيطة ، فعلى سبيل المثال ساهم الدعم الحكومي والسياسات البيئية في ألمانيا في تمكين مشروع (KfW Westarkade) من دمج أنظمة تهوية طبيعية ومرونة تشغيلية ، كما تفوق مشروع (Medibank) في معايير المرونة قد يعود إلى تبني سياسة مؤسسية داعمة للاستدامة، وتوفير تمويل كافٍ يسمح بتطبيق أنظمة مرنة معقدة ، في المقابل يُعزى الأداء المنخفض نسبيًا في مشروع (The Crystal) إلى الاعتماد الأكبر على التقنيات البيئية دون تركيز موازٍ على البنية القابلة للتعديل أو التوسع، مما يحد من مرونته التشغيلية على المدى الطويل ، كما أن الموقع الجغرافي واللوائح المحلية يؤثران بشكل كبير على القرارات التصميمية ما ينعكس مباشرة على مستويات الأداء.

٩- الاستنتاجات

- المرونة التصميمية متطلب اساسي لتلبية الاحتياجات المستقبلية: يظهر البحث بوضوح أن المرونة في التصميم المعماري تعد أمرًا حيويًا للمباني المستدامة، حيث تتيح للمباني التكيف مع احتياجات المستخدمين المتغيرة مع مرور الوقت، سواء كان ذلك من حيث الاستخدامات أو التوسعات المستقبلية.
- التكامل بين الاستدامة والمرونة: تبين الدراسات الحالة أن الجمع بين تقنيات الاستدامة مثل الطاقة المتجددة والمواد المستدامة، والمرونة في التصميم يعزز قدرة المباني على التكيف مع التغيرات المستقبلية وتلبية احتياجات الحاضر.
- أهمية التقنيات الذكية في تحسين الكفاءة: تمثل الأنظمة الذكية مثل إدارة الطاقة والتهوية والتحكم في الإضاءة جزءًا أساسيًا من تصميم المباني المستدامة والمرنة. هذه الأنظمة تساهم في تقليل استهلاك الطاقة وتحسين بيئة العمل والمعيشة داخل المباني.
- التصميم البيئي وتقليل الأثر البيئي: إن استخدام المواد المستدامة، وكذلك تقنيات العزل والتبريد الفعالة، لا يقلل فقط من استهلاك الطاقة ولكن أيضًا يساهم في تقليل البصمة الكربونية للمباني، مما يجعلها أكثر توافقًا مع مبادئ الاستدامة.
- إعادة تخصيص المساحات لتعزيز المرونة: الأنظمة التي تسمح بإعادة تخصيص المساحات مثل الجدران المتحركة وتوزيع المساحات القابلة للتعديل تلعب دورًا حاسمًا في تحقيق المرونة التصميمية، مما يسهل التكيف مع التغيرات المستقبلية.
- المشاريع المعمارية تتفاوت في مستويات تحقيق المرونة: تحليل المشاريع مثل (The Crystal) و (KfW Westarkade) و (Medibank Building) أظهر اختلافات في درجة تحقيق المرونة، حيث يُعد مشروع (KfW) من أفضل المشاريع في تكامل المرونة مع الاستدامة.
- المستقبل يتطلب مزيدًا من الابتكار في التصميم: مع تزايد التحديات البيئية والاجتماعية، يحتاج المصممون إلى الابتكار في استخدام التقنيات الحديثة والمواد القابلة لإعادة التدوير. بالإضافة إلى ذلك، يجب تحسين الأنظمة الذكية والتوسع في تصميمات مرنة تواكب تطورات المستقبل.

هذه الاستنتاجات تبرز أهمية التنسيق بين الاستدامة والمرونة في تصميم المباني لتلبية احتياجات المستخدمين في المستقبل مع الحفاظ على البيئة. وتجدر الإشارة إلى أن هناك عددًا من الحدود التي يجب أخذها في الاعتبار، فقد اعتمد التقييم على تحليل وصفي ذاتي يقوم به الباحث استنادًا إلى مصادر وثائقية منشورة، دون استخدام أدوات ميدانية مباشرة مثل استبيانات المستخدمين أو تقييمات شغل المباني ، كما أن عدد دراسات الحالة محدود ويخص مشروعات ذات طبيعة خاصة وموقع جغرافي وسياقي معين، مما يجعل تعميم النتائج مشروطًا، ومع ذلك فإن المؤشرات المستخلصة تقدم إطارًا أوليًا يمكن البناء عليه وتطويره في دراسات لاحقة أكثر شمولاً.

١٠- التوصيات

- دمج المرونة كعنصر أساسي في التصميم المعماري المستدام: يجب أن يُنظر إلى المرونة كعنصر مكمل للاستدامة، وليس كمجرد خيار إضافي، وذلك لضمان قدرة المباني على التكيف مع التغيرات الوظيفية والاجتماعية على المدى الطويل.
- تطوير سياسات تصميم تعتمد على الأداء طويل المدى: يُوصى بوضع معايير تصميمية تأخذ بعين الاعتبار الأداء المستقبلي للمبنى، من حيث التوسع، تغيير الاستخدام، وإعادة تخصيص المساحات دون الحاجة لإعادة البناء الكامل.
- الاستثمار في التقنيات الذكية لتعزيز الاستدامة والمرونة: يُنصح باستخدام أنظمة تحكم ذكية لإدارة الطاقة والتهوية والإضاءة، حيث تساهم في تحسين كفاءة التشغيل وزيادة قدرة المبنى على التكيف مع احتياجات المستخدمين.
- اعتماد الحلول المعيارية والتقنيات القابلة للتعديل: من الأفضل استخدام وحدات إنشائية وتقنية قابلة للفك والتركيب، مما يتيح إعادة ترتيب المكونات المعمارية بسهولة، وتحديث المبنى حسب الحاجة.
- تعزيز استخدام المواد المستدامة القابلة لإعادة الاستخدام: يُفضل استخدام مواد ذات بصمة بيئية منخفضة، والتي يمكن إعادة تدويرها أو استخدامها لاحقًا في مراحل مختلفة من دورة حياة المبنى.
- ضرورة تقييم مرونة المشاريع أثناء مراحل التصميم والتنفيذ: يُوصى بتبني أدوات ومعايير تقييم تسمح بقياس درجة المرونة في التصميم خلال المراحل المبكرة من المشروع، مما يضمن اتخاذ قرارات تصميمية قائمة على معطيات واقعية وقابلة للتحقيق.
- اقتراح أبحاث مستقبلية: يوصى بإجراء دراسات مستقبلية تستخدم أدوات تقييم كمية، مثل النماذج الحاسوبية أو بيانات استبيانات المستخدمين، إضافة إلى دراسات ميدانية بعد التشغيل(Post-occupancy Evaluation)، مما يُعزز من دقة التقييم وفاعلية النتائج.
- ربط التوصيات بالأطر التنظيمية والتصميمية: وتجدر الإشارة إلى أن التوصيات العملية المستخلصة من الدراسة يمكن ترجمتها إلى استراتيجيات تصميم واضحة، مثل اعتماد نظم إنشائية مرنة تتيح التوسع المستقبلي، وتطبيق تقسيمات داخلية قابلة لإعادة التهيئة حسب الحاجة، كما يُقترح إدراج هذه المعايير ضمن الأطر التنظيمية المحلية، من خلال تحديث اشتراطات البناء والتصميم لتشمل عناصر المرونة التصميمية كجزء من متطلبات الاستدامة المعمارية.

١١. المراجع

1- R. Kronenburg, *Flexible: Architecture that Responds to Change*. London: Laurence King Publishing, ٢٠٠٧.

2- J. Y. Lee and S. J. Kim, "Developing a flexibility performance index for sustainable architecture," *Journal of Cleaner Production*, vol. 261, pp. 121–134, 2020.

3- T. Schneider and J. Till, *Flexible Housing that Responds to Change*. London: Laurence King Publishing, ٢٠٠٧.

4- R. Geraedts, T. van der Voordt, and H. Remøy, "Adaptive reuse and flexibility: Sustainable solutions for obsolete buildings," in *Low Carbon Cities: Transforming Urban Systems*, S. Lehmann, Ed. London: Routledge, ٢٠١٧, pp. ٢٣٥-251.

5- C. Stevenson and D. Wilkins, "The role of spatial flexibility in resilient housing: Post-disaster insights," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 45, pp. 101508, 2020.

6- B. Kolarevic and A. Malkawi, *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*. New York: Spon Press, ٢٠٠٥.

٧- م. أبو الحسن، "المرونة التصميمية كاستراتيجية في الاستجابة للتغيرات المستقبلية في المباني السكنية"، *مجلة العمارة والتخطيط – جامعة الملك سعود*، مجلد ٣٣، عدد ٢، ص. ١١٢–١٣٠، ٢٠٢١.

٨- عبد المجيد، "الاستدامة في العمارة: المفهوم والتطبيق في البيئة العربية"، *مجلة البحوث المعمارية – جامعة القاهرة*، العدد ١٨، ص. ١٢٥–١٤٢، ٢٠١٦.

9- M. H. Ali and Z. Al Nsairat, "Smart and flexible architecture: Integration for future-proof sustainable buildings," *Automation in Construction*, vol. 112, pp. 103–123, 2020.

10- C. Jantzen, "Designing for Transformability: Adaptive Structures in Contemporary Architecture," *Journal of Architectural Design*, vol. 87, no. 3, pp. 45–53, 2017.

11- R. Kronenburg, *Flexible: Architecture that Responds to Change*. London: Laurence King .Publishing, ٢٠٠٧.

١٢- س. خليل، "التحول نحو المباني الذكية والمستدامة في المدن العربية: تحليل نقدي للتحديات والفرص"، *مجلة دراسات بيئية – جامعة بغداد*، العدد ١٢، ص. ٨٨–١٠٦، ٢٠١٨.

13- R. Kronenburg, *Flexible: Architecture that Responds to Change*. London: Laurence King .Publishing, ٢٠٠٧.

14- P. Smith, "Social Sustainability and Architecture," *Journal of Sustainable Architecture*, vol. 45, no. 2, pp. 75–88, 2009.

15- L. Miller, "The Crystal Building: A New Era in Sustainable Architecture," *Environmental Design Review*, vol. 32, no. 3, pp. 45–60, 2011.

16- Aksamija, *Integrating Innovation in Architecture: Design, Methods, and Technology for Progressive Practice*. Basel: Birkhäuser, ٢٠٢٢.

17- R. Leach and H. Bullen, "Architectural flexibility in sustainable housing: Lessons from Australian case studies," *Buildings*, vol. 10, no. 12, pp. 230–245, 2020.

18- Foster + Partners, "The Crystal," *Foster and Partners*, [Online]. Available: https://www.fosterandpartners.com/projects/the-crystal/. [Accessed: 12 January 2025].

19- S. Goubran, *Sustainable Building Design: Principles and Practice*. Cham: Springer .International Publishing, ٢٠١٩.

20- Dezeen, "KfW Westarkade by Sauerbruch Hutton," *Dezeen*, [Online]. :Available https://www.dezeen.com/٢٠١١/٠٧/٢٠/kfw-.[westarkade/. Accessed: September ٢٠٢٤

21- Architectural Record, "Home," *Architectural Record*, [Online]. Available: https://www.architecturalrecord.com Accessed October ٢٠٢٤

22- U.S. Green Building Council, "LEED Rating System," *USGBC*, [Online]. :Available :https://www.usgbc.org/leed. Accessed february,2022.

23- L. Wang and J. Zuo, "Sustainable and Flexible Office Design in Australia: A Case Study of Medibank Building," *Journal of Green Building*, vol. 15, no. 4, pp. 110–123,2020.

24- HASSELL Studio, "Home," *HASSELL*, [Online]. Available: https://www.hassellstudio.com/. :Accessed April, 2025.

25- ArchDaily, "Medibank Building / Hassell," *ArchDaily*, [Online]. Available: https://www.archdaily.com/770952 Accessed, September, ٢٠٢٤

26- World Green Building Council, "Advancing Net Zero," *WorldGBC*, [Online]. :Available .https://www.worldgbc.org/advancing-netzero Accessed: ١٥ february, ٢٠٢٥

27- Architectural Record, "Home," *Architectural Record*, [Online]. Available: https://www.architecturalrecord.com :Accessed May, ٢٠٢٥

28- ArchDaily, "Medibank Building / Hassell," ArchDaily, [Online]. Available: https://www.archdaily.com/770952